UDK 621.31

ENJAAC 52 (1) - (2003) - 1-90

ISSN 0013-7448

# ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

# energija

Godište 52 (2003) Zagreb 2003 Br. 1

*IZDAVAČ - PUBLISHER*

**Hrvatska elektroprivreda, Zagreb**

*ZA IZDAVAČA*

**Ivo Čović, dipl. ing.**

*POMOĆ U IZDAVANJU*

**Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike**

*UREĐIVAČKI SAVJET - THE PUBLISHING COUNCIL*

Mr. sc. Branko *Grgić*, dipl. ing. (predsjednik), HEP Split - Adrijano *Fišer*, dipl. ing., HEP Rijeka - Marijan *Kalea*, dipl. ing., HEP Osijek - Damir *Karavidović*, dipl. ing., HEP Osijek - mr. sc. Mladen *Mandić*, dipl. oec., HEP Zagreb - dr. sc. Vladimir *Mikuličić*, dipl. ing., FER Zagreb - dr. sc. Niko *Malbaša* - dipl. ing., Ekonerg, Zagreb

*UREDNIČKI ODBOR - EDITORIAL BOARD*

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr. sc. Zorko *Cvetković*, dipl. ing.

Urednik - Editor: Zdenka *Jelić*, prof.

Lektor: Šime *Čagalj*, prof.

## SADRŽAJ

*Klepo M.*: Okvir i sadržaj regulacije energetskog sektora kroz organizaciju i rad Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti (Pregledni članak) ..... 5 - 17

*Banovac E.*: Prikaz postupka izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti kao temelja regulacije energetskog sektora (Pregledni članak) ..... 19 - 24

*Kalea M.*: Tretman gubitaka u naknadi za korištenje prijenosne i distribucijske mreže (Pregledni članak) ..... 25 - 30

*Wilson A.*: Finding Business Performance Improvements through Telecommunications Re-engineering (Professional Paper) ..... 31 - 34

*Krstulja B. - Komin V.*: Model i organizacija službe vođenja distribucijske mreže Hrvatske (Stručni članak) ..... 35 - 43

*Sabolić D.*: O statističkim svojstvima impulsnog šuma na distribucijskoj mreži (Prethodno priopćenje) ..... 45 - 58

*Šander M.*: Parna turbina u kombikogeneracijskom postrojenju TE-TO Zagreb (Pregledni članak) ..... 59 - 73

**Vijesti iz elektroprivrede i okruženja ..... 75 - 81**

**Iz strane stručne literature ..... 83 - 90**

Fotografije na omotu:

**PRELJEVNI BAZEN GATA**

**RASKLOPNO POSTROJENJE**

**BRANA PRANČEVIĆI**

**POGLED NA BRANU PRANČEVIĆI I AKUMULACIJSKO JEZERO PRANČEVIĆI**

Uredništvo i uprava:
Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb
Telefoni +385 (0)1 632 2641 i +385 (0)1 632 2083
Telefaks +385 (0)1 615 0430
E-amail: energija@hep.hr
www.hep.hr

**Godišnje izlazi 6 brojeva**. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300,00 kn, a za poduzeća 480,00 kn (za studente 70,00 kn).

Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00 kn.

Za inozemstvo US$ 95 godišnje.

Žiro računi kod Zagrebačke banke, Zagreb - Hrvatska elektroprivreda (za "Energiju") broj 2360000-1400129978

Tisak: Birotisak d.o.o., Zagreb

Naklada 1000 primjeraka

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete - Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992.

Redakcija završena 2003-03-07

# Upute autorima

U "Energiji" smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa "stari" autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo "zaboravljive".

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda "Energiji", više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 stranica. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično "presude" recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa, Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica - SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   - **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   - **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu ječlanak zanimljiv ili nije.
   - **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   - **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.

   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u "Energiji" prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu - svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm -1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članka: **IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK** (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom shvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:

- ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice
- eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor.
- ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

**PRETHODNO PRIOPĆENJE** (prethodno sporočilo, prethodno saopštenje, pre-liminary communication, Vorlaufige Mitteilung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

**PREGLEDNI ČLANAK** (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornja rabota, Ubersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

**STRUČNI ČLANAK** (strokovno delo, stručna rabota, professional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođavanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.


# energija

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su:

Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Generale de l'electricite, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

**UREDNIŠTVO**

## *RIJEČ GLAVNOG UREDNIKA*

*U ovom broju časopisa čitatelji će naći dva članka koji obrađuju problematiku djelovanja Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti (VRED-a). Vijeće je formirao Sabor RH 2002. godine u skladu sa Zakonom o regulaciji energetskih djelatnosti, donesenim 19. srpnja 2001. Na forumu Hrvatskoga energetskog društva (HED) održanom 19. studenog 2002. godine imali smo priliku čuti iskustva mnogih europskih zemalja iz područja regulacije energetskih djelatnosti.*

*Neizbježan je dojam da na efikasnost regulacijskih tijela djeluju mnogi činitelji, prije svega stupanj demokracije, značaj pravne države te utjecaj civilnog društva u pojedinoj zemlji, pa tako i u nas.*

*Ipak, stječe se dojam da ne samo šira javnost, već ni mnogi stručnjaci u nas još uvijek nemaju prave spoznaje o postojanju, zadacima i posljedicama djelovanja VRED-a koje će svakim danom biti sve očitije u njihovim profesionalnim aktivnostima i ne samo profesionalnima.*

*Naš će časopis zato nastojati da ta problematika i ubuduće bude obrađivana na njegovim stranicama.*

*Koristim se prilikom da čitateljima zaželim uspješnu 2003. godinu i da ih pozovem na daljnju uspješnu suradnju.*

*Glavni urednik*

# OKVIR I SADRŽAJ REGULACIJE ENERGETSKOG SEKTORA KROZ ORGANIZACIJU I RAD VIJEĆA ZA REGULACIJU ENERGETSKIH DJELATNOSTI

Dr. sc. Mićo K l e p o, Zagreb

UDK 621.311.008:621.31.003
PREGLEDNI ČLANAK

U radu se izlažu osnovni elementi okvira i sadržaja regulacije energetskog sektora, odnosno energetskih djelatnosti u Republici Hrvatskoj kako su definirani paketom energetskih zakona. Isti su dovedeni u svezu s organizacijom i radom Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti, tj. hrvatskim nezavisnim regulatorom energetskih djelatnosti, te neprofitnom pravnom osobom koja će za Vijeće za regulaciju pripremati prijedloge akata i obavljati druge stručne poslove.

**Ključne riječi: energetske djelatnosti, energetski zakoni, regulacija energetskih djelatnosti, Vijeće za regulaciju.**

## 1. UVOD

Procesi deregulacije i restrukturiranja, praćeni uspostavom novih neovisnih regulacijskih okvira i mehanizama u svezi s energetskim sektorom danas su sveprisutni fenomeni vezani za infrastrukturne sustave. Pojam deregulacije svakako ne znači ukidanje regulacije, nego zapravo redefiniranje i uspostavljanje novog sadržaja i oblika regulacije nekog gospodarskog sektora u odnosu na prijašnji, najčešće uz znatno veći broj pravila po kojima se moraju ponašati tržišni sudionici, tj. reregulaciju. Danas se deregulacija i restrukturiranje smatraju preduvjetom i gotovo jedinim načinom kako javna i državna poduzeća mogu povećati efikasnost, privući nova ulaganja i osigurati sredstva za novi razvitak, te riješiti nedostatak fleksibilnosti i prilagoditi uvjetima slobodnog tržišta. Opće je uvjerenje da državni infrastrukturni monopoli i s njima povezani državni intervencionizam, odnosno po adekvatnom poimanju zapada monopolističke infrastrukturne kompanije koje imaju tzv. obvezu davanja univerzalne usluge, u novim okolnostima to svakako više ne mogu.

Uz pojmove deregulacije i restrukturiranja često se spominje i pojam privatizacije. Međutim, iako se često spominju zajedno, ne radi se o sukladnim pojmovima, niti je privatizacija njihov osnovni cilj. Isto tako, niti dobrobit krajnjih kupaca, koji bi navodno trebali profitirati zbog pojave konkurencije, što je dobrodošao efekt, vjerojatno nije glavni pokretač spomenutih procesa. Zapravo razloge za pokretanje procesa deregulacije treba tražiti u ekonomskim interesima, od oslobađanja potencijala tržišta prigušenih dotadašnjim oblicima regulacije, političkih i gospodarskih promjena praćenih otvaranjem nerazvijenih tržišta u nizu zemalja u svijetu i njihove potrebe za novim ulaganjima i razvojem, do nastojanja velikih svjetskih korporacija da iskoriste nove poslovne prilike. Primjerice, u nizu zemalja bivšeg istočnog bloka nastali su viškovi kapaciteta za proizvodnju električne energije, dakle i prilika stranim kompanijama za nabavu te jeftine energije.

U svakom slučaju, nove okolnosti traže novo transparentno zakonodavno okruženje, razvidna, nediskriminirajuća i unaprijed poznata pravila i uvjete rada za sve sudionike i energetske subjekte, a prvenstveno nove regulacijske mehanizme koje provode neovisna regulacijska tijela. Za takav način rješenja problema opredijelila se i Republika Hrvatska, koja je paketom od pet energetskih zakona uspostavila odgovarajući osnovni zakonski okvir. U tijeku je izrada niza podzakonskih akata i drugih dokumenata kojima se nastoje uspostaviti razvidna i nediskriminirajuća pravila za uspostavu energetskih tržišta električne energije, plina, nafte i naftnih derivata i toplinske energije. Značajan dio tih aktivnosti odnosi se na uspostavu razvidnih regulacijskih mehanizama koji će jamčiti provedbu regulacijskih pravila utemeljenih na zakonima, a koje će provoditi nezavisno regulacijsko tijelo - Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti.

Značajna uloga i odgovornosti regulacijsko tijelo ima i u svezi s javnim uslugama. Općenito, pojam javne usluge (Public Service Obligation - PSO, universal service obligation, customer service obligation) može se definirati na sljedeći način: obveza nametnuta energetskom subjektu kojemu je povjereno poslovanje vezano uz obavljanje usluga od općeg ekonomskog (gospodarskog) interesa, kako bi se osigurala sigurna, redovita i kvalitetna opskrba energijom po razumnim cijenama, vodeći računa o zaštiti okoliša.Obveza javne usluge se nameće monopolnim tvrtkama koje pružaju usluge od izuzetnog značenja, između ostalog i u energetskom sektoru. Direktiva 96/92 EC navodi: "Zemlje članice mogu propisati za poduzeća koja posluju u elektroenergetskom sektoru, u općem gospodarskom interesu, obvezu javne usluge koja se može

odnositi na sigurnost, uključujući sigurnost opskrbe, regularnost, kvalitetu i cijenu opskrbe i na zaštitu okoliša. Takve obveze moraju biti jasno definirane, transparentne, nediskriminirajuće i provjerljive. Zemlje članice EU dužne su bez odgađanja te obveze i svaku njihovu novu verziju objaviti i o njima obavijestiti odgovarajuću Komisiju. Kao sredstvo za ispunjenje spomenutih obveza javne usluge, zemlje članice koje to žele mogu uvesti proceduru dugoročnog planiranja. Prijedlog Novih Direktiva EC za liberalizaciju elektroenergetskog i plinskog tržišta[1] pojačava stavove vezano uz javnu uslugu navodeći kako je izuzetno značajno osigurati svim kupcima isporuku električne energije na njihovom području visoke kvalitete. Kao dopuna ovom stavu, zemlje članice EU su predložile odgovarajuće odredbe za električnu energiju i plin, kako bi se osigurala primjena javne usluge, vezano uz: (i) zaštitu kupaca od neopravdanih iskapčanja (radi se o starijim osobama, nezaposlenima i osobama s posebnim potrebama); (ii) zaštita temeljnih interesa kupaca: zemlje članice su u obvezi definirati minimum zahtjeva prilikom ugovaranja isporuke energije, transparentnost informacija, te postojanje razvidnog i jeftinog mehanizma rješavanja sporova; (iii) socijalna i ekonomska kohezija u postizanju odgovarajućih mjera kako bi se osigurala isporuka energije uz razumne cijene, primjerice perifernih područja; (iv) zaštita okoliša; (v) sigurnost opskrbe, osiguravanjem odgovarajuće razine održavanja i razvitka infrastrukture, te osobito interkonekcija.

## 2. ISKUSTVA REGULACIJE ENERGETSKOG SEKTORA U NEKIM ZEMLJAMA SVIJETA

### 2.1. Modeli regulacije

Regulacija uobičajeno ima dva aspekta, ekonomski i socijalni. Uobičajeno se aspekti ekonomske i socijalne regulacije vode odvojeno, zbog čega se onda te dvije regulacije uzimaju i provode zasebno. Dakle, govori se o ekonomskoj, odnosno socijalnoj regulaciji. Ekonomska regulacija neposredno je vezana za sektor industrije, i u prvom redu odnosi se na cijene, kvalitetu i pouzdanost opskrbe, uvjete i načine pristupa tržištu, te investicije. Socijalna regulacija ima cilj štititi društvene (socijalne) interese poput zdravlja, sigurnosti i okoliša. Ekonomska regulacija je usmjerena na utvrđivanje uvjeta za rad i kontrolu, a kada je to nužno i akcije prema monopolističkom ili nedovoljno konkurentnom tržištu. Socijalna regulacija je usmjerena na pravo vrednovanje ili ispravljanje eksternalija[2] ili pitanja vezana uz davanje i širenje informacija.

Uobičajeno se ekonomska i socijalna regulacija provodi odvojeno, u zasebnim institucijama. Zaštita okoliša je, uz iznimke, najčešće u nadležnosti ministarstava i regulacijskih institucija, koje nisu odgovorne za energetsku politiku ili energetsku regulaciju.

Kod ekonomske regulacije energetskog sektora prevladavaju tri organizacijska, odnosno institucionalna pristupa pitanju ekonomske regulacije energetskog sektora, i to:

- regulacijsko tijelo koje djeluje odvojeno od ministarstva nadležnog za energetiku,
- ministarstvo nadležno za energetiku koje obavlja većinu regulacijskih aktivnosti,
- regulacijsko tijelo koje djeluje pri ministarstvu nadležnom za energetiku.

Različiti pristupi regulaciji energetskog sektora rezultat su kompromisa između više ciljeva koji su kao zadaci postavljeni pred regulacijsko tijelo. Ovi specifični ciljevi regulacije primjerice odnose se na transparentnost sustava, zaštitu regulacijskog tijela od utjecaja energetskih tvrtki i političkih pritisaka, predvidljivost i stabilnost regulacije po unaprijed poznatim pravilima ili procedurama, te smanjenje utjecaja birokracije. Naravno, često su prisutni i tipični upravljački ciljevi, kao što su troškovna učinkovitost i fleksibilnost.

a) *Regulacijsko tijelo koje djeluje odvojeno od ministarstva nadležnog za energetiku*

Model regulacijskog tijela koje djeluje odvojeno od ministarstva nadležnog za energetiku razvijaju: Australija, Danska, Finska, Francuska, Kanada, Irska, Italija, Portugal, SAD, Švedska, te Ujedinjeno Kraljevstvo. Regulacijom su najčešće obuhvaćeni elektroenergetski i plinski sektor. Regulacijskim tijelom upravlja kole-gijalno tijelo (Vijeće ili Odbor) putem javnih sjednica i drugih oblika suradnje radi postizanja veće transparentnosti. U federalnim državama često su oformljena regulacijska tijela i na federalnoj i na državnoj razini pri čemu se federalna institucija specijalizira za prijenos i veleprodaju električne energije, dok je nadležnost regulacijskog tijela na državnoj razini ograničena na distribuciju i maloprodaju.

b) *Ministarstvo nadležno za energetiku koje obavlja većinu regulacijskih aktivnosti*

Model ministarstva nadležnog za energetiku koje obavlja većinu regulacijskih aktivnosti razvijaju: Austrija, Belgija, Grčka, Japan, Luksemburg, Novi Zeland, Njemačka, Španjolska, Švicarska i Turska. U tri od navedenih država (Belgiji, Luksemburgu i Španjolskoj, a uskoro i u Grčkoj), neovisna savjetodavna agencija pomaže ministarstvu kod rješavanja stručnih pitanja. Pri tome stvarna uloga ministarstva u procesu regulacije najvećim dijelom ovisi o usvojenom regulacijskom okviru.

c) *Regulacijsko tijelo koje djeluje pri ministarstvu nadležnom za energetiku*

Model regulacijskog tijela koje djeluje pri ministarstvu nadležnom za energetiku razvijaju: Češka, Mađarska, Nizozemska, Norveška. Regulacijsko tijelo ovog tipa, iako formalno podređeno nadležnom ministarstvu, osnovano je sa svrhom samostalnog obavljanja svakodnevnih regulacijskih poslova. Opseg regulacijskih aktivnosti gotovo je identičan poslovima koje obavljaju neovisna regulacijska tijela.

---

[1] Naziv dokumenta: Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directives 96/92/EC and 98/30/EC concerning common rules for the internal market in electricity and natural gas; Brussels, 13.3.2001; COM(2001) 125 provisional version ; 2001/0077 (COD); 2001/0078 (COD).

[2] Eksternalije ili eksterni efekti, javljaju se kada proizvodnja ili potrošnja jednog gospodarskog subjekta ne uzrokuje jedino troškove ili koristi njemu samom, već se odražava na troškove ili koristi drugih gospodarskih subjekata. Njihova bit je da se ne javljaju u kalkulacijama potrošača ili proizvođača, pa time nemaju niti adekvatni odraz na cijene proizvoda ili usluga na tržištu.

## 2.2. Organizacija regulacijskih tijela

Ključne opcije organizacije regulacijskih tijela,koje su ujedno i temeljna polazišta za analizu statusa, ustroja, rada i postupanja svakog regulacijskog tijela, prikazani su u tablici 1.

a) *Ciljevi regulacije energetskog sektora*

Dva su primarna cilja ekonomske regulacije energetskog sektora: zaštita kupaca i zaštita ulagača. Kupce je potrebno zaštiti od negativnog utjecaja tvrtki sa znatnom tržišnom snagom, a ulagače od proizvoljnih odluka vlade kao što je

**Tablica 1. Ključne opcije organizacije regulacijskih tijela**

| Područje | Organizacijska pitanja | Ključne opcije |
|---|---|---|
| Misija | Ciljevi | Jedan ili nekoliko ciljeva između:<br>- zaštite kupaca<br>- zaštite investitora<br>- ekonomske učinkovitosti<br>- zaštite konkurencije |
| | Ovlasti | Regulacijske ovlasti: za jednu ili više aktivnosti:<br>- politika udruživanja<br>- politika ulaska u sektor<br>- investicije<br>- privatizacija |
| | Područja koja pokriva | Jedan sektor (energetika) ili više sektora |
| Upravljanje | Struktura donošenja odluka | - jedan član regulacijskog tijela ili kolegijalno tijelo<br>- neparan ili paran broj članova komisije<br>- reizbor ili ne |
| | Imenovanje članova regulacijskog tijela | - imenuje parlament ili vlada<br>- dioničari mogu ili ne mogu biti imenovani |
| | Zaštita neovisnosti | - mandat na raspolaganju<br>- zabrana postojanja sukoba interesa za vrijeme i nakon mandata<br>- stabilni izvori financiranja |
| Regulacijske aktivnosti | Funkcije | Jedna ili više funkcija:<br>- regulacija monopola<br>- tarife kod krajnjih kupaca i standardi kvalitete<br>- nadzor subjekata u sektoru<br>- rješavanje sporova<br>- savjetodavna uloga prema Vladi |
| | Postupanje i prizivni postupak | Postupanje se temelji na:<br>- unaprijed utvrđenim pravilima<br>- pregovorima između dioničara<br>Prizivni postupak:<br>- transparentnost pri donošenju i objavljivanju odluka<br>- neovisno prizivno tijelo ili ne<br>- žalbena osnova ograničena na nepodobno postupanje ili ne |
| | Koordinacija s drugim tijelima | Formalni ili neformalni mehanizmi savjetovanja |
| Izvori financiranja i troškovi | Financiranje | - Definirano ili ne<br>- Iz državnog proračuna ili iz proračuna sektora<br>- Opseg financija<br>- Stabilnost financiranja vezano uz vremensku dinamiku |
| | Ljudski resursi | - Plaće na tržišnoj razini ili prema pravilima za javne službe<br>- Osposobljenost i specijalizacija osoblja<br>- Korištenje vanjskih izvora (instituti, druge stručne i znanstvene institucije) |
| | Izvješćivanje i revizija | - Izvješćivanje parlamenta, ministra nadležnog za energetiku, ostalih ministara<br>- Vanjska revizija |
| Prijelazna pitanja | Strategija započinjanja | - Osnivanje regulacijskog tijela prije ili nakon reforme<br>- Inicijalno, prijelaz osoblja iz ministarstva ili iz sektora gospodarstva, da ili ne? |

npr. utvrđivanje financijski neutemeljenih i neodrživih tarifa. Zadaća je regulacijskog tijela uravnotežiti ova dva cilja. S jedne strane cijene moraju kupce štiti od monopolnog određivanja cijena, a s druge strane omogućiti ulagačima povrat uloženog kapitala uz odgovarajuću zaradu.
Uz to, zadaća regulacijskog tijela može biti i ostvarivanju općih ciljeva, kao što su promocija energetske efikasnosti ili provođenje tržišno usmjerenih reformi. Regulacijska tijela najčešće nemaju zadaću ostvarenja određenih socijalnih ciljeva. U zemljama Europske unije za njihovu realizaciju nadležne su agencije za zaštitu okoliša ili resorna ministarstva.

b) *Ovlasti regulacijskih tijela*

Uz obavljanje regulacijskih funkcija, regulacijsko tijelo može biti nadležno i za druga područja javnog sektora, kao npr. provođenje politike okrupnjavanja poduzeća spajanjem te ostala pitanja vezana uz propise o zaštiti tržišnog natjecanja. Regulacijsko tijelo može samo pomagati tijelu nadležnom za zaštitu tržišnog natjecanja, ali isto tako može i obavljati njegove zadatke poput nadzora nad tržištem, izvješćivanja o mogućem nepoštivanju zakona, davanja savjeta i pravnih lijekova vezano uz pojedine odluke, te u konačnici, preuzeti vodeću ulogu u zaštiti tržišnog natjecanja. U ovom posljednjem slučaju, regulacijsko tijelo i tijelo nadležno za zaštitu tržišnog natjecanja se udružuju u jednu instituciju.
Glavni razlog za zadržavanje odvojenih institucija za regulaciju energetskog sektora od onih za zaštitu tržišnog natjecanja je u tome što su regulacija i politika konkurencije dvije različite aktivnosti koje zahtijevaju različita znanja i specijalizacije. Stoga se može reći da se odvajanjem ovih dviju institucija potiče specijalizacija regulacijskog tijela u jednom sektoru (primjerice u energetici). S druge strane, njihovim spajanjem može se osigurati veći nadzor nad sektorom. Kad su ova dva tijela odvojena, što je danas slučaj u najvećem broju zemalja, regulacijsko tijelo najčešće ima zadaću pomaganja nadležnom tijelu za zaštitu tržišnog natjecanja ili nadopunjavanja njegovih aktivnosti.
Regulacijsko tijelo može, također, biti nadležno za pitanja regulacije ulaska kapitala i ulaganja ili utvrđivanja privatizacijskih planova. Njegova je uloga često i savjetodavna. U situaciji kad su mu podijeljene izvršne ovlasti, njegova je važnost gotovo identična važnosti resornog ministarstva.

c) *Područja regulacije*

Regulacijsko tijelo može pokrivati samo jednu djelatnost, cijeli sektor ili više sektora. Prednosti pokrivanja cijelog sektora su u uštedama prilikom obavljanja ovih aktivnosti, npr. prikupljanje informacija i njihova obrada. U ocjeni važnosti ovih ušteda, važan faktor je veličina samog sektora koja je predmet regulacije. U maloj je državi, iz razloga ekonomije obujma, preskupo osnivati nekoliko zasebnih institucija (primjerice samo za električnu energiju, samo za plin). I obrnuto, zbog ekonomije obujma u velikoj državi često je opravdano osnovati zasebne institucije za pojedine sektore.

d) *Imenovanje članova regulacijskog tijela, tj. vijeća ili odbora*

Ključni kriteriji za izbor i imenovanje članova vijeća ili odbora regulacijskih tijela (commisssioners) su visoke profesionalne i ljudske kvalitete. Njihovim zadovoljenjem osigurava se preduvjet za obavljanje regulacijskih funkcija i neovisnost regulacijskog tijela. Postoje brojni primjeri u praksi razvijenih zemalja u kojima su promjene u sastavu regulacijskog tijela značajno utjecale na stavove oko ključnih pitanja poput razine cijena, restrukturiranja, te konkurencije. Na isti način, i određeni pravni okvir može dovesti do rezultata koji nisu uvijek identični, što pak ovisi o osobnosti i prioritetima samih članova vijeća ili odbora.
Nužne osobine članova vijeća ili odbora su: sposobnost samostalnog donošenja odluka, te sposobnost da se odupre raznim pritiscima. Od manje važnosti su posjedovanje tehničkog iskustva vezanog uz funkcioniranje samog sektora koji se regulira. Dionićari se najčešće isključuju iz procesa selekcije kandidata kako bi se izbjegao konflikt interesa i zaštitila neovisnost regulacijskog tijela. Imenovanje članova regulacijskog tijela provodi parlament, vlada ili, što je slučaj u najvećem broju zemalja, parlament na prijedlog vlade.

e) *Neovisnost regulacijskog tijela*

Nekoliko je načina zaštite neovisnosti vijeća ili odbora regulacijskih tijela, a najčešći je izborom na fiksno vrijeme s mogućnošću reizbora (najčešće do ukupno sedam godina). Smjenjivanje s položaja može se dogoditi samo u određenim okolnostima kao što je slučaj mentalne nesposobnosti ili dokazane korumpiranosti. Sukob interesa za vrijeme trajanja mandata kao i nakon njegova isteka može se izbjeći: zabranom imanja bilo kakvog financijskog interesa u reguliranoj tvrtki, zabranom rada za tvrtku (koju regulira) nakon napuštanja službenog radnog prostora (ureda), te zabranom primanja bilo kakvog oblika financijske pomoći iz reguliranih tvrtki.

f) *Djelokrug rada regulacijskog tijela*

Regulacijsko tijelo u okviru svoje nadležnosti može obavljati sljedeće poslove:

- reguliranje monopola ili javne usluge (cijene korištenja mreže, uvjeti pristupa mreži, pravila za vođenje sustava i za osiguranje pouzdanosti sustava),
- određivanje tarifa za krajnje kupce,
- nadzor standarda kvalitete i izvedbe,
- provođenje općih uvjeta, propisa i standarda,
- reguliranje ulaska energetskih subjekata u sektor (dozvole) i nadzor nad tržištem,
- savjetovanje vlade,
- rješavanje sporova.

Naravno, svaka zemlja vlastitim pravnim okvirom definira ovlasti i funkcije regulacijskog tijela. Stoga stvarna alokacija funkcija ovisi o regulacijskom okviru (što se regulira?) kao i o institucionalnoj strukturi (kako su regulacijske funkcije podijeljene između ministarstva nadležnog za energetiku, regulacijskog tijela i drugih institucija?). Postoji široka lepeza mogućnosti. Regulacijske funkcije se mogu dodijeliti isključivo jednoj instituciji ili, što je najčešći slučaj, dvjema ili većem broju institucija. Tako, primjerice, dobivanje dozvola može biti regulirano na način da je potrebno dobiti dozvolu i od ministarstva nadležnog za energetiku i od regulacijskog tijela. Zakonodavna tijela mogu promijeniti sustav regulacije donošenjem novih zakona ili izmjenom postojećih.
Regulacijske funkcije mogu se alocirati prema svojoj ekonomskoj ili socijalnoj naravi. U tom slučaju, regulacijsko tijelo nadležno je za ekonomsku regulaciju, odnosno regulaciju monopola ili javne usluge. Rjeđi je slučaj da regulacijsko tijelo ima ovlasti socijalne naravi, npr. ublažavanja siromaštva omogućavajući pristup osnovnim energetskim uslugama stanovništvu s nižim socijalnim statusom.

Regulacijske funkcije, mogu biti alocirane i prema načelu da institucija koja izrađuje pravila nema ovlasti za njihovo stavljanje na snagu, nego je za to ovlaštena druga institucija. Time je odijeljena funkcija izrade i kreiranja propisa od funkcije njihovog provođenja u praksi, što ima za cilj izbjegavanje sukoba interesa.

g) *Postupanje regulacijskog tijela i prizivni postupak*

Postupanje regulacijskog tijela ex ante ima za svrhu osiguranje pravednih i nepristranih tržišnih uvjeta za sve sudionike. Stoga je takvo postupanje izričito regulirano i formalno. Alternativno, postupanje se može fokusirati na postizanje sporazuma između energetskih subjekata, pa pravila postupka mogu biti fleksibilna. Treća je mogućnost da regulacijsko tijelo provodi nadzor nad gospodarskim subjektima i intervenira u slučaju potrebe. Regulacijska tijela najčešće primjenjuju kombinaciju sva tri pristupa. Sva postojeća regulacijska tijela promiču transparentnost i predvidljivost svoga postupanja, što uključuje javne rasprave te sjednice regulatora prije donošenja i objavljivanja odluke i njena obrazloženja.

Žalbeni postupak može se voditi povodom materijalnih, odnosno formalnih pogrješaka. Bitno je da nadležno drugostupanjsko tijelo ne može nametati svoje odluke regulacijskom tijelu. Druga je mogućnost da se meritum odluke dostavi na uvid drugostupanjskom tijelu. U ovom je slučaju neovisnost regulacijskog tijela znatno oslabljena. U načelu, formalno postupanje smanjuje regulacijske rizike, ali zahtijeva više resursan kao što su pravni savjetnici i slično. Smatra se da bi prizivi na odluke regulacijskog tijela trebali biti upućeni sudu.

h) *Koordinacija s drugim tijelima*

S obzirom na sve veći broj institucija koje reguliraju energetski sektor u pojedinim zemljama, javlja se potreba za koordinacijom njihovih aktivnosti. Time se osigurava smanjenje troškova za regulirane subjekte. Koordinacija se može temeljiti na formalnim pravilima kojima se definira sama procedura ili na neformalnim sporazumima o suradnji.

*i) Financiranje rada regulacijskog tijela*

Učinkovito upravljanje regulacijskim aktivnostima, sasvim sigurno zahtijeva određene ljudske i financijske potencijale. Regulacijska tijela najčešće posluju sa zasebnim proračunom koji odobrava vlada ili parlament. Time se osigurava određeni stupanj autonomije u poslovanju regulacijskog tijela. Sredstva se mogu osigurati općim porezima iz državnog proračuna ili, što je češći slučaj, iz zasebnih naknada koje plaćaju regulirani subjekti poput naknada na krajnju potrošnju ili naknada za korištenje mreže. Veličina i stabilnost financijskih sredstava su izuzetno značajni za učinkovito poslovanje samog tijela.

k) *Ljudski resursi*

Pred onima koji upravljaju ljudskim resursima je zadaća osigurati ljude koji su sposobni nadmetati se s upravama reguliranih tvrtki. Stoga su, kao rezultat prethodno rečenog, plaće članova regulacijskog tijela često na tržišnoj razini i izuzete iz pravila o plaćama javnih službi. Zauzvrat, regulacijska tijela za obavljanje svojih aktivnosti koriste usluge stručnih, konzultantskih tvrtki te organiziraju i sudjeluju u specijalističkim programima za obuku ljudi, osobito u početnoj fazi organiziranja regulacijskog tijela.

k) *Izvješćivanje i revizija*

Regulacijsko tijelo za svoje poslovanje odgovara najčešće parlamentu ili ministru nadležnom za energetiku. Poslovanje regulacijskog tijela podliježe reviziji i drugim oblicima kontrole, koja je u skladu s procedurom primjenjivom i na ostale institucije javnog sektora.

l) *Strategija početka rada regulacijskog tijela*

Neka tranzicijska pitanja se postavljaju istodobno s osnivanjem regulacijskog tijela. Pitanje vremena početka rada vezano je uz osnivanje regulacijskog tijela, a odnosi se na to da li regulacijsko tijelo oformiti prije ili nakon reforme, što utječe na sagledavanje procesa reforme iz perspektive reguliranih subjekata i što predodređuje njegovu ulogu u utvrđivanju regulacijskog okvira sektora. Stoga financiranje, pogotovo ako ono prethodi procesu reforme, može biti osigurano iz proračuna. Privremenim transferom ljudi iz energetskog sektora ili iz ministarstva mogu se osigurati manje raspoloživa specijalistička znanja.

m) *Ostala pitanja*

Ostala pitanja vezana uz dizajn regulacijskog tijela se odnose na povezanost s drugim institucijama. Mogu se uspostaviti formalne procedure za regulaciju odnosa s ministarstvima, tijelima za zaštitu konkurencije (tržišnog natjecanja), i drugim institucijama. Regulacija se može provoditi detaljno utvrđenim pravilima i postupcima kojima se određuju prava i obveze reguliranih subjekata u sektoru (regulacija temeljem ugovora) ili se može temeljiti na više općenitih pravila. Zapravo su ova pravna pitanja najvećim dijelom određena administrativnim i pravnim sustavom svake zemlje pojedinačno.

Pristup informacijama je također jako važan. Regulacijsko tijelo mora biti u mogućnosti tražiti od regulirane tvrtke da pripremi nove informacije u posebnom formatu. Jedino u tom slučaju regulacijsko tijelo može nadzirati regulirane tvrtke. Regulacijsko tijelo je ovlašteno od regulirane tvrtke tražiti dostavu podataka na obrascima čiju formu je prethodno utvrdilo.

## 3. ULOGA SUBJEKATA U REGULACIJI ENERGETSKIH DJELATNOSTI U REPUBLICI HRVATSKOJ

Uloga pojedinih subjekata u Republici Hrvatskoj vezano uz regulaciju javnih energetskih usluga su:

**Hrvatski sabor:** (1) utvrđuje zakonski okvir energetskog sektora, time i regulacije; (2) prima izravno izvješća od Vijeća za regulaciju i podupire autonomiju Vijeća za regulaciju; (3) pregledava i odobrava financijske prijedloge i globalnu energetsku politiku, iskazanu razvojnom strategijom; 4) imenuje predsjednika, zamjenika predsjednika i ostale članove Vijeća za regulaciju i razrješava ih.

**Vlada Republike Hrvatske:** (1) predlaže Hrvatskom saboru financiranje energetskih potreba; (2) utvrđuje energetsku politiku, uključujući principe zaštite okoliša, kao što je energetska učinkovitost i proizvodnja energije iz obnovljivih izvora; (3) donosi stanovite odluke ili regulativu, skicirajući opća načela kojih će se Vijeće za regulaciju pridržavati; (4) predlaže Hrvatskom saboru predsjednika, zamjenika predsjednika i ostale članove Vijeća za regulaciju; (5) donosi uredbu o načinu financiranja rada Vijeća za regulaciju; (6) daje prethodnu suglasnost na statut i godišnji financijski

plan sredstava za rad Vijeća za regulaciju i zaključni račun tih sredstava.

**Ministarstvo nadležno za energetiku:** (1) predlaže energetske potrebe i politiku prema Vladi Republike Hrvatske; (2) izrađuje nacrte sekundarne legislative i/ili pravila u suradnji s Vijećem za regulaciju, kako bi uspostavilo opća načela kojih će se Vijeće za regulaciju pridržavati.

**Lokalne i regionalne vlasti:** (1) reguliraju energetske usluge na lokalnoj i regionalnoj razini, uključujući proizvodnju i opskrbu toplinskom energijom, javnu rasvjetu i distribuciju plina; (2) sudjeluju u donošenju odluka za smještaj i izgradnju novih elektrana, mreža i ostalih infrastrukturnih objekata i postrojenja.

**Kupci:** (1) promptno plaćaju račune, (2) prate rasprave koje vodi Vijeće za regulaciju; (3) uključuju se u proces javnih rasprava, kako bi se ojačala transparentnost samog regulacijskog sustava.

**I konačno, Vijeće za regulaciju:** nadzire sektor, prikuplja informacije za kreatore energetske politike. Uloga Vijeća za regulaciju uključuje: (1) utvrđivanje tarifa temeljenih na prijedlozima reguliranih energetskih subjekata; (2) izdavanje dozvola i osiguravanje poštivanja uvjeta iz dozvola; (3) nadzor tržišta, uključujući i operatore tržišta i mreže, kako bi se osiguralo ispravno funkcioniranje i rad tržišta; (4) zaštita kupaca; (5) rješavanje sporova između energetskih subjekata; (6) odobravanje tržišnih pravila, pravila pogona i upravljanja sustavom, mrežnih pravila (Grid Code, Distribution Code). Detaljnije se obveze, odgovornosti i poslovi Vijeća za regulaciju izlažu u nastavku.

Republika Hrvatska je paketom od pet energetskih zakona uspostavila odgovarajući osnovni zakonski okvir za regulaciju energetskog sektora. U tijeku je izrada niza podzakonskih akata i drugih dokumenata kojima se nastoje uspostaviti razvidna i nediskriminirajuća pravila za uspostavu energetskih tržišta električne energije, plina, nafte i naftnih derivata i toplinske energije, odnosno za uspostavu i obnašanje tržišnih djelatnosti i javnih usluga. Značajan dio tih aktivnosti odnosi se na uspostavu razvidnih regulacijskih mehanizama koji će jamčiti provedbu regulacijskih pravila utemeljenih na zakonima, a koje će provoditi nezavisno regulacijsko tijelo - Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti. U svojim pravima i obvezama Vijeće za regulaciju ima jake izvršne ovlasti koje obvezuju sve energetske subjekte, a protiv njegovih akata i odluka nezadovoljna strana, smatra li da je odluka neutemeljena na zakonu ili proceduralno krivo donesena, može pokrenuti upravni spor. Zbog toga regulacijsko tijelo mora vrlo pažljivo i na zakonu utemeljeno donositi svoje odluke.

## 4. DJELOKRUG RADA VIJEĆA ZA REGULACIJU

Vijeće za regulaciju je neovisna pravna osoba koja obavlja poslove koji su joj stavljeni u djelokrug Zakonom o regulaciji energetskih djelatnosti, Zakonom o energiji i zakonima kojima se uređuje obavljanje energetskih djelatnosti na tržištu ili kao javnih usluga radi osiguravanja preglednog i nepristranog tržišta energije[3].

Vijeće za regulaciju obavlja poslove izdavanja i oduzimanja dozvola za obavljanje energetske djelatnosti u skladu sa Zakonom o energiji i Pravilnikom o uvjetima za obavljanje energetske djelatnosti i obliku, sadržaju i načinu vođenja registra dozvola za obavljanje energetske djelatnosti[4], a osobito:

- izdaje rješenja kojim se dozvoljava obavljanje energetske djelatnosti,
- predlaže trajanje razdoblja za koje se izdaje dozvola ovisno o vrstama i kapacitetu energetske djelatnosti,
- izdaje rješenja kojima se uskraćuje dozvola za obavljanje energetske djelatnosti,
- izdaje rješenja kojima se trajno ili privremeno oduzima dozvola za obavljanje energetske djelatnosti prije isteka njenoga važenja, ako postoje zakonom propisani razlozi,
- izdaje rješenja kojima se dozvoljava obavljanje energetske djelatnosti, bez obzira što postoje razlozi za privremeno ili trajno oduzimanje dozvole, kada je to nužno radi osiguranja redovite i sigurne opskrbe energijom,
- izdaje rješenja kojima nalaže energetskom subjektu kojemu je oduzeta dozvola za obavljanje djelatnosti ili koji je prestao obavljati djelatnost, da svoje objekte, uređaje, mrežu, odnosno sustav preda na korištenje drugom energetskom subjektu radi osiguranja redovite i sigurne opskrbe energijom, kako bi se spriječile ili otklonile veće štete u poslovanju pravnih osoba i životu i radu fizičkih osoba, a osobito opasnost koja može nastati za život i zdravlje građana,
- izdaje dozvolu za obavljanje djelatnosti opskrbe električnom energijom povlaštenih kupaca,
- obavlja druge poslove vezano uz dozvole za obavljanje energetske djelatnosti predviđene zakonom, Pravilnikom o uvjetima za obavljanje energetske djelatnosti i obliku, sadržaju i načinu vođenja registra dozvola za obavljanje energetske djelatnosti.

Vijeće za regulaciju obavlja poslove u svezi s reguliranjem cijena energije koje se obavljaju kao javne usluge, a osobito:

- daje suglasnost na određivanje naknade za snošenje naslijeđenih troškova u cijeni energije, na traženje energetskog subjekta koji je nositelj obveze javne usluge,
- daje prethodno mišljenje o tarifnim sustavima koje donosi Vlada Republike Hrvatske,
- nadzire primjenu tarifnih sustava,
- utvrđuje iznos naknade za korištenje prijenosne i distribucijske mreže temeljem mjerila određenih općim aktom Vijeća za regulaciju,
- donosi tarifu za transport nafte naftovodom i transport naftnih derivata produktovodom,
- odlučuje o opravdanosti troškova i drugih elemenata cijena za korištenje mreža, odnosno sustava temeljem podataka i mjerila za ocjenjivanje opravdanosti troškova određenih općim aktom Vijeća.

---

[3] Sve zadaće i poslovi, tj. djelokrug rada i odgovornosti Vijeća za regulaciju navedeni su u Zakonu o energiji, Zakonu o regulaciji energetskih djelatnosti, Zakonu o tržištu električne energije, Zakonu o tržištu plina te Zakonu o tržištu nafte i naftnih derivata, ("Narodne novine"68/01, 109/01).

[4] Temeljem članka 17. stavka 2. Zakona o energiji Ministar gospodarstva će donijeti Pravilnik o uvjetima za obavljanje energetske djelatnosti i o obliku, sadržaju i načinu vođenja registra dozvola za obavljanje energetske djelatnosti.

Energetski subjekt može graditi objekte za proizvodnju električne energije za tarifne kupce na temelju provedenog natječaja i odobrenja kojeg izdaje Vijeće za regulaciju. Vijeće za regulaciju odlučuje o izgradnji novih objekata za proizvodnju električne energije za tarifne kupce. Provedbena procedura zasniva se na natječaju po unaprijed poznatim uvjetima, pri čemu na konačnu odluku najviše utječe najniža cijena proizvedene električne energije.

Vijeće za regulaciju odlučuje u sporovima i donosi rješenja:

- povodom žalbe koju je izjavila Vijeću za regulaciju stranka kojoj je odbijen pristup elektroenergetskoj prijenosnoj ili distribucijskoj mreži ili je nezadovoljna uvjetima pristupa,
- povodom žalbe koju je izjavila stranka Vijeću za regulaciju kojoj je odbijen pristup plinskom transportnom ili distribucijskom sustavu ili je nezadovoljna uvjetima pristupa.

Vijeće za regulaciju sudjeluje u postupku izrade i donošenja dokumenata, a osobito:

- daje mišljenje o Općim uvjetima za opskrbu energijom koje propisuje Vlada Republike Hrvatske,
- daje prethodnu suglasnost na plan razvoja i izgradnju prijenosne mreže koji donosi operator sustava u suradnji s energetskim subjektom za prijenos električne energije,
- daje prethodnu suglasnost na plan razvoja i izgradnju distribucijske mreže koji donosi energetski subjekt za distribuciju električne energije,
- daje prethodnu suglasnost na pravila djelovanja tržišta koja objavljuje operator tržišta,
- daje suglasnost na tehničke uvjete za pristup pravnih i fizičkih osoba plinskim transportnim kapacitetima,
- omogućava objavljivanje temeljnih tržišnih uvjeta za pristup transportnom sustavu koje donose transporter plina,
- daje prethodno mišljenje ministru nadležnom za energetiku o mrežnim pravilima.

Vijeće za regulaciju provodi nadzor nad poslovanjem energetskih subjekata, a osobito:

- zahtijeva od energetskih subjekata podatke, izvješća i dokumentaciju čiji su sadržaj, oblik i učestalost dostave određeni općim aktom Vijeća za regulaciju,
- nadzire rad operatora tržišta koji je odgovoran za organiziranje tržišta električne energije,
- obavlja uvid u ugovore za dobavu plina,
- daje suglasnost dobavljaču plina za sklapanje novih ugovora tipa "vozi ili plati" i "puno za prazno",
- daje odobrenje za izgradnju izravnog voda,
- daje odobrenje za pristup i korištenje sustava za proizvodnju prirodnog plina.

Osim zadataka utvrđenih u prethodnim stavcima Vijeće za regulaciju obavlja i sljedeće zadatke:

- izdaje rješenje o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača u skladu s uvjetima koje propisuje ministar,
- vodi evidenciju o prigovorima krajnjih kupaca (potrošača) na rad energetskog subjekta,
- izvješćuje najmanje jedanput godišnje Hrvatski sabor i Vladu Republike Hrvatske o svome radu i zapažanjima koja su od važnosti za razvoj energetskog tržišta i javnih usluga,
- surađuje s nadležnim tijelima i inspekcijama,
- izdaje godišnja izvješća za javnost,
- izdaje glasilo Vijeća za regulaciju,
- surađuje s međunarodnim institucijama iz područja nadzora i regulacije energetskih tržišta,
- donosi Statut kojeg potvrđuje Vlada Republike Hrvatske,
- donosi opće akte utvrđene Statutom,
- donosi pojedinačne akte u obavljanju javnih ovlasti. Pojedinačni akti koje Vijeće za regulaciju donosi u obavljnju javnih ovlasti konačni su. Protiv akata Vijeća za regulaciju nezadovoljna strana može pokrenuti upravni spor.
- donosi godišnji financijski plan sredstava za rad Vijeća i zaključni račun tih sredstava,
- poduzima druge mjere i obavlja druge poslove predviđena zakonom, ovim Statutom i općim aktima Vijeća za regulaciju.

Kada energetski subjekt obavlja dvije ili više energetskih djelatnosti ili uz energetsku djelatnost obavlja i drugu djelatnost dužan je voditi poslovne knjige i sastavljati financijska izvješća za svaku energetsku djelatnost posebno i odvojeno od drugih djelatnosti, prema propisima o računovodstvu poduzetnika.

Energetski subjekt koji je nositelj obveze javne usluge ima pravo na pomoć pri snošenju naslijeđenih troškova. Energetski subjekt koji je nositelj obveze javne usluge treba utvrditi iznos naslijeđenih troškova i zatražiti suglasnost Vijeća za regulaciju za određivanje naknade za snošenje tih troškova u cijeni energije.

Cijene energije mogu biti slobodne ili regulirane. Regulirane cijene određuju se primjenom tarifnih sustava. U cijeni energije sadržane su:

- naknada za usluge energetskih djelatnosti koje se obavljaju kao javne usluge,
- naknada za obavljanje poslova regulacije energetskih djelatnosti,
- naknada za snošenje naslijeđenih troškova.

Tarifne sustave donosi Vlada Republike Hrvatske na prijedlog energetskih subjekata, a po pribavljenom mišljenju Ministarstva i Vijeća za regulaciju. Primjenu tarifnih sustava nadzire Vijeće za regulaciju.

Opće uvjete za opskrbu energije propisuje Vlada Republike Hrvatske, na prijedlog ministra, a po pribavljenom mišljenju Vijeća za regulaciju.

### 4.1. Regulacijski okvir za plin

Energetske djelatnosti: dobava plina i distribucija plina obavljaju se prema pravilima kojima se uređuju tržišni odnosi. Djelatnost transporta plina obavlja se kao javna usluga.

Za dobavu plina i ugovaranje uvoznih količina odgovoran je dobavljač plina, a ugovor o dobavi plina dostavlja se Ministarstvu i Vijeću za regulaciju. Dobavljač plina može sklopiti nove ugovore tipa vozi ili plati" ili puno za prazno" samo uz suglasnost Vijeća za regulaciju.

Pristup i korištenje sustava za proizvodnju prirodnog plina uređuje se međusobnim ugovorom između osobe koja traži pristup sustavu i ovlaštenika koncesije ili vlasnika objekta, uz odobrenje Vijeća za regulaciju. Vijeće također odobrava i pristup i korištenje sustava za proizvodnju prirodnog plina, odnosno njegova skladištenja u geološkim strukturama, ka-

da se to uređuje međusobnim ugovorom između osobe koja traži pristup sustavu i ovlaštenika koncesije ili vlasnika proizvodnih, transportnih i skladišnih kapaciteta.

Transporter plina izrađuje i donosi razvojne planove za razvoj, izgradnju i modernizaciju plinskoga transportnog sustava sukladno odredbama Zakona o energiji. Te razvojne planove odobrava odgovarajuće Ministarstvo koje je odgovorno za kontinuitet i sigurnost opskrbe prirodnim plinom u okviru cjelovite energetske politike države. Za pouzdan i ekonomičan transport plina, za razvoj, izgradnju, održavanje, upravljanje i nadzor cijeloga transportnog sustava do izravnih kupaca ili distributera, te ostale poslove nužne za tehničko funkcioniranje sustava izgradnju i održavanje plinskoga transportnog sustava, odgovoran je transporter plina. Za izgradnju i održavanje distribucijskog sustava plinovoda, te za pouzdanu i ekonomičnu distribuciju plina do kupaca odgovoran je distributer plina koji je ovlašten za obavljanje te djelatnosti na temelju koncesije.

Transporter plina mora javno objaviti temeljne tržišne uvjete za pristup transportnom sustavu i učiniti ih dostupnim svim zainteresiranim energetskim subjektima tržišta plina njihovim objavljivanjem u javnom tisku i/ili u glasilu Vijeća za regulaciju. Transporter plina jamči pouzdanu i kvalitetnu dopremu plina od ulaza u plinski transportni sustav na području Republike Hrvatske do primopredajnih mjerno redukcijskih stanica distributera plina, odnosno izravnih i povlaštenih kupaca.

Transporter plina sukladno načelu pregovornog pristupa treće strane omogućuje pristup plinskom transportnom sustavu dobavljačima plina i/ili povlaštenim kupcima na nepristran i razvidan način. Navedeni energetski subjekti dalje pregovaraju o komercijalnim, tehničkim i drugim uvjetima pristupa plinskom transportnom sustavu te sklapaju ugovore o transportu plina.

Dobavljač plina za distributere plina i izravne kupce plina dužan je sklopiti ugovor o prodaji plina sa distributerom plina i izravnim kupcem koji je priključen na plinski transportni sustav. Dobavljač plina obvezan je distributerima plina i izravnim kupcima osigurati ugovorene količine plina, ali i jamčiti pouzdanost dobave sklapanjem odgovarajućih ugovora o kupnji dovoljnih količina plina, o zakupu transportnih kapaciteta i pristupu na transportni sustav, ugovora o skladištenju plina, skladištenju odgovarajućih pričuva plina i na drugi odgovarajući način.

Položaj povlaštenih kupaca plina stječu:

- kupci koji kupuju plin za proizvodnju električne energije neovisno o iznosu godišnje potrošnje i u granicama količine plina namijenjene takvoj uporabi,
- kupci koji kupuju plin za istodobnu proizvodnju električne i toplinske energije, neovisno o iznosu godišnje potrošnje i u granicama količine plina namijenjene takvoj uporabi,
- kupci koji kupuju plin samo za vlastite potrebe i čija je godišnja potrošnja veća od sto milijuna prostornih metara plina.

Jednom stečeni položaj povlaštenog kupca ne može se izgubiti bez obzira na promjenu parametara temeljem kojih je povlašteni status stečen. Iznimka je slučaj kad povlašteni kupac sam značajno promijeni uvjete na temelju kojih je stekao ovaj položaj.

Uvjeti koje su obvezni ispuniti dobavljač i povlašteni kupac da bi pristupili plinskom transportnom sustavu određuju se Mrežnim pravilima. Prijedlog Mrežnih pravila utvrđuje transporter plina, a donosi ministar uz prethodno mišljenje Vijeća za regulaciju. Transporter plina može odbiti pristup transportnom sustavu u slučaju nedostatka kapaciteta ili u slučaju kad bi mu pristup plinskom transportnom sustavu mogao prouzročiti ozbiljne gospodarske ili financijske poteškoće s obzirom na ugovore tipa vozi ili plati" i/ili puno za prazno" , sklopljene prije podnošenja spornog zahtjeva. Stranka kojoj je odbijen pristup plinskom transportnom sustavu, ili koja ima prigovore na uvjete pristupa, može izjaviti žalbu Vijeću. Rješenje Vijeća je konačno i protiv njega se može pokrenuti upravni spor. Kad prigovor podnosi povlašteni kupac, Vijeće je dužno donijeti odluku po hitnom postupku. Transporter plina može odbiti pristup plinskom transportnom sustavu pravnoj ili fizičkoj osobi iz druge zemlje ako ne postoji uvjet uzajamnosti. U skladu s međunarodnim ugovorima koji obvezuju Republiku Hrvatsku, transporter plina mora obaviti tranzit plina pod uvjetima i na način u skladu s odredbama koje se odnose na pristup povlaštenih kupaca plina.

Povlašteni kupac i/ili dobavljač prirodnog plina koji žele ugovoriti opskrbu plina, ali zbog tehničkih ili drugih razloga ne mogu dobiti pristup plinskom transportnom sustavu, mogu izgraditi vlastiti izravni plinovod. Izgradnji izravnog plinovoda može se pristupiti samo na temelju odgovarajućeg odobrenja Vijeća.

Po Zakonu o tržištu plina djelatnost distribucije plina obavlja se na temelju koncesije koju nakon provedenoga javnog natječaja daje jedinica područne (regionalne) samouprave. Nadležnost da propiše uvjete i način obavljanja djelatnosti distribucije plina, prava i obveze distributera plina, prava i obveze korisnika usluge distribucije plina te način osiguranja sredstava za izgradnju sustava imaju nadležni ministri. Međutim, pravo je i jedinica područne (regionalne) samouprave da pobliže urede uvjete i način obavljanja djelatnosti distribucije plina na vlastitom području.

Djelatnosti i nadležnosti distributera plina su:

- razvoj, izgradnja, održavanje, upravljanje i nadzor distribucijskog sustava te provođenje tehničkih i sigurnosnih propisa,
- usklađivanje djelovanja distribucijskog sustava s transportnim sustavom te pružanje usluga distribucijskog sustava.

Važna odredba Zakona je da je distributer plina dužan priključiti svakog kupca koji se nalazi na njegovom distribucijskom području na njegov zahtjev, na temelju nepristranih i razvidnih mjerila ako postoji dovoljan kapacitet sustava, te ako su zadovoljeni tehnički i komercijalni uvjeti. Opskrbu plinom krajnjeg kupca u distribuciji može obavljati distributer plina koji raspolaže dovoljnim kapacitetom distribucijskog sustava, te uređajima i postrojenjima tehničkih karakteristika koje omogućuju isporuku plina. Stranka kojoj je odbijen pristup plinskom distribucijskom sustavu, ili koja ima prigovor na uvjete pristupa, može uložiti žalbu Vijeću. Rješenje Vijeća je konačno i protiv njega se može pokrenuti upravni spor.

### 4.2. Regulacijski okvir za električnu energiju

Da bi se potpunije izložio regulacijski okvir električne energije, nužno je poći od zakonodavnog okvira energetskih djelatnosti koje su vezane za električnu energiju. Energetske djelatnosti u segmentu električne energije su:

- proizvodnja električne energije,
- prijenos električne energije,
- distribucija električne energije,
- opskrba električnom energijom,
- vođenje elektroenergetskog sustava,
- organiziranje tržišta električnom energijom.

Od energetskih djelatnosti u svezi s električnom energijom kao javne usluge obavljaju se:

- proizvodnja električne energije za tarifne kupce,
- prijenos električne energije,
- distribucija električne energije,
- organiziranje tržišta električne energije,
- opskrba električnom energijom tarifnih kupaca,
- vođenje elektroenergetskog sustava.

Kao tržišne, što znači da energetski subjekti slobodno dogovaraju količinu i cijenu isporučene električne energije, sklapanjem kratkoročnih i dugoročnih ugovora ili izravno na organiziranom tržištu električne energije, obavljaju se energetske djelatnosti:

- proizvodnja električne energije za povlaštene kupce,
- opskrba električnom energijom povlaštenih kupaca.

Primjenom Tarifnih sustava određuju se cijene:

- proizvodnje električne energije, s izuzetkom proizvodnje za povlaštene kupce,
- prijenosa električne energije,
- distribucije električne energije,
- opskrbe električne energije, s izuzetkom povlaštenih kupaca,
- vođenja elektroenergetskog sustava,
- organiziranja tržišta električne energije.

Objekte, uređaje i mrežu, koji se koriste za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije, mogu graditi energetski subjekti koji imaju dozvolu za obavljanje energetske djelatnosti.

Zakonske odredbe utvrđuju i status tzv. povlaštenih proizvođača. To su oni proizvođači, odnosno energetski subjekti koji u pojedinačnim proizvodnim objektima istodobno proizvode električnu i toplinsku energiju, koriste otpad ili obnovljive izvore energije na gospodarski primjeren način u skladu s mjerama zaštite okoliša. Položaj povlaštenog proizvođača energetski subjekt stječe na temelju rješenja Vijeća za regulaciju u skladu s uvjetima koje propisuje ministar.

Izgradnja objekata za proizvodnju električne energije za povlaštene kupce je slobodna odluka energetskog subjekta koji ima odgovarajuću dozvolu i autorizirani status za izgradnju i pogon objekta.

Plan razvoja i izgradnje prijenosne mreže za razdoblje do tri godine donosi operator sustava u suradnji s energetskim subjektom za prijenos električne energije, uz prethodnu suglasnost Vijeća za regulaciju. Plan razvoja i izgradnje distribucijske mreže za razdoblje do tri godine donosi energetski subjekt za distribuciju električne energije, uz prethodnu suglasnost Vijeća za regulaciju. Navedeni planovi donose se u skladu sa Strategijom energetskog razvitka i Programa provedbe Strategije energetskog razvitka.

Vijeće za regulaciju na prijedlog energetskog subjekta za prijenos električne energije i energetskog subjekta za distribuciju električne energije utvrđuje iznose naknada za korištenje prijenosne, odnosno distribucijske mreže. U naknade za korištenje prijenosne mreže i distribucijske mreže uključuju se proporcionalni razvojni troškovi, koji su u svezi s prihvaćenim planovima razvoja i izgradnje.

Proizvođač električne energije, odnosno povlašteni kupac električne energije kojima je odbijen pristup mreži ili su nezadovoljni uvjetima za pristup mogu izjaviti žalbu Vijeću za regulaciju. Rješenje Vijeća za regulaciju je konačno i protiv njega se može podnijeti tužba Upravnom sudu.

Kada proizvođač električne energije i kupac namjeravaju sklopiti ugovor o isporuci, odnosno o opskrbi električnom energijom, a nisu mogli dobiti pristup mreži, uz suglasnost Vijeća za regulaciju mogu izgraditi izravan vod.

Pogon i način vođenja prijenosne mreže i distribucijske mreže u elektroenergetskom sustavu uređuje se Mrežnim pravilima. Prijedlog Mrežnih pravila utvrđuje operator sustava u suradnji s energetskim subjektom za prijenos električne energije i energetskim subjektom za distribuciju električne energije, a donosi ih ministar, nakon pribavljenog mišljenja Vijeća za regulaciju.

Za obavljanje usluge opskrbe električnom energije tarifnih kupaca i povlaštenih kupaca potrebno je pribaviti dozvolu.

Operator sustava osigurava pristup mreži za treću stranu na reguliranoj osnovi. Operator sustava u suradnji s operatorom tržišta Vijeću za regulaciju daje informacije o budućim potrebama za električnom energijom. Operator sustava izvješćuje Vijeće o prigovorima na svoj rad i o njihovom rješavanju.

Operator tržišta obavlja svoju zadaću uz poštovanje načela razvidnosti, objektivnosti i nezavisnosti, pod nadzorom Vijeća za regulaciju. Operator tržišta je odgovoran za javno objavljivanje cijena za vremensko razdoblje koje odredi Vijeće za regulaciju. Operator tržišta električnom energijom objavljuje pravila djelovanja tržišta električnom energijom uz prethodnu suglasnost Vijeća.

Energetski subjekti koji proizvode električnu energiju ili toplinsku energiju ili proizvode ili uvoze naftu i naftne derivate (osim tranzita) moraju, pored obveznih rezervi prema posebnom zakonu, formirati i obnavljati operativne rezerve.

### 4.3. Regulacijski okvir za naftu i naftne derivate

Tarifu za transport nafte naftovodom i transport naftnih derivata produktovodom donosi Vijeće za regulaciju na prijedlog energetskog subjekta .

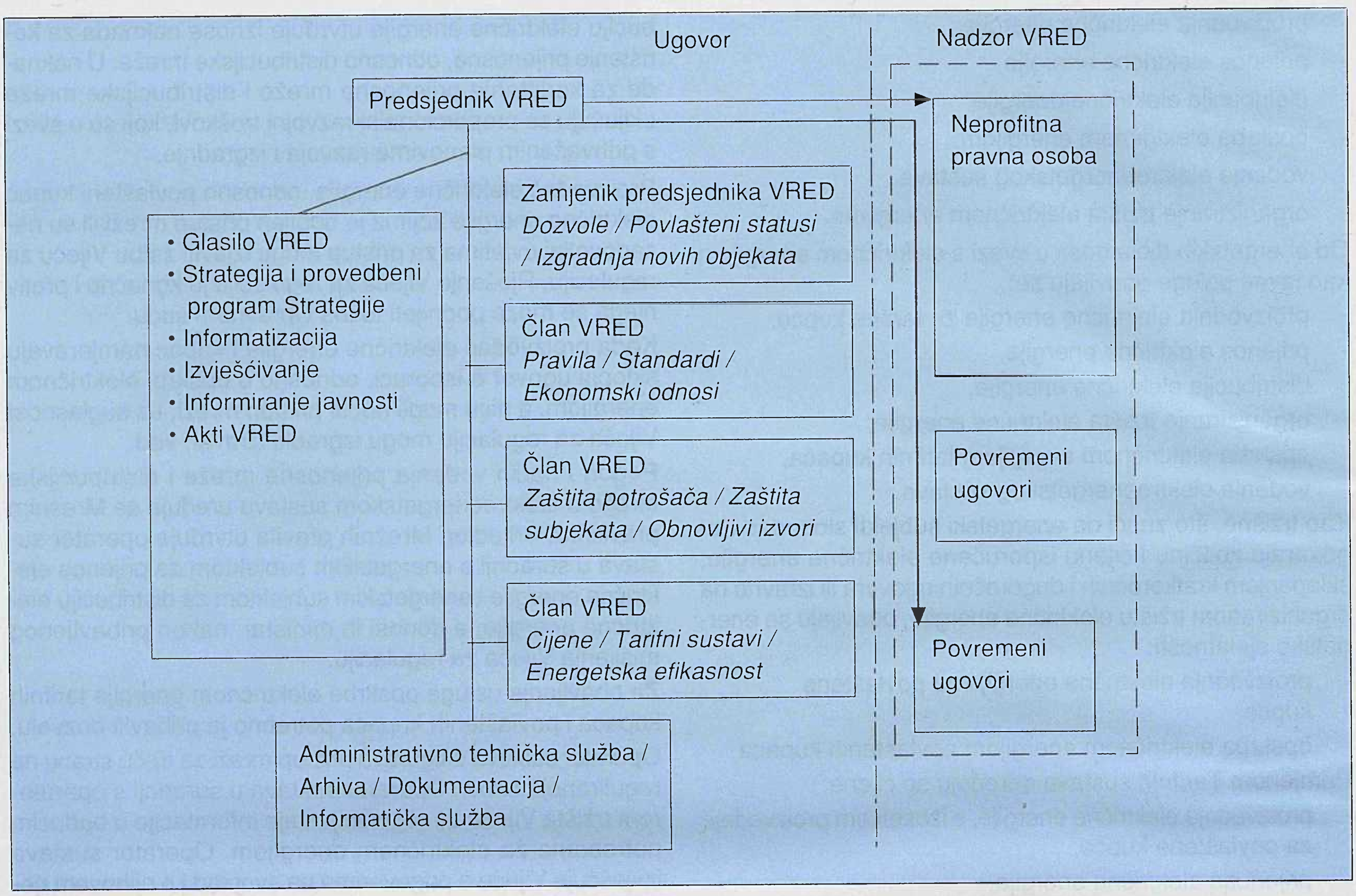
Energetski subjekti koji obavljaju djelatnost transporta nafte naftovodom i djelatnosti transporta naftnih derivata produktovodom dužni su, uz suglasnost Vijeća za regulaciju odrediti tehničke uvjete za pristup pravnih i fizičkih osoba njihovim transportnim kapacitetima.

### 4.4. Regulacijski okvir za toplinsku energiju

Prema Zakonu o energiji, proizvodnja toplinske energije, distribucija toplinske energije i opskrba toplinskom energijom su energetske djelatnosti, od kojih se distribucija toplinske energije treba obavljati kao javna usluga.

Cijene proizvodnje toplinske energije, s izuzetkom povlaštenih kupaca, distribucije toplinske energije, te opskrbe toplinskom energijom, opet s izuzetkom povlaštenih kupaca, određuju se putem odgovarajućih tarifnih sustava.

Predviđeno je da se posebnim zakonom, odnosno pravilnicima i općim uvjetima za obavljanje djelatnosti urede dje-




**Slika 1. Osnovna organizacijska shema i nadležnosti članova Vijeća za regulaciju**

latnosti proizvodnje, distribucije i opskrbe toplinskom energijom.

## 5. ORGANIZACIJSKA SHEMA VIJEĆA ZA REGULACIJU I NEPROFITNE PRAVNE OSOBE

Osnovna organizacijska shema s nadležnostima predsjednika, zamjenika predsjednika i članova Vijeća za regulaciju prikazana je na slici 1.

Funkcionalna i strukturna shema organizacije i načina rada Vijeća za regulaciju, njegove službe za administrativno-tehničke poslove, te neprofitne pravne osobe koja će za Vijeće pripremati akte i dokumente, odnosno obavljati druge stručne poslove puno je složenija (slika 2.).

Ona odražava složenost specifičnog regulacijskog sustava koji se uspostavlja u Republici Hrvatskoj.

Dinamika uspostavljanja i popune navedene funkcionalne i organizacijske strukture bit će postupna. U prvoj fazi, dakle do trenutka kada će se definirati svi regulacijski sadržaji, potrebno je uspostaviti one organizacijske dijelove ili segmente (primarna shema) za koje ili već sada postoje raspoloživi stručni potencijali ili su Vijeću nužni za početak rada.

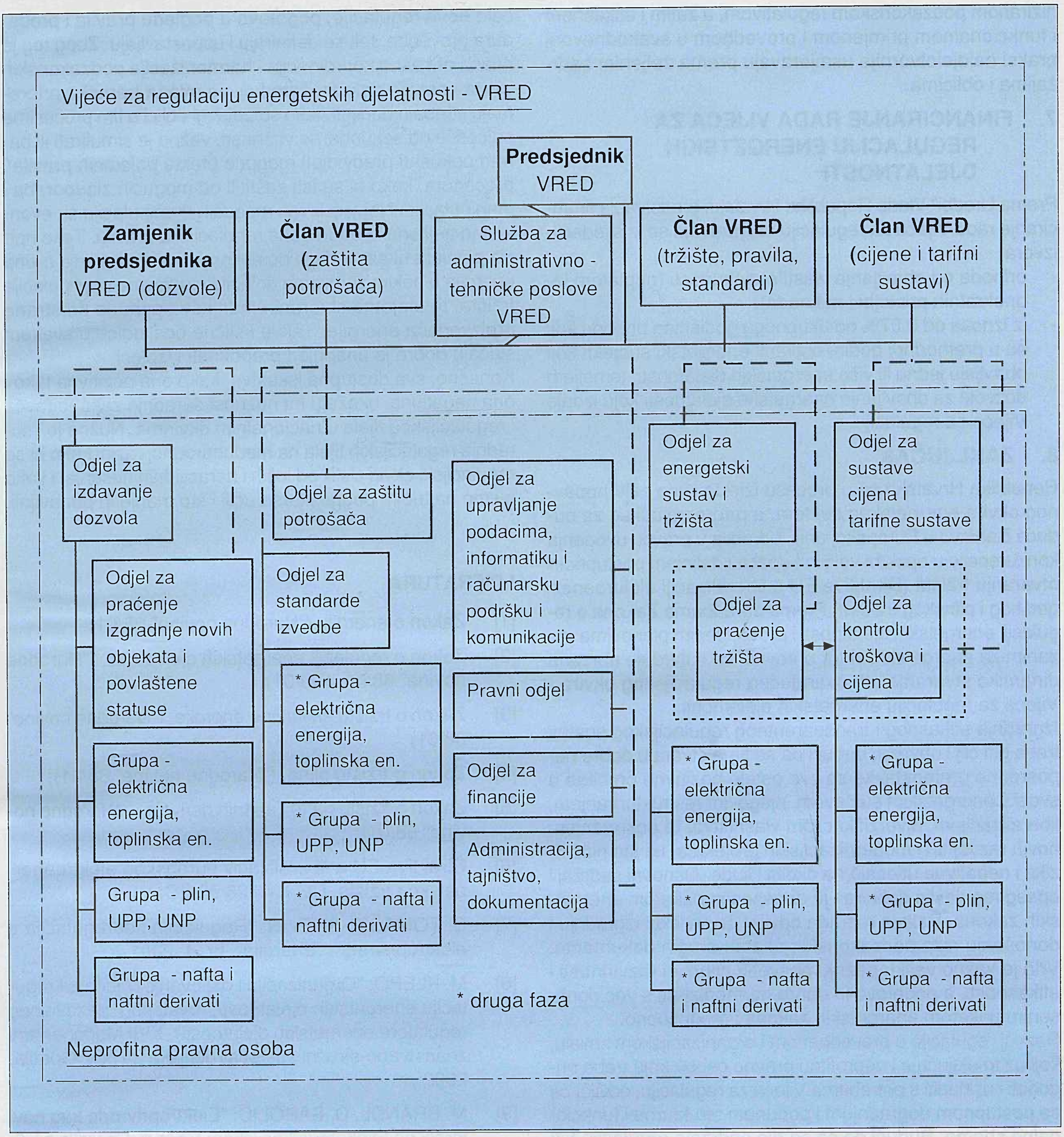
U drugoj fazi uspostavit će se potpuna funkcionalna i organizacijska struktura (finalna shema) za puni opseg rada i odgovornosti Vijeća za regulaciju. U shemi nisu posebno prikazani svi ostali mogući organizacijski elementi, npr. suradnje i predstavljanja potrošača i interesnih grupa, nevladinih organizacija, savjetodavnih udruga i sl., odnosno eventualne suradnje s drugim stručnim ili ekspertnim tijelima, ustanova ili organizacijama.

Okvirni očekivani broj stručnog osoblja za popunu sheme u prvoj fazi je četrdeset. U drugoj fazi očekivani broj stručnog osoblja raste najmanje za dvadeset.

Iako je organizacija prikazana kroz pet glavnih segmenata (dijelova) koji naglašavaju vertikalne odnose, važno je razviti službene i neslužbene mehanizme koji omogućavaju horizontalnu komunikaciju, djelotvornije korištenje raspoloživih znanja i informacija, dakle suradnju između odjela kroz odbore, timove po projektima ili timove po zadacima i sl.

Funkcije i organizacijska struktura razrađeni su uzimajući u obzir:

I) polazno specifičnu regulacijsku organizaciju i shemu u kojem se uz Vijeće za regulaciju pojavljuje i neprofitna pravna osoba koja za Vijeće priprema prijedloge akata i drugih dokumenata, odnosno obavlja druge stručne poslove,
II) zakonske ovlasti i zadatke Vijeća za regulaciju na koje upućuju energetski zakoni,
III) specifičnih uvjeta i zahtjeva organizacije i funkcioniranja tržišta različitih energenata,
IV) obveze, odgovornosti i prava Vijeća za regulaciju i neprofitne pravne osobe u pripremi različitih akata, dokumenata i sl.,
V) potrebu za fleksibilnom organizacijskom strukturom i funkcioniranjem koje će dopuštati eventualne promjene zahtjeva i prioriteta nakon što se donesu svi podzakonski akti,
VI) potrebu za djelotvornim korištenjem danas raspoloživih ljudskih i stručnih resursa, te




**Slika 2. Shema organizacije i rada Vijeća za regulaciju i neprofitne pravne osobe**

VII) potrebu za korištenjem iskustva osnivanja i svakodnevne prakse regulacijskih tijela u drugim zemljama i harmonizaciju s njima.

## 6. PODZAKONSKI AKTI I DALJNJI RAZVOJ REGULACIJSKOG OKVIRA

Osnovni sadržaj i opseg regulacije definiran je donesenim paketom energetskih zakona. Daljnja razrada odvijat će se kroz izgradnju i donošenje niza podzakonskih akata i drugih dokumenta. Budući da će ti akti i dokumenti u pojedinim segmentima u potpunosti određivati oblik i sadržaj regulacije, nužno ih je razvijati uz potpunu harmonizaciju i procjenjujući sve moguće pozitivne i negativne posljedice za odnose u energetskom sektoru. U tom smislu posebno su važni aspekti sigurnosti, stabilnosti i kvalitete opskrbe energijom, zaštite potrošača i zaštite energetskih subjekata, ostvarenja kratkoročnih razvojnih i dugoročnih strateških ciljeva, korištenja obnovljivih izvora energije, efikasnog korištenja energije, zaštite okoliša i sl.

Konačno, podzakonski akti, propisi i uvjeti korištenja mreža i sustava imaju neposredan vrlo značajan utjecaj na odnose i sadržaj aktivnosti sudionika u energetskom sektoru, odnosno njihove funkcije, obveze, odgovornosti i međusobne odnose. Oni se odgovarajućom razvidnom i dobro harmo-

niziranom podzakonskom regulativom, a zatim i efikasnom i funkcionalnom primjenom i provedbom u svakodnevnoj praksi najdjelotvornije usmjeravaju prema željenim sadržajima i oblicima.

## 7. FINANCIRANJE RADA VIJEĆA ZA REGULACIJU ENERGETSKIH DJELATNOSTI

Prema Uredbi[5] Vlade Republike Hrvatske sredstva za financiranje rada Vijeća za regulaciju osiguravaju se iz sljedećih izvora:

- prihoda od obavljanja vlastite djelatnosti (naplatom jednokratnih pristojbi i naknada);
- iz iznosa od 0,07% od ukupnoga godišnjeg prihoda koji su u prethodnoj godini ostvarili energetski subjekti koji obavljaju jednu ili više energetskih djelatnosti, temeljem dozvole za obavljanje energetske djelatnosti koju izdaje Vijeće za regulaciju.

## 8. ZAKLJUČAK

Republika Hrvatska se u procesu izrade svog zakonodavnog okvira energetskog sektora, a pripremajući se za buduće članstvo u Europskoj uniji, odredila u pravcu uvođenja konkurencije u opskrbi velikih kupaca i daljnjem postupnom otvaranju tržišta (Direktive EU o liberalizaciji elektroenergetskog i plinskog tržišta). Prema odredbama Zakona o regulaciji energetskih djelatnosti i provedbenim planovima vezanim za energetski sektor predviđa se i utvrđuje ubrzana dinamika stvaranja odgovarajućeg regulacijskog okvira - Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti.
Izgradnja efikasnog i transparentnog regulacijskog sustav treba biti cilj i obveza, budući da se time stvaraju dobre neposredne pretpostavke za sve ostale pozitivne procese u svezi s energetskim sustavom, njegovim restrukturiranjem, liberalizacijom, diverzifikacijom vlasništva, te pokretanjem novih razvojnih i modernizacijskih projekata, uz što niže rizike i negativne utjecaje na okoliš i ljude. Osnovni sadržaj i opseg regulacije definiran je donesenim paketom energetskih zakona. Daljnja razrada odvijat će se kroz izgradnju i donošenje niza podzakonskih akata i drugih dokumenta. Vrlo je važno veliku pažnju posvetiti njihovoj razvidnosti i efikasnosti, a pogotovo ih dobro harmonizirati s već donesenim paketom energetskih zakona i međusobno.
Razvoj regulacije u provedbenom i organizacijskom smislu, koji uz to uključuje i neprofitnu pravnu osobu koju treba pridodati i uskladiti s potrebama Vijeća za regulaciju, odvijat će se postupnom dogradnjom i popunom strukturne i funkcionalne sheme. Budući da će se dio sadržaja regulacije tek definirati, ta shema mora biti dovoljno fleksibilna da bi prihvatila i uključila sve buduće regulacijske sadržaje. S druge strane, sama organizacijska shema popunjavat će se postupno iz ograničenih stručnih i ekspertnih resursa. Ti resursi morat će se koristiti optimalno.
Naravno, sve te procese mogu pratiti i određene opasnosti. Ideje deregulacije, restrukturiranja i uspostave novog regulacijskog okvira po novim pravilima i procedurama same po sebi nisu štetne. Ciljevi su im postići dobre i korisne rezultate. Međutim, ono što može poći po zlu je provedba. U Republici Hrvatskoj organizacijski oblici deregulacije i načela nove regulacije, pogotovo u pogledu pravila i procedura provedbe, tek se definiraju i uspostavljaju. Zbog tog je nužna efikasna koordinacija i harmonizacija podzakonskih akata i ostalih dokumenata koji se ovoga trenutka pripremaju i trebaju donijeti. Iako su pojavni oblici u tim procesima najčešće od sekundarne važnosti, važno je simulirati ili barem pokušati predvidjeti moguće efekte pojedinih pravila i procedura, kako bi se isti zaštitili od mogućih zlouporaba i manipulacija. Najveći izvori mogućih manipulacija su eventualno nejasna i nedorečena regulacijska pravila. Tako npr. niz primjera ukazuje da je do nekontroliranih divljanja cijena energije u nekim zemljama dolazilo u uvjetima manipulacije tržišta, tj. umjetno stvorenih manjkova ponude od strane proizvođača energije. Takve i slične posljedice u svakom slučaju dobro je unaprijed prepoznati i izbjeći.
Konačno, sva dostupna iskustva, kako ona pozitivna tako i ona negativna, ukazuju na nužnost suradnje zakonodavca i regulacijskog tijela u nacionalnim okvirima. Nužna je i suradnja regulacijskih tijela na međunarodnoj razini kako bi se regulacijski okviri čistili od loših i nerazvidnih rješenja, i kako bismo na tuđim pogrješkama učili i što manje ih ponavljali.

[5] Uredbu o financiranju rada Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti, ("Narodne novine" 60/02.).

## LITERATURA


[1] Zakon o energiji, ("Narodne novine" 68/01);

[2] Zakon o regulaciji energetskih djelatnosti, ("Narodne novine" 68/01, 109/01);

[3] Zakon o tržištu električne energije, ("Narodne novine" 68/01);

[4] Zakon o tržištu plina, ("Narodne novine" 68/01);

[5] Zakon o tržištu nafte i naftnih derivata, ("Narodne novine" 68/01);

[6] Direktiva EU o liberalizaciji europskog elektroenergetskog tržišta, DG XVII 96/92 EC;

[7] S. TOMAŠIĆ-ŠKEVIN: "Regulacija i deregulacija u elektroprivredi", "Energija", br. 4, 2001.;

[8] M. KLEPO: "Organizacija i djelovanje Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti, hrvatskog nezavisnog regulatora energetskih djelatnosti", XVII Međunarodni znanstveno-stručni susret stručnjaka za plin, Opatija, 2002.,

[9] M. BRANDL, D. SABOLIĆ: "Elektroprivrede kao novi igrači na telekomunikacijskom tržištu", Energija br. 6, 2002,

[10] M. KLEPO: "Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti - hrvatski nezavisni regulator energetskih djelatnosti", 11. Forum - Dan energije u Hrvatskoj, Zagreb, 2002.


## FRAME AND CONTENT OF ENERGY SECTOR REGULATION THROUGH ORGANISATION AND OPERATION OF ENERGY REGULATORY COUNCIL


In the work basic elements of frame and content of the energy sector regulation, that is energy activities in the Republic of Croatia defined by a package of energy laws, are presented. These are connected to organisa-

tion and operation of the Regulatory Council, Croatian independent energy activities' regulator and a non-profit legal entity that is going to prepare proposals of different acts and other expert work for the Regulatory Council.

## RAHMEN UND INHALT DER REGELUNG DER ENERGETIK

Im Artikel werden Rahmen und Inhalt der Regelung der Verhältnisse in der Energetik, bzw. in den energetischen Tätigkeiten innerhalb der Republik Kroatien dargestellt, so wie sie durch das Paket der Energiegesetze bestimmt sind. Diese Gesetze stehen in voller Beziehung mit der Gestaltung und Wirkung des Regelungsausschusses für energetische Tätigkeiten. Dieser Ausschuss ist eine unabhängige Behörde für die Regelung energetischer Tätigkeiten in Kroatien, welche sich an eine nichtgewinnbringende. rechtliche Person stützt, die amtliche Schriftstücke für diesen Ausschuss vorbereitet und andere fachliche Handlungen erledigt.

Naslov pisca:

**Dr. sc. Mićo Klepo, dipl. ing.**
**Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti**
**Savska cesta 163**
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis
2002-12-18.

# HRVATSKO ENERGETSKO DRUŠTVO
# ZAKLADA "HRVOJE POŽAR"

Glavni odbor Zaklade "Hrvoje Požar", na temelju Poslovnika o dodjeli godišnje nagrade "Hrvoje Požar", te Poslovnika o stipendiranju mladih energetičara, objavljuje

# N A T J E Č A J

I. Znanstvenim i stručnim djelatnicima dodjeljuju se godišnje nagrade "Hrvoje Požar", u obliku plakete i povelje:

- za stručni i znanstveni doprinos razvitku energetike
- za inovacije u području energetike
- za realizirani projekt racionalnog gospodarenja energijom
- za unapređenje kvalitete okoliša, vezano uz energetske objekte
- za popularizaciju energetike.

Nagrade se mogu dodijeliti pojedincu, grupi stručnjaka koji su zajedno izvršili nagrađeno djelo, ili organizaciji - nositelju nagrađenog projekta.

Prijedlog za dodjelu godišnjih nagrada, s pismenim obrazloženjem i s priloženom dokumentacijom, mogu podnijeti znanstvene i znanstveno-nastavne organizacije, znanstvena i stručna društva, pojedini znanstveni i javni radnici, te ostale ustanove i trgovačka društva.

II. Studentima energetskog usmjerenja, završnih godina studija i diplomantima, dodjeljuje se pet (5) godišnjih nagrada "Hrvoje Požar", u obliku povelje i u novčanom iznosu:

- za izvrstan uspjeh na studiju, i/ili za posebno zapažen diplomski rad iz područja energetike.

Prijedlog za dodjelu godišnje nagrade najboljim studentima energetskog usmjerenja mogu podnijeti znanstveno-nastavne organizacije, sveučilišni nastavnici, ili sami studenti. Prijedlozi se podnose pismeno, s obrazloženjem.

III. Studentima energetskog usmjerenja dodjeljuje se pet (5) jednogodišnjih stipendija za stručni dio studija.

Prijedlog za dodjelu stipendija mogu podnijeti sveučilišni nastavnici, ili sami studenti. Kandidati koji se žele natjecati za stipendiju dužni su popuniti upitnik koji mogu dobiti u tajništvu Hrvatskog energetskog društva.

IV. **Natječaj je otvoren od 20. ožujka do 20. travnja 2003. godine.**

Prijedlozi se podnose tajništvu Hrvatskog energetskog društva, Zagreb, Savska cesta 163, p.p.141, Prijava mora sadržavati ime/naziv i adresu predloženika s brojem telefona.

**Kandidati, kojima će biti dodijeljene stipendije Zaklade "Hrvoje Požar', neće moći istovremeno primati i druge stipendije.**

**Sve obavijesti mogu se dobiti na tel. *01/6040609, 6326134,* e-mail: mmoric@eihp.hr**

Odluka Glavnog odbora o dodjeli nagrada bit će objavljena u dnevnim listovima i stručnim publikacijama.

# PRIKAZ POSTUPKA IZDAVANJA DOZVOLE ZA OBAVLJANJE ENERGETSKE DJELATNOSTI KAO TEMELJA REGULACIJE ENERGETSKOG SEKTORA

Mr. sc. Eraldo B a n o v a c, Zagreb

UDK 621.31.008
PREGLEDNI ČLANAK

Prilikom izrade važeće legislativne podloge regulacije u energetskom sektoru (pet novih energetskih zakona) vodilo se računa o potrebi da njihov sadržaj slijedi kriterije EU direktiva za liberalizaciju tržišta električne energije i plina. U tom procesu značajnih promjena, Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti, kao novoustrojeno tijelo za regulaciju, mora voditi računa o značajkama općeg trenda globalizacije i regulacije energetskog sektora, pri čemu treba uvijek djelovati upravo na temelju usvojene zakonske regulative.

Unutar okvira regulacije energetskih djelatnosti u Republici Hrvatskoj, posebno je značajno regulacijsko djelovanje putem postupka izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti, što predstavlja temelj regulacije energetskog sektora. U radu su prikazani ciljevi postupka, način provjere razine prihvatljivih kriterija za tehničku kvalificiranost, stručnu osposobljenost, financijsku kvalificiranost i provjeru zakonitosti prethodnog poslovanja pravne osobe. Opisane su faze postupka izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti, te Registar dozvola.

**Ključne riječi: regulacija energetskih djelatnosti, dozvola za obavljanje energetske djelatnosti, Registar dozvola, Zbirni pregled Registra dozvola.**

## 1. UVOD

Hrvatski sabor usvojio je pet energetskih zakona u srpnju 2001. godine, čime je određen pravni okvir energetske reforme u Republici Hrvatskoj. Nakon toga uslijedio je rad timova stručnjaka na izradi više desetaka podzakonskih propisa. Taj je posao, s obzirom na zaista veliki opseg, još uvijek u tijeku. Prigodom izrade energetskih zakona, vodilo se računa o potrebi da njihov sadržaj slijedi kriterije EU direktiva za liberalizaciju tržišta električne energije i plina (96/92/EC za električnu energiju i 98/30/EC za prirodni plin), koje daju temeljna zajednička pravila.

Karakteristike su tog procesa vrlo značajne promjene i stvaranje otvorenog tržišta, koje imaju utjecaja i na ukupno nacionalno gospodarstvo, s obzirom na činjenicu da je energetika jedna od najvažnijih sastavnica nacionalnih gospodarstava razvijenih zemalja. Stoga Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti (u daljnjem tekstu Vijeće za regulaciju), kao novoustrojeno tijelo za regulaciju, mora voditi računa kako o značajkama općeg trenda globalizacije i regulacije energetskog sektora, tako i o potrebi da uvijek djeluje upravo na temelju usvojene zakonske regulative. Takvo postupanje Vijeća za regulaciju može se proglasiti postulatom njegovog regulacijskog djelovanja.

Unutar dinamičkog procesa energetske reforme, regulacija energetskih djelatnosti nameće se kao osnovno pitanje efikasnosti uređenja energetskog sektora te je stoga potrebno razmotriti i odrediti metodologiju rada i posebno specifične tehnike i postupke regulacijskog djelovanja Vijeća za regulaciju.

U tom složenom procesu reforme, u kojem je naglasak na restrukturiranju monopolskih poduzeća i privatizaciji energetskog sektora u Republici Hrvatskoj, treba voditi računa i o zaštiti potrošača i o svim ekološkim aspektima tog procesa te je zato uloga i odgovornost Vijeća za regulaciju još izraženija.

Nadalje, unutar okvira regulacije energetskih djelatnosti posebno je značajno regulacijsko djelovanje Vijeća za regulaciju putem postupka izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti, što ustvari predstavlja temelj regulacije energetskog sektora.

## 2. ZAKONSKA PODLOGA REGULACIJE ENERGETSKIH DJELATNOSTI

Uloga Vijeća za regulaciju kao nezavisnog tijela određena je Zakonom o regulaciji energetskih djelatnosti te ono djeluje po odredbama iz "paketa" energetskih zakona, kao i do sada usvojenih provedbenih propisa. Naime, u NN broj 68/01 objavljeno je pet energetskih zakona - Zakon o energiji, Zakon o tržištu električne energije, Zakon o tržištu nafte i naftnih derivata, Zakon o tržištu plina i Zakon o regulaciji energetskih djelatnosti, koje je usvojio Hrvatski sabor. U tim važnim zakonima dan je potpuno novi legislativni sadržaj kojim su uređeni odnosi unutar energetskog sektora, te je zacrtan put daljnje provedbe reforme energetskog sektora. Pri tome je od prvenstvene važnosti osigurati potpunu za-

konsku utemeljenost, tj. da se dosljedno primjenjuju odredbe zakona i provedbenih propisa, kao i da se postigne neovisnost Vijeća za regulaciju u odnosu na energetske subjekte i politički utjecaj.

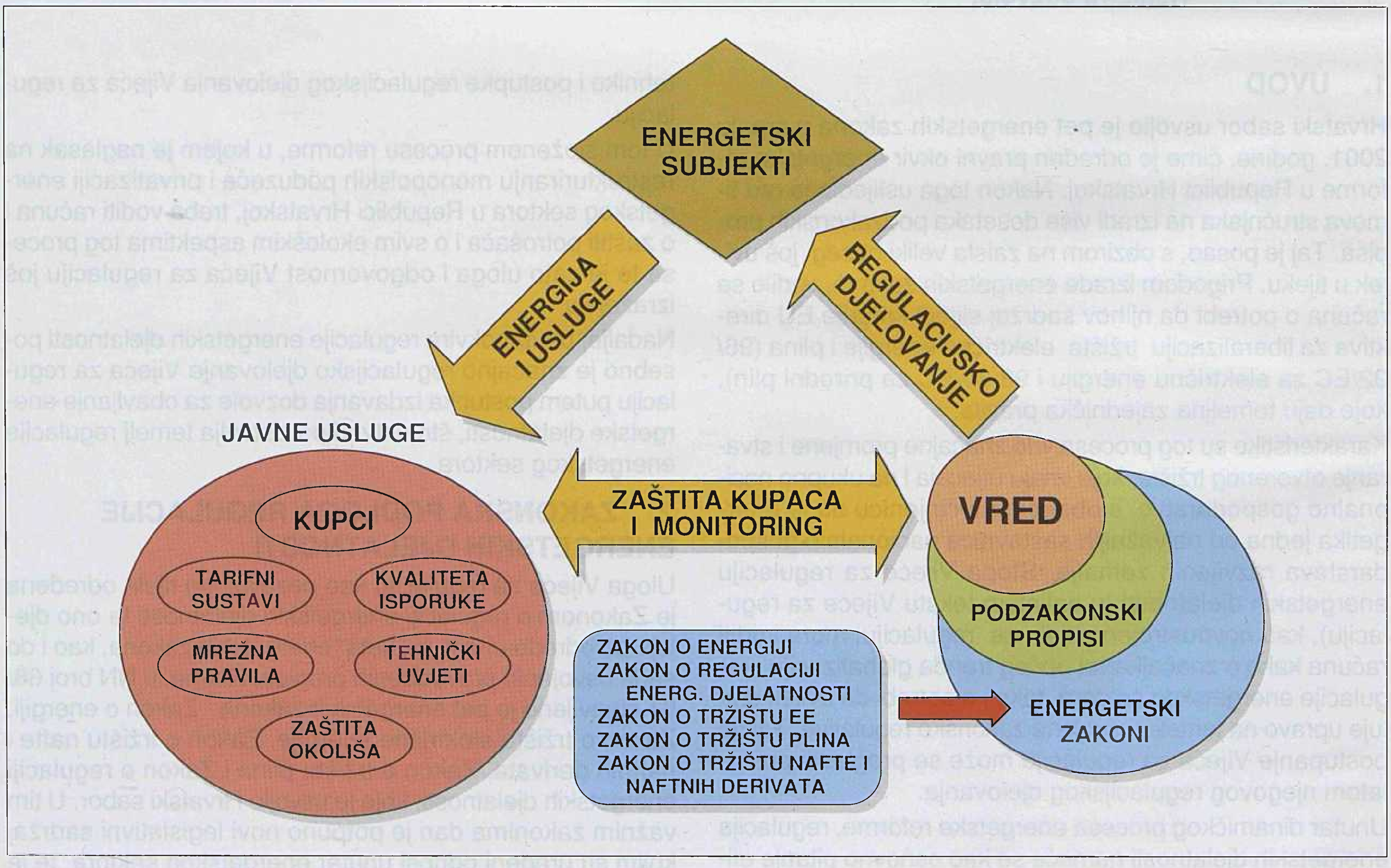
Dakle, navedena zakonska regulativa bitno određuje ulogu i poziciju Vijeća za regulaciju kao regulatornog tijela energetskog sektora, što je vidljivo i iz prikaza položaja Vijeća za regulaciju u odnosu na energetske subjekte i tarifne kupce za područje javnih usluga (slika 1).

Poslovi koje Vijeće za regulaciju obavlja u obnašanju uloge regulatora energetskog sektora vrlo su značajni, kako po svojem opsegu i širini, tako i po specifičnosti zahvata - svojevrsnoj dubini regulacije. Vijeće za regulaciju u provođenju regulacije obavlja, na temelju ovlasti iz energetskih zakona, sljedeće poslove:

- provodi postupak izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti,
- nadzire primjenu tarifnog sustava,
- određuje položaj povlaštenog proizvođača,
- odobrava izgradnju objekta za proizvodnju električne energije za tarifne kupce,
- utvrđuje iznos naknade za korištenje prijenosne mreže i distribucijske mreže u
- elektroenergetskom sustavu,
- daje suglasnost za izgradnju izravnog voda električne energije,
- daje mišljenje o Mrežnim pravilima prijenosne mreže i distribucijske mreže u elektroenergetskom sustavu,
- određuje vremensko razdoblje kod javnog objavljivanja cijena od strane Operatora tržišta,
- daje suglasnost na pravila djelovanja tržišta električnom energijom,
- donosi tarife za transport nafte naftovodom i transport naftnih derivata produktovodom,
- daje suglasnost na tehničke uvjete za pristup pravnih i fizičkih osoba transportnim kapacitetima nafte i naftnih derivata,
- daje suglasnost dobavljaču plina na novi ugovor tipa "vozi ili plati" ili "puno za prazno",
- daje mišljenje o Mrežnim pravilima za pristup plinskom transportnom sustavu,
- daje odobrenje za izgradnju izravnog plinovoda,
- daje odobrenje za pristup i korištenje sustava za proizvodnju prirodnog plina.

Aktivnosti koje slijede u daljnjoj izgradnji legislativnog okvira su: donošenje Zakona o tržištu toplinske energije, čime bi se u cijelosti upotpunio "paket" energetskih zakona, te razvoj sekundarne legislative (intenzivno se radi na pripremi većeg broja podzakonskih propisa, uredbi, pravilnika, tarifnih sustava) kojom treba stvoriti podloge za buduće konkretno regulacijsko djelovanje Vijeća za regulaciju. Zato je potrebna stalna provjera pojedinih rješenja u praksi, naročito sa stajališta međusobne usklađenosti pojedinih rješenja, jer će o tome ovisiti procjena potrebe novelacije postojećih energetskih propisa.

Iz prikaza na slici 1. vidljivo je da su djelovanje i odgovornost Vijeća za regulaciju na području javnih usluga vrlo izraženi. Sam pojam javnih usluga u širem smislu obuhvaća telekomunikacije i energiju, a u nekim razvijenim državama i prijevozni sustavi, voda i vodozaštitna postrojenja, te pošta, također potpadaju pod taj pojam. Za sve javne usluge je karakterističan visok intenzitet protoka kapitala i investicijskih zahvata. Struktura mreže i instalacija tih djelatnosti predstavlja vitalnu važnost za funkcioniranje ostalih sektora




**Slika 1. Prikaz položaja Vijeća za regulaciju u odnosu na energetske subjekte i tarifne kupce za područje javnih usluga**

ekonomije i kućanstva. Stoga su upravo javne usluge od strateškog značenja za ekonomski rast i nacionalnu sigurnost svake države. S obzirom na njihovu posebnu poziciju, javne usluge su podvrgnute određenom vidu kontrole od strane vlasti. U sektoru energetike upravo regulatorno tijelo ima takvu kontrolnu funkciju.

Člankom 20. Zakona o energiji određeno je koje se energetske djelatnosti u Republici Hrvatskoj obavljaju prema pravilima kojima se uređuju tržišni odnosi ili kao pružanje javnih usluga. Kao javne usluge obavljaju se sljedeće energetske djelatnosti:

- proizvodnja električne energije za tarifne kupce,
- prijenos električne energije,
- distribucija električne energije,
- organiziranje tržišta električne energije,
- opskrba električnom energijom tarifnih kupaca,
- vođenje elektroenergetskog sustava,
- transport plina,
- distribucija toplinske energije.

Vrlo je značajno da je zakonodavac predvidio pravo svakog energetskog subjekta koji je nositelj obveze javne usluge na pomoć pri snošenju naslijeđenih troškova, koji se precizno utvrđuju i za visinu kojih daje suglasnost Vijeće za regulaciju, putem određivanja naknade za snošenje tih troškova u cijeni energije.

## 3. IZDAVANJE DOZVOLE ZA OBAVLJANJE ENERGETSKE DJELATNOSTI

Regulacija postupkom izdavanja dozvola za obavljanje energetskih djelatnosti vrlo je važan način regulacijskog djelovanja Vijeća za regulaciju. S obzirom da se upravo tim djelovanjem postižu važni ciljevi (primarni i sekundarni), samo **postupanje Vijeća za regulaciju tijekom postupka izdavanja dozvole energetskom subjektu za obavljanje energetske djelatnosti može se smatrati fundamentom regulacije u energetskom sektoru**.

### 3.1. Ciljevi postupka

Primarni i sekundarni ciljevi postupka izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti su sljedeći.

3.1.1. *Primarni cilj:*

1. Otvoriti tržište energije uz stvaranje transparentnih tržišnih odnosa, putem ukidanja monopola i ostvarivanja konkurencije. Pri tome svaki pravni subjekt koji zadovoljava propisane kriterije može slobodno obavljati odobrenu energetsku djelatnost na temelju rješenja Vijeća za regulaciju.

3.1.2. *Sekundarni ciljevi:*

1. Certificirati obavljanje energetske djelatnosti pravne osobe (energetskog subjekta) putem detaljno propisanog upravnog postupka.
2. Osigurati osposobljenost energetskog subjekta za obavljanje energetske djelatnosti kroz postupak provjere razine prihvatljivih kriterija za tehničku kvalificiranost, stručnu osposobljenost i financijsku kvalificiranost te kroz provjeru prethodnog poslovanja energetskog subjekta bez sankcioniranja povrede pozitivnih propisa, što je prikazano sljedećom tablicom.

Iz tablice na sljedećoj stranici se može zaključiti da svaki energetski subjekt mora problematici osiguranja propisanih kriterija pristupiti vrlo odgovorno, kako bi zadovoljio propisane norme, te ih održavao u dugogodišnjem razdoblju u kojem je pripadajuća dozvola za obavljanje energetske djelatnosti važeća.

### 3.2. Faze u postupku izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti

Postupak izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti koji će provoditi Vijeće za regulaciju može se podijeliti u četiri osnovne cjeline - faze, što je vidljivo na slici 2. Te su faze sljedeće:

*- Faza br. 1:*

U ovoj fazi Vijeće za regulaciju prima zahtjev od energetskog subjekta, zajedno sa svom priloženom propisanom dokumentacijom. Ovlaštena osoba u Vijeću za regulaciju zaprima pristigli zahtjev sa svom propisanom dokumentacijom i otvara zaseban spis unutar Registra dozvola.

*- Faza br. 2:*

Tijekom ove faze Vijeće za regulaciju provodi postupak provjere da li energetski subjekt ispunjava sve uvjete koje propisuje Pravilnik o uvjetima za obavljanje energetske djelatnosti. Sva zaprimljena dokumentacija detaljno se provjerava po kriterijima njezine kompletnosti i izvornosti.

Nadalje, ureduje se glede svih potrebnih nadopuna i pojašnjenja. U slučaju da se pokaže potreba, energetskom subjektu se šalje dopis u kojem se precizno navodi vrsta nedostatka koji je uočen u zaprimljenoj dokumentaciji i daje mu se uputa o potrebi otklanjanja rečenog nedostatka u najkraćem mogućem roku.

*- Faza br. 3:*

Predstavnici Vijeća za regulaciju odlaze na teren i obilaze strukturu energetskog subjekta radi stjecanja neposrednog saznanja o vrsti i značajkama objekata, postrojenja, uređaja i mreže. Cilj takvog postupanja je utvrđivanje stvarnog stanja važnijih osnovnih sredstava energetskog subjekta.

Birokratski pristup, koji je često primjetan u upravnim postupcima - kada se djeluje tipično uredski, prevladava se upravo tim direktnim djelovanjem Vijeća za regulaciju unutar postupka izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti.

*- Faza br. 4:*

U ovoj završnoj fazi postupka izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti priprema se nacrt rješenja o izdavanju pojedine dozvole, zatim se provodi procedura usvajanja rješenja i obavlja upis u Zbirni pregled Registra dozvola, te se na kraju rješenje i obrazac Dozvole za obavljanje energetske djelatnosti (obrazac DOED) šalju energetskom subjektu. Sam postupak donošenja rješenja provodi se na sjednici Vijeća za regulaciju, na način da prijedlog podnosi član nadležan za izdavanje dozvola i da se o tom prijedlogu odlučuje glasovanjem (odluka se donosi većinom glasova imenovanih članova Vijeća za regulaciju).

Na taj način, upravo zakonom nadležno tijelo - Vijeće za regulaciju (kao cjelina) osigurava najvišu razinu verifikacije provedenog postupka izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti.

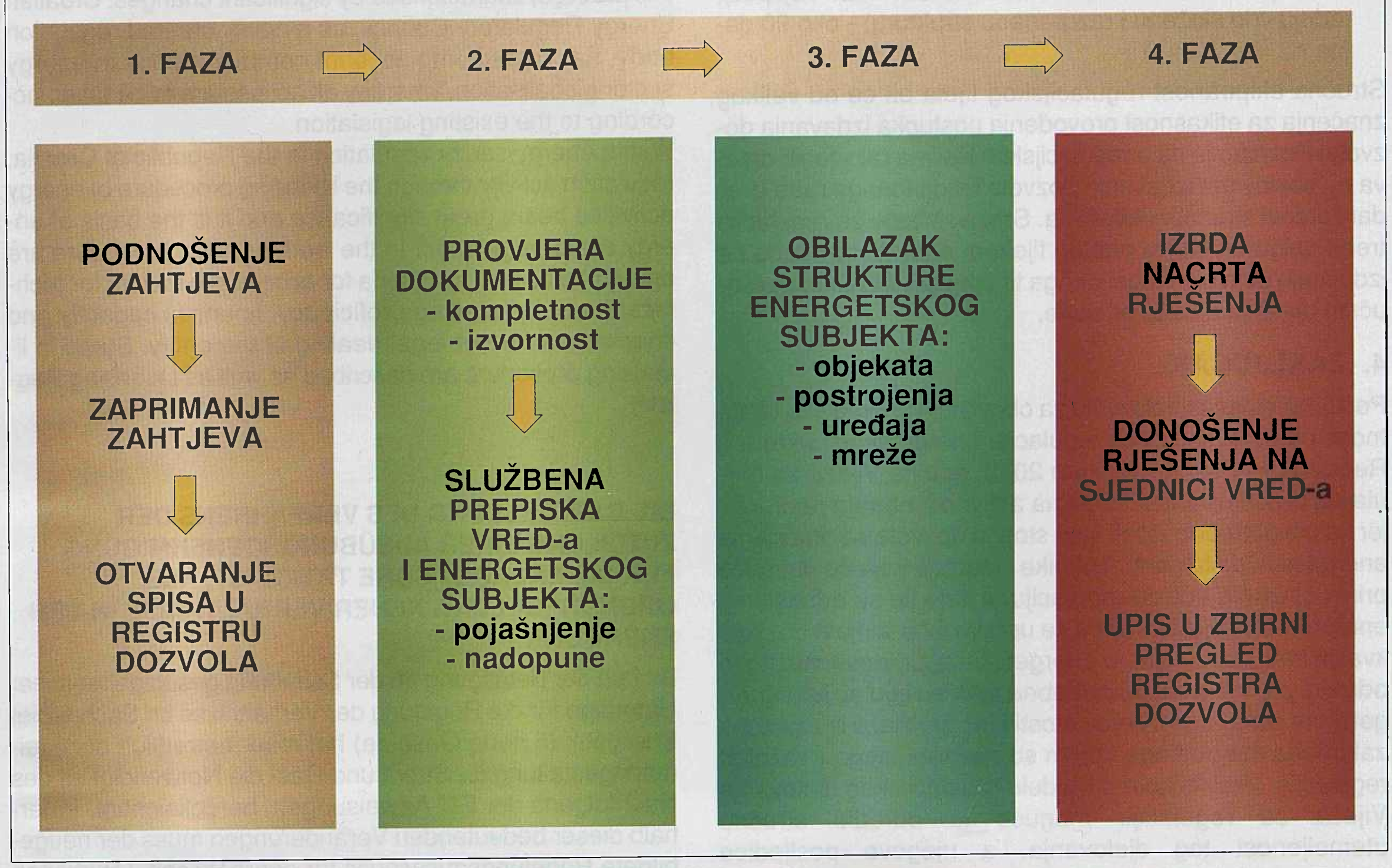
| KRITERIJ | OPIS KRITERIJA |
|---|---|
| **TEHNIČKA KVALIFICIRANOST** | Tehnički je kvalificirana za obavljanje energetske djelatnosti pravna osoba koja ima objekte, postrojenja, uređaje i opremu za obavljanje energetske djelatnosti i provođenje tehničkih i sigurnosnih propisa, kao i ona pravna osoba koja to nema, uz uvjet da posjeduje tehničko-investicijsku dokumentaciju potrebnu za realizaciju istih u skladu sa zakonima, propisima, standardima i uzancama koji vrijede za to područje.<br>Pri tome pravna osoba može objekte, postrojenja, uređaje i opremu:<br>- imati u svom vlasništvu<br>- koristiti ih temeljem ugovora o zakupu zaključenog s drugom osobom,<br>- koristiti ih temeljem ugovora o koncesiji.<br>Pravna osoba mora uz zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti, priložiti isprave nadležnih tijela kojima se dokazuje ispunjavanje tehničkih uvjeta za obavljanje energetske djelatnosti te sve važeće ugovore zaključene s drugim osobama koji imaju utjecaja na tehničku kvalificiranost. |
| **STRUČNA OSPOSOBLJENOST** | Stručno je osposobljena za obavljanje energetske djelatnosti pravna osoba koja zapošljava radnike koji ispunjavaju uvjete određene propisima koji uređuju pitanja tehničke i radne sigurnosti. U zaposlene radnike ubrajaju se osobe koje s tom pravnom osobom imaju sklopljen odgovarajući ugovor o radu. |
| **FINANCIJSKA KVALIFICIRANOST** | Pravna osoba je financijski kvalificirana za obavljanje energetske djelatnosti ako raspolaže financijskim sredstvima prema kriterijima propisanim za svaku energetsku djelatnost. Pod financijskim sredstvima se podrazumijeva gotov novac na računu poslovne banke pravne osobe, a vrijedi i dokaz da pravna osoba može pribaviti ta sredstva.<br>Pravna osoba je dužna uz zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti priložiti i trogodišnji plan izgradnje, održavanja i korištenja energetskih objekata koji je potvrdio neovisni ovlašteni revizor. |
| **PRETHODNO POSLOVANJE ENERGETSKOG SUBJEKTA BEZ SANKCIONIRANJA POVREDE POZITIVNIH PROPISA** | Ovaj se kriterij odnosi na članove uprave pravne osobe i njima odgovorne rukovoditelje te na pravnu osobu kao cjelinu. Zakonodavac je za članove uprave i njima odgovorne osobe odredio kriterij da nisu bili u posljednjih pet godina pravomoćno osuđeni za kazneno djelo povezano s obavljanjem energetskih djelatnosti.<br>Za pravnu osobu određen je kriterij da joj nije oduzeta dozvola za obavljanje energetske djelatnosti za koju traži dozvolu u posljednjih deset godina koja prethodi godini podnošenja zahtjeva. |

Posebno treba naglasiti da je od izuzetne važnosti, da se tijekom provođenja prethodno opisanih faza postupka izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti osigura postupanje svih sudionika po kriterijima legalnosti. Isto tako važno je osigurati punu suradnju Vijeća za regulaciju i energetskog subjekta koji je podnio zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje energetskih djelatnosti te postupati po uzancama povjerljivosti podataka.

U praksi su moguća dva po svojoj biti potpuno različita rješenja Vijeća za regulaciju o podnesenom zahtjevu za izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti. Dakle, rješenje Vijeća za regulaciju može biti pozitivno te se od strane ovlaštene osobe potpisuje obrazac DOED, ili negativno kojim se ustvari uskraćuje dozvola za obavljanje energetske djelatnosti. U slučaju da je Vijeće za regulaciju donijelo rješenje kojim se uskraćuje dozvola za obavljanje energetske djelatnosti, energetski subjekt može podnijeti žalbu slijedom upute o pravnom lijeku koja se daje unutar sadržaja rješenja. Naime, člankom 17. stavak 4. Zakona o energiji propisano je da se žalba na rješenje kojim je uskraćena dozvola za obavljanje energetske djelatnosti može podnijeti Ministarstvu gospodarstva Republike Hrvatske.

### 3.3. Registar dozvola za obavljanje energetske djelatnosti

Registar dozvola koji se vodi u Vijeću za regulaciju ustrojava se za potrebe uredovanja, praćenja i evidencije dozvola. Registar dozvola vodi se u pismenom obliku, tako da svaki spis koji se otvara za pojedinu dozvolu sadrži sva mjerodavna pismena kojima se ureduje po toj dozvoli. S ciljem osiguranja prava javnosti Registra dozvola vodi se Zbirni pregled Registra dozvola. Zbirni pregled Registra dozvola sadrži sljedeće osnovne podatke: registarski broj dozvole, datum upisa u registar dozvola, puni naziv pravne osobe kojoj je izdana dozvola, sjedište i adresu pravne osobe kojoj je izdana dozvola, matični broj pravne osobe kojoj je izdana dozvola, naziv energetske djelatnosti, razdoblje za koje se izdaje dozvola, datum izdavanja rješenja Vijeća za regulaciju o oduzimanju dozvole, datum izdavanja rješenja kojim se dozvoljava obavljanje energetske djelatnosti prema članku 18. stavak 2. Zakona o energiji.




Slika 2. Faze u postupku izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti

Temeljna načela Registra dozvola su javnost, jednoznačnost, trajnost i obveznost, sa sljedećim značenjem:

- **Načelo javnosti** - Svatko ima pravo uvida u Zbirni pregled Registra dozvola, što će biti omogućeno u sjedištu Vijeća za regulaciju.
- **Načelo jednoznačnosti** - Pojedina dozvola ima zaseban registarski broj, kojim je potpuno jednoznačno određena. Kada se pojedinoj dozvoli jednom dodijeli registarski broj isti se više ne može koristiti, čak ni u slučaju isteka razdoblja za koje je određena dozvola bila izdana.

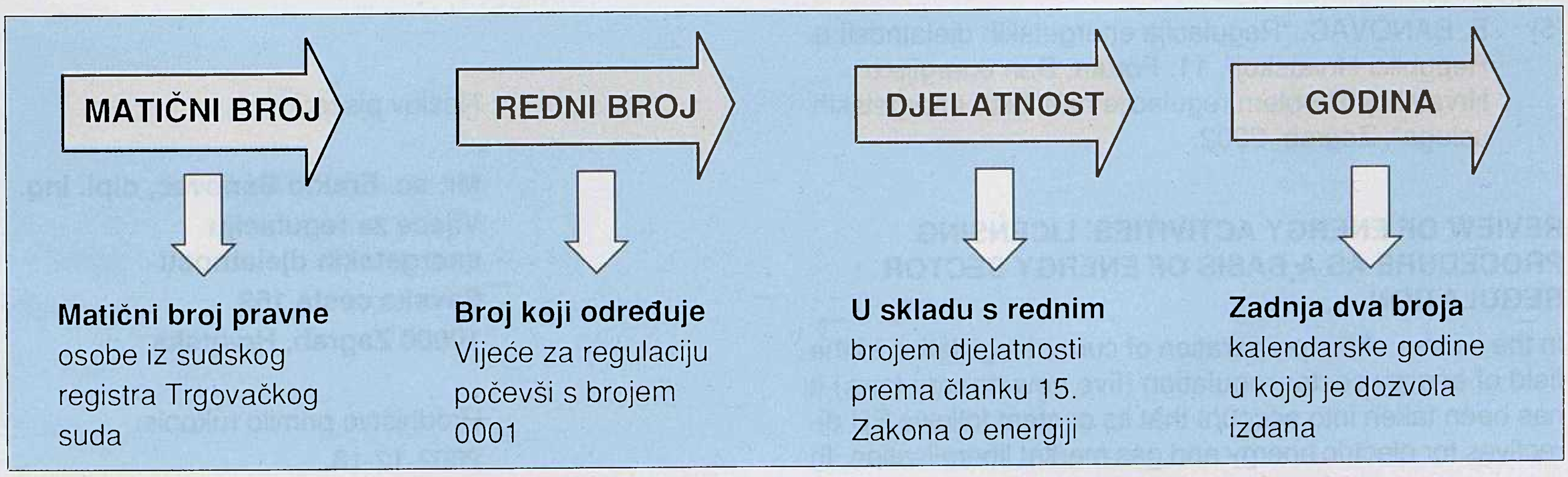
Princip formiranja jedinstvenog registarskog broja svake pojedine dozvole je slijedeći:

- **Načelo trajnosti** - Zbirni pregled Registra dozvola trebalo bi čuvati trajno, a pojedinačne spise Registra dozvola još pet godina po isteku razdoblja za koje je određena dozvola bila izdana.
- **Načelo obveznosti** - Energetski subjekt je obvezan u roku od 30 dana od dana izmjene podatka koji se upisuje u Zbirni pregled Registra dozvola o tome obavijestiti Vijeće za regulaciju. Ova je obveza na snazi za cijelo razdoblje trajanja dozvole.

### 3.4. Procjena prosječnog trajanja postupka izdavanja dozvole

Na temelju ocjene trajanja pojedinih radnji u upravnom postupku izdavanja dozvole, opsega i sadržaja tih radnji i uredovanja, procjenjuje se da će prosječan postupak izdavanja dozvole trajat od 45 do 90 dana. U praksi će to ovisiti kako o ažurnosti uredovanja Vijeća za regulaciju i odnosnog energetskog subjekta, tako i o veličini tog energetskog subjekta. U svezi s korelacijom prosječnog trajanja postupka i veličine energetskog subjekta može se dati sljedeća procjena:

- Mala tvrtka - oko 45 dana.
- Tvrtka srednje veličine - oko 60 dana.



- Veliki poslovni sustav (kao što su to INA i HEP koji posjeduju vrlo složenu i razgrananu strukturu) - oko 90 dana.

Stručna ekipiranost regulacijskog tijela bit će od velikog značenja za efikasnost provođenja postupka izdavanja dozvole. Poznato je da u regulacijskim tijelima razvijenih država na poslovima izdavanja dozvole i monitoringa rade uhodani timovi stručnih djelatnika. Stoga i Vijeće za regulaciju treba osigurati timski pristup tijekom operativnog rada na izdavanju dozvola i monitoringa te specijalističku obuku stručnih djelatnika za te poslove.

## 4. ZAKLJUČAK

Postupak izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti predstavlja temelj regulacije energetskog sektora u Republici Hrvatskoj. Tijekom 2003. godine Vijeću za regulaciju predstoji vrlo intenzivna aktivnost na tom području, jer će biti potrebno izdati više stotina dozvola za obavljanje energetskih djelatnosti. Tehnike i metode koje će ubuduće primjenjivati Vijeće za regulaciju, a koje će se odnositi na energetske subjekte koji će se upravo ishođenjem dozvole kvalificirati za obavljanje energetskih djelatnosti, nužno je odrediti prema procjeni potrebne razine regulacije u energetskom sektoru te uvjetovanosti koje proizlaze iz usvojene zakonodavne podloge kojom su zacrtani uloga i važnost regulacije. Pravilnikom o modelu regulacijskog djelovanja Vijeća za regulaciju moguće je odrediti stručnu utemeljenost tog djelovanja, a njegove posljedice transparentnim, vodeći pritom računa o cjelovitom okviru do sada usvojene legislative i o nizu provedbenih propisa koji će uskoro biti usvojeni.

## LITERATURA


[1] Directive 96/92/EC of the European Parliament and of the Council of 19 December 1996 concerning common rules for the internal market in electricity, Official Journal of the European Communities L027, 1997

[2] Directive 98/30/EC of the European Parliament and of the Council of 22 June 1998 concerning common rules for the internal market in natural gas, Official Journal of the European Communities L204,1998

[3] Zakon o energiji, Zakon o tržištu električne energije, Zakon o tržištu plina, Zakon o tržištu nafte i naftnih derivata, Zakon o regulaciji energetskih djelatnosti, Narodne novine broj 68/01

[4] Uredba o razdoblju za koje se izdaje dozvola za obavljanje energetskih djelatnosti, Narodne novine broj 116/02

[5] E. BANOVAC, "Regulacija energetskih djelatnosti u Republici Hrvatskoj", 11. Forum: Dan energije u Hrvatskoj "Problem regulacije na tržištu energetskih usluga", Zagreb, 2002.


## REVIEW OF ENERGY ACTIVITIES' LICENSING PROCEDURE AS A BASIS OF ENERGY SECTOR REGULATION


In the course of the preparation of current legislation in the field of energy sector regulation (five new energy laws) it has been taken into account that its content follows EU directives for electric energy and gas market liberalisation. In this process, characterised by significant changes, Croatian Energy Regulatory Council, as a newly created regulation body, has to take into account common trends in energy sector globalisation, whereby all actions are to be taken according to the existing legislation.

Within energy sector regulation in the Republic of Croatia, regulation activity through the licensing procedure of energy activities bears great significance and it is the basis of energy sector regulation. In the work goals of procedure are presented as well as criteria for acceptable factors for technical capacity, staffing proficiency, financial capacity and checking of former legal dealing of the entity. Steps in licensing procedure are described as well as Licensing Registry.


## DIE DARSTELLUNG DES VERFAHRENS DER ZUTEILUNG EINER AUSÜBUNGSGENEHMIGUNG FÜR DIE ENERGETISCHE TÄTIGKEIT, ALS GRUNDREGELUNG NEUER VERHÄLTNISSE IN DER ENERGETIK


Binnen der Betätigung an der Schaffung gesetzgeberischer Unterlage für die Regelung der Verhältnisse im Sachgebiet Energetik (5 neue Gesetze) hat man -betrefflich der Freimarktgestaltung für Strom und Gas- die Notwendigkeit des Nachfolgens der EU-Anweisungen, berücksichtigt. Innerhalb dieser bedeutenden Veränderungen muss der neugebildete Regelungsausschuss für energetische Tätigkeiten von den Merkmalen der allgemeinen wirtschaftlichen Weltumspannungstendenz. im Sachgebiet Energetik Rechnung tragen, wobei immer im Sinne der angenommenen Gesetzweisungen zu wirken ist.

In der Republik Kroatien ist die Wirkung der Regelung der Verhältnisse in der Energetik durch das Verfahren der Genehmigungszuteilung für die Ausübung energetischer Tätigkeit besonders bedeutend geworden, da es die Grundlage dieser Verhältnisse bedeutet. In diesem Artikel sind die Ziele des erwähnten Verfahrens, Art und Weise der Überprüfung annehmbarer Höhe technischer und wirtschaftlicher Eignung, fachlicher Befähigung, und Durchsicht der Gesetzmässigkeit früherer geschäftlicher Tätigkeit der rechtlichen Person dargestellt. Die Stufen des Verfahrens der Genehmigung für die Ausübung Energiewirtschaftlicher Tätigkeit sind beschrieben, sowie das Genehmigungsverzeichnis gegeben.



Naslov pisca:

**Mr. sc. Eraldo Banovac, dipl. ing.**
**Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti**
**Savska cesta 163**
**10000 Zagreb, Hrvatska**



Uredništvo primilo rukopis:
2002-12-18.

# TRETMAN GUBITAKA U NAKNADI ZA KORIŠTENJE PRIJENOSNE I DISTRIBUCIJSKE MREŽE

Marijan K a l e a, Osijek

UDK 621.3.017:621.316
PREGLEDNI ČLANAK

Prikazan je tretman gubitaka u mreži pri određivanju potrebne naknade za korištenje prijenosne i naknade za korištenje distribucijske mreže u elektroenergetskom sustavu, u kojem postoji proizvodnja za domaće povlaštene i tarifne kupce, za izvoz povlaštenim inozemnim kupcima i ostali izvoz, te uvoz radi opskrbe domaćih povlaštenih i tarifnih kupaca, uvoz radi izvoza, te u kojem su povlašteni i tarifni kupci izravno priključeni na prijenosnu mrežu ili su priključeni na distribucijsku mrežu.

**Ključne riječi: naknada za korištenje prijenosne i distribucijske mreže, gubici u mreži.**

## 1. UVOD

Važno pitanje u dereguliranoj elektroprivredi jest pitanje regulacije naknada za korištenje prijenosne i distribucijske mreže, koje mora biti riješeno na način da svi korisnici mreže - dakle povlašteni i tarifni - imaju od regulatornog tijela odobrene jednake naknade za jednako korištenje tih mreža. Tada se tarifnim kupcima pridodaje regulirana naknada za kupljenu energiju, a povlaštenim kupcima se temeljem ugovora pridodaje naknada koju su za isporuku potrebne energije ugovorili s nekim neovisnim isporučiteljem i tako se dolazi do konačne cijene električne energije na pragu kupaca. Ovaj rad daje najgrublji pristup rješenju tog pitanja s naglaskom na tretman gubitaka u mreži. Polazi se od jedinstvene prosječne cijene proizvodnje i nabave električne energije iz inozemstva, prosječnih cijena prijenosa i distribucije, te dolazi do potrebnih prosječnih naknada za korištenje prijenosne i distribucijske mreže. Kod toga proizvodnja i nabava nije podvrgnuta tarifnom sustavu, dakako tada i rezultat nije tome podvrgnut; radi se o prosječnoj godišnjoj naknadi po prenesenom, odnosno distribuiranom kilovatsatu, bez tarifiranja na doba dana, sezonu ili raspodjelu na angažiranu snagu i prenesenu/distribuiranu energiju.

U radu se pretpostavlja da se troškovi prijenosa i distribucije sastoje samo iz troškova pogona i održavanja - materijalnih troškova i troškova osoblja (i drugih troškova neovisnih o elektroenergetskoj bilanci, npr. amortizacije) te troškova energije za pokriće gubitaka u tim mrežama (ovisnim o elektroenergetskoj bilanci). Nisu obuhvaćeni - u ovom pojednostavnje-nom pristupu - troškovi pomoćnih usluga, odnosno usluga sustava, koji također mogu biti ovisni ili neovisni od bilance. Načelno: ako bi se radilo o pridjeljivim pomoćnim uslugama/uslugama sustava, onda bi ih se pridruživalo onome tko ih je namirio/koristio, a nepridjeljive bismo u ovom pristupu mogli smatrati uključenim u troškove pogona i održavanja. Konačno, nisu obuhvaćena niti sredstva za razvoj, koja također treba smatrati odobravanim po regulatornom tijelu i dodavanim u naknade za korištenje mreža. Cilj rada je prikaz odgovarajućeg tretmana gubitaka u mreži pri utvrđivanju naknade za korištenje mreža, prijenosne i distribucijske.

## 2. POLAZIŠTA

Ukupna je domaća proizvodnja (vidi slike 1 i 2)

$$W = W_1 + W_4 + W_{1i} \qquad (1)$$

gdje su

$W_1 = W_{1P} + W_{1T}$ = proizvodnja u elektranama priključenim na prijenosnu mrežu za domaće povlaštene kupce i za domaće tarifne kupce

$W_4 = W_{4P} + W_{4T}$ = proizvodnja u elektranama priključenim na distribucijsku mrežu za domaće povlaštene kupce i za tarifne kupce

$W_{1i} = W_{1iP} + W_{1i1}$ = proizvodnja u elektranama priključenim na prijenosnu mrežu radi izvoza povlaštenim inozemnim kupcima ($W_{1iP}$) i proizvodnja radi ostalog izvoza ($W_{1i1}$).

Tu su sve proizvodnje uzete na pragu elektrana, odnosno na ulaznom pragu mreža.

Dodajmo i to da je

$$W_1 + W_{1i} + W_u = W_2 + W_i \qquad (2)$$

dakle da je ukupna proizvodnja u elektranama priključenim na prijenosnu mrežu plus uvoz ($W_u$) jednaka ukupnom preuzimanju na razini prijenosne mreže za domaće potrebe i pokriće gubitaka, plus izvoz ($W_i$).

Uvoz je

$$W_u = W_{uP} + W_{uT} + W_{ui} \qquad (3)$$

gdje su $W_{uP}$ = uvoz za povlaštene domaće kupce, $W_{uT}$ = uvoz za domaće tarifne kupce i

$W_{ui}$ = uvoz radi izvoza.

Dalje je ukupno preuzimanje na razini prijenosne mreže za domaće potrebe i pokriće gubitaka

$$W_2 = W_{31} + W_{32} + W_{gP} \qquad (4)$$

gdje su $W_{31}$ = isporuka izravnim kupcima i ostaloj potrošnji na prijenosnoj mreži,
$W_{32}$ = isporuka distribuciji iz prijenosne mreže, a $W_{gP}$ = gubici u prijenosnoj mreži.
Izvoz je

$$W_i = W_{iP} + W_{i1} \quad (5)$$

gdje su $W_{iP} = W_{1iP}$ = izvoz inozemnim povlaštenim kupcima iz domaće proizvodnje i

$W_{i1} = W_{1i1} + W_{ui}$ = ostali izvoz, sastoji se iz domaće proizvodnje za izvoz ($W_{1i1}$) i uvoza radi izvoza ($W_{ui}$).

## 3. CIJENA PROIZVODNJE I NABAVE

Troškovi ukupne proizvodnje su (pojednostavnjeno - za ovaj rad - rečeno): $T_{Gu}$ = ukupni troškovi goriva (i drugi troškovi ovisni od bilance), te $T_{PiOEu}$ = ukupni troškovi pogona i održavanja elektrana (i drugi troškovi neovisni od elektroenergetske bilance).

Ponajprije, potrebno je odvojiti one troškove proizvodnje koji se odnose na proizvodnju za domaće tarifne kupce $W_{1T}+W_{4T}$ i radi ostalog izvoza $W_{1i1}$ od proizvodnje za domaće i inozemne povlaštene kupce. Pretpostavimo da su odgovarajući troškovi goriva te troškovi pogona i održavanja proporcionalni udjelu energije isporučene domaćim tarifnim kupcima i ostalom izvozu u ukupno proizvedenoj energiji (što - preciznije govoreći - uopće ne mora biti točno, osobito u pogledu goriva, utrošak je ovisan od smještaja proizvodnje u dijagram opterećenja elektrana). Dakle troškovi elektrana koji se odnose na proizvodnju za domaće tarifne kupce i radi ostalog izvoza su

$$T_G = T_{Gu}*(W_{1T} + W_{1i1} + W_{4T})/W \quad (5)$$

$$T_{PiOE} = T_{PiOEu}*(W_{1T} + W_{1i1} + W_{4T})/W \quad (6)$$

Troškovi nabave električne energije izvan elektroenergetskog sustava za tarifne kupce (iz uvoza ili domaćih elektrana koje čiju isporuku smatramo uvoznom ) su

$$T_N = T_u - D_i \quad (7)$$

gdje se $T_u$ = troškovi uvoza, a $D_i$ = prihod od izvoza električne energije.

Za pristup, kakav se opisuje, u troškovima uvoza treba uzimati troškove za uvoz energije za tarifne kupce i uvoz energije radi izvoza. Uvoz energije za povlaštene kupce ($W_{uP}$) nema novčanog utjecaja na trošak nabave HEP-a, ali ima kao opterećenje prijenosne (eventualno i distribucijske) mreže (gubici u mreži!).

Ako se ostvaruje proizvodnja za inozemne povlaštene kupce, tada u proizvodnji ($W$) treba uvažiti član koji se odnosi na proizvodnju za te kupce ($W_{1iP}$), kao i u izvozu ($W_{iP}=W_{1iP}$), radi opterećenja mreže i izdvajanja troškova te proizvodnje iz predmetnog obračuna. Izvozni prihod od toga aranžmana nema utjecaja na predmetni prihod, već na prihod elektrane koja je zaključila ugovor o tom izvozu (kao i troškovi/prihod od proizvodnje za domaćeg povlaštenog kupca).

Ukupni troškovi proizvodnje i nabave su

$$T = T_G + T_{PiOE} + T_N \quad (8)$$

Prosječna cijena proizvodnje i nabave za domaće tarifne kupce, proizvodnje radi izvoza, uvoza za domaće tarifne kupce i uvoza radi izvoza, te za pokriće gubitaka u prijenosnoj i distribucijskoj mreži je

$$c = a_E*T/(W_{1T} + W_{4T} + W_{uT} + W_{ui} + W_{1i1}) \quad (9)$$

dakle iz proizvodnje i uvoza izostavljamo proizvodnju za domaće i inozemne povlaštene kupce, te uvoz za povlaštene kupce.

Ostavljamo proizvodnju za domaće tarifne kupce ($W_{1T}+W_{4T}$), uvoz za tarifne kupce ($W_{uT}$), te uvoz radi izvoza ($W_{ui}$) i proizvodnju radi izvoza ($W_{1i1}$). Tu je

$$a_E \geq 1 \quad (10)$$

faktor povrata sredstava za proizvodnju (elektrana).

Po takvoj prosječnoj cijeni proizvodnje i nabave predaje se sva energija preuzeta na prijenosnoj (i distribucijskoj) mreži, dakle to je prosječna cijena dobave energije za potrebe izravnih tarifnih kupaca, i ostale potrošnje na razini prijenosne mreže, distribucijskih tarifnih kupaca, ostalog izvoza ($W_{i1} = W_i - W_{iP}$) kao i energije za pokriće gubitaka u prijenosnoj i distribucijskoj mreži - gubitaka, nastalih zbog tarifnih i povlaštenih kupaca i ukupnog izvoza ($W_i = W_{iP} + W_{i1}$), te tranzita ($W_T$).

## 4. CIJENA PRIJENOSA

Uzimamo da postoji i tranzit ($W_T$), a gubici u mreži da odgovaraju tome.

Tada su gubici u prijenosnoj mreži: ulazna energija u prijenosnu mrežu minus izlazna energija iz prijenosne mreže

$$W_{gP} = (W_2+W_i+W_T) - (W_3+W_i+W_T)$$
$$= W_2 - W_3 \quad (11)$$

nastali zbog isporuke na prijenosnoj mreži: izravnim povlaštenim i tarifnim kupcima, ostaloj potrošnji na razini prijenosne mreže, distribucijskim povlaštenim i tarifnim kupcima i ukupnom izvozu, zbog tranzita, te zbog prijenosa energije[1] za pokriće gubitaka u distribucijskoj mreži. Između tih kategorija isporuke i pripadnih gubitaka u prijenosnoj mreži ne postoji linearna veza jer su gubici ovisni o kvadratu opterećenja, te nije moguće utvrditi njihov egzaktan udjel u gubicima prijenosne mreže, poznavajući njihove udjele u isporuci. Svi, stoga, mogu i moraju sudjelovati u namirenju gubitaka ravnopravno, dakle svakome sudioniku se na njegovo preuzimanje može jedino pridodati isti postotak gubitaka.
Tu su

$$W_3 = W_{31} + W_{32} \quad (12)$$

$$W_{31} = W_{31T} + W_{31P} \quad (13)$$

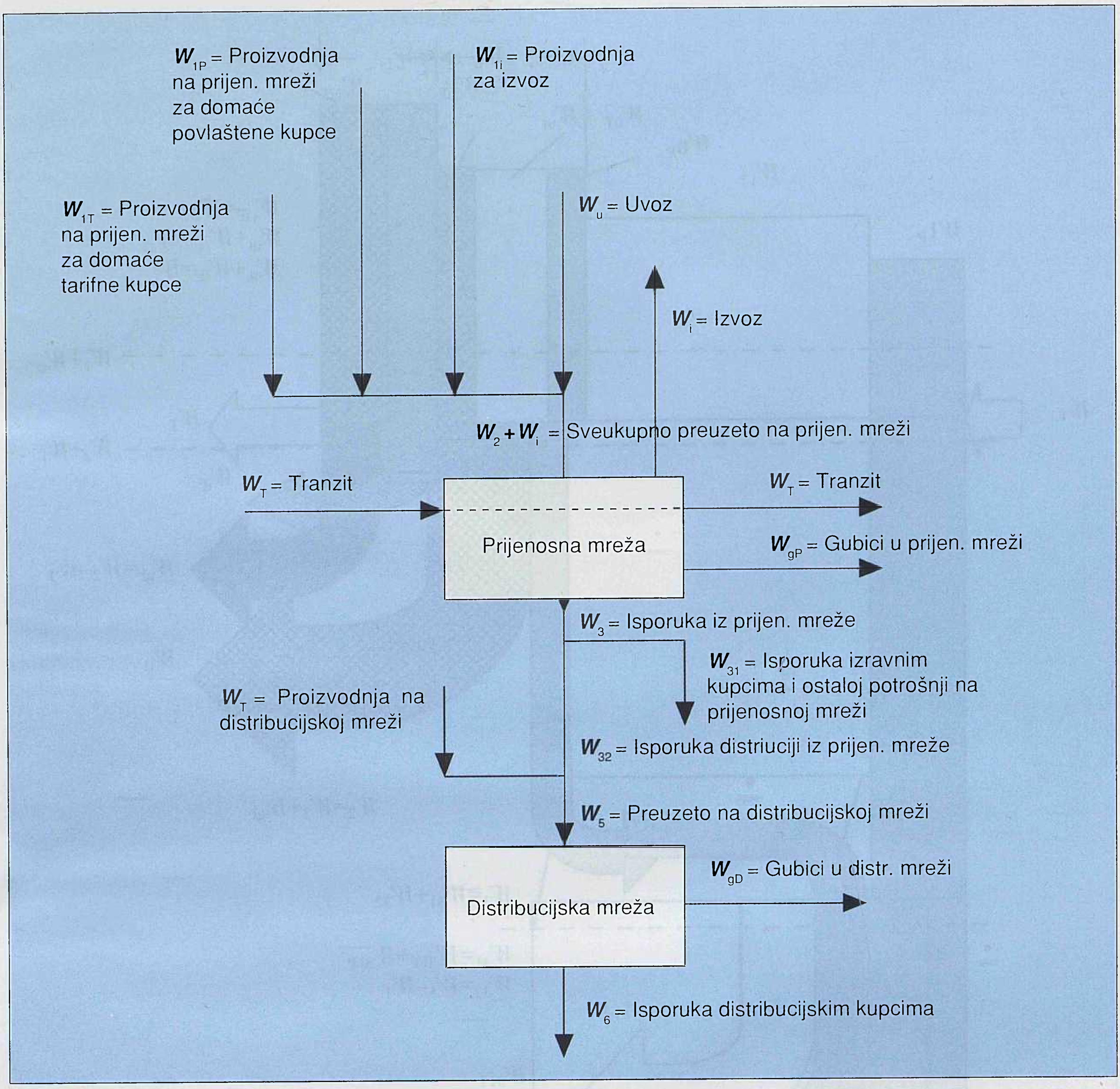
gdje su $W_{31T}$ = isporuka izravnim tarifnim kupcima i ostaloj potrošnji na prijenosnoj mreži, $W_{31P}$ = isporuka izravnim povlaštenim kupcima.
Dalje je isporuka distribuciji iz prijenosne mreže

$$W_{32} = W_5 - W_4 \quad (14)$$

gdje su $W_5$ = ukupno preuzeta energija na distribucijskoj mreži, a $W_4$ = proizvodnja energije u elektranama priključenim na distribucijsku mrežu.

---

[1] Vidljivo jest da je pri računu gubitaka, tretman energije izvoza jednak tretmanu energije tranzita. Uzimamo kao da energija izvoza najprije uđe u mrežu a onda izađe iz nje, te se u relaciji za utvrđivanje gubitaka naprosto poništi. To je učinjeno radi toga da gubici u prijenosnoj mreži ne budu funkcija izvoza (koji je, praktički, slučajna veličina - jedne godine je ovakav, a druge onakav) nego samo ulazne i izlazne energije u mrežu za domaće potrebe. Oni će fizikalno ovisiti dakako i o izvozu, ali će na ovakav način biti svi pridijeljeni domaćem konzumu i biti uračunati u naknadu za korištenje prijenosne mreže - koja će se, dakako obračunavati i na izvoznu energiju.




**Slika 1. Tok energije u elektroenergetskom sustavu, načelni prikaz**

Relativni gubitak u prijenosnoj mreži je omjer gubitaka spram ulazne energije (a ne izlazne energije - opaska autora) u prijenosnu mrežu za domaće potrebe i pokriće gubitaka

$$g_P = W_{gP}/W_2 = W_{gP}/(W_3 + W_{gP}) \quad (15)$$

te je energija preuzeta na prijenosnoj mreži za domaće potrebe

$$W_2 = W_3/(1 - g_P) \quad (16)$$

a energija isporučena iz prijenosne mreže za domaće potrebe

$$W_3 = W_2*(1 - g_P) \quad (17)$$

Troškovi prijenosa su - opet kvalitativno rečeno - $T_{PiOP}$ = troškovi pogona i održavanja (i drugi troškovi neovisni od elektroenergetske bilance) te $T_{gP}$ = troškovi gubitaka u prijenosnoj mreži

$$T_P = T_{PiOP} + T_{gP} = T_{PiOP} + W_{gP}*c \quad (18)$$

Uzimamo da se gubici $W_{gP}$ namiruju energijom po prosječnoj cijeni proizvodnje i nabave $c$.
Cijena prijenosa je

$$c_P = a_P*T_P/(W_3 + W_i) = a_P*T_P/(W_{31} + W_{32} + W_i) \quad (19)$$

gdje je

$$a_P \geq 1 \quad (20)$$

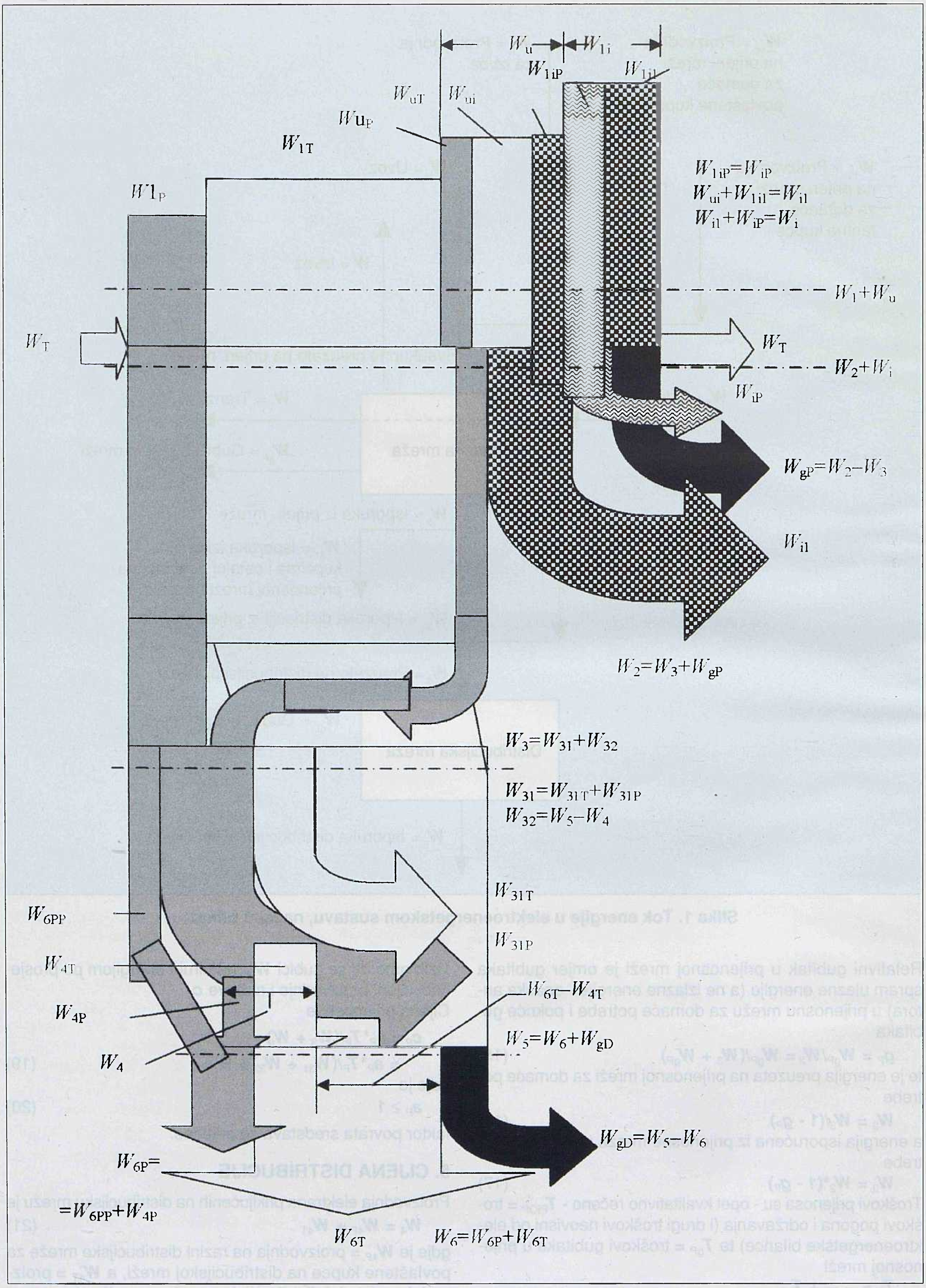
faktor povrata sredstava za prijenos.

## 5. CIJENA DISTRIBUCIJE

Proizvodnja elektrana priključenih na distribucijsku mrežu je

$$W_4 = W_{4P} + W_{4T} \quad (21)$$

gdje je $W_{4P}$ = proizvodnja na razini distribucijske mreže za povlaštene kupce na distribucijskoj mreži, a $W_{4T}$ = proizvodnja na razini distribucijske mreže za tarifne kupce na distribucijskoj mreži. Uzimamo u ovome računu da distri-




**Slika 2. Tok energije u elektroenergetskom sustavu, detaljni prikaz**

bucijske elektrane ne sudjeluju u opskrbi tarifnih i povlaštenih kupaca priključenih na prijenosnu mrežu, što je razumna pretpostavka.
Tada je isporuka distribuciji iz prijenosne mreže

$$W_{32} = W_3 - W_{31} \quad (22)$$

Preuzimanje distribucije je

$$W_5 = W_{32} + W_4 \quad (23)$$

S druge strane je

$$W_5 = W_6 + W_{gD} \quad (24)$$

gdje su $W_6 = W_{6P} + W_{6T}$ = isporuke iz distribucijske mreže za povlaštene i tarifne kupce, a $W_{gD}$ = gubici u distribucijskoj mreži.
Dalje je

$$W_{6P} = W_{6PP} + W_{4P} \quad (25)$$

gdje je $W_{6PP}$ = proizvodnja za povlaštene kupce priključene na distribucijsku mrežu dobavljena iz elektrana priključenih na prijenosnu mrežu, a $W_{4P}$ = proizvodnja za povlaštene kupce priključene na distribucijsku mrežu iz elektrana priključenih na tu mrežu.
Gubici u distribucijskoj mreži su opet ulazna energija u distribucijsku mrežu minus izlazna energija iz distribucijske mreže

$$W_{gD} = W_5 - W_6 \quad (26)$$

nastali zbog isporuke povlaštenim i tarifnim kupcima na distribucijskoj mreži, koji ponovno mogu i moraju sudjelovati u namirenju gubitaka ravnopravno, dakle svakome sudioniku se na njegovo preuzimanje mora i jedino može pridodati isti postotak gubitaka.
Relativni gubici u distribucijskoj mreži su (opet omjer gubitaka prema ulaznoj energiji u tu mrežu)

$$g_D = W_{gD} / W_5 = W_{gD}/(W_6 + W_{gD}) \quad (27)$$

Preuzeta energija spram isporučene energije na distribucijskoj mreži je

$$W_5 = W_6/(1 - g_D) \quad (28)$$

a isporučena energija spam preuzete energije na distribucijskoj mreži je

$$W_6 = W_5*(1 - g_D) \quad (29)$$

Troškovi distribucije su - opet kvalitativno rečeno - $T_{PiOD}$ = troškovi pogona i održavanja (i drugi troškovi neovisni od bilance) te $T_{gD}$ = troškovi gubitaka u distribucijskoj mreži, koje opet namjeravamo namiriti energijom po prosječnoj cijeni proizvodnje i nabave $c$, te iznose

$$T_D = T_{PiOD} + T_{gD} = T_{PiOD} + W_{gD}*c \quad (30)$$

Cijena distribucije je

$$c_D = a_D*T_D/W_6 = a_D*T_D/(W_6 + W_{6T}) \quad (31)$$

gdje je

$$a_D \geq 1 \quad (32)$$

faktor povrata sredstava za distribuciju.

## 6. NAKNADE ZA KORIŠTENJE MREŽA

Utvrdimo sada naknade za korištenje prijenosne i distribucijske mreže za pojedine skupine kupaca. Naknadu ćemo utvrditi tako da troškove koje izaziva isporuka pojedinoj skupini kupaca podijelimo s tom isporukom.
Naknada za korištenje prijenosne mreže za električnu energiju isporučenu:

- *izravnim tarifnim kupcima i ostaloj potrošnji*
- *izravnim povlaštenim kupcima*
- *ostalom izvozu*
- *inozemnim povlaštenim kupcima,*

na razini prijenosne mreže je

$$n_P = (W_{31T} + W_{31P} + W_{i1} + W_{iP})*c_P/(W_{31T} + W_{31P} + W_{i1} + W_{iP}) = c_P \ [kn/kWh] \quad (33)$$

Ostaje pitanje naknade za tranzit. On također sudjeluje u gubicima prijenosne mreže, ali naknada za nj podložna je okolnostima koje su načelno izvan HEP-ova utjecaja. Stoga nema druge nego prihvatiti naknadu za tranzit prema UCTE- ili ETSO-uzusima[2], a usmjeriti tu naknadu prvenstveno za pokriće povećanih gubitaka u mreži nastalih tim tranzitom. Preostatak usmjeriti na ubrzanje zamjena, rekonstrukcija i modernizacija u prijenosnoj mreži.
Naknada za kupce priključene na distribucijsku mrežu mora pokriti korištenje distribucijske mreže (po prosječnoj cijeni $c_D$), te korištenje prijenosne mreže, ali za energiju koja je prostrujala kroz prijenosnu mrežu (po prosječnoj cijeni $c_P$).

$$n_D = (W_6*c_D + (W_6 - W_4)*c_P + W_{gD}*c_P)/W_6 = (W_6*c_D + (W_6 - W_4)*c_P + (W_6*g_D/(1 - g_D))*c_P)/W_6 = c_D + ((W_6 - W_4/W_6)*c_P + (g_D/(1 - g_D))*c_P \quad (34)$$

U tom računu uzimamo da elektrane priključene na distribucijsku mrežu ne sudjeluju u namirenju gubitaka u distribucijskoj mreži, jer je tako ekonomičnije. Naime, ako bi se dio gubitaka u distribucijskoj mreži namirivao proizvodnjom elektrana priključenih na tu mrežu, za isporuku te energije u distribucijsku mrežu morali bismo primjeniti cijenu distribucije $c_D$. Ovako, za isporuku energije za pokriće svih gubitaka u distribucijskoj mreži primjenjujemo cijenu prijenosa $c_P$, a kako je $c_P<c_D$ to je takav način za kupce ekonomičniji[3].
No relacija (34) nije primjerena kategorizaciji kupaca priključenih na distribucijsku mrežu, nego vrijedi općenito. Stoga nastavljamo, prema vrstama kupaca na toj mreži.
Naknada za korištenje distribucijske i prijenosne mreže za električnu energiju isporučenu tarifnim kupcima na distribucijskoj mreži je

$$n_{6T} = (W_{6T}*c_D + ((W_{6T} - W_{4T}) + W_{6T}*g_D/(1 - g_D))*c_P)/W_{6T} = c_D + ((W_{6T} - W_{4T})/W_{6T} + g_D/(1 - g_D))*c_P \ [kn/kWh] \quad (35)$$

Dakle, predstavlja sumu komponenti cijene distribucije i cijene prijenosa razlike distribucijske tarifne potrošnje i proizvodnje elektrana priključenih na distribucijsku mrežu za tarifne kupce, te cijene prijenosa gubitaka u distribucijskoj mreži.
Za povlaštene distribucijske kupce, ako je elektrana s kojom su ugovorili proizvodnju priključena na prijenosnu mrežu ili su ugovorili dobavu s elektranom iz inozemstva, naknada jest

---

[2] UCTE je Unija za koordinaciju prijenosa električne energije (obuhvaća Belgiju, Njemačku, Španjolsku, Francusku, Grčku, Italiju, Sloveniju, Hrvatsku, Jugoslaviju, Luksemburg, Nizozemsku, Austriju, Portugal, Švicarsku, češku, Mađarsku, Poljsku i Slovačku), a ETSO je Europska udruga operatora prijenosnih mreža (obuhvaća operatore iz zemalja članica Europske unije, te operatore Norveške i Švicarske).

[3] Takav je način bez utjecaja na troškove distribucije. Ako bi se dio gubitaka pokrio proizvodnjom iz distribucijskih elektrana, za toliko bi se umanjila raspoloživa energija iz tih elektrana za pokriće distribucijske potražnje, te bi se za toliko povećala dobava iz prijenosne mreže. Kako dobavu za poriće gubitaka i dobavu za pokriće potražnje distribucija plaća po jednakoj cijeni, ostaje se na istom.

$$n_{6PP} = (W_{6PP}*c_D + (W_{6PP} + W_{6PP}*g_D/(1 - g_D))*c_P)/W_{6PP} = c_D + ((1 + g_D)/(1 - g_D))*c_P \text{ [kn/kWh]} \quad (36)$$

Predstavlja sumu komponenti cijene distribucije, cijene prijenosa te energije i cijene prijenosa gubitaka u distribucijskoj mreži radi te energije.

Ako je elektrana s kojom su ti povlašteni kupci ugovorili isporuku priključena na distribucijsku mrežu, tada je naknada (gubici se naknađuju prijenosom!)

$$n_{4P} = (W_{4P}*c_D + (W_{4P}*g_D/(1 - g_D))*c_P)/W_{4P} = c_D + (g_D/(1 - g_D))*c_P \text{ [kn/kWh]} \quad (37)$$

Dakle sada je prethodna cijena manja za cijenu prijenosa te energije, jer se ta energija ne prenosi, ali ostaje cijena prijenosa gubitaka u distribucijskoj mreži nastalih radi distribucije te energije.

Ukupna naknada koja pripada prijenosu je

$$N_P = (W_{31T} + W_{31P} + W_{i1} + W_{iP})*c_P + ((W_{6T} - W_{4T}) + W_{6T}*g_D/(1-g_D))*c_P + (W_{6PP} + W_{6PP}*g_D/(1-g_D))*c_P + (W_{4P}*g_D/(1-g_D))*c_P = (W_{31} + W_i + W_{6T} + W_{6PP} + W_{4P} - W_{4T} - W_{4P} + W_{gD})*c_P = (W_{31} + W_i + W_6 - W_4 + W_{gD})*c_P \text{ [kuna]} \quad (38)$$

Pri tome proizvodnji treba platiti energiju za pokriće gubitaka u prijenosnoj mreži $W_{gP}*c$, pak za pogon i održavanje prijenosne mreže (i pokrivanje drugih troškova neovisnih od bilance) ostaje

$$N_{PiOP} = N_P - W_{gP}*c \quad (39)$$

Ukupna naknada koja pripada distribuciji je

$$N_D = W_{6T}*c_D + W_{6PP}*c_D + W_{4P}*c_D = (W_{6T} + W_{6PP} + W_{4P})*c_D \text{ [kuna]} \quad (40)$$

Pri čemu proizvodnji treba platiti energiju za pokriće gubitaka u distribucijskoj mreži WgD*c, pak za pogon i održavanje distribucijske mreže (i pokrivanje drugih troškova neovisnih od bilance) ostaje

$$N_{PiOD} = N_D - W_{gD}*c \quad (41)$$

## 7. ZAKLJUČAK

Na temelju jedinstvene cijene proizvodnje i nabave električne energije, te svojstvene cijene prijenosa i svojstvene cijene distribucije, utvrđene su prosječne naknade za korištenje prijenosne i distribucijske mreže za sve očekivane vrste korisnika tih mreža, s naročitim naglaskom na tretman gubitaka pri tome:

- izravne tarifne kupce i ostalu potrošnju na razini prijenosne mreže
- izravne povlaštene kupce
- ostali izvoz (onaj koji nije za inozemne povlaštene kupce)
- inozemne povlaštene kupce
- tarifne kupce na distribucijskoj mreži
- povlaštene distribucijske kupce koji su isporuku ugovorili s elektranom priključenom na prijenosnu mrežu ili iz uvoza
- povlaštene distribucijske kupce koji su isporuku ugovorili s elektranom priključenom na distribucijsku mrežu.

Radi naglaska na motrenje gubitaka, naknade su računate samo za (a) pokriće troškova pogona i održavanja (i drugih troškova neovisnih o elektroener-getskoj bilanci) te (b) za pokriće troškova energije za nadoknadu gubitaka u tim mrežama (ovisnim o elektroenergetskoj bilanci). Nisu obuhvaćeni troškovi pomoćnih usluga, odnosno usluga sustava, koji također mogu biti ovisni ili neovisni od bilance. Konačno, nisu obuhvaćena niti sredstva za razvoj, koja također treba smatrati odobravanim po regulatornom tijelu i dodavanim u naknade za korištenje mreža.

Polazna je pretpostavka da se cjelokupni troškovi mreža raspoređuju samo na kupce, a ne i na priključene elektrane. Takva je praksa u dijelu europskih zemalja, dok se u (nešto većem) dijelu zemalja naknada propisuje za sve korisnike mreža - elektrane i kupce - u stanovitom omjeru. češće taj je omjer takav da se veći dio ukupne naknade prevaljuje na kupce, a manji dio na elektrane.

Principijelno jednak postupak primijenio bi se prilikom godišnjeg planiranja koristeći planske veličine i prilikom godišnjeg obračuna, samo tada koristeći ostvarene veličine. Također neke veličine mogu biti normirane i standardizirane - kako prilikom planiranja, tako i prilikom obračuna.

## LOSS TREATMENT WITHIN THE TARIFF FOR TRANSMISSION AND DISTRIBUTION NETWORK USAGE

A review of network losses' treatment within the necessary transmission and distribution network usage tariffs in an electric power system is given where there is production for eligible and tariff customers, export for eligible foreign customers and others, import for domestic eligible and tariff customers, import for export as well as where eligible and tariff customers are directly connected on transmission or distribution network.

## DIE BERÜCKSICHTIGUNG DER VERLUSTE BEI DER BESTIMMUNG DES ENTGELTES

Dargestellt ist die Berücksichtigung der Netzverluste bei der Bestimmung des notwendigen Entgeltes für die Nutzung des Verteilungs- und Übertragungsnetzes im Elektrizitätsversorgungssystem, welcher den Strom für preisbegünstigte und preissatznutzende inländische Käufer, sowie für den preisbegünstigten und sonnstigen Export erzeugt, und sich in der Einfuhr zwecks Versorgung einheimischer Käufer, als auch zwecks Transits betätigt; dabei können preisbegünstigte und preissatznutzende Käufer sowohl an das Übertragungsnetz als auch auf das Verteilungsnetz angeschlossen sein.

Naslov pisca:

**Marijan Kalea, dipl. ing.**
**Hrvatska elektroprivreda**
**HEP - Prijenos d.o.o.**
**Prijenosno područje Osijek**
**Šetalište kardinala Šepera 1a**
**Osijek, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2002-12-04

# FINDING BUSINESS PERFORMANCE IMPROVEMENTS THROUGH TELECOMMUNICATIONS RE-ENGINEERING

Andrew Wilson, England

UDK 621.316:1:621.31.008
PROFESSIONAL PAPER

Restructuring within the Electricity Industry across Europe has, and continues to have, a huge impact on operational and financial performance. This alone presents issues for companies on how best to meet the telecommunications needs of a changing business, often having to cope with merging or de-merging organisations. However, when coupled to the process of de-regulation and the resulting re-structuring in the Telecommunications Industry, the potential for further destabilisation of the Electricity Industry increases.
Destabilisation does not, however, have to be a negative factor. In addition to having the potential for driving up telecommunication costs, restructuring across the two industries presents the electricity company or organisation with issues around:

- Changing Requirements and Increasing Demands - Driving Costs UP
- New Technologies and Rationalised Service Offerings - Driving costs DOWN
- New Ventures - Enabling the Generation of ADDITIONAL non-regulated income.

The following sections of this paper explore the differing issues presented by the three themes above from the point of view of the Electricity Industry.

**Key words:** **Restructuring, Telecommunications Industry, Electric Industry.**

## 1. CHANGING REQUIREMENTS AND INCREASING DEMANDS

There are a number of key drivers in this area covering both internal and external influences on the Electricity utility. These include:

- Regulatory schemes aimed at delivering better Value-for-Money and Quality-of-Service for the utility customer
- Internal efficiency initiatives aimed at producing greater returns for the business within the regulatory price controls
- The need to generate customer loyalty in an increasingly competitive market place.

### 1.1. Regulatory drivers for Customer Service Improvements

From the utility customers' perspective, the Value-for-Money and Quality-of-Service they receive can be measured against the number and frequency of interruptions to their electricity supply and the response they receive from the utility should their supply be affected.
Whilst both of the service metrics referenced above can benefit significantly from initiatives involving telecommunications, the approach taken and correct choice of technology or service to be applied is key.

#### 1.1.1 *Interruptions to supply*

The performance of electricity utilities is often measured against the number of supply interruptions experienced by their customers and the length of such interruptions. Performance can be greatly enhanced in this area through the tactical implementation of automation and field working systems, which make extensive use of telecommunications. For a supply interruption at a customer location to register as such for regulatory measurement, it normally has to exceed a specific duration, three minutes in the UK. If the utility can detect a fault and take steps to reconnect or switch around the fault minimising its impact in less than this breakpoint duration, then the customer and regulatory impact can be reduced. If not, and the supply interruption is recorded, then the utility will, in the UK example, be subject to a regulatory financial penalty.
Many utilities are approaching this issue by installing remote switching equipment at remote locations. However, the rural nature of these locations often means that arranging for telecommunication connections between the automation or SCADA system and the remote switch, can be difficult or, at best, expensive.
By looking beyond the traditional wireless or fixed telecommunications solutions that are available, innovative alternatives can often be found. Following successful trials by a number of UK utilities, one electricity utility has decided, after a thorough technical review and investment appraisal, to implement a remote switching scheme using the control channel of its MPT1327 Private Mobile Radio (PMR) system as the remote communications bearer for the Remote Terminal Units (RTU) in the field.

Overall benefits in delivering solutions in this area are defined by the specific drivers involved. However, by analysing the need prior to designing the solution, which applies telecommunications technology in an appropriate and cost-effective manner, utilities can ensure that the cost of ownership and operation of schemes that have significant telecommunications content are minimised.

#### 1.1.2. *Duration of Interruption*

The length of time for which customers' supplies are affected is directly influenced by how quickly the utility can mobilise its engineers to repair the fault, along with their effectiveness when on site.

The key to mobilising the correct team of engineers to attend a fault, is knowing where the staff are in the first place. Remote vehicle communications coupled with Global Satellite Positioning (GPS) can provide accurate up-to-date information on the location of on-call personnel, in addition to providing a means of quickly highlighting instances of unauthorised vehicle use.

Once the most appropriate team to deal with an incident has been identified, they need to be advised of the job and its location. This task has been traditionally carried out over a voice communications network by a dispatcher. Through the implementation of mobile workforce data solutions a far greater level of information can be passed to the allocated repair team at the time of despatch. This information might include basic job details, such as location and nature of fault; through to more advanced information, such as location maps, photographs and network diagrams relative to the area of the fault.

The telecommunications initiatives above will enhance the utility's ability to respond and repair faults more quickly, thus reducing the potential duration of interruptions and, hence, improving the level of performance of the utility perceived by their customers.

### 1.2. Internal Efficiency Gains

The ever-increasing pressure, by regulatory authorities, for the privatised utility to reduce the price charged to the customer, is in direct conflict with that utility's need to deliver value to its shareholders.

In order to provide continuing returns for investors in the face of reducing revenues, privatised utilities must make operational efficiency savings.

Many savings initiatives can be enabled through the use of telecommunications. The main gains to be made are through obtaining increased performance from the same size, or indeed a smaller, workforce. One way of achieving this aim is through greater use of technologies in the area of mobile working, these include:

- Wider use of mobile telephony, GSM and GPRS
- Deployment of digital Private Mobile Radio (PMR) systems, Tetra, MPT 1327
- Mobile data solutions allowing greater independence for field staff
- Home based working enabled by broadband network connectivity.

### 1.3. Generating customer Loyalty

Customer churn may not be an issue for the immediate future in many newly privatised utilities. However, with the onset of competition, customer brand loyalty needs to be generated early to reduce churn in the future. For example, across the UK utility market, by 2005, Datamonitor predict that 16 million customers will have changed supplier and 70 % of those will do so more than once.

As a result of competition across Europe, in the energy supply sector, we have seen many customers transfer their business to other brands in return for lower bills. However, despite winning new customers many of the new entrant energy suppliers have failed to win their new customers' loyalty. Having invested heavily to win new customers, they are now experiencing heavy churn driven by the perceived poor quality of the customer relationship.

This paper will show that as regulation and margins tighten, utilities need to look at both improved operating efficiencies and brand expansion into non-regulated areas, in order to generate greater profits. The latter, whilst an attractive proposition, is only possible with significant customer confidence and loyalty.

In liberalised telecommunications markets service providers are increasingly focusing on "Customer Experience', an area the electricity industry could look to in order to gain significant benefit as their own market opens up.

The main regular contact a utility has with its customers is via their bill and any subsequent queries through the utility's call centre. It makes sense then to maximise the opportunity in these areas to enhance the utility's brand identity and loyalty.

For those utilities not offering on-line billing and payment services, then Electronic Bill Preparation and Presentation (EBPP) offers the next logical step in customer communication. A large proportion of calls handled by any utility are bill queries. By improving the connection between the meter, the bill and the customer, not only can confidence in the bill and brand be increased but the "post bill run' load on the call centre can be reduced.

The implementation of an EBPP solution, as described above, will give rise to a number of choices in terms of supporting telecommunications services or technology but, in turn, will affect others in a positive manner, such as reducing the load on a call centre's agents and systems.

### 1.4. Multi-Utility Trend

There is a general trend, spreading out from Europe, for the creation of large global Multi-Utilities from strong national champions. The issues raised earlier in this paper apply equally to large Multi-Utilities, with an even stronger emphasis on generating brand loyalty whilst continuing to deliver increased shareholder revenue.

The idea of brand or customer loyalty becomes ever more important when a utility becomes separated into separate supply and distribution businesses, a situation which is mandatory in the UK and becoming more prevalent throughout the rest of Europe.

One of the drivers for merging utility businesses is the potential savings to be made through the sharing of operational systems and resources. A merged business must also be able to show reduced costs through internal efficiency savings. These savings may come directly from moving to a shared telecommunications infrastructure; they

may also come from wider initiatives which need the support of new telecommunications services in order to succeed, such as the sharing of operational and maintenance best practice across the merged business.

## 2. NEW TECHNOLOGIES AND RATIONALISED SERVICE OFFERINGS

Liberalisation of telecommunications markets has given rise to many new technologies and changes in the way in which traditional services are delivered. This provides the utility with the opportunity for making savings in operational cost when compared to current solutions. These are to be found in many areas, such as fixed or wireless telecommunications services and include:

- xDSL - Broadband network access technology. Giving low cost, high speed access to the Internet suitable for domestic of small office applications
- IP-VPN - A data networking technology / service of fering which provides more flexible corporate network solutions at a potentially lower cost due to the shared network infrastructure
- Public TETRA - A shared radio infrastructure which is a viable alternative to traditional PMR
- LeoSat - New Low Earth Orbit satellite systems, which provide relatively low cost, low data rate solutions suitable for telemetry or remote site communications.

In addition to the potential to move to alternative technical solutions, such as some of those listed above, consideration should be given to how these internal communication services are delivered. With companies across market sectors concentrating on core skills as a means of reducing internal cost whilst offsetting operational risk, the trend of outsourcing is developing strongly, despite, often internal, resistance. Both internal IT and telecommunications are good examples of the type of service which a utility might outsource to its benefit, allowing it to keep up with the rapid pace of change of technology through the use of an external service provider.

Changes in technology and innovative new services present the utility with the opportunity to obtain equivalent services at a lower overall cost or, indeed, to implement more advanced services at limited, or even no additional, cost.

At a time when new technologies and services are being made available within the telecommunications market, the very same industry is undergoing significant change due to the financial status of a number of the major operators. There is a general glut in capacity, resulting in supply which well exceeds demand. The combination of reduced revenues and excessive investment has lead to a number of operators leaving the market, and those left are delaying the launch of new services such as Third Generation (3G) mobile phones. Those left in the market have to vie hard to retain their existing client base and are now focusing closer on large corporate users and their true needs. A robust approach to procurement will present the utility with the opportunity to negotiate attractive deals for existing or new services, and provided diligence is applied when assessing an external service provider's financial stability, benefits are achievable in the long term.

The expansion, in terms of number of providers and in the types of service offered, in the area of public telecommunications, has resulted in numerous alternatives to the traditional utility approach of building, owning and operating private infrastructure. Therefore, a key decision to be made, from a strategic perspective, prior to embarking on any project involving new technologies or service offerings, is whether to make use of Public or Private infrastructure. The nature of a project and the capital expenditure needed to implement it, should be reviewed in order to assess whether it would be more beneficial to go down the route of building a dedicated private infrastructure or to source from a public service provider.

## 3. NEW VENTURES

Regulatory "Squeeze' and the need to continually deliver increased shareholder value have led utilities to look for ways of generating revenue outside the financial and operational constraints applied to the regulated element of the utility's business.

One opportunity open to the utility is to leverage their existing asset base or internal skills in order to generate a revenue stream outside of their traditional business in the regulated electricity sector.

There have been a number of new ventures into the telecommunications market across Europe by utilities, mostly in the Electricity and Gas sectors but increasingly in the water sector utility's telecommun. The level of involvement across these ventures varies significantly, from merely leasing duct space to leasing spare capacity within the ications network, or even investing in and developing a completely separate telecommunications company offering commercial services under a new telcommunications licence.

Opportunities in these areas are well documented in reports such as "Strategies for Utilities in the European Telecommunications Market' and include:

- Leasing duct space or overhead line supports for the installation of fibre optic cable by a third party
- Leasing spare capacity within the utility's private infrastructure
- Installing additional telecommunications infrastructure then lease this on to a telecommunications operator, e.g. Dark Fibre
- Renting space within, or on top of, buildings or existing radio masts to cellular phone operators
- Leveraging customer base to deliver additional services under the same brand, such as domestic telephony or Mobile Virtual Network Operator (MVNO)
- Leveraging internal skills to offer facilities management type services to other organisations, e.g. IT or telecommunications support.

When exploring any potential opportunity the utility must make themselves aware of the true market value of any assets involved or services offered in order to ensure they both maximise the return and are able to demonstrate a clear boundary between regulated and unregulated income to the regulatory authorities.

A common issue that often occurs in situations where a utility embarks upon a new venture is that a lack of internal communication and assessment of company-wide objectives, results in ventures or service choices, which are not compatible with each other. Strategic decisions in both operational and new business need to be aligned if the ben-

efits are to be maximised though alignment as opposed to being negated through mismatched philosophies.

## 4. SUMMARY

This paper demonstrates that despite instability in the telecommunications markets and pressure on internal resources caused by industry restructuring and regulatory change, electricity businesses can capitalise on new technologies and services from the liberalised telecommunications market to reduce operational costs while maintaining or improving operational and financial performance.

In the electricity utility of today the use of modern digital communications is often the enabling factor when looking to overcome many of the issues facing the industry. It must be said, however, that no one solution is appropriate in all circumstances or to all companies.

Feasibility assessment and due diligence should be considered for any project or venture involving telecommunications, given the constant change in both emergent technologies and the financial status of those offering commercial telecommunications services in the market today.

The proven approach of using robust procurement practices must be followed if technical and commercial pitfalls are to be avoided en route to achieving true business benefit.

When entering into new ventures with the aim of generating additional revenue, it is vital to align internal telecommunications strategies with this aim, if maximum business benefit is to be achieved.

In the drive to improve performance and meet regulatory objectives innovative telecommunications based solutions can provide a key contribution towards core business performance improvements, provided any investment appraisal constraints identified are closely monitored.

Merging organisations are ideally positioned to exploit changes in the telecommunications markets; outsourcing telecommunications services may offer numerous benefits in this respect, an increasing trend amongst utilities.

Telecommunications solutions and services are key components of the customer experience which must be addressed in order to maintain customer loyalty and minimise churn; churn is a clear threat to revenues during the emergence of liberalised electricity markets.

## NOVE POSLOVNE PRILIKE KROZ REDIZAJN TELEKOMUNIKACIJA

Restrukturiranje elektroprivrede u Europi ima i imat će jak utjecaj na proizvodne i financijske mogućnosti. Time se postavlja pitanje kompanijama kako zadovoljiti telekomunikacijske potrebe poslovanja u promjeni, često u situaciji organizacijskog spajanja ili razdvajanja. Međutim, povezano s deregulacijom i restrukturiranjem telekomunikacijske industrije, potencijal za daljnju destabilizaciju elektroprivrede raste.

Destabilizacija ne mora uvijek imati negativnu konotaciju. Uz to što može povećati telekomunikacijske troškove, restrukturiranje dvije tvrtke znači za elektroprivrednu kompaniju ili organizaciju sljedeće:

- Promjenu potreba i porast potražnje- što znači povećanje troškova
- Nove tehnologije i racionalizaciju ponude usluga- što znači smanjenje troškova
- Nove pothvate- što znači mogućnost dodatnog neregu-liranog troška.

Rad istražuje različite mogućnosti kroz gornje tri teme s gledišta elektroprivrede.

Naslov pisca:

**Andrew Wilson, ing.**
**Mason Communications Ltd.**
**5 Exchange Quay**
**Manchester M5 3 EF**
**England**

Uredništvo primilo rukopis:
2002-11-27.

# MODEL I ORGANIZACIJA SLUŽBE VOĐENJA DISTRIBUCIJSKE MREŽE HRVATSKE

Boris K r s t u l j a - Vitomir K o m i n, Rijeka

UDK 621.316.1:621.31.008
STRUČNI ČLANAK

Otvaranje tržišta električne energije u Hrvatskoj postavlja pred distribuciju električne energije posebne zadatke u smislu promjene modela vođenja distribucijske mreže te strukturiranja organizacije poslova vođenja mreže. Ovaj članak određuje i analizira osnovna načela izrađenog modela te daje njegov prikaz. Opisuju se funkcije i zadaci pojedinih razina modela te način njegove provedbe. U nastavku je dana organizacija službe vođenja distribucijske mreže Hrvatske. Služba vođenja treba zadovoljiti novo nastale zadatake i biti prilagodljiva za moguće promjene u bliskoj budućnosti koje će nastati sve većim otvaranjem tržišta el. energije i reguliranjem standarada kvaliteta usluga. Na kraju, prikazuju se prava, dužnost, djelokrug i odgovornost službe za vođenje distribucijske mreže.

**Ključne riječi: model vođenja, organizacija službe vođenja, distribucijska mreža Hrvatske.**

## 1. UVOD

Otvaranjem tržišta električne energije u Hrvatskoj, temeljem Direktive 96/92/EC, i stupanjem na snagu Zakona o energiji i Zakona o tržištu električne energije dolazi do velikih promjena u organizaciji i modelu vođenja elektroenergetskog sustava Hrvatske [1]. Usporednim aktiviranjem NOSIT-a (Eng: ISMO Independent System and Market Operator) kao hrvatskog nezavisnog operatora sustava i tržišta [2] i njegovim izdvajanjem iz HEP-a nameću se bitne promjene i u dijelu vođenja distribucijske mreže.

Predložene promjene Direktive 96/92/EC [3] dodjeljuju veliku važnost i ulogu Operatoru distribucijske mreže na otvorenim tržištima električne energije te postavljaju i zahtjeve na restrukturiranje distribucijske djelatnosti do 2005. g. u europskoj zajednici.

Novu ulogu distribucijskog poduzeća (HEP - Distribucija d.o.o.) kao energetskog subjekta za obavljanje javne usluge distribucije i opskrbe električnom energijom treba sagledati i u tako pretpostavljenim tržišnim okolnostima uvažavajući posebno Zakon o tržištu električne energije [4] te prijedlog Mrežnih pravila hrvatskog elektroenergetskog sustava [5] kao osnovne akte iz tog područja.

Funkcija vođenja elektroenergetskog sustava jedan je od temelja na kojim počiva kvalitetno i efektivno djelovanje tržišta kao i pružanje javnih usluga.

Ovaj model i organizacija službe vođenja distribucijske mreže Hrvatske upravo se temelje na navedenim dokumentima i postavkama.

## 2. MODEL VOĐENJA DISTRIBUCIJSKE MREŽE HRVATSKE

Model sustava vođenja elektroenergetskog sustava Hrvatske, prikazan na slici 1., temelji se na četverorazinskoj strukturi i nadopuna je modela vođenja elektroenergetskog sustava Hrvatske prikazanog u [1 i 2]. Na najvišoj razini je Operatora sustava (OS) i Operator distribucijske mreže (ODM). Na drugoj razini su mrežni centri i regionalni Dispečerski centri distribucije (DCD). Na trećoj razini su uz objekte prijenosne mreže [1 i 2] i Centri upravljanja (CU), napojni objekti distribucijske mreže (TS 110/x kV i TS 35/x kV) kao i proizvođači el. energije u 35 kV mreži koji nisu u nadležnosti OS-a. Na najnižoj razini su objekti srednjeg napona (TS 10(20)/0,4 kV), proizvođači el. energije u 10(20) kV mreži i daljinski upravljani stupni rastavni uređaji).

### 2.1. Operator distribucijske mreže - ODM

#### 2.1.1. *ODM prema prijedlogu promjene direktive 96/92/EC*

Da čitatelju bude jasnija geneza naziva, smisao i uloga ODM-a ovdje se daje neslužbeni prijevod dijela prijedloga promjene Direktive 96/92/EC [3] koji se odnosi na ODM. Po definiciji ODM je (Eng: Distribution System Operator DSO) cit: "fizička ili pravna osoba koja je odgovorna za vođenje, održavanje i, ako je potrebno, za razvoj distribucijskog sustava na određenom području i, gdje postoji, za povezanost s ostalim sustavima, te za osiguranje dugoročne sposobnosti sustava da ispuni razumne zahtjeve na distribuciju električne energije". Određeni su zadaci i načini postupanja ODM-a cit.:

"1. Ostvarenje sigurnog, pouzdanog i učinkovitog distribucijskog sustava na svom području s dostojnom pažnjom prema okolišu.
2. U bilo kojem slučaju ne smije se diskriminirajuće ponašati prema korisnicima ili grupama korisnika svoje mreže, posebno ako je to u korist privrednog subjekta kojem pripada.
3. ODM će osigurati korisnicima svoje mreže sve informacije koje oni trebaju za učinkovit pristup (korištenje) distribucijskog sustava.

4. Po posebnoj odluci može se tražiti od ODM-a da, pri korištenju proizvodnih kapaciteta, da prednost proizvođačima koji koriste izvore obnovljive energije ili otpada ili koji proizvode kombinirano toplinsku i električnu energiju.
5. ODM nabavlja električnu energiju za pokrivanje gubitaka u mreži i za osiguranje pričuvnog kapaciteta u svom sustavu prema transparentnim, nediskriminirajućim i tržišno temeljenim postupcima, ako mu je dodijeljena ta funkcija.
6. Ako je ODM odgovoran za uravnoteženje (balansiranje) distribucijskog sustava, propisana pravila moraju biti objektivna, transparentna i ne diskriminirajuća, kao i pravila za obračun korisnicima distribucijske mreže ostvarenih neuravnoteženja.
7. Pri planiranju razvoja distribucijske mreže ODM mora voditi računa o postupcima upravljanja opterećenjem i/ili korištenja distribuiranih proizvođača el. energije koji mogu nadomjestiti potrebu za zamjenom ili povećanjem kapaciteta u mreži."

Ako je ODM dio vertikalno integriranog poduzeća on mora biti nezavisan, barem u smislu njegove pravne forme, organizacije i prava odlučivanja, od ostalih djelatnosti koje se ne odnose na distribuciju.

Da bi se osigurala ta nezavisnost ODM-a, prijedlog promjene Direktive 96/92/EC [3] navodi minimalne kriterije koji se moraju primijeniti. U skraćenom obliku ih navodimo ovdje:

a) rukovodstvo ODM-a ne smije sudjelovati u dnevnim operativnim odlukama proizvodnje, prijenosa i opskrbe električnom energijom,
b) rukovodstvo ODM-a mora moći djelovati samostalno,
c) u odlukama vezanim za resurse vođenja, održavanja i razvoj mreže ODM mora biti samostalan,
d) ODM će uspostaviti mjere i nadzor protiv diskriminirajućeg ponašanja uz izvještavanje Vijeća za regulaciju.

ODM mora poštovati i sačuvati tajnost komercijalno osjetljivih informacija koje prikupi svojim djelovanjem i mora spriječiti da se objavljuju informacije o njegovim aktivnostima, koje mogu biti komercijalno korisne, na diskriminirajući način.

### 2.1.2. *ODM u modelu vođenja distribucijske mreže Hrvatske*

U modelu sustava vođenja distribucijske mreže Hrvatske, prema slici 1, na prvoj razini je uz OS-a i ODM, kao organizacijski dio energetskog subjekta za distribuciju (HEP - Distribucija d.o.o.) koji je odgovoran za vođenje, održavanje i razvoj distribucijske mreže Hrvatske u cjelini. U ovom modelu ODM se promatra isključivo u smislu ostvarivanja funkcija odgovornih za vođenje distribucijske mreže.

ODM koordinira s OS-om i energetskim subjektom za prijenos, a funkcije operativnog vođenja distribucijske mreže ODM ostvaruje preko podređenih regionalnih DCD-a (na drugoj razini) i CU-a (na trećoj razini).

U sadašnjem trenutku ODM nije organizacijski oformljen tako da operativno djeluje kao jedinstvena cjelina za cijelu distribucijsku mrežu Hrvatske. Radi toga ODM svoja prava, funkcije, zadatke, djelokrug i odgovornost za vođenje distribucijske mreže spušta na razinu četiri regionalna DCD-a.

Nakon uhodavanja i otvaranja tržišta (za npr. više od 30%) električne energije, kadrovskog ekipiranja i informacijskog opremanja, jedinstveni ODM će moći preuzeti svoju potpunu i nezavisnu ulogu.

Moguća promjena navedenog modela s jedinstvenim ODM-om je u slučaju reorganizacije HEP - Distribucija d.o.o. u četiri odvojene teritorijalne cjeline, prema slici 2. Tada svaka od teritorijalnih cjelina postaje nezavisni i ravnopravni ODM (na drugoj razini) koji koordinira s OS-om (na prvoj razini) i energetskim subjektom za prijenos te mrežnim centrima (na istoj razini). U tom slučaju funkcije operativnog vođenja distribucijske mreže svaki regionalni ODM ostvaruje preko svog regionalnog DCD-a (na drugoj razini) i svojih CU-a (na trećoj razini).

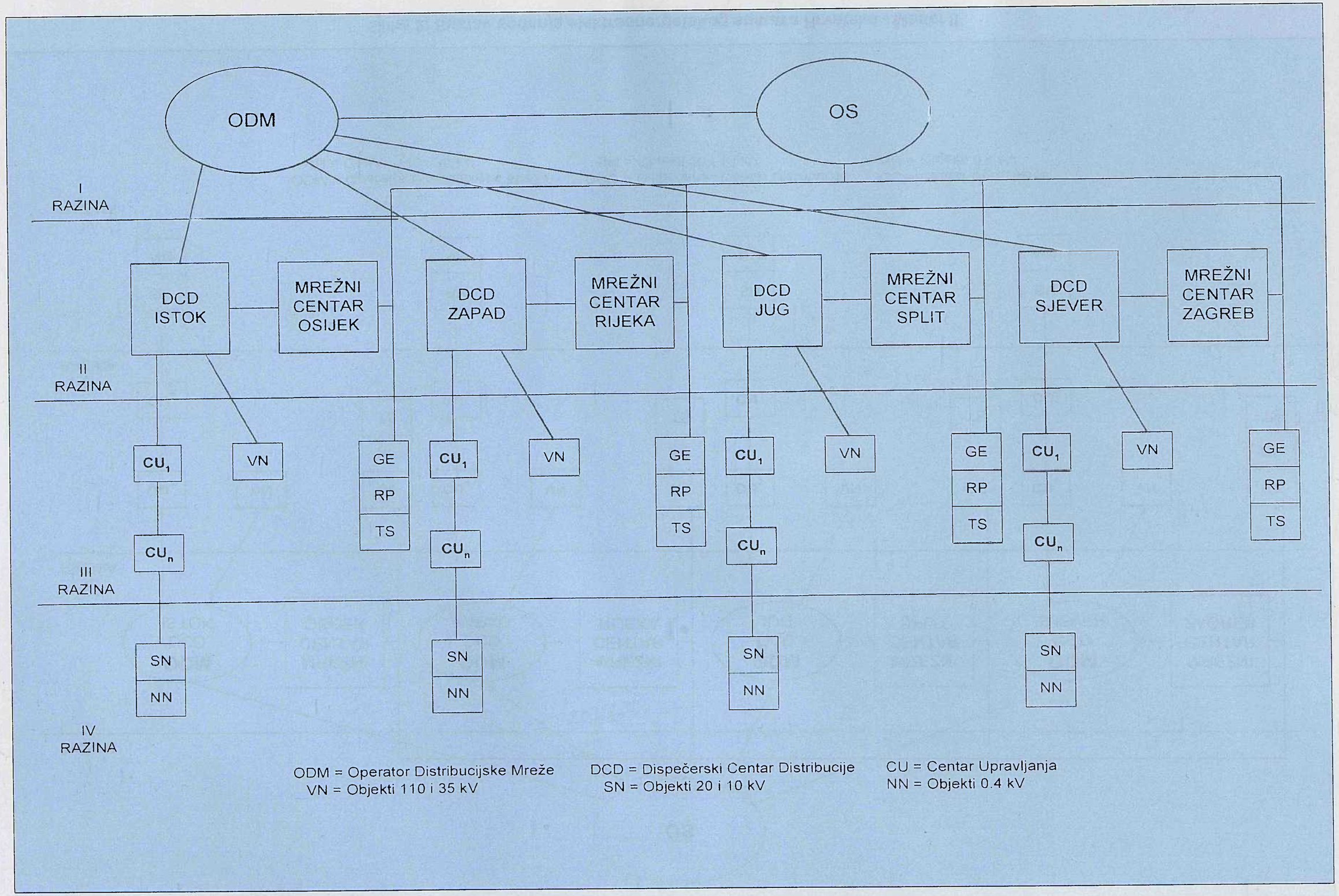
#### 2.1.2.1. Funkcije i zadaci jedinstvenog ODM-a

Funkcije i zadaci ODM-a u dijelu vođenja distribucijske mreže u slučaju modela s jedinstvenim ODM-om jesu:

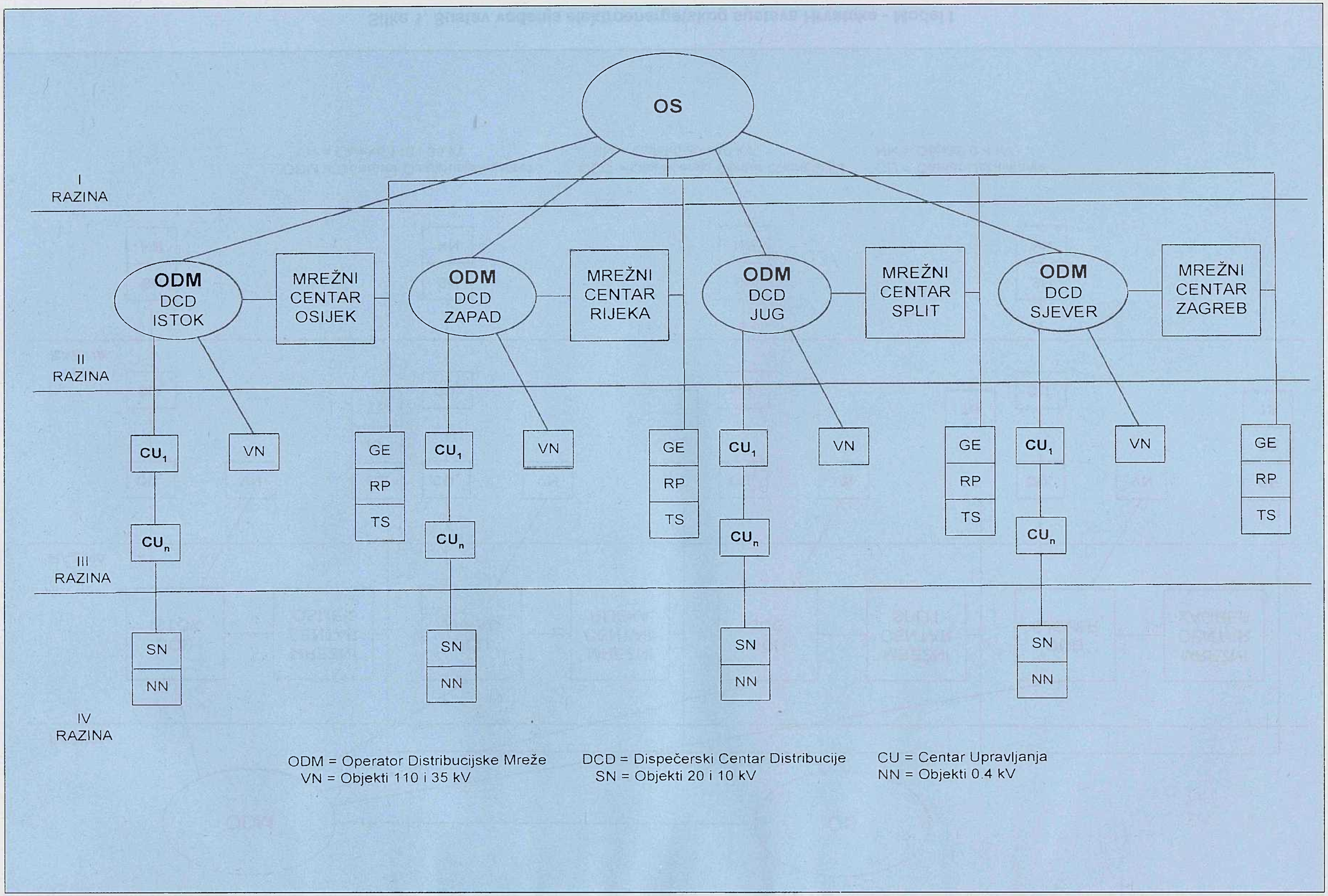
- osnovni zadaci koji proizlaze iz izdane dozvole i odluka Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti u skladu s prilagođenjem Direktivi 96/92/EC,
- planiranje - predviđanje ukupne potrošnje i proizvodnje kao i gubitaka u distribucijskoj mreži,
- izdavanje informacija o budućim potrebama za električnom energijom operatoru sustava (OS) i operatoru tržišta (OT),
- planiranje predviđanje razmjene energije na granici prijenosa i distribucije te unutar svake bilančne grupe,
- uz prethodnu suglasnost Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti donošenje plana razvoja i izgradnje distribucijske mreže za srednjoročno razdoblje,
- koordinacija s OS-om i nadzor nad provođenjem Pogonskih pravila i uputa,
- dostavljanje OS-u svih potrebnih podataka o ukupnim planiranim aktivnostima u distribucijskoj mreži radi izrade ukupnih rasporeda isporuke i preuzimanja električne energije,
- priprema i dostava podataka za uravnoteženje (balansiranje) distribucijskog sustava, kao i obrada podataka za obračun korisnicima distribucijske mreže ostvarenih neuravnoteženja,
- priprema i dostava podataka potrebnih za izračun i pokrivanje ostvarenih gubitaka u distribucijskoj mreži,
- obrada velike količine podataka o mjerenjima te završna obrada podataka daljinskog očitanja brojila i osiguranje servisa mrežnog i internet povezivanja s OT-om, opskrbljivačima povlaštenih kupaca, kao i povlaštenim i tarifnim kupcima, putem standardnih protokola i formulara,
- uspostava sustava provjere podataka na svim razinama,
- vremensko usklađivanje podataka s OS-om,
- pohranjivanje podataka,
- objedinjavanje funkcija pozivnog (call) centra,
- osiguravanje tajnosti poslovno povjerljivih podataka koje se dobivaju od stranaka, kao i osiguravanje nediskriminirajućeg objavljivanja svojih komercijalno korisnih informacija.

#### 2.1.2.2. Funkcije i zadaci regionalnih ODM-a

U slučaju modela sa Slike 2. funkcije i zadaci regionalnih ODM-a, u smislu vođenja, ostaju isti kao i jedinstvenog ODM-a, ali su ograničeni na određeno područje. Funkcije vođenja na mjestima sučelja dvaju ODM-a ostvaruju se odgovorno na




**Slika 1. Sustav vođenja elektroenergetskog sustava Hrvatske - Model I**




**Slika 2. Sustav vođenja elektroenergetskog sustava Hrvatske - Model II**

ravnopravnoj osnovi. Ovakav model dodatno opterećuje OS koordinacijom s četiri ODM-a umjesto s jednim.

#### 2.1.2.3. Organizacija ODM-a u modelu vođenja distribucijske mreže

Osim osnovnih funkcija operativnog vođenja distribucijske mreže koje ODM ostvaruje preko podređenih regionalnih DCD-a, ODM je zadužen i za funkcije osiguranja pristupa mreži, planiranje ukupne potrošnje i proizvodnje, razmjene energije i gubitaka kao i za prikupljanje, pripremu i obradu podataka mjerenja.

Za ostvarivanje ovih funkcija potrebna je podrška organizacijske jedinice za pogonsku energetiku koja bi se trebala oformiti uz svaki DCD. Veličina i opseg poslova pojedinih organizacijeskih jedinica za pogonsku energetiku ovisna je o odabranoj varijanti modela vođenja.

U modelu jedinstvenog ODM-a pogonska energetika se može oformiti središnje (na prvoj razini modela) sa zadatkom objedinjavanja funkcija i podataka iz svih regija te jedinstvenom koordinacijom s OS-om i OT-om. Ovakva središnja pogonska energetika koristila bi sklopovsku i programsku opremu DCD-a SJEVER. Na razini regionalnih DCD-a i pojedinih pripadajućih CU-a također trebaju postojati pogonske energetike, ali manjeg opsega.

U modelu regionalnih ODM-a pogonska energetika svake regije se formira u punom opsegu za nezavisni rad i direktnu koordinaciju s OS-om i OT-om te koristi sklopovsku i programsku opremu svog DCD-a, odnosno CU-a.

Organizacijska jedinica za pogonsku energetiku temelji se na stručnjacima profila:

- inžinjera za energetiku (suglasnosti za priključenje, ugovori za pristup i korištenje mreže, informiranje povlaštenih kupaca, ...),
- ekonomista analitičara (obračun naknada za korištenje mreže, obračun neuravnoteženja, izrada dijagrama opterećenja po bilansnim grupama, izrada statističkih izvješća, analiza cijena, ...),
- inžinjera za informacijsku podršku (sistemska podrška, baza podataka, GIS i internet, ...),
- tehničara za ugovore i suglasnosti.

### 2.2. Dispečerski centar distribucije - DCD

DCD je temeljna organizacijska jedinica ODM-a zadužena za ostvarivanje funkcija vođenja distribucijske mreže (na drugoj razini modela). DCD obavlja operativno vođenje i osigurava pogon nadležne 110 i 35 kV mreže, nadzor uređaja zaštite i lokalne automatike, uređaja sustava daljinskog vođenja i mrežno - tonskog upravljanja te uređaja daljinskog očitanja brojila na svom području. Obavlja, u okviru svoje nadležnosti, koordinaciju s nadređenim ODM-om, energetskim subjektom za prijenos i mrežnim centrom, a također i s podređenim CU-ima. DCD ima neposrednu odgovornost (direktnu nadležnost) za vođenje 110 i 35 kV distribucijske mreže na cijelom svom području.

Osnovne funkcije i zadaci DCD-a jesu:

1. Vođenje i pogon distribucijske mreže 110 i 35 kV:
- nadzor i upravljanje distribucijskom mrežom u djelokrugu nadležnosti,
- planiranje pogona i koordinacija održavanja distribucijske mreže, te izrada i obrada krivulja opterećenja,
- uspostavljanje tokova energije u mreži te razmjena energije među čvorovima, nadzor i osiguravanje izravnavanja gubitaka u mreži kao i odstupanja od voznog reda unutar zadanih bilansnih grupa,
- uspostavljanje pouzdanog i optimalnog rada distribucijske mreže i održavanje parametara kvalitete isporuke električne energije svim svojim kupcima uz minimum troškova, bez ugrožavanja okoliša,
- osiguravanje usklađenog djelovanja distribucijske mreže s prijenosnom mrežom, sa susjednim mrežama (drugih DCD-a) te priključenim mrežama i postrojenjima korisnika mreže,
- uspostavljanje normalnog stanja napajanja nakon smetnji,
- analiza prekida i kvarova, izrada statistika pogona i prekida napajanja kupaca, obavješćivanje korisnika mreže i ostalih nadležnih tijela, te kontakti s kupcima spojenim na 110 i 35 kV distribucijsku mrežu.

2. Isključenje pojedinih korisnika mreže:
- na zahtjev vlasnika mreže (prijenos ili distribucija) ili samog korisnika zbog održavanja, pregleda, ispitivanja ili proširenja mreže,
- zbog uzrokovanja smetnji u mreži izvan dozvoljenih okvira,
- zbog nepoštivanja naloga DCD-a ili zbog neplaćanja el. energije.

3. Osiguranje pristupa mreži za korisnike distribucijske mreže na reguliranoj osnovi temeljem odobrene tarife, tj. mogućnost korištenja mreže za predaju ili prijam dogovorene količine el. energije u dogovoreno vrijeme:
- planiranje - predviđanje potrošnje i proizvodnje pojedinih korisnika mreže,
- planiranje - predviđanje razmjenje energije na granici prijenosa i distribucije kao i pojedinih bilančnih grupa,
- obrada velike količine podataka - elektronskom razmjenom podataka putem standardnih protokola i formulara,
- uspostava sustava provjere podataka,
- prijava korištenja mreže i njezina obrada,
- odobrenja i odbacivanja zahtjeva,
- pohranjivanje podataka.

4. Izvođenje naloga OS-a i ODM-a te provođenje sistemskih pogonskih uputa.
5. Osiguravanje usluga u distribucijskoj mreži.
6. Nadzor i analiza rada uređaja zaštite i lokalne automatike, uređaja sustava daljinskog vođenja i mrežno - tonskog upravljanja te uređaja daljinskog očitanja brojila.
7. Ostvarivanje funkcija pozivnog (call) centra.

### 2.3. Centar upravljanja - CU

CU je organizacijska jedinica unutar ODM-a zadužena za ostvarivanje funkcija vođenja distribucijske mreže na 10(20) kV. Objedinjuje dispečersku službu na 10(20) kV i dežurnu službu na 0,4 kV.

Osnovne funkcije i zadaci CU-a u dijelu dispečerske službe na 10(20) kV jesu:

1. Operativno vođenje i pogon 10(20) kV distribucijske mreže:
- nadzor i upravljanje distribucijskom mrežom u djelokrugu nadležnosti,
- planiranje pogona i koordinacija održavanja distribucijske mreže,
- operativna koordinacija s DCD-om, izvršavanje njegovih naloga te provođenje sistemskih pogonskih uputa,

- uspostavljanje pouzdanog i optimalnog rada distribucijske mreže i održavanje parametara kvalitete isporuke električne energije svim svojim kupcima,
- izdavanje dokumentacije za rad, isključivanje i osiguravanje mjera zaštite na radu zbog radova na elektroenergetskim postrojenjima,
- uspostavljanje normalnog stanja napajanja nakon smetnji,
- analiza prekida i kvarova, izrada statistika pogona i prekida napajanja kupaca, obavješćivanje korisnika mreže i ostalih nadležnih tijela, te kontakti s kupcima spojenim na 10(20) kV distribucijsku mrežu.

2. Isključenje pojedinih korisnika mreže:
- na zahtjev vlasnika mreže ili samog korisnika zbog održavanja, pregleda, ispitivanja ili proširenja mreže,
- zbog uzrokovanja smetnji u mreži izvan dozvoljenih okvira,
- zbog nepoštivanja naloga CU-a ili zbog neplaćanja el. energije.

3. Osiguranje pristupa mreži za korisnike distribucijske mreže na 10(20) kV:
- planiranje - predviđanje potrošnje i proizvodnje pojedinih korisnika mreže,
- prijava korištenja mreže i njezina obrada,
- odobrenja i odbacivanja zahtjeva.

Osnovne funkcije i zadaci CU-a u dijelu dežurne službe na 0,4 kV jesu:

1. Operativno vođenje i pogon NN mreže na svom području:
- nadzor i upravljanje distribucijskom mrežom u djelokrugu nadležnosti,
- planiranje pogona i koordinacija održavanja distribucijske mreže,
- operativna koordinacija s dispečerskom službom na 10(20) kV, izvršavanje njezinih naloga te provođenje sistemskih pogonskih uputa,
- uspostavljanje pouzdanog i optimalnog rada distribucijske mreže i održavanje parametara kvalitete isporuke električne energije svim svojim kupcima,
- izdavanje dokumentacije za rad, isključivanje i osiguravanje mjera zaštite na radu zbog radova na elektroenergetskim postrojenjima,
- uspostavljanje normalnog stanja napajanja nakon smetnji,
- analiza prekida i kvarova, izrada statistika pogona i prekida napajanja kupaca, obavješćivanje korisnika mreže i ostalih nadležnih tijela, te kontakti s tarifnim kupcima spojenim na NN distribucijsku mrežu.

2. Isključenje pojedinih korisnika mreže:
- na zahtjev vlasnika mreže ili samog korisnika zbog održavanja, pregleda, ispitivanja ili proširenja mreže,
- zbog uzrokovanja smetnji u mreži izvan dozvoljenih okvira,
- zbog nepoštivanja naloga CU-a ili zbog neplaćanja el. energije.

### 2.4. Provedba modela vođenja

Model vođenja distribucijske mreže Hrvatske moguće je, radi zadovoljavanja svih dodjeljenih funkcija i zadataka, ostvariti jedino pomoću suvremenog tehničkog sustava daljinskog vođenja (SCADA) i sustava vođenja distribucijske mreže (DMS) koji se temelje na međusobno povezanim računalskim konfiguracijama (LAN) unutar cjelokupnog informacijskog sustava distribucije.

Sklopovska i programska oprema takvog informacijskog sustava mora biti izrađena i konfigurirana na modularnom načelu tako da se na svakoj razini modela ugrađuje ona sklopovska i programska oprema koja odgovara funkcijama i zadacima proizašlim iz modela.

Funkcije informacijskog sustava koji podržava model vođenja jesu:

1. Osnovne funkcije nadzora i upravljanja:
- nadzor, upravljanje i prikupljanje podataka (SCADA),
- sekvencialno upravljanje (Sequential Switching Control).

2. Funkcije vođenja distribucijske mreže:
- dinamika bojenja mreže (Dynamic Network Colouring),
- označavanje privremenih promjena u mreži (Jumps, Cuts and Grounds),
- definicija modela distribucijske mreže (Network Topology),
- analiza povezanosti mreže (Connectivity Analysis),
- određivanje veličine opterećenja (Load Calibration),
- procjena stanja mreže (State Estimation),
- upravljanje opterećenjem (Load Management),
- mod planiranja (Study Mode).

3. Funkcije analize i proračune mreže:
- proračun tokova snaga (Distribution Power Flow),
- proračun kratkog spoja (Short Circuit Calculation),
- prognoza opterećenja (Load Forecast).

4. Poslovne funkcije:
- priprema i vođenje dokumentacije za rad (Work Order Management),
- praćenje i obrada prekida i kvarova (Outage Management),
- registracija i obrada telefonskih poziva (Trouble Call System).

5. Povezivanje u integralni informacijski sustav distribucije:
- povezivanje na mrežno tonsko upravljanje (Ripple Control Interface),
- povezivanje na daljinsko očitanje brojila (Metering Registration System Interface),
- povezivanje na internet (Web Interface),
- povezivanje na tehničku bazu podataka (Technical Data Base Interface),
- povezivanje na zemljopisni informacijski sustav (GIS Interface),
- povezivanje na bazu podataka kupaca (Customer Information System Interface).

6. Komunikacijske funkcije:
- komunikacija s daljinskim stanicama (Protokol IEC 60870-5-101),
- komunikacija s CU-om (Protokol IEC 60870-5-104),
- komunikacija s mrežnim centrima i OS-om (Protokol ICCP/TASE.2), komunikacija s OT-om (Protokol IEC 62195 TR, EDIFACT).

## 3. ORGANIZACIJA SLUŽBE VOĐENJA DISTRIBUCIJSKE MREŽE

Dispečerski i dežurni poslovi organizirani su prvenstveno radi vođenja mreže, pravilnog, pouzdanog, neprekidnog i

ekonomičnog funkcioniranja mreže te korištenja elektroenergetskih postrojenja i objekata kao i neodložnog otklanjanja pogonskih smetnji, bez obzira na vremenske prilike, odnosno doba dana i noći.
Radnici koji obnašaju dispečerske i dežurne poslove jedini su ovlašteni odobravati, neposredno obavljati ili davati naloge za promjenu uklopnog stanja u elektroenergetskim postrojenjima na području i u djelokrugu svoje odgovornosti. Pod promjenom uklopnog stanja podrazumijeva se manipulacija radi redovnog i izvanrednog održavanja, remonta, rekonstrukcije i izgradnje, ispitivanja i mjerenja, otklanjanja pogonskih smetnji ili preusmjeravanja tokova električne energije u mreži.

### 3.1. Dežurne službe na 0,4 kV

Najniža organizacijska cjelina vođenja distribucijske mreže je Dežurna služba, za vođenje 0,4 kV dijela distribucijske mreže.
Ova služba sastavni je dio CU-a, a formira se po kriteriju traženog vremena odziva na kvar i otklanjanje kvara (standardi kvalitete usluga), zemljopisnih karakteristika te broja kupaca na navedenom području.
Orijentacijski kriteriji za formiranje dežurne službe su sljedeći:

I. Zahtjevano vrijeme odziva na kvar osigurača (poziv kupca) je 3 sata, odnosno maksimalno 4 sata, a ponovna uspostava napajanja nakon otklanjanja kvara je unutar 18 sati, odnosno maksimalno 24 sata [6, 7, i 8].
II. Prosječna služba, prema statističkim podacima [9 i 10], ostvari oko 60 (planiranih i neplaniranih) intervencija na 1.000 kupaca u godinu dana.
III. Distribucijska mreža 0,4 kV u nadležnosti jedne službe proteže se na 800 km$^2$, a u krajnjim slučajevima i do 1.600 km$^2$.
IV. Radijus djelovanja pojedine službe je 15 do 20 km, a u krajnjim slučajevima i do 50 km.
V. Broj kupaca koje servisira pojedina služba je od 20.000 do 30.000 za visoko i srednje naseljena kontinentalna područja te veće otoke, odnosno oko 5.000 za 0,4 kV distribucijske mreže na manjim otocima i rijetko naseljenim kontinentalim područjima.

Primjenjivanjem navedenih kriterija na distribucijsku mrežu Hrvatske [11] dolazimo računski do broja od oko 80 službi koje su potrebne da kvalitetnim vođenjem pokriju svu NN mrežu. Kriterij I i II određuju prosječni rad jednog radnog mjesta službe s oko 6 intervencija na dan za 25.000 kupaca (samo za terenski rad), a kriteriji III, IV i V traže za pokrivanje ukupne površine i ukupnog broja kupaca oko 80 službi.
Kako navedene službe trebaju pokriti 24 satno radno vrijeme, da bi se udovoljilo kriterijima I i II, s najmanje četiri radnika za smjenski rad, dolazimo do ukupno oko 320 radnika. Ova služba i pomaže dispečerskoj službi 10(20) kV u redovnom radu.
Veliki gradovi, odnosno područja koja imaju veliku koncentraciju kupaca (više od 30.000) na jediničnom području (oko 800 km$^2$), trebaju više od jednog radnog mjesta u navedenoj službi. Služba se tada organizira tako da samo jedno radno mjesto ostaje dežurno preko noćnih sati dok ostali rade u dvije smjene (npr. od 700 do 2200 sata).
Svako radno mjesto u dežurnoj službi treba biti najmanje opremljeno fiksnim telefonom u sjedištu službe, mobilnim telefonom, radio postajom na lokalnoj frekvenciji za vezu s nadređenom službom i ekipama održavanja te specijalnim vozilom s ljestvama, alatom i priborom, zaštitnom opremom te rezervnim materijalom. Za područja koja pokrivaju i otoke potrebno je osigurati i odgovarajuće plovilo.

### 3.2. Dispečerske službe na 20 i 10 kV

Srednja organizacijska cjelina vođenja je Dispečerska služba, za vođenje 10 (20) kV dijela distribucijske mreže.
Ova služba sastavni je dio CU-a, a formira se po kriteriju traženog vremena odziva na kvar i otklanjanje kvara (standardi kvalitete usluga), zemljopisnih karakteristika te broja kupaca na navedenom području.
Orijentacijski kriteriji za formiranje dispečerske službe na 10(20) kV su sljedeći:

I. Zahtjevano ukupno prosječno vrijeme trajanja prekida po kupcu u godini dana je 3 sata (Eng: Customer Minutes Lost = CML, odnosno, System Average Interruption Duration Index = SAIDI), a zahtjevani ukupni prosječni broj prekida po kupcu u godini dana je 4 (Eng: Customer Interruption = CI, odnosno, System Average Interruption Frequency Index = SAIFI), uz ponovnu uspostavu napajanja nakon maksimalno 24 sata [6, 7, i 8].
II. Prosječna služba, prema statističkim podacima [9, 10], ostvari oko 30 (neplaniranih i planiranih) intervencija na 1.000 kupaca u godinu dana.
III. Distribucijska mreža 10(20) kV u nadležnosti jedne službe proteže se na 800 km$^2$, a u krajnjim slučajevima i do 1.600 km2.
IV. Radijus djelovanja pojedine službe je 15 do 20 km, a u krajnjim slučajevima i do 50 km.
V. Broj kupaca koje servisira pojedina služba je od 20.000 do 30.000 za visoko i srednje naseljena kontinentalna područja te veće otoke, odnosno oko 5.000 za 10(20) kV distribucijske mreže na manjim otocima i rijetko naseljenim kontinentalim područjima.

Primjenjivanjem navedenih kriterija na distribucijsku mrežu Hrvatske [11] dolazimo računski do broja od oko 80 radnih mjesta koja su potrebna da kvalitetnim vođenjem pokriju svu 10(20) kV distribucijsku mrežu. Na prvi pogled broj dispečerskih službi je isti kao i broj dežurnih službi, iako je broj intervencija dispečerske službe dva puta manji. Uzrok leži u činjenici da pojedini prekid u 10(20) kV mreži pogađa višestruko veći broj kupaca, što značajno utječe na navedene standarde kvalitete usluga, kao i u činjenici da dispečerska služba (u okviru CU-a) ima, osim operativnih (terenskih), i dodatne trajne funkcije i zadatke, kako je navedeno u točci 2.3.
Kako navedene službe trebaju pokriti 24 satno radno vrijeme, da bi se udovoljilo navedenim kriterijima, s najmanje četiri radnika za smjenski rad, dolazimo do ukupno oko 320 radnika.
Veliki gradovi, odnosno područja koja imaju veliku koncentraciju kupaca, trebaju više od jednog radnog mjesta u navedenoj službi. Dispečerska služba se tada organizira slično kao i dežurna služba. Dodatno, s većim stupnjem uvođenja automatizacije i sustava daljinskog vođenja (i po dubini mreže), prebacivanjem nadležnosti nad vođenjem mreže na DCD, korištenjem radnika stalne dežurne službe te kućnog dežurstva "interventnog dispečera", može se uvesti rad samo u dvije smjene (npr. od 700 do 2200 sata). Time se ukupno potrebni broj radnika dispečerske službe smanjuje na oko 280.

Služba djeluje u CU-u, dijeli prostor i opremu s dežurnom službom na 0,4 kV, a posebno treba biti opremljena fiksnim telefonom, mobilnim telefonom, vozilom, telefaks uređajem, uređajem za registraciju razgovora i telefonskom sekretaricom, kao i radio postajom za vezu s nadređenom službom (DCD) i podređenom dežurnom službom te ekipama održavanja.

Centar upravljanja bi trebao biti minimalno opremljen i računalnim radnim stanicama komunikacijski povezanim sa sustavom daljinskog vođenja pripadajućih objekata iz djelokruga odgovornosti CU-a, komunikacijski i informacijski povezanim s DCD-om kao i s cjelokupnim informacijskim sustavom distribucije.

### 3.3. Dispečerske službe na 110 i 35 kV

Viša organizacijska cjelina vođenja je Dispečerska služba za vođenje 110 i 35 kV dijela distribucijske mreže. Ova služba djeluje u DCD-u.

Broj DCD-a određen je, zbog jedne od svojih primarnih funkcija koordinacije s regionalnim mrežnim centrima i energetskim subjektima za prijenos, isti kao i broj mrežnih centara iz modela vođenja prijenosne mreže (ista razina u modelu).

Kriteriji za formiranje dispečerske službe unutar jednog DCD-a su njegove osnovne funkcije i zadaci, zemljopisne karakteristike, postojeća organizacija na pogone i pogonske urede, broj kupaca, nabava el. energije i ukupna dužina mreže na pojedinom području. Pregled osnovnih podataka područja na kojima će djelovati DCD-ovi prikazan je na tablici 1. Podaci iz tablice su prema stanju na kraju 2001. god. [11].

Kako je vidljivo iz tablice kriteriji broja kupaca, nabava i dužina mreže nisu nezavisni, stoga će se uzeti kao jedan. Kriteriji ukupne površine i broj pogona i ureda su nezavisni i uzimaju se zasebno.

Primjenjivanjem navedenih kriterija dolazimo do prijedloga da jedan DCD:

- prosječno pokriva približno jednako područje. Najveća razlika je oko 5.000 km2 što je 8,6 % ukupne površine (području JUG treba uvažiti udaljenost do otoka),
- prosječno djeluje nad 17 pogona,
- ako se isključi područje SJEVER zbog grada Zagreba koji je po svim ovim kriterijima izrazito najjače, ali zato na najmanjoj povšini, najveće razlike u broju kupaca, nabavi energije i dužini mreže variraju od 10 % do 30 %. Prosječno: 420.000 kupaca, nabava 2,8 GWh, dužina mreže 26.000 km.

Unutar jednog DCD-a djeluju najmanje dva radna mjesta dispečerske službe za vođenje 110 i 35 kV distribucijske mreže s time da svako radno mjesto pokriva prosječno područje od 7 do 10 CU-a, a treće radno mjesto se otvara u DCD-u koji vodi i značajni dio 110 kV distribucijske mreže.

Kako navedene službe trebaju pokriti 24 satno radno vrijeme, dva radna mjesta s šest radnika za smjenski rad, dolazimo do ukupno oko 50 radnika.

Dispečerski poslovi u DCD-u trebaju biti neposredno podržani i odgovarajućim službama za energetske pripreme i analize te za razvoj i održavanje sistemske, informatičke i komunikacijske podrške.

DCD treba biti opremljen odgovarajućim suvremenim informatičkim sustavima, kako je navedeno u točci 2.4.

### 3.4. Prava, dužnost, djelokrug i odgovornost

Radnici koji obnašaju poslove operativnog vođenja distribucijske mreže imaju prava, dužnost, djelokrug i odgovornost da [12]:

- obavljaju ekonomično upravljanje i nadzor nad mrežom iz svog djelokruga,
- planiraju, koordiniraju, razrađuju te vrše manipulacije zbog promjene uklopnog stanja za redovna i neredovna stanja, u mreži iz svog djelokruga,
- obavljaju propisane poslove, izdaju naloge te vode dokumentaciju za rad i u svezi s manipulacijama, u mreži iz svog djelokruga,
- ustanovljuju kvar i utvrđuju mjesto kvara u mreži, izoliraju mjesto kvara, uspostavljaju što potpunuju opskrbu kupaca te obavješćuju ovlaštene osobe za otklanjanje kvara,
- određuju stupanj hitnosti i prioriteta na pregledu ili otklanjanju smetnji ili kvarova te prikupljaju izvješća o kvarovima i poduzetim mjerama,
- vode evidenciju o prekidima i kvarovima u nadziranoj mreži te obavješćuju kupce o planiranim i ostvarenim neplaniranim prekidima,
- usklađuju i izdaju odobrenja (suglasnost) za isključenje postrojenja ili dijela postrojenja u mreži, iz svog djelokruga, izdaju dokumentaciju za rad, uspostavljaju beznaponsko stanje i osiguravaju mjere zaštite na radu za potrebe redovnog i izvanrednog održavanja, remonta, rekonstrukcije i izgradnje,
- obavljaju analizu djelovanja zaštitnih uređaja, svih pogonskih događaja, vode statistiku i izdaju izvješća,
- stavljaju u pogon nove objekte u mreži iz svog djelokruga,
- prijavljuju fizičke promjene u mreži i na postrojenjima tehničkoj dokumentaciji,
- surađuju na izradi planova te provode pogonske manipulacije u slučajevima prisilne redukcije, podfrekventnog i hitnog rasterećenja snage i drugim neredovnim

**Tablica 1. Usporedbeni prikaz osnovnih podataka područja na kojima djeluju DCD-ovi**

| Kriterij / DCD | Površina ($km^2$) | Broj pogona+ureda | Broj kupaca | Nabava (Gwh) | Dužina mreže (km) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Istok** | 15.649 | 17+23 = 40 | 407.861 | 2.585 | 20.770 |
| **Zapad** | 17.144 | 23+8 = 31 | 422.531 | 3.060 | 26.600 |
| **Sjever** | 12.292 | 14+19 = 33 | 768.459 | 5.153 | 39.650 |
| **Jug** | 12.187 | 15+17 = 32 | 450.312 | 2.936 | 31.625 |
| **Ukupno** | 57.272 | 69+67 = 136 | 2.049.163 | 13.734 | 118.645 |

Napomena: Površina ($km^2$) je samo za kopneni dio.

situacijama prema sistemskim pogonskim uputama,
- prate i analiziraju energetska stanja u mreži iz svoje nadležnosti, poduzimaju preventivne mjere te predlažu radove za poboljšanje,
- vode dispečersku dokumentaciju, čuvaju je i pohranjuju.

## 4. ZAKLJUČAK

Prikazan je četverorazinski model vođenja distribucijske mreže Hrvatske koji je nadopuna modelu vođenja prijenosne mreže. Predložene su dvije varijante modela vođenja: s jedinstvenim i s regionalnim ODM-om. Na najvišoj razini je Operator sustava (i Operator distribucijske mreže, prema modelu I). Na drugoj razini su mrežni centri i regionalni Dispečerski centri distribucije (unutar regionalnih ODM-a, prema modelu II). Na trećoj razini su Centri upravljanja, napojni objekti distribucijske mreže i objekti prijenosne mreže. Na najnižoj razini su objekti srednjeg napona.

Provedba modela vođenja, uz zadovoljavanje potrebnih funkcija svake od razina moguća je samo korištenjem navedenog suvremenog informatičkog sustava.

Organizacija službi koje djeluju u modelu vođenja distribucijske mreže Hrvatske, sa zadatkom operativnog vođenja, provodi se na oko 80 CU-a (dispečerske službe za 10(20) kV i dežurne službe za NN) i četiri regionalna DCD-a (dispečerske službe za 110 i 35 kV). Navedeni broj CU-a odgovara postojećoj strukturi i teritorijanom djelovanju pogona u distribucijskim područjima. Model zahtijeva formiranje četiri nova DCD-a reorganizacijom postojećih Dispečerskih centara distribucijskih područja, na regionalnom principu. Potreban ukupni broj ljudi je velik (ukupno oko 650 ljudi samo na poslovima dispečerskih i dežurnih službi). Pored službe operativnog vođenja, unutar pojedinog DCD-a i CU-a, potrebno je formirati i odgovarajuću službu energetske podrške. Smanjenje broja ljudi, uz zadržavanje zahtjevane kvalitete djelovanja službi, moguće je samo uz visoki stupanj primijenjene automatizacije u mreži, sustava daljinskog vođenja te ostvarivanjem svih funkcija pomoću informatičke i komunikacijske podrške.

## LITERATURA

[1] I. Toljan i drugi: "Model vođenja EES-a u okruženju otvorenog tržišta električne energije", Peti simpozij o sustavu vođenja elektroenergetskog sistema, Cavtat, listopad 2002.

[2] "Aktiviranje društva hrvatski nezavisni operator sustava i tržišta i razgraničenje s poslovnim funkcijama hep-a", Zagreb, 29. svibnja 2002.

[3] COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION: "Amended proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending directive 96/92/EC (electricity) and directive 98/30/EC (gas) concerning common rules for the internal market in electricity and natural gas Electricity", Brussels, 10. October 2002.

[4] "Zakon o tržištu električne energije", NN 68/2001, Zagreb, 27. srpnja 2001.

[5] "Mrežna pravila hrvatskog elektroenergetskog sustava", (Prijedlog), Zagreb, srpanj 2002.

[6] CEER (WG on Quality of Electricity Supply): "QUALITY OF ELECTRICITY SUPPLY: Initial Benchmarking on Actual Levels, Standards and Regulatory Strategies", April, 2001.

[7] Commission of the European Communities: "First benchmarking report on the implementation of the internal electricity and gas market", Brussels, December, 2001.

[8] Commission of the European Communities: "Second benchmarking report on the implementation of the internal electricity and gas market", Brussels, October 2002.

[9] DP Elektroprimorje Rijeka: "Analiza pokazatelja pouzdanosti opskrbe u 2001 g.", Rijeka, 2002.

[10] DP Elektroprimorje Rijeka: "Analiza pokazatelja pouzdanosti opskrbe u prvoj polovici 2002. g.", Rijeka, 2002.

[11] HEP Distribucija d.o.o,: "Osnovni tehnički podaci za 2001 godinu", Zagreb, rujan 2002. g.

[12] DP Elektroprimorje Rijeka: "Uputa za obnašanje dispečerskih i dispečersko-dežurnih poslova"; Uputa broj 2.3-01, Rijeka, veljača 2002. g.-

## ORGANISATIONAL MODEL OF THE CROATIAN DISTRIBUTION NETWORK MANAGEMENT

Electricity market opening in Croatia is going to set special tasks for electric energy distribution as relates to changing the model of distribution network management and restructuring of network control and management organisation. This paper determines and analyses basic principles of the model made and gives it review. Function and task of different model levels are described together with application modes. Further on organisation of the Croatian distribution network operation service is given. Operation service has to satisfy new tasks and be adaptable to possible changes in a near future, which are going to be created by electric energy market opening and by new regulation in the field of service quality standards. Finally, rights, duties, environment and responsibilities of the distribution network management are given.

## DAS MODELL DER GESTALTUNG EINER FÜHRUNGS-DIENSTSTELLE DES KROATISCHEN VERTEILUNGSNETZES

Die Eröffnung des Strommarktes in Kroatien stellt vor kroatische Stromversorgungsunternehmen Sonderaufgaben im Sinne der Umgestaltung des Führungsmodells des Verteilungsnetzes anlässlich der Neugliederung der Geschäftsordnung der Netzleitung dar. Dieser Artikel stellt das entworfene Modell vor, daneben werden in ihm die Modellgrundsätze bestimmt und untersucht. Beschrieben werden Tätigkeiten und Aufgaben einzelner Modellstufen und die Art und Weise derer Durchführung. Weiters ist die Gliede-rung des Leitungsdienstes des kroatischen Verteilungsnetzes gegeben. Der Leitungsdienst soll neuentstandene Auf-gaben erfüllen und, für mögliche Änderungen in naher Zukunft, infolge wachsender Strommarktöffnung und der Nor-mierung von Dienstleistungenqualität, anpassungsfähig sein. Zuletzt werden Rechte, Pflichten, Umfang und Verant-wortlichkeit des Leitungsdienstes des Verteilungsnetzes ge-geben.

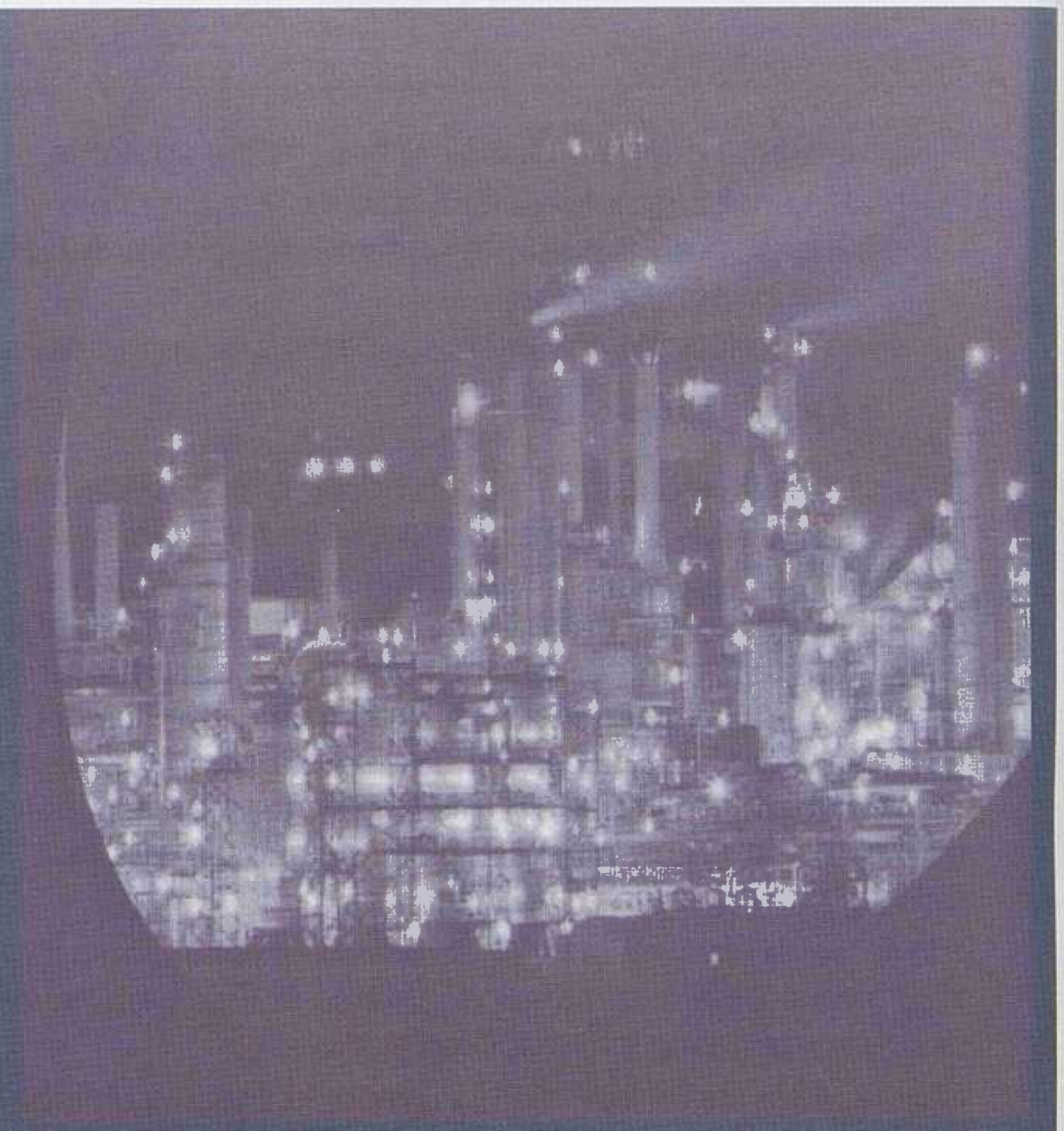
Naslov pisaca:

**Boris Krstulja, dipl. ing.**
**Viktor Komin, dipl. ing.**
**Rukovoditelj Odjela za upravljanje**
**HEP Distribucija d.o.o.**
**Ulica Viktora Cara Emina 2**
**51000 Rijeka, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2002-11-29.

Adam Smith CONFERENCES

# STRATEŠKE INVESTICIJE U JUGOISTOČNOJ EUROPI NA POLJU PLINA I ENERGIJE



26. i 27. lipnja 2003 .
Sheraton Sofia Hotel Balkan Bugarska

Detaljno proučavanje energetskog tržišta u nastajanju u Sloveniji, Hrvatskoj, Bugarskoj, Grčkoj, Turskoj, Bosni i Hercegovini, Makedoniji i Srbiji i Crnoj Gori sa svrhom isticanja ne samo prilika za strateške investicije, nego također i za budući razvoj tranzitnih puteva i rast tržišta plina i električne energije u regiji i izvan nje.

Ključne teme za diskusiju uključuju:

- Pregled regionalnog sektora: Put prema liberalizaciji
- Restrukturiranje tržišta i reforma zakonodavstva
- Pomak prema regionalnom energetskom sektoru
- Champagne okrugli stol s vodećim ljudima ključnih tvrtki u regiji
- Proučavanje ohrabrujućih poruka za strateške investicije i privatizaciju
- Strategija upravljanja financijama i rizicima u investicijama
- Prihvaćanje konkurentnog tržišta: Stvarnost i izazovi

Potvrđeni govornici:

- Milko Kovachev – Ministar energetike Bugarske
- Dan Ioan Popescu – Ministar industrije i resursa Rumunjske
- Konstatin Shushulov – Predsjednik Državne energetske regulatorne komisije Bugarske
- Roman Nota – Pomoćnik ministra za energetiku u Ministarstvu gospodarstva Hrvatske
- Urban Prelog – Vladin savjetnik u Ministarstvu za okoliš i energetiku Slovenije
- Alex Sandulescou – Generalni direktor ANRE Rumunjska
- Peter Kaderjak – Predsjednik , Mađarski energetski ured i ERRA
- Drago Fabijan – CEO, HSE

**Za daljnje informacije molimo posjetite www.asi-conferences.com ili e-mail energy@asi-conferences.com**

Sponzori: CHADBOURNE & PARKE LLP · HUNTON WILLIAMS · PIERCE ATWOOD ATTORNEYS AT LAW

# O STATISTIČKIM SVOJSTVIMA IMPULSNOG ŠUMA NA DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

Mr. sc. Dubravko S a b o l i ć, Zagreb

UDK 621.316.1:621.398.052
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Na temelju podataka iz literature izvode se alternativni matematički modeli stohastičkih razdioba amplitude i trajanja paketa impulsnih smetnji na PLC mediju, kao i vremenskog razmaka između susjednih paketa.

**Ključne riječi: impulsni šum, distribucijska mreža, funkcija razdiobe.**

## Uvod

U ovome članku raspravlja se o statističkim svojstvima impulsnog šuma na distribucijskoj elektroenergetskoj mreži, u kontekstu komunikacija tim prijenosnim medijem. Od svih vrsta šuma prisutnih na PLC mediju (engl. Power Line Carrier), impulsni šum predstavlja najveći problem. Pod pojmom impulsnoga šuma razumije se tzv. single-event pulse noise, odnosno šum impulsa koji se pojavljuju u pojedinačnim događajima na mreži, odnosno koji nisu periodičke naravi. Riječ je npr. o impulsima koji nastaju kod uklapanja i isklapanja sklopki, udara munje negdje u relativnoj blizini, itd. U tom smislu, razmatranja u ovome članku odnose se samo na mjesta u mreži koja su dovoljno udaljena od izvora vrlo jakih impulsnih smetnji, poput npr. tiristorskih sklopova. Takve su smetnje periodičke, pa ih se može ukloniti lakše od onih koje to nisu, a čiji ćemo statistički model izložiti u daljnjem tekstu.

Svi rezultati do kojih ćemo doći u ovome članku izviru iz rada prof. Dosterta i drugih njegovih suradnika [1-4]. Mi ćemo samo matematički obraditi rezultate njegovih brojnih eksperimenata, izloženih kroz navedenu literaturu i drugdje. Cilj nam je samo demonstrirati kako se rezultati do kojih je njegova grupa došla mogu pretočiti u jednostavan i zatvoren matematički model, kojega je moguće kontrolirati sa samo nekoliko parametara. On je različit od modela kojega autori predstavljaju npr. u [3]. Tu je mali doprinos, ako se on uopće može tako nazvati, ovoga rada. No, njega ne bi bilo bez izvornih eksperimentalnih rezultata. Dakle, ovdje se koristimo rezultatima istraživanja grupe prof. Dosterta, koje samo prikazujemo u jednom od mogućih oblika, a sve važne znanstvene informacije dolaze iz rada te grupe ljudi.

S obzirom da se predmetna mjerenja redovito odnose na pojedinačne slučajeve (konkretno mjerno mjesto, konfiguraciju mreže, blizinu specifičnih objekata, razmještaj specifičnih trošila, specifične atmosferske prilike itd.), unaprijed se treba odreći općenitosti rezultata izvedenih iz takvih pokusa. Cilj nam je u izvođenju zatvorenih matematičkih izraza koji dovoljno dobro opisuju konkretne mjerne rezultate, iz čega se može izvesti teza da se općenito pojava impulsnog šuma na PLC mediju odvija prema zakonitostima toga tipa, samo s drugačijim parametrima matematičkih izraza. Naravno, takvu je tezu potrebno provjeriti neovisnim mjerenjima na drugim lokacijama u nekim budućim istraživanjima.

Sada ćemo u najkraćemu opisati mjerni sustav i definicije parametara impulsnog šuma, prema Dostertu (vidjeti npr. [3]). Sama mjerna aparatura iznimno je jednostavna. Naponska mjerna sonda priključena je na niskonaponsku mrežu preko visokopropusnog filtra, kojemu je zadatak ukloniti napon frekvencije 50 Hz, a nakon toga slijedi digitalni memorijski osciloskop. Njime se upravlja automatski, tako da on sukcesivno u vremenu uzima snimke napona na mreži, svaki put u jednom prolazu, i te snimke sprema u memoriju, koja se potom prenosi u bazu podataka na računalu. Tako se dobiva snimka vremenskog tijeka napona, koja ima izvjesnu vremensku rezoluciju. Korištena rezolucija uvijek je rezultat kompromisa između težnje da se pojava promatra u jednom prolazu čim dulje, kako bi se uhvatile i pojave koje se događaju vrlo rijetko, i veličine memorije osciloskopa, kojom je ograničen broj uzoraka u vremenu koji se mogu memorirati u jednom prolazu. Naravno, postoji i ograničenje minimalnog vremenskog razmaka između dva sukcesivna uzorka, a ono je svojstveno svakom pojedinom osciloskopu. S obzirom da snimanja impulsnog šuma u jednom prolazu moraju trajati barem dvadesetak sekundi, u praksi, kod današnjih osciloskopa, to tehnološko ograničenje ne predstavlja problem.

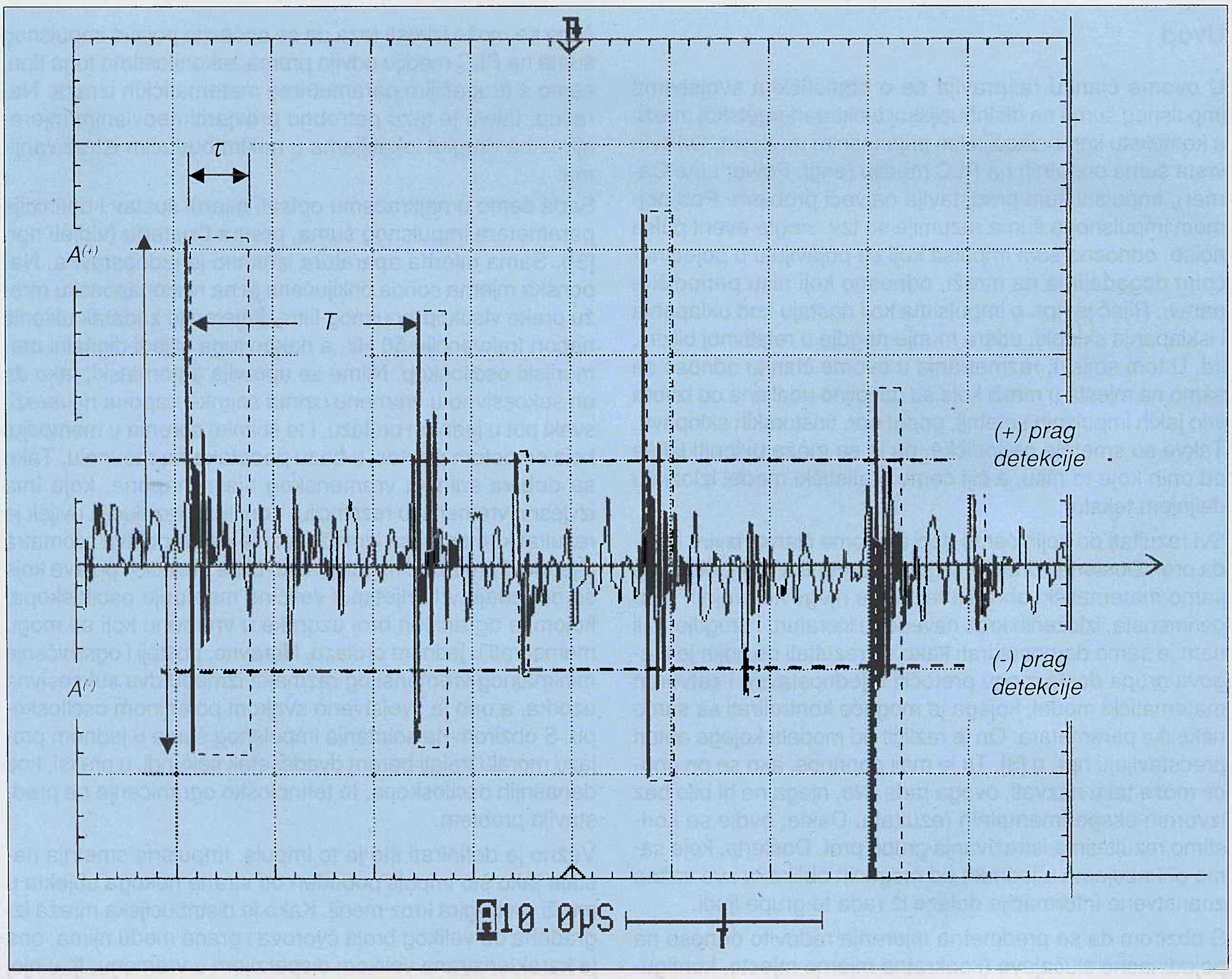
Važno je definirati što je to impuls. Impulsna smetnja nastaje tako što impuls pobuđen od strane nekoga objekta u mreži propagira kroz medij. Kako je distribucijska mreža izgrađena od velikog broja čvorova i grana među njima, ona je karakterizirana velikom disperzijom u vremenu, tj. u njoj se pojavljuje velik broj odjeka (engl. multipath propagation). Zbog toga se impulsne smetnje pojavljuju u „paketima" izvjesne maksimalne amplitude i trajanja. Na slici 1 vidimo nekoliko takvih paketa, kao i definiciju osnovnih parametara: amplituda paketa, $A$, je predstavljena većim iznosom

između pozitivne, $A^{(+)}$, i negativne, $A^{(\ddagger)}$, najviše dostignute vrijednosti Trajanje paketa, *(*, odgovara vremenskom razmaku između trenutka kada pojava prvi put nadvisi prag detekcije, i kada zadnji put padne ispod njega. Razmak između dva paketa, *T*, odgovara razlici u vremenu početaka dva sukcesivna impulsa. Mi ćemo se ovdje baviti statističkim osobinama upravo tih veličina: amplitude impulsnih paketa, njihova trajanja, i vremenskog razmaka (engl. interarrival time, IAT).

Unutar svakog paketa postoje istitravanja, koja ovise o rezonantnim osobinama same mreže. Često se kod mjerenja primjenjuje vršna ili kvazi-vršna detekcija, kako bi se dobila samo anvelopa promatrane pojave. U tom slučaju, vremenske konstante detektora kreću se u redu veličine od 50 do 100 ms, pa se ne mogu registrirati paketi koji traju kraće od približno toga vremena.

Na kraju, statističkom obradom dobivaju se funkcije razdioba gore navedenih veličina, a najjednostavniji model impulsnog šuma koji se iz njih može izvesti je povorka pravokutnih impulsa s odgovarajućim statističkim parametrima. Odabere li se složeniji, još realističniji model, unutar impulsnih razdoblja može se uvesti prigušeno istitravanje na frekvenciji bliskoj rezonantnoj frekvenciji mreže. Naš primjer na slici 1 stvaran je snimak šuma načinjen u poslovnoj zgradi Prijenosnog područja Zagreb. Na njemu vidimo da je prigušenje tranzijenata relativno naglo. Ono se duguje tipično visokom gušenju instalacijske mreže.

U našem izračunu tretirat ćemo one eksperimentalne rezultate Dosterta i suradnika, koji se odnose na mjerenja pri kojima u blizini nije postojao jak dominantan izvor impulsnih smetnji, tako da su dobivene statističke razdiobe glatke krivulje, koje se mogu aproksimirati jednostavnim formulama. U daljnjem tekstu, pojam "mjerni rezultat", ili sličan, označavat će ograničen skup vrijednosti uzet iz raspoloživih Dostertovih rezultata, a dovoljan za pronalaženje matematičkih ovisnosti. One će se pak tražiti uvijek u oblicima koji su invarijantni u odnosu na promjene mjerila bilo koje koordinatne osi, tako da zapravo apsolutni iznosi promatranih točaka neće biti važni, nego će važni biti njihovi relativni odnosi. Pretpostavlja se da u uvjetima kada u blizini nema dominantnih izvora impulsnih smetnji oblik razdioba ne ovisi o prosječnim vrijednostima stohastičkih varijabli. Naprotiv,




**Slika 1. Prikaz stvarne impulsne pojave na instalacijskoj mreži zgrade Prijenosnog područja Zagreb, na kojemu su unesene definicije stohastičkih varijabli amplitude, *A*, trajanja impulsnih paketa, *(*, i međuimpulsnog intervala, *T*, o kojima je riječ u ovome članku. Za svaki impulsni paket, amplituda *A* jednaka je većoj između pozitivne i negativne, $A^{(+)}$ i $A^{(\ddagger)}$.**

**Tablica 1. Mjerni uzorak iz kojeg se izvodi vjerojatnost prekoračenja po amplitudi impulsa**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| x = *log(1-v)* | - 0.921 | - 0.832 | - 0.699 | - 0.523 | - 0.398 | - 0.301 | - 0.222 | - 0.155 |
| y = *log(A/1V)* | - 0.900 | - 1.028 | - 1.163 | - 1.340 | - 1.461 | - 1.592 | - 1.668 | - 1.762 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| x = *log(1-v)* | - 0.097 | - 0.046 | 0.000 | 0.041 | 0.079 | 0.114 | 0.146 | 0.176 | 0.204 |
| y = *log(A/1V)* | - 1.844 | - 1.906 | - 1.929 | - 1.955 | - 1.985 | - 2.011 | - 2.040 | - 2.063 | -2.119 |

kada bi u blizini mjernog mjesta postojao npr. jak periodički izvor impulsnih smetnji, poput tiristorskog prigušivača rasvjete, on bi u konstantnim razmacima od 10 ms stalno uzrokovao impulsne pojave s istim amplitudama i trajanjima, tako da bi sve tri promatrane statističke karakteristike imale velike propade kod odgovarajućih vrijednosti stohastičkih varijabli. Takve slučajeve nije moguće obuhvatiti nikakvim modelom, što znači da se utjecaj jakih bliskih izvora mora promatrati u svakom slučaju posebno. Prezentacija mjerenja načinjenih u tim uvjetima nalazi se u [5], a dodatne informacije o šumu u PLC mediju mogu se naći u [6 - 10].

## 1. RAZDIOBA AMPLITUDE IMPULSA

U ovome poglavlju ćemo na osnovi mjerenih podataka izvesti jednostavan zatvoren izraz za funkciju razdiobe amplituda impulsa koji su premašili iznos od 100 mV. Za vrijednosti ispod 100 mV, naravno, ne postoje mjerni rezultati. Matematički izraz izvest će se metodom najmanjih kvadrata (11, 12( na uzorku od 17 točaka u rasponu od 0.12 do 1.6 V. Promatrat će se ovisnost vjerojatnosti prekoračenja, 1 - *v*, o amplitudi. Varijabla *v* je funkcija razdiobe u značenju koje je uobičajeno u stohastičkoj matematici. Vidjet ćemo da je promatrana ovisnost zapravo matematički vrlo jednostavna, a grafički ju je najlakše prikazati, kao i računski obraditi, promatranjem međusobnog odnosa logaritama vjerojatnosti prekoračenja i amplitude.

Zbog praga detekcije nemamo na raspolaganju podatke o razdiobi po amplitudama nižim od 0.1 V. Međutim, svejedno možemo sa sigurnošću ustvrditi da je vjerojatnost prekoračenja amplitude od 0 V jednaka 1, i to će predstavljati asimptotsku vrijednost kojoj izvedena razdioba nužno mora težiti u tom graničnom slučaju. S obzirom da se ova rubna vrijednost elegantno može uklopiti u pronađenu ovisnost za amplitude između 0.1 i 1.6 V, postulirat ćemo upravo takvu ovisnost, imajući u vidu da za amplitude od 0 V do 0.1 V ona ne može biti eksperimentalno potkrijepljena ovakvim mjerenjem. Najveća vrijednost amplitude s kojom ćemo ovdje računati je 1.6 V.

Za razmatranje samo u ovome odjeljku definiramo pomoćne varijable:

$$y = log\ (1\text{-}v)$$
$$x = log\ A.$$

*A* je amplituda u voltima, a *v* je razdioba stohastičke varijable *A*. Dakle, *1-v* je vjerojatnost prekoračenja amplitude *A*. Uzorak iz kojega ćemo izračunati funkciju razdiobe dan je u tablici 1. Na slici 2 vidimo da možemo pokušati tražiti linearnu ovisnost apscise i ordinate u obliku:

$$y = ax + b \tag{1}$$

Kvadratna pogrješka ovakve procjene načinjena u svim točkama koje ulaze u obradu je:

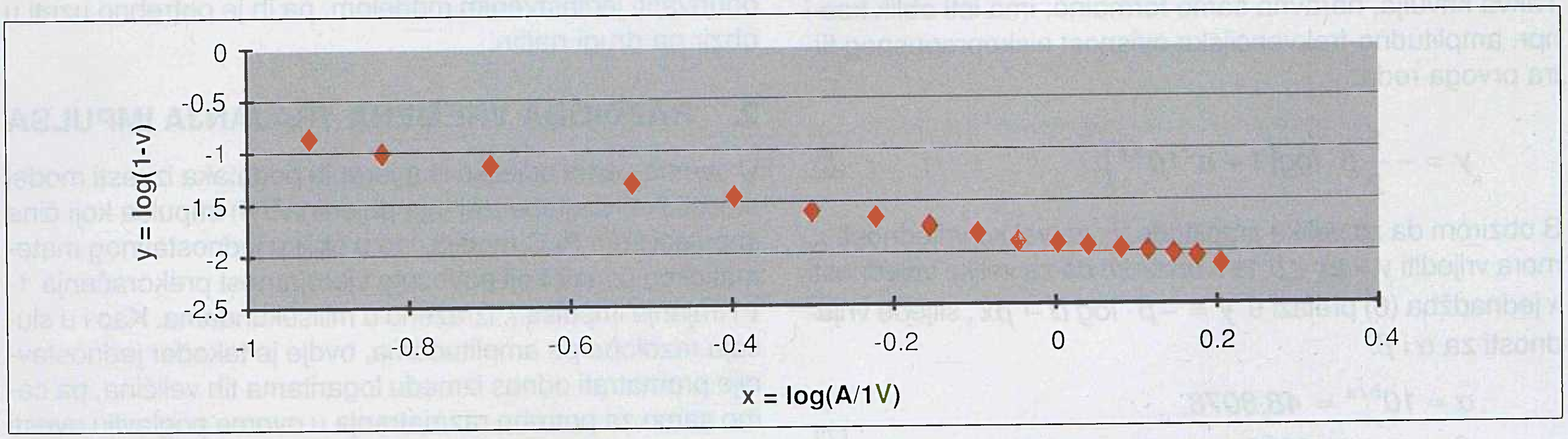
$$Q=\sum_{i=1}^{N}\left(ax_i+b-y_i\right)^2 \tag{2}$$

*N* je ukupni broj točaka. U našem primjeru $N = 17$. Veličina *Q* poprima minimalnu vrijednost ako parcijalne derivacije po varijablama *a* i *b* imaju vrijednost 0. U slučaju kada se metodom najmanjih kvadrata traži *linearna* funkcija koja najbolje aproksimira zadani set podataka $(x_i, y_i)$, može se dokazati da je iščezavanje prvih parcijalnih derivacija ujedno i nužan i dovoljan uvjet za postizanje minimuma funkcije *Q*.

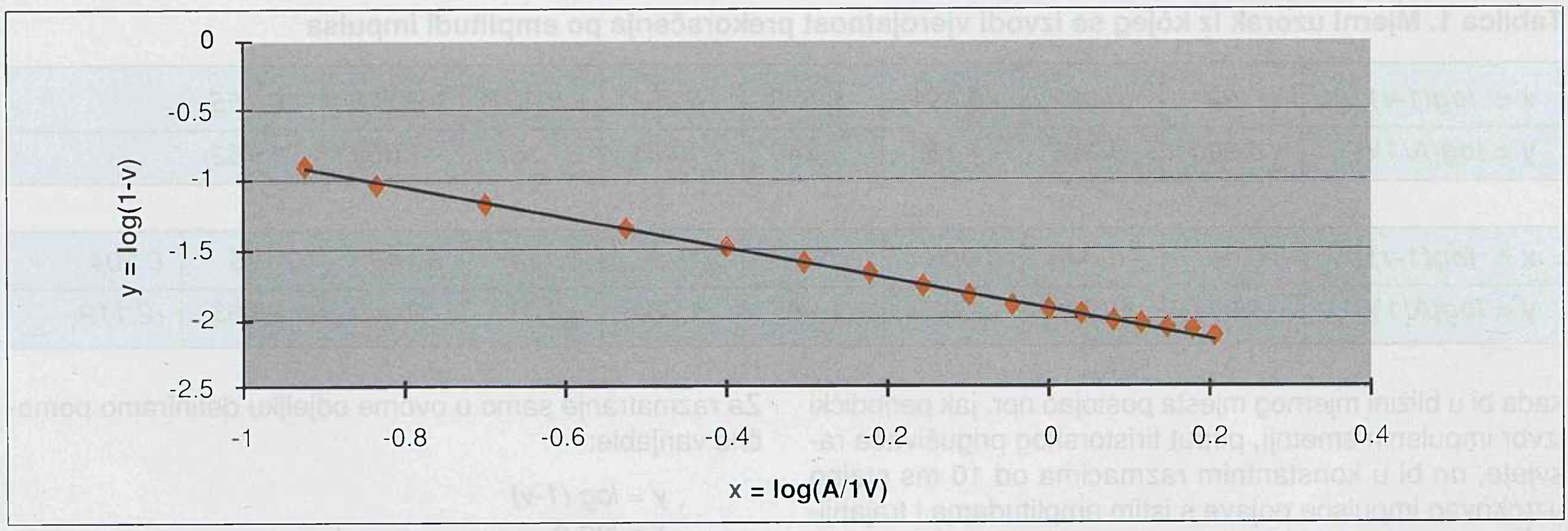
U daljnjem tekstu radi preglednosti nećemo pisati granice sumacije, već ćemo razumijevati da one obuhvaćaju sve parove $(x_i, y_i)$. Uvjeti koje daje izjednačavanje prvih parcijalnih derivacija s nulom glase: y = ax + b. (1)

$$\sum\left(ax_i+b-y_i\right)x_i=0$$
$$\sum\left(ax_i+b-y_i\right)=0 \tag{3}$$

Iz drugog izraza se vidi da će suma apsolutnih pogrješaka biti jednaka nuli, tj. da upravo taj pravac prolazi najbolje između zadanih točaka. Iz (3) slijedi sustav s dvije linearne jednadžbe po varijablama *a* i *b*:




**Slika 2. Grafički prikaz podataka iz tablice 1**




**Slika 3. Linearna aproksimacija mjerenih podataka navedenih u tablici 1 dobivena metodom najmanjih kvadrata. Puna linija predstavlja izračunati pravac, a točkama su prikazani mjereni podaci.**

$$\begin{bmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i \\ \sum x_i & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum x_i y_i \\ \sum y_i \end{bmatrix} \tag{4}$$

Uvrštavanjem podataka navedenih u tablici 1 u sustav jednadžbi (4), dobivamo sljedeće vrijednosti za *a* i *b*:

a = - 1.06929993866

b = - 1.90758682296.

Slika 3 prikazuje dobiveni pravac zajedno s točkama iz kojih je on izveden.

Prema tomu, povratkom iz pomoćnih varijabli u stvarne, za zadani raspon vrijednosti amplituda možemo napisati približan izraz za vjerojatnost prekoračenja:

$$1 - v \approx 10^{(-1.0693 \log A - 1.9076)}. \tag{5}$$

Iz vrijednosti *a* koja je vrlo bliska jedinici zaključujemo da vjerojatnost prekoračenja amplitude single-event impulsa u promatranom rasponu vrijednosti pada tako da se logaritam vjerojatnosti prekoračenja smanji za oko 1 dok se amplituda poveća 10 puta. Obratno, amplituda koja odgovara određenoj vrijednosti vjerojatnosti prekoračenja pada za 20 dB po dekadi promjene te vjerojatnosti.

Formula (5) očigledno ne može biti zadovoljena za vrlo male vrijednosti amplitude *A*, dočim za velike vrijednosti nema fundamentalnih razloga zbog kojih (5) ne bi mogao biti istinit izraz. Konkretno, za $A = 0$ mora nužno biti $1 - v = 1$, odnosno $v = 0$. To znači da se pravac prikazan na slici 2, idući na lijevo, asimptotski savija prema horizontalnom pravcu $y = 0$.

Takva krivulja, naravno samo formalno, ima isti oblik kao i npr. amplitudno-frekvencijska ovisnost niskopropusnog filtra prvoga reda:

$$y = -\frac{1}{2}\beta \cdot \log\left(1 + a^2 10^{2x}\right). \tag{6}$$

S obzirom da za velike amplitude, tj. za velike vrijednosti *x*, mora vrijediti $y = ax + b$, te s obzirom da za velike vrijednosti *x* jednadžba (6) prelazi u $y \approx -\beta \cdot \log \alpha - \beta x$, slijede vrijednosti za $\alpha$ i $\beta$:

$$\begin{aligned} \alpha &\approx 10^{b/a} \approx 48.8078, \\ \beta &\approx -a \approx 1.0693. \end{aligned} \tag{7}$$

Kada bi vrijedio ovakav model, vjerojatnost prekoračenja bila bi definirana sa

$$1 - v = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \alpha^2 A^2\right)^{\beta}}} \tag{8}$$

i iznosima parametara navedenim u (7). Premda mjerenje s pragom registracije impulsa postavljenim na 100 mV ne može potvrditi ovakvu zavisnost, njeno točno poznavanje u praksi nema osobito velikog značenja, jer se toliko slabi impulsi utapaju u pozadinskom šumu i zapravo ne utječu na komunikacijski proces karakterističan za single-event impulse. Što se tiče jakih impulsa, s amplitudama iznad 2 V, već je rečeno da je njihova pojava vrlo rijetka, što se uostalom i vidi iz mjernih podataka. Nadalje, prijamnici mogu imati ugrađen jednostavan sklop za potiskivanje naponskih vrhova.

Stoga zaključujemo da model razdiobe amplitude impulsnoga šuma prema (8), odnosno prema (1), u potpunosti udovoljava potrebama simulacije komunikacijskog procesa. Amplitudna razdioba impulsnog šuma vanjske mreže može se, dakle, modelirati dvama parametrima, *a* i *b*, odnosno $\alpha$ i $\beta$.

Kod instalacijske mreže situacija je utoliko kompliciranija što se u blizini mjernog mjesta može nalaziti neko trošilo s iznimno impulsnim svojstvima uzimanja energije iz distribucijske mreže, tako da uslijed suviše malog prigušenja može ozbiljno narasti udio impulsa izrazito velikih amplituda. Naravno, takve pojedinačne slučajeve nije moguće obuhvatiti jedinstvenim modelom, pa ih je potrebno uzeti u obzir na drugi način.

## 2. RAZDIOBA VREMENA TRAJANJA IMPULSA

U ovome ćemo odjeljku iz mjerenih podataka izvesti model statističke razdiobe trajanja pojedinačnih impulsa koji čine impulsni šum PLC medija, i to u obliku jednostavnog matematičkog izraza koji povezuje vjerojatnost prekoračenja 1-*v* i trajanje impulsa (, izraženo u milisekundama. Kao i u slučaju razdiobe po amplitudama, ovdje je također jednostavnije promatrati odnos između logaritama tih veličina, pa ćemo samo za potrebe razmatranja u ovome poglavlju uvesti pomoćne varijable:

**Tablica 2. Mjerni uzorak iz kojega se izvodi vjerojatnost prekoračenja po trajanju impulsa**

| x=*log(τ/1ms)* | -1.150 | -1.000 | -0.150 | 0.214 | 0.398 | 0.544 | 0.699 | 0.778 | 0.875 | 0.903 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| y = *log(1-v)* | -1.078 | -1.270 | -2.000 | -2.580 | -3.421 | -3.665 | -4.149 | -4.420 | -4.503 | -5.000 |

$$y = \log(1-v)$$
$$x = \log \tau.$$

Mjerni uzorak na temelju kojega ćemo izvesti matematički model dan je u tablici 2, a ilustriran je na slici 4. Najmanja vrijednost varijable *x* unutar prezentiranog skupa točaka odgovara trajanju $\tau$ od 0.05 ms. Veće vrijednosti od 12 ms nisu uzimane u razmatranje jer je njihova pojava toliko rijetka (vjerojatnost prekoračenja zalazi u područje vrijednosti $10^{-5}$ i manje), da bi za dobivanje vjerodostojnih rezultata bilo potrebno vršiti mnogo dugotrajnija mjerenja od ovih.
Premda se na prvi pogled čini da je za nadomiještanje ovoga seta točaka potrebno pronaći složeniju krivulju od pravca, lako je pokazati da se izuzetno dobra aproksimacija postiže pomoću samo dva pravca, odnosno lomljenom linijom. Da bi se metodom najmanjih kvadrata dobila optimalna aproksimacija lomljenom crtom, potrebno je načiniti jednostavnu računarsku rutinu koja će od deset zadanih točaka odabirati jednu po jednu, osim krajnjih. Odabrana točka sa svima ostalima lijevo od sebe dat će metodom najmanjih kvadrata jedan pravac, dok će ista ta točka sa svima ostalima desno od sebe metodom najmanjih kvadrata dati drugi pravac. Svaka pojedina točka tada će biti aproksimirana jednim ili drugim pravcem, ovisno nalazi li se njena vrijednost apscise lijevo ili desno od sjecišta dvaju dobivenih pravaca. Na taj način dobiva se osam parova pravaca. Za svaki par potrebno je izračunati ukupnu kvadratnu pogrješku, te odabrati onaj par koji daje najmanju vrijednost. Taj par pravaca prikazan je zajedno s mjerenim podacima na slici 5. Lijevi pravac generiran je metodom najmanjih kvadrata iz prve četiri točke, a desni iz posljednjih sedam. Dakle, četvrta točka je dala najbolju lomljenu aproksimaciju, i upravo u njenoj blizini nalazi se i koljeno dobivene ovisnosti.
Trendovi koje pokazuju dobiveni pravci sami po sebi su vrlo zanimljivi. Lijevi pravac ima jednadžbu:

$$y = ax + b$$
$$a = -1.04000700793 \quad (9)$$
$$b = -2.27448218647.$$

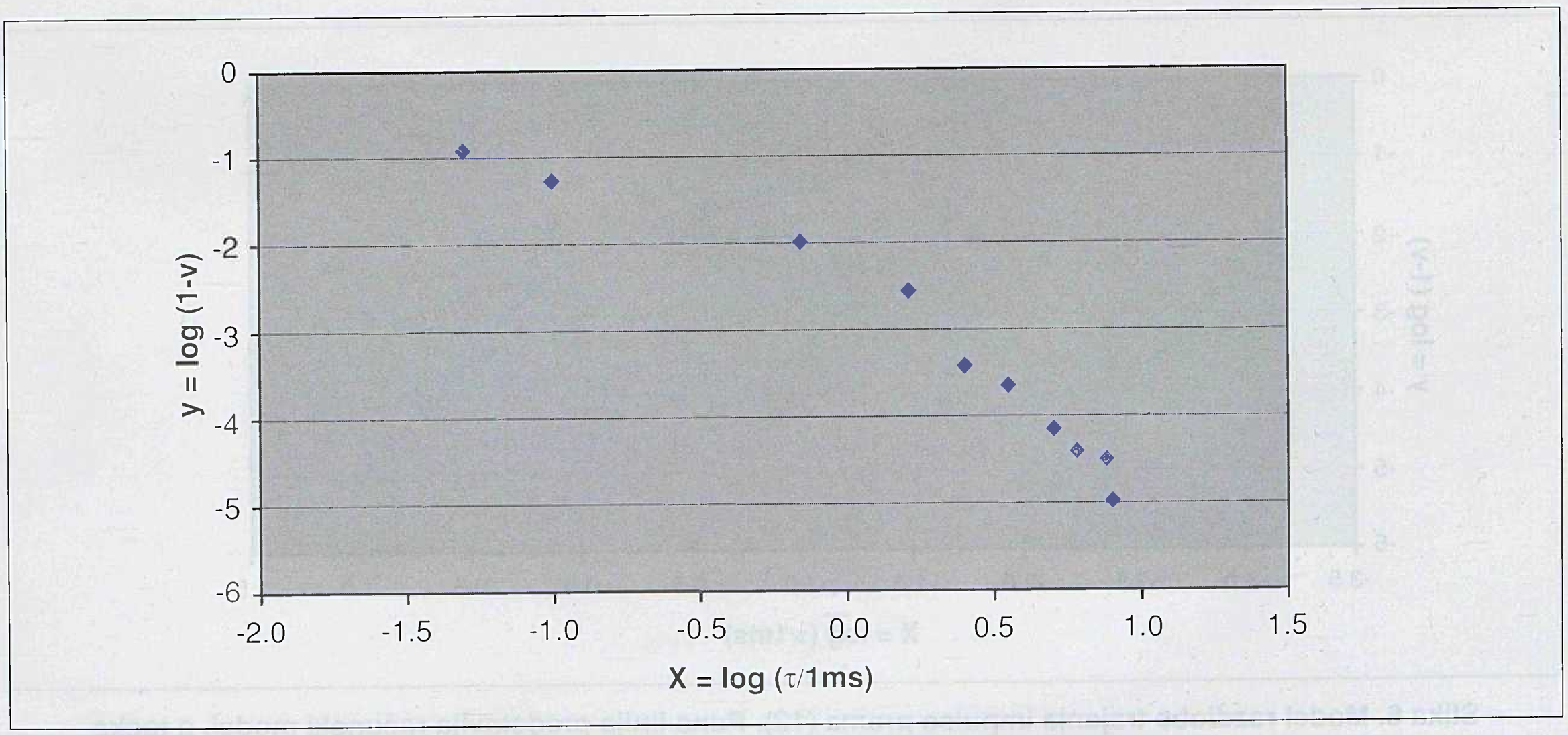
Desni pak pravac ima slijedeću jednadžbu:

$$y = cx + d$$
$$c = -3.09124482023 \quad (10)$$
$$d = -2.01464558542.$$

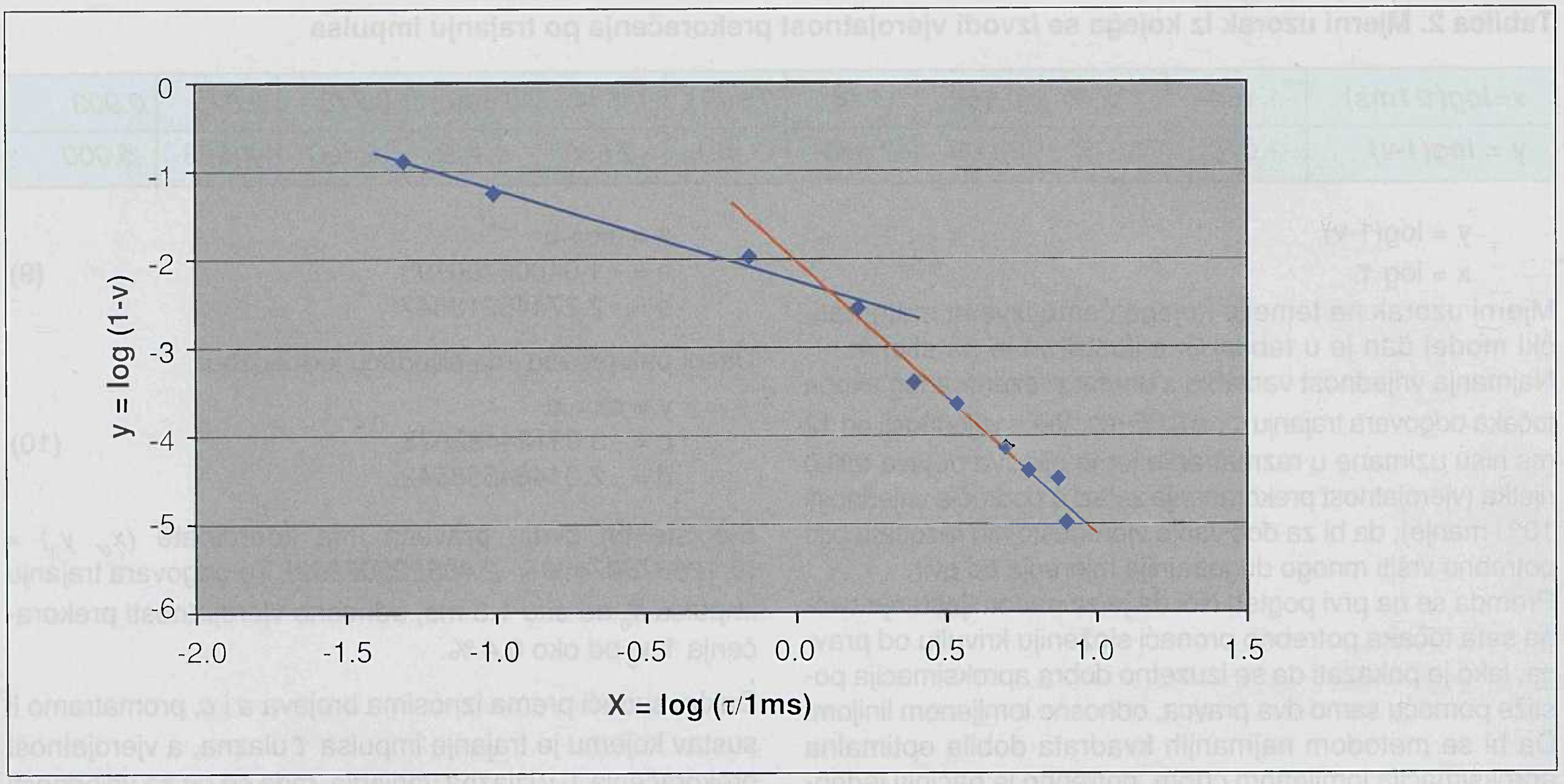
Sjecište tih dvaju pravaca ima koordinate $(x_0, y_0) = (0.126673074907, -2.40622307209)$. To odgovara trajanju impulsa $\tau_0$ od oko 1.3 ms, odnosno vjerojatnosti prekoračenja $1-v_0$ od oko 0.4 %.

Dakle, sudeći prema iznosima brojeva *a* i *c*, promatramo li sustav kojemu je trajanje impulsa $\tau$ ulazna, a vjerojatnost prekoračenja $1-v$ izlazna varijabla, tada se on za vrijednosti $\tau$ manje od neke granične, $\tau_0$, ponaša praktički točno kao sustav 1. reda, a za veće kao sustav 3. reda, s karakteristikom niskog propusta. Lom karakteristike kod $\tau_0$ teško je točno objasniti. Može se sa sigurnošću pretpostaviti da upotrijebljeni visokopropusni mrežni filtar doprinio smanjenju udjela dugotrajnih impulsa u ukupnom broju registriranih fluktuacija napona, a taj efekt se očituje već od oko 1 ms nadalje. Prema ovome se može zauzeti i stav da niti inače PLC sustave nije moguće koristiti bez dobrog mrežnog filtra, tako da je možda i korisnije imati model koji uključuje postojanje filtra, umjesto onoga koji bi karakterizirao golu PLC mrežu.

Bitno je opaziti da se preko 99.5 % impulsa, koji su kraći od 1.3 ms, pokorava vjerojatnosti prekoračenja 1. reda, prema (9). Ipak, u modelu šuma mora se svakako zadržati i ovisnost 3. reda za dugotrajnije impulse, jer bi njihova uloga u protivnom bila precijenjena.




**Slika 4. Grafički prikaz mjernog uzorka iz kojega se izvodi vjerojatnost prekoračenja po trajanju impulsa**




**Slika 5. Aproksimacija mjerenih podataka optimalnim parom pravaca**

Istini za volju, razdioba impulsa koji traju dulje od jedne periode napona energetske mreže, dakle od 20-ak ms, uopće nije važna, jer se pojava takvih i duljih impulsa može očekivati najviše jednom u pet dana, odnosno još rjeđe, tako da oni nisu relevantni niti za simulacije PLC komunikacijskih sustava, a niti za njihove stvarne primjene.

Što se tiče razdiobe za impulse kraće od osnovnog vremenskog kvanta, 50 $\mu$s, moguće je jedino na osnovi opažene ovisnosti vjerojatnosti prekoračenja o trajanju impulsa duljih od njega postulirati takvu vjerojatnost prekoračenja, koja će za veće vrijednosti $\tau$ težiti ka (9), te koja će za $\tau \to 0$ dati: $1 - v \to 1$. Zbog formalne sličnosti postupit ćemo po uzoru na (6), (7) i (8), tj. iz podataka *a* i *b*, danih u (9) izračunat ćemo $\alpha$ i $\beta$:

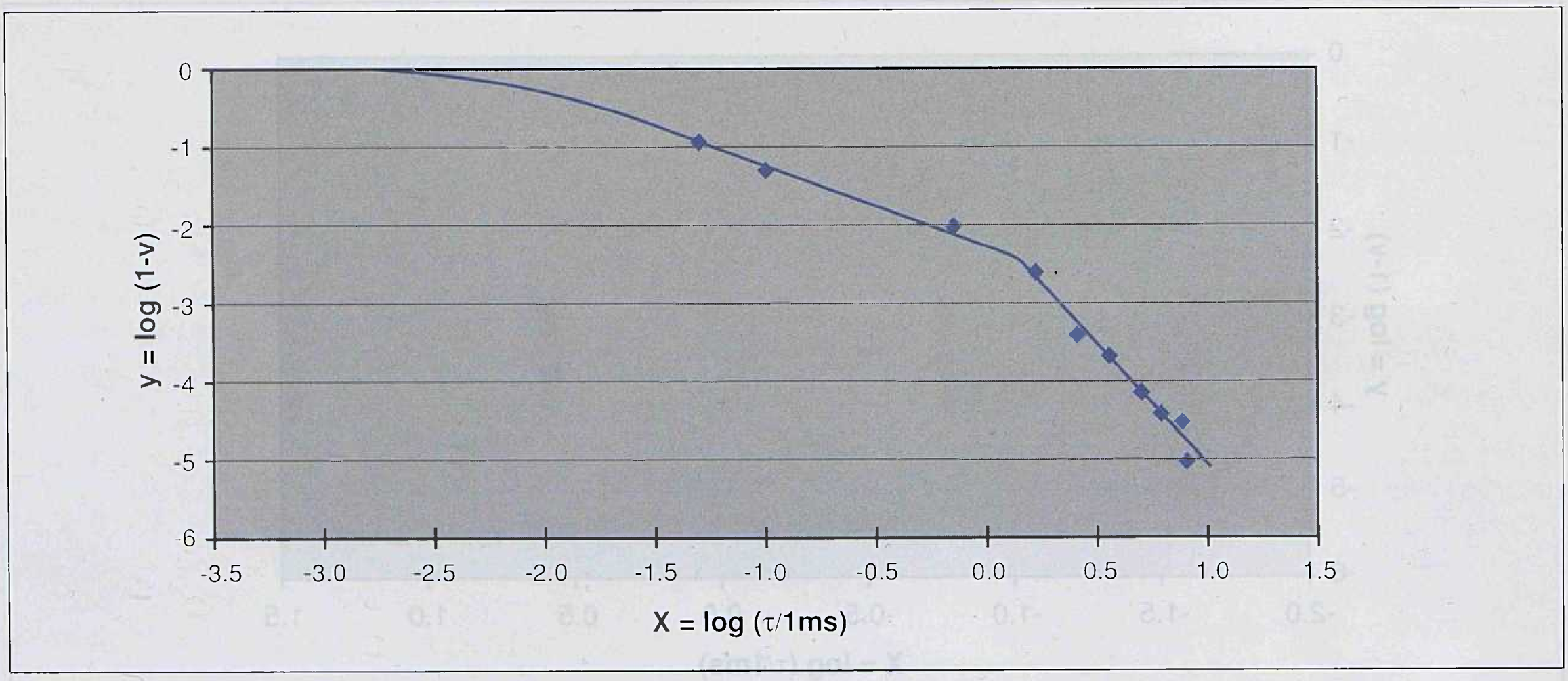
$$\alpha = 10^{b/a} = 153.810989326$$
$$\beta = - a = 1.04000700793. \qquad (11)$$

Tako ćemo dobiti zatvoren izraz za vjerojatnost prekoračenja po vremenu trajanja impulsa u obliku neprekidne funkcije lomljene u jednoj točki, $\tau_0$:

$$1 - v = \begin{cases} \dfrac{1}{\sqrt{\left(1 + \alpha^2 \tau^2\right)^{\beta}}} & za \quad \tau \le \tau_o \\ 10^{c \log \tau + d} & za \quad \tau > \tau_o \end{cases} \qquad (12)$$

$\alpha \approx 153.8110$
$\beta \approx 1.0400$
$c \approx -3.0912$
$d \approx -2.0146$

Na slici 6 prikazan je ovaj model razdiobe trajanja impulsa u log-log mjerilu, zajedno s izmjerenim podacima.




**Slika 6. Model razdiobe trajanja impulsa prema (12). Puna linija predstavlja računski model, a točke predstavljaju izmjerene vrijednosti.**

## 3. VJEROJATNOST PREKORAČENJA TRAJANJA INTERIMPULSNIH INTERVALA KOJI SU KRAĆI OD 20 MS

U nastavku ćemo analizirati statističku razdiobu trajanja bezimpulsnog intervala, odnosno vremenskog razmaka između registriranih početaka susjednih impulsa. Postoje dva područja koja se ponaosob mogu prilično precizno prikazati jednostavnim analitičkim izrazima, tako da će ukupna funkcija razdiobe biti predstavljena unijom dviju dobivenih ovisnosti, slično kao što je model razdiobe trajanja impulsa prikazan unijom dva jednostavna izraza, kao u (12), odnosno na slici 6. Unatoč tome što je razdiobu bezimpulsnih intervala moguće dobro opisati jednom jednostavnom relacijom između logaritama veličina 1-$v$ i $T$ [s], najprije ćemo načiniti poseban model za manje vrijednosti $T$, ispod 20 ms, i to promatranjem ovisnosti log(1-$v$) o vrijednosti $T$, dakle ne o njenom logaritmu, jer takav model omogućuje precizniju karakterizaciju razdiobe pri malim vrijednostima $T$ od one koju daje sveobuhvatni izraz, izveden u sljedećem poglavlju.

U našoj obradi podijelit ćemo čitav set mjerenih podataka na dva dijela, od kojih prvi, tretiran u ovome poglavlju, završava na vrijednosti međuimpulsnog razmaka od 20 ms, i prema tomu opisuje statističku razdiobu doista najkraćih intervala. Granica od 20 ms određena je više-manje proizvoljno. Ona je mogla biti na nešto manjoj ili nešto većoj vrijednosti. Najmanji mjerni podatak iz seta pomoću kojega se došlo do izraza za razdiobu iznosi 0.4 ms.

Razmatranjem strukture mjernih podataka može se zaključiti da je najpogodnije promatrati ovisnost logaritma vjerojatnosti prekoračenja, log (1-$v$), o iznosu interimpulsnog intervala izraženome u milisekundama, $T$. Uzorak mjerenja dan je u tabeli 3, odnosno na slici 7.

U ovome poglavlju definirat ćemo zbog lakšega pisanja pomoćne varijable $X$ i $Y$, sa slijedećim značenjima:

$$X = log(1 - v)$$
$$Y = T[mx] \qquad (13)$$

Treba obratiti pažnju da su varijable $X$ i $Y$ okrenute obratno u odnosu na uobičajen poredak prema koordinatnim osima, kao što se vidi na prethodnoj slici. To je učinjeno samo zbog toga što ćemo tražiti ovisnost vremena $T$ o logaritmu vrijednosti (1-$v$), i nema načelnog značenja.

Obradom konkretnih mjernih podataka uočene su sljedeće osobine grafa:

- blag porast vrijednosti $Y$ u početnom dijelu negativne osi $X$
- vrlo strm porast nakon koljena
- vrlo oštro koljeno karakteristike.

Funkcija koja može dobro opisati ovakvu krivulju $Y = F(X)$ ima oblik:

$$Y = a\left(10^{b|X|} - 1\right). \qquad (14)$$

To je ista eksponencijalna funkcija koja opisuje primjerice statičku $i$-$u$ karakteristiku poluvodičke diode. Ispitane su i druge vrste funkcija, kojima je zajednička nemogućnost istodobne dobre reprodukcije podataka u svakom od tri karakteristična područja definicije varijable $X$. Navedena funkcija automatski zadovoljava i vrlo važan rubni uvjet, da je log (1-$v$) = 0 za $T = 0$. Također je bitno da je funkcija monotona za bilo koji odabir vrijednosti $a$ i $b$.

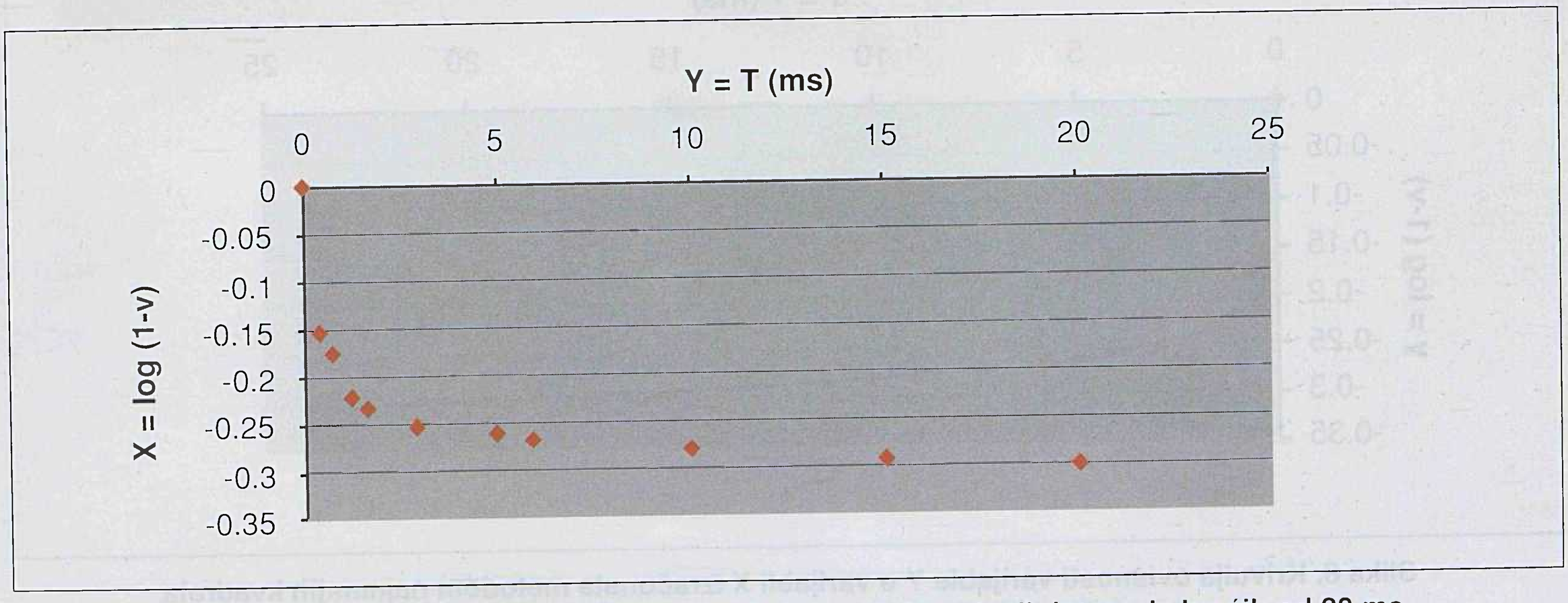
Koeficijenti $a$ i $b$ odredit će se metodom najmanjih kvadrata iz mjerenih podataka. U slijedećim razmatranjima zbog kraćeg pisanja izostavit ćemo znak apsolutne vrijednosti, koji se podrazumijeva. Prema (14), funkcija sume kvadratnih odstupanja u svih $N$ promatranih točaka jednaka je:

$$Q = \sum_{i=1}^{N} \left[ a\left(10^{bX_i} - 1\right) - Y_i \right]^2 . \qquad (15)$$

U našem primjeru $N = 10$, a u slijedećim formulama zbog preglednosti nećemo upisivati granice sumacije. Nužni uvjeti za minimiziranje ukupne kvadratne pogreške $Q$ glase:

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = 2 \cdot \Sigma \left[ a\left(10^{bx_i} - 1\right) - Y_i \right] \cdot \left(10^{bx_i} - 1\right) = 0$$
$$\frac{\partial Q}{\partial a} = 2 \cdot \Sigma \left[ a\left(10^{bx_i} - 1\right) - Y_i \right] \cdot a \cdot 10^{bx_i} \cdot X_i = 0 \qquad (16)$$

Može se pokazati da su ovi uvjeti ujedno i dovoljni. Iz njih se, međutim, očigledno ne može dobiti linearni sustav jednadžbi s nepoznanicama $a$ i $b$. Svejedno, rješenje ovoga sustava jednadžbi može se dobiti numeričkim postupkom. Iz jednadžbi (16) direktno slijede dvije jednadžbe za varijablu $a$:




**Slika 7. Mjerni uzorak za određivanje razdiobe međuimpulsnih intervala kraćih od 20 ms**

$$a_1 = \frac{\sum Y_i \cdot \left(10^{bx_i} - 1\right)}{\sum \left(10^{bx_i} - 1\right)^2}$$

$$a_1 = \frac{\sum X_i Y_i \cdot 10^{bx_i}}{\sum X_i \cdot 10^{bx_i} \left(\cdot 10^{bx_i} - 1\right)} \qquad (17)$$

Ova dva izraza moraju dati identičan rezultat, a to se događa samo kod jedne određene vrijednosti varijable *b*, osim trivijalnog rješenja, kod kojega *b* iznosi 0. Stoga program koji provodi ovaj izračun mora kontrolirati vrijednost:

$$\varepsilon = \frac{a_1 - a_2}{a_1 + a_2} \qquad (18)$$

Kada ona postane jednaka nuli, tj. kada je $a_1 = a_2$, konstatira se da je pronađen par rješenja (*a*,*b*). Zanimljivo je da je upotrijebljeni program, računavši s ukupno dvanaest decimalnih mjesta, pronašao takav par vrijednosti *a* i *b* koji prema (18) daje *točno* nulu, što znači da su pronađene vrijednosti nepouzdane tek u decimalnoj znamenki najmanje težine. Praktično, program kreće od neke vrijednosti *b* približne pravom rješenju, te pronalazi dvije vrlo bliske vrijednosti *b* za koje je vrijednost $\varepsilon$ bliska nuli. Optimalna vrijednost *b* pronalazi se jednostavnom linearnom interpolacijom kroz te dvije točke. To dobro funkcionira zato što je ovisnost $\varepsilon$ o *b* izrazito linearna u bliskoj okolini optimalnog rješenja. Za naš zadani set izmjerenih vrijednosti pronađeno je slijedeće rješenje sustava jednadžbi (16):

$$(a, b) = (2.46548920145 \cdot 10^{-4}, 16.2903978739).$$

Pitanje je kako se može doći do približne procjene vrijednosti *b*, koja će poslužiti kao startna vrijednost za točan izračun. Da bismo to učinili, pojednostavit ćemo izraz (14) tako što ćemo zanemariti suptrahend 1 u zagradi, što može dobro funkcionirati za točke nakon koljena karakteristike, ali ni pogreška koja će biti zamjetna za točke prije koljena nije ovdje od esencijalne važnosti. Uz takvo zanemarenje, odaberimo bilo koje dvije točke iz zadanoga seta, i označimo ih indeksima *k* i *l*. Tada vrijedi približno:

$$\begin{aligned} Y_k &= a \cdot 10^{bx_k} \\ Y_l &= a \cdot 10^{bx_l} \end{aligned} \Rightarrow \frac{Y_k}{Y_l} \approx 10^{b(x_k - x_l)}$$

$$\Rightarrow b_{k,l} \approx \frac{\log Y_k - \log Y_l}{X_k - X_l}. \qquad (19)$$

Kombiniranjem toga s bilo kojom od polaznih približnih jednakosti dobijamo procjenu za *a*:

$$a_{k,l} \approx Y_k \left(\frac{Y_k}{Y_l}\right)^{\frac{X_k}{X_l - X_k}}. \qquad (20)$$

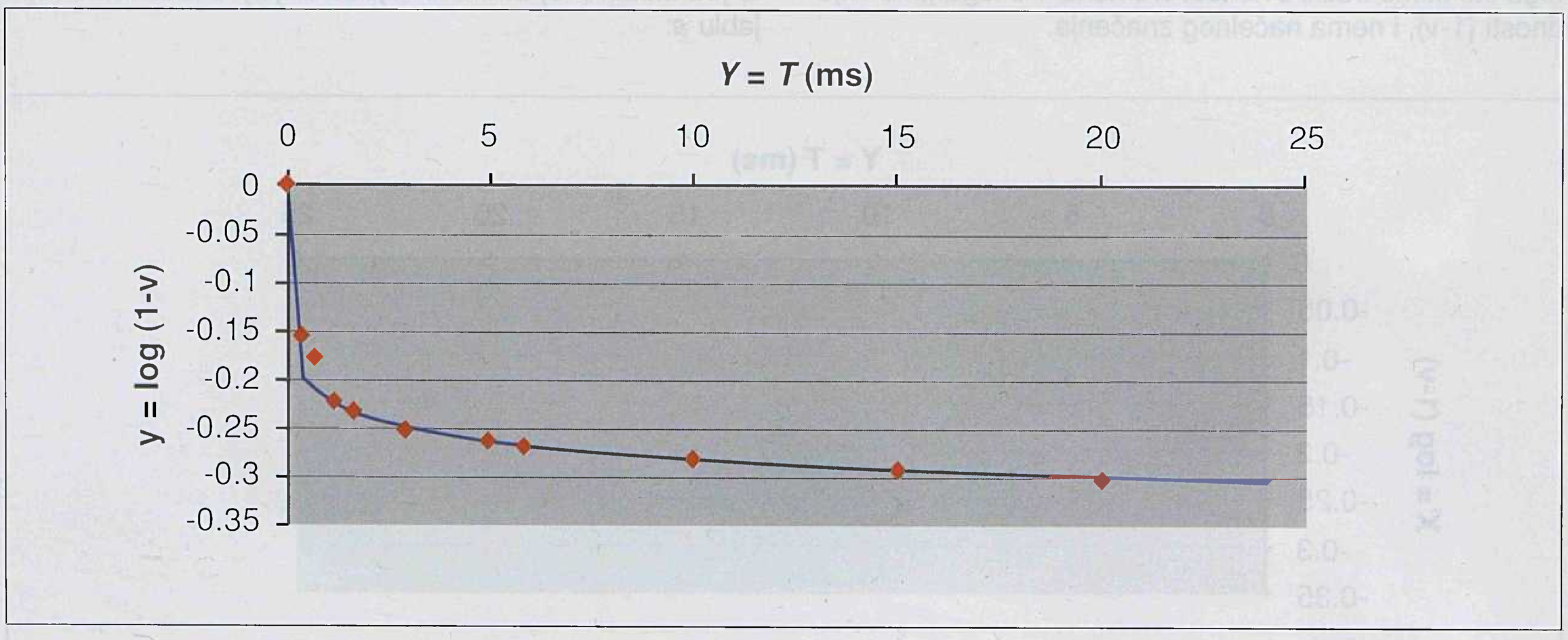
Ako je *N* broj svih točaka s poznatim podacima ($X_i$, $Y_i$), osim trivijalne (0, 0), a takvih je kod nas 10, ukupan broj svih mogućih parova (*k*, *l*), $k \neq l$, bez ponavljanja iznosi $M = N(N-1)/2 = 45$. Početnu procjenu za *b* možemo tražiti aritmetičkom, odnosno geometrijskom sredinom svih 45 dobivenih vrijednosti, tj:

$$\tilde{b} = \frac{1}{M} \sum_1^M \frac{\log Y_k - \log Y_l}{X_k - X_l}$$

$$\hat{b} = \sqrt[M]{\prod_1^M \frac{\log Y_k - \log Y_l}{X_k - X_l}} \qquad (21)$$

**Tablica 3. Mjerni uzorak za određivanje razdiobe međuimpulsnih intervala kraćih od 20 ms**

| T *(ms)* | 0.40 | 0.70 | 1.20 | 1.65 | 2.95 | 5.00 | 5.89 | 10.0 | 15.0 | 20.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***log (1-v)*** | -0.1544 | -0.1770 | -0.2222 | -0.2340 | -0.2539 | -0.2630 | -0.2689 | -0.2823 | -0.2945 | -0.3010 |




**Slika 8. Krivulja ovisnosti varijable Y o varijabli X izračunata metodom najmanjih kvadrata iz seta izmjerenih vrijednosti, koje su prikazane točkama**

U oba slučaja dobivaju se nešto podcijenjene vrijednosti, redom cca. 13.66 i 13.89, ali one predstavljaju dobru početnu procjenu utemeljenu na stvarnom rasporedu test točaka. Ukratko, set točaka iz tablice 3 može se prikazati sljedećom ovisnošću optimiziranom metodom najmanjih kvadrata:

$$Y = 2.46548920145 \cdot \left(10^{16.2903978739} - 1\right). \qquad (22)$$

S obzirom da je kod nas $|X| = -X$ u cijeloj interesantnoj domeni, povratnom supstitucijom možemo (22) zapisati u ekvivalentnim oblicima:

$$T = a\left[\frac{1}{(1-v)^b} - 1\right][ms]. \qquad (23)$$

odnosno:

$$1 - v = \left(\frac{1}{1 + \frac{T/ms}{a}}\right)^{\frac{1}{b}}. \qquad (24)$$

Na slici 8 vidi se krivulja prema (22) unešena u grafikon zajedno s izmjerenim podacima.

## 4. GENERALIZIRANA VJEROJATNOST PREKORAČENJA TRAJANJA MEĐUIMPULSNIH INTERVALA

U ovome poglavlju odredit ćemo zakonitost vjerojatnosti prekoračenja trajanja bezimpulsnih intervala koja obuhvaća sve mjerne podatke, kako one izlistane u tablici 3, tako i one za vremena veća od 20 ms, koje dajemo u tablici 4. Najprije ćemo naći matematički oblik međuovisnosti logaritama veličina 1-v i $T$ [s] samo za vremena dulja od 20 ms, a nakon toga ćemo jednostavno proširiti taj model na sve mjerene vrijednosti. Samo za potrebe sažetijega pisanja u ovom odjeljku definirat ćemo pomoćne varijable:

$$X = \log(1 - v)$$
$$Y = \log\left(\frac{T}{1s}\right). \qquad (25)$$

Tražit ćemo izraz za ovisnost Y = F(X). Ulazni podaci za ovaj račun dani su također i na slici 9.

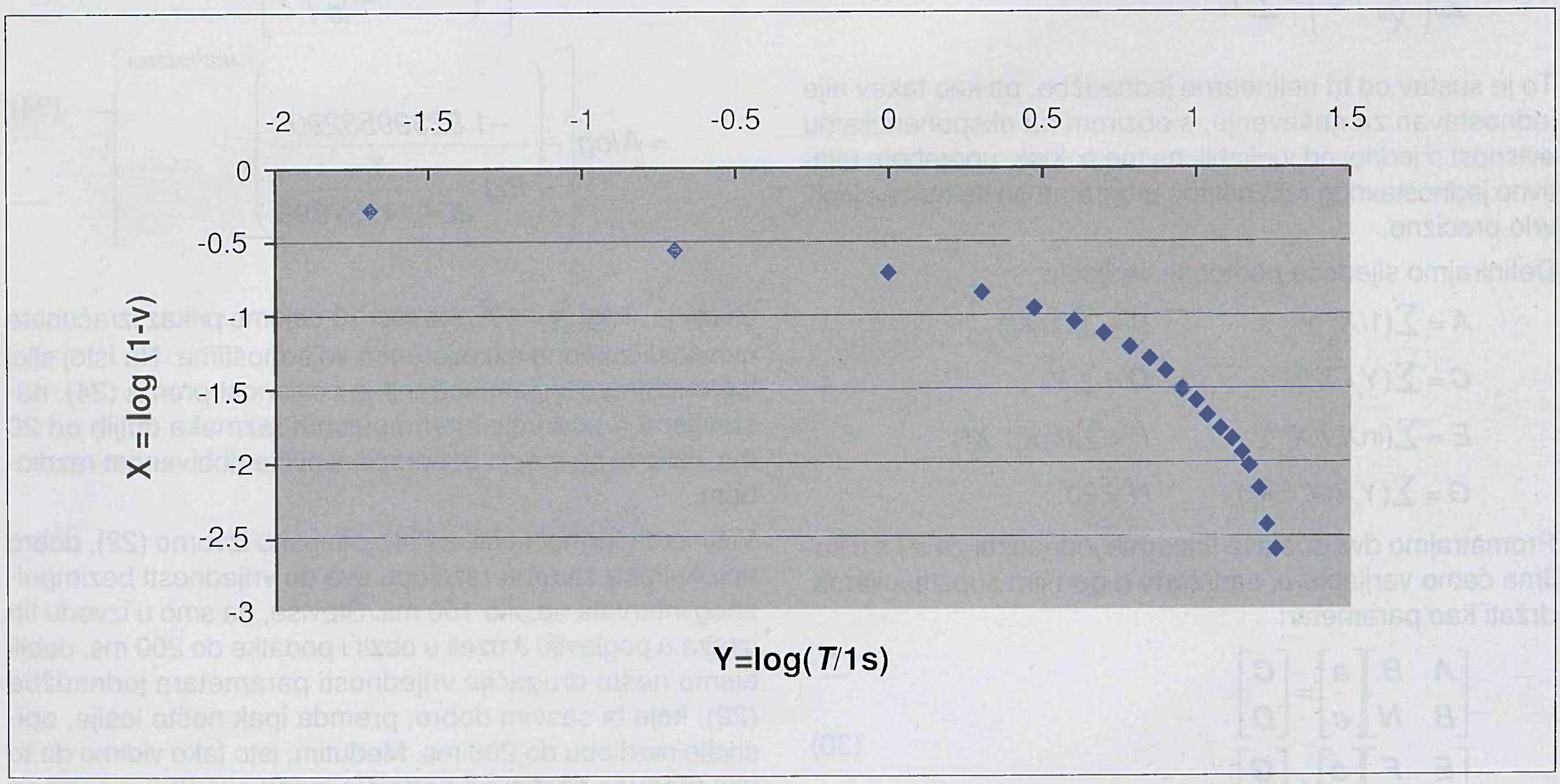
Ispitivanjem različitih funkcija koje bi mogle dobro reprezentirati ovakav oblik grafa, ustanovljujemo da funkcija sljedećeg oblika može vrlo dobro prikazati traženu ovisnost:

$$Y = \frac{a}{|X|^b} + c. \qquad (26)$$

**Tablica 4. Mjereni podaci za određivanje razdiobe interimpulsnih intervala duljih od 20 ms**

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | -0.301 | -0.556 | -0.716 | -0.852 | -0.958 | -1.050 | -1.130 | -1.227 | -1.313 | -1.390 |
| Y | -1.699 | -0.699 | 0.000 | 0.301 | 0.477 | 0.602 | 0.699 | 0.778 | 0.854 | 0.903 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | -1.501 | -1.590 | -1.684 | -1.775 | -1.862 | -1.924 | -2.046 | -2.183 | -2.438 | -2.597 |
| Y | 0.954 | 1.000 | 1.041 | 1.079 | 1.114 | 1.146 | 1.176 | 1.204 | 1.230 | 1.255 |




**Slika 9. Mjereni podaci za određivanje razdiobe interimpulsnih intervala duljih od 20 ms**

Važno je pripomenuti da funkcija oblika Y = a log |X| + b, koja bi se na prvi pogled, prema izgledu grafikona, mogla nametnuti kao opcija izbora, uopće ne može reproducirati koljeno karakteristike. Kao i u prošlom poglavlju, i ovdje ćemo zbog preglednosti i kratkoće pisanja u sljedećim formulama ispustiti znak apsolutne vrijednosti, sve dok ne bude bilo potrebno uvažiti njegovo postojanje, pa će nam $X$ u stvari značiti $[X]$, a u izvodu metodom najmanjih kvadrata koristit ćemo apsolutne vrijednosti iznosa varijable $X$ danih u gornjoj tabeli.

Želimo li set mjerenih podataka nadomjestiti funkcijom prema (26), kvadratna pogrješka evaluirana u $N$ izmjerenih točaka će iznositi:

$$Q = \sum_{i=1}^{N} \left[ \frac{a}{X_i^b} + c - Y_i \right]^2 . \qquad (27)$$

Kod nas je $N = 20$, pa ćemo nadalje izostavljati pisanje uvijek istih granica sumacije.

Nužni i dovoljni uvjeti za minimiziranje ove funkcije dobivaju se izjednačavanjem svih prvih parcijalnih derivacija po nepoznatim parametrima s nulom:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial a} &= 2\sum \left[ \frac{a}{X_i^b} + c - Y_i \right] \cdot \frac{1}{X_i^b} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial a} &= 2\sum \left[ \frac{a}{X_i^b} + c - Y_i \right] \cdot \frac{-a \cdot \ln X_i}{X_i^b} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial a} &= 2\sum \left[ \frac{a}{X_i^b} + c - Y_i \right] = 0 \end{aligned} \qquad (28)$$

To daje sustav od tri jednadžbe:

$$\begin{aligned} \sum \left( \frac{a}{X_i^{2b}} + \frac{c}{X_i^b} \right) &= \sum \frac{Y_i}{X_i^b} \\ \sum \left( \frac{a}{X_i^b} + c \right) \cdot \frac{\ln X_i}{X_i^b} &= \sum \frac{Y_i \ln X_i}{X_i^b} \\ \sum \left( \frac{a}{X_i^b} + c \right) &= \sum Y_i \end{aligned} \qquad (29)$$

To je sustav od tri nelinearne jednadžbe, pa kao takav nije jednostavan za rješavanje, s obzirom na eksponencijalnu ovisnost o jednoj od varijabli, naime $b$. Ipak, uporabom relativno jednostavnog računalnog programa on se može riješiti vrlo precizno.

Definirajmo sljedeće pomoćne varijable:

$$A = \sum(1/X_i^{2b}) \qquad B = \sum(1/X_i^b)$$
$$C = \sum(Y_i / X_i^b) \qquad D = \sum Y_i$$
$$E = \sum(\ln X_i / X_i^{2b}) \qquad F = \sum(\ln X_i / X_i^b)$$
$$G = \sum(Y_i \ln X_i / X_i^b) \qquad N = 20.$$

Promatrajmo dva sustava linearnih jednadžbi za $a$ i $c$ u kojima ćemo varijablu $b$, sadržanu u gornjim supstitucijama, držati kao parametar:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ B & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C \\ D \end{bmatrix}$$
$$\begin{bmatrix} E & F \\ B & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G \\ D \end{bmatrix} \qquad (30)$$

To su sustavi složeni od prve i treće, odnosno od druge i treće jednadžbe iz (29). Svaki od njih ima rješenje koje ovisi o parametru $b$. Tako prvi sustav prema Kramerovom pravilu daje:

$$a_1 = \frac{CN - DB}{AN - B^2}; \; c_1 = \frac{AD - BC}{AN - B^2}. \qquad (31)$$

Iz drugoga pak slijede rješenja:

$$a_1 = \frac{CN - DB}{AN - B^2}; \; c_1 = \frac{AD - BC}{AN - B^2}. \qquad (32)$$

Program treba pratiti slijedeću vrijednost:

$$\varepsilon = \left| \frac{a_1 - a_2}{a_1 + a_2} \right| + \left| \frac{c_1 - c_2}{c_1 + c_2} \right|. \qquad (33)$$

Ona iščezava pri onoj vrijednosti $b$ pri kojoj oba sustava daju identična rješenja za $a$ i $c$. Time se postiže jedinstveno rješenje $(a,b,c)$. Korišteni program uspio je pronaći vrijednosti $a$, $b$ i $c$ s ukupno 11 sigurnih decimalnih mjesta, pri čemu je vrijednost $\varepsilon$ svedena u najboljem slučaju na 1.48 x $10^{-11}$ . Rješenje sustava je:

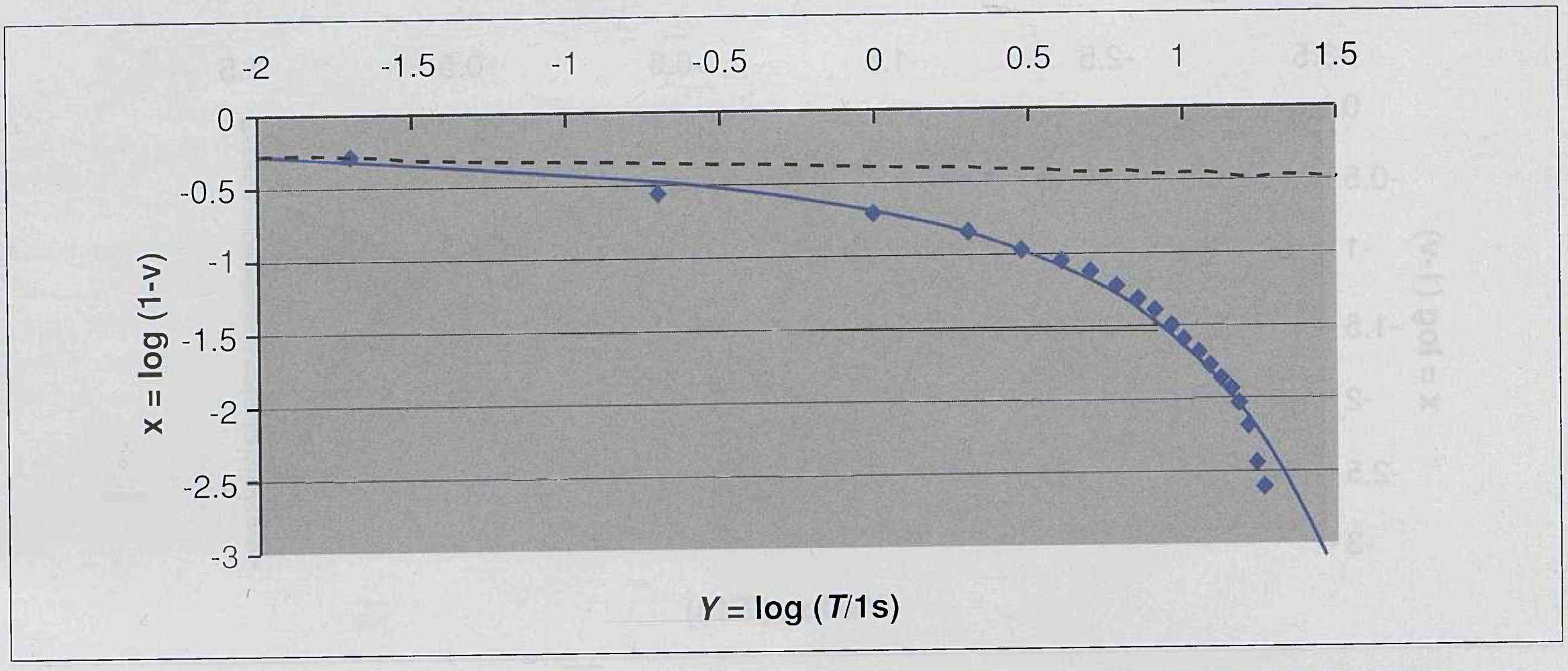
a = -1.8239953290
b = 0.6741847595
c = 2.3099480631.

Povratkom iz supstitucije, i uvažavanjem činjenice da smo kroz cijeli izvod ispuštali znak apsolutne vrijednosti iz (26), te da je u cijelom području definicije vrijednost log (1-$v$) manja ili jednaka od nule, jer vjerojatnost ne može biti veća od 1, pa je stoga $|X| = -X$, možemo napisati konačan izraz:

$$1 - v = A\log\left[ -\left( \frac{a}{-c + \log \frac{T}{ls}} \right)^{1/b} \right] =$$
$$= A\log\left[ -\left( \frac{-1.8239953290}{\log \frac{T}{204{,}14937896}} \right)^{1.48327292468} \right]. \qquad (34)$$

Ovdje je $A\log(\xi) = 10^{\xi}$. Na slici 10 dajemo prikaz izračunate ovisnosti zajedno s izmjerenim vrijednostima. Na istoj slici isprekidanom linijom ucrtana je i ovisnost prema (24), nastavljena u područje interimpulsnih razmaka duljih od 20 ms, kako bi se mogla usporediti s ovdje dobivenom razdiobom.

Vidimo da formula oblika (24), odnosno izvorno (22), dobro aproksimira stvarnu razdiobu sve do vrijednosti bezimpulsnog intervala od oko 100 ms. Štoviše, da smo u izvodu tih izraza u poglavlju 3 uzeli u obzir i podatke do 200 ms, dobili bismo nešto drugačije vrijednosti parametara jednadžbe (22), koje bi sasvim dobro, premda ipak nešto lošije, opisivale razdiobu do 200 ms. Međutim, isto tako vidimo da to nije moguće postići za područje iznad oko 200 ms, jer se linija izmjerenih podataka vrlo brzo udaljava od isprekidane.



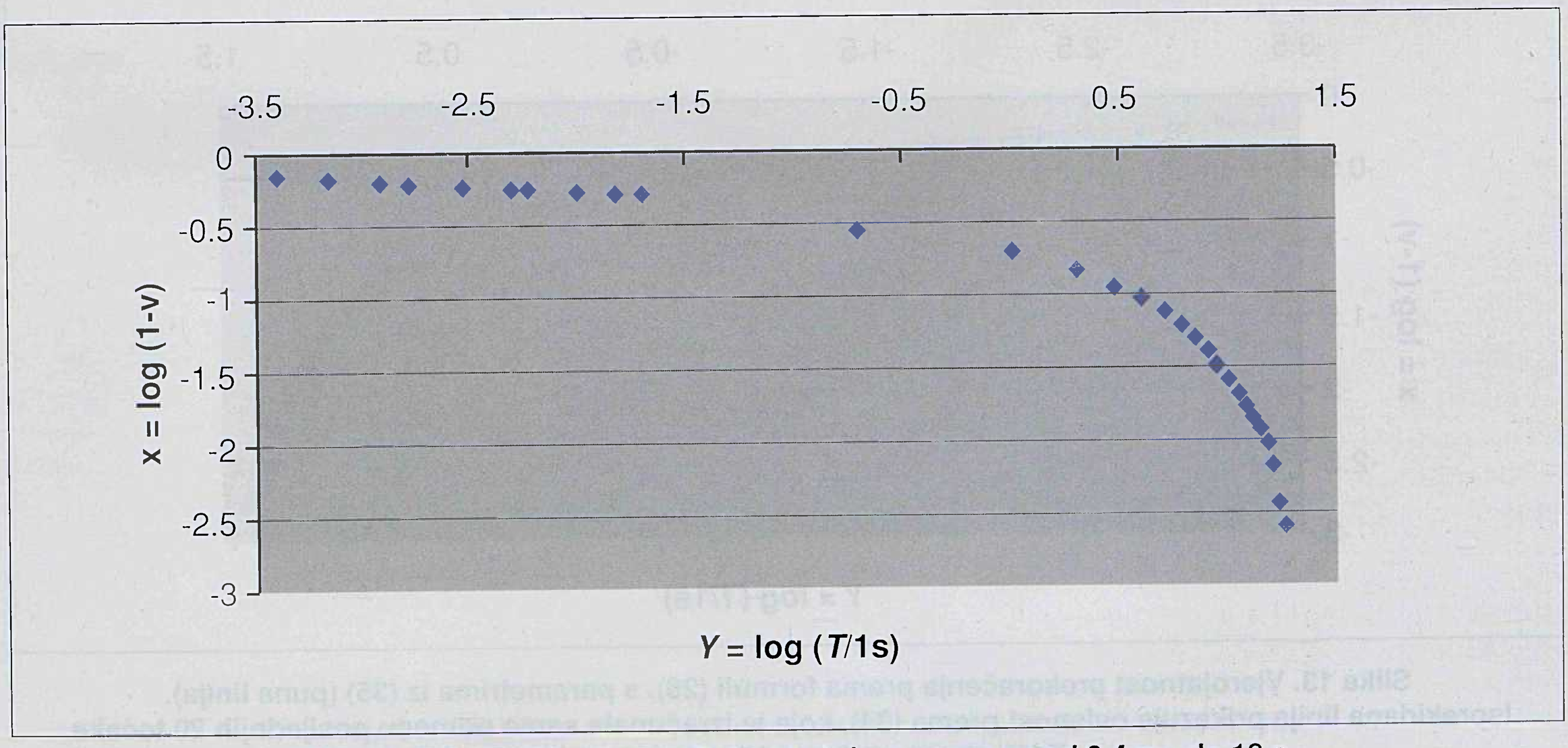

**Slika 10. Ovisnost vjerojatnosti prekoračenja o trajanju interimpulsnog intervala. Puna linija: izračunati model; točke: izmjerene vrijednosti. Isprekidana linija prikazuje ovisnost prema jednadžbi (24), nastavljenu u područje međuimpulsnih intervala duljih od 20 ms**

Sada ćemo poopćiti ovaj model na sve obuhvaćene vrijednosti $T$, u čitavom rasponu. Metodom najmanjih kvadrata izvest ćemo izraz oblika (26) za vrijednosti pobrojene u tabelama 3 i 4, s tim da ćemo podatke iz tabele 3 preraditi tako da veličina $Y$ bude definirana kao logaritam vrijednosti $T$ izražene u sekundama. Treba primijetiti da zadnja točka u tabeli 3 i prva u 4 prikazuju isti podatak, tako da je sada novi ukupan broj test točaka jednak $N = 29$. Na slici 11 dajemo grafički prikaz tih 29 točaka u log-log mjerilu. Slika 12 prikazuje pak krivulju sa slike 9, odnosno iz formule (34), produženu u područje interimpulsnih intervala kraćih od 20 ms, u log-log mjerilu. Ta je formula izvedena metodom najmanjih kvadrata samo pomoću posljednjih 20 točaka. Vidi se da čak i pod takvim uvjetima ona vrlo dobro aproksimira vjerojatnost prekoračenja kratkih međuimpulsnih intervala. Iz toga zaključujemo da se ovakva vrsta modela može proširiti na sve obrađivane vrijednosti.

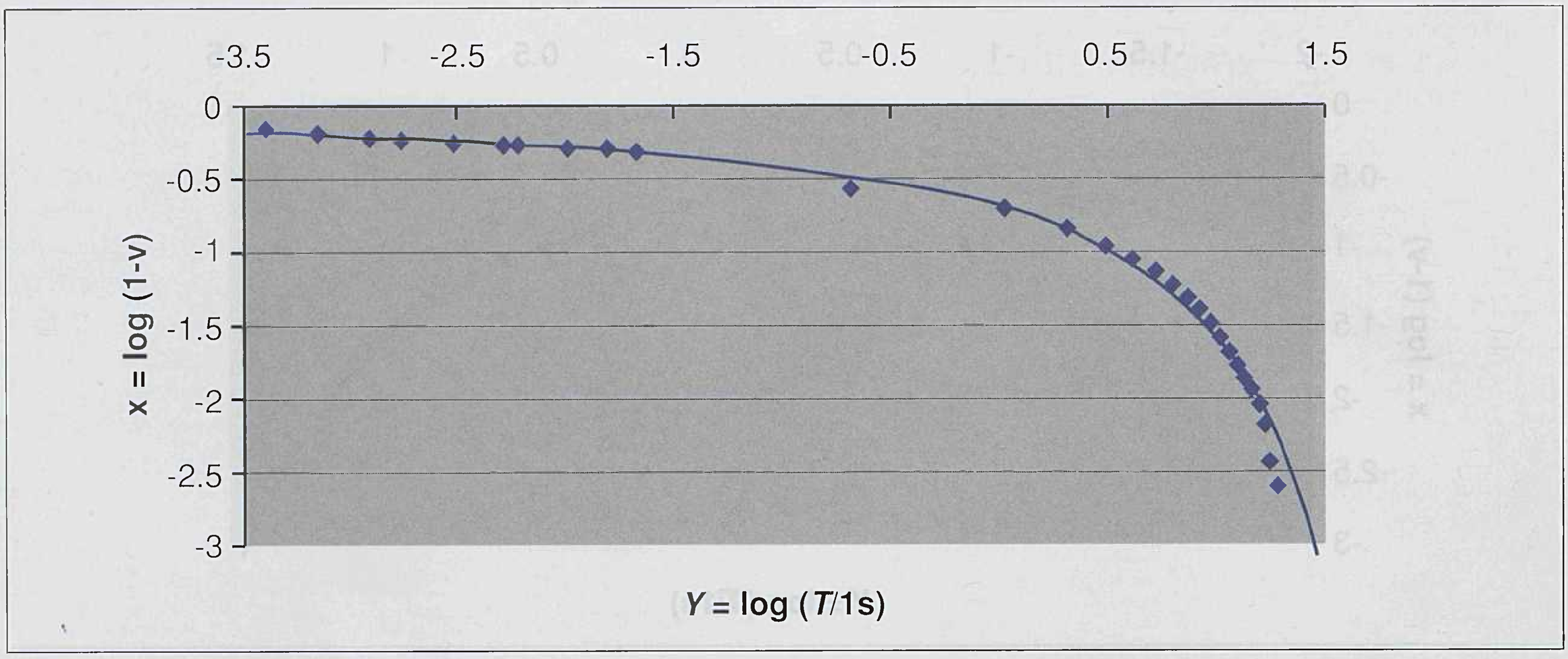
Štoviše, na slici 11 vidi se da se pomoću upotrijebljenog matematičkog modela vrijednosti $\log(1-v)$ za 0.4 ms < $T$ < 20 ms mogu vrlo dobro predvidjeti iz onih za veće vrijednosti $T$, konkretno za 200 ms < $T$ < 18 s. Zbog toga ćemo korištenjem potpuno istog algoritma, koji je opisan ranije u ovom poglavlju, izračunati metodom najmanjih kvadrata parametre modela razdiobe za svih $N = 29$ test točaka. Tako izračunati parametri, koji se odnose na formulu oblika (26), iznose:

$$a = -2.889800506$$
$$b = 0.477540676 \qquad (35)$$
$$c = 3.286487711$$

Vrijednosti su izračunate s ukupno 11 sigurnih decimalnih mjesta, a pritom je iznos relativnog odstupanja prema (33) sveden u optimalnom slučaju na 5.31 ($10^{-11}$. Iz ovoga se, naravno, može izvesti ekvivalentni oblik po uzoru na (34).




**Slika 11. Zajednički prikaz svih test točaka u rasponu od 0.4 ms do 18 s**




**Slika 12. Krivulja sa slike 10, odnosno iz formule (34), produžena nalijevo, u područje interimpulsnih intervala kraćih od 20 ms, u log-log mjerilu. Ta je krivulja izvedena samo pomoću posljednjih 20 točaka, a evidentno je da dobro aproksimira razdiobu i za sve ostale.**

Tako izračunat izraz za vjerojatnost prekoračenja unesen je punom linijom u grafikon zajedno s mjernim točkama na slici 13. Isprekidanom linijom nacrtana je radi usporedbe ovisnost dana na prethodnoj slici, izračunata samo pomoću zadnjih 20 točaka.

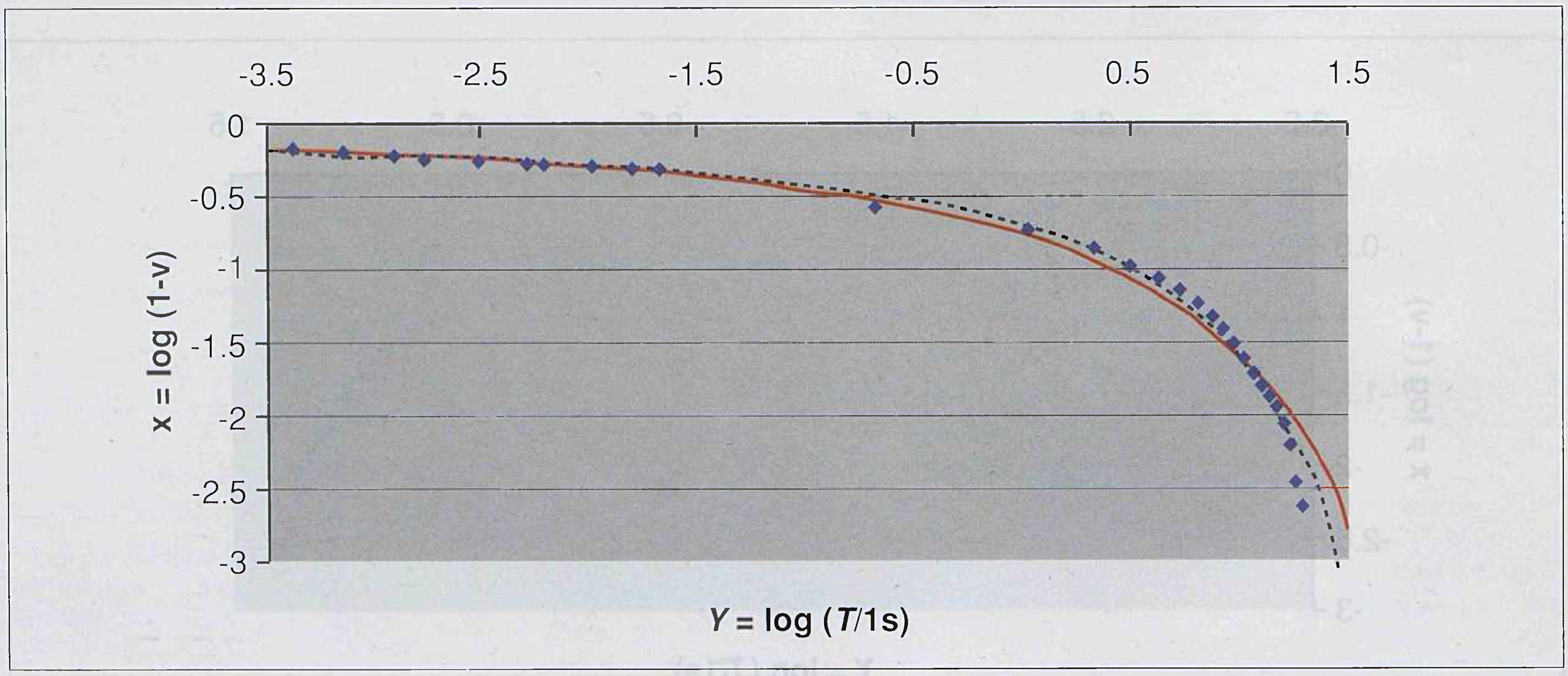
Sada nastaje pitanje, koja je aproksimacija bolja: ova potonja, koja obuhvaća čitavo područje ulaznih podataka, ili ona sastavljena od jednadžbe (24) za $T < 20$ ms, te od (34) za $T > 20$ ms? Pri tome je jedini mogući kriterij kvadratno odstupanje pojedine razdiobe od mjerenih podataka, ocijenjeno u svih 29 test točaka. Nepravilno bi bilo dati afirmativan sud o točnosti ovoga modela bilo gdje izvan područja obuhvaćenog izmjerenim veličinama, što znači za interimpulsne intervale manje od 0.4 ms, odnosno veće od 18 s. Moguće je ispitati dvije vrste kvadratne pogrješke: kada su veličine prikazane logaritamski, odnosno kada su prikazane stvarnom (linearnom) mjerom. Bez obzira je li pojedina formula izvedena u log-log obliku, ili pak u lin-log obliku, ona se u svakom slučaju elementarnim manipulacijama može napisati u bilo kojoj varijanti, kako je gore već demonstrirano. Naravno da je po kriteriju najmanjih kvadrata svaka formula najbolja u onom obliku u kojem je kao takva izvedena. Definirajmo sljedeće pomoćne oznake za funkcije koje će nam predstavljati modele razdiobe u odgovarajućim područjima:

F1($X$) = logaritam veličine $Y$, izračunate iz formule (22).

F2($X$) = formula (26) s parametrima ($a$,$b$,$c$) = (-1.8239953290, 0.6741847595, 2.3099480631).

F3($X$) = formula (26) s parametrima ($a$,$b$,$c$) = (-2.889800506, 0.477540676, 3.286487711).

Ukupno kvadratno odstupanje logaritama vrednujemo kako slijedi:




**Slika 13. Vjerojatnost prekoračenja prema formuli (26), s parametrima iz (35) (puna linija). Isprekidana linija prikazuje ovisnost prema (34), koja je izračunata samo pomoću posljednjih 20 točaka. Točkama su prikazani izmjereni podaci.**

$$\sum_{i=1}^{20}\left[F3(X_i)-Y_i\right]^2 = 0.667$$

$$\sum_{i=1}^{10}\left[F1(X_i)-Y_i\right]^2 + \sum_{j=11}^{29}\left[F2(X_i)-Y_i\right]^2 = 0.948.$$

Po tome kriteriju je bolja zadnja izvedena formula, prema F3.

Ukupno kvadratno ostupanje apsolutnih izvornih (linearnih) vrijednosti, koje se međutim računaju iz ovdje izvedenih izraza, je:

$$\sum_{i=1}^{29}\left[10^{F3(X_i)}-10^{Y_i}\right]^2 = 206.40$$

$$\sum_{i=1}^{10}\left[10^{F3(X_i)}-10^{Y_i}\right]^2 + \sum_{i=11}^{29}\left[10^{F2(X_i)}-10^{Y_i}\right]^2 = 37.181$$

Prema ovome je, naprotiv, bolja aproksimacija s dvije funkcije: F1 za vremena ispod 20 ms, a F2 za ona iznad. Razlog leži u činjenici da je F1 izvedena izvorno kao ovisnost logaritma veličine 1-$v$ o vrijednosti $T$, a ne o njenom logaritmu, tako da ona funkcionira znatno bolje u tome obliku. Međutim, mi ćemo kao najbolji reprenzent mjernih podataka uzeti model F3, dakle onaj posljednji, jer je on najbolji u onakvim uvjetima u kakvima je izveden, a u smislu najmanjeg ukupnog kvadratnog odstupanja u test točkama. Model F1 je optimalan samo za prikaz vjerojatnosti prekoračenja do 20 ms, kada je ona prikazana u lin-log mjerilu, kao na slici 7. Treba naglasiti da se sve ove opservacije, kao i druge koje se daju iščitati iz različitih dobivenih numeričkih i statističkih parametara, odnose isključivo na set ulaznih podataka, te da se za neki drugi set, makar on reprezentirao esencijalno istu fizikalnu pojavu, odnosi između tih veličina i parametara teoretski mogu promijeniti, tako da im se ne može pripisati opća valjanost.

Ukupno, rezultat razmatranja treba formulirati kao tezu da se vjerojatnost prekoračenja trajanja međuimpulsnog intervala može uspješno matematički modelirati funkcijom F3, u području od 0.4 ms do 18 s. Sasvim je vjerojatno, što se vidi iz slika, da se to može protegnuti i na vrijednosti malo izvan ovih granica, pogotovu na niže, ali se ne može reći koliko. Oblik F3, tj. izvorno (26), ne upućuje na neki fizikalni model kojim bi se mogla objasniti pojava impulsnog šuma na PLC-u. Napose, definitivno se može reći da ovdje opažena pojava nema karakter Poissonovog stohastičkog procesa [13], premda za veće vrijednosti $T$ postoji eksponencijalna ovisnost vjerojatnosti prekoračenja o vremenskoj varijabli.

Na kraju treba nešto reći o uvjetima na rubovima područja definicije funkcije vjerojatnosti prekoračenja. Prvi uvjet obvezan je za sve funkcije vjerojatnosti prekoračenja. Njihova vrijednost mora biti jednaka 1 ako stohastička varijabla poprimi svoju najnižu moguću vrijednost. U našem slučaju, za $T = 0$, ili pak za $\log T \Rightarrow -\alpha$, mora dakle biti $\log(1-v) = 0$. Sve druge vrijednosti logaritma funkcije vjerojatnosti prekoračenja moraju biti negativne, a ona mora biti monotono padajuća. Funkcije oblika (14) i (26) automatski zadovoljavaju taj rubni uvjet. To još uvijek ne znači da one odražavaju stvaran tijek vjerojatnosti prekoračenja za vrlo male iznose $T$, premda se prema priloženim slikama može smatrati da bilo koji od ovih tipova modela dovoljno dobro opisuje stohastički proces nastajanja impulsnog šuma PLC-a barem za još jedan red veličine manje vrijednosti $T$. Nažalost, bez mjerenja s finijom vremenskom rezolucijom to se ne može i dokazati.

Na drugoj strani, kada $T \Rightarrow \alpha$, ne može se neoborivo opravdati niti pobiti zahtjev fizikalne prirode koji se na prvi pogled čini logičnim, naime da logaritam vjerojatnosti prekoračenja divergira prema $-\alpha$. To bi značilo da postoji, makar i najmanja, vjerojatnost da se niti jedan impuls ne pojavi npr. više dana. Strogo gledano, ovdje provedeno istraživanje ne može odlučiti ni za ni protiv takve vrste modela. Ostali nužni uvjeti, koji vrijede za funkciju vjerojatnosti prekoračenja u ovom graničnom području, sadržani su već u tvrdnjama u prethodnom odlomku.

Činjenica je, međutim, da model izveden prema formuli (26) pretpostavlja da logaritam vremenske stohastičke varijable, $\log T$, nikad ne prelazi vrijednost $c$, što znači da se u našem modelu nikako ne može dogoditi da između dva susjedna impulsa prođe više od $10^c$ sekundi. To sigurno fizikalno nije korektno, ali, s druge strane, uopće nije važno. Npr, u modelu prema F3 ne bi se mogao pojaviti međuimpulsni interval dulji od približno 32.2 minute. Za razmake dulje od cca. 1.5 minuta vjerojatnost prekoračenja spušta se ispod $10^{-5}$. Bitno je da model dobro nadomješta stvarne vjerojatnosti prekoračenja do kojih desetak sekundi ili možda najdalje za još jedan red veličine više, što je našim izrazom gotovo sigurno omogućeno, a eksperimentalno je potvrđeno do nekih 20-ak sekundi.

## 5. ZAKLJUČAK

Na temelju istraživanja Dosterta i drugih [1 - 4] zaključili smo da se razdiobe osnovnih statističkih parametara impulsnog šuma na distribucijskoj mreži, uz uvjet da u blizini ne postoje dominantni jaki izvori impulsnih smetnji, mogu modelirati općim izrazima sa svega nekoliko parametara, kako slijedi:

- razdioba po amplitudama prema formuli (6), odnosno (8);
- razdioba po trajanju impulsa prema formuli (12);
- razdioba po međuimpulsnom intervalu prema formuli (34), s tim da se za male vrijednosti (ovdje do 20 ms) može preciznije izraziti oblikom prema (24).

Prema literaturi, razumno je očekivati da će se ovakvi oblici pojavljivati i kod mjerenja na drugim lokacijama, uz zadržavanje bitnih uvjeta mjerenja. Međutim, to je potrebno eksperimentalno dokazati.

## LITERATURA

[1] K. DOSTERT, "High Speed Data Transmission over Power Lines Using Multi-Carrier (OFDM) Techniques", Frequenz, Vol. 54 (2000), No. 11-12.

[2] M. ZIMMERMAN, K. DOSTERT, "An Analysis of the Broadband Noise Scenario in Powerline Networks", Proceedings of the 4th International Symposium on Powerline Communications and its Applications, Limerick, Ireland, April 5th-7th , 2000, http://www-iiit.etec.uni-karlsruhe.de/~plc/

[3] M. ZIMMERMANN, K. DOSTERT, "Analysis and Modeling of Impulsive Noise in Broad-Band Powerline Communications", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 44, No. 1, February 2002.

[4] K. DOSTERT, "Powerline Communications", Prentice Hall PTR, 2001

[5] M. H. L. CHAN, R. W. DONALDSON, "Amplitude, Width, and Interarrival Distribution for Noise Impulses on Intrabuilding Power Line Communication Networks", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 31, No. 3, Aug. 1989.

[6] R. M. VINES et al, "Noise on Residential Power Circuits", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-26, No. 4, Nov. 1984.

[7] D. LIU et al, "Wide Band AC Power Line Characterization", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 45, No. 4, Nov. 1999.

[8] O. G. HOOIJEN, "A Channel Model for the Residential Power Circuit Used as a Digital Communications Medium", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 40, No. 4, Nov. 1998.

[9] D. SABOLIĆ, "O statističkim osobinama uskopojasnog šuma na niskonaponskim električnim instalacijama", Energija, Vol. 51, br. 3, Zagreb, lipanj 2002.

[10] D. SABOLIĆ, "On The Distribution Network Narrowband Noise Statistics", to be published in the IEEE Transactions on Power Delivery in 2002.

[11] C. R. WYLIE, L. C. BARRETT, "Advanced Engineering Mathematics", 6th Ed, McGraw Hill, 1995.

[12] J. B. FRALEIGH, R. A. BEAUREGARD, "Linear Algebra", 3rd Ed, Addison - Wesley, 1995.

[13] K. F. RILEY, M. P. HOBSON, S. J. BENCE, "Mathematical Methods for Physics and Engineering", Cambridge University Press, 1998.

## STATIC CHARACTERISTICS OF DISTRIBUTION NETWORK IMPULSE NOISE

Based on the data from literature alternative mathematical models of stochastic amplitude distribution are developed as well as duration of impulse disturbance package on PLC media and time difference between neighbouring packages.

## ÜBER STATISCHE EIGENSCHAFTEN DES IMPULSGERÄUSCHES IM VERTEILUNGSNETZ

Auf Grund der Angaben in der Literatur werden alternative mathematische Modelle der stochastischen Verteilung der Amplituden, der Dauer von Störimpulspaketen in der PLC (Power Line Carrier = Stromleitung als Datenträger), und der dazwischen liegenden Pausen, gebildet,.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.**
**HEP Prijenos d.o.o.**
**Ulica grada Vukovara 37**
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2002-07-27

# PARNA TURBINA U KOMBIKOGENERACIJSKOM POSTROJENJU TE-TO ZAGREB

Mr. sc. Miroslav Š a n d e r, Zagreb

UDK 621.165:621.311.22
PREGLEDNI ČLANAK

Kondenzacijska turbina bez međupregrijanja proizvodnje ABB - Karlovac je ugrađena u kombikogeneracijsko postrojenje TE -TO Zagreb. Postrojenje se sastoji od dvije MS6001FA plinske turbine s generatorima te dva kotla na ispušne plinove, jedne parne turbine s jednim privodom pare. Para za parnu turbinu se proizvodi u kotlu na ispušne plinove korištenjem ispušne topline proizvedene u plinskoj turbini. Kombi - Kogeneracijsko postrojenje će generirati 200 MW električne energije te paru za mrežno grijanje i industrijsku paru. U daljnjem tekstu se daje tehnički opis parne turbine uz projektno - konstrukcijske karakteristike turbine. Također su opisani; ulje na parnoturbinskom postrojenju, uređaji za zaštitu turbine, brtvena para, odvodnjavanje i kondenzacija. Unutar opisa parnoturbinskog postrojenja nastojalo se je podastrijeti što više temeljnih tehničkih podataka. Posebna pažnja je posvećena upravljačkom sustavu cjelokupnog kombikogeneracijskog postrojenja DCS-u, da bi se u relaciji spram DCS-a naznačili zadaci Marka V - upravljačkog sustava plinske turbine, a potom Turboturna - upravljačkog sustava - parne turbine. Pogon i vođenje parne turbine preko DCS sustava i Turboturna obrađeno je kroz upuštanje, normalni pogon i u obustavi parne turbine.

**Ključne riječi: TE-TO Zagreb, parna turbina, kombi-kogeneracijsko postrojenje.**

## 1. KONSTRUKCIJA PARNE TURBINE

Parna turbina u TE -TO je akcijskog tipa, kondenzacijska (gledati sliku 1, iako ne pokazuje presjek turbine ona dovoljno ilustrira ideju konstrukcije turbine), bez međupregrijanja, ima 19 stupnjeva i dvostruko oduzimanje, a ima tri funkcije:

- okreće generator za proizvodnju električne energije.
- opskrbljuje parom za grijanje na prvom reguliranom oduzimanju za industrijske potrošače.
- opskrbljuje parom za grijanje na drugom reguliranom oduzimanju za mrežno grijanje.

Da bi se odvojio dovod pare od turbine postavljena su na turbinu dva brzozatvarajuća ventila (BZV) K3MAA11AA001 i K3MAA11AA002 čijim zatvaranjem se odvaja VT para iz kotla na ispušne plinove KIP-a od visokotlačnog (VT) dijela turbine. Para nakon BZV-a odlazi na sustav od četiri regulacijska ventila koji usmjeruju, odvajaju, reguliraju i upravljaju protokom pare prema parnoj turbini. Svaki od četiri regulacijska ventila K3MAA11AA101, 2, 3, 4 pripušta paru u jednu od četiri grupe ulaznih sapnica prvog stupnja ili regulacijskog stupnja visokotlačnog dijela turbine. Kroz stupnjeve od 1 do 8 para struji u smjeru od generatora prema prednjem ležaju. Para se preusmjerava unutar VT kućišta i onda prolazi kroz stupnjeve 9, 10 i 11 te završava strujanje u VT dijelu turbine [1].

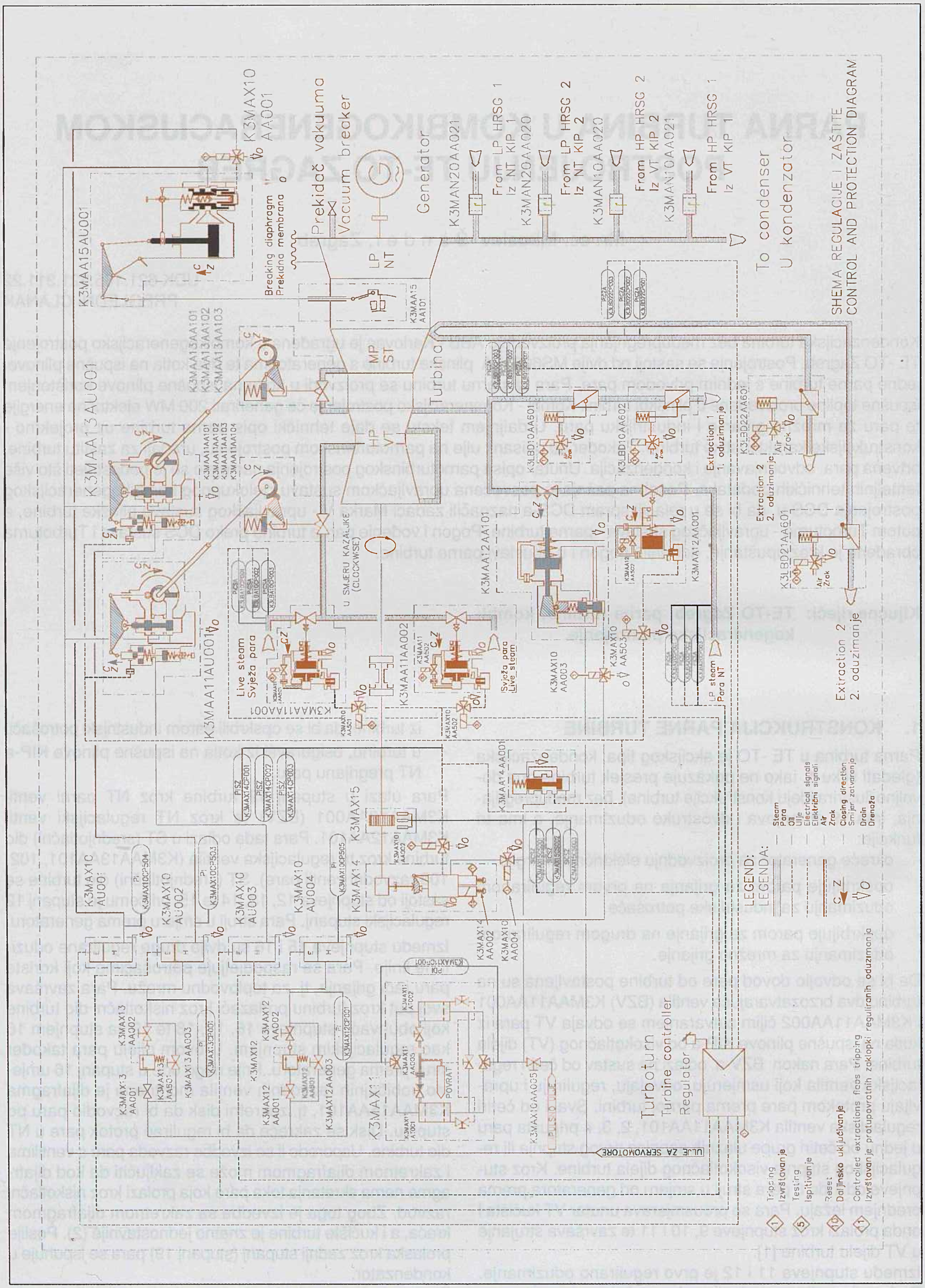
Između stupnjeva 11 i 12 je prvo regulirano oduzimanje. Pari se dozvoljava strujanje u dva smjera, ovisno o pogonskom režimu turbine i potrošnji oduzimane pare:

- iz turbine, da bi se opskrbili parom industrijski potrošači.
- u turbinu, osiguravši iz kotla na ispušne plinove KIP-a NT pregrijanu paru.

Para ulazi u stupanj 12 turbine kroz NT parni ventil K3MAA12AA001 (BZV) te kroz NT regulacijski ventil K3MAA12AA101. Para tada odlazi u ST (srednjotlačni) dio turbine kroz tri regulacijska ventila (K3MAA13AA101, 102, 103 razvodni ventil pare). ST (srednjotlačni) dio turbine se sastoji od stupnjeva 12, 13, 14 te 15, pri čemu je stupanj 12 regulacijski stupanj. Para struji u smjeru prema generatoru.

Između stupnjeva 15 i 16 su dvije druge regulirane oduzimne linije. Para se raspodjeljuje potrošačima koji koriste paru radi grijanja, tj. za toplovodnu mrežu. Para završava svoj put kroz turbinu prolazeći kroz niskotlačni dio turbine koji obuhvaća stupnjeve 16, 17, 18 te 19 sa stupnjem 16 kao regulacijskim stupnjem. U ovom dijelu para također struji prema generatoru. Prije nego uđe u stupanj 16 umjesto uobičajnih razvodnih ventila montirana je dijafragma K3MAA15AA101, tj. zakretni disk da bi razvodio paru po stupnju. Disk se zakreće da bi regulirao protok pare u NT dio turbine. Usporede li se izvedbe razvoda pare s ventilima i zakretnom dijafragmom može se zaključiti da kod dijafragme nema skretanja toka pare koja prolazi kroz niskotlačni razvod. Zbog toga je izvedba sa zakretnom dijafragmom kraća, a i kućište turbine je znatno jednostavnije (2). Poslije prolaska kroz zadnji stupanj (stupanj 19) para se ispuhuje u kondenzator.

Rotor je jednostavni otkivak u monobloku koji uključuje zajedno s osovinom diskove, prirubnice za spojku te odrivne




Slika 1. Shema regulacije i zaštite parne turbine

ploče za odrivni ležaj. Na prednjem kraju je produžetak na kojem je smješten centrifugalni izvrstilac. Lopatičje za stupnjeve 1 - 14 je pričvršćeno na diskove pomoću "T" oblikovanih korijena, a lopatice su obodno postavljene u diskove. Lopatičje za stupnjeve 15 - 19 je pričvršćeno na diskove pomoću korijena u obliku jele, a lopatice su obodno postavljene u diskove. Stupnjevi 1 - 14 su integralno obređeni s bandažom. Lopatice stupnjeva od 15 do 19 su slobodno stojeće lopatice bez bandaže ili nekog drugog sprezanja. Turbinski rotor se oslanja radijalno u dva ležaja, a u aksijalnom položaju se održava s odrivnim ležajem koji je aktivan u dva smjera. U prednjem ležajnom bloku su smješteni prednji radijalni klizni ležaj te odrivni ležaj, a uz njih rotorske uljne brtve, štitnik za toplinu, uređaj za izvrštavanje te druge osjetne sonde. U stražnjem ležajnom bloku su smješteni stražnji radijalni klizni ležaj te spojka za generator, a uz njih rotorske uljne brtve, stroj za okretanje te druge osjetne sonde.

## 2. OSNOVNI TEHNIČKI PODACI O PARNOJ TURBINI

Maksimalna snaga turbine je 66 MW, a maksimalno dozvoljeno opterećenje je 70 MW, prozvođač je ABB iz Karlovca. Nazivna brzina vrtnje je 3000 $min^{-1}$, a kritične brzine vrtnje za samu turbinu su 1600 $min^{-1}$-/-3700 $min^{-1}$, no zajedničke kritične brzine s generatorom su $n_{k1}$ = 1100 min-1, $n_{k2}$ = 1100 $min^{-1}$ do 1600 $min^{-1}$, $n_{k3}$ = 2500 $min^{-1}$, $n_{k4}$ = 4000 $min^{-1}$. Tlak pare i temperatura za pogon turbine su 90.8 bar/539°C, a maksimalno kratkotrajno mogu ići do 95 bar/553°C. Pod ovim maksimalno trajno se misli najviše 50 sati godišnje te ne više od 10 minuta u svakom pojedinačnom slučaju. Niskotlačna para iz kotla u turbinu je 10 bara / 288°C, maksimalno može ići do 11 bar / 300°C, a maksimalni protok pare je 27 t/h. Tlak prvog oduzimanja je 10 ±0.5 bara, a protok pare od 0 do 140 t/h. Tlak drugog oduzimanja je 2.5 bara, a količina od 0 do 130 t/h. Para izlazi u kondenzator pod tlakom od 0.0444 bara, a maksimalna količina je 171 t/h. Generator za parnu turbinu je dvopolni, s 3000 okretaja po minuti, trofazni, 50 Hz, potuno zatvoren, hlađen vodom.

## 3. ULJE NA PARNOTURBINSKOM POSTROJENJU

Funkcija sustava za podmazivanje uljem kod parne turbine je opskrbljivati uljem ležajeve parne turbine i ležajeve generatora, dobavljati hidrauličko ulje za turbinske regulacijske i zaštitne uređaje. Sustav osigurava opskrbu čistim uljem s prihvatljivom temperaturom nužnom za ispravno podmazivanje i hlađenje turbinskih i generatorskih ležajeva te pod dovoljnim tlakom za regulacijske funkcije i funkcije izvrštavanja. Mazanjem ležajeva turbine i generatora postižemo smanjivanje mehaničkih gubitaka agregata zbog trenja. Ulje za mazanje odvodi iz ležajnih rukavaca rotora turbine toplinu, koja se kroz rotor provodi iz protočnog dijela turbina [3]. Opskrbljivanje radnim uljem uređaja za regulaciju i zaštitu turbine također je zadatak uljnog sustava. Pri tom ulje služi bilo kao radni medij hidrauličkih uređaja, bilo kao medij za prenošenje informacija i signala za upravljanje. Ispiranje nečistoća iz ležajnih postolja i hidrauličkih uređaja te odvođenje nečistoća filtriranjem ili centrifugiranjem ubrajamo u sporedne zadatke uljnog sustava. Zaštita od korozije elemenata koji su oplahivani uljem postiže se također djelovanjem sustava, te je i to jedan od njegovih zadataka. Osnovna shema uljnog sustava prikazana je na slici 2, a izvedba uljnog modula na slici 3.

Glavne uljne pumpe K3MAV10AP010 i K3MAV20AP010 stvaraju tlak za ležajeve te hidrauličke regulacijske uređaje za vrijeme upuštanja i normalnog pogona. Za vrijeme obustave, kada se turbina okreće pomoću stroja za okretanje, ulje pod tlakom se dobavlja iz pomoćne uljne pumpe K3MAV30AP020, ali samo u turbinske i generatorske ležajeve. Glavne i pomoćne uljne pumpe su centrifugalne pumpe pogonjene pomoću elektromotora na izmjeničnu struju. Funkcija havarijske uljne pumpe K3MAV60AP010 s elektromotorom na istosmjernu struju je da dobavlja ulje pod tlakom samo u ležajeve turbine i generatora u slučaju gubitka napajanja električnom energijom glavnih i pomoćne pumpe.

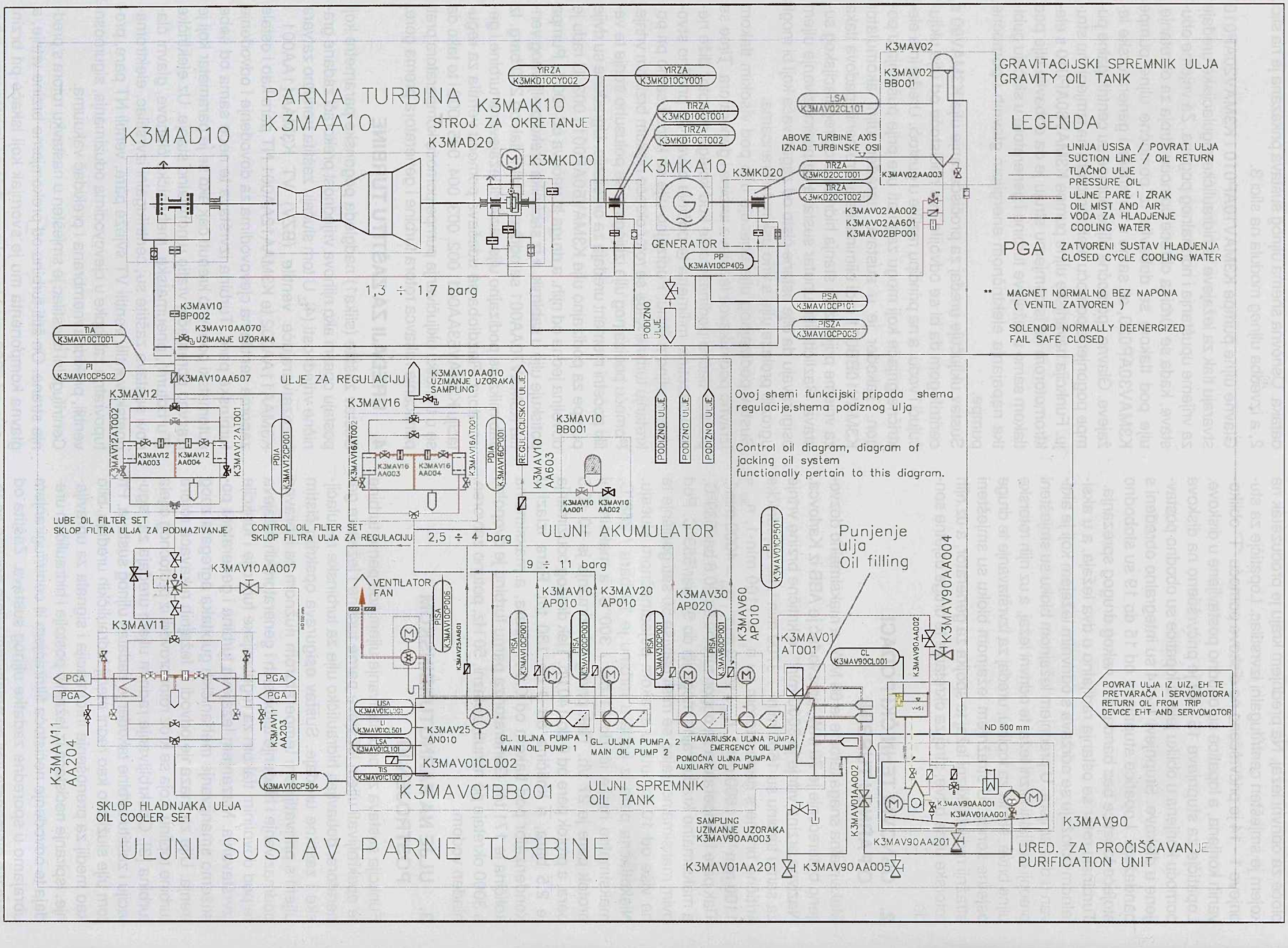
Sustav uključuje uređaj za pročišćavanje ulja K3MAV90 s centrifugom da bi se odvojile sve nečistoće od ulja uključujući i vodu, a na principu razlike u gustoći. Uređaj ima električne grijače koji mogu zagrijati ulje prije puštanja u pogon. Također je u sustavu ugrađen uljni akomulator K3MAV10BB001 radi eliminacije privremenih padova tlaka za vrijeme prijelaznih stanja hidrauličkog regulacijskog sustava. Različiti filtri unutar sustava za podmazivanje uljem osiguravaju da ulje ostane čisto od zagađivača koji bi mogli ugroziti prolaze ulja s vrlo uskim tolerancama.

Sustav podizajnog ulja ubacuje ulje pod visokim tlakom izravno pod rukavce ležajeva turbine i generatora. Time se postiže tlačno podmazivanje kod kojega se rotor diže nekoliko stotinki milimetra te počinje plivati na prisilno stvorenom uljnom filmu. Podizajno ulje se koristi samo pri pokretanju turbine kada se rotor okreće niskom brzinom vrtnje. Pomoću podizajnog ulja izbjegava se polusuho trenje te veliki početni moment uređaja za okretanje. Ugrađene su dvije pumpe za podizajno ulje K3MAV50AP001 i 002. U radu je dovoljna jedna od njih, a druga je pričuva od 100%. Pumpa potiskuje ulje u sabirnik, a iz sabirnika preko preljevnog ventila K3MAV70AA001 se održava stalni tlak od 270 barg. Iz sabirnika se podizajno ulje razvodi ležajevima turbine i generatora. Razdioba se udešava pomoću ventila za regulaciju K3MAV53AA001, 002, 003, 004, 005 i 006 i to tako da se u trenutku uključivanja pumpe pomoću komparatora prati pomicanje rukavca rotora turbine i generatora prema gore.

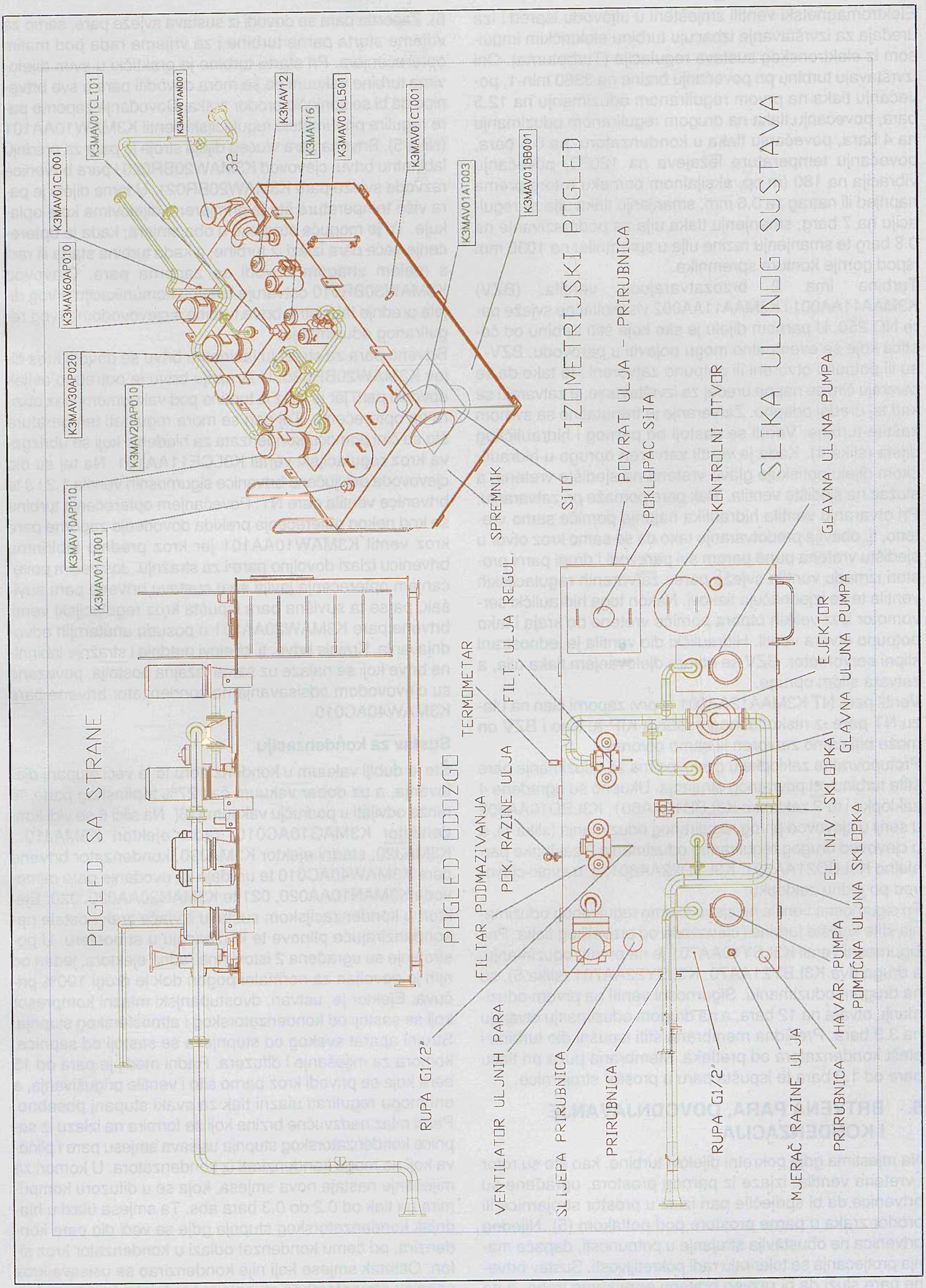
## 4. UREĐAJI ZA ZAŠTITU TURBINE

Sustav zaštite (slika1) nadgleda pogonske parametre koji postaju opasni ako njihova vrijednost prekorači zadane granične vrijednosti (4). U tom slučaju zaštita trenutno zatvara brzozatvarajuće ventile (BZV) VT K3MAA11AA001 i K3MAA11AA002 te K3MAA12AA001 NT pare kao i ostale zaporne ventile na cjevovodima za dovođenje i odvođenje turbinske pare. Turbina izvrštava te neće sama od sebe automatski ponovno krenuti čak ako se je parametar koji je izazvao poremećaj vratio u normalno stanje. Uz električke (Turboturn), pneumatske, mehaničke članove, glavni članovi sustava zaštite su; centrifugalni izvrstilac, elektromagnetski ventili, ventili VT svježe pare, ventili NT pare, protupovratne zaklopke u cjevovodima oduzimanja, sigurnosni ventili, prekidna membrana i prekidač vakuuma.

Centrifugalni izvrstilac je smješten u nastavku rotora s prednje strane. On štiti turbinu od prekomjerne brzine vrtnje, a glavna komponenta mu je svornjak koji iskače pri brzini vrtnje od 3300 $min^{-1}$ te preko uređaja za izvrštavanje izbacuje turbinu iz pogona.




Slika 2. Uljni sustav parne turbine




**Slika 3. Prikaz uljnog sustava parne turbine**

Elektromagnetski ventili smješteni u uljovodu ispred i iza uređaja za izvrštavanje izbacuju turbinu električkim impulsom iz elektronskog sustava regulacije (Turboturna). Oni izvrštavaju turbinu pri povećanju brzine na 3360 min-1, povećanju tlaka na prvom reguliranom oduzimanju na 12.5 bara, povećanju tlaka na drugom reguliranom oduzimanju na 4 bara, povećanju tlaka u kondenzatoru na 0.5 bara, povećanju temperature ležajeva na 120°C, povećanju vibracija na 180 (m pp, aksijalnom pomaku rotora prema naprijed ili natrag za 0.6 mm, smanjenju tlaka ulja za regulaciju na 7 barg, smanjenju tlaka ulja za podmazivanje na 0.8 barg te smanjenju razine ulja u spremniku na 1030 mm ispod gornje konture spremnika.

Turbina ima 2 brzozatvarajuća ventila (BZV) K3MAA11AA001 i K3MAA11AA002 visokotlačne svježe pare NO 250. U parnom dijelu je sito koje štiti turbinu od čestica koje se eventualno mogu pojaviti u parovodu. BZV- i su ili potpuno otvoreni ili potpuno zatvoreni i to tako da se otvaraju čim se napne uređaj za izvrštavanje, a zatvaraju se kad taj uređaj odapne. Zatvaranje je trenutačno sa svrhom zaštite turbine. Ventil se sastoji od parnog i hidrauličkog dijela (slika 4). Kada je ventil zatvoren opruga u hidrauličkom dijelu potiskuje glavu vretena na sjedište vretena, a stožac na sjedište ventila. Tlak pare pomaže pri zatvaranju. Pri otvaranju ventila hidraulika najprije pomiče samo vreteno, tj. obavlja predotvaranje tako da se samo kroz otvor u sjedištu vretena pune parom svi parovodi i drugi parni prostori između ventila svježe pare i zatvorenih regulacijskih ventila te se izjednačuju tlakovi. Nakon toga hidraulički servomotor bez velikih otpora pomiče vreteno do kraja i tako potpuno otvara ventil. Hidraulički dio ventila je jednostrani klipni servomotor. BZV se otvara djelovanjem tlaka ulja, a zatvara silom opruge.

Ventil pare NT K3MAA12AA001 je prvi zaporni član na ulazu NT pare iz niskotlačnog sustava KIP-a. Kao i BZV on može biti samo zatvoren ili samo otvoren.

Protupovratne zaklopke u cjevovodima za oduzimanje pare štite turbinu od povratnog strujanja. Ukupno su ugrađene 4 zaklopke i to 2 zaklopke K3LBD10AA601, K3LBD10AA602 u seriji u cjevovod prvog reguliranog oduzimanja (slika 1), a u cjevovod drugog reguliranog oduzimanja 2 zaklopke paralelno K3LBD21AA601, K3LBD22AA601, tj. u svaki cjevovod po jednu zaklopku.

Tri sigurnosna ventila na cjevovodima reguliranog oduzimanja štite kućište turbine i cjevovoda od prevelikog tlaka. Prvi sigurnosni ventil K3LBY10AA701 je na prvom oduzimanju, a druga dva K3LBY21AA70, K3LBY22AA701 (slika 5), su na drugom oduzimanju. Sigurnosni ventil na prvom oduzimanju otvara na 12 bara, a na drugom oduzimanju otvaraju na 3.3 bara. Prekidna membrana štiti ispušni dio turbine i plašt kondenzatora od pretlaka. Membrana puca pri tlaku pare od 1.2 bara te ispušta paru u prostor strojarnice.

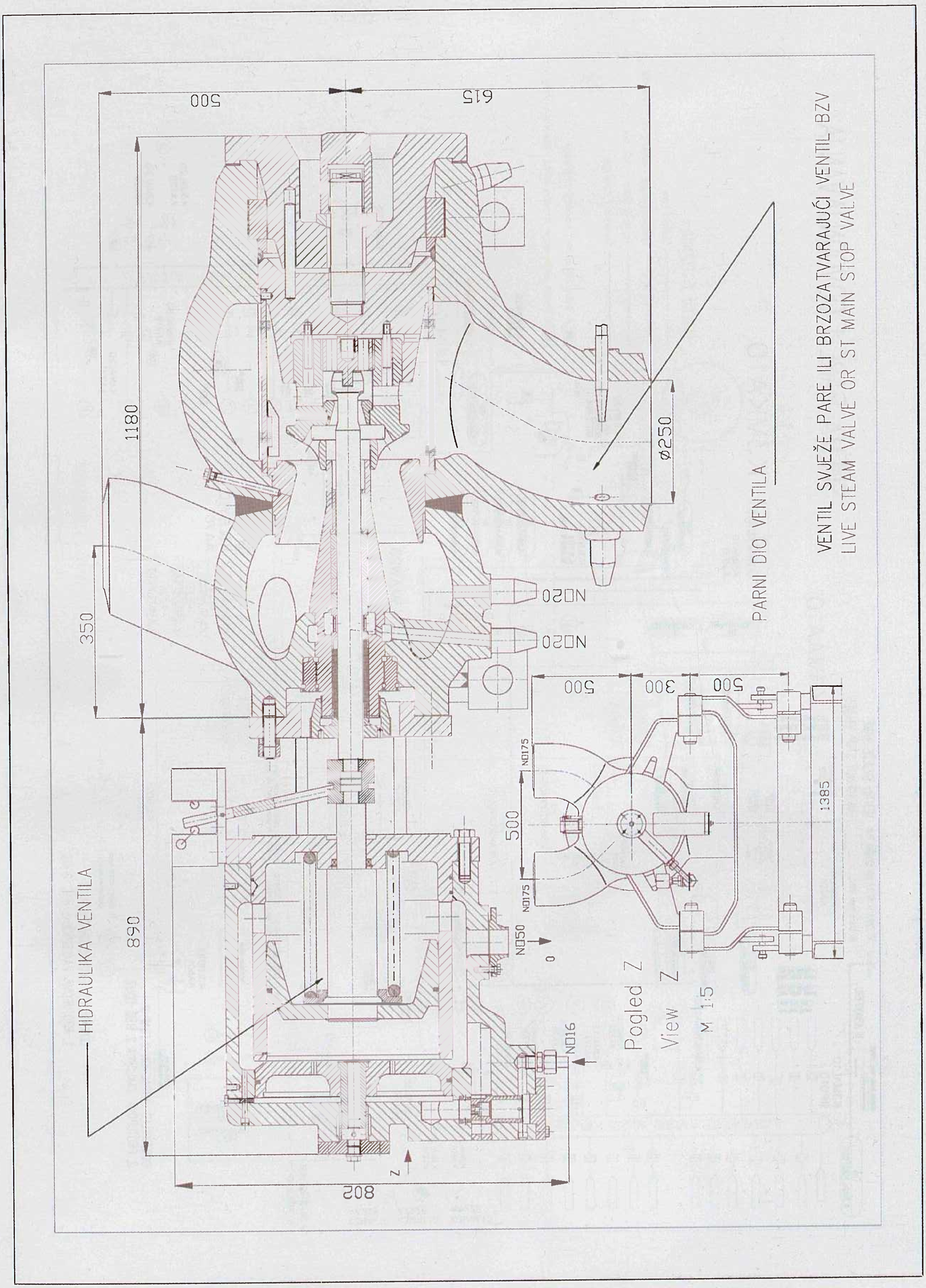
## 5. BRTVENA PARA, ODVODNJAVANJE I KONDENZACIJA

Na mjestima gdje pokretni dijelovi turbine, kao što su rotor i vretena ventila, izlaze iz parnog prostora, ugrađene su brtvenice da bi spriječile pari izlaz u prostor strojarnice ili prodor zraka u parne prostore pod potlakom (5). Nijedna brtvenica ne obustavlja strujanje u potpunosti, dapače manja protjecanja se toleriraju radi pokretljivosti. Sustav brtvene pare služi da bi razveo brtvenu paru kamo treba, a na kraju u kondenzator brtvene pare K3MAW40AC010 (slika 6). Zaporna para se dovodi iz sustava svježe pare, samo za vrijeme starta parne turbine i za vrijeme rada pod malim opterećenjem. Pri startu turbine je praktički u svim dijelovima turbine vakuum pa se mora dovoditi para u sve brtvenice da bi se spriječio prodor zraka. Dovođenje zaporne pare regulira pneumatski regulacijski ventil K3MAW10AA101 (slika 5). Brtvena para vrućeg dijela stroja je para za prednju labirintnu brtvu, cjevovod K3MAW20BR020 i para brtvenica razvoda svježe pare K3MAW20BR021. U tome dijelu je para više temperature što je primjereno dijelovima koje oplakuje. Tu je moguće strujanje u oba smjera; kada je opterećenje veće para izlazi iz turbine, a kada turbina starta ili radi s malom snagom dovodi se zaporna para. Cjevovod K3MAW30BR010 ostvaruje izravnu komunikaciju prvog dijela prednje labirintne brtve turbine s cjevovodom prvog reguliranog oduzimanja.

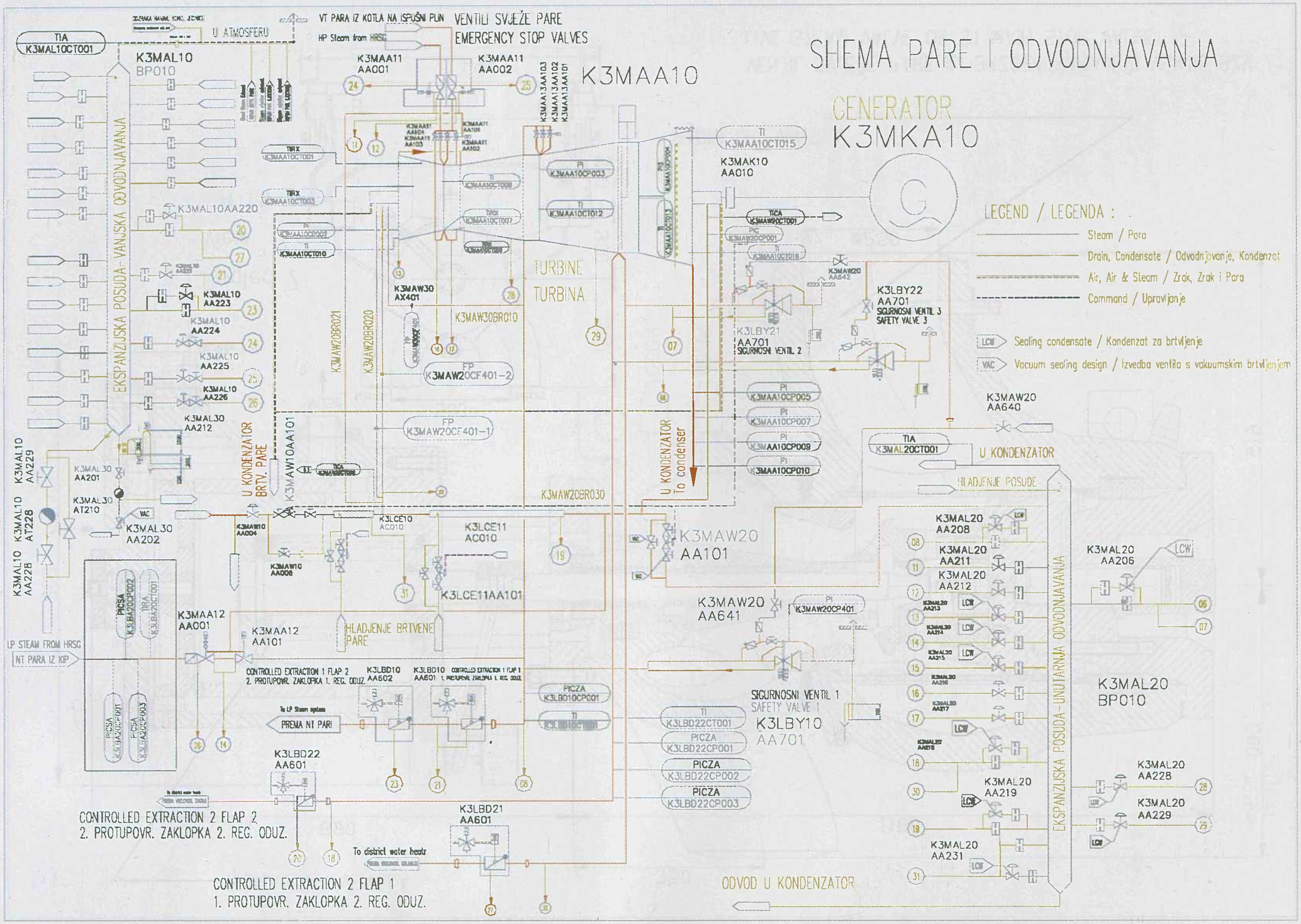
Brtvena para za stražnju labirintnu brtvu se dovodi kroz cijev K3MAW20BR030. U stražnju brtvu je potrebno uvijek dovoditi paru jer je izlaz iz turbine pod vakuumom, bez obzira na opterećenje. Toj pari se mora regulirati temperatura što se čini pomoću kondenzata za hlađenje koji se ubrizgava kroz regulacijski ventil K3LCE11AA101. Na taj su dio cjevovoda priključene brtvenice sigurnosnih ventila 1,2 i 3 te brtvenice ventila pare NT. Povećanjem opterećenja turbine se kod nekog opterećenja prekida dovođenje zaporne pare kroz ventil K3MAW10AA101 jer kroz prednju labirintnu brtvenicu izlazi dovoljno pare i za stražnju. Još većim povećanjem opterećenja javlja se u sustavu brtvene pare suvišak, pa se ta suvišna para ispušta kroz regulacijski ventil brtvene pare K3MAW20AA101 u posudu unutarnjih odvodnjavanja. Krajnje brtve, tj. dijelovi prednje i stražnje labirintne brtve koji se nalaze uz sama ležajna postolja, povezane su cjevovodom odsisavanja na kondenzator brtvene pare K3MAW40AC010.

### Sustav za kondenzaciju

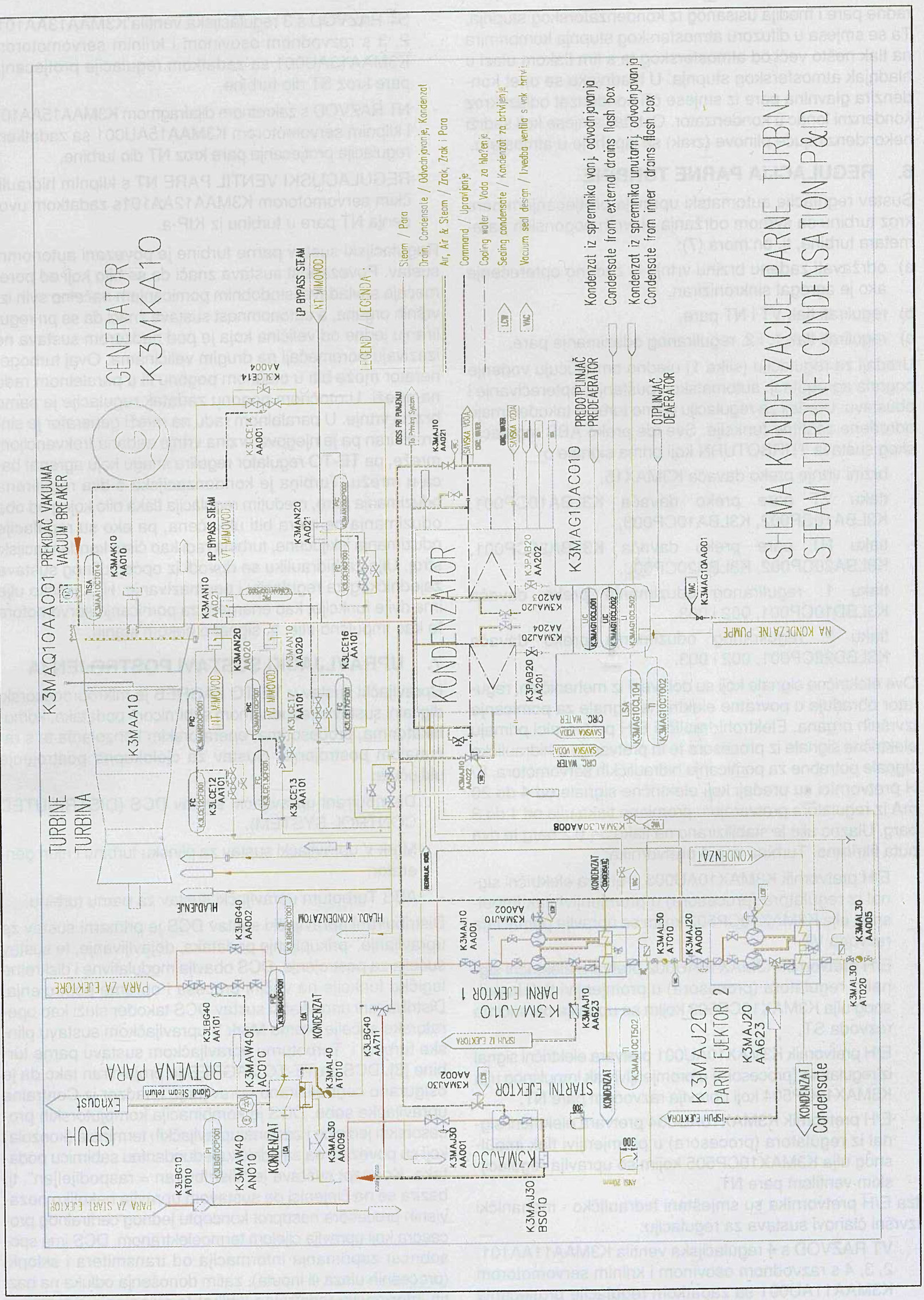
Što je dublji vakuum u kondenzatoru to je veći stupanj djelovanja, a uz dobar vakuum čak 27% toplinskog pada se može odvijati u području vakuuma (6(. Na slici 6 se vidi kondenzator K3MAG10AC010, radni ejektori K3MAJ10 i K3MAJ20, startni ejektor K3MAJ30, kondenzator brtvene pare K3MAW40AC010 te uređaje za uvođenje pare mimovoda K3MAN10AA020, 021 te K3MAN20AA020, 020. Ejektori u kondenzacijskom sustavu izvlače zrak i ostale nekondenzirajuće plinove te ih izbacuju u atmosferu. U postrojenje su ugrađena 2 istovjetna radna ejektora, jedan od njih je dovoljan za normalni pogon dok je drugi 100% pričuva. Ejektor je, ustvari, dvostupanjski mlazni kompresor koji se sastoji od kondenzatorskog i atmosferskog stupnja. Strujni aparat svakog od stupnjeva se sastoji od sapnica, komora za miješanje i difuzora. Radni medij je para od 15 bara koja se privodi kroz parno sito i ventile prigušivanja, a oni mogu regulirati ulazni tlak za svaki stupanj posebno. Parni mlaz nadzvučne brzine koji se formira na izlazu iz sapnice kondenzatorskog stupnja usisava smjesu pare i plinova koji ne mogu kondenzirati iz kondenzatora. U komori za miješanje nastaje nova smjesa, koja se u difuzoru komprimira na tlak od 0.2 do 0.3 bara abs. Ta smjesa ulazi u hladnjak kondenzatorskog stupnja gdje se veći dio pare kondenzira, pri čemu kondenzat odlazi u kondenzator kroz sifon. Ostatak smjese koji nije kondenzirao se usisava kroz sapnicu atmosferskog stupnja iz hladnjaka kondenzatorskog stupnja. U komori za miješanje opet nastaje smjesa




**Slika 4. Ventil svježe pare ili brzozatvarajući ventil - BZV**




Slika 5. Shema pare i odvodnjavanja parne turbine




**Slika 6. Shema kondenzacije parne turbine**

radne pare i medija usisanog iz kondenzatorskog stupnja. Ta se smjesa u difuzoru atmosferskog stupnja komprimira na tlak nešto veći od atmosferskog te s tim tlakom ulazi u hladnjak atmosferskog stupnja. U hladnjaku se opet kondenzira glavnina pare iz smjese čiji kondenzat odlazi kroz kondenzni lonac u kondenzator. Ostatak smjese koji sadrži nekondenzirajuće plinove (zrak) se ispuhuje u atmosferu.

## 6. REGULACIJA PARNE TURBINE

Sustav regulacije automatski upravlja protjecanjem pare kroz turbinu sa svrhom održanja glavnih pogonskih parametara turbine, tj. on mora (7):

a) održavati zadanu brzinu vrtnje ili zadano opterećenje ako je agregat sinkroniziran,
b) regulirati tlak VT i NT pare,
c) regulirati tlak 1. i 2. reguliranog oduzimanja pare.

Uređaji za regulaciju (slika 1) ujedno omogućuju vođenje pogona agregata tj. automatsko upuštanje, opterećivanje i obustavu. Uređaji za regulaciju parne turbine također imaju određene zaštitne funkcije. Sve ide preko ABB regulacijskog sustava TURBOTURN koji prima signale o:

- brzini vrtnje preko davača K3MAX15,
- tlaku VT pare preko davača K3LBA10CP001, K3LBA10CP002, K3LBA10CP003,
- tlaku NT pare preko davača K3LBA20CP001, K3LBA20CP002, K3LBA20CP003,
- tlaku 1. reguliranog oduzimanja preko davača K3LBD10CP001, 002 i 003,
- tlaku 2. reguliranog oduzimanja preko davača K3LBD22CP001, 002 i 003.

Ove električne signale koji su dobiveni iz mehaničkih, regulator obrađuje u povratne električne signale za pomicanje izvršnih organa. Elektrohidraulički E/H pretvornici primaju električne signale iz procesora te ih pretvaraju u hidrauličke signale potrebne za pomicanje hidrauličkih servomotora. E/H pretvornici su uređaji koji električne signale od 4 do 20 mA iz regulatora pretvaraju u promjene tlaka ulja od 1 do 3 barg. Ulazno ulje je stabilizirano na tlaku 5-( 0.2 barg te dva puta filtrirano. Turbina ima 4 pretvornika:

- E/H pretvornik K3MAX10AU003 pretvara električni signal iz regulatora (procesora) u promjenjivi tlak impulsnog ulja K3MAX10CP502 kojim se upravlja pomacima razvoda VT,
- E/H pretvornik K3MAX10AU002 pretvara električni signal iz regulatora (procesora) u promjenjivi tlak impulsnog ulja K3MAX10CP503 kojim se upravlja pomacima razvoda ST,
- E/H pretvornik K3MAX10AU001 pretvara električni signal iz regulatora (procesora) u promjenjivi tlak impulsnog ulja K3MAX10CP504 koji upravlja razvodom pare NT,
- E/H pretvornik K3MAX10AU004 pretvara električni signal iz regulatora (procesora) u promjenjivi tlak impulsnog ulja K3MAX10CP505 kojim se upravlja regulacijskim ventilom pare NT.

Iza E/H pretvornika su smješteni hidraulično - mehanički izvršni članovi sustava za regulaciju:

- VT RAZVOD s 4 regulacijska ventila K3MAA11AA101, 2, 3, 4 s razvodnom osovinom i krilnim servomotorom K3MAA11AU001 sa zadatkom regulacije protjecanja pare kroz VT dio turbine,
- ST RAZVOD s 3 regulacijska ventila K3MAA13AA101, 2, 3 s razvodnom osovinom i krilnim servomotorom K3MAA13AU001 sa zadatkom regulacije protjecanja pare kroz ST dio turbine,
- NT RAZVOD s zakretnom dijafragmom K3MAA15AA101 i klipnim servomotorom K3MAA15AU001 sa zadatkom regulacije protjecanja pare kroz NT dio turbine,
- REGULACIJSKI VENTIL PARE NT s klipnim hidrauličkim servomotorom K3MAA12AA101s zadatkom uvođenja NT pare u turbinu iz KIP-a.

Regulacijski sustav parne turbine je povezani autonomni sustav. Povezanost sustava znači da se bilo koji od poremećaja savladava istodobnim pomicanjem načelno svih izvršnih organa, a autonomnost sustava znači da se pri reguliranju jedne od veličina koja je pod nadzorom sustava ne izazivaju poremećaji na drugim veličinama. Ovaj turbogenerator može biti u otočnom pogonu ili u paralelnom radu na mreži. U otočnom pogonu zadatak regulacije je samo brzina vrtnje. U paralelnom radu na mreži generator je sinkroniziran pa je njegova brzina vrtnje zadana frekvencijom mreže, pa TE-TO regulator regulira snagu koju agregat baca u mrežu. Turbina je kondenzacijska s dva regulirana oduzimanja pare, međutim regulacija tlaka bilo kojeg od oba oduzimanja ne mora biti uključena, pa ako su regulacije oduzimanja isključene, turbina radi kao čisto kondenzacijski stroj. Ulje za hidrauliku se dovodi iz općeg uljnog sustava zajedničkog za regulaciju i podmazivanje. Hidrauličko ulje ima dvije funkcije; kao energent za pomicanje servomotora te kao impulsno ulje, tj. signal o nekom stanju.

## 7. UPRAVLJAČKI SUSTAVI POSTROJENJA

Upravljački sustav u TE-TO ZAGREB je mikroprocesorski digitalni sustav s redudantnom sabirnicom podataka, komunikatorima, procesorima, operatorskim konzolama te s računalom postrojenja. Sustav za cjelokupno postrojenje uključuje:

- Distribuirani upravljački sustav DCS (DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM),
- Mark V upravljački sustav za plinsku turbinu i njen generator,
- ABB Turboturn upravljački sustav za parnu turbinu.

Distribuirani upravljački sustav DCS je primarni sustav za upravljanje, prikupljanje podataka, dojavljivanje, te sustav sučelja za postrojenje. DCS obavlja modulativne i diskretne logičke funkcije na većini procesa i opreme postrojenja. Distribuirani upravljački sustav DCS također služi kao operatorsko sučelje prema Mark V upravljačkom sustavu plinske turbine i Turboturnu upravljačkom sustavu parne turbine [8]. DCS za TE-TO ZAGREB je projektiran tako da je osigurano centralizirano upravljanje i nadzor iz Centralne upravljačke sobe. DCS je kombinacija kompjutorskih procesorskih jedinica i zaslona/upravljačkih terminala (konzola) koji su povezani na zajedničku redundantnu sabirnicu podataka. Koncept sustava je "distribuiran = raspodijeljen", tj. bazira se na činjenici da sustavom upravlja nekoliko nezavisnih procesora nasuprot konceptu jednog centralnog procesora koji upravlja cijelom termoelektranom. DCS ima sposobnost zaprimanja informacija od transmitera i sklopki (procesnih ulaza ili inputa), zatim donošenja odluka na bazi tih informacija (centralna logika) te mijenjanja procesa s pokretanjem regulacijskih ventila, motora upuštanja-/-zau-

**Tablica 1. Sekvence kombikogeneracijskog postrojenja**

| | |
|---|---|
| K0CJD00EA001 | Glavna sekvenca koordinacije postrojenja |
| K0PGC00EC001 | Sekvenca zatvorenog sustava hlađenja |
| K0PAB00EC001 | Sekvenca sustava hlađenja savskom vodom |
| K3MAY00EA001 | Parnoturbinska sekvenca |
| K3LCB20EC001 | Sekvenca kondenzata |
| K3LBA10EC001 | Zajednička para |
| K1CJD10EA001 | Sekvenca plinske turbine 1 |
| K1CJD10EC001 | Sekvenca VT KIP1 (kotla na ispušne plinove 1) |
| K1CJD10EC002 | Sekvenca niskog tlaka NT KIP1 |
| K0EKT10EC001 | Sekvenca grijanja plina pri startu plinske turbine 1 |
| K2CJD10EA001 | Sekvenca plinske turbine 2 |
| K2CJD10EC001 | Sekvenca VT KIP2 (kotla na ispušne plinove 2) |
| K2CJD10EC002 | Sekvenca NT KIP2 (kotla na ispušne plinove 2) |
| K0EKT20EC001 | Sekvenca grijanja plina pri startu plinske turbine 2 |
| K0NDA00EC001 | Sekvenca vrelovodnog grijača za grijanje grada |

stavljanja, operativnih prekidača u rasklopištima itd., tj. procesnih izlaza (outputa). U kombinaciji s ovim osnovnim procesima, DCS također dozvoljava operateru da utječe na promjene u procesu pomoću akcija pokrenutih iz operatorske konzole. Te akcije uključuju prilagođavanje procesnih postavnih vrijednosti, režima rada, odabira opreme, inicijaliziranje sekvencijalnog upravljanja te ručno upravljanje odabranim procesnim sustavima.

DCS također komunicira s drugim nezavisnim upravljačkim pogonskim sustavima što znači da procesne informacije u tim sustavima mogu također biti dostupne i DCS-u. Time se omogućava upravljanje i nadziranje različitih sustava iz jednog središnjeg mjesta. Iako se sustav sastoji od vlastitih komponenata te komponenata u drugim sustavima, pogonsko osoblje može nadzirati i upravljati postrojenjem termoelektrane iz jedne središnje strateške lokacije. DCS kombi procesa sadrži komponente nužne za upravljanje KIP-a, tj. kotla na ispušne plinove, kondenzata, sustava napojne vode te parnog sustava. Pored toga DCS je povezan s upravljačkim sustavima plinske i parne turbine preko izuzetno brze prometnice "modbusa". Sustav se hardverski sastoji od elektronike, ormara, upravljačkog ožičenja i ožičenja napajanja strujom, upravljačkih procesora, napajanja energijom i međuvezama nužnim za upravljanje pri upuštanju, pogonu i obustavi postrojenja. Pogonsko osoblje ili operator je u interaktivnoj vezi s DCS-om preko zaslona s visokim razlučivanjem. Procesna grafika osigurava pogled na detalje sustava i opreme te se brine o dinamici nadzornih i upravljačkih procesnih podataka koji se pojavljuju na monitoru.

### Mark V upravljački sustav plinske turbine

Mark V upravljački sustav upravlja svim operativnim funkcijama plinske turbine te pomoćnim sustavima plinske turbine [9]. To je digitalni procesor koji se služi programskim softverskim instrukcijama za upravljanje komponentama plinske turbine, a ulazne naredbe prima od operatora iz DCS (centralne komande) u smislu da je DCS koordinator nad cjelokupnim postrojenjem, a Mark V je potpuno autonomni upravljački sustav plinske turbine. Sustav također nadzire ključne elemente sustava plinske turbine te automatski započinje korektivnu akciju radi održavanja pogona turbine, ili da bi izvrstio turbinu i time spriječio štetu na opremi i komponentama opreme.

### ABB Turboturn upravljački sustav - Parna turbina

ABB Turboturn upravljački sustav - za parnu turbinu upravlja svim pogonskim funkcijama parne turbine i generatora. Za razliku od Marka V koji se primjenjuje na plinskoj turbini s njenim generatorom, ovaj sustav ne upravlja pomoćnim sustavima parne turbine. Pomoćnim sustavima upravlja i vodi ih DCS. Zajedničko operatorsko sučelje je postavljeno u centralnoj komandi (CCR).

## 8. POGON I VOĐENJE PARNE TURBINE PREKO DCS-a

Automatski sekvencijalni program je tako složen da omogućuje upuštanje i obustavu cjelokupnog postrojenja uz minimalnu akciju operatera postrojenja. Program osigurava nadzorne signale prema upravljačkim podsustavima kombikogeneracijskog postrojenja sa svrhom koordinacije pri upuštanju i obustavi postrojenja. Upuštanje može biti automatsko, poluautomatsko ili ručno, ali mora biti pouzdano i ponovljivo (10). Automatsko upuštanje i obustava postrojenja se upravljaju pomoću Glavne Sekvence za koordinaciju postrojenja i 14 podsekvenci kako sljedi prema tablici 1.

MASTER - Glavna sekvenca koordinacije postrojenja radi samo kao nadzorni program za vrijeme starta (upuštanja) i obustave postrojenja. Budući da Glavna sekvenca ne radi neprekidno, sve međublokade i zaštitne funkcije su implementirane na neprekidno aktivne podgrupe, zatvorene petlje, ili na programske segmente na razini prigona. Svaki od glavnih sustava kao što je to kondenzat ima svoj vlastiti podgrupni upravljački sekvencijalni program pored sistemski specifičnih zatvorenih i otvorenih petlji kontinuiranih upravljačkih funkcija. Ova osobina omogućava da se sa svakim podsustavom radi nezavisno, ako se to želi.

DCS je konfiguriran tako da sprječava ili ograničava djelovanje (operaciju) određenih sekvenci ako odgovarajući uvjeti nisu zadovoljeni ili ako određena oprema u potpunosti ne stoji na raspolaganju. Tako primjerice raspoloživost kon-

denzatora određuje da li jedna ili obje PLINSKA TURBINA/ KOTAO NA ISPUŠNE PLINOVE može startati.

Operatorski predodabir omogućava konfiguraciju Mastera - Glavne sekvence tako da se starta ili obustavlja jedna plinska turbina s kotlom ili obje plinske turbine s kotlovima. On isto tako omogućava upuštanje/obustavu parne turbine ili pogon tako da je samo kondenzator u službi. Po svršetku glavne sekvence, plinske turbine i parna turbina se oslobađaju za upravljanje opterećenjem u zatvorenoj petlji, a ona upravlja izlaznom električnom snagom te oduzimanjima pare bazirajući se na zadanim vrijednostima od strane operatera kombikogeneracijskog postrojenja. Za vrijeme obustave Glavna sekvenca će obustaviti odabrane turbine i glavne podsustave. Neki pomoćni sustavi (kao što su ulje za podmazivanje i rashladna voda) moraju nastaviti s radom u produženom vremenskom razmaku poslije same obustave da bi osigurali hlađenje turbina, a isto tako moraju raditi ponovno prije starta [11]. Pored toga sustavi koji podržavaju ove pomoćne sustave ili sustavi koji podržavaju potencijalne akcije operatera postrojenja unutar prvih 8 sati od obustave, također nastavljaju s radom (primjerice napojna voda i kondenzat).

Vođenje parne turbine u pogonu se obavlja preko logičke sekvence PARNA TURBINA. Sekvenca parne turbine je normalni način vođenja turbine. Budući da parna turbina prolazi kroz različite pogonske modove, sam pogon turbine zahtijeva obavljanje određenih akcija prije upuštanja turbine, za vrijeme sekvence parne turbine te nakon što je sekvenca postigla OM5 (REGULACIJA OPTEREĆENJA). Upravljački sustav Turboturn sadrži svu logiku vezanu uz zaštitu parne turbine, regulaciju brzine vrtnje te uz zatvorene regulacijske petlje direktno povezane sa upuštanjem, obustavom, zaletom, regulacijskim ventilima ulazne i oduzimne pare. DCS sadrži svu logiku parne turbine vezanu uz rad pomoćnih postrojenja parne turbine te uz sekvence upuštanja i obustave. DCS je isporučen u kompletu s pogonskim zaslonskim prikazima te prikazima pogonskih i upravljačkih alarma parne turbine i njenih pomoćnih postrojenja.

Operativni modovi (OM) parnoturbinske sekvence koji se mogu odabrati od strane pogonskog operatera su dani u tablici 2.

Prije starta postrojenja ili starta parne turbine, operator mora odabrati željeni operativni mod turbine. U slučaju propusta odabira operativnog moda može se dogoditi da cijela sekvenca PLINSKA TURBINA ostane visiti . Parnoturbinska sekvenca je tako projektirana da automatski stane na odabranom operativnom modu. To znači da ako je odabran OM2 (Mimovodi parne turbine su u radu), onda će sekvenca tako djelovati da dovede parnu turbinu i pomoćna postrojenja parne turbine do OM2. Kada je jednom OM2 postignut, smatra se da je parnoturbinska sekvenca završena. Da bi se promijenilo u drugi operativni mod, operator mora odabrati novi operativni mod te ponovno inicirati parnoturbinsku sekvencu.

**Tablica 2. Operativni modovi (OM) parnoturbinske sekvence**

| | |
|---|---|
| OM0 | Parna turbina miruje tj. ona je isključena |
| OM1 | Parna turbina je na stroju za okretanje |
| OM2 | Mimovodi parne turbine su u radu |
| OM3 | Program zaleta parne turbine |
| OM4 | Uzbuđivanje i sinkronizacija generatora parne turbine |
| OM5 | Uključena je regulacija opterećenja |

Sekvenca parne turbine je projektirana tako da su potrebne dvije ručne akcije operatera da bi se sekvenca nastavila. Sekvenca parne turbine automatski starta havarijsku uljnu pumpu K3MAV60AP010 da bi se pokazalo da je ova u pogonskom stanju prije nego što će se dozvoliti parnoj turbini da ide na stroj za okretanje. Operator mora potvrditi ovu zaštitnu akciju, a da bi postavio pumpu u automatski rad te nastavio sa slijedom. Druga akcija je prilikom uključivanja turbinskog sigurnosnog sustava kada se parnoturbinski releji izvrštavanja moraju resetirati da bi se nastavilo. Propust da iniciraju ove ručne akcije će dovesti do toga da će parnoturbinska sekvenca propustiti obavljanje sljedećeg koraka, što će uzrokovti da parna turbina prestane s opterećivanjem. Željeni operativni mod parne turbine se mora pažljivo odabrati da bi se spriječio automatski prijelaz parne turbine u mod koji se ne želi. Tako, naprimjer, ako se želi mod OM2, a operator uđe u OM3, sekvenca će automatski dizati brzinu vrtnje parne turbine dok god se ne isključi.

### Regulacijsko-operativni modovi PT (Parne turbine)

Kada sekvenca parne turbine postigne OM5, operator može odabrati jedan od sljedećih regulacijsko-operativnih modova parne turbine:

A. *Regulacija opterećenja*

Ovo je regulacijski mod koji PT sekvenca automatski odabire. Kada je jednom regulacija opterećenja uključena operator će prilagođivati regulator opterećenja upravljačke stanice da bi dobio željenu izlaznu snagu u MW. Treba primijetiti da vođenje pogona parne turbine u ovom modu pozicionira regulacijske ventile parne turbine u fiksni položaj. Promjena tlaka ispred regulacijskih ventila će dovesti do varijacije u MW. Snaga (u MW) se ne regulira na postavnu vrijednost korištenjem zatvorene regulacijske petlje.

B. *Regulacija prvog oduzimanja*

Kad god je potrebno izvoziti industrijsku paru, operator će ručno uključiti regulator prvog oduzimanja. Kada je regulator oduzimanja uključen zadana točka namještanja se postavlja unutar Turboturna. Ukoliko operator treba podesiti tlak na desetbarskom sabirniku (10 bara), može se koristiti DCS za uspostavu nove zadane vrijednosti daljinskim uključivanjem točke namještanja regulatora. Normalni pogonski tlak je 9.0 barg. Pretpostavlja se da će se parna turbina normalno voditi u ovom modu.

C. *Regulacija drugog oduzimanja*

Kada je potrebna para za pogon vrelovodnog zagrijača, operator će ručno uključiti regulator drugog oduzimanja. Kada je regulator oduzimanja uključen zadana točka namještanja se postavlja unutar Turboturna. Ukoliko operator treba podesiti tlak na dvaipolbarskom (2.5 bara) sabirniku, može se koristiti DCS za uspostavu nove zadane vrijednosti daljinskim uključivanjem točke namještanja regulatora. Normalni pogonski tlak je 1.5 barg. Pretpostavlja se da će se parna turbina normalno voditi u ovom modu.

D. *Regulacija ulaznog tlaka*

Kada se parna turbina vodi regulacijom ulaznog tlaka, protutlak na kotlu za ispušne plinove KIP, tj. tlak u VT bubnju kotla će biti reguliran od strane parne turbine [12]. U ovom modu KIP se zaštićuje od naglih smanjenja parnog protoka. Kad je regulator uključen, točke namještanja ili zadane vrijednosti regulacijskih ventila na mimovodu prate postavne vrijednosti ulaznog tlaka tako da su 1.0 bar iznad ulaznog tlaka u turbinu kod vodećeg kotla, a 2.0 bara iznad ulaznog tlaka u turbinu kod zaostajućeg kotla.
Operator postrojenja je taj koji ručno uključuje regulator ulaznog tlaka. Kada je regulator ulaznog tlaka uključen zadana točka namještanja se postavlja unutar Turboturna. Ukoliko operator treba podesiti ulazni tlak, može koristiti DCS za uspostavu nove zadane vrijednosti daljinskim uključivanjem točke namještanja regulatora. Očekuje se da će točka namještanja visokog tlaka biti postavljena tako da održava tlak u VT bubnju kotla na ispušne plinove na normalnom pogonskom tlaku od 93.9 barg. Pretpostavlja se da će se parna turbina raditi u ovom modu kada oduzimanje nije potrebno.

Zbog interakcije različitih turbinskih regulacijskih modova gorespomenuti regulatori ne mogu djelovati istodobno. Unutarnja logika DCS isključuje mogućnost uključivanja regulatora koji ne mogu djelovati istovremeno. Tablica 3. definira pogonske modove regulatora koji mogu djelovati istodobno:

**Ostali ručni odabiri operatora parne turbine**

Pripuštanje NT pare se inicira ručno od strane operatora. Kad je jednom BZV NT pare K3MAA12AA001 otvoren, Turboturn kontrolira točku namještanja za tlak. Ovoj točki namještanja operator ne može pristupiti.

**Vanjski signali za izvrštavanje parne turbine**

Pored unutarnje zaštite parne turbine, parna turbina će izvrstiti na sljedeće vanjske signale izvrštavanja:

a) Izvrštavanje po visoko - visoka razina u bubnju kotla na ispušne plinove,
b) Potisnuto tipkalo za havarijsko izvrštavanje parne turbine,
c) Potisnuto tipkalo za prekid dovoda goriva plinskoj turbini.

## 9. ZAKLJUČNO O UPUŠTANJU I POGONU TURBINE

Kritični dio eksploatacijskog vijeka turbine su upuštanja. Iz perioda upuštanja turbine potječe većina kvarova i pojava niskocikličnog zamora povezanih s brojem startova te načinom pokretanja. Prije upuštanja parne turbine, operator mora odrediti koje startne uvjete / procedure mora slijediti, tj. da li se radi o vrućem, toplom ili hladnom upuštanju.
Iz dijagrama upuštanja vide se promjene pogonskih parametara u zavisnosti od vremena. Glavni čimbenici koji se dugoročno moraju pratiti pri upuštanju i pogonu radi postizanja što veće pouzdanosti, raspoloživosti, održavanja te dugotrajnosti stroja su temperaturna naprezanja i deformacije, vibracije i relativno izduženje. Uzrok temperaturnih naprezanja je nestacionarni pogon tj. ona nastaju pri upuštanju ili obustavi, pri promjeni opterećenja turbine ili pri promjeni parametara pare. Temperaturna naprezanja se pribrajaju naprezanjima uzrokovanih tlakom i centrifugalnom silom. Da bi se produžio životni vijek turbine potrebno je temperaturna naprezanja ograničiti, što se postiže strogim praćenjem gradijenata opterećivanja. Temperature kućišta turbine na najsigurniji način daje uvid u temperaturna naprezanja te su najvažniji kriterij za određivanje postizive brzine odvijanja promjene opterećenja ili brzine vrtnje. Temperature kućišta se mjere na ulaznom kućištu na osam mjesta na osnovi kojih mjerenja se računaju temperaturne razlike. Ukoliko temperaturne diferencije prekoračuju dozvoljene, može doći do trajne deformacije kućišta, pretjeranih naprezanja vijaka, propuštanja pare na razdijelnoj plohi itd.

**Tablica 3. Pogonski modovi regulatora koji mogu djelovati istodobno**

| | Regulator | |
|---|---|---|
| **Regulacijsko-operativni modovi PT (Parne turbine)** | **Regulacija Opterećenja** | **Regulacija ulaznog tlaka** |
| Opterećenje | Uključeno | |
| Oduzimanje 1 | X | X |
| Oduzimanje 2 | X | X |
| Ulazni tlak | | Uključeno |
| X - Dozvoljeno istovremeno djelovanje. Ručno se uključuje prema potrebi. | | |

**Tablica 4. Uvjeti upuštanja parnoturbinskog agregata**

| **Vrsta upuštanja parne turbine** | **Uvjeti za vrstu upuštanja** |
|---|---|
| Vrući start | Temp. unutarnje stijenke ulaznog dijela kućišta 1. stupnja veća od 300°C |
| Topli start | Temp. unutarnje stijenke ulaznog dijela kućišta 1. stupnja veća 150°C, a manja od 300°C |
| Hladni start | Temp. unutarnje stijenke ulaznog dijela kućišta 1. stupnja manja od 150°C |

Prevelike vibracije ukazuju na neispravnu geometriju stroja; pogrješke pri centriranju, loše uravnotežen rotor, iskrivljen rotor, dodirivanje dijelova rotora i statora, lom, ispadanje lopatica.

Prevelika relativna izduženja ili skraćenja rotora u odnosu na stator nastaju pri nagloj promjeni protjecajne količine pare kroz protočni aparat turbine ili u slučaju toplinskih udara. Pri projektiranju turbine takve pojave su uzete u obzir te su dobivene vrijednosti za maksimalno produljenje rotora od 5 mm, a maksimalno skraćenje od 3 mm.

Uz uobičajne kontrole prije starta (napon, instrumentni zrak, voda za hlađenje itd.) prvi koraci pri upuštanju su uljni sustav te stroj za okretanje K3MAK10. Kada se rotor ne okreće on se zbog vlastite težine savije. Progib je veći ukoliko je mirujući rotor vruć. Ta deformacija ne mora biti trajna i može se eliminirati radom stroja za okretanje. Nakon stroja za okretanje se pušta kondenzator otvaranjem zasuna na vodu za hlađenje. Kondenzatne pumpe startaju ako u sakupljaču kondenzata ima dovoljno kondenzata. Proizvodnja pare počinje u KIP-u nakon starta plinskih turbina, pri čemu sve armature za vanjska i unutarnja odvodnjavanja moraju biti otvorene. Startni ejektor se pušta u pogon otvaranjem ventila za radnu paru i ventila za odsisavanje zraka. On odmah počinje stvarati vakuum u radnom prostoru kondenzatora, a ostaje u pogonu samo u prvo vrijeme starta parne turbine, dok se ne postigne vakuum od 80%. Zatim se aktivira cjelokupni sustav brtvene pare, ali se prvo dovodi zaporna para pri čemu se ubrzava proces stvaranja vakuuma.

Pri startu kombi postrojenja kotlovi na ispušne plinove (KIP) proizvode paru, ali parametri pare još nisu postignuti pa se, naravno, ta para ne može pustiti kroz turbinu. Dakle, za vrijeme starta rade mimovodi, a uvjeti za njihov rad su rashladna voda kroz kondenzator, pogon kondenzatnih pumpi uz regulaciju razine u sakupljaču kondenzata te pogon nekog od ejektora uz postignuti vakuum najmanje od 50%.

Regulacijski ventil tlaka za KIP1 u VT mimovodu K1MAN10AA101 (ispred uređaja za uvođenje mimovodne pare u kondenzator) ima zadatak, nakon što je para kroz mimovod uvedena u kondenzator, dizati tlak VT pare, tj. tlak u VT bubnju kotla na ispušne plinove.

Može se reći da u ovom periodu upuštanja regulacijski ventili K1MAN10AA101 za VT i K1MAN20AA101 za NT vode tlakove prema 90.8 bara i 10 bara uz dopuštene gradijente povećanja tlaka u VT i NT bubnju. Slično vrijedi za drugi kotao i njegov mimovod. Kada su tlakovi u VT i NT bubnju kotla 1 izjednačeni s tlakovima VT i NT bubnjeva kotla 2, mogu se otvarati ventili za pripuštanje pare u turbinu.

Za vrijeme automatskog starta parne turbine regulacijski sustav će odrediti gdje držati brzinu vrtnje da bi se kontroliralo naprezanje u parnoj turbini. DCS će razmotriti dozvole starta turbine pa ako one zadovoljavaju, startat će parnu turbinu:

- Slijed odvodnje glavne pare kompletan,
- Protok VT pare dovoljan za prazni hod turbine,
- Para koja se uvodi postigla pregrijanje više od 42°C,
- Zadovoljeni zahtjevi regulacijskog sustava na temperaturu i tlak pare,
- Temperatura pare iznad 350°C,
- Temperatura pare viša od temperature metala parne turbine.

U trenutku kad su ovi uvjeti zadovoljeni upravljački sustav počinje okretati turbinu te primjenjuje gradijent brzine koji se bazira na ograničenju naprezanja parne turbine. Turbina se upućuje postupnim otvaranjem regulacijskih ventila VT razvoda pri čemu para ubrzava okretanje rotora, a stroj za okretanje se automatski otkvači od rotora. Regulacija turbine će držati brzinu vrtnje na predodređenoj vrijednosti u slučaju da indeks naprezanja premašuje zadanu vrijednost. Upravljački sustav također kontrolira gradijent opterećivanja, a isto tako i automatsku odvodnju turbine. Regulacijski ventili VT razvoda K3MAA11AA101, 2, 3, 4 sada preuzimaju zadaću držanja tlaka u VT sustavu, a budući da K3MAA11AA101, 2, 3, 4 i dalje otvaraju, mimovodni regulacijski ventili K1MAN10AA101 i K1MAN20AA101 će zatvarati.

Povećanje brzine vrtnje je postupno do postizanja sinkrone brzine, a traje 60 minuta.Porast brzine vrtnje ima predah na brzini od 875 okretaja u minuti koji traje 10 minuta. U tom predahu posada treba kontrolirati vibracije, relativno istezanje te pokraj same turbine osluškivati da li je došlo do pojave neobičnih šumova. Treba primijetiti da se razina turbinskih vibracija može podignuti za vrijeme ubrzanja, tj. pri prolazu kroz kritične brzine vrtnje, a onda pri završetku prolaza pasti na normalnu razinu. Vršci tih povećanih razina vibracija moraju biti ispod točke za alarm, a nakon prolaza kroz kritične brzine vrtnje ionako će se smanjiti vrlo brzo.

U trenutku kad je zatvoren prekidač generatora, na vrijednost namještanja VT mimovodnog ventila se dodaje 1.0 bar tako da nova vrijednost postaje 32.7 bar pretlaka. Točka namještanja mimovoda je postavljena na novu vrijednost da bi se naprezanja parne turbine održala unutar zadanih granica. Vodeća plinska turbina se opterećuje na bazi brzine naprezanja parne turbine pri čemu se koristi temperatura turbinskog metala za izračun naprezanje. Gradijent opterećivanja je približno 1MW/min, ali će automatika već u prvom trenutku nakon sinkronizacije opteretiti generator s približno 5 MW da bi se osigurali od povratnog toka električke energije. Za vrijeme opterećivanja i dalje se povećavaju temperatura i tlak pare. Nominalni parametri se postižu prije postizanja punog opterećenja. Kad je postignuto opterećenje od 10 MW (15% od nazivne snage) zatvaraju se armature za odvodnjavanje. Regulacija 1. i 2. oduzimanja može se aktivirati pri opterećenju većem od 20 MW.

## LITERATURA


[1] ABB "Parna turbina i kondenzator - priručnik za obuku pogonskog osoblja" ABB-Karlovac 2000.

[2] Z.-ELCIC "Parne turbine" izdanje ABB-a, Karlovac 1995 .

[3] B.-J.-HAMROCK "Fundamentals of fluid film Lubrication" McGraw-Hill, New York 1994.

[4] P.-PROFOS "Die Regelung von Dampfanlagen" Springer-Verlag, Berlin, 1962 .

[5] JOHN-F.-LEE "Theory and design of steam and gas turbines" McGraw - Hill Co. 1954.

[6] A.-SCHWARZENBACH "Handbuchreihe Energie - Dampfturbinen" Verlag TUV Rheinland, Koln 1987.

[7] W.-TRAUPEL "Thermische Turbomaschinen, Band 1" Springer - Verlag, Berlin,1977.

[8] Siemens "DCS Manual - TE-TO Zagreb CCCPP Project" Zagreb, 2000.

[9] D.-JOHNSON,-R.-W.-MILLER,-T.-ASHLEY "SPEEDTRONIC MARK V gas turbine control system" GE - Schenectady, NY, 1995.
[10] K.-W.-MAYERS "Plant Automation and operation TETO-K-SD-CJA-0001 for Combined cycle Power Project Zagreb" Parsons-Power, October 2001.
[11] K.-W.-MAYERS "Plant Master Autosequencer TETO-K-SD-CJD-0001 for Combined cycle Power Project Zagreb" Parsons - Power, November 2001.
[12] K.-C-McKENRICK "HP and LP Steam system - TETO-K-SD-LBA-0001", Parsons - Power, May 2000.

## STEAM TURBINE IN COGENERATION PLANT TE-TO ZAGREB

Condensation turbine without preheating produced by ABB-Karlovac was built into the cogeneration plant TE-TO Zagreb. The station is consists of two MS6001FA gas turbines with generators and two boilers using exhausted gasses, a single gas turbine with one steam conductor. Steam needed for the turbine is produced in the boiler on exhausted gasses using exhausted heat produced in a gas turbine. The plant is going to produce 200 MW of electric energy and steam for network heating and industrial steam. Further in the text there is a technical description of the steam turbine as well as project and technical characteristics. Described are oil in steam-turbine facility, equipment for turbine protection, gasket steam, draining and condensation. Within the description of the steam-turbine facility as many as possible technical data are given. Special attention was given to the control and management system of the entire cogeneration plant DCS, and its relation to MarkoV, i.e. gas turbine control system and to Turboturn, i.e. steam turbine control system. Operation and control of steam turbine using DCS and Turboturn is evaluated through start up, normal operation and non-operation of the steam turbine.

## DIE DAMPFTURBINE In der KOMBI-mit ERZEUGUNG-SANLAGE DES WÄRMEKRAFTWERKES ZAGREB

Die Kondensationsturbine ohne Zwischenüberhitzung, erzeugt von ABB/Karlovac (Kroatien) ist in die Kombi-Miterzeugungsanlage des Wärmekraftwerkes Zagreb eingebaut. Diese Anlage besteht aus zwei Gasturbinen vom Typ MS6001FA mit Generatoren, sowie zwei Abgaskesseln, und der Dampfturbine mit einem Dampfzulauf.
Der Dampf für die Dampfturbine wird im Abgaswärme der Gasturbine nutzenden Kessel erzeugt. Kombi-miterzeugende Anlage wird 200 MW elektrischer Energie und Dampf für das Wärmenetz sowie für die Industrie erzeugen. Weiters werden im Text die technische Beschreibung und die Projekt- und Konstruktions-eigenschaften dieser Dampfturbine gegeben. Ebenfals sind beschrieben worden: das Öl der Dampfturbinenanlage, die Schutzeinrichtung der Turbine, der Labyrintdichtungsdampf, die Entwässerung und die Kondensation. In der Beschreibung der Dampfturbinenanlage war man bestrebt so viele technische Grundangaben zu unterbreiten wie nur möglich. Besondere Aufmerksamkeit war dem DCS d.h. dem Steuerungssatz der ganzen Kombierzeugungsanlage gewidmet, um gegenüber dem DCS die Aufgaben vom Mark V -dem Steuerungssatz der Gasturbine- und danach den Turboturm -den Steuerungssatz der Dampfturbine- zu betonen. Der Betrieb und die Steuerung der Dampfturbine über dem DCS und dem Turboturm sind mittels Anweisungen bezüglich Inbetriebnahme, Normalbetrieb und Einstellen der Dampfturbine bearbeitet worden.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Miroslav Šander, dipl. ing.**
**Elektroprojekt**
**Aleksandera von Humboldta 4**
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2002-08-11.



Unutrašnjost strojarnice HE Ozalj II

## IZMJENE TARIFNOG SUSTAVA

Nakon donošenja Tarifnog sustava za usluge elektroenergetskih djelatnosti koje se obavljaju kao javne usluge (NN 101/2002) donesene su dvije izmjene tarifnog sustava.
Prva izmjena objavljena je u Narodnim novinama broj 121 od 16. listopada 2002. godine. Odnosi se na **priloge 2, 3 i 4.** U prilogu 2 izmjena se odnosi na promjenu naziva tablice. Ostale izmjene se odnose na potrošače s dvotarifnim mjernim uređajima, kod kojih u bijelom i plavom modelu smanjuju tarife kako je u donjoj tablici prikazano.
Druga izmjena objavljena je u Narodnim novinama 129 od 6. studenog 2002. godine, a odnosi se na članak 23. Ove izmjene Tarifnog sustava za usluge elektroenergetskih djelatnosti koje se obavljaju kao javne usluge primjenjuju se od 1. prosinca 2002. godine.
Svi dvotarifni mjerni uređaji potrošača električne energije, upravljani sustavom MTU (mrežno tonfrekventnog upravljanja), bilježe potrošnju električne energije prema novom rasporedu dnevnih tarifa. Kada se koristi zimsko računanje vremena viša tarifa vrijedi od 7 do 21 sat, a niža od 21 do 7 sati. Tako je, u skladu s Odlukom Vlade Republike Hrvatske od od 31. listopada 2002. trajanje niže tarife produženo za dva dodatna sata za kupce s Bijelim tarifnim modelom (dvotarifni). Kada se koristi ljetno računanje vremena, po višim dnevnim tarifnim stavkama obračunava se električna energija isporučena u vremenu od 8 do 22 sata.

SBK

| **Broj priloga** | | **Kako je** | | **Kako treba** | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **Narodne novine 101/200** | | **Narodne novine 121/2002** | |
| **Prilog 2** | | **Tarifni model za niski napon** | | **Tarifni model za srednji napon** | |
| **Prilog 3** | Model | VT | NT | VT | NT |
| - Radna energija (kn/kWh) | Plavi | 0.60 | - | 0,55 | - |
| | Bijeli | 0,64 | 0,32 | 0,58 | 0,30 |
| **Prilog 4** | Plavi | 0,60 | - | 0,55 | - |
| - Radna energija (kn/kWh) | Bijeli | 0,64 | 0,32 | 0,58 | 0,30 |

## POPIS PRAVNIH OSOBA KOJE IMAJU SUGLASNOST ZA OBAVLJANJE STRUČNIH POSLOVA ZAŠTITE OKOLIŠA

U Narodnim novinama broj 124 od 23. listopada 2002. godine objavljen je popis pravnih osoba koje imaju suglanost za obavljanje stručnih poslova zaštite okoliša.
U popisu su dani podaci o vrsti stručnog posla zaštite okoliša koju tvrtka obavlja te vremensko razdoblje za koje je suglasnost izdana. Ukupno je obuhvaćeno 87 tvrtki u Republici Hrvatskoj.
Od vrsta poslova zaštite okoliša obuhvaćeni su poslovi:

- stručne pripreme i izrade studija
- praćenja stanja okoliša (monitoring atmosfere, hidrosfere i litosfere, pedosfere, biosfere)
- praćenja kakvoće zraka i emisija u zrak
- stručnog obrazovanja radi stjecanja zvanja i usavšavanja u provođenju zaštite okoliša.

SBK

## PRAVILNIK O ISPITIVANJU RADNOG OKOLIŠA TE STROJEVA I UREĐAJA S POVEĆANIM OPASNOSTIMA

Pravilnik je objavljen u Narodnim novinama broj 114 od 1. listopada 2002. godine. Stupanjem na snagu ovog Pravilnika prestaje vrijediti Pravilnik o ispitivanju određenih sredstava rada i radne okoline te sadržaju, obliku i načinu izdavanja isprava (NN 52/84).

Ovim Pravilnikom utvrđuju se kadrovski i tehnički uvjeti koje mora ispunjavati poslodavac, odnosno ovlaštena ustanova ili trgovačko društvo za obavljanje ispitivanja u radnom okolišu te ispitivanja strojeva i uređaja s povećanim opasnostima, postupak dobivanja i prestanka ovlaštenja za obavljanje ispitivanja kada ta ispitivanja obavlja sam poslodavac, te sadržaje i oblik isprava i način njihova izdavanja kada ispitivanja obavljaju sam poslodavac ili ovlaštena ustanova odnosno trgovačko društvo.
Pravilnik od 23 članka podijeljen je u poglavlja kako slijedi:

- kadrovski i tehnički uvjeti
- postupak za dobivanje i prestanak ograničenja
- evidencije
- postupak ispitivanja i sadržaj, oblik i način izdavanja isprava o ispitivanju radnog okoliša te strojeva i uređaja s povećanim opasnostima.

Sastavni dio Pravilnika je i Prilog 1 u kojem je dan popis tehničke opreme (za mehaničke i električne veličine, za buku, za osvijetljenost, za ispitivanje i određivanje koncentracija opasnih tvari, za mikroklimu) te obrasci:

- Uvjerenje o ispitivanju radnog okoliša (obrazac RO)
- uvjerenje o ispitivanju stroja ili uređaja s povećanim opasnostima (obrazac SU).

U članku 2. je utvrđeno da ispitivanje u radnom okolišu obuhvaća ispitivanje fizikalnih (temperatura, vlažnost i brzina strujanja zraka, osvijetljenost, buka i vibracije) i kemijskih čimbenika (koncentracija plinova, para i prašina). Ispitivanje strojeva i uređaja obuhvaća ispitivanje strojeva i uređaja s

povećanim opasnostima utvrđenih Pravilnikom o listi strojeva i uređaja s povećanim opasnostima.
U člancima 3. do 8. propisani su kadrovski i tehnički uvjeti koje moraju ovlaštene ustanove ili trgovačka društva ispunjavati da mogu obavljati ispitivanja.
Ovlaštena ustanova ili trgovačko društvo može obavljati ispitivanja iz članka 2. ovoga Pravilnika ako ima ovlaštenje izdano u skladu s odredbama Pravilnika o uvjetima pod kojima pravne osobe mogu obavljati poslove zaštite na radu.
Poslodavac može sam obavljati ispitivanja iz članka 2. ovoga Pravilnika na temelju ovlaštenja, ako ispunjava kadrovske i tehničke uvjete propisane ovim Pravilnikom.
Osim toga tvrtka mora raspolagati i s odgovarajućim uređajima, odnosno tehničkom opremom koja je specificirana u Prilogu 1.
Prema članku 8. Poslodavac mora za sve poslove ispitivanja izraditi poslovnik o postupcima i metodama obavljanja tih ispitivanja u skladu s ISO 10013.
U člancima 9. do 12. propisan je postupak za dobivanje ovlaštenja te uvjeti kada prestaje ovlaštenje.
U članku 9. propisuje se sadržaj zahtjeva za dobivanje ovlaštenja, koji se podnosi nadležnom ministarstvu.
Ministar imenuje komisiju koja na temelju podnesene dokumentacije utvrđuje jesu li ispunjeni uvjeti. O zahtjevu odlučuje ministar i izdaje rješenje (članak 10).
U članku 12. utvrđuje se da u slučaju kada poslodavac više ne ispunjava neki od uvjeta ministar ukida ovlaštenje.
Članak 13. obvezuje ministarstvo da vodi evidenciju izdanih ovlaštenja te utvrđuje koji podaci se unose u evidenciju.

SBK

## PRAVILNIK O POLAGANJU STRUČNOG ISPITA STRUČNJAKA ZAŠTITE NA RADU

Pravilnik je objavljen u Narodnim novinama broj 114 od 1. listopada 2002. godine. Stupanjem na snagu ovog Pravilnika prestaje vrijediti Pravilnik o stručnoj spremi, radnom iskustvu, programima, sadržajima i načinu polaganja stručnog ispita straučnjaka zaštite na radu (NN 127/98).
Sastavni dio Pravilnika je Prilog 1 zajedno s obrascem PS za prijavu za polaganje stručnog ispita stručnjaka zaštite na radu.
Pravilnik se sastoji od 28 članaka, koji su podijeljeni u poglavlja:

- uvjeti za polaganje stručnog ispita i obavljanje poslova zaštite na radu kod poslodavca
- program stručnog ispita
- prijava stručnog ispita
- ispitna komisija
- polaganje stručnog ispita
- troškovi ispita
- evidencija ispita.

Ovim Pravilnikom utvrđuju se uvjeti stručne spreme i radnog iskustva za polaganje stručnog ispita te programi, sadržaji i način polaganja stručnog ispita stručnjaka zaštite na radu. Prema članku 2. stručnjak zaštite na radu je osoba koja ispunjava uvjete odgovarajuće stručne spreme i radnog iskustva i koja položi stručni ispit prema odredbama ovoga Pravilnika. Stručnjak zaštite na radu je i osoba koja je položila stručni ispit za inspektora rada, kao i osoba koja nije položila stručni ispit stručnjaka zaštite na radu, ako na poslovima zaštite na radu radi najmanje dvadeset godina.
Stručnjak zaštite na radu može obavljati poslove zaštite na radu kod poslodavca i u ovlaštenoj ustanovi, odnosno trgovačkom društvu za zaštitu na radu.
Uvjeti stručne spreme i radnog iskustva za polaganje stručnog ispita i obavljanje poslova zaštite na radu u ovlaštenoj ustanovi, odnosno trgovačkom društvu za zaštitu na radu utvrđuju se prema kadrovskim uvjetima koje mora ispunjavati ustanova, odnosno trgovačko društvo za dobivanje ovlaštenja za obavljanje poslova zaštite na radu.
U člancima 3. do 5. utvrđeni su uvjeti za polaganje stručnog ispita i obavljanje poslova zaštite na radu kod Poslodavca.
U članku 3. utvrđeno je koji status unutar tvrtke može imati stručnjak za zaštitu na radu (voditelj službe, samostalni stručnjak, stručnjak u sastavu službe, suradnik u službi).
U člancima 6. do 8. utvrđen je opseg stručnog ispita te u Prilogu 1 program za polaganje. Stručni ispit se sastoji iz općeg i stručnog dijela.
Nadalje, članci 9. i 10. utvrđuju način prijave stručnog ispita, odnosno obvezuju da se prijava piše na obrascu PS. Članak 10. određuje vrijeme obavještavanja kandidata o mjestu i vremenu polaganja ispita.
Člancima 11. do 13. utvrđeno je tko, kako i na koji način imenuje stručnu komisiju. Način polaganja stručnog ispita utvđeno je u člancima 14. do 19. Za položeni opći dio kandidatu se izdaje isprava na obrascu S-1, a za stručni dio na obrascu S-2. Obrasci su sastavni dio ovog Pravilnika.
Troškove ispita (članak 20.) snosi Poslodavac. Članovima komisije pripada novčana naknada (članak 21).
Obveza evidencije ispita utvrđena je u članku 22. Evidenciju vodi Zavod za zaštitu na radu pri Ministarstvu rada i socijalne skrbi.

SBK

## KRITERIJI ZA IZBOR, NABAVU I PREUZIMANJE IMPREGNIRANIH DRVENIH STUPOVA ZA ELEKTROENERGETSKE VODOVE

HEP - Distribucija d.o.o. donijela je još jednu gransku normu - Kriterije za izbor, nabavu i preuzimanje impregniranih drvenih stupova za elektroenergetske vodove (**Kriteriji**). Ovi Kriteriji objavljeni su Biltenu HEP-a broj 110 od 20. studenog 2002. godine. Kao podloga za izradu ovih kriterija korišteni su između ostalog i **Tehnički uvjeti za izradu i impregnaciju drvenih stupova za nadzemne elektroenergetske vodove** (Bilten HEP-a broj 48 od 18. travnja 1995. godine). Kako je od tada došlo do nekih promjena u pogledu uvjeta impregnacije, a pojavila su se i nova sredstva zaštite kao i novi načini praćenja i kontrole procesa impregnacije, Kriteriji su obuhvatili sve te promjene.
Kriteriji sadrže:

- definicije pojmova
- dokaz kvalitete - tehnički uvjeti za impregnaciju stupova
- ugradnja stupova
- reimpregnacija stupova
- način preuzimanja i praćenja kvalitete impregnacije impregniranih stupova.

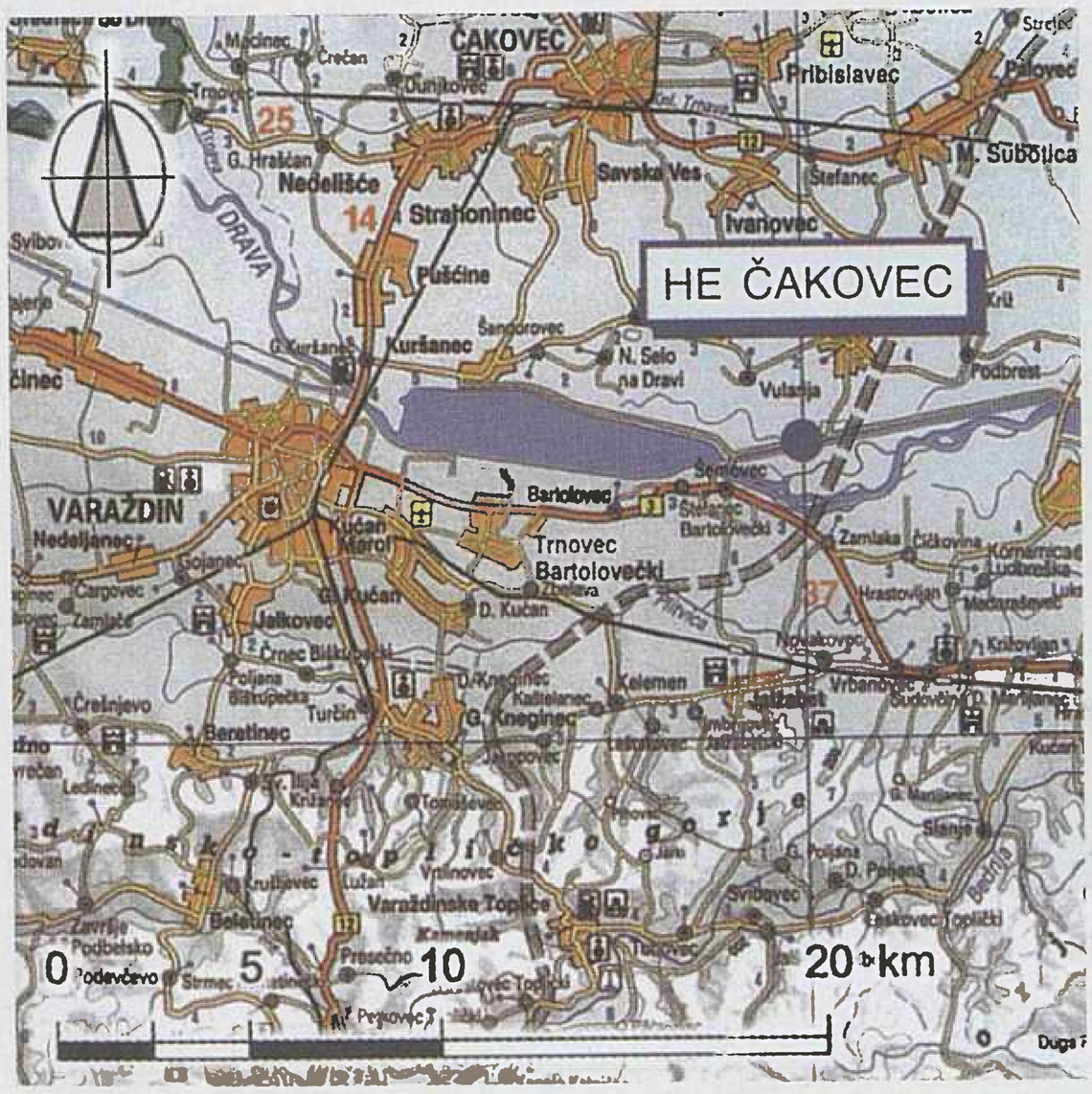
Definiran je pojam, veličina i oblik stupa te deformacije stupa nastale tijekom rasta stabla kao i deformacije nastale djelovanjem vanjskih čimbenika. Osim toga definiran je po-

jam općih uvjeta zaštite stupova, vrste drva za stupove, pojam rušenja i skladištenja, dimenzije stupova. Također su definirani ograničavajući čimbenici kvalitete impregniranih drvenih stupova pri odabiru i primarnoj mehaničkoj obradi te gustoća drva i njezino mjerenje, vlaga i njezino mjerenje kao i dodatna mehanička obrada.
Dokaz kvalitete, odnosno tehnički uvjeti za impregnaciju stupova definirani su pomoću količne upijanja i prodiranja zaštitnog sredstva, uređaja i postupaka za impregnaciju te kemijskih zaštitnih sredstava za impregnaciju drvenih stupova.
Ugradnja stupova definirana je kroz postupke ugradnje te postupke određivanja dotrajalosti ugrađenih stupova, o čemu treba voditi evidencije.
Reimpregnacija stupova obuhvaća pripremu stupova, postupak reimpregnacije, zaštitno sredstvo za reimpregnaciju i kontrolu reimpregnacije.
Također je utvrđen način preuzimanja i praćenja kvalitete impregnacije impregniranih stupova. Stupovi se preuzimaju u pogonu proizvođača stupova s adekvatnom dokumentacijom, a nadzor kvalitete impregniranih stupova obavlja se u skladu s normom ISO 2859-1.

SBK

## HE ČAKOVEC NAKON 20 GODINA RADA

HE Čakovec smještena je u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske, na rijeci Dravi, u blizini gradova Čakovec i Varaždin (slika 1 ). Elektrana je sljedeća stepenica, nakon HE Varaždin, u energetskom korištenju hidropotencijala Drave. To je višenamjensko postrojenje kojim se koriste vodne snage rijeke Drave, poboljšava opskrba vodom i odvodnja te brani zemljište od poplava.
Kao i HE Varaždin, HE Čakovec je protočna derivacijska hidroelektrana riječno-kanalskog tipa u kojoj se koristi pad Drave od Varaždina na toku duljine 17,2 km. Izgradnjom brane i obodnih nasipa stvoren je rezervoar korisnog sadržaja 11,9 km$^3$.
Na slici 2 prikazana je HE Čakovec. Na kraju dovodnog




**Slika 1 - HE Čakovec - Situacija**



**Slika 2 - HE Čakovec**

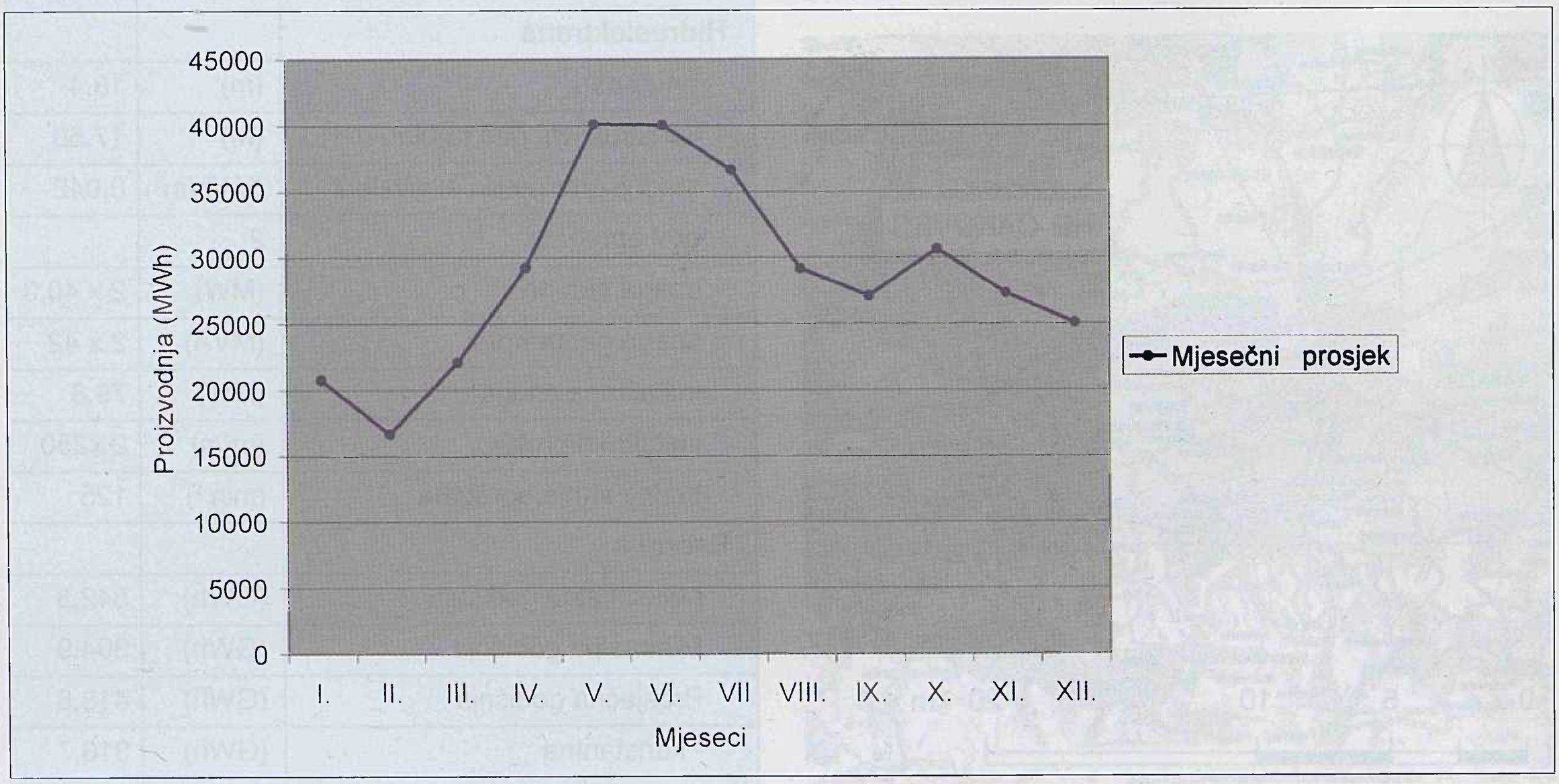
tunela smještena je strojarnica. U njoj su smještena dva cijevna agregata, svaki snage 40,3 MW.U HE Čakovec su prvi put upotrijebljene cijevne turbine s vodoravnom osovinom i generatorima u "kruški" te s mogućnošću vremenski neograničenog rada pri praznom hodu (s elektranom izvan pogona). To rješenje ima velikih prednosti pred "klasičnim"

**Tablica 1 - HE Čakovec - Osnovni podaci**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Akumulacija** | | | |
| Uspor | - maksimalni radni | (m n. m.) | 168,0 |
| | - minimalni radni | (m n. m.) | 167,0 |
| Volumen | - maksimalnog uspora | (hm$^3$) | 51,0 |
| | - minimalnog uspora | (hm$^3$) | 39,1 |
| | - korisni | (hm$^3$) | 11,9 |
| Energetska vrijednost korisnog volumena u odnosu na: | | (GWh) | 500 |
| **Hidroelektrana** | | | |
| bruto-pad | | (m) | 18,4 |
| konstruktivni pad turbine | | (m) | 17,50 |
| srednji energetski ekvivalent | | (kWh/m$^3$) | 0,042 |
| broj agregata | | 2 | |
| snaga turbine | | (MW) | 2 x 40,3 |
| snaga generatora | | (MVA) | 2 x 42 |
| instalirana snaga | | (MW) | 79,8 |
| instalirani protok | | (m$^3$/s) | 2 x250 |
| brzina vrtnje agregata | | (min$^{-1}$) | 125 |
| **Energija** | | | |
| Maksimalna godišnja | | (GWh) | 542,8 |
| Minimalna godišnja | | (GWh) | 304,9 |
| Prosječna godišnja | | (GWh) | 418,6 |
| - konstantna | | (GWh) | 316,7 |
| - varijabilna | | (GWh) | 201,9 |

**Tablica 2 - HE Čakovec - Mjesečna proizvodnja (MWh) od 1982. do 2002.**

| Godina | Mjesečna proizvodnja (MWh) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mjesec | I. | II. | III. | IV. | V. | VI. | VII | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. |
| 1982. | - | - | - | - | - | - | - | 7988 | 10333 | 27160 | 26392 | 28752 |
| 1983. | 26742 | 17032 | 22968 | 24931 | 29971 | 29725 | 8597 | 19189 | 24072 | 20151 | 14270 | 17612 |
| 1984. | 16543 | 14590 | 21406 | 37864 | 45042 | 45865 | 36788 | 26158 | 29028 | 37017 | 19204 | 17799 |
| 1985. | 17561 | 15316 | 25050 | 33527 | 53320 | 50323 | 42805 | 39563 | 24262 | 15244 | 17674 | 21530 |
| 1986. | 19104 | 14549 | 29839 | 44702 | 55205 | 52772 | 31985 | 32844 | 30255 | 19056 | 17822 | 15054 |
| 1987. | 12553 | 20041 | 22236 | 40672 | 47717 | 48384 | 48980 | 42491 | 30486 | 32640 | 28753 | 30398 |
| 1988. | 25883 | 25645 | 25699 | 31324 | 46024 | 41576 | 38225 | 30840 | 35151 | 30772 | 19472 | 16790 |
| 1989. | 13851 | 12365 | 18403 | 30196 | 40608 | 36712 | 47855 | 39074 | 29660 | 22322 | 19711 | 18286 |
| 1990. | 14771 | 13064 | 16016 | 24781 | 30497 | 35940 | 42245 | 23439 | 16963 | 22149 | 39875 | 32518 |
| 1991. | 20440 | 15053 | 30118 | 29420 | 47248 | 47069 | 49587 | 33829 | 20757 | 27253 | 35395 | 23655 |
| 1992. | 17173 | 15577 | 21684 | 32076 | 51326 | 41960 | 31258 | 20199 | 17594 | 38546 | 33640 | 37063 |
| 1993. | 21837 | 15145 | 15793 | 16165 | 23223 | 24682 | 29716 | 24907 | 21654 | 52493 | 43430 | 34873 |
| 1994. | 34279 | 20131 | 23471 | 37223 | 35648 | 36146 | 29104 | 25023 | 34891 | 28868 | 29509 | 21051 |
| 1995. | 22230 | 18359 | 32066 | 25587 | 31883 | 44456 | 37048 | 27661 | 35810 | 21648 | 15901 | 21096 |
| 1996. | 21971 | 15074 | 18895 | 34551 | 40614 | 34430 | 39343 | 29572 | 29194 | 48173 | 28896 | 31073 |
| 1997. | 23223 | 18782 | 18761 | 16003 | 26812 | 39444 | 36799 | 32579 | 25764 | 14298 | 20622 | 28311 |
| 1998. | 18516 | 12632 | 13097 | 17737 | 24242 | 33039 | 41935 | 30400 | 39075 | 47711 | 38448 | 23365 |
| 1999. | 17991 | 16374 | 23246 | 25831 | 47566 | 44131 | 42666 | 40938 | 41084 | 38303 | 27756 | 25353 |
| 2000. | 17725 | 16706 | 17858 | 28069 | 42597 | 33964 | 32629 | 32496 | 19230 | 46513 | 52152 | 43736 |
| 2001. | 41512 | 25198 | 29889 | 35759 | 50252 | 44443 | 37795 | 24178 | 26431 | 22127 | 16769 | 12759 |
| 2002. | 11161 | 11370 | 15409 | 18148 | 31935 | 35346 | 26793 | - | - | - | - | - |
| Godišnji prosjek | 20753 | 16650 | 22095 | 29228 | 40087 | 40020 | 36608 | 29168 | 27085 | 30622 | 27285 | 25054 |




**Slika 3 - HE Čakovec - Prosječna mjesečna proizvodnja od 1982. do 2002.**

proizvodnim jedinicama s uspravnom jedinicom. Prednost se sastoji u tome da su manji troškovi gradnje strojarnice, konstrukcija strojarnice je monolitna, turbine imaju najveći mogući korisni učinak te nije potreban poseban regulator protoka, a postoji i mogućnost odvoda poplavnih voda kada je elektrana izvan pogona. Također se postiže i veća sigurnost i pouzdanost pogona zahvaljujući brzom zatvaraču na usisu.

Na brani je predviđeno ispuštanje biološkog minimuma kroz staro korito, gdje je ugrađen cijevni agregat da bi se energetski iskoristila ispuštena voda. Uz ovu malu hidroelektranu još je jedna smještena na lijevom odvodnom jarku koja koristi procjedne vode s lijeve strane jezera.

Osnovni podaci o HE Čakovec prikazani su u tablici 1. Kao što je iz tablice vidljivo trofazni generatori su snage 42 MVA, faktora snage $\tau = 0,95$. Napon je 6,3 kV. Blok-transformatori su snage 43 MVA i prijenosnog omjera 6,3/115 kV.

Rasklopno postrojenje 110 kV izvedeno je s dvostrukim sabirnicama. Za vlastitu potrošnju izgrađena je i TS 35/0,4 kV napajana iz iz TS Kneginec. Na sabirnice 0,4 kV priključen je i dizel agregat 450 kVA.

Mjesečna proizvodnja (MWh) HE Čakovec prikazana je u tablici 2 te dijagramom na slici 3. Kao što je iz dijagrama na slici 3 vidljivo, najveća mjesečna proizvodnja ostvarena je u svibnju 1986. godine u iznosu od 55205 MWh, dok je najniža ostvarena u veljači 2002. godine u iznosu od 11370 MWh.

Najveća prosječna mjesečna proizvodnja ostvarena je u mjesecu svibnju u iznosu od 40087 MWh, dok je najmanja ostvarena u mjesecu veljači u iznosu od 16650 MWh.

Korištenje kapaciteta u HE Čakovec prikazano je u tablici 3 te dijagramima na slikama 4, 5, 6 i 7. Prikazana je godišnja proizvodnja na generatoru i pragu, godišnji sati rada elektrane, sati stajanja zbog kvara te vrijeme utrošeno na remont i njegu.

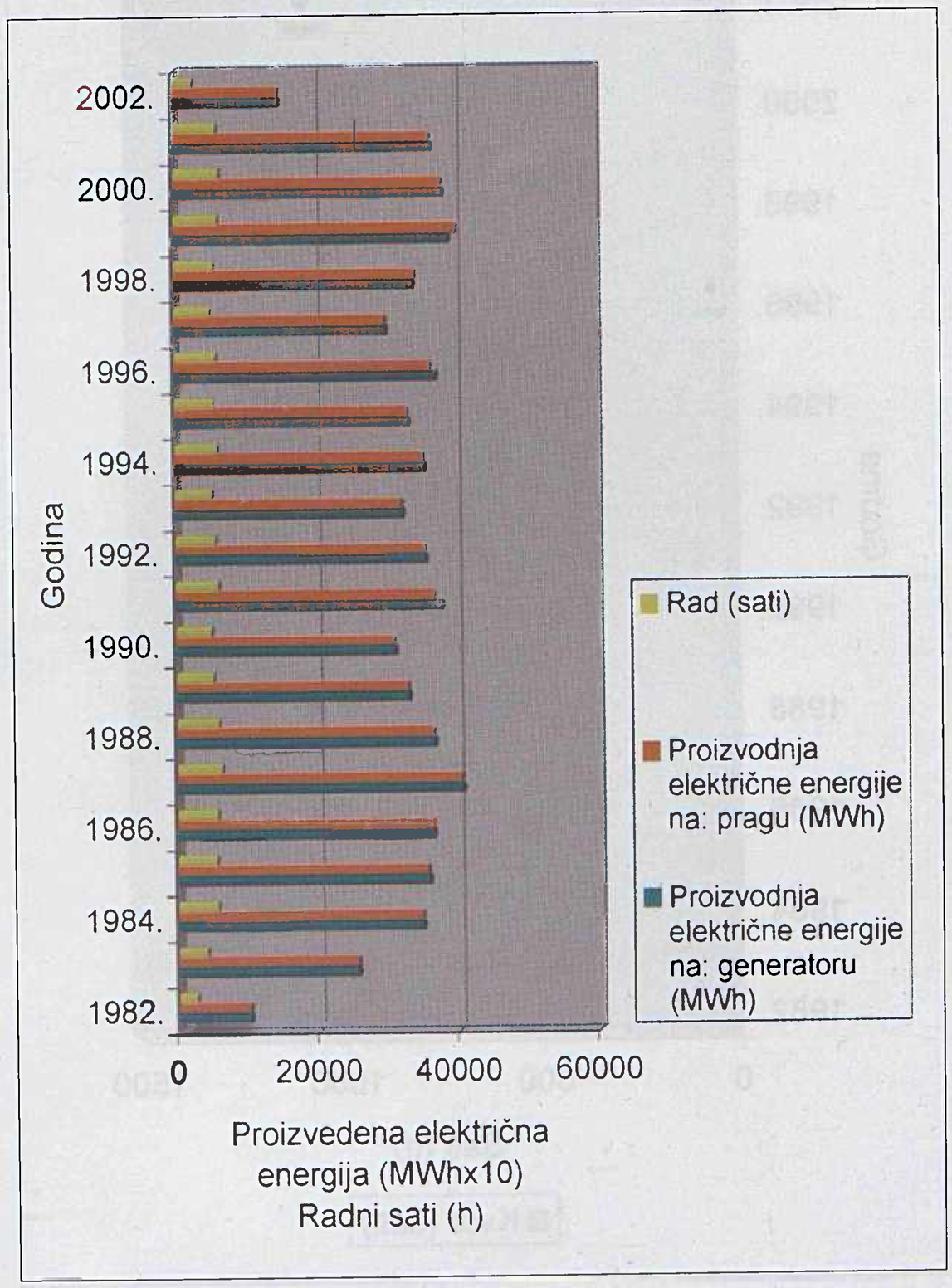
Na slici 4 prikazana je godišnja proizvodnja električne energije na generatoru i na pragu te radni sati elektrane.

Dijagram na slici 5 prikazuje korištenje kapaciteta elektrane, odnosno sate rada, stajanje zbog kvara te vrijeme utrošeno na remonte i njegu.

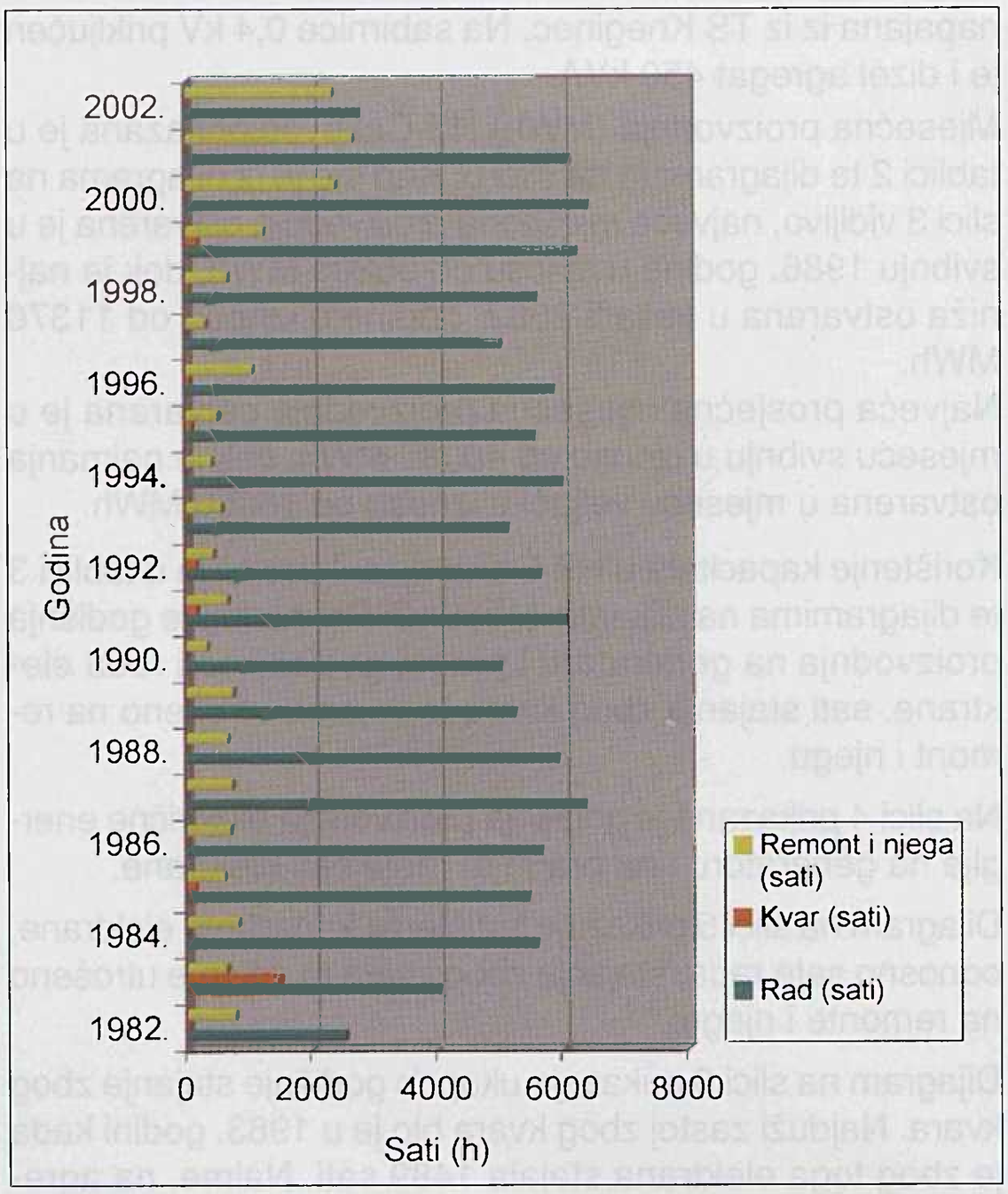
Dijagram na slici 6 prikazuje ukupno godišnje stajanje zbog kvara. Najduži zastoj zbog kvara bio je u 1983. godini kada je zbog toga elektrana stajala 1489 sati. Naime, na agregatu A1 došlo je do proboja statorskog namota u veljači zbog čega je bio izvan pogona veći dio godine. Razlog je u konstrukciji agregata. Cijevni agregati smješteni u skučenom prostoru u podnožju strojarnice nisu se pokazali kao

**Tablica 3 - HE Čakovec - Korištenje kapaciteta od 1982. do 2002.**

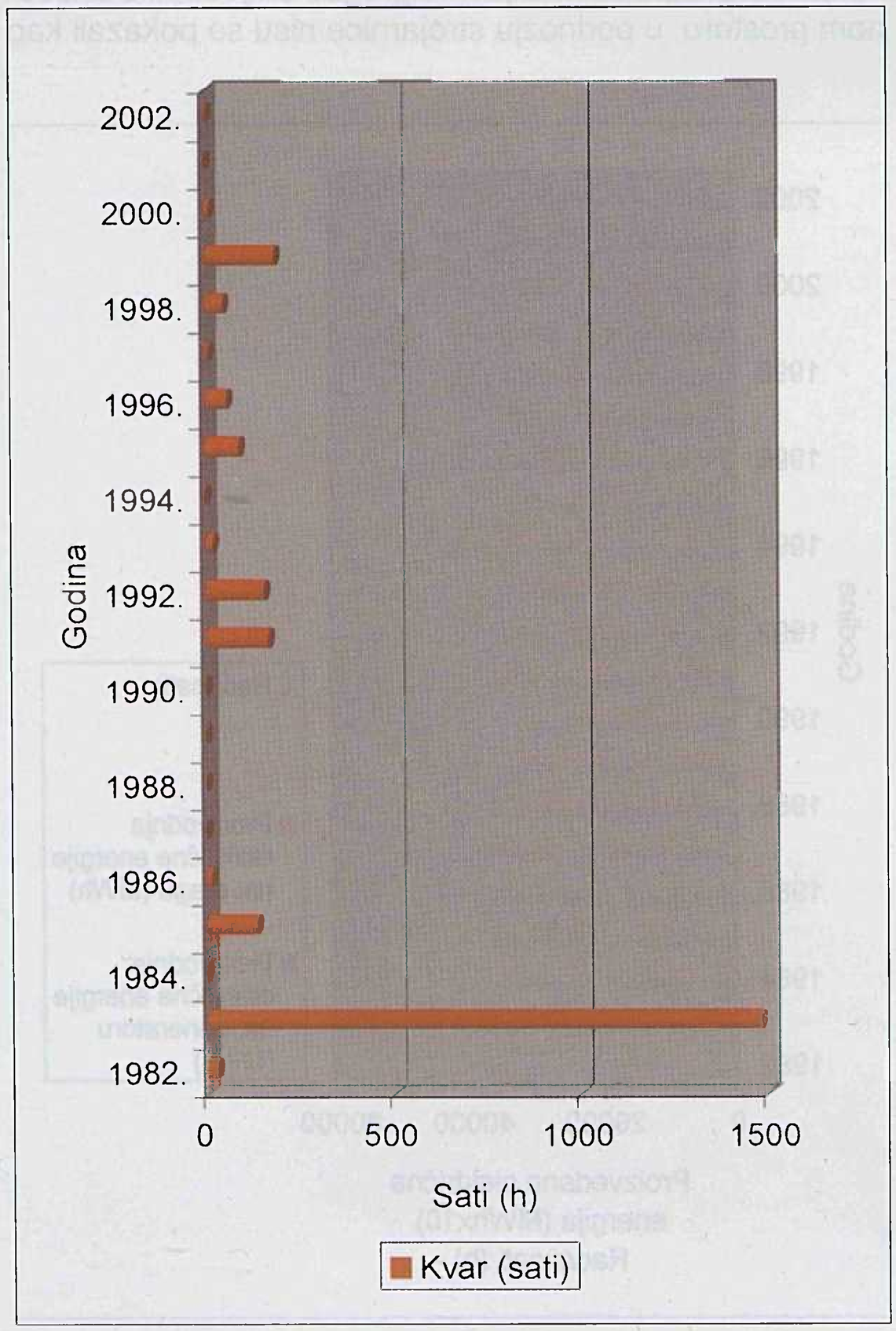
| God. | Proizvodnja električne energije na: | | Rad | Kvar | Remont i njega |
|---|---|---|---|---|---|
| | generatoru | pragu | | | |
| | (MWh) | (MWh) | (sati) | (sati) | (sati) |
| 1982. | 101815 | 100625 | 2512 | 27 | 764 |
| 1983. | 256156 | 255260 | 4012 | 1479 | 629 |
| 1984. | 349329 | 347304 | 5572 | 0 | 818 |
| 1985. | 358813 | 356175 | 5438 | 134 | 600 |
| 1986. | 365216 | 363187 | 5636 | 13 | 697 |
| 1987. | 408019 | 405351 | 6342 | 0 | 727 |
| 1988. | 367585 | 364829 | 5910 | 0 | 655 |
| 1989. | 331913 | 329043 | 5224 | 0 | 738 |
| 1990. | 312258 | 309641 | 4995 | 0 | 329 |
| 1991. | 379824 | 367783 | 6040 | 167 | 656 |
| 1992. | 357096 | 354439 | 5626 | 156 | 435 |
| 1993. | 323918 | 321124 | 5112 | 20 | 560 |
| 1994. | 355344 | 352479 | 5975 | 0 | 408 |
| 1995. | 333745 | 330980 | 5535 | 90 | 517 |
| 1996. | 371786 | 363504 | 5850 | 58 | 1057 |
| 1997. | 301398 | 299251 | 4998 | 8 | 320 |
| 1998. | 340197 | 341884 | 5567 | 48 | 671 |
| 1999. | 391239 | 401295 | 6203 | 186 | 1243 |
| 2000. | 383676 | 380760 | 6389 | 11 | 2384 |
| 2001. | 367112 | 364210 | 6096 | 0 | 2664 |
| 2002. | 150162 | 148680 | 2751 | 3 | 2333 |




**Slika 4 - HE Čakovec - Proizvodnja električne energije od 1982. do 2002.**




**Slika 5 - HE Čakovec - Vremensko korištenje kapaciteta od 1982. do 2002.**




**Slika 6 - HE Čakovec - Dužina trajanja kvara od 1982. do 2002.**

sretno rješenje. Njihovi generatori su se pokazali slabom točkom zbog nedovoljnog učvršćenja polnog kotača rotora na osovinu. Osim toga u lipnju je došlo i do poplave strojarnice. U ostalim godinama bilo je kraćih zastoja zbog kvara.

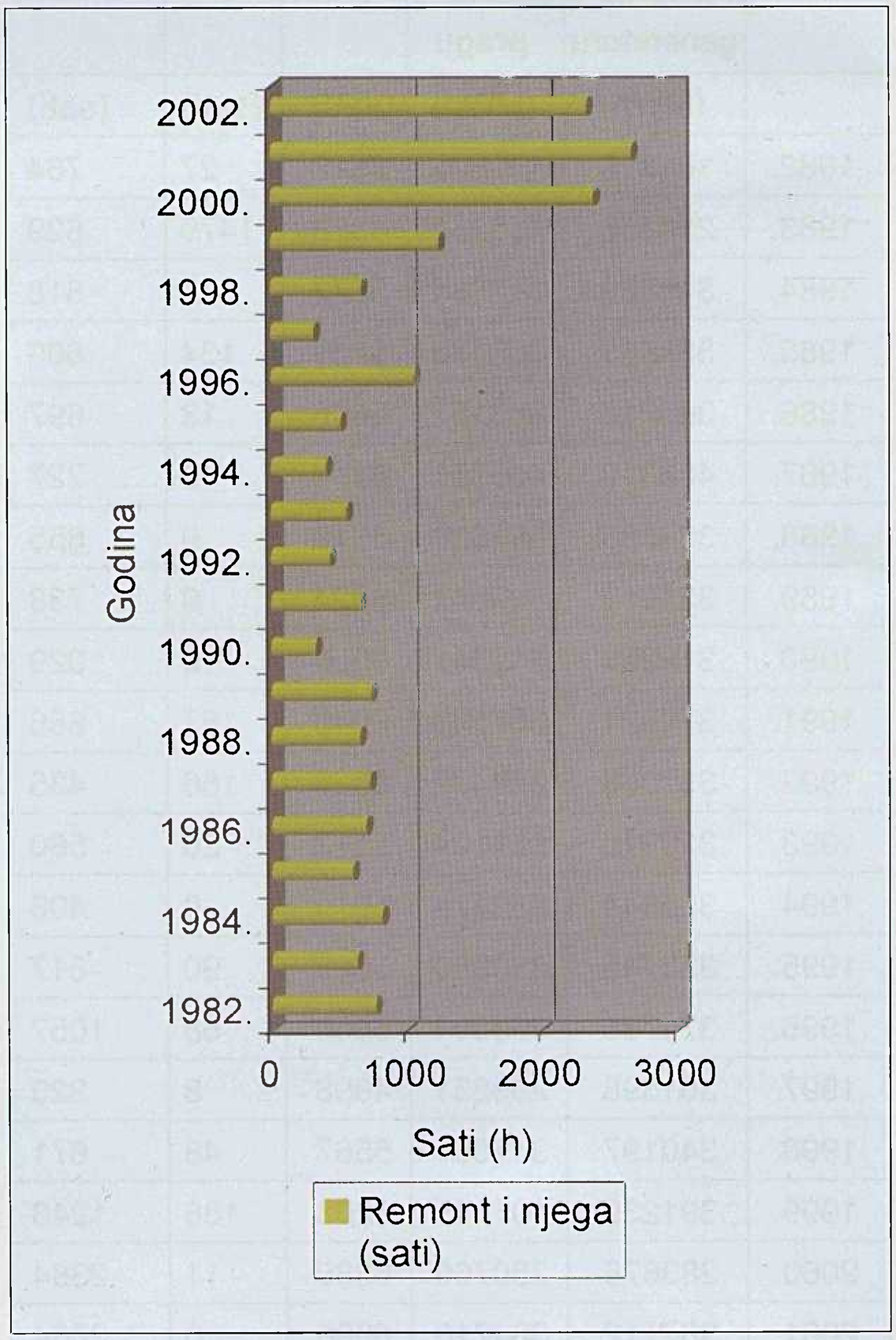
Dijagram na slici 7 prikazuje utrošeno vrijeme na remont i njegu. kao što je vidljivo najviše vremena je utrošeno u 2000., 2001. i 2002. godini.

SBK

## REVITALIZACIJA HE PERUČA

Zadnje desetljeće 20-tog stoljeća bilo je burno za HE Peruča. Oštećena brana obnovljena je tijekom dvije godine. No, za to vrijeme razina vode u akumulacijskom jezeru držana je vrlo nisko, ispod tehničkog minimuma. To je dodatno naprezalo staru i dotrajalu opremu, koja je i prije rata često proizvodila u vrlo nepovoljnim režimima rada. Sve je to uzrokovalo brže starenje elektrane. Nakon obnavljanja brane i pripadajućeg zatvarača zamijenjeno je postojeće dotrajalo rasklopno postrojenje (suvremena oprema, zaštita, istosmjerni razvod, rasvjeta, uzemljenje i gromobranska zaštita, telekomunikacijski sustav).

Ipak to nije dovoljno, jer i nadalje prijeti opasnost havarije opreme i prestanak rada agregata. Posebno su kritični rotori turbina na kojima nastaju pukotine zbog kojih može lako doći do pucanja lopatica i duljih ispada agregata iz pogona. Zato se pristupilo pripremi dokumentacije za nastavak re-




**Slika 7 - HE Čakovec - Utrošeno vrijeme na remont i njegu**

vitalizacije ključnih zahvata. Izrađen je i ispitan model novih turbina, jer relativno velike varijacije razine vode predstavljaju teške uvjete za mirnoću rada turbina. Također je izrađen i idejni projekt. Na temelju rezultata dobivenih na modelu i idejnog projekta izrađena je natječajna dokumentacija za revitalizaciju agregata. Raspisan je javni natječaj i prikupljene ponude, te odabrani izvođači:

- slovenska tvrtka Litostroj E.I. iz Ljubljane: za zamjenu i obnovu turbina, predturbinskih zatvarača i sustava regulacije turbina,
- tvrtka Končar Inženjering za energetiku i transport (Končar KET): za zamjenu i obnovu uzbude generatora, uzbude i regulatora napona.

S izabranim tvrtkama potpisani su krajem studenog 2002. godine ugovori s rokovima dovršetka od 44 mjeseca. Vrijednost radova na zamjeni i obnovi turbina, predturbinskih zatvarača i sustava regulacije turbina iznosi 7,7 milijuna eura, dok je vrijednost radova na zamjeni i obnovi uzbude generatora, uzbude i regulatora napona 37,7 milijuna kuna.

Revitalizacijom HE Peruča:

- otklonit će se potencijalni rizici od nastajanja loma lopatica turbinskog rotora,
- zamijenit će se dotrajala oprema najnovijom,
- automatizirat će se elektrana te uz optimizaciju po-boljšati stupanj djelovanja agregata i ostale opreme,
- povećat će se sigurnost i pouzdanost elektrane,
- povećat će se snaga i proizvodnja električne energije
- poboljšat će se uvjeti rada posade,
- primjenom novih tehničkih rješenja povećat će se zaštita okoliša.

SBK

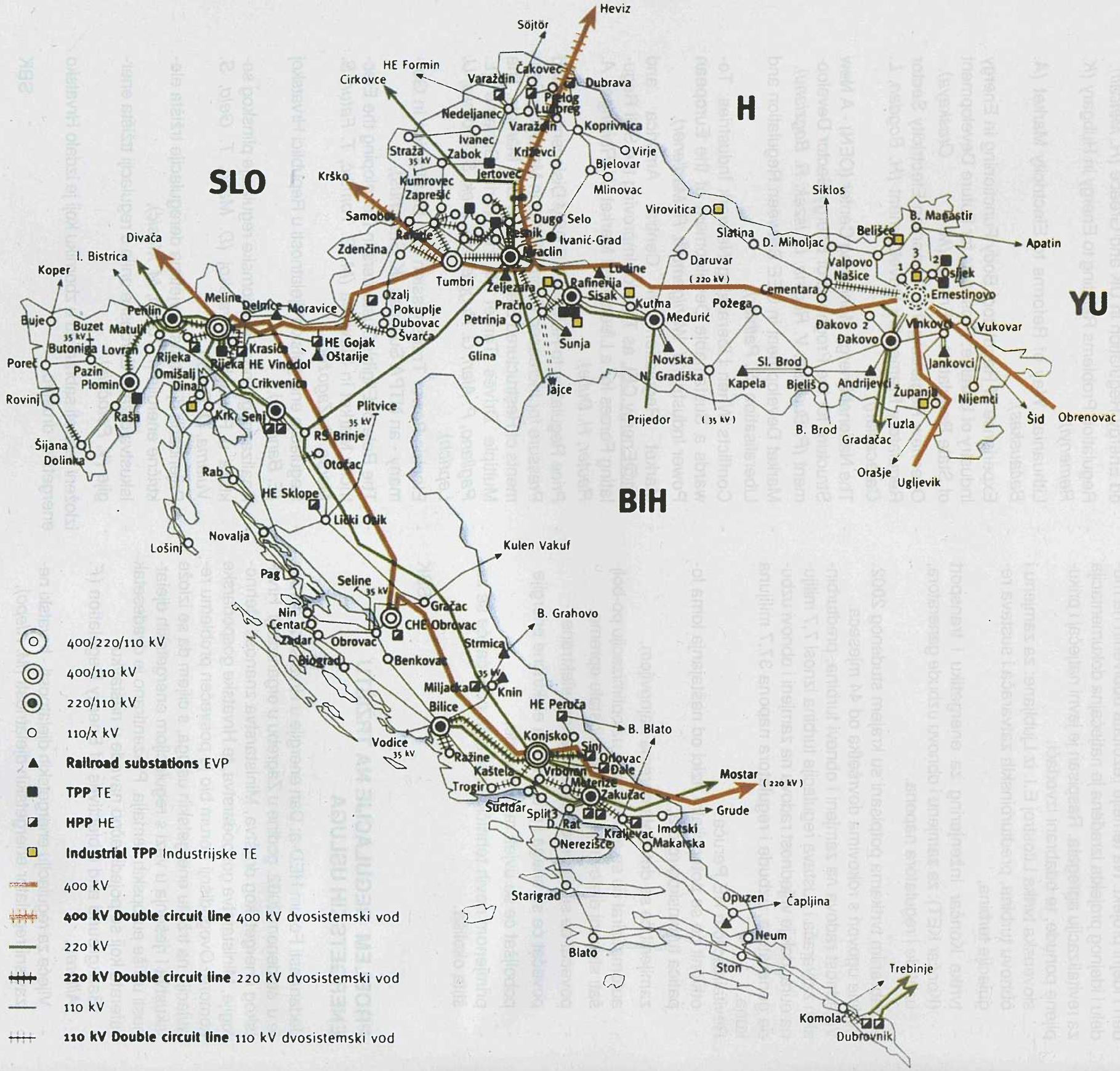
## PROBLEM REGULACIJE NA TRŽIŠTU ENERGETSKIH USLUGA

Jedanaesti Forum HED-a: Dan energije u Hrvatskoj, održan je u studenom 2002. godine u Zagrebu u organizaciji Hrvatskog energetskog društva, Ministarstva znanosti i tehnologije, Ministarstva gospodarstva, te Hrvatske gospodarske komore. Ovogodišnji Forum bio je posvećen problemu regulacije na tržištu energetskih usluga, s ciljem da se izlože iskustva i rješenja u vezi s regulacijom energetskih djelatnosti u više europskih zemalja. Prezentirano je dvadesetak referata koji se pojedinačno navode u nastavku:

- Background and Objectives of Energy Regulation (*F. Ailleret*),
- Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti - hrvatski nezavisni regulator energetskih djelatnosti *(M. Klepo)*,
- The Spanish Energy Regulatory Body: The national Energy Commission (CNE) *(P. M. Merono)*,
- Learning from the Experiencesof Others Development od Energy Regulation in UK and Greece *(R. Metcalf)*,
- Regulation Problems Relating to Energy in Hubgary *(K. Remenyi)*,
- Lithuanian Way of Reforms to Electricity Market *(A. Bačauskas)*,
- Experience of Regulatory Body Functioning in Energy Industry of Ukraine: Prospects for Future Development of State Regulation of Energy *(M. Oruskaya)*,
- Overview Regarding the Romanian Electricity Sector Regulatory Framework Development *(H. Bogdan, L. Caracasian)*,
- The National Energy Monitoring Center (OEN) - A New Structure for the Prognosis of Energy Sector Development *(P. Budulan, V. Rugina, D. Iszak, R. Bogzianu)*,
- Market Development in CEE Between Regulation and Liberalisation *(S. Pathier)*,
- Conflicts When Liberalising Network Industries: Towards a Sustainable Development of the European Power Industry *(N. Wohlgemuth, R. Madlener)*,
- Market Regulation in Central America and Bit@Energy.CEL as Tool for Improving the Self Regulating Forces for a Liberalized Market *(H. Reisinger, A. Reuter, H. Dulle)*,
- Price Regulation to Remove EE DSM Disincentives and Pressure for Increased Energy Sales in Monopoly Segments of Restructured Electricity and Gas Markets: The Multiple Drives Target (MDT) Tariff Scheme *(L. Pagliano, P. Alari, G. Ruggieri, W. Irrek, S. Thomas, U. Leprich)*,
- Electric Power Transmission and Distribution in Germany - an NTPA Success *(K. Staschus)*,
- The Role of EligibleCustomers in Developing the Electricity Market in Slovenia *(M. G. Tomšič, T. Fatur, S. Merše, D. Zagožen)*,
- Regulacija energetskih djelatnosti u Republici Hrvatskoj *(E. Banovac)*,
- Analiza mogućnosti ekonomske regulacije plinskog sektora u Republici Hrvatskoj *(D. Matić, T. Gelo, S. Vulama, D. Pešut)*,
- Prijenosna djelatnost u vjetima deregulacije tržišta električne energije *(I. Toljan, M. Mesić)*,
- Iskustva država Europske unije u regulaciji tržišta energije *(V. Potočnik)*.

Izloženi referati sabrani su u zborniku koji je izdalo Hrvatsko energetsko društvo.

SBK


SLO
H
BIH
YU
Heviz
Sojtor
HE Formin
Cirkovce
Varaždin
Čakovec
Dubrava
Nedeljanec
Koprivnica
Ivanec
Straža
35 kV
Zabok
Križevci
Virje
Bjelovar
Jertovec
Mlinovac
Krško
Kumrovec
Zapršić
Samobor
Dugo Selo
Ivanić-Grad
Zdenčina
Tumbri
Siklos
Virovitica
Slatina
D. Miholjac
Belišće
B. Manastir
Apatin
Daruvar
Valpovo
Našice
Osijek
Ernestinovo
Cementara
Ludine
( 220 kV )
Rafinerija Sisak
Željezara
Pračno
Petrinja
Kutina
Međurić
Požega
Đakovo 2
Đakovo
Vinkovci
Vukovar
Sunja
Glina
Jajce
Novska
N. Gradiška
Sl. Brod
Kapela
Bjeliš
Andrijevci
Županja
Nijemci
Jankovci
Šid
Obrenovac
Prijedor
( 35 kV )
B. Brod
Gradačac
Tuzla
Orašje
Ugljevik
Divača
I. Bistrica
Koper
Buje
Buzet
Matulji
Pehlin
Meline
Delnice
Moravice
Ozalj
Pokuplje
Dubovac
Švarča
35 kV
Butoniga
Lovran
Rijeka
Krasica
HE Gojak
Oštarije
Poreč
Pazin
Plomin
Rijeka
HE Vinodol
Omišalj
Dinara
Crikvenica
Rovinj
Raša
Krk
Senj
Plitvice
35 kV
RS Brinje
Otočac
Šijana
Dolinka
Rab
HE Sklope
Lički Osik
Novalja
Lošinj
Kulen Vakuf
Pag
Seline
35 kV
Gračac
CHE Obrovac
Nin
Centar
Zadar
Obrovac
Biograd
Benkovac
B. Grahovo
Strmica
35 kV
Miljacka
Knin
Bilice
HE Peruča
B. Blato
Vodice
35 kV
Konjsko
Sinj
Omovac
Dale
Ražine
Kaštela
Vrboran
Trogir
Meterize
Zakučac
Mostar
( 220 kV )
Grude
Sućidar
Split 3
D. Rat
Imotski
Makarska
Kraljevac
Nerezišće
Starigrad
Opuzen
Čapljina
Neum
Blato
Ston
Trebinje
Komolac
Dubrovnik
400/220/110 kV
400/110 kV
220/110 kV
110/x kV
Railroad substations EVP
TPP TE
HPP HE
Industrial TPP Industrijske TE
400 kV
400 kV Double circuit line 400 kV dvosistemski vod
220 kV
220 kV Double circuit line 220 kV dvosistemski vod
110 kV
110 kV Double circuit line 110 kV dvosistemski vod

## ŠPANJOLSKA VLADA ODOBRILA DESETOGODIŠNJI ENERGETSKI PLAN

Prema prihvaćenom energetskom planu, predviđen je porast potrošnje električne energije od 3,7 % godišnje.
Planiran je niz termoelektrana, većinom na zemni plin. Prema preporuci sigurnosne komisije, godine 2006., predviđeno je gašenje najstarije španjolske nuklearne elektrane Zonta. Planirano je da u istom razdoblju bude udvostručeno korištenje obnovljivih energetskih izvora.

*EW*, god.101(2002), br. 21/22

Mrk

## S MANJE TOPLINE MOŽE SE PROIZVESTI VIŠE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Otok Island je područje bogato energetskim izvorima. Vodne snage, tj. hidroelektrane dobavljaju 60 % električne energije, a 40 % termoelektrane na geotermalnim izvorima. U godini 2001., na sjevernoj obali otoka u pogon je stavljena geotermalna elektrana na bazi nove tehnologije nazvane "kalina tehnologija". Na temelju takve tehnologije moguće je mnogo bolje iskorištenje topline, što naročito dolazi do izražaja pri korištenju geotermalne energije i svugdje gdje se stvara višak topline.

Ovakva je tehnologija još u početku i traže se iskustva za njenu široku primjenu.

Godine 1999. izgrađena su u SAD-u, na temelju takve tehnologije, tri termoelektrane snage 3,5 do 6 mW koje koriste otpadnu toplinu, a elektrana na Islandu snage 2 MW, prva je takva geotermalna elektrana.

I ostale europske geotermalne izvore, čije korištenje do sada nije bilo ekonomično, ovom novom tehnologijom bit će moguće komercijalno iskoristiti.

*EW*, god.101(2002), br. 21/22

Mrk

## ICOLIM - 2002 MEĐUNARODNA KONFERENCIJA ZA RAD POD NAPONOM

U Berlinu je od 5. do 7. lipnja, održana konferencija Icolim 2002 o radu pod naponom. Konferenciju je organizirala međunarodna udruga Live Working Association. Svrha je te organizacije da se tehnika rada pod naponom dalje unaprjeđuje tehnički i organizacijski, osobito s obzirom na sigurnost i kvalitetu.
Početkom devedesetih godina osnovao je francuski EdF, s drugim europskim elektroprivredama, europsku organizaciju za rad pod naponom svih razina. S vremenom su ušle u suradnju i neke izvaneuropske zemlje, pa je organizacija dobila svjetsko značenje i promijenila ime u Live Working Association, a reprezentativni forum organizacije je konferencija Icolim koja se od godine 1992., kad je održana u Mađarskoj, održava svake dvije godine u drugoj zemlji. Tako je 1994. godine održana u Francuskoj, 1996. u Italiji, 1998. u Španjolskoj i 2000. u Portugalu. Ova u Berlinu već je šesta konferencija ove organizacije, a sljedeća se 2004. planira u Rumunjskoj.
Skupu u Berlinu prisustvovalo je oko 500 stručnjaka iz 33 zemlje. Konferencija se bavila svim aspektima rada pod naponom na svim naponskim razinama. Dan je pregled aktualnog stanja tehnike rada pod naponom, izmijenjena iskustva izvođača radova i proizvođača prikladnih materijala. Diskusija na konferenciji obuhvatila je i edukaciju osoblja koje se bavi ovakvim radovima.

*EW*, god.101(2002), br. 21/22

Mrk

## ODRŽAVANJE TRASE DALEKOVODA KOJI JE POLOŽEN KROZ ŠUMU

U nastojanjima da elektroprivredna postrojenja što manje ugrožavaju i štete prirodi i okolišu, vlasnici električnih dalekovoda, čije trase prolaze kroz šumu, promijenili su način čišćenja raslinja ispod dalekovoda. Uobičajeno je da se čišćenje trase, od vremena do vremena, obavi tako da se s trase odstrani sav biljni pokrivač, do ogoljenja terena. Osim što nagrđuje krajolik takav način čišćenja štetno djeluje na floru i faunu šume, te prirodni okoliš.

Mnogo je povoljnije ako se provodi održavanje trase dalekovoda redovitim čišćenjem raslinja koje ugrožavaju vodiče. Biljni pokrivač ostaje netaknut.

Njemačko elektroprivredno poduzeće RWE, devedesetih je godina pokusno počelo provoditi održavanje trasa dalekovoda prema planu (Biotpmanagement Planing). Plan se pokazao uspješan, a osim toga i održavanje je jeftinije.
Pri tome plan održavanja trase usuglašen je s vlasnicima šume i šumarskim stručnjacima.

*EW*, god.101(2002), br. 21/22

Mrk

## FOTOĆELIJE NA FASADI ŠPORTSKE ŠKOLE

U listopadu, ove 2002. godine, na zgradi športske škole u Frankfurtu (na M.) montirani su i stavljeni u pogon moduli za solarnu elektranu, najmodernije izvođeni, prema tehnologiji tankih slojeva. Moduli su montirani na jugoistočnoj i jugozapadnoj fasadi zgrade visoke 25 m.

Svrha je ove velike "Športske solarne elektrane" montirane na zgradi športske škole, da potakne športašice i športaše da i u svojim područjima promiču obnovljivu energiju. Ovom kampanjom želi se Zemaljski športski savez Hessena angažirati u zaštiti prirode i okoliša.

*EW*, god.101(2002)

Mrk

## SOLARNA ELEKTRANA NA FASADI TVORNIČKE HALE

Mijenja se sumorni izgled tvorničkih zgrada. Zeleno obojeni lim velike tehničke hale tvrtke Thyssen Krupp u Duisburgu (Njemačka) obložen je fotonaponskim ćelijama, najnovije

tankoslojne tehnike, sa silicijskim monokristalima. Ćelije pokrivaju površinu od 1400 $m^2$ i po tome je to najveća fasadna solarna elektrana u Europi. Njena je nazivna instalirana snaga 51,06 kW, a predviđa se da će godišnje davati najmanje 30.000 kWh, jer je njena iskoristivost do 20 %. Ova fotonaponska elektrana ušla je u pogon u listopadu 2002. godine.

*EW*, god.101(2002), br. 24

Mrk

## RWE SCHOTT SOLAR

Poznata njemačka poduzeća RWE - Frankfurt i Schott-Glas-Meinz osnovali su joint-venture poduzeće RWE - Schott Solar GmbH. Poduzeće je vodeće na njemačkom tržištu, a šesto na svjetskom.
Poduzeće će izrađivati različite produkte iz područja solarne tehnike kao i solarne ćelije i module za terestičke svrhe i tankoslojne ćelije na bazi amorfnog silicija.

*EW*, god.101(2002), br. 24

Mrk

## SLOBODNO TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE U ZEMLJAMA EU

Samo 5 od 15 članica EU do sada su slobodno otvorile trgovinu električnom energijom, što je vidljivo iz priložene tablice koja prikazuje stanje iz rujna 202. godine.

| Država | Potrošak veći od | Postotak otvorenosti |
|---|---|---|
| Njemačka | sve | 100 % |
| Finska | sve | 100 % |
| Švedska | sve | 100 % |
| V. Britanija | sve | 100 % |
| Austrija | sve | 100 % |
| Danska | 100 mil.kWh/sva distribucija | 90 % |
| Luksemburg | 20 mil. kWh | 45 % |
| Belgija | 100mil.kWh | 33 % |
| Nizozemska | od 2 MW | 33 % |
| Španjolska | 1 mil. kWh | 42 % |
| Italija | 9 mil. kWh | 41 % |
| Irska | 4 mil. kWh | 30 % |
| Francuska | 16 mil. kWh | 30 % |
| Portugal | 20 mil. kWh | 30 % |
| Grčka | 40 mil. kWh | 30 % |

mil. kWh = milijun kWh

EU je još daleko od potpuno slobodnog tržišta električnom energijom. 80 milijuna potrošača u EU lišeno je pogodnosti slobodnog tržišta.

*EW*, god.101(2002), br. 24

Mrk

## VGB - KONGRES O SIGURNOJ PROIZVODNJI I DOBAVI ELEKTRIČNE ENERGIJE

U Berlinu je održan VGB - kongres, kojemu je prisustvovalo oko 1000 energetskih stručnjaka iz 25 zemalja. Glavna je tema kongresa bila, sigura opskrba električnom energijom unutar zemalja EU u budućnosti, tj. iza 2004. godine. Konstatirano je da samo u Njemačkoj treba u vremenskom razdoblju od 2010. do 2020. godine obnoviti, odnosno nadomjestiti oko 40.000 MW instalirane snage elektrana, dakle oko 40 % danas instalirane snage. U današnjim zemljama koje čine EU treba nadomjestiti oko 200.000 MW instalirane snage. To traži investicije od 30 milijardi eura. Prema današnjim cijenama električne energije to se ne može pokriti. Ide se za tim da na bazi današnjih energenata, daljnjim razvojem tehnike elektrana, proizvodnja električne energije bude sigurna i ekonomična, bez ikakvih subvencija. Pri tome treba uzeti u obzir i obnovljivu energiju prema njenim potencijalima.

*EW*, god.101(2002), br. 24

Mrk

## KOMPENZACIJA I SMANJENJE EMISIJE $CO_2$

U okviru protokola iz Kyota, Njemačka se dobrovoljno obvezala da će u razdoblju od 2008. do 2012. godine smanjti emisije stakleničkih plinova, u usporedbi s godinom 1990., najmanje za 21 %. U nizu potrebnih mjera, za takvo smanjenje, predlaže se i kompenzacija (poboljšanje cos φ) električne energije. Budući da se kompenzacijom smanjuje tijek jalove energije, povisuje napon kod potrošača, a kao rezultat toga je smanjenje gubitaka električne energije. Time je ušteđena proizvodnja one električne enrgije kojom bi se pokrivalo gubitke. Ukoliko se ta energija ne proizvodi, nema niti emisije štetnih plinova.
Kompenzacija predstavlja u Njemačkoj važnu ulogu u smanjenju emisije štetnih plinova, pa bi bila poželjna i državna potpora u njenoj provedbi. Važni su informacijski razgovori između elektroprivreda, proizvođača kondenzatora, planera i potrošača, da se utvrdi u kojo je mjeri kompenzacija razumna i ekonomična.

*EW*, god.101(2002), br. 24

Mrk

## SKUP O GORIVIM ĆELIJAMA

U Luzernu (Švicarska) održan je u srpnju 2002. godine skup pod imenom "Fuel Cell 2002" kojemu je prisustvovalo oko 600 stručnjaka iz 37 zemalja. Na skupu je prikazano posljednje stanje tehnike gorivih ćelija, a diskutiran je daljnji razvoj i prikazana najnovija dostignuća u ovoj tehnici.
Prisutni su mogli birati dva paralelna tijeka diskusija. Praktično stanje tehnike gorivih ćelija i njena primjena obrađivana je na skupu pod nazivom "Tje Fuel Cell World" ili na skupu "5-th European SOFC - FORUM", gdje se govorilo o budućnosti gorivih ćelija tipa "Fertoksid". Ćelije takvog tipa u pogonu su direktno sa zemnim plinom i ne trebaju plin vodik. Skup je u diskusiji obuhvatio i razvoj drugih tipova gorivih ćelija, a osobito se pozabavio budućnošću vodika, kao energenta koji svojom uporabom uopće ne zagađuje okoliš. On je vrlo povoljan tehnički i ekološki. Dok se za prvu gru-

pu može reći da je praktički obrađivala gorive ćelije, druga je grupa bila više teorijska, ali je pobudila znatan interes, jer je imala preko 170 priloga.

*EW*, god.101(2002), br. 24

Mrk

## GORIVE ĆELIJE U VOZILIMA DAIMLER-CRYSLER

Osam godina nakon koncepta plana NECAR (New Electric Car), izradila je tvrtka Daimler - Crysler prvo vozilo s gorivim ćelijama, koje je napustilo svoj razvojni tijek i spremno je za praktički test. 30 gradskih autobusa, na pogon gorivim ćelijama, bit će praktički testirano u gradovima SAD-a, Europe, Japana i Singapura od godine 2003. Gorive će ćelije ugraditi i u 60 vozila tipa Mercedes - Benz, klasa A F-Cell i testiratiu praktičnoj vožnji u 10 europskih gradova.

Od prvih prikazanih prototipova, izgrađenih prema planu NECAR iz 1994. godine, učinjen je veliki razvojni napredak i u pogledu samih gorivih ćelija i u pogledu vozila, njihove težine i korisnog prostora. Daljnja se poboljšanja očekuju na temelju iskustava iz praktičnog testiranja u prometu.

*EW*, god.101(2002), br. 23

Mrk

## STRUJA IZ KUHINJSKOG OTPADA

Znanstvenici iz V. Britanije žele dobiti električnu energiju iz bakterijskih baterija na osnovi kompostiranog kuhinjskog otpada. Cijena im je vrlo pristupačna i iznosi 20 eura. I dosada su bile poznate slične baterije, ali su davale malo električne energije i bile su vrlo skupe.

Nove baterije, spojene u seriju s 50 g šećera davale su toliko struje da je žarulja od 40 W gorjela 8 sati.

Do sada je mikrobna goriva ćelija (MFC) samo radila sa šećerom,a znanstvenici sa sveučilišta Bristol u zapadnoj Engleskoj žele učiniti kemijski koktel s kuhinjskim otpadom. Nova bakterijska baterija proizvodi oko 8 puta više energije nego baterija mFC. Znanstvenici se nadaju da će optimizacijom još poboljšati rad baterije i povećati njno djelovanje upotrebljavajući za njen pogon kuhinjski otpad.

*EW*, god.101(2002), br. 23

Mrk

## NJEMAČKA ELEKTROPRIVREDA POVEĆAVA KORISNOST SVOJIH TERMOELEKTRANA

Prema podacima njemačke elektroprivrede (VDEW) efikasnost njemačkih termoelektrana stalno se povećava. Danas im je prosječan stupanj djelovanja 36 %. Elektrane na fosilna goriva trebaju za proizvodnju 1 kWh upola manje goriva nego što su trebale prije 50 godina. Znatno iznad navedenog prosjeka imaju moderne termoelektrane. Termoelektrane na smeđi ugljen u mnogim pokrajinama rade s korisnosti od 43%. U plinsko-parnim elektranama korisnost je moguća do nekih 60 %.

*EW*, god.101(2002), br. 23

Mrk

## RAZVIJENA MIKROTURBINA

U okviru Eu projekta za optimizaciju proizvodnje električne energije iz mikroturbina, razvila je tvrtka HEW - Contact mikroturbinu toplinske snage 167 kW i električne 100 kW. Prva je jedinica upravo ušla u pogon i priključena na električnu mrežu 400 V.
Uz pomoć EU, daljnjih će 18 jedinica biti raspoređeno i testirano u tijeku 32 mjeseca u sjevernoj Europi.
Cijena postrojenja iznosi 80.000 eura.

*EW,* god.101(2002), br. 23

Mrk

## EMISIJA UGLJIČNOG DIOKSIDA U SVIJETU

Protokl iz Kyota još nije stupio na snagu, jer ga nije ratificirao dovoljan broj država. U rujnu 2002. godine obećale su Rusija i Kanada da će ratificirati protokol iz Kyota koji bi tada mogao stupiti na snagu. SAD su još uvijek suzdržane, premda najviše puštaju u atmosferu stakleničkih plinova. U priloženoj tablici naznačeno je koliko u milijunima tona $CO_2$ ispuštaju u atmosferu neke od država (podaci za 2001. godinu) i koliki je postotak prema usporednoj 1990. godini.

| Zemlja | $10^6$ t | prema 1990. (%) |
|---|---|---|
| SAD | 5560 | +15 |
| Kina | 3110 | +36 |
| Rusija | 1490 | -29 |
| Japan | 1150 | +13 |
| Indija | 940 | +67 |
| Njemačka | 850 | -14 |
| V. Britanija | 530 | -5 |
| Kanada | 510 | +19 |
| J. Koreja | 440 | +91 |
| Italija | 430 | +6 |
| Francuska | 370 | +2 |
| Meksiko | 360 | +22 |
| Australija | 340 | +32 |
| Poljska | 290 | -15 |
| Španjolska | 280 | +39 |

Na koncu može se reći da je emisija ugljičnog dioksida u svijetu porasla za 14 % prema usporednoj 1990. godini.

*EW,* god.101(2002), br. 23

Mrk

## VODIK KAO GORIVO ZA VOZILA

U jesen 2002. godine održana je izložba i stručni skup u Hamburgu pod imenom Expo - GmbH. Priredba je bila posvećena proizvodnji i uporabi plina vodika u plinskim motornim i gorivim ćelijama. Obuhvaćen je i problem infrastrukture, tj. mogućnost da se vozila mogu opskrbljivati vodikom

na posebnim stanicama, slično kao benzinom. Izlagalo je 118 tvrtki iz Europe, Amerike i Japana. Jedna od tvrtki organizirala je u zračnoj luci München vožnju autobusa s motorima na plin vodik, kao demonstraciju uspješnosti takvih vozila. Uskoro se u Berlinu predviđa uz benzinske opskrbne stanice izgraditi i plinske koje bi davale vodik kao pogonsko gorivo. Odgovarajuća vozila predstavili su BMW i Ford.
Mnoge su tvrtke na svojim štandovima demonstrirale dobivanje vodika iz obnovljivih energenata.
Amerikanci su već dogovorili sličan skup i izložbu koja će se održati u ožujku 2003. godine u Washingtonu.

*EW*, god,.101(2002), br. 25

Mrk

## ZAŠTITA KLIME UNAPREĐUJE GOSPODARSTVO

U Njemačkoj je zbog korištenja obnovljivih izvora energije smanjena emisija $CO_2$ za 44 milijuna tona u 2001. godini. 68 % ovog smanjenja provedeno je u proizvodnji električne enrgije, 30 % u proizvodnji topline, a 2 % kod motornih goriva. Najveće smanjenje u proizvodnji električne energije dolazi zbog rada vjetroelektrana. Ovim smanjenjem emisije štetnih plinova, pogon i gradnja vjetroelektrana povećava broj radnih mjesta. 130000 ljudi uposleno je u tom sektoru. Dakle, u ovom slučaju zaštita klime unaprjeđuje gospodarstvo.

*EW*, god.101(2002), br. 25

Mrk

## ENERGIJA IZ BIOMASE

U posljednje je vrijeme u Njemačkoj poraslo zanimanje za dobivanje energije iz biomase, prvenstveno iz drveta. Prije nekoliko godina ovim su se problemima bavili samo znanstvenici i inženjeri, ali danas se govori i o praktičnoj primjeni, osobito u drvnoj industriji i šumarstvu, gdje ima dovoljno drvnih otpadaka, koje treba ukloniti.
Nakon prihvaćanja zakona, kojim se imenuje koji se materijali ubrajaju u biomasu i na koji se način od njih dobiva električna energija, moguće je dobiti naknadu do 0,1 eura po proizvedenom kWh, kao za obnovljivu energiju. Time je postalo atraktivno dobivanje električne energije i topline iz biomase.
Kod planiranja postrojenja svakako treba voditi računa o količini biomase, eventualnim transportnim troškovima i mogućnosti da se preuzima i iskoristi dobivena toplina uz električnu energiju.
Razvijen je pogodan način korištenja biomase (drva) tako da se ona pretvori u plin i u tom obliku koristi. Naročito bi bila korisna primjena u elektranama - toplanama, jer se ovakva tehnologija može uspješno primijeniti i u malim postrojenjima.
Na osnovi iskustava sa slabo kaloričnim plinovima, tvrtka GAS razvila je elektranu - toplanu gasifikacijom biomase i testirala je na Fraunhofernovu Institutu.
Planira se izgardnja elektrane - toplane električne snage 1,5 MW na bazi uplinjavanja biomase. To bi bio pilot projekt za daljnju razradu ovog sustava.

*EW*, god.101(2002), br. 25

Mrk

## UŠTEDA ENERGIJE U GRAĐEVINARSTVU

Energetska odredba koja je u Njemačkoj stupila na snagu 1.2. 2002. godine ima za cilj da, što je više moguće, poveća uštedu energije u novogradnjama. U toj odredbi novo je to da se, uz potrebne građevinske mjere u području energetike, prvi put obuhvaća i ostala energetska tehnika u zgradi. Prvi će put biti uzeta u obzir energija potrebna za pripremu tople vode, uređaj za grijanje, ventilatori i svi energenti koji se koriste u kućanstvu. Sve se ove mjere moraju optimirati da se povećanje investicija što povoljnije iskoristi.

*EW*, god.101(2002), br. 25

Mrk

## KORIŠTENJE TOPLINE IZ ZEMLJE

U unutrašnjosti (naše) Zemlje krije se velika termalna energija. Ispod europskog kopna, na dubini od 40 km, temperatura se kreće oko 1000°C. Energija podzemlja praktički je neiscrpna i predstavlja velike energetske rezerve.
Na toj osnovi organiziran je godine 1987. Znanstveni program za postupak nazvan "Hot - Dry - Rock" kojim se želi ispitati mogućnost iskorištenja topline pod površinom Zemlje. Program se već ostvaruje u Francuskoj (Elsas), u mjestu Soultz-sons-Forets, u okviru europskog zajedništva.
Mjesto istraživanja uzeto je geološki kao reprezentativno. Slična geološka građa prostire se u Francuskoj na površini od nekih 30000 km². Na dubini od 4500 do 5500 metara može se desetljećima crpsti energija, koja po prilici odgovara energiji 10 nuklearnih elektrana.
U ispitivanjima u Francuskoj predviđa se uštrcavanje vode pod visokim tlakom u kamenu ugrijanu dubinu. Voda bi cirkulirala u pukotinama i rupama, ugrijala se od vrućeg kamenja i ugrijana opet izlazila na površinu.
Na temelju iskustava na ovim ispitivanjima u Francuskoj planira se izgradnja pilot projekta. Da se to omogući osnovana je europska interesna grupa GIRE (Exploatation Minière de la Chaleur) čiji su članovi velike europske elektroprivrede, kao npr. EdF.
Pilotsko bi postrojenje imalo snagu 5 do 6 MW. Radovi na projektu započeli su godine 2001. uz pomoć Europske komisije. Na radovima projekta sudjeluju znanstvenici i stručnjaci mnogih europskih država i država izvan Europe.
Pod pretpostavkom da će pokusi u Francuskoj i navedeni pilot projekt biti uspješni, planira se izgradnja industrijskog postrojenja, električne snage 25 MW. Izbušilo bi se 9 rupa. Dvije bi služile za ubrizgavanje vode, a 6 za izlazak vruće vode.
Budu li sva navedena ispitivanja i pilot projekt uspješni, budući industrijski razvoj ovisit će o proizvodnji, s obzirom na slobodno natjecanje u opskrbi električnom energijom. Mnogo još ima nepoznanica u geotermalnom iskorištenju energije. Za industrijsku su proizvodnju od velike važnosti troškovi postrojenja. Ako bi se postrojenja gradila u serijskim jedinicama uz poreznu potporu i standardizaciju, to bi bitno utjecalo na sniženje cijene postrojenja. Svakako treba s time računati da će se niži nivo cijena ustaliti tek nakon nekog vremena. Prema tome je nužno da Francuska, slično kao i Njemačka, propiše odgovarajuću poreznu politiku kojom bi simulirala ovakvo dobivanje električne energije, koje ne šteti okolišu i ne ostavlja štetne tragove.

*EW*, god.101(2002), br. 25

Mrk

## STALNO POVEĆANJE KORIŠTENJA SOLARNE ENERGIJE

U bliskoj budućnosti europska industrija solarne energije očekuje veliki porast narudžbi. Danas u Europi Njemačka prednjači i u proizvodnji i u montaži sunčevih kolektora i fotonaponskih postrojenja. Mnogo se polaže na vjerojatnost velikog izvoza u tom sektoru. Naročito su u tom pogledu zanimljive zemlje južne Europe, Francuska, Španjolska i Italija.

Samo u Europi tijekom godine 2001. ugrađeno je više od 200000 uređaja za iskorištenje sunčeve energije.

Prema ocjeni, samo tijekom godine 2001. ugrađeno je oko 30000 $m^2$ novih termičkih kolektora, dok je u Njemačkoj taj broj oko 900000 $m^2$.

Kod broja novih francuskih kolektora treba uzeti u obzir da je tek 1/3 ugrađena u (europskoj) Francuskoj, dok je ostalo izvezeno u prekomorje. Godine 1999. osnovan je u Francuskoj "Plan Sleil" kao državni poticajni plan za korištenje sunčeve topline za pripremu tople vode.

Plan je koordiniran s državnom energetskom agenturom "Ademe". U godini 2000. kampanja je provedena u 5 francuskih pokrajina, a godine 2001. još u 4. U sljedećoj se godini planira proširiti kampanju i na grijanje prostorija.

U Španjolskoj postoji od godine 1999. nacionalni energetski plan, prema kojemu do 2010. godine treba u sveukupnoj potrošnji biti 12,5 % obnovljive energije. Važna su dva španjolska energetska plana i to: ušteda energije "Plan de Ahhoro y Eficiencia Energetica" i plan poticanja obnovljive energije "Plan de Frmento para Energias Renewables". Za instalaciju solarnih termičkih uređaja i fotovoltaiku predviđena je u godini 2002. svota od 11 milijuna eura. Vrlo su velike razlike u korištenju solarne energije od područja do područja. Svakako vodi Andaluzija, gdje je više od jedne četvrtine svih solarnih uređaja u Španjolskoj.

Fotonaponske instalacije čak su nadmašile u godini 2000. planom predviđeni broj. Njihova gradnja napreduje naročito na otocima. U Španjolskoj je bilo instalirano, po godinama, broj fotonaponskih uređaja, vezanih za javnu električnu mrežu:

1999. 9,5 MW

2000. 12,1 MW

2001. 15,6 MW.

Predviđa se da će fotonaponske instalacije u Italiji naglo narasti, premda je od godine 1988. do 2000. stalno opadao broj novoizgrađenih fotonaponskih instalacija. No, godine 2000. dogodio se znatan skok i trend se sada povećava iz godine u godinu.

Koncem devedesetih godina predložen je novi poticajni energetski plan, ali zbog administrativnih razloga nije stupio na snagu.

Dugo očekivani program o fotonaponskim uređajima "Tetti Fotovoltaici" izveden je u dva dijela. Na javnim zgradama montaža je već završena, a na privatnim u proljeće ove godine. Cijeli program obrađen je i s arhitektonskog gledišta, budući da zadire i u građevinarstvo svojom velikom površinom.

*EW*, god.101(2002), br. 25

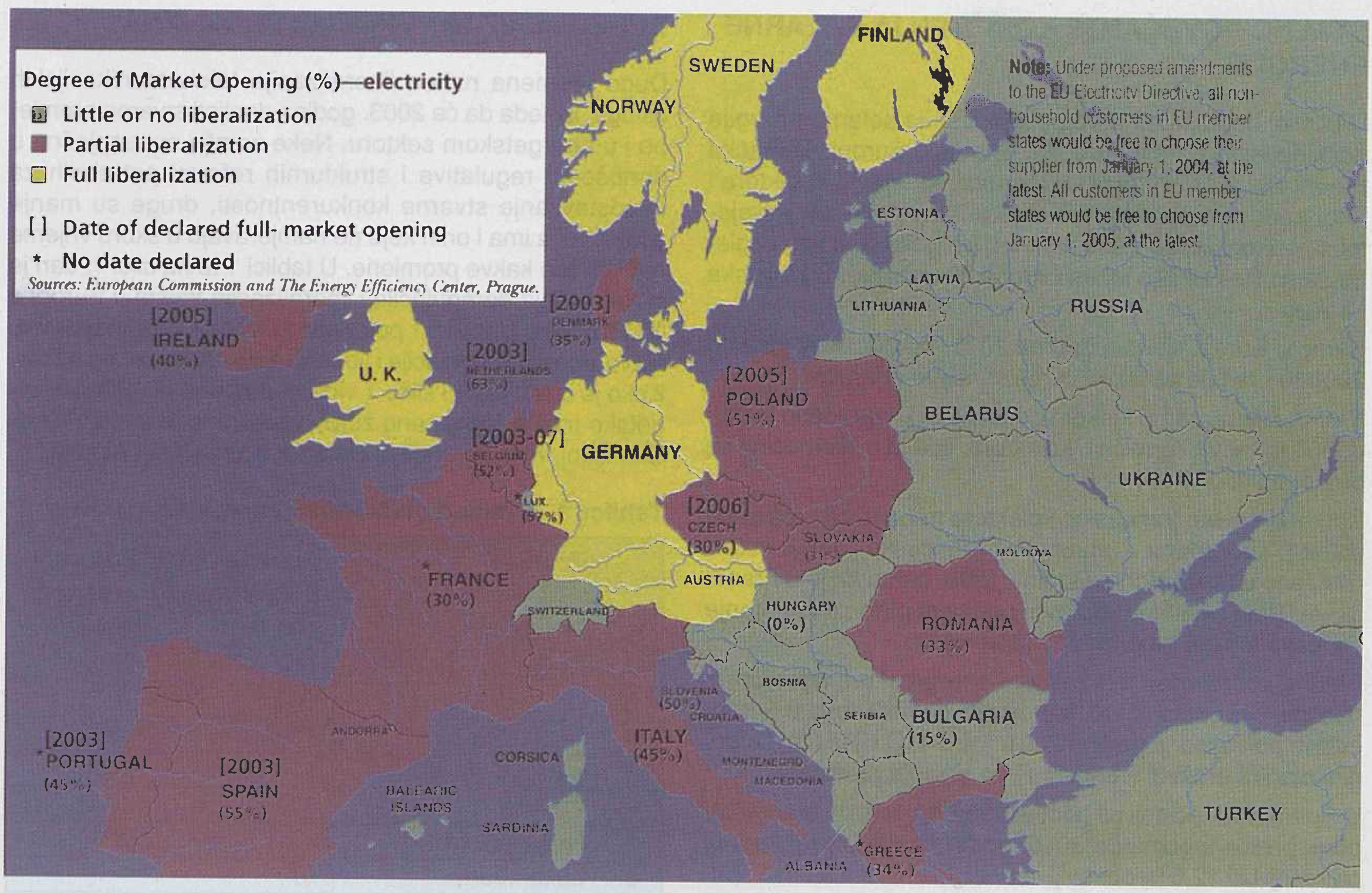
Mrk

## DEREGULACIJA - VRIJEME PROMJENA

Dugo vremena nakon liberalizacije telekomunikacijskih usluga izgleda da će 2003. godina donijeti stvarne promjene i u energetskom sektoru. Neke zemlje su uspješne u donošenju regulative i strukturnih reformi potrebnih za uspostavljanje stvarne konkurentnosti, druge su manje uspješne, a ima i onih koje ne namjeravaju u skoro vrijeme načiniti bilo kakve promjene. U tablici 1 te na slici 1. dan je prikaz stanja deregulacije i liberalizacije tržišta u Europi u 2002. godini. U tablici 1 poredane su zemlje prema postotku ostvarenosti deregulacije i liberalizacije energetskog tržišta. Kako je iz tablice 1 i slike 1 vidljivo potpuno otvoreno energetsko tržište (označeno žuto) ostvareno je u Norveškoj, Švedskoj, Finskoj, Velikoj Britaniji, Njemačkoj i Austriji.

**Tablica 1 - Pregled otvorenosti energetskog tržišta**

| | Zemlja | Postotak (%) otvorenosti | Potpuno otvaranje |
|---|---|---|---|
| 1. | Finska | 100 | 2002 |
| 2. | Švedska | 100 | 2002 |
| 3. | Norveška | 100 | 2002 |
| 4. | Njemačka | 100 | 2002 |
| 5. | Velika Britanija | 100 | 2002 |
| 6. | Austrija | 100 | 2002 |
| 7. | Nizozemska | 63 | 2003 |
| 8. | Luxemburg | 57 | |
| 9. | Španjolska | 55 | 2003 |
| 10. | Belgija | 52 | 2003-7 |
| 11. | Poljska | 51 | 2005 |
| 12. | Slovenija | 50 | |
| 13. | Italija | 45 | * |
| 14. | Portugal | 45 | 2003 |
| 15. | Irska | 40 | 2005 |
| 16. | Danska | 35 | 2003 |
| 17. | Grčka | 34 | * |
| 18. | Rumunjska | 33 | |
| 19. | Slovačka | 31 | * |
| 20. | Francuska | 30 | * |
| 21. | Češka | 30 | 2005 |
| 22. | Bugarska | 15 | |
| 23. | Mađarska | 0 | |
| 24. | Albanija | | |
| 25. | Bjelorusija | | |
| 26. | Bosna i Hercegovina | | |
| 27. | Crna Gora | | |
| 28. | Estonija | | |
| 29. | Hrvatska | | |
| 30. | Latva | | |
| 31. | Litvanija | | |
| 32. | Makedonija | | |
| 33. | Moldavija | | |
| 34. | Rusija | | |
| 35. | Srbija | | |
| 36. | Švicarska | | |
| 37. | Turska | | |
| 38. | Ukrajina | | |




**Slika 1 - Pregled zemalja i stupnja otvorenosti tržišta energijom**

Djelomično otvoreno tržište (označeno ljubičasto) imaju (od većeg postotka prema manjem) Nizozemska, Luxemburg, Španjolska, Belgija, Poljska, Slovenija, Italija, Portugal, Irska, Danska, Grčka, Rumunjska, Slovačka, Francuska, Češka i Bugarska. Najmanji postotak otvorenosti (15 %) ostvarila je Bugarska. Dio njih predviđa potpuno otvaranje tijekom 2003. godine (Nizozemska, Španjolska, Portugal i Danska). Preostale zemlje s djelomično otvorenim tržištem (Poljska, Irska i Bugarska) planiraju potpuno otvaranje do 2005. godine, dok Belgija to planira učiniti tijekom 2003. - 2007. godine. Zemlje označene zvjezdicom * (Italija, Grčka, Slovačka i Francuska) nisu predvidjele termin potpunog otvaranja energetskog tržišta. Sve ove zemlje susreću se s mnogobrojnim poteškoćama (lokalna politika, koncentracija strukture tržišta, kreditna politika i dr.), a o uspješnosti njihovog svladavanja ovisi stupanj deregulacije i liberalizacije energetskog tržišta svake pojedine zemlje.

Ostale zemlje (označene zeleno) u koje spadaju Mađarska, Albanija, Bjelorusija, Bosna, Crna Gora, Estonija, Litva, Litvanija, Makedonija, Moldavija, Rusija, Srbija, Švicarska, Turska i Ukrajina nisu odredile termin deregulacije i liberalizacije svog energetskog tržišta. Među njima je i Hrvatska.

*Energy Markets*, July, September,October November 2002.

SBK

## KINA GRADI JOŠ JEDNU GOLEMU HIDROELEKTRANU

Ova elektrana po veličini je druga elektrana, odmah do kontroverzne hidroelektrane Three Gorges (Tri klisure) na rijeci Yangtze. Nova hidroelektrana Xiaowan gradi se u pokrajini Yunnan na Lancang - Mekong rijeci, koja je najveći energetski izvor u Kini s 90.000 MW kapaciteta u eksploataciji. Instalirana snaga ove hidroelektrane bit će 4.200 MW, s proizvodnjom od 4.2 million kWh. Ova hidroelektrana je druga od osam hidroelektrana planiranih na rijeci Lancang - Mecong.

Kad bude gotova hidroelektrana Xiaowan će imati najveću branu na svijetu, visine 292 m, čiji je rezervoar kapaciteta 15 milijardi $m^3$. Time će se smanjiti poplave za 15 % u kišnom, ali i povećati vodeni tok u sušnom razdoblju.

Ovo je jedan od ključnih projekata desetog petogodišnjeg programa (2001. - 2005.) i važan čimbenik kineske strategije prijenosa električne energije iz zapadnog područja bogatog hidroenergijom u ostala područja koja nemaju na raspolaganju ovakve primarne izvore. Ukupni troškovi do završetka gradnje u 2012. godini procijenjeni su na 3,8 milijarde američkih dolara. Više od 38.000 ljudi morat će biti raseljeno.

*Power,* Vol. 146, No. 8, November/December 2002.

SBK

## BUDUĆNOST PROIZVOĐAČA VJETROTURBINA

U potrazi za čistim, pouzdanim izvorom energije, a ujedno i za poboljšanom tehnolgijom tubine, shvatilo se da je vjetar jedan od dominantnih izvora obnovljive energije.

U SAD-u, tijekom energetske krize sedamdesetih godina prošlog stoljeća prvi put se počelo ozbiljno razmišljati o korištenju snage vjetra. Usprkos relativno kratkom periodu

korištenja vjetra kao sredstva za proizvodnju električne energije, ljudi su nastojali izgraditi turbine na vjetar cijelo stoljeće, no tek 1980. godine došlo je moderno doba ove tehnologije. Zadnje godine prošlog i prve ovog stoljeća obilježene su brigom za smanjenje stakleničkih plinova, pa su se energija vjetra i energija sunca našle u središtu zanimanja kao glavna sredstva za smanjenje onečišćenja.
Osvrćući se na razdoblje od 1980. godine do danas, tijekom prvih godina, Kalifornija je postala vodeća u svjetskim razmjerima u korištenju snage vjetra. Čak se i danas u nekim dijelovima koriste tisuće turbina: od prastarih modela, pa sve do sofisticirane GE energetske turbine od 1,5 MW. Očito je napredak ove mlade industrije u kratkom vremenskom razdoblju. Turbina je poboljšana te je stvorena mogućnost proizvodnje veće količine energije kao i rada vjetroelektrane pri većim brzinama vjetra. Ako se razvoj nastavi ovakvim tempom, do 2010. godine, nove turbine bi mogle dostići i do 360 metara. Za usporedbu, Eiffelov toranj u Parizu visok je svega 320 metara. Jasno, kao i kod aviona, i ovdje će se trend gradnje velikih turbina zaustaviti na nekoj veličini, jer će i neki drugi faktori utjecati na njihovu izgradnju.

S obzirom na rasprostranjenost korištenja vjetroelektrana, danas se situacija promijenila. Kaliforniju, dosada vodeću, prestiže Njemačka s kapacitetom od 8.100 MW. Tijekom zadnjih nekoliko godina SAD se bore za drugo mjesto s Danskom i Španjolskom. Danas se u Danskoj proizvodi 14 % ukupnog energetskog kapaciteta u vjetroelektranama.
Kako Svjetsko udruženje za energiju vjetra EWEA nastoji zacrtati jasne ciljeve vezane za obnovljive izvore energije, bilo je jako razočarano nerazumijevanjem na nedavnom Svjetskom Summitu u Južnoj Africi. Ipak, ima i od toga neke koristi. Taj je događaj ipak pomogao da su obnovljivi izvori energije bili središnja tema rasprave o energiji te da se široj javnosti skrenula pozornost na ove probleme.

Kako važnost vjetra raste nakon protokola u Kyotu i ostalih inicijativa vezanih za okoliš, ova grana industrije ulaže napore i sredstva da bi korištenje energije vjetra učinili konkurentnom. Proizvođači opreme za vjetroelektrane su optimistični. Posao se širi u zemljama Europe, kao što su Danska, Njemačka, Španjolska te Velika Britanija. No, korištenje energije vjetra širi se po cijelom svijetu. Prema nekim istraživanjima ne postoje tehnička ograničenja da bi se 12 % svjetske električne energije proizvelo u vjetroelektranama.

*International Power Generation,* August/September 2002.

SBK

## VODIK DIREKTNO IZ SUNCA

Američka kompanija za proizvodnju gorivih ćelija Protonenergy Systems Inc. razvila je obnovljivi sustav gorivih ćelija pod nazivom HOGEN koje pretvaraju električnu energiju u vodik i obratno, vodik u električnu energiju. Ovaj sustav zapravo predstavlja skladište energije. Sustav također omogućuje da se konvertiranjem električne energije iz mreže ili proizvedene u vjetroelektranama, solarnim i hidroelektranama dobije vodik koji se može uskladištiti. Vodik se će se konvertirati u električnu energiju pomoću specijalnog postrojenja ili gorivih ćelija.
Navedena kompanija proslijedila je generator HOGEN u jedan informativni centar u Švedskoj, kako bi demonstrirala mogućnost dobivanja vodika direktno iz sunčevog svetlosno-energetskog polja. Time se htjelo pokazati, da će vodik sutra biti izvor goriva i središnji gorivi element za proizvodnju ELEKTRIČNE energije. To je izvanredna mogućnost da se obnovljivi izvori energije transformiraju u vodikovo gorivo izvanredne čistoće pod visokim pritiskom.
Također jedna druga američka kompanija SunPower Corp. (podružnica kompanije Renewable Energy Corp.) raspolaže tehnologijom, pomoću koje može proizvesti električnu energiju po cijeni između 5 do 9 centi/kWh u velikim paraboličnim sunčevim reflektorima. To je tzv. SOLAREC sustav. Tehnologija se sastoji u korištenju velikih paraboličnih reflektora za fokusiranje solarne energije u spremnike, gdje se uz temperaturu od 2000 stupnjeva Celzijusa obavlja elektroliza vode. Tako bazen površine od 100 $m^2$ može proizvesti toliko vodika dnevno, da turbina od 3 kW proizvede 72 kWh električne energije. Elektrana s 10.000 bazena takve veličine u stanju je proizvesti tijekom godine toliko vodika da se može dobiti 67 milijuna kWh električne energije.
Prototipovi za ovu tehnologiju pokazali su mogućnost proizvodnje električne energije uz cijenu od 800 dolara po instaliranom kW. S obzirom da je trenutačna cijena 10 centi/kWh, godišnja vrijednost proizvodnje iznosila bi 100 milijuna američkih dolara. SOLAREC sustav je operativan 24 sata dnevno, što je prednost u odnosu na vjetroelektrane. Iako se farme vjetroelektrana mogu izgraditi za manje od 800 dolara po kW, cijena proizvedene električne energije je veća i kreće se od 14 do 21 centi/kWh s dnevnim mogućnostima od 33%.

*Refocus,* Juli/August 2002.

SBK

## TRENING - RJEŠENJE MANJKA RADNE SNAGE

Američka energetska industrija susreće se sa sve većim problemom nalaženja i zadržavanja kvalificirane tehničke radne snage (operateri, tehničari i majstori). Manjak kvalificirane radne snage uzrokuje u nekim regijama pritajene ratove među poslodavcima. Da bi postojeće osoblje moglo preuzeti poslove koje su radili zaposlenici koji su otišli, potrebna su im dodatna znanja. Zato se rješenje ovog problema vidi u doškolovanju.
Polazi se od toga da nije dovoljno samo razvijati nove vještine menadžera za sustave poslovanja, već da to isto treba činiti i za druge razine zaposlenika. Zaposlenici također trebaju obnavljati i unaprjeđivati svoje postojeće vještine.
Da bi se zadovoljile nove potrebe, potaknuti su trening programi u cijeloj energetskoj industrije na općoj razini. Pokazalo se da je povećani opseg treninga od vrlo velike pomoći u područjima kao što su sigurnost, regulativa i međudisciplinarni trening te se on tretira kao način za povećanje efikasnosti.
Na temelju iskustva i rezultata održanih treninga, programi se proširuju i na tehnička područja. Kako bi povećale efikasnost, kompanije organiziraju trening u operativnim vještinama kao i u zanatskim programima. Neke kompanije organiziraju tehnički trening u više stupnjeva kako bi pomogle svojim zaposlenicima da podignu razinu svojih vještina. Kao dodatak općem tehničkom treningu, mnogi proizvođači energije podučavaju i specifične vještine kao što su pojedinačni treninzi iz područja mobilnih strojeva, korištenja slitina i čelika, sastava tla te korištenja novih tenologija. Budući da nu-

klearna postrojenja moraju udovoljiti propisima o otpornosti na potrese, orgniziraju se trening programi vezani za seizmičke analize. Također se provodi i trening koji mogućava zaposlenicima rukovanje analognim instrumentima i drugim uređajima.
Većina energetskih kompanija putem seminara osposobljava polaznike da zamijene zaposlenike koji su umirovljeni. Npr. novi operateri često ulaze u organizacije s nedovoljnim znanjem i vještinama. Osim treninga sa strukturiranim vještinama za nove operatere, organiziraju se i tečajevi za osvježenje znanja trenutnih zaposlenika.
Kompanije također organiziraju treninge za osoblje koje radi na održavanju, dakle za grupu ljudi s malim promjenama procedura te s repetitivnim funkcijama u poslu, što je potpuno različito od potreba operatera. Osoblje na održavanju trenutačno ne bi trebalo proći tako intenzivan program, ali zbog velikih promjena koje će uslijediti u razdoblju od pet do sedam godina, to je ipak nužno. Naime, ponovno će doći do umirovljenja sadašnje radne snage te će ponovno doći do manjka kvalificirane radne snage, pa trening mora omogućiti adekvatne zamjene za umirovljene.
Organiziranjem treninga bave se specijalizirane kompanije kao što su National Technology Transfer Inc (NTT), Englewood, Bonneville Power Administration (BPA) i druge.

*Power,* August 2002.

SBK

## NUKLEARNI KREDIBILITET PONOVNO POLJULJAN

Trećina ukupne japanske potrošnje električne energije namiruje se iz nuklearnih elektrana. Krajem prošle godine od 17 nuklearnih reaktora 5 reaktora, ukupne instalirane snage 5.184 MW, bilo je zatvoreno radi inspekcije. Posljedica je to krivotvorenja 29 izvješća inspekcije TEPCO o stanju nuklearnih postrojenja u Japanu u osamdesetim i devedesetim godinama prošlog stoljeća. Zbog toga , a i drugih incidenata tijekom godina, kredibilitet vladine politike u pogledu nuklearne energije narušen je, a isto tako poljuljano povjerenje građana.
Polovinom 2000. godine, vijest o krivotvorenju izvješća procurila je u javnost, kada je jedan od inženjera, bivši zaposlenik u nuklearnom postrojenju u San Joseu, odao informaciju Ministarstvu za gospodarstvo, trgovinu i industriju METI. To se dogodilo dvije godine prije nego je TEPCO poduzeo koordiniranu akciju. On je odmah poslan u kontrolu te je u srpnju 2000. godine poslao anonimnu prijavu o krivotvorenju izvješća TEPCO-a Ministarstvu za međunarodnu trgovinu i industriju. U prijavi je navedeno da je 6 reaktora neispravno, odnosno ima pukotine na pumpama za hlađenje jezgre, dok je u izvješćima TEPCO-a stajalo da se to odnosi samo na tri reaktora.
Nakon toga TEPCO je poduzeo koordiniranu akciju i tako otkrio da je u 29 izvješća došlo do zataškavanja o stvarnom stanju postrojenja i to u dijelu koji on sam kontrolira. Naime, vladina agencija za nuklearnu i industrijsku sigurnost (The goverment's Nuclear & Industrial Safety Agency) kontrolira sustave hlađenja i osnovne komponente nuklearnog postrojenja svakih 13 mjeseci. Vlasnik kontrolira pumpe za hlađenje jezgre reaktora i njihove dijelove. I upravo na tim dijelovima pronađene su neprijavljene pukotine. Defektni dijelovi u Japanu se normalno zamjenjuju dok je u Europi i SAD-u praksa da se popravljaju.

*Power,* October 2002; *Power Engineering International,* October 2002.

SBK

## BFNL - SVIJETLA BUDUĆNOST UPRKOS REKORDNIM GUBICIMA

Britanska kompanija za preradu istrošenog nuklearnog goriva British Nuclear Fuels (BNFL) izvijestila ja o rekordnim gubicima od 3.3 milijarde američkih dolara. No, istodobno je izjavila da su njene perspektive poboljšane. Rekordni gubici vezani su za provjeru pouzdanosti vlastitih nuklearnih pogona te za zatvaranje dviju tvornica -Calder Hall u Cumbriji te Chapelcross u Škotskoj.
Predsjednik BNFL-a je izjavio da se ovdje radi o događaju godine za kompanije u državnom vlasništvu. Poboljšane operativne peformanse omogućile su da se prošlogodišnji gubitak od 304 milijuna dolara prije izuzeća poreza pretvori u dobit od 32 milijuna dolara za ovu godinu. Odluka o korištenju nuklearne energije je čvrsta i predstoji svijetla budućnost i za industriju i za kompaniju.
Prema riječima izvršnog direktora kompanije, postojale su dvije važne odluke tijekom prošle financijske godine koje će imati pozitivan utjecaj na BNFL u godinama koje dolaze. Prva je odluka vlade Velike Britanije da uspostavi tijelo za upravljanje novčanim obvezama LMA (Liabilities Management Authority). Druga se odluka odnosi na upravljanje otpadom, koje je poboljšano.

*Electricity International,* August 2002.

SBK

*E n e r g i j a*

Godište 52 (2003) Br. 1

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

ENERGIJA 1423

UDK 621.3.017:621.316
PREGLEDNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/1, 25 - 30

## TRETMAN GUBITAKA U NAKNADI ZA KORIŠTENJE PRIJENOSNE I DISTRIBUCIJSKE MREŽE

*Marijan Kalea, dipl. ing.*

HEP Prijenos d.o.o., Prijenosno područje Osijek, Šetalište kardinala F. Šepera 1a, 31000 Osijek, Hrvatska

Prikazan je tretman gubitaka u mreži pri određivanju potrebne naknade za korištenje prijenosne i naknade za korištenje distribucijske mreže u elektroenergetskom sustavu, u kojem postoji proizvodnja za domaće povlaštene i tarifne kupce, za izvoz povlaštenim inozemnim kupcima i ostali izvoz, te uvoz radi opskrbe domaćih povlaštenih i tarifnih kupaca, uvoz radi izvoza, te u kojem su povlašteni i tarifni kupci izravno priključeni na prijenosnu mrežu ili su priključeni na distribucijsku mrežu.

(Lit. -, sl. 2 - original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/1/25-30/2003.

ENERGIJA 1424

UDK 621.316.1:621.398.052
PRETHODNO PRIOPĆENJE

ENERGIJA 52/2003/1, 45 - 58

## O STATISTIČKIM SVOJSTVIMA IMPULSNOG ŠUMA NA DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

*Mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.*

HEP Prijenos d.o.o ., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

Na temelju podataka iz literature izvode se alternativni matematički modeli stohastičkih razdioba amplitude i trajanja paketa impulsnih smetnji na PLC mediju, kao i vremenskog razmaka između susjednih paketa.

(Lit.13, sl. 13 - original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/1/45-58 /2003.

ENERGIJA 1425

UDK 621.165:621.311.22
PREGLEDNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/1, 59 - 73

## PARNA TURBINA U KOMBIKOGENERACIJSKOM POSTROJENJU TE-TO ZAGREB

*Mr. sc. Miroslav Šander, dipl. ing.*

Elektroprojekt, Alexandera von Humboldta 4, 10000 Zagreb, Hrvatska

Kondenzacijska turbina bez međupregrijanja proizvodnje ABB - Karlovac je ugrađena u kombikogeneracijsko postrojenje TE-TO Zagreb. Postrojenje se sastoji od dvije MS6001FA plinske turbine s generatorima te dva kotla na ispušne plinove, jedne parne turbine s jednim privodom pare. Para za parnu turbinu se proizvodi u kotlu na ispušne plinove korištenjem ispušne topline proizvedene u plinskoj turbini. Kombukogeneracijsko postrojenje će generirati 200 MW električne energije te paru za mrežno grijanje i industrijsku paru. U daljnjem tekstu se daje tehnički opis parne turbine uz projektno-konstrukcijske karakteristike turbine. Također su opisani: ulje na parnoturbinskom postrojenju, uređaji za zaštitu turbine, brtvena para, odvodnjavanje i kondenzacija. Unutar opisa parnoturbinskog postrojenja nastojalo se podastrijeti što više temeljnih tehničkih podataka. Posebna pozornost je posvećena upravljačkom sustavu cjelokupnog kombigeneracijskog postrojenja DCS-u, da bi se u relaciji spram DSC-a naznačili zadaci Marka V - upravljačkog sustava plinske turbine, a potom Turboturna - upravljačkog sustava - parne turbine. Pogon i vođenje parne turbine preko DCS sustava i Turboturna obrađeno je kroz upuštanje, normalni pogon i u obustavi parne turbine.

(Lit.12 , sl. 6 - original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/1/59-73 /2003.

ENERGIJA 1425

1. Parna turbina u kombikogeneracijskom postrojenju TE-TO Zagreb

*I.* *Šander, M.*

II. Elektroprojekt, Alexandera von Humboldta 4, 10000 Zagreb, Hrvatska

UDK 621.165:621.311.22

*TE-TO Zagreb*
*parna turbina*
*kombikogeneracijsko postrojenje*

ENERGIJA 1424

1. O statističkim svojstvima impulsnog šuma na distribucijskoj mreži

*I.* *Sabolić, D.*

II. HEP Prijenos d.o.o., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

UDK 621.316.1:621.398.052

*impulsni šum*
*distribucijska mreža*
*funkcija razdiobe*

ENERGIJA 1423

1. Tretman gubitaka u naknadi za korištenje prijenosne i distribucijske mreže

*I.* *Kalea, M.*

II. HEP Prijenos d.o.o., Prijenosno područje Osijek, Šetalište kardinala F. Šepera 1a, 31000 Osijek, Hrvatska

UDK 621.3.017:621.316

*naknada za korištenje prijenosne i distribucijske mreže*
*gubici u mreži*

*E n e r g i j a*

Godište 52 (2003) Br. 1

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

ENERGIJA 1426

UDK 621.31.008
PREGLEDNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/1, 19 - 24

## PRIKAZ POSTUPKA IZDAVANJA DOZVOLE ZA OBAVLJANJE ENERGETSKE DJELATNOSTI KAO TEMELJA REGULACIJE ENERGETSKOG SEKTORA

*Mr. sc. Eraldo Banovac, dipl. ing.*

Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti, Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

Prilikom izrade važeće legislativne podloge regulacije u energetskom sektoru (pet novih energetskih zakona) vodilo se računa o potrebi da njihov sadržaj slijedi kriterije EU direktiva za liberalizaciju tržišta električne energije i plina. U tom procesu značajnih promjena, Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti, kao novoustvoreno tijelo za regulaciju, mora voditi računa o značajkama općeg trenda globalizacije energetskog sektora, pri čemu treba uvijek djelovati upravo na temelju usvojenje zakonske regulative.

Unutar okvira regulacije energetskih djelatnosti u Republici Hrvatskoj, posebno je značajno regulacijsko djelovanje putem postupka izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti, što predstavlja temelj regulacije energetskog sektora. U radu su prikazani ciljevi postupka, način provjere razine prihvatljivih kriterija za tehničku kvalificiranost, stručnu ospossobljenost, financijsku kvalificiranost i provjeru zakonitosti prethodnog poslovanja pravnew osobe. Opisan esu faze postupka izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti, te Registar dozvola.

(Lit. 5, sl. 2 - original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/1/19-24 /2003.

ENERGIJA 1427

UDK 621.311.008:621.31.003
PREGLEDNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/1, 5 - 17

## OKVIR I SADRŽAJ REGULACIJE ENERGETSKOG SEKTORA KROZ ORGANIZACIJU I RAD VIJEĆA ZA REGULACIJU ENERGETSKIH DJELATNOSTI

*Dr. sc. Mićo Klepo, dipl. ing.*

Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti, Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

U radu se izlažu osnovni elementi okvira i sadržaja regulacije energetskog sektora, odnosno energetskih djelatnosti u Republici Hrvatskoj kako su definirani paketom energetskih zakona. Isti su dovedeni u svezu s organizacijom i radom Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti, tj. hrvatskim nezavisnim regulatorom energetskih djelatnosti, te neprofitnom pravnom osobom koja će za Vijeće za regulaciju pripremati prijedloge akata i obavljati druge stručne poslove.

(Lit. 10, sl. 2 - original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/1/5-17 /2003.

ENERGIJA 1428

UDK 621.316.1:621.31.008
STRUČNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/1, 35 - 44

## MODEL I ORGANIZACIJA SLUŽBE VOĐENJA DISTRIBUCIJSKE MREŽE HRVATSKE

*Boris Krstulja, dipl. ing. - Vitomir Komin, dipl. ing.*

HEP Distribucija d.o.o., Ulica Viktora Cara Emina 2, 51000 Rijeka, Hrvatska

Otvaranje tržišta električne enrgije u Hrvatskoj postavlja pred distribuciju električne energije posebne zadatke u smislu promjene modela vođenja distribucijske mreže te strukturiranja organizacije poslova vođenja mreže. Ovaj članak određuje i analizira osnovna načela izrađenog modela te daje njegov prikaz. Opisuju se funkcije i zadaci pojedinih razina modela te način njegove provedbe. U nastavku je dana organizacija službe vođenja distribucijske mreže Hrvatske. Slčužba vođenja treba zadovoljiti novonastale zadatke i biti prilagodljiva za moguće promjene u bliskoj budućnosti koje će nastati sve većim otvaranjem tržišta električne energije i reguliranjem standarada kvaliteta usluga. Na kraju, prikazuju se prava, dužnost, djelokrug i odgovornost službe za vođenje distribucijske mreže.

(Lit.12, sl. 2 - original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/1/35-44/2003.

ENERGIJA 1428

1. Model i organizacija službe vođenja distribucijske mreže Hrvatske

*I.* *Krstulja, B. - Komin, V.*

II. HEP Distribucija d.o.o., Ulica Viktora Cara Emina 2, 51000 Rijeka, Hrvatska

UDK 621.316.1:621.31.008

*model vođenja*
*organizacija službe vođenja*
*distribucijska mreža Hrvatske*

ENERGIJA 1427

1. Okvir i sadržaj regulacije energetskog sektora kroz organizaciju i rad Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti

*I.* *Klepo, M.*

II. Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti, Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

UDK 621.311.008:621.31.003

*energetske djelatnosti*
*energetski zakoni*
*regulacija energetskih djelatnosti*
*Vijeće za regulaciju*

ENERGIJA 1426

1. Prikaz postupka izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti kao temelja regulacije energetskog sektora

*I.* *Banovac, E.*

II. Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti, Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

UDK 621.31.008

*regulacija energetskih djelatnosti*
*dozvola za obavljanje energetske djelatnosti*
*Registar dozvola*
*Zbirni pregled Registra dozvola*

*E n e r g i j a*

Godište 52 (2003) Br. 1

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

ENERGIJA 1429 UDK 621.316.1:621.31.008
STRUČNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/1, 31 - 34

# NOVE POSLOVNE PRILIKE KROZ REDIZAJN TELEKOMUNIKACIJA

*Andrew Wilson*

Mason Communications Ltd., 5 Exchange Quay, Manchester M5 3 EF, England

Restrukturiranje elektroprivrede u Europi ima i imat će jak utjecaj na proizvodne I financijske mogućnosti. Time se postavlja pitanje kompanijama kako zadovoljiti telekomunikacijske potrebe poslovanja u promjeni, često u situaciji organizacijskog spajanja ili razdvajanja. Međutim, povezano s deregulacijom i restrukturiranjem telekomunikacijske industrije, potencijal za daljnju destabilizaciju elektroprivrede raste.
Destabilizacija ne mora uvijek imati negativnu konotaciju. Uz to što može povećati telekomunikacijske troškove, restrukturiranje dvije tvrtke znači za elektroprivrednu kompaniju ili organizaciju sljedeće:
- Promjenu potreba I porast potražnje- što znači povećanje troškova
- Nove tehnologije I racionalizaciju ponude usluga- što znači smanjenje troškova
- Nove pothvate - što znači mogućnost dodatnog nereguliranog troška.
Rad istražuje različite mogućnosti kroz gornje tri teme s gledišta elektroprivrede.

Autor

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/1/31-34/2003.

ENERGIJA 1429

UDK 621.316.1:621.31.008

1. Nove poslovne prilike kroz redizajn telekomunikacija
*I.* *Wilson, A.*
II. Mason Communications Ltd., 5 Exchange Quay, Manchester M5 3 EF, England

*restrukturiranje*
*telekomunikacijska industrija*
*elektroprivreda*

*E n e r g i j a*

Volume 52 (2003) № 1

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

ENERGIJA 1423 UDK 621.3.017:621.316
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/1, 25 - 30

## LOSS TREATMENT WITHIN THE TARIFF FOR TRANSMISSION AND DISTRIBUTION NETWORK USAGE

*Marijan Kalea, B. Sc.*

HEP Prijenos d.o.o., Prijenosno područje Osijek, Šetalište kardinala F. Šepera 1a, 31000 Osijek, Croatia

A review of network losses' treatment within the necessary transmission and distribution network usage tariffs in an electric power system is given where there is production for eligible and tariff customers, export for eligible foreign customers and others, import for domestic eligible and tariff customers, import for export as well as where eligible and tariff customers are directly connected on transmission or distribution network.

(No. of References: -, Fig: 2 - original in Croatian)

Author
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/1/25-30/2003.

ENERGIJA 1424 UDK 621.316.1:621.398.052
PRELIMINARY REPORT

ENERGIJA 52/2003/1, 45 - 58

## STATISTIC CHARACTERISTICS OF DISTRIBUTION NETWORK IMPULSE NOISE

*Dubravko Sabolić, B. Sc.*

HEP Prijenos d.o.o., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia

Based on the data from literature alternative mathematical models of stochastic amplitude distribution are developed as well as duration of impulse disturbance package on PLC media and time difference between neighbouring packages.

(No. of References: 13, Fig.:13 - original in Croatian)

Author
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/1/45-58/2003.

ENERGIJA 1425 UDK 621.165:621.311.22
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/1,59 - 73

## STEAM TURBINE IN COGENERATION PLANT TE-TO ZAGREB

*Miroslav Šander, M. Sc.*

Elektroprojekt, Alexandera von Humbolta 4, 10000 Zagreb, Croatia

Condensation turbine without preheating produced by ABB-Karlovac was built into the cogeneration plant TE-TO Zagreb. The station is consists of two MS6001FA gas turbines with generators and two boilers using exhausted gasses, a single gas turbine with one steam conductor. Steam needed for the turbine is produced in the boiler on exhausted gasses using exhausted heat produced in a gas turbine. The plant is going to produce 200 MW of electric energy and steam for network heating and industrial steam. Further in the text there is a technical description of the steam turbine as well as project and technical characteristics. Described are oil in steam-turbine facility, equipment for turbine protection, gasket steam, draining and condensation. Within the description of the steam-turbine facility as many as possible technical data are given. Special attention was given to the control and management system of the entire cogeneration plant DCS, and its relation to MarkoV, i.e. gas turbine control system and to Turboturn, i.e. steam turbine control system. Operation and control of steam turbine using DCS and Turboturn is evaluated through start up, normal operation and non-operation of the steam turbine.

(No. of References:12, Fig. 6 - original in Croatian)

Author
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/1/59-73/2003.

ENERGIJA 1425

UDK 621.165:621.311.22

1. Steam Turbine in Cogeneration Plant TE-TO Zagreb

*I.* *Šander, M.*

II. Elektroprojekt, Alexandera von Humboldta 4, 10000 Zagreb, Croatia

*TE-TO Zagreb*
*Steam Turbine*
*Cogeneration*

ENERGIJA 1424

UDK 621.316.1:621.398.052

1. Statistic Characteristics of Distribution Network Impulse Noise

*I.* *Sabolić, D.*

II. HEP Prijenos d.o.o., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia

*Impulse Noise*
*Distribution Network*
*Distribution Function*

ENERGIJA 1423

UDK 621.3.017:621.316

1. Loss Treatment within the Tariff for Transmission and Distribution Network Usage

*I.* *Kalea, M.*

II. HEP Prijenos d.o.o., Prijenosno područje Osijek, Šetalište kardinala F. Šepera 1a, 31000 Osijek, Croatia

*Tariff for Transmission and Distribution Network Usage*
*Network Losses*

*E n e r g i j a*

Volume 52 (2003) № 1

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

ENERGIJA 1426 UDK 621.31.008
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/1,19 - 24

## REVIEW OF ENERGY ACTIVITIES' LICENSING PROCEDURE AS A BASIS OF ENERGY SECTOR REGULATION

*Eraldo Banovac, M. Sc.*

Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti, Savska cesta 163, 10000 Zagreb Croatia

In the course of the preparation of current legislation in the field of energy sector regulation (five new energy laws) it has been taken into account that its content follows EU directives for electric energy and gas market liberalisation. In this process, characterised by significant changes, Croatian Energy Regulatory Council, as a newly created regulation body, has to take into account common trends in energy sector globalisation, whereby all actions are to be taken according to the existing legislation.
Within energy sector regulation in the Republic of Croatia, regulation activity through the licensing procedure of energy activities bears great significance and it is the basis of energy sector regulation. In the work goals of procedure are presented as well as criteria for acceptable factors for technical capacity, staffing proficiency, financial capacity and checking of former legal dealing of the entity. Steps in licensing procedure are described as well as Licensing Registry.

(No. of References: 5, Fig.: 2 - original in Croatian)

Author
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/1/19-24/2003.

ENERGIJA 1427 UDK 621.311.008:621.31.003
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/1, 5 - 17

## FRAME AND CONTENT OF ENERGY SECTOR REGULATION THROUGH ORGANISATION AND OPERATION OF ENERGY REGULATORY COUNCIL

*Mićo Klepo, D. Sc.*

Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti, Savska cesta 163, 10000 Zagreb Croatia

In the work basic elements of frame and content of the energy sector regulation, that is energy activities in the Republic of Croatia defined by a package of energy laws, are presented. These are connected to organisation and operation of the Regulatory Council, Croatian independent energy activities' regulator and a non-profit legal entity that is going to prepare proposals of different acts and other expert work for the Regulatory Council.

(No. of References: 10, Fig.: 2 - original in Croatian)

Author
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/1/5-17/2003.

ENERGIJA 1428 UDK 621.316.1:621.31.008
PROFESSIONAL PAPER

ENERGIJA 52/2003/1, 35 - 44

## ORGANISATIONAL MODEL OF THE CROATIAN DISTRIBUTION NETWORK MANAGEMENT

*Boris Krstulja, B. Sc. - Vitomir Komin, B. Sc.*

HEP Distribucija d.o.o. - DP Elektroprimorje Rijeka, V. C. Emina 2, 51000 Rijeka, Croatia

Electricity market opening in Croatia is going to set special tasks for electric energy distribution as relates to changing the model of distribution network management and restructuring of network control and management organisation. This paper determines and analyses basic principles of the model made and gives it review. Function and task of different model levels are described together with application modes. Further on organisation of the Croatian distribution network operation service is given. Operation service has to satisfy new tasks and be adaptable to possible changes in a near future, which are going to be created by electric energy market opening and by new regulation in the field of service quality standards. Finally, rights, duties, environment and responsibilities of the distribution network management are given.

(No. of References: 12, Fig.: 2 - original in Croatian)

Author
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/1/35-44/2003.

ENERGIJA 1428

UDK 621.316.1:621.31.008

1. Organisational Model of the Croatian Distribution Network Management

*I.* *Krstulja, B. - Komin, V.*

II. HEP Distribucija d.o.o. - DP Elektroprimorje Rijeka, V. C. Emina 2, 51000 Rijeka, Croatia

*Management Model*

*Management Service Organisation*

*Distribution Network*

ENERGIJA 1427

UDK 621.311.008:621.31.003

1. Frame and Content of Energy Sector Regulation through Organisation And Operation Regulatory Council

*I.* *Klepo, M.*

II. Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti, Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Croatia

*Energy Activity*

*Package of Energy Laws*

*Regulation of Energy Activities*

*Regulation Council*

ENERGIJA 1426

UDK 621.31.008

!. Review of Energy Activities' Licensing Procedure as a Basis of Energy Sector Regulation

*I.* *Banovac, E.*

II. Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti, Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Croatia

*Regulation License for Energ Activity*

*Licensing Registry*

*Collective Review of Licensing Registry*

*Energija*

Volume 52 (2003) № 1

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

ENERGIJA 1429 UDK 621.316:1:621.31.008
PROFESSIONAL PAPER

ENERGIJA 52/2003/1, 31 - 34

# FINDING BUSINESS PERFORMANCE IMPROVEMENTS THROUGH TELE-COMMUNICATIONS RE-ENGINEERING

*Andrew Wilson*

Mason Communications Ltd., 5 Exchange Quay, Manchester M5 3 EF, England

Restructuring within the Electricity Industry across Europe has, and continues to have, a huge impact on operational and financial performance. This alone presents issues for companies on how best to meet the telecommunications needs of a changing business, often having to cope with merging or de-merging organisations. However, when coupled to the process of de-regulation and the resulting re-structuring in the Telecommunications Industry, the potential for further destabilisation of the Electricity Industry increases.

Destabilisation does not, however, have to be a negative factor. In addition to having the potential for driving up telecommunication costs, restructuring across the two industries presents the electricity company or organisation with issues around:

- Changing Requirements and Increasing Demands - Driving costs UP
- New Technologies and Rationalised Service Offerings - Driving costs DOWN
- New Ventures - Enabling the Generation of ADDITIONAL non-regulated income.

This paper explores the differing issues presented by the three themes above from the point of view of the Electricity Industry.

Author

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/1/31-34/2003.

ENERGIJA 1429

UDK 621.316:1:621.31.008

1. Finding Business Performance Improvements through Telecommunications Re-engineering
*I. Wilson, A.*
II. Mason Communications Ltd., 5 Exchange Quay, Manchester M5 3 EF, England

*Restructuring*
*Telecommunications Industry*
*Electric Industry*

UDK 621.31

ENJAAC 52 (2) – (2003) – 91–172

ISSN 0013-7448

# ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

# energija

*IZDAVAČ – PUBLISHER*

Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

*ZA IZDAVAČA*

Ivo Čović, dipl. ing.

*POMOĆ U IZDAVANJU*

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

*UREĐIVAČKI SAVJET – THE PUBLISHING COUNCIL*

Mr. sc. Branko *Grgić,* dipl. ing. (predsjednik), HEP Split – Adrijano *Fišer,* dipl. ing., HEP Rijeka – Marijan *Kalea,* dipl. ing., HEP Osijek – Damir *Karavidović,* dipl. ing., HEP Osijek – mr. sc. Mladen *Mandić,* dipl. oec., HEP Zagreb – dr. sc. Vladimir *Mikuličić,* dipl. ing., FER Zagreb – dr. sc. Niko *Malbaša,* dipl. ing., Ekonerg, Zagreb

*UREDNIČKI ODBOR – EDITORIAL BOARD*

Glavni urednik – Editor-in-chief: dr. sc. Zorko *Cvetković,* dipl. inž.
Urednik – Editor: Zdenka *Jelić,* prof.
Lektor: Šime *Čagalj,* prof.

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica grada Vukovara 37

Telefoni 6322-641 i 6322-083, telefax 6170-438

**Godišnje izlazi 6 brojeva.** Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300,00 kn, a za poduzeća i ustanove 480,00 kn (za studente 70,00 kn).

Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00 kn.

Za inozemstvo $ 95 godišnje.

Žiro računi kod ZAP, Zagreb – Hrvatska elektroprivreda (za "Energiju") broj 30101-604-495

Tisak: TIVA – Tiskara Varaždin

Naklada 1000 primjeraka

Godište 52 (2003) Zagreb 2003 Br. 2

**SADRŽAJ**

*Goić R.*: Moguće opcije razvoja tržišta električne energije u Hrvatskoj (Stručni članak). . . . . 93 – 103

*Uran V.*: Određivanje najniže cijene pare za proizvodnju toplinske i električne energije (Stručni članak) . . . . . 105 – 114

*Majstrović M. – Majstrović G. – Bajs D.*: Metode za izbor optimalne veličine i lokacije ugradnje kompenzacijskih uređaja (Izvorni znanstveni članak). . . . . 115 – 125

*Bajs D. – Majstrović M. – Majstrović G.*: Optimalna veličina i lokacija ugradnje kompenzacijskih uređaja u prijenosnoj mreži HEP-a (Stručni članak). . . . . 127 – 140

*Dvekar D. – Bajić B. – Bacinger I. – Magić D. – Sabolek J. – Demirović M.*: Potiskivanja vibracija vratila agregata *A* HE Dubrava zasnovano na detaljnoj dijagnostici rotora (Pregledni članak) . . . . . 141 – 144

*Santica I.*: Primjeri manjih zahvata u tehničko-izvedbenom dijelu distribucijskog sustava HEP-a koji rezultiraju značajnim materijalnim uštedama (Stručni članak) . . . 145 – 150

*Sabolić D.*: Pregled karakteristika šuma na PLC mediju (Pregledni članak) . . . . . 151 – 158

**Vijesti iz elektroprivrede i okruženja**. . . . . 159 – 166

**Iz strane stručne literature**. . . . . 167 – 172

Fotografije na omotu:

**DETALJI HIDROELEKTRANA**

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete – Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992.

Redakcija završena 2003 – 03 – 10

# Upute autorima

U "Energiji" smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa "stari" autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo "zaboravljive".

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda "Energiji", više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično "presude" recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica - SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   - **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   - **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
   - **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   - **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.
   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u "Energiji" prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu - svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm - 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članka:

**IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK** (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom svhvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:

- ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor.
- ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

**PRETHODNO PRIOPĆENJE** (prethodno sporočilo, prethodno saopštenje, preliminary communication, Vorlaufige Mitteliung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

**PREGLEDNI ČLANAK** (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

**STRUČNI ČLANAK** (strokovno delo, stručna rabota, professional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođavanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.


# energija

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su:

Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Générale de l'électricité, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

**UREDNIŠTVO**

# MOGUĆE OPCIJE RAZVOJA TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE U HRVATSKOJ

Dr. sc. Ranko G o i ć, Zagreb

UDK 621.311.1.203
STRUČNI ČLANAK

Proces restrukturiranja elektroenergetskog sektora u Hrvatskoj i uvođenje tržišnih odnosa praktički je započeo stupanjem na snagu paketa novih energetskih zakona početkom 2002. godine. Različite opcije operativne implementacije ovog procesa u Hrvatskoj, kao i moguće posljedice na rad elektroenergetskog sustava nalažu vrlo pažljivo promišljanje i argumentirani odabir modela koji će biti primjereni zatečenim okolnostima u elektroenergetskom sektoru, te širim gospodarskim i razvojnim interesima. U ovom članku dano je jedno sažeto autorsko viđenje i ocjena trenutne situacije u Hrvatskoj, te mogući pravci daljnjeg razvoja.

**Ključne riječi: tržište električne energije, restrukturiranje, prijenosna mreža.**

## 1. UVOD

Osnovna ideja liberalizacije tržišta električne energije može se sažeti u sljedećem: djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije (prirodni monopoli usluga), mogu se potpuno odvojiti od djelatnosti proizvodnje i opskrbe (prodaja proizvoda – električne energije na tržištu). Liberalizacija tržišta električne energije u monopolističkim sustavima temelji se na restruktuiranju elektroprivrednih poduzeća i elektroenergetskog sektora u cjelini, pri čemu ključnu ulogu imaju odgovori na sljedeća pitanja:

- kakvu varijantu tržišta odabrati, u kojem opsegu i kakvom dinamikom ga otvarati?
- kako definirati pravila djelovanja tržišta, pravila upravljanja sustavom i mrežom?
- kakvi će biti vlasnički odnosi i kako će se izvesti razdvajanje elektroprivrednih djelatnosti (unbundling)?
- na koji način će se riješiti prijelazni problemi kao što su naslijeđeni troškovi, obveza javne usluge, odnosno opskrba tarifnih kupaca, kako tretirati povlaštene potrošače, kako amortizirati eventualne socijalne posljedice itd.

Postojeća zapadnoeuropska praksa pokazuje veliku raznolikost u načinu implementacije osnovnih zahtjeva Direktive EC 96/92 za uspostavu tržišta električne energije, a indikativni su brojni primjeri kako zapadnoevropske zemlje način restruktuiranja i uspostave tržišta električne energije prilagođavaju vlastitim specifičnim uvjetima, te širim gospodarskim interesima. Pri tome valja istaknuti općeprihvaćeno mišljenje da se u globalu ovi procesi odvijaju uspješno, te uglavnom brže u odnosu na zadane rokove (otvaranja tržišta). S druge strane, proces liberalizacije elektroenergetskog sektora u tranzicijskim zemljama odvija se u vrlo specifičnim uvjetima. Naslijeđena struktura i način rada državno-društvenih elektroprivrednih poduzeća generira socijalne probleme vezane za naslijeđene nerealne cijene električne energije i višak zaposlenih, a dodatni veliki problem je što se uz proces liberalizacije više-manje istodobno provodi i proces privatizacije.

Slična situacija je i u Hrvatskoj, gdje se od krupnijih problema može izdvojiti dugogodišnje podinvestiranje u elektroenergetsku opremu, neriješen status HEP-ovih ulaganja u elektrane izvan Hrvatske, problemi s naplatom i gubicima itd. U takvim uvjetima je početkom 2002. godine stupio na snagu Zakon o tržištu električne energije i ostali zakoni iz energetskog paketa, kojima su definirani novi zakonski okviri u elektroenergetskom sektoru, a za koje se vrlo brzo pokazalo kako su s jedne strane nedorečeni zbog brojnih nedostajućih podzakonskih akata i odgovarajuće tehničke regulative, a s druge strane možda i preambiciozni, odnosno neusklađeni s realnim mogućnostima postojećeg elektroenergetskog i šireg gospodarskog društvenog okruženja, prvenstveno u smislu predviđene dinamike implementacije.

Restrukturiranje HEP-a, kao jedan od osnovnih preduvjeta za primjenu navedenih zakona, počelo se provoditi tijekom 2002. godine, ali relativno sporo i u ograničenom opsegu. Umjesto traženja odgovora na pitanje da li odgovornost za takvu situaciju više leži na HEP-u ili nadležnoj državnoj upravi, daleko je primjerenije postaviti sljedeće pitanje: zašto prvo nije izrađen, te u široj stručnoj raspravi usuglašen i prihvaćen jedan cjeloviti srednjoročni plan (na kon-

cepcijskoj, ali i na osnovnoj operativnoj razini) razvoja tržišta električne energije u Hrvatskoj i elektroenergetskog sektora u cjelini? Dalje u ovom tekstu dan je osobni autorski pogled na navedenu problematiku, uz neke konkretne prijedloge mogućih opcija daljnjeg razvoja.

## 2. OSNOVNI MODELI ORGANIZACIJE ELEKTROPRIVREDNIH DJELATNOSTI

Tržište električne energije nužno nameće potrebu za restruktuiranjem organizacije i načina rada vertikalno integriranih elektroprivrednih poduzeća koja su do početka devedesetih u većini zemalja u svijetu imali monopol nad svim elektroprivrednim djelatnostima (ili većem dijelu, npr. proizvodnjom i prijenosom). U sljedećoj tablici prikazani su osnovni organizacijski oblici koji omogućavaju različite razine tržišnih odnosa u elektroenergetskom sektoru.

**Tablica 1. Oblici organizacije elektroprivrednih djelatnosti**

| Model | Monopol | Jedan kupac (single buyer) | Veletržište (wholesale competition) | Maloprodaja (retail competition) |
|---|---|---|---|---|
| Opis | monopol na svim razinama | konkurencija u proizvodnji: isključivo prema jedinom kupcu | mogućnosti izbora distributera i velikih potrošača | mogućnost izbora svih kategorija potrošača |
| konkurencija u proizvodnji? | ne | da/djelomično | da | da |
| distributeri biraju? | ne | ne | ne/da | da |
| potrošači biraju? | ne | ne | djelomično | da |

Hrvatska danas prema Zakonu o tržištu električne energije

Budući da hrvatski Zakon o tržištu električne energije u globalu definira jednu varijantu veletržišnog modela, istome će biti posvećen najveći dio daljnjeg teksta: s jedne strane opće karakteristike ovog modela, te s druge strane, mogućnost primjene u okviru specifičnosti hrvatskog EES-a.

### 2.1. Osnovne karakteristike i podvarijante veletržišnog modela

Osnovne karakteristike veletržišnog modela (wholesale competition) mogu se sažeti u sljedećem:

1. Radi se o djelomično otvorenom tržištu, gdje samo ograničen broj potrošača, definiranih najčešće veličinom godišnje potrošnje, imaju slobodan izbor dobavljača električne energije, dok se ostali potrošači nalaze u sustavu javne usluge, tj. opskrbljuje ih jedan opskrbljivač – nositelj javne usluge. Proizvođači samostalno ugovaraju način isporuke i cijenu električne energije s povlaštenim potrošačima, a tarifne potrošače opskrbljuju prema tarifnom sustavu definiranom, odnosno odobrenom od strane nekog nezavisnog regulatornog tijela.
2. Prijelaz u ovakav model nužno zahtijeva znatne tranzicijske troškove, te dodatne troškove administracije pristupa i korištenja prijenosne i dijelom distributivne mreže.
3. Troškovi rizika cijena električne energije (troškovi proizvodnje i/ili cijena na tržištu) prenose se većim dijelom na proizvođače i povlaštene potrošače, za razliku od netržišnog sustava gdje rizike snose isključivo potrošači. Teoretski, proizvođači i potrošači proizvoda (u ovom slučaju električne energije) bi trebali bolje upravljati rizicima u odnosu na varijantu s državnom regulativom. To dakako ne mora značiti da će se troškovi rizika stvarno smanjiti, budući da se cijena rizika nadoknađuje povećanjem troškova proizvodnje električne energije.
4. U odnosu na monopolnu varijantu organizacije elektroprivrednih djelatnosti, veletržišni model smanjuje političke utjecaje, iako ne u cijelosti. Osnovna pretpostavka za to je svakako dobro definiran zakonodavni okvir i tehnička regulativa djelovanja tržišta električne energije.
5. Veletržišni model je uvijek prethodnica modelu potpuno otvorenog tržišta (retail competition) u kojemu je svim potrošačima omogućen slobodan odabir isporučitelja električne energije.

Osnovne podvarijante veletržišnog modela s obzirom na način organizacije tržišta električne energije jesu bilateralno tržište, pool sistem, te njihove različite mješavine. Posebno se može govoriti o tzv. pomoćnim tržištima, tj. tržištu pomoćnih usluga (ancillary services market) i tržištu odstupanja (balancing market).

#### 2.1.1. *Bilateralno tržište*

Čisto bilateralno tržište električne energije podrazumijeva da tržišni mehanizmi, temeljeni na bilateralnim ugovorima proizvođača i trading poduzeća s jedne strane, te potrošača s druge strane, dovode do realne

tržišne cijene električne energije. Pri tome su mogući sljedeći tržišni mehanizmi:

- Spot tržište (spot market i power exchange) na kojemu se ugovara trenutna isporuka električne energije, na osnovi poznate fiksne cijene za određenu količinu električne energije.
- Tržište dan unaprijed (day ahead market), na sličan način kao i spot tržište, ali za isporuku električne energije sljedećeg dana.
- Tzv. forward i future ugovori, kojima se ugovara buduća isporuka električne energije, s fiksnom ili varijabilnom cijenom koja može biti vezana za neki tržišni indeks. Radi se najčešće o čistom financijskom tržištu gdje isporučitelj električne energije nije unaprijed poznat.
- PPA ugovori kojima konkretni dobavljač i kupac ugovaraju vrijeme, količinu i cijenu električne energije.
- Wholesale ugovori u kojima se definira vrijeme, količina i cijena električne energije, ali ne i izvor (proizvođač, dobavljač).

2.1.2. *Pool sistem*

U pool sistemu tržišta električne energije, cijena i količina energije koju isporučuje pojedini proizvođač formira se na osnovi centraliziranog optimizacijskog procesa temeljenog na marginalnim troškovima ponude i potražnje, a kojeg izvodi nezavisna institucija. Zaštita od varijacija cijena na tržištu realizira se kratkoročnim i dugoročnim financijskim bilateralnim ugovorima (future, options, swap), a najčešće na osnovi CFD principa (contract for difference).

Osnovne varijante pool sistema su:

- Obvezatni pool (mandatory pool), u kojem se sva trgovina električnom energijom mora realizirati preko pool-a.
- Dobrovoljni pool (voluntary pool), u kojem je dozvoljeno i bilateralno tržište, tj. kupoprodaja električne energije preko pool-a nije obvezna za sve sudionike na tržištu električne energije.

Pool sistem su prihvatile uglavnom anglosaksonske zemlje, a prevladava druga varijanta (dobrovoljni pool). Obvezatni pool sistem godinama nameće brojna pitanja vezana za tržišnu efikasnost istog. Interesantan je podatak da je obvezatni pool u Velikoj Britaniji (Engleska i Wells), koji je 90-tih godina redovito apostrofiran kao primjer uzorno organiziranog tržišta električne energije, nedavno ukinut, a uveden je novi sustav temeljen na modelu bilateralnog tržišta (NETA – New Electricity Trading Arrangements).

2.1.3. *Pomoćna tržišta*

Pomoćne sistemske usluge, u što spadaju proizvodnja jalove snage, regulacija frekvencije, rezerva snage, crni start itd., mogu se jednim dijelom ili u cijelosti također prepustiti tržišnim mehanizmima na sličan način kao i osnovno tržište električne energije.

Tržište odstupanja (balancing market) vrlo je bitan dio tržišta koje je teško realizirati na sustavu bilateralnih ugovora. Naime, za uredan rad EES-a nužna je regulacija proizvodnje koja će pokriti (u plusu ili minusu) odstupanja potrošnje električne energije u realnom vremenu od ugovorene nabave. Odgovarajuću regulacijsku energiju moguće je osigurati putem organiziranog tržišta električne energije (tržište odstupanja), ali su moguće i druge varijante ukoliko nema dovoljan broj proizvođača koji mogu osigurati regulacijsku energiju.

Pitanje garancije snage, odnosno naknade za snagu može se, ali i ne mora, pod određenim uvjetima smatrati pomoćnim tržištem. U pojedinim tržištima električne energije ono uopće ne figurira kao posebna tržišna kategorija, a s druge strane u nekim tržišnim sustavima (pool) udio snage u ukupnim troškovima za električnu energiju je vrlo značajan. Cijena snage se u takvim slučajevima obično računa na osnovi standardnog matematičkog modela za proračun vjerojatnosti neisporuke snage (LOLP – Loss of load probability), računatog na osnovi poznate ukupne potražnje i ponuđenih proizvodnih kapaciteta na tržištu, te vrijednosti neisporučene električne energije, obično indeksno vezane za GDP.

2.1.4. *Otvorenost tržišta električne energije u Zapadnoj Europi*

Otvorenost tržišta električne energije u Zapadnoj Evropi [1] prikazana je u tablici 2, kroz sljedeće pokazatelje:

- Deklarirani nivo otvorenosti tržišta.
- Planirana godina potpunog otvaranja tržišta.
- Način izdvajanja operatora prijenosne mreže (TSO ):
  - vlasnički odvojen od ostalih elektroprivrednih djelatnosti (O – ownership),
  - pravno odvojen kao poseban entitet u kojemu ostali sudionici na tržištu električne energije mogu imati udjele (L – Legal),
  - odvojen na razini upravljanja/menadžmenta od poduzeća koje obavlja ostale elektroprivredne djelatnosti (M – Management).
- Način regulacije tržišta:
  - regulirani pristup trećoj strani (rTPA - regulated third party access) kontroliran od strane nezavisnog regulatornog tijela, u ex-ante i ex-post varijanti,
  - pristup trećoj strani na osnovi ugovornih odnosa zainteresiranih subjekata na tržištu električne energije (nTPA - negotiated third party access).
- Razina cijena korištenja prijenosne mreže.
- Postojanje tržišta odstupanja (balancing market).
- Tržišni udio tri najveća proizvođača.

**Tablica 2. Osnovni pokazatelji otvorenosti tržišta u Zapadnoj Europi (stanje u prosincu 2001.)**

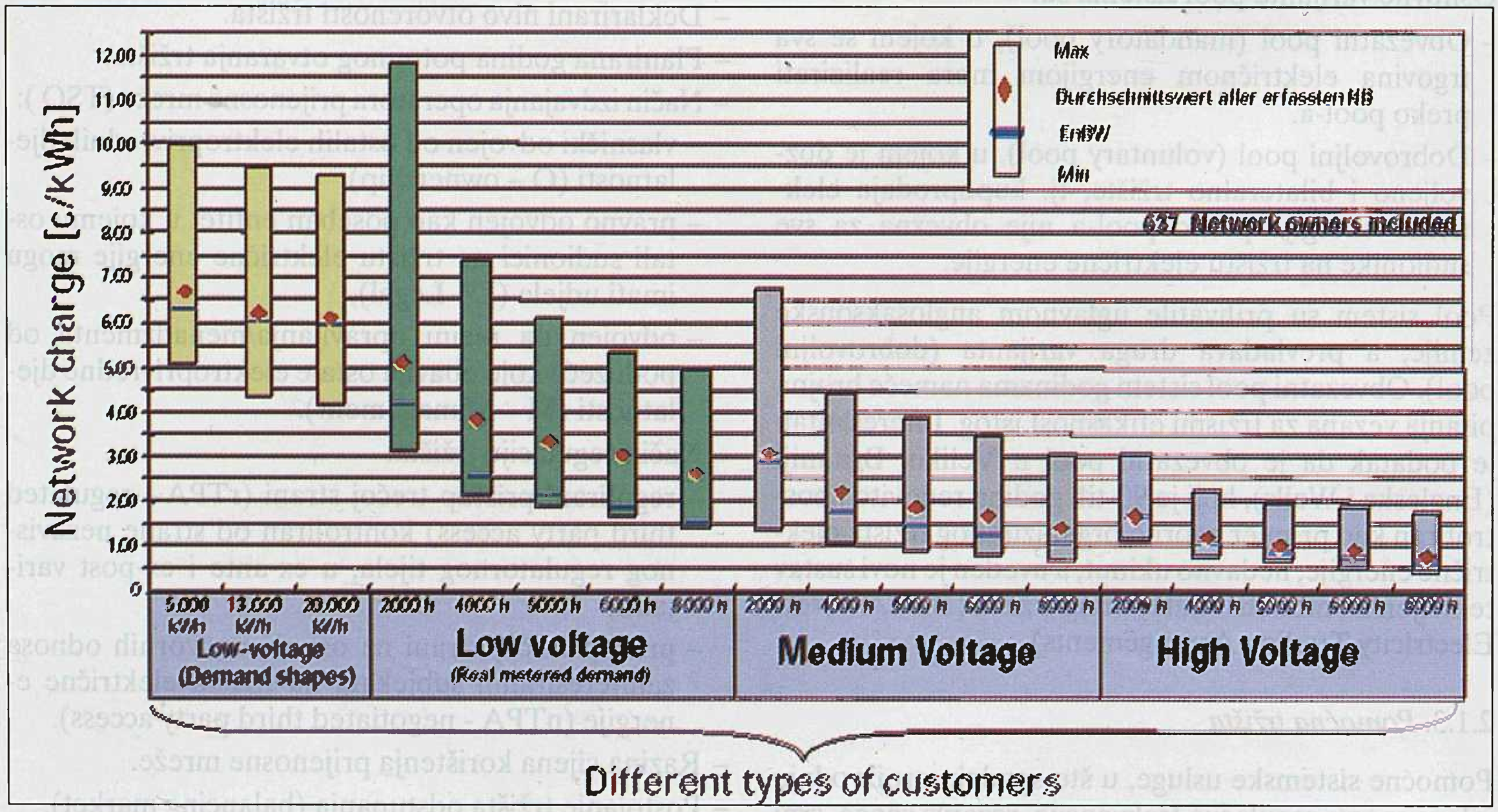
| | Declared market opening | Full opening date | Unbundling of TSO[1] | Regulator | Network tariffs | Balancing market | Biggest three generator share (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Austria | 100% | 2001 | L | ex-ante | high | Y | 68 |
| Belgium | 35% | 2007 | L | ex-ante | medium | N | 97 (2) |
| Denmark | 90% | 2003 | L | ex-post | low | Y | 75 (2) |
| Finland | 100% | 1997 | O | ex-post | low | Y | 54 |
| France | 30% | none | M[3] | ex-ante | medium | planned | 98 (1) |
| Germany | 100% | 1999 | M | nTPA | high | only 2/6 TSO | 63 |
| Greece | 30% | none | M | ex-ante | n.a. | N | 100 (1) |
| Ireland | 30% | 2005 | L | ex-ante | medium | N | 97 (1) |
| Italy | 45% | none | L | ex-ante | medium | planned | 79 (2) |
| Neth | 33% | 2003 | L | ex-ante | medium | Y | 64 |
| Portugal | 30% | none | L | ex-ante | high | N | 85 |
| Spain | 45% | 2003 | L | ex-ante | high | Y | 79 |
| Sweden | 100% | 1998 | O | ex-post | low | Y | 77 |
| UK | 100% | 1998 | O | ex-ante | low | Y | 44 |

Napomena: Crvenom bojom označene su kategorije u pojedinim zemljama koje prema nalazima EU ne pridonose razvoju internog tržišta električne energije, zelenom bojom je označeno suprotno, a bijelom bojom neutralna situacija.

## 2.2. Prijenosna mreža u (djelomično) otvorenom tržištu električne energije

Prijenosna mreža, a u potpuno otvorenom tržištu i distributivna mreža, predstavlja osnovnu fizičku infrastrukturu koja omogućava djelovanje tržišta električne energije. Zbog toga od izvantržišnih segmenata, prijenosna mreža ima jednu od najbitnijih uloga u razvoju tržišta električne energije, bez obzira o kakvom se modelu tržišta radi i kakav je nivo otvorenosti tržišta. Ključna pitanja koja se postavljaju vezano za rad i upravljanje prijenosnom mrežom u (polu)otvorenom tržištu električne energije su:

1. Kako definirati tarifni sustav za usluge korištenja prijenosne mreže. Pri tome je potrebno definirati sljedeće:
   - po kojem modelu će se vršiti tarifiranje (postage stamp, per-MWmile, contract path, real--time pricing itd.)?,
   - tko plaća troškove korištenja prijenosne mreže i u kojem omjeru (proizvođači, potrošači)?,
   - način plaćanja i obračuna prenesene snage i energije,
   - na koji način naplaćivati tranzite: prema razvoju situaciju u Zapadnoj Europi, za očekivati je




**Slika 1. Cijene korištenja prijenosne i distributivne mreže u Njemačkoj**

prihvaćanje jedinstvenog tarifnog sustava za tranzite električne energije na razini EU, a vjerojatno i šire (Florance Forum).

2. Pokrivanje, obračun i naplata gubitaka električne energije.
3. Troškovi zagušenja prijenosne mreže.
4. Način regulacije rada prijenosne mreže, uključujući i izgradnju.
5. Upravljanje prijenosnom mrežom i sustavom u cjelini:
   - integrirani sustav održavanja, upravljanja i vođenja prijenosne mreže i upravljanja EES-om (Transmission system operator - TSO),
   - upravljanje i vođenje sustava i prijenosne mreže (System operator – SO) odvojeno od održavanja i upravljanja prijenosnom mrežom na fizičkoj razini (Transmission operator – TO).

Važnost prijenosne mreže u tržišnom okruženju ogleda se, osim u razini transparentnosti i nediskriminiranja sudionika na tržištu električne energije, prvenstveno kroz cijene korištenja prijenosne mreže. Prema [2], prosječne cijene koji veliki potrošači plaćaju za korištenje prijenosne mreže kreću se od 1,4-8,5$/MWh za promatrane zemlje. U Njemačkoj su cijene veće, a prosječno iznose oko 10$/MWh. Ne manje bitno, pogotovo u slučaju potpuno otvorenog tržišta, jesu i cijene korištenja distributivne mreže koje su daleko veće. Kao primjer, na slici 1. prikazan je raspon i srednje vrijednosti troškova prijenosne i distributivne mreže u Njemačkoj, ovisno o naponskom nivou i godišnjem upotrebnom vremenu.

## 3. TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE U HRVATSKOJ

Uspostava tržišta električne energije bitno ovisi o brojnim izvantržišnim faktorima. Među najznačajnije mogu se navesti:

- **Institucionalni okvir** u smislu političkog, pravnog i socijalnog okruženja ogleda se prvenstveno u:
  - stabilnosti političkih uvjeta,
  - sređenosti imovinsko-pravnih odnosa,
  - involviranosti elemenata socijalne politike u cijene električne energije,
  - prihvaćanju tržišnih odnosa od strane društva itd.
- **Izvantržišna infrastruktura** koja omogućava razvoj tržišta električne energije, a za koju sudionici na tržištu električne energije nisu primarno odgovorni:
  - pravni sustav,
  - transportni sustav,
  - znanstveno-istraživačke ustanove itd.
- **Vlasnička prava** i sustav koji omogućava efikasnu provedbu zakonske regulative, kao npr.
  - pravo korištenja vodnih i ostalih prirodnih resursa,
  - pravo preuzimanja energije iz mreže itd.
- **Elektroenergetska infrastruktura** koja nije u tržišnoj domeni, u prvom redu prijenosna i distributivna mreža, koja mora biti pod nadzorom odgovarajućeg regulatornog tijela, budući da je od primarne važnosti za nediskriminirajuće djelovanje tržišta.

Iako svi navedeni faktori bitno utječu na razvoj tržišnih odnosa, isto tako se može reći kako i u netržišnim odnosima njihove manjkavosti također onemogućavaju poslovanje elektroenergetskog sektora i tranzicijske aktivnosti.

### 3.1. Osnovna polazišta i ciljevi deregulacije u elektroenergetskom sektoru Hrvatske

Osnovna polazišta deregulacije i razvoja tržišnih odnosa u elektroenergetskom sektoru u Hrvatskoj mogu se sažeti u sljedećem:

- Postojeće zakonske odredbe (Zakon o energiji, Zakon o regulaciji elektroenergetskih djelatnosti, Zakon o tržištu električne energije), pri čemu iste treba promatrati isključivo kao osnovni okvir kojeg se u svim segmentima treba pridržavati, ali po potrebi i mijenjati ukoliko se određene zakonske odredbe pokažu ograničavajućim faktorom razvoja, prvenstveno u smislu mogućnosti praktične implementacije.
- Strateške odrednice razvoja elektroenergetskog i općenito energetskog sektora, čija osnova mora biti postojeća Strategija energetike RH, ali koja tijekom vremena mora nužno biti kritički promatrana i prilagođavana specifičnim uvjetima rada elektroenergetskog sustava u RH i postojećim svjetskim trendovima. Pri tome je od ključne važnosti dobro balanciranje strateški proklamiranih ciljeva i realnih mogućnosti s obzirom na postojeće društveno-ekonomsko stanje i mogućnosti.
- Pozitivna iskustva u svijetu u restrukturiranju i deregulaciji elektroenergetskog sektora, a posebno kompatibilnost sa zapadnoeuropskom regulativom u granicama vlastitih specifičnih gospodarskih interesa.
- Postojeća organizacijska, tehnološka i kadrovska struktura i potencijali Hrvatske elektroprivrede kao glavnog subjekta procesa restruktuiranja, a posebno svih segmenata i podsustava upravljanja i gospodarenja EES-om Hrvatske.

Uz navedena polazišta razvoja tržišnih odnosa u elektroenergetskom sektoru Hrvatske, posebno treba istaknuti i osnovne ciljeve ovog procesa:

- Održavanje u najmanju ruku postojeće razine sigurnosti rada sustava i redovitosti opskrbe električnom energijom svih potrošača.
- Održavanje primjerene razine cijena električne energije.
- Osiguranje potrebnih preduvjeta za razvoj tržišta električne energije prije deklarativnog uvođenja tržišta.

– Uvažavanje svih domaćih specifičnosti, na način da se postojeća vanjska iskustva nastoje prilagoditi realno ostvarivim uvjetima.
– Osiguranje nesmetanog tijeka privatizacije HEP Grupe.

Hrvatske specifičnosti uglavnom podrazumijevaju najvažnije postojeće probleme rada EES-a Hrvatske, odnosno HEP Grupe, kao što su:

– Dugogodišnja podinvestiranost praktički u svim segmentima EES-a,
– Neriješen status ulaganja u elektrane izvan teritorija RH,
– Problemi s krađom, gubicima i naplatom električne energije,
– Višak zaposlenih u odnosu na zapadnoeuropske standarde,
– Relativno visoki politički utjecaj.

### 3.2. Trenutno stanje

Za trenutno stanje elektroenergetskog sektora u Hrvatskoj najbitniji su sljedeće činjenice:

1. Paket energetskih zakona stupio je na snagu početkom 2002. godine, ali sam po sebi ne omogućava praktičnu provedbu:
   – nedostaju brojni podzakonski akti,
   – nedostaje opsežna tehnička regulativa,
   – nedostaje jasna vizija i strategija u kakvom praktičnom obliku implementirati zakone.
2. Restrukturiranje (djelomični unbundling) HEP-a izvršeno je pretvorbom HEP-a u koncern HEP Grupu u srpnju 2002. godine, ali:
   – restrukturiranje je do sada provedeno uglavnom na formalno-pravnoj osnovi,
   – nema čvrstog stava u smislu razgraničenja, uspostave korporativnih odnosa i načinu formiranja internih i eksternih cijena,
   – nedefiniran je način uspostave i rada (praktične implementacije) Nezavisnog operatora sustava i tržišta, Operatora proizvodnje, HEP Trade, upravljanja prijenosnom mrežom itd.
3. Osnovne pretpostavke za razvoj tržišta električnom energijom vrlo su upitne. Naime, otvorenost tržišta je minimalna, budući da je udio povlaštenih potrošača na razini cca. 10% ukupne potrošnje, a na strani proizvodnje je praktički jedini subjekt HEP Proizvodnja uz eventualno strane proizvođače i dobavljače električne energije. Dobra strana ovakve situacije je mogućnost da se promjene postojećeg načina rada EES-a izvode etapno i oprezno, kako drastični rezovi postojećeg sustava ne bi doveli do neželjenih posljedica. S druge strane, nužno je ulaganje velikog napora za dovršenje i eventualno popravljanje zakonske i tehničke regulative koja će na transparentan način osigurati zakonski definirana prava povlaštenih potrošača i novih subjekata na tržištu električne energije (proizvođači izvan HEP Grupe, tvrtke za trgovinu električnom energijom itd.)

Jedan od mogućih pravaca daljnjeg razvoja podrazumijeva:

– etapni razvoj tržišnih odnosa u elektroenergetskom sektoru, koji u prvoj fazi ima za glavni cilj poštivanje osnovnih zakonskih odredbi u najnužnijem opsegu,
– uvođenje isključivo onih rješenja koja se mogu implementirati u postojećem stanju i za koje će prethodno biti detaljno razrađena i usvojena potrebna regulativa,
– istodobno stvaranje svih potrebnih pretpostavki za daljnji razvoj tržišnih odnosa.

Pri tome ključnu ulogu treba odigrati HEP Grupa, koja mora predložiti praktične modele implementacije svih operativnih detalja vezanih za prijelazni period i prvu fazu praktične uspostave tržišnog segmenta djelovanja elektroenergetskog sektora, kao što su:

– definiranje tarifnog sustava za korištenje prijenosne i distribucijske mreže,
– način upravljanja EES-om na svim razinama,
– rješavanje problema razgraničenja prijenosna, distribucije i proizvodnje,
– definiranje pravila rada tržišta,
– tehnološko unaprjeđenje svih primarnih sustava i podsustava koji su u direktnoj funkciji rada tržišta električnom energijom, a posebno sustava mjerenja i obračuna preuzimanja električne energije na svim razinama.

### 3.3. Uspostava Nezavisnog operatora sustava i tržišta i transformacija Sektora za gospodarenje i vođenje EES-om

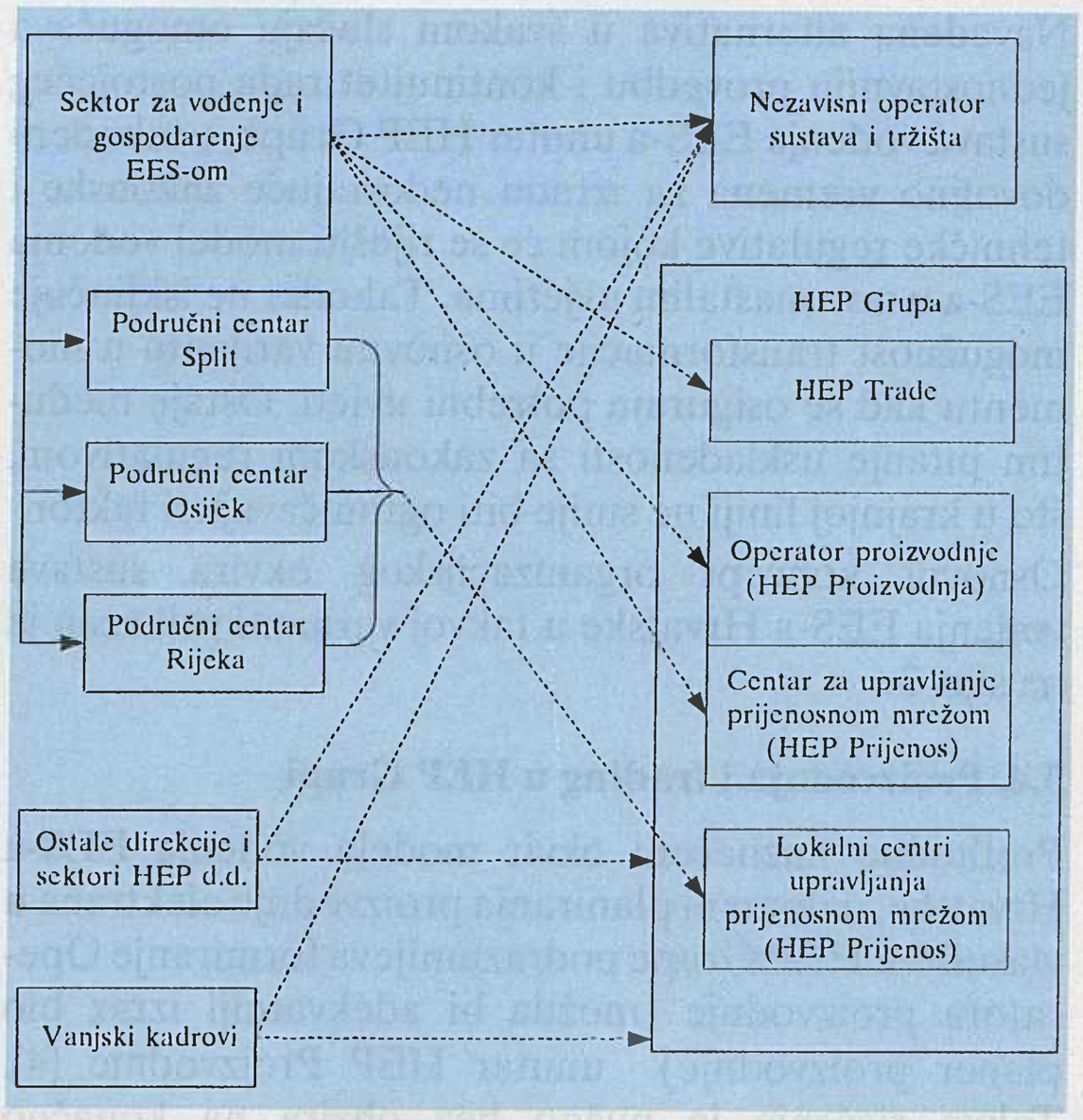
Hrvatski Nezavisni operator sustava i tržišta, kao nezavisna institucija u vlasništvu vlade RH, a na osnovi odredbi Zakonu o tržištu električne energije, trebao bi preuzeti odgovornost za vođenje elektroenergetskog sustava i organiziranje tržišta električne energije.

U domeni vođenja elektroenergetskog sustava, zakonski su definirani poslovi koje obavlja Nezavisni operator sustava i tržišta, a dani su vrlo široko i uglavnom načelno. Njihova operativna implementacija ovisit će dakako o stvarno prihvaćenom (odabranom) modelu tržišta, za koje su moguće prethodno opisane opcije:

– od čistog bilateralnog tržišta bez centralne koordinacije izuzev eventualno centraliziranog vođenja i obračuna odstupanja, kroz uspostavu odgovarajućeg tržišta (balancing market) ili kroz uvođenja sustava obračuna i naplate odstupanja (imbalance settlement) na osnovi unaprijed definiranih pravila rada,
– do visoko centraliziranog tržišta temeljenog na jakom spot tržištu i obveznom ili dobrovoljnom pool sustavu u kojemu bi se usko integrirale tržišne funkcije i funkcije vođenja sustava u realnom i proširenom realnom vremenu.

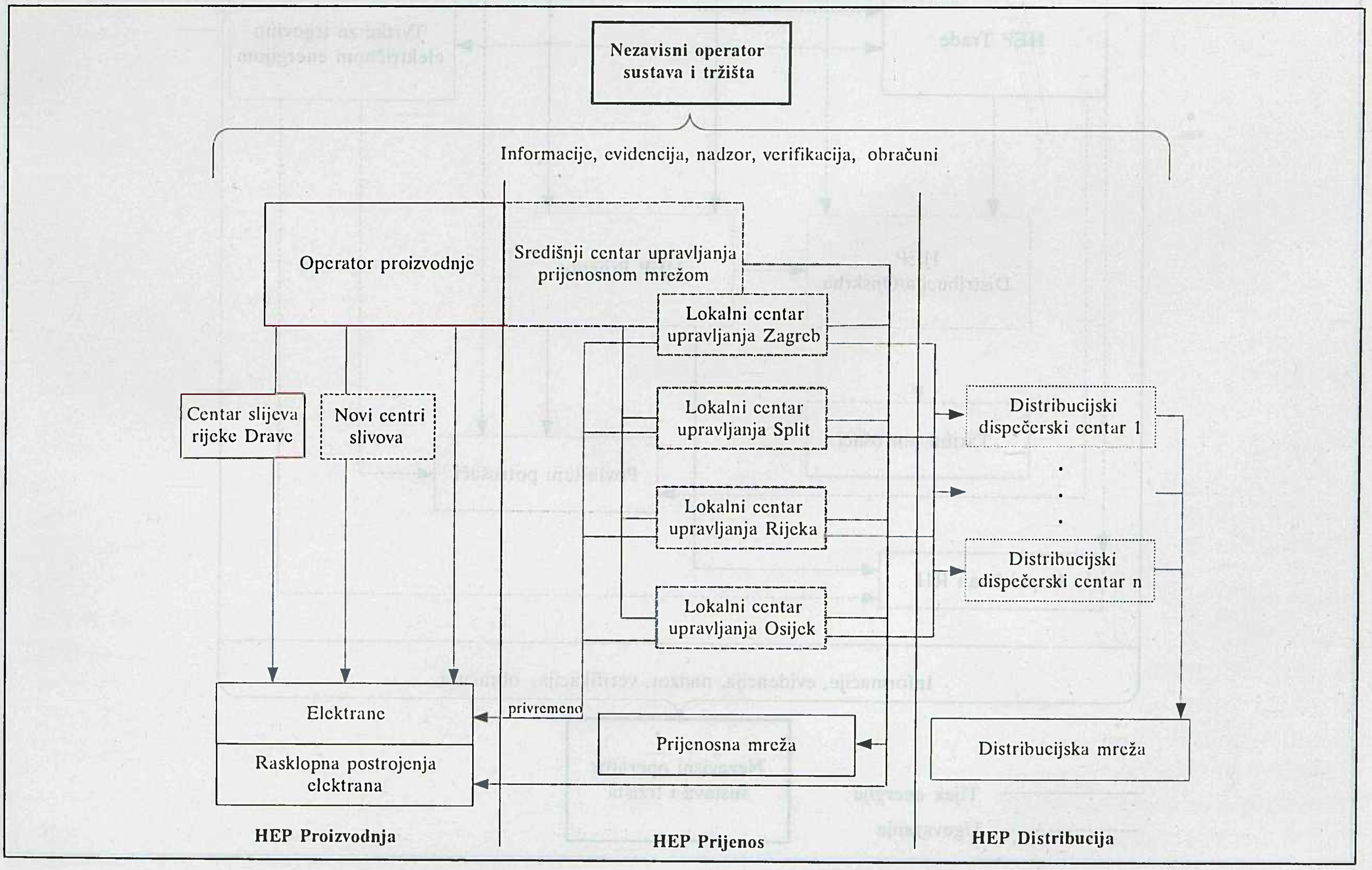
Osnovni problem koji proizlazi iz zakonski definiranog modela upravljanja EES-om leži u odabiru varijante s odvojenim Nezavisnim operatorom sustava i Operatorom prijenosne mreže (HEP Prijenos), za razliku od općeprihvaćene zapadnoeuropske prakse u kojoj je Operator prijenosne mreže i sustava (TSO – Transmission system operator) integriran u jednoj pravnoj osobi, s različitim modelima razdvajanja istog od ostalih elektroprivrednih djelatnosti. Ovo pitanje naročito je potencirano u slučaju manjih elektroenergetskih sustava kao što je hrvatski, u kojima je razdvajanje tehnološko usko povezanih poslova upravljanja prijenosnom mrežom i sustavom općenito od poslova održavanja i lokalnog upravljanja prijenosnom mrežom, neprirodno rješenje pogotovo na razvojnoj i tehnološkoj razini koja je još uvijek daleko od zapadnoeuropskih standarda. Ukoliko ne dođe do revizije i promjene navedenih zakonskih odredbi, moguća su dva osnovna rješenja uspostave Nezavisnog operatora sustava i tržišta:

1. Da se isti formira iz postojećeg Sektora za vođenje i gospodarenje EES-om iz HEP Grupe, preuzimanjem većine dosadašnjih funkcija Sektora, što ujedno znači i preuzimanje svih funkcija na operativnoj razini upravljanja prijenosnom mrežom i EES-om. Ovakva koncepcija predstavlja osnovnu varijantu koja se tijekom 2002. godine pojavljuje u službenim dokumentima HEP-a.
2. Da većina sadašnjih funkcija Sektora za vođenje i gospodarenje EES-om ostane u okviru HEP Grupe




**Slika 2. Moguća alternativa transformacije Sektora za gospodarenje i vođenje EES-a**

(podijeljena na HEP Prijenos, HEP Proizvodnju i HEP Trade), a dio se odvoji kao Nezavisni operator sustava i tržišta koji bi u prvoj fazi preuzme poslove kontrole, nadzora i verifikacije svih aktivnosti na području vođenja EES-a i tržišta električne energije, dok bi unutar HEP Grupe ostale sve operativne funkcije (slika 2).




**Slika 3. Sustav vođenja EES-a Hrvatske**

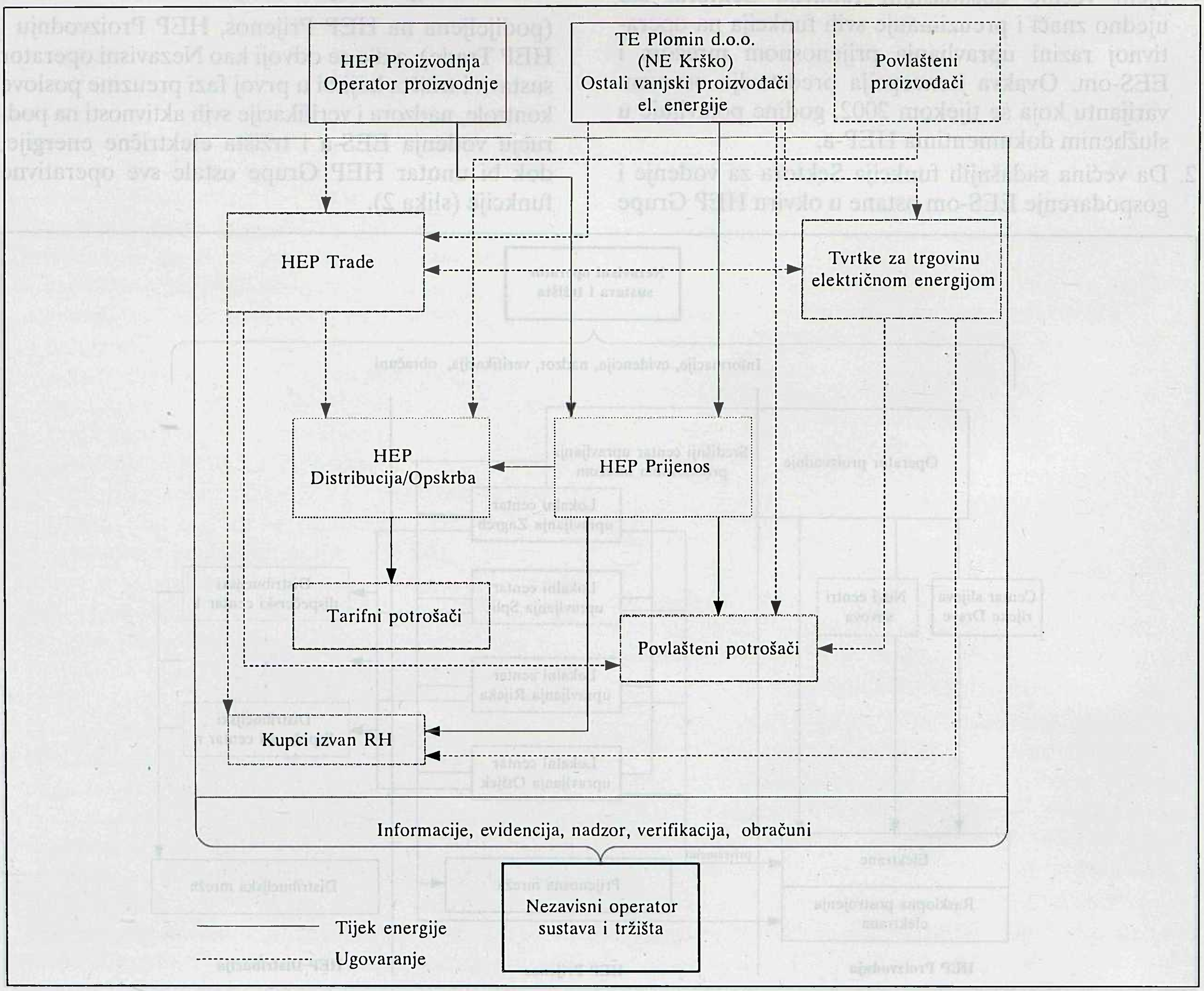
Navedena alternativa u svakom slučaju omogućava jednostavniju provedbu i kontinuitet rada postojećeg sustava vođenja EES-a unutar HEP Grupe, a također i dovoljno vremena za izradu nedostajuće zakonske i tehničke regulative kojom će se riješiti model vođenja EES-a u novonastalim uvjetima. Također ne isključuje mogućnost transformacije u osnovnu varijantu u momentu kad se osiguraju potrebni uvjeti. Ostaje međutim pitanje usklađenosti sa zakonskom regulativom, što u krajnjoj liniji ne smije biti ograničavajući faktor.

Osnovni koncept organizacijskog okvira sustava vođenja EES-a Hrvatske u takvoj varijanti prikazan je na slici 3.

### 3.4. Proizvodnja i trading u HEP Grupi

Prethodno naznačeni okvir modela vođenja EES-a Hrvatske, u domeni planiranja proizvodnje elektrana u vlasništvu HEP Grupe podrazumijeva formiranje Operatora proizvodnje (možda bi adekvatniji izraz bio planer proizvodnje) unutar HEP Proizvodnje [4]. Takvo rješenje je nužno bez obzira na konačno prihvaćeni model, a ustaljena je praksa u svim tvrtkama za proizvodnju električne energije u svijetu. Pri tome operator/planer proizvodnje izvodi sve funkcije planiranja rada proizvodnih objekata u vlasništvu HEP Grupe (po potrebi i šire) i to na svim vremenskim razinama, a u domeni operativnog vođenja istih, izvodi dio funkcija u suradnji s Nezavisnim operatorom sustava i tržišta i HEP Prijenosom. Osnovna podloga, odnosno razlog za formiranje operatora/planera proizvodnje temelji se na nužnoj potrebi preuzimanja odgovornosti i preuzimanju poslovnih rizika od strane HEP Proizvodnje za optimalno gospodarenje proizvodnim kapacitetima, a prvenstveno hidroenergijom kao resursom koji zasigurno može odigrati ključnu ulogu u uspješnom poslovanju HEP Grupe u nadolazećem tržišnom okruženju. Posebno je pitanje uspostava odnosa između HEP Proizvodnje i HEP Trade, te način organizacije i djelovanja HEP Trade. U takvom modelu, međusobni odnosi sudionika u EES-u (tokovi energije i ugovaranja) prikazani su na slici 4.

Vrlo bitno pitanje, koje se primarno mora koncipirati i riješiti na nivou HEP Grupe, ali i odgovarajućom zakonskom i tehničkom regulativom, je razdvajanje




**Slika 4. Međusobni odnosi, tokovi energije i ugovaranja u EES-u Hrvatske**

tržišnog i izvantržišnog segmenta. Naime, zbog činjenice da će neko vrijeme veliku većinu potrošača činiti tarifni potrošači, a HEP Grupa će preuzeti obvezu njihove opskrbe u cjelini, posebno je bitan način razdvajanja troškova njihove opskrbe od troškova proizvodnje za tržište. Osnovni model rješavanja ovog problema trebao bi biti uspostava ugovornih odnosa između HEP Proizvodnje i HEP Distribucije (odnosno HEP Opskrbe), prema kojemu bi HEP Proizvodnja osiguravala potrebnu energiju po tzv. "load following" modelu, u sklopu kojega bi (ili možda posebno) trebalo definirati i odnose s HEP Prijenosom vezano za troškove prijenosa električne energije. Iako ne nužno, HEP Trade bi mogao u ovakvom ugovoru zastupati interese HEP Proizvodnje, pri čemu bi isti s vanjskim dobavljačima osigurao kompletno pokrivanje potreba tarifnih potrošača za električnom energijom, tj. trebao bi osigurati opskrbu potrošača uz najekonomičniju varijantu kombiniranja proizvodnje iz elektrana HEP Proizvodnje, TE Plomin, NE Krško i uvozom električne energije.

HEP Trade se ipak primarno javlja u tržišnom segmentu, tj. u čistoj trgovini električnom energijom, u prvoj fazi vjerojatno isključivo na fizičkoj razini (physical electricity market):

- prodaja električne energije povlaštenim potrošačima,
- kupovina električne energije na vanjskim tržištima, te
- prodaja električne energije kupcima izvan RH.

U perspektivi, može se očekivati i širenje područja rada, npr. na:

- financijsko tržište električnom energijom (financial electricity market),
- trgovina ostalim energentima.

Među brojnim problemima koje nameće postojeća zakonska regulativa i moguće opcije njene implementacije, u domeni proizvodnje električne energije mogu se istaknuti dva karakteristična problema:

1. Problem povlaštenih proizvođača izvan HEP Grupe koji se u perspektivi uključuju u opskrbu tarifnih potrošača: tko plaća eventualnu razliku u cijeni po kojoj električnu energiju isporučuju povlašteni potrošači u odnosu na cijenu po kojoj bi HEP Proizvodnja proizvela ili HEP Trade kupio istu količinu energije?
2. Problem varijabilnosti troškova proizvodnje električne energije [8] potrebne za opskrbu tarifnih potrošača: tko će snositi rizike varijabilnosti hidroloških prilika, cijena primarnih energenata i cijena uvozne energije?

Odgovore na ova i brojna dodatna pitanja zasigurno neće biti lako pronaći, pogotovo imajući u vidu da se radi o troškovima koje bi ipak u krajnjoj liniji trebalo prebaciti na tarifne potrošače.

### 3.5. Troškovi korištenja prijenosne mreže, pomoćnih sistemskih usluga i odstupanja

#### 3.5.1. *Troškovi prijenosne mreže*

Načelno, troškove korištenja prijenosne mreže treba naplaćivati HEP Prijenos od korisnika: proizvođača i potrošača električne energije, te vanjskih korisnika u slučaju tranzita. Za model razdiobe troškova između proizvođača i potrošača, te načina obračuna troškova logično se nameće preuzimanje nekog isprobanog rješenja kojeg je moguće relativno lako implementirati s obzirom na vlastite specifičnosti. Moguća opcija je Njemački model [9], u kojemu kompletne troškove plaćaju potrošači (iako se razmatraju i alternativne mogućnosti), a način obračuna je jednostavni "postage stamp" princip, gdje su troškovi prijenosne mreže definirani mjestom (naponskim nivoom) preuzimanja električne energije, i to ovisno o upotrebnom vremenu. Naplata tranzita trebala bi se temeljiti na proračunu marginalnih troškova koje uzrokuju tranziti, kako bi se moglo odvojiti fiksni dio (zauzeće kapaciteta prijenosne mreže) i varijabilni dio troškova (gubici). Ipak je ključno pitanje na koji način definirati troškove rada prijenosne mreže, te da li troškove gubitaka i zagušenja promatrati odvojeno. Zbog toga treba izvršiti detaljnu analizu potrebnih godišnjih troškova rada prijenosne mreže za amortizaciju kapitalne i ostale opreme, te troškove rada i održavanja mreže. Pokrivanje troškova gubitaka u prijenosnoj mreži može se u prvoj fazi riješiti na način da ih u cijelosti pokriva HEP Proizvodnja, uz definiranje modela prema kojemu bi se za sve energetske transakcije izvan sustava opskrbe tarifnih potrošača obračunavali i naplaćivali stvarni troškovi ugovornim stranama, što bi trebalo biti u nadležnosti Nezavisnog operatora sustava i tržišta.

Problem zagušenja u prijenosnoj mreži je prvenstveno u mogućnosti eventualnog ograničenja već ugovorenih količina električne energije. Iako je struktura prijenosne mreže u Hrvatskoj takva da se, kombinirano s trenutno vrlo malim udjelom povlaštenih potrošača, u početku ne mogu očekivati veći problemi u tom smislu, ipak bi trebalo izraditi pravilnik po kojemu bi Nezavisni operator sustava i tržišta arbitrirao u rješavanju nabave zamjenske energije ukoliko to ugovorne strane nisu u mogućnosti same napraviti.

#### 3.5.2. *Obračun i plaćanje odstupanja*

Odstupanje od ugovorenih količina isporuke/preuzimanja električne energije od strane povlaštenih potrošača, odnosno njihovih dobavljača, potrebno je riješiti odgovarajućim kodom (pravilnikom) kojim će se od odgovornih subjekata naplaćivati odgovarajući troškovi regulacijske energije. U razvijenim tržištima električne energije rješenje je u formiranju posebnog tržišta kojim proizvođači i potrošači unaprijed definiraju cijene takve energije ovisno o iznosu odstupanja i vremenu upotrebe. Takvo rješenje je kod nas trenutno

vrlo teško ostvarivo budući da regulaciju odstupanja trenutno može ponuditi samo HEP Proizvodnja. Zbog toga je realno izvedivo rješenje moguće u dvije varijante:

- Prva varijanta je da povlašteni potrošači, odnosno proizvođači i dobavljači električne energije izvan HEP Proizvodnje s HEP Proizvodnjom (eventualno s HEP Trade) dugoročno ugovore na bilateralnoj osnovi regulaciju odstupanja.
- Druga varijanta, koja ne isključuje prvu, je da HEP Proizvodnja predloži odgovarajući model kojim će se točno definirati cijene ovakve regulacijske energije, koji treba reflektirati stvarne troškove koje zbog toga ima HEP Proizvodnja, kojega će odobriti Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti, a čiju će primjenu nadzirati Nezavisni operator sustava i tržišta.

U obje varijante tehnički dio nužno mora odraditi HEP Prijenos (mjerenje), dok je za administrativni dio logično rješenje da to preuzme Nezavisni operator sustava i tržišta, koji bi konačni obračun prosljeđivao HEP Proizvodnji i subjektima odgovornim za odstupanja, na osnovi kojega bi isti bili obvezni isplatiti HEP Proizvodnji odgovarajuću naknadu.

Praktično rješenje i apliciranje druge varijante realno je predvidjeti s formiranjem bilančnih grupa na osnovi kojih bi se obračunavalo ukupno odstupanje na razini bilančne grupe, u osnovi prema Njemačkom modelu [9].

### 3.5.3. *Troškovi pomoćnih sistemskih usluga*

Subjekti na tržištu električne energije nužno moraju sudjelovati u pokrivanju dijela troškova svih pomoćnih sistemskih usluga. Konkretno, onog dijela koji se odnosi na njihov postotni udjel u ukupnoj angažiranoj snazi i predanoj/preuzetoj energiji. Formiranje tržišta za neke sistemske usluge (za neke to jednostavno nije ni moguće), u trenutnoj fazi razvoja tržišta električne energije u Hrvatskoj nije opravdano iako je teoretski moguće. U prvoj fazi se teško može računati i s varijantom bilateralnih ugovora vezanih za osiguranje nekih pomoćnih sistemskih usluga.

Za sada je jedno realno rješenje, budući da će HEP Proizvodnja osiguravati sve pomoćne sistemske usluge za regulirani dio i za tržišni dio, primjena sličnog modela kao što je prethodna opisana druga varijanta za plaćanje odstupanja. Dakle, HEP Proizvodnja bi trebala predložiti odgovarajući model kojim će se točno definirati troškove za svaku pomoćnu sistemsku uslugu odvojeno, a koji treba reflektirati stvarne troškove koje zbog toga ima HEP Proizvodnja. Model bi se trebao temeljiti na paušalnoj osnovi i plaćanju prema postotnom udjelu snage i energije. Takav model bi trebalo odobriti Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti, a primjenu nadzirati Nezavisni operator sustava i tržišta. Na taj način bi se osigurala i mogućnost da u perspektivi proizvođači izvan HEP Proizvodnje mogu sudjelovati u osiguranju nekih pomoćnih sistemskih usluga, te za to dobivati odgovarajuću naknadu.

## 4. ZAKLJUČAK

Liberalizacija elektroenergetskog sektora i tržišta električne energije zahtjevan je, osjetljiv, a u krajnjoj liniji u praksi dovoljno neispitan proces, koji čak i u visokorazvijenim zemljama otvara brojne dileme vezane prvenstveno za načine odvijanja istog, željene ciljeve, te dugoročnu ekonomsku opravdanost. U tranzicijskim zemljama kao što je naša, takvi procesi dodatno su otežani zbog naslijeđenih nepovoljnijih početnih uvjeta i gospodarsko-socijalnog okruženja. Iako su u Hrvatskoj napravljeni početni koraci u ovom pravcu, upravo su oni i pokazali kakve sve probleme treba riješiti i kako je vrlo teško pronaći pravi put. U tom smislu je i kroz ovaj članak pokušano upozoriti na probleme, te predložiti bar dio odgovora na neka bitna pitanja vezana za proces restrukturiranja i uvođenja tržišta električne energije u Hrvatskoj.

## LITERATURA


[1] "First report on the implementation of the internal electricity and gas market – executive summary", Commission of the European communities, Brussels, SEC (2001) 1957, 3.12.2001.

[2] G. SHUTTLEWORTH: "Electricity transmission pricing: the European perspective", n/e/r/a, London, July 1999.

[3] L. E. RUFF: "Competitive electricity markets: why they are wrong and how to improve them?", n/e/r/a, London, May 1999.

[4] Grupa autora: "Preoblikovanje HEP-a u grupu povezanih trgovačkih društava elektroprivrednih i pratećih djelatnosti", Fakultet elektrotehnike i računarstva Zagreb, 2002.

[5] Zakon o energiji, Hrvatski Sabor, srpanj 2001.

[6] Zakon o tržištu električne energije, Hrvatski sabor, srpanj 2001.

[7] Zakon o regulaciji energetskih djelatnosti, Hrvatski sabor, srpanj 2001.

[8] R. GOIĆ, M. LOVRIĆ, M. ŽODAN: "Analiza osjetljivosti i analiza rizika ostvarenja godišnjih varijabilnih troškova rada EES-a", V savjetovanje HK CIGRE, Cavtat, 2001.

[9] "Associations Agreement on Criteria for Calculation of Use of System Fees for Electrical Energy and on Principles of Third Party Access", Berlin, Essen, Hannover, Köln, 12/2001

[10] Directive 96/92/EC of the European Parliament and of the Council, December 1996.

[11] Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directives 96/92/EC and 98/30/EC concerning common rules for the internal market in electricity and natural gas, October 2001.

[12] G. BRUNEKREEFT: "Lessons from the German ESI", Oviedo, July 2002.

[13] P. L. JOSKOW: "Electricity sector liberalization: lessons learned what is the way forward?", Oviedo, July 2002.

[14] D. NEWBERY: "England's expirience with NETA", Oviedo, July 2002.

[15] Nils-Henrik von der Fehr: "Competition in electricity spot markets: economic theory and international expirience", University of Oslo, Department of economics, Feb. 1998.

[16] I. HERGUERA: "Bilateral contracts and the spot market for electricity: some observations on the British and the Nord Pool expiriences", Utility Policy, 9 (2000), 2001.

[17] G. BRUNEKREEFT, K. KELLER: "The electricity industry in Germany: market power or power of the market?", Utility Policy, 9 (2000), 2001.

[18] M. HSU: "An introduction of the pricing of electric power transmission", Utility Policy, Vol. 6, No. 3, 1997.

[19] ETSO proposal for a temporary cross-border trade mechanism, Association of European Transmission System Operators, September 2001.

[20] Rad i razvoj elektroenergetskog sustava u uvjetima predstojeće reforme i liberalizacije energetskog sektora, EI Hrvoje Požar, srpanj 2001.

[21] M. POWER, J. AMARANTE, K. LINDSTROM, I. ARNOTT, "Regulation and the impact on system operations," Proc. 2000 CIGRE Session, report 37/38/39-201

[22] P. VAN ROY, R. BELMANS, G. PEPERMANS, S. PROOST, B. WILLEMS AND CONINGS, "Opening of the European market for the electricity" University of Leuven Energy Institute, Leuven, Belgium, Tech. Rep. EI/St/02.3/Fin, June 2000.

[23] J. DRILLISCH, C. RIECHMANN, "Liberalization of the electricity supply industry - evaluation of reform policies -," CRIEPI/EWI, Cologne/Tokyo, Working paper EWI-98/5, Dec. 1998.

## POSSIBLE OPTIONS OF ELECTRIC ENERGY MARKET DEVELOPMENT IN CROATIA

Power system restructuring in Croatia and market introduction began in 2002 following the approval of a new energy laws package. Different options of operational implementation of this process in Croatia as well as possible consequences on the electric power system operation imply a careful analysis and reasonable choice of models corresponding to present circumstances in the power sector as well as to a wider economic and developmental interests. In the paper a short author's view is given as well as the evaluation of current situation in Croatia including possible development scenarios.

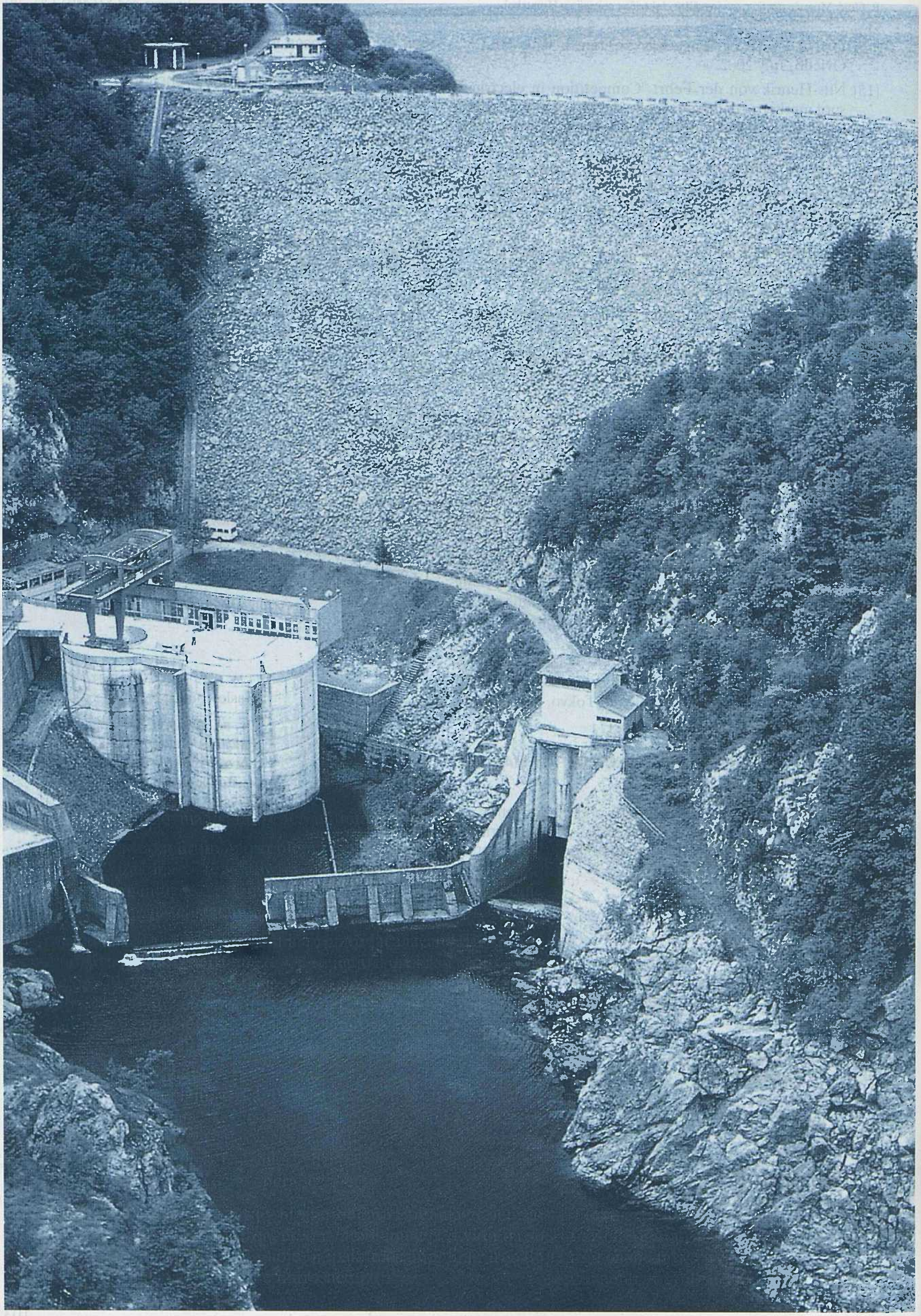
## ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN DES STROMMARKTES IN KROATIEN

Das Umgestaltungsvorgehen des elektroenergetischen Wirtschaftszweiges in Kroatien und die Einführung der Marktverhältnisse hat praktisch Anfangs 2002 mit dem Inkrafttreten der neuen Gesetzsammlung für den Bereich Energie, angefangen. Verschiedene Möglichkeiten praktischer Anwendung dieses Vorgehens in Kroatien, sowie mögliche Folgen für das Stromversorgungssystem, zwingen ein sorgfältiges Überdenken und eine beweiskräftige Modellauswahl auf, die den vorgefundenen Umständen in diesem Bereich und den breiteren Wirtschafts- und Entwicklungsinteressen gerecht sind. In diesem Artikel sind die Beurteilung der aktuellen Lage in Kroatien und mögliche Entwicklungsrichtungen aus der Sicht des Verfassers zusammengefasst dargestellt.

Naslov pisca:

**Dr. sc. Ranko Goić, dipl. ing.**
**Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split**
**R. Boškovića b.b., 21000 Split,**
**Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2002 – 12 – 04.



# ODREĐIVANJE NAJNIŽE CIJENE PARE ZA PROIZVODNJU TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE

Vedran U r a n, Rijeka

UDK 697.34:621.311.22
STRUČNI ČLANAK

U radu je postavljen matematički model za određivanje najniže cijene pare po jedinici eksergije metodom optimizacije. Model se temelji na termoekonomskim parametrima kao što su cijena, troškovi, eksergetski protok pojedinih fluida energetskog sustava, te cijena, troškovi i eksergetski stupanj djelovanja komponenti postrojenja energetskog sustava ili samog postrojenja. Postavljeni matematički model testiran je na primjeru protutlačnog parnoturbinskog postrojenja pogonjenog drvnom biomasom. Rezultat ovog rada jest ustvrditi kompromis između najniže cijene pare kao produkta razmatranog sustava u ovisnosti o njegovim godišnjim troškovima pri određenom vremenu rada postrojenja tog istog razmatranog sustava u godini dana.

**Ključne riječi:** **matematički model, najniža cijena pare, jedinica eksergije, termoekonomski parametri, cijena, troškovi, eksergetski protok, eksergetski stupanj djelovanja, komponente postrojenja, energetski sustav protutlačno parnoturbinsko postrojenje, drvna biomasa, godišnji troškovi, vrijeme rada postrojenja.**

## 1. UVOD

Osnovna zadaća i interes energetskih sustava jest proizvodnja toplinske i električne energije uz što manje pogonske troškove. Pri tome se očekuje da će energetski i eksergetski stupanj djelovanja tako dimenzioniranog sustava biti najmanji. Sustav može biti dimenzioniran i uz najveće energetske i eksergetske stupnjeve djelovanja, no tada se očekuje da će pogonski troškovi sustava biti najveći.

U red pogonskih troškova energetskog sustava spadaju troškovi za gorivo, za kemikalije i za dodatnu napojnu vodu. U red fiksnih troškova energetskog sustava spadaju troškovi za radnu snagu i amortizaciju sustava. Vrlo je važno odrediti i cijenu svježe pare potrebnu za proizvodnju toplinske i električne energije. Ta se cijena određuje na temelju bilanci troškova koja uključuje cijene pojedinih struja fluida koje ulaze i izlaze iz energetskog sustava, te cijenu komponenti koje čine taj sustav.

Bilanca troškova uključuje termoekonomsku analizu energetskog sustava. To je analiza koja uključuje termodinamske parametre (eksergiju pojedinih struja fluida ili eksergetski protok ako je eksergija izražena po jedinici vremena) i ekonomske parametre (cijenu struja fluida). Da bi se odredila najniža cijena one struje fluida koja predstavlja produkt u energetskom sustavu (a to je svježa para), potrebno je primijeniti termoekonomsku optimizaciju sustava. Takva se optimizacija zasniva na jednadžbama koje funkcionalno povezuju sve utjecajne faktore i uvjete ograničenja vezane za određivanje najniže cijene produkta energetskog sustava (u daljnjem tekstu *najniža cijena pare*). Bitni ulazni parametri za određivanje najniže cijene pare kod energetskog sustava su: eksergetski protok pare, eksergetski stupanj djelovanja energetskog sustava i ukupne investicije za energetski sustav.

## 2. TERMODINAMSKA ANALIZA ENERGETSKOG SUSTAVA

Termodinamska analiza podrazumijeva prvi i drugi zakon termodinamike.

Prvi zakon termodinamike govori o održivosti i neuništivosti energije. Princip održanja energije dovodi do energetske bilance kojom je obuhvaćena promjena oblika energije u termodinamičkom sistemu i količine energije koje prelaze granicu sistema, u obliku mehaničke energije i topline. Termički stupanj djelovanja pokazuje koliki se dio dovedene topline pretvara u mehaničku što već upućuje na drugi zakon termodinamike.

Drugi zakon termodinamike govori o sposobnosti pretvorbe jednog oblika energije u drugi oblik energije te o ograničenjima pri pretvorbi toplinske energije sistema u mehaničku energiju. Iz toga slijedi da je eksergija energija koja se može neograničeno transformirati u

druge energetske oblike. Suprotna definicija eksergiji je anergija pa se može sljedeće napisati:

$$\textit{Energija} = \textit{Eksergija} + \textit{Anergija}$$

$$\textit{Eksergija} = \textit{Korisna eksergija} + \textit{Eksergetski gubitci}$$

$$\textit{Energija} = \textit{Korisna eksergija} + \textit{Eksergetski gubitci} + \textit{Anergija}$$

Drugi zakon termodinamike izražava se kroz eksergetski stupanj djelovanja. Ako je $\dot{E}_G$ eksergija goriva koja se po jedinici vremena (eksergetski protok goriva!) dovodi energetskom sustavu onda će on biti jednak

$$\dot{E}_G = \dot{E}_P + \dot{E}_V + \dot{E}_N \text{ (kW)} \qquad (1)$$

gdje su redom

$\dot{E}_P$ – eksergestki protok produkta energetskog sustava (npr. svježe pare, ekspandirane pare, plinova izgaranja itd.)

$\dot{E}_V$ – gubitak eksergestkog protoka goriva koji se pretvara u anergiju (izgubljena toplina zbog njezinog nepovratnog prijelaza u okolinu)

$\dot{E}_N$ – (neposredni) gubitak eksergetskog protoka goriva (nastalih npr. kod procesa izgaranja goriva u ložištu generatora pare).

Eksergetski stupanj djelovanja može se definirati na sljedeći način:

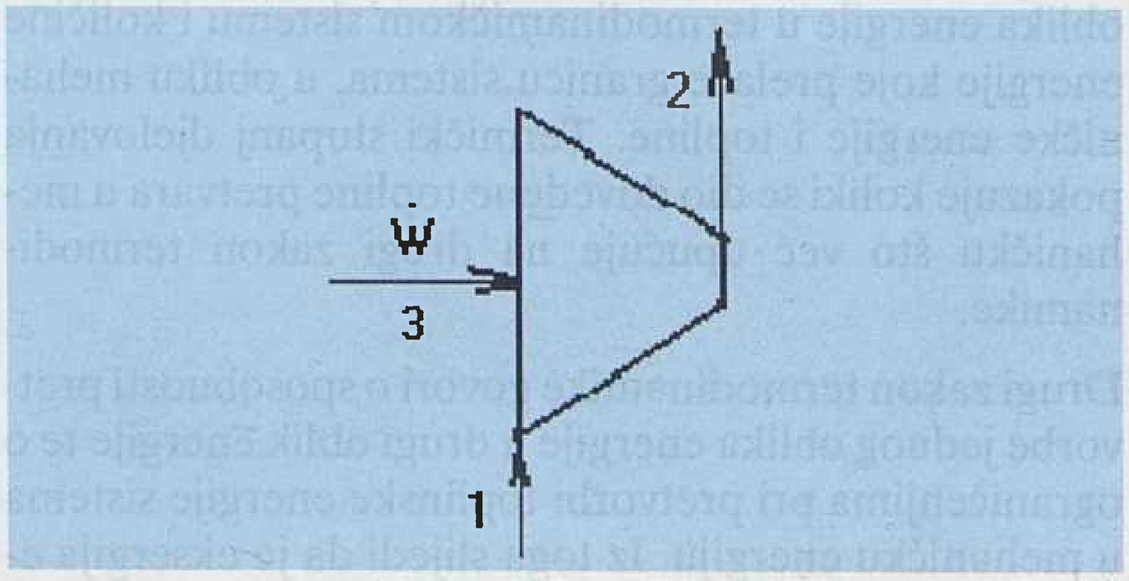
$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_P}{\dot{E}_G} = 1 - \frac{\dot{E}_V\ \dot{E}_N}{\dot{E}_G} \qquad (2)$$

## 3. TERMOEKONOMSKA ANALIZA KOMPONENTI ENERGETSKOG SUSTAVA

Cijena proizvedene toplinske i električne energije iskazuje se kroz cijenu eksergije pojedinih struja fluida koje ulaze i izlaze iz energetskog sustava. Ta se cijena određuje na temelju bilance troškova koja uključuje cijenu pojedinih struja fluida unutar energetskog sustava, cijene produkata i cijene komponenti energetskog sustava.

Tipične komponente energetskog sustava koje se javljaju bilo u parnom bilo u plinskom procesu su sljedeće: kompresor, crpka, turbina, izmjenjivač topline, jedinica miješanja tople i hladne struje fluida (toplinska miješalica), rasplinjač ili komora izgaranja, generator pare.

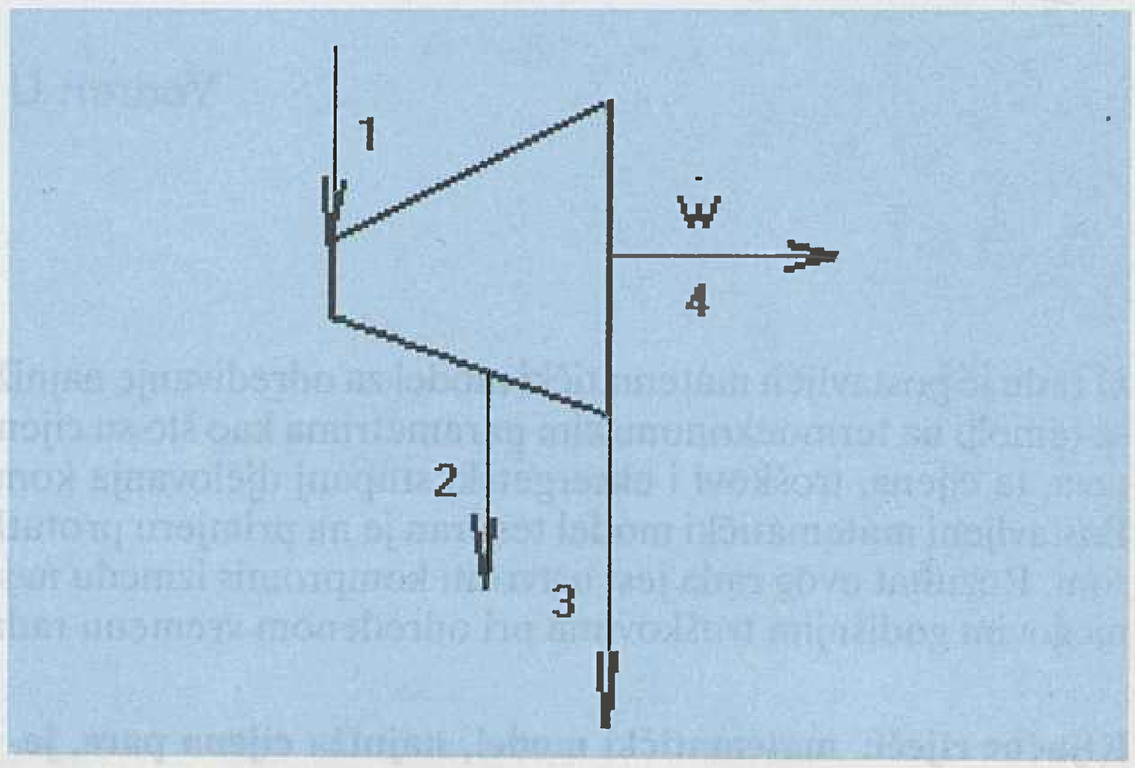
### a) Kompresor (crpka, ventilator)




**Slika 1. Shema kompresora (crpke, ventilatora)**

Visina tekućih troškova[1] produkta iz kompresora (komprimirani zrak) prema slici 1. jednaka je $\dot{C}_2 - \dot{C}_1$. Visina tekućih troškova goriva za pokretanje kompresora (električna energija) jednak je $\dot{C}_W$. Pomoćnih termoekonomskih relacija nema. Određuje se cijena produkta (komprimiranog zraka) po jedinice njegove eksergije, $c_2$.

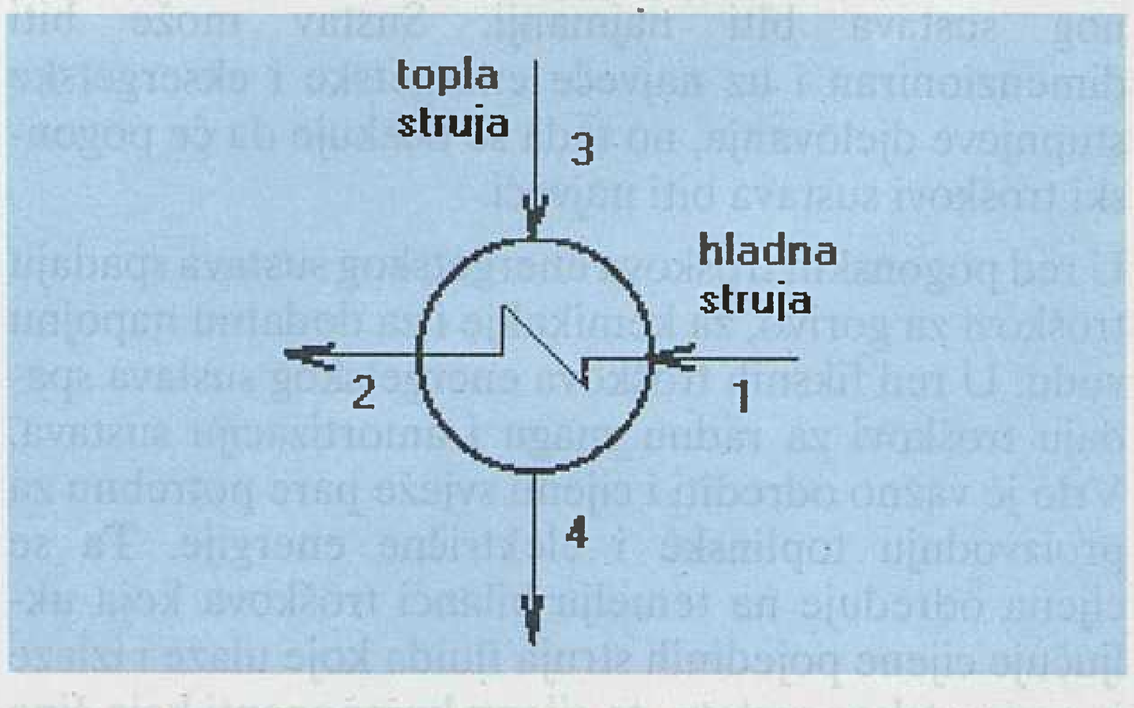
### b) Turbina




**Slika 2. Shema turbine s jednim oduzimanjem pare**

Visina tekućih troškova produkta iz turbine (para, plinovi izgaranja) prema slici 2. jednaka je $\dot{C}_W$. Visina tekućih troškova goriva (svježa para, plinovi izgaranja) za proizvodnju električne energije jednaka je $\dot{C}_1 - \dot{C}_2 - \dot{C}_3$. Pomoćne termoekonomske relacije su ako se izjednače specifične cijene svih triju struja fluida 1,2 i 3 (pare ili plinova izagaranja). Iz ove se bilance troškova izračunava specifična cijena električne snage po jedinici njezine energije, $\dot{C}_W$.

### c) Izmjenjivač topline




**Slika 3. Shema izmjenjivača topline u slučaju kad se grije hladna struja fluida**

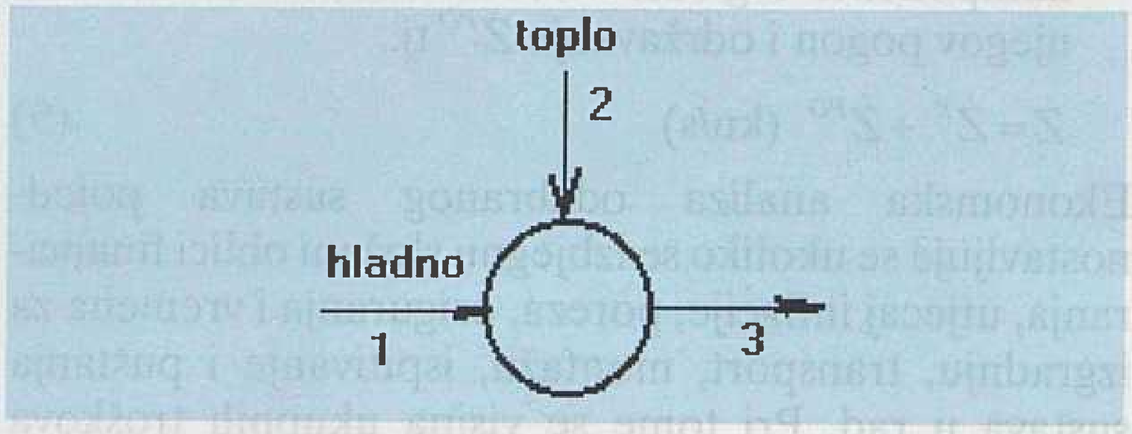
Visina tekućih troškova produkta iz izmjenjivača topline (ugrijana hladna struja fluida) prema slici 3. jednaka je $\dot{C}_2 - \dot{C}_1$. Visina tekućih troškova goriva (topla struja fluida koja se hladi) iznosi $\dot{C}_3 - \dot{C}_4$. Pomoćna termoekonomska relacija jest ako se izjednači specifična cijena tople struje ($c_3$) sa specifičnom cijenom tople

[1] tekući troškovi – troškovi izraženi po jedinici vremena (kunama po sekundi)

struje koja je ohlađena zbog prijenosa topline na hladnu struju fluida ($c_4$). Iz ove se bilance troškova izračunava specifična cijena zagrijane izlazne struje fluida ($c_2$).

Drugi je slučaj zagrijavanje tople struje fluida putem hladne struje fluida pomoću izmjenjivača topline (kada je $T_3 \leq T_{okoline}$). Tada je visina tekućih troškova produkta iz izmjenjivača topline (ugrijana topla struja fluida) jednaka $\dot{C}_4 - \dot{C}_3$. Visina tekućih troškova goriva (hladna struja fluida kojoj se odvodi toplina) iznosi $\dot{C}_1 - \dot{C}_2$. Pomoćna termoekonomska relacija jest ako se izjednači specifična cijena hladne struje fluida ($c_2$) sa specifičnom cijenom hladne struje kojoj je oduzet dio eksergije ($c_1$). Iz ove se bilance troškova izračunava specifična cijena zagrijane tople struje fluida ($c_4$).

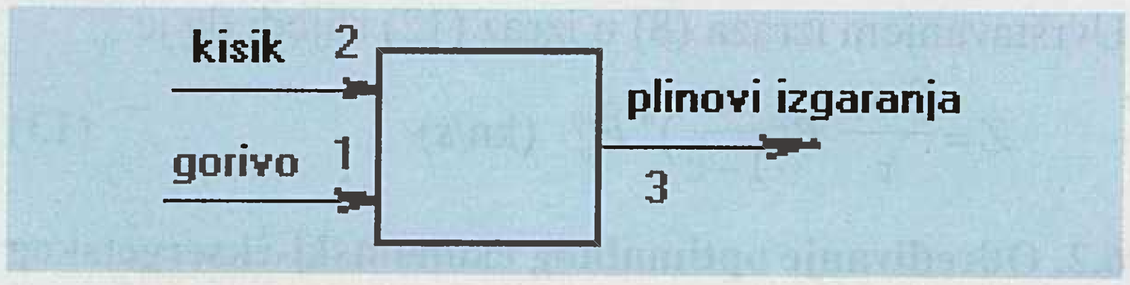
**d) Jedinica miješanja tople i hladne struje fluida (toplinska miješalica)**




**Slika 4. Shema jedinice miješanja tople i hladne struje fluida (toplinska miješalica)**

Visina tekućih troškova produkta iz miješalice (izmiješana struja fluida) prema slici 4. jednaka je $\dot{C}_3$. Visina tekućih troškova za gorivo (hladna i topla struja fluida) iznosi $\dot{C}_1 + \dot{C}_2$. Pomoćnih termoekonomskih relacija nema. Iz ove se bilance troškova izračunava specifična cijena struje fluida koja je nastala miješanjem hladne i tople struje fluida ($c_3$).

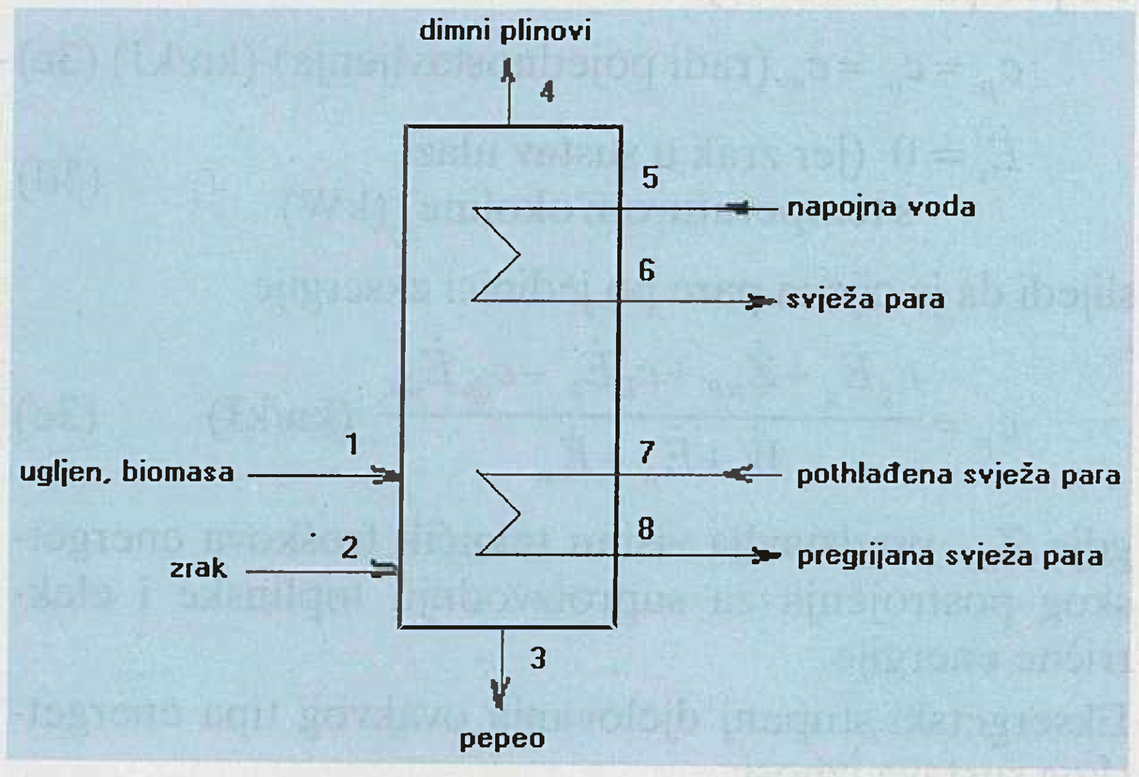
**e) Komora izgaranja ili rasplinjač**




**Slika 5. Shema komore izgaranja ili rasplinjač**

Visina tekućih troškova produkta iz komore izgaranja (plinovi izgaranja) prema slici 5. jednaka je $\dot{C}_3$. Visina tekućih troškova za gorivo i zrak iznosi $\dot{C}_1 + \dot{C}_2$. Pomoćnih termoekonomskih relacija nema. Iz ove se bilance troškova izračunava specifična cijena plinova izgaranja, $c_3$.

**f) Generator pare**

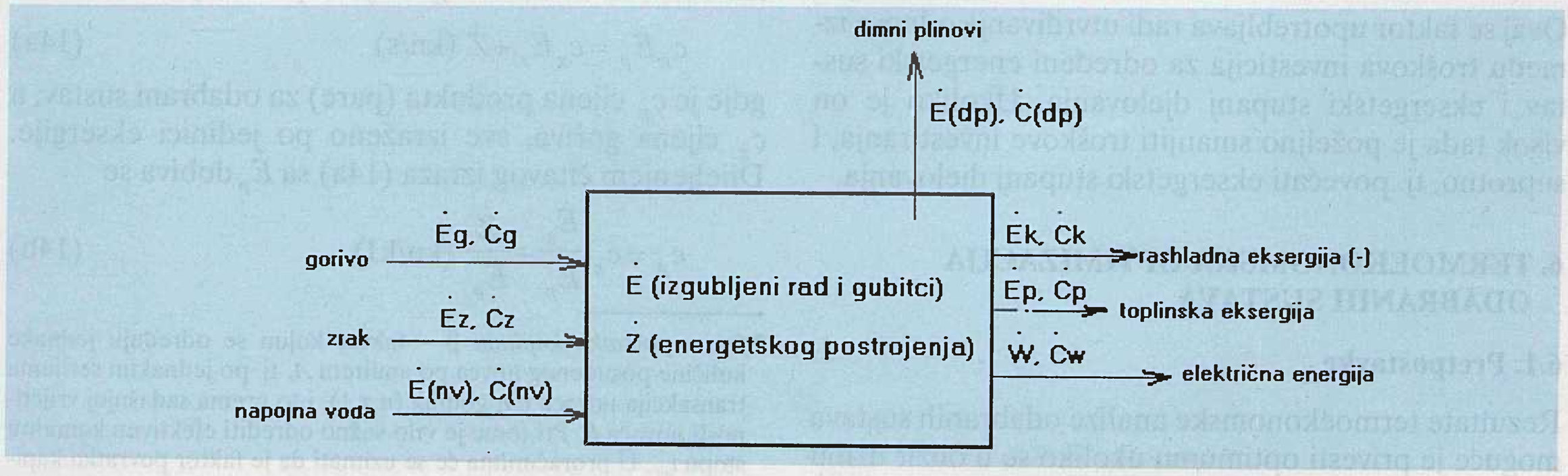



**Slika 6. Shema generatora pare**

Visina tekućih troškova za produkt (pregrijana svježa para) prema slici 6. jednaka je $(\dot{C}_6 - \dot{C}_5) + (\dot{C}_8 - \dot{C}_7)$. Visina tekućih troškova za gorivo (ugljen ili biomasa, zrak, napojna voda) iznosi $(\dot{C}_1 + \dot{C}_2) - (\dot{C}_3 + \dot{C}_4)$. Pomoćne termoekonomske relacije temelje se na odnosima tekućih troškova napojne vode, svježe pare i pregrijane svježe pare s njihovim eksergetskim protocima, $\frac{(\dot{C}_6\ \dot{C}_5)}{(\dot{E}_6\ \dot{E}_5)} = \frac{(\dot{C}_8\ \dot{C}_7)}{(\dot{E}_8\ \dot{E}_7)}$. Iz ove se bilance troškova izračunava specifična cijena svježe pare ($c_6$) ili specifična cijena pregrijane svježe pare ($c_8$).

## 4. TERMOEKONOMSKA ANALIZA ENERGETSKOG SUSTAVA ZA SUPROIZVODNJU TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE

Energetski sustav za suproizvodnju toplinske i električne energije promatrat će se iz aspekta *crne kutije* (*black box*).




**Slika 7. Shema energetskog sustava za suproizvodnju toplinske i električne energije**

Bilanca troškova energetskog sustava sa slike 7. glasi:

$$\dot{C}_g + \dot{C}_z + \dot{C}_{nv} + \dot{Z}_{KP} = \dot{C}_w + \dot{C}_q + \dot{C}_{dp} - \dot{C}_k \text{ (kn/s)} \quad (3a)$$

odakle proizlazi da je

$$c_g \dot{E}_g + c_z \dot{E}_z + c_{nv} \dot{E}_{nv} + Z_{kp} =$$

$$= c_w \dot{W} + c_p \dot{E}_p + c_{dp} \dot{E}_{dp} + c_k \dot{E}_k \text{ (kn/s)} \quad (3b)$$

Uz pretpostavku da je

$$c_p = c_w = c_{nv} \text{ (radi pojednostavljenja) (kn/kJ)} \quad (3c)$$

$$\dot{E}_z = 0 \text{ (jer zrak u sustav ulazi s temperaturom okoline) (kW)} \quad (3d)$$

slijedi da je cijena pare po jedinici eksergije

$$c_p = \frac{c_g \dot{E}_g + \dot{Z}_{KP} + c_k \dot{E}_k - c_{dp} \dot{E}_{dp}}{\dot{W} + \dot{E}_p - \dot{E}_{nv}} \text{ (kn/kJ)} \quad (3e)$$

gdje $\dot{Z}_{KP}$ predstavlja visinu tekućih troškova energetskog postrojenja za suproizvodnju toplinske i električne energije.

Eksergetski stupanj djelovanja ovakvog tipa energetskog sustava iznosi:

$$\varepsilon = \frac{\dot{W} + \dot{E}_p - \dot{E}_k - \dot{E}_{dp}}{\dot{E}_g + \dot{E}_{nv}} \quad (4)$$

## 5. TERMOEKONOMSKI FAKTORI

Faktori bitni za termoekonomsku analizu i optimizaciju su:

a) faktor relativne cijene produkta i goriva za komponentu ili čitav energetski sustav

$$r = \frac{c_p - c_g}{c_g} \quad (5)$$

gdje je $c_p$ specifična cijena produkta, a $c_g$ specifična cijena goriva.

Prema [3] ovaj se faktor može pisati i u sljedećem obliku

$$r = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + \frac{\dot{Z}}{c_g \dot{E}_p} \quad (6)$$

b) termoekonomski faktor za n-tu komponentu sistema

$$f = \frac{\dot{Z}}{\dot{Z} + c_g (\dot{E}_v + \dot{E}_n)} \quad (7)$$

Ovaj se faktor upotrebljava radi utvrđivanja odnosa između troškova investicija za određeni energetski sustav i eksergetski stupanj djelovanja. Ukoliko je on visok tada je poželjno smanjiti troškove investiranja, i suprotno, tj. povećati eksergetski stupanj djelovanja.

## 6. TERMOEKONOMSKA OPTIMIZACIJA ODABRANIH SUSTAVA

### 6.1. Pretpostavke

Rezultate termoekonomske analize odabranih sustava moguće je privesti optimumu ukoliko se u obzir uzmu sljedeće pretpostavke:

a) Eksergetski protok produkta $\dot{E}_p$ i specifična cijena goriva $c_g$ ostaju konstantni.

b) Za pojedini odabrani sustav očekuje se da će mu se visina ukupnih troškova kapitalnog investiranja *TKI* povećavati eksponencijalno s povećanjem njegovog eksergetskog stupnja djelovanja ε te mase produkta i njegovog eksergetskog protoka, $\dot{m}_p, \dot{E}_p$. Može se stoga sljedeće pretpostaviti

$$TKI = B\left(\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}\right)^n \dot{E}_p^m \text{ (kn)} \quad (8)$$

gdje su *B, n, m* konstante koje se određuju na temelju poznatih realnih cijena odabranih sustava istoga tipa a različitog eksergetskog stupnja djelovanja ε i eksergetskog protoka produkta $\dot{E}_p$.

c) Visina ukupnih tekućih troškova $\dot{Z}$ za odabrani energetski sustav jednak je zbroju tekućih troškova za komponente tog sustava $\dot{Z}^K$ i tekućih troškova za njegov pogon i održavanje $\dot{Z}^{PO}$ tj.

$$\dot{Z} = \dot{Z}^K + \dot{Z}^{PO} \text{ (kn/s)} \quad (9)$$

Ekonomska analiza odabranog sustava pojednostavljuje se ukoliko se izbjegnu složeni oblici financiranja, utjecaj inflacije, poreza, osiguranja i vremena za izgradnju, transport, montažu, ispitivanje i puštanja sustava u rad. Pri tome se visina ukupnih troškova kapitalnih investicija množe s faktorom povratka kapitala $\beta$[2], pa je

$$\dot{Z}^K = \beta(TKI) \text{ (kn/s)} \quad (10)$$

Tekući troškovi za pogon i održavanje odabranog sustava računaju se prema izrazu

$$\dot{Z}^{PO} = \gamma(TKI) \text{ (kn/s)} \quad (11)$$

gdje je $\gamma = 0.1$ kod industrijskih energetskih sustava. [3]

Uvrštavanjem izraza (10) i (11) u izraz (9) slijedi

$$\dot{Z} = \frac{\beta + \gamma}{\tau}(TKI) \text{ (kn/s)} \quad (12)$$

Uvrštavanjem izraza (8) u izraz (12) slijedi da je

$$\dot{Z} = \frac{\beta + \gamma}{\tau} B\left(\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}\right)^n \dot{E}_p^m \text{ (kn/s)} \quad (13)$$

### 6.2. Određivanje optimalnog ekonomski-eksergetskog stupnja djelovanja

Za odabrani sustav moguće je napisati sljedeće

$$c_p \dot{E}_p = c_g \dot{E}_g + \dot{Z} \text{ (kn/s)} \quad (14a)$$

gdje je $c_p$ cijena produkta (pare) za odabrani sustav, a $c_g$ cijena goriva, sve izraženo po jedinici eksergije. Dijeljenjem čitavog izraza (14a) sa $E_p$ dobiva se

$$c_p = c_g \frac{\dot{E}_g}{\dot{E}_p} + \frac{\dot{Z}}{\dot{E}_p} \text{ (kn/kJ)} \quad (14b)$$

[2] *faktor povratka kapitala* β – faktor kojim se određuju jednake količine posuđenog novca po anuitetu *A*, tj. po jednakim serijama transakcija novaca u *n* godina ($n \tau 1$), i to prema sadašnjoj vrijednosti novaca *P*. Pri tome je vrlo važno odrediti efektivnu kamatnu stopu $i_{eff}$. U proračunima će se uzimati da je faktor povratka kapitala jednak 0,26.

Putem izraza $\varepsilon = \frac{\dot{E}_p}{\dot{E}_g}$ i izraza (13) moguće je napisati sljedeću jednadžbu

$$c_p = f(\varepsilon) = \frac{c_g}{\varepsilon} + \frac{(\beta+\gamma)B}{\tau\ \dot{E}_p^{1-m}} \left(\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}\right)^n \text{ (kn/kJ)} \quad (14c)$$

Najniža cijena pare dobiva se difrenciranjem jednadžbe (14c) te svođenjem njene prve derivacije na nulu, tj.

$$\frac{dc_p}{d\varepsilon} = 0.$$

Rezultat derivirane jednadžbe (14c) daje veličinu optimalnog ekonomski-eksergetskog stupnja djelovanja izraženog na sljedeći način

$$\varepsilon^{OPT} = \frac{1}{1+F} \quad (15)$$

gdje je

$$F = \left(\frac{(\beta+\gamma)Bn}{\tau c_p\ \dot{E}_p^{1-m}}\right)^{1/(n+1)} \quad (16)$$

Najniža cijena pare $c_{p,\min}$ dobiva se ako se $\varepsilon^{OPT}$ uvrsti u jednadžbu (34c)

$$c_{p,\min} = f\left(\varepsilon^{OPT}\right) =$$

$$= \frac{c_g}{\varepsilon^{OPT}} + \frac{(\beta+\gamma)B}{\tau\ \dot{E}_p^{1-m}} \left(\frac{\varepsilon^{OPT}}{1-\varepsilon^{OPT}}\right)^n \text{ (kn/kJ)} \quad (17)$$

Izraz (15) može se napisati i u obliku

$$F = \frac{1-\varepsilon^{OPT}}{\varepsilon^{OPT}} \quad (18a)$$

ili u kombinaciji s izrazom (2)

$$F = \frac{\dot{E}_V + \dot{E}_N}{\dot{E}_p} \quad (18b)$$

Nadalje slijedi da je

$$\left(\dot{E}_V + \dot{E}_N\right)^{OPT} = \dot{E}_p F = \dot{E}_P \left(\frac{1-\varepsilon^{OPT}}{\varepsilon^{OPT}}\right) \text{ (kW)} \quad (19)$$

Izraz (14c) može se izraziti i u formi sa $\left(\dot{E}_V + \dot{E}_N\right)$ kao

$$c_p = f\left(\dot{E}_V + \dot{E}_N\right) =$$

$$= c_g \left(1 + \frac{\dot{E}_V + \dot{E}_N}{\dot{E}_p}\right) + \frac{(\beta+\gamma)B}{\tau\ \dot{E}_p^{1-m}} \left(\frac{\dot{E}_p}{\dot{E}_V + \dot{E}_N}\right) \text{kn/kJ} \quad (20)$$

Diferenciranjem jednadžbe (20) i svođenjem derivacije na nulu, tj.

$$\frac{dc_p}{d\left(\dot{E}_V + \dot{E}_N\right)} = 0,$$

slijedi da je

$$n = \frac{c_g \left(\dot{E}_V + \dot{E}_N\right)^{OPT}}{\dot{Z}^{OPT}} \quad (21)$$

S jednadžbama (19) i (21) proizlazi da je

$$\dot{Z}^{OPT} = c_g \dot{E}_p \frac{F}{n} \text{ (kn/s)} \quad (22)$$

$$r^{OPT} = \frac{n+1}{n} F \quad (23)$$

$$f^{OPT} = \frac{1}{1+n} \quad (24)$$

gdje su redom

$\dot{Z}^{OPT}$ – optimalni ukupni tekući troškovi za odabrani energetski sustav

$r^{OPT}$ – optimalni faktor relativne cijene pare i goriva za odabrani energetski sustav

$f^{OPT}$ – optimalni termoekonomski faktor za odabrani energetski sustav.

## 7. ODREĐIVANJE KONSTANTI *B, n, m*

Za određivanje konstanti *B, n* i *m* nužno je poznavati sljedeće:

– ukupnu cijenu energetskog sustava s cijenama njegovih komponenti;

– pogonske parametre energetskog sustava koji bi trebali biti jednaki za najmanje tri varijante energetskog sustava koji se između sebe razlikuju po ukupnoj cijeni i izlaznoj električnoj ili toplinskoj snazi.

**Tablica 1. Podaci potrebni za izračunavanje konstanti *B, n, m***

| | | | |
|---|---|---|---|
| Električna snaga postrojenja *W*, kW | 1000 | 5000 | 10000 |
| Kapacitet generator apare $\dot{m}_p$, kg/s | 2,22 | 11,1 | 22,2 |
| Masa goriva $\dot{m}_g = \frac{\dot{m}_p(h_{izl} - h_{NV})}{\eta H_d}$, kg/s | 0,5 | 2,42 | 4,74 |
| Eksergetski protok goriva $\dot{E}_G$, kW | 7229 | 34 990 | 68 533 |
| Eksergetski protok pare na izlazu iz turbine $\dot{E}_p = \dot{m}_p \left[h_p - h_0 - T_0\left(s_p - s_0\right)\right]$, kW | 1052 | 5261 | 10 523 |
| Eksergetski stupanj djelovanja $\varepsilon = \frac{\dot{E}_p + W}{\dot{E}_G}$ | 0,284 | 0,293 | 0,3 |
| Cijena energetskog sustava *TKI*, kn | 20,000.000 | 50,000.000 | 90,000.000 |

$$\left.\begin{aligned} 20000000 &= B \cdot \left(\frac{0{,}284}{1-0{,}284}\right)^n \cdot 1052^m \\ 50000000 &= B \cdot \left(\frac{0{,}293}{1-0{,}293}\right)^n \cdot 5261^m \\ 90000000 &= B \cdot \left(\frac{0{,}3}{1-0{,}3}\right)^n \cdot 10523^m \end{aligned}\right| \rightarrow \mathbf{B = 134\,730\,539;\ n = 5{,}8;\ m = 0{,}488}$$

U tablici 1. dani su podaci potrebni za izračunavanje konstanti *B, n* i *m* na primjeru protutlačnog parnoturbinskog postrojenja u varijantama različitih izlaznih električnih snaga od 1MW, 5MW i 10MW. Postrojenje je pogonjeno drvnom biomasom donje ogrjevne moći $H_d$= 15 300 kJ/kg [4]. Iskoristivost generatora pare je η= 0,85.

Zajednički podaci za protutlačno parnoturbinsko postrojenje u trima različitim varijantama po izlaznoj električnoj snazi su:

- parametri svježe pare (tlak/temperatura) : 4 MPa/ 450°C
- entalpija svježe pare $h_{izl}$= 3329 kJ/kg i njena entropija $s_{izl}$= 6,933 kJ/kg K
- parametri pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata (tlak/temperatura) : 0,05 MPa/ 115°C
- entalpija pare na izlazu iz turbine $h_p$= 2710 kJ/kg i njena entropija $s_p$= 7,77 kJ/kg K
- entalpija napojne vode $h_{NV}$= 420 kJ/kg i njena entropija $s_{NV}$ = 1,4 kJ/kg K.

## 8. UTJECAJ POGONSKIH PARAMETARA ENERGETSKOG SUSTAVA NA ODREĐIVANJE NAJNIŽE CIJENE PARE

Parametri koji mogu utjecati na određivanje najniže cijene pare su: eksergetski protok pare, vrijeme rada energetskog postrojenja u godini i cijena goriva. Kod promjene eksergetskog protoka pare može se utjecati sljedećim parametrima: entalpijom i entropijom pare, tj. njenim tlakom i temperaturom te masenim protokom pare.

Da bi mogli mijenjati različite pogonske parametre pare na izlazu iz protutlačnog parnog turboagregata, navode se sljedeći podatci:

1. masa raspoloživog drvnog ostatka: $\dot{m}_g$ = 1,5 kg/s ;
2. donja ogrjevna moć drvnog ostatka: $H_d$ = 15 300 kJ/kg ;
3. iskoristivost generatora pare: η= 0,85 ;
4. cijena drvnog ostatka: $c_g$ =1,96 · $10^{-6}$ kn/kJ [5] ;
5. vrijeme rada postrojenja u godini: τ= 5700 h/god ;
6. entalpija svježe pare na izlazu iz generatora pare $h_{izl}$ kao i entalpija napojne vode $h_{NV}$ preuzete su iz prethodnog poglavlja ;
7. proizvodnja svježe pare:

$$\dot{m}_p = \frac{\dot{m}_G \eta H_d}{h_{izl} - h_{NV}} = 6{,}7 \text{ kg/s } (\approx 25 \text{ t/h}) .$$

Na dijagramu 1. prikazana je krivulja ovisnosti najniže cijene pare (izražene po jedinici eksergije!) na izlazu iz parnoturbinskog agregata o promjeni njenog eksergetskog toka. Krivulja je određena uvrštavanjem poznatih vrijednosti u jednadžbe (16) i (17). Pri tome treba imati na umu da maseni protok pare uvijek iznosi 6,7 kg/s. Mijenjaju se samo pogonski parametri pare koja ekspandira u protutlačnom parnoturbinskom agregatu. U tablici 2. se navodi nekoliko primjera pogonskih parametara pare.

**Tablica 2. Primjeri pogonskih parametara pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata radi određivanja najniže cijene pare**

| Tlak pare $p$, bar | Temperatura pare $T$, °C | Entalpija pare $h$, kJ/kg | Entropija pare $s$, kJ/kgK | Eksergetski protok pare $\dot{E}_p$, kW | Najniža cijena pare $c_{p,min}$, kn/GJ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,4 | 120 | 2723 | 7,899 | 3012 | 14,55 |
| 0,4 | 160 | 2799 | 7,981 | 4067 | 14,50 |
| 0,5 | 120 | 2722 | 7,795 | 3206 | 14,525 |
| 0,5 | 140 | 2761 | 7,890 | 3284 | 14,528 |
| 0,6 | 140 | 2760 | 7,804 | 3444 | 14,515 |
| 0,6 | 160 | 2799 | 7,895 | 3530 | 14,511 |

**Iz tablice 2. dade se zaključiti da se niže cijene pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata postižu kod njegovih viših pogonskih parametara, osobito viših temperatura.**

## 9. UTJECAJ GODIŠNJEG RADA ENERGETSKOG POSTROJENJA NA ODREĐIVANJE NAJNIŽE CIJENE PARE

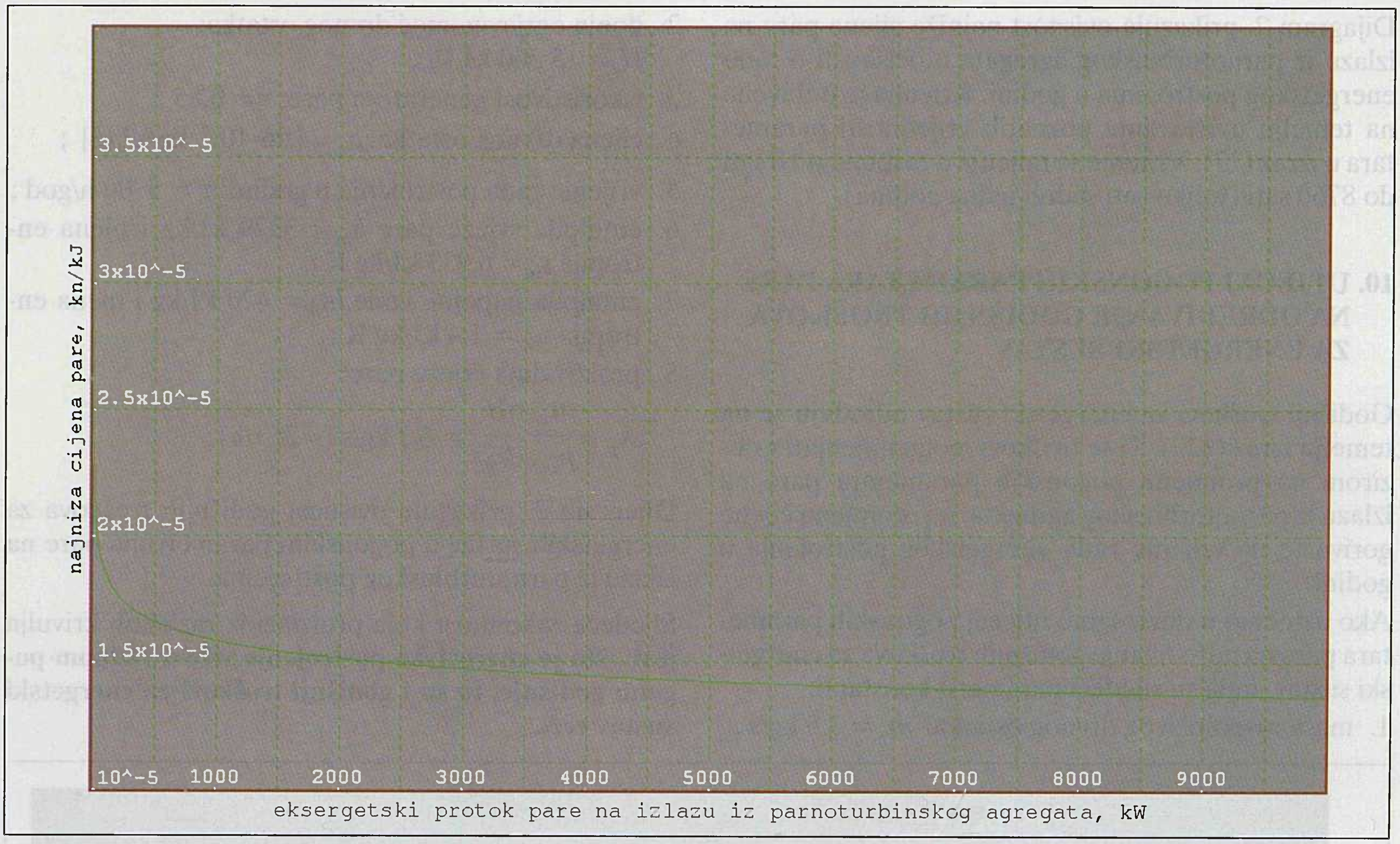
Za određivanje najnižih cijena pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata u ovisnosti o njegovom radu u godini dana, potrebno je odrediti sljedeće nepromjenjive parametre:

1. masa raspoloživog drvnog ostatka: $\dot{m}_g$ = 1,5 kg/s ;
2. donja ogrjevna moć drvnog ostatka: $H_d$= 15 300 kJ/kg ;
3. iskoristivost generatora pare: η= 0,85 ;
4. cijena drvnog ostatka: $c_g$ =1,96·$10^{-6}$ kn/kJ [5] ;
5. parametri svježe pare (tlak/temperatura) : 4 MPa/ 450°C ;
6. entalpija svježe pare $h_{izl}$= 3329 kJ/kg i njena entropija $s_{izl}$= 6,933 kJ/kg K ;
7. parametri pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata (tlak/temperatura) : 0,05 MPa/ 115°C ;
8. entalpija pare na izlazu iz turbine $h_p$= 2710 kJ/kg i njena entropija $s_p$= 7,77 kJ/kg K ;
9. entalpija napojne vode $h_{nv}$= 420 kJ/kg i njena entropija $s_{NV}$= 1,4 kJ/kg K ;
10. proizvodnja svježe pare:

$$\dot{m}_p = \frac{\dot{m}_G \ \eta H_d}{h_{izl} - h_{NV}} = 6{,}7 \text{ kg/s } (\approx 25 \text{ t/h})$$

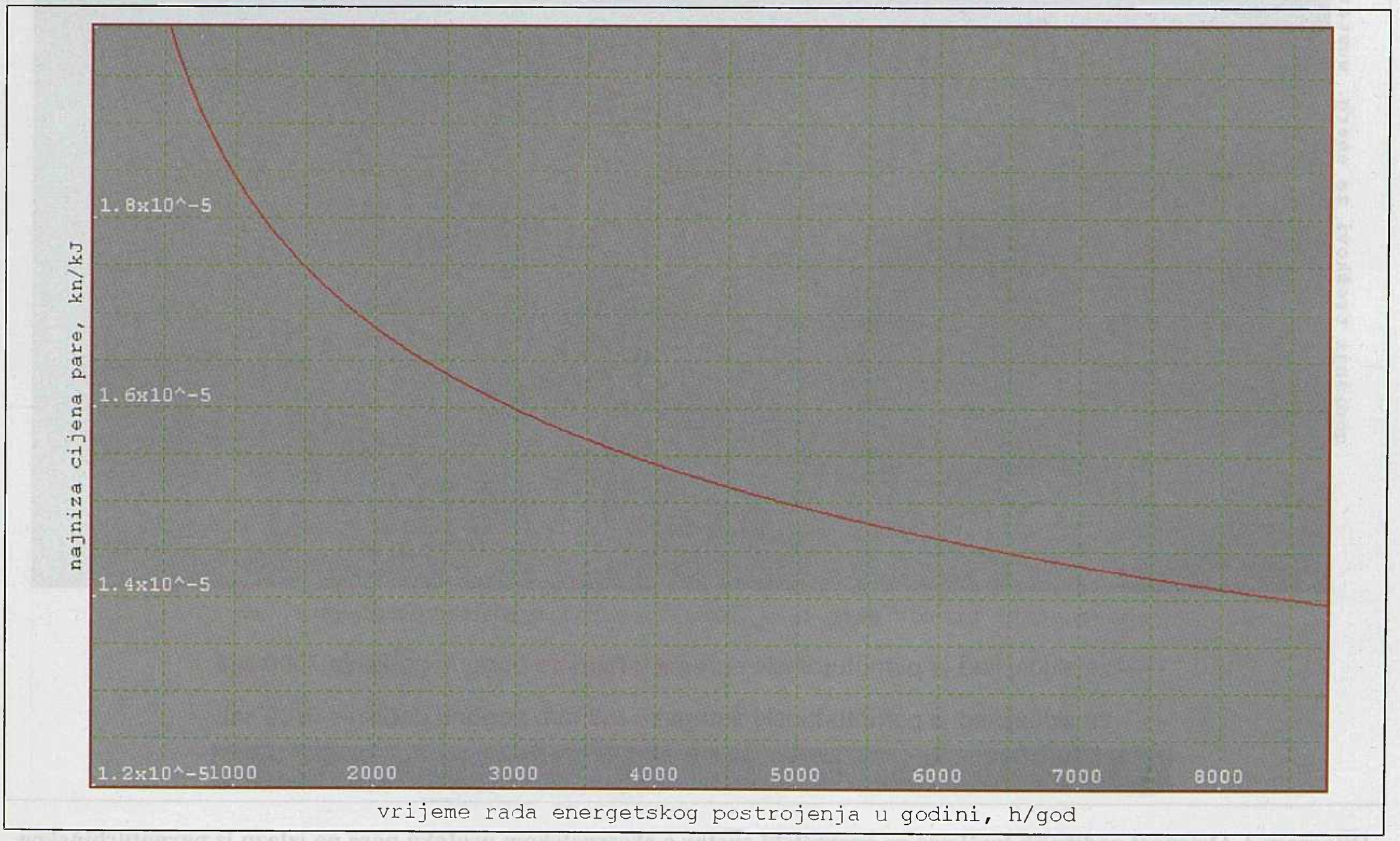
11. eksergetski protok pare:

$$\dot{E}_p = \dot{m}_p \left[ h_p - h_0 - T_0 \left( s_p - s_0 \right) \right] = 3174 \text{ kW}.$$




**Dijagram 1. Ovisnost najniže cijene pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata o njenom eksergetskom protoku**

**Prema dijagramu 1. proizlazi da (što) je eksergetski protok pare na izlazu iz parnoturbinskog postrojenja veći, što je njezina cijena po jedinici eksergije manja.**




**Dijagram 2. Ovisnost najniže cijene pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata o radu energetskog postrojenja u godini**

Iz dijagrama 2. može se zaključiti sljedeće: **što je postrojenje duže u radnom pogonu tijekom godine, to je cijena pare niža.**

Dijagram 2. prikazuje ovisnost najniže cijene pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata u ovisnosti o radu energetskog postrojenja u godini. Krivulja je dobivena na temelju uvrštavanja poznatih vrijednosti parametara u izraz (17). Vrijeme se mijenja u rasponu od 0 sati do 8760 sati (toliko sati sadrži jedna godina).

## 10. UTJECAJ POGONSKIH PARAMETARA PARE NA ODREĐIVANJE GODIŠNJIH TROŠKOVA ZA ENERGETSKI SUSTAV

Godišnji troškovi za energetski sustav određuju se na temelju izraza (22). Ti se troškovi mogu mijenjati s obzirom na promjenu pogonskih parametara pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata, na promjenu cijene goriva te na vrijeme rada energetskog postrojenja u godini.

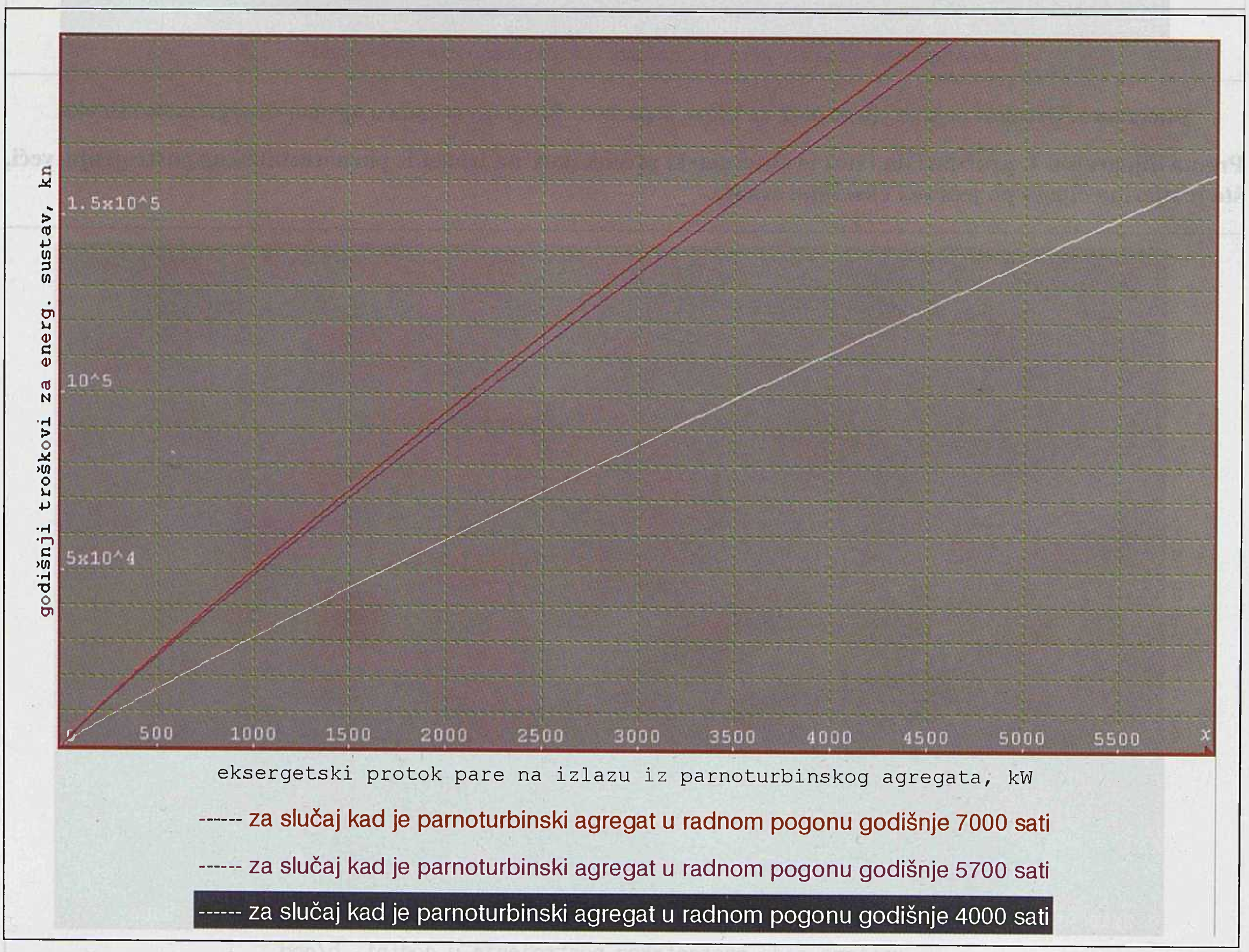
Ako uzmemo u obzir samo utjecaj pogonskih parametara pare na određivanje godišnjih troškova za energetski sustav, tada su sljedeći parametri konstanti:

1. masa raspoloživog drvnog ostatka: $\dot{m}_g = 1{,}5$ kg/s ;
2. donja ogrjevna moć drvnog ostatka: $H_d = 15\,300$ kJ/kg ;
3. iskoristivost generatora pare: $\eta = 0{,}85$ ;
4. cijena drvnog ostatka: $c_g = 1{,}96 \cdot 10^{-6}$ kn/kJ [5] ;
5. vrijeme rada postrojenja u godini: $\tau = 5700$ h/god ;
6. entalpija svježe pare $h_{izl} = 3329$ kJ/kg i njena entropija $s_{izl} = 6{,}933$ kJ/kg K ;
7. entalpija napojne vode $h_{NV} = 420$ kJ/kg i njena entropija $s_{NV} = 1{,}4$ kJ/kg K ;
8. proizvodnja svježe pare:

$$\dot{m}_p = \frac{\dot{m}_g \ \eta H_d}{h_{izl} - h_{NV}} = 6{,}7 \text{ kg/s } (\approx 25 \text{ t/h}).$$

Dijagram 3. prikazuje ovisnost godišnjih troškova za energetskih sustav o pogonskim parametrima pare na izlazu iz parnoturbinskog postrojenja.

Sljedeća zakonitost koja proizlazi iz različitih krivulja jest: **što je energetsko postrojenje više u radnom pogonu godišnje, to su i godišnji troškovi za energetski sustav veći.**




**Dijagram 3. Ovisnost godišnjih troškova za energetski sustav o eksergetskom protoku pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata**

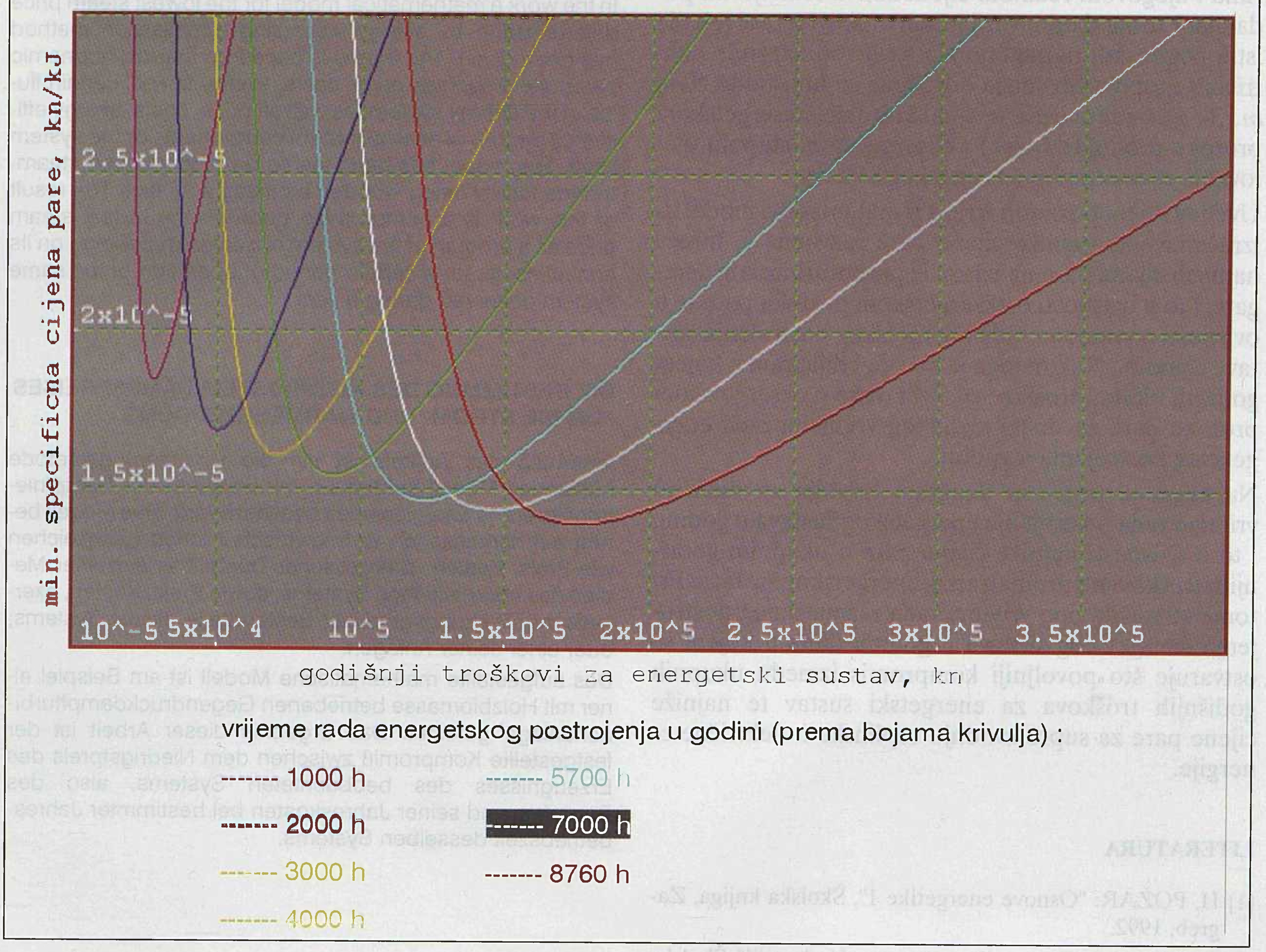
Dijagram 3. prikazuje zakonitost povećanja godišnjih troškova za energetski sustav prema određenim parametrima usporedo s povećanjem eksergetskog protoka pare na izlazu iz parnoturbinskog postrojenja.

## 11. UTJECAJ GODIŠNJIH TROŠKOVA ZA ENERGETSKI SUSTAV NA ODREĐIVANJE NAJNIŽE CIJENE PARE

Troškovi za energetski sustav odnose se na troškove amortizacije postrojenja, troškove goriva, te troškove za pogon i održavanje sustava. Na dijagramu 4. prikazana je ovisnost najniže specifične cijene pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata o godišnjim troškovima za energetski sustav s nekoliko različitih sati pogonskog rada energetskog postrojenja u godini.

2. eksergijski protok pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata
(pogonski parametri pare: 0.05 MPa/115°C):
$\dot{E}_p = \dot{m}_p \left[ h_p - h_0 - T_0 (s_p - s_0) \right] = 3174$ kW.

Krivulje s različitim vremenima rada energetskog postrojenja u godini predstavljaju kompromis između onih godišnjih troškova za energetski sustav kod kojih je moguće postići najnižu cijenu pare u mreži najnižih cijena pare po jedinici eksergije. Iz dijagrama se može zaključiti da se najpovoljniji kompromis između navedenih relacija «godišnji troškovi – najniža cijena pare» postiže kad je energetsko postrojenje u radnom pogonu 5700 sati u godini. Povoljan je kompromis i kod rada postrojenja od 3000 sati u godini.




**Dijagram 4. Ovisnost najniže cijene pare po jedinici eksergije ili minimalne specifične cijene pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata o godišnjim troškovima za energetski sustav**

Na dijagramu 4. prikazano je nekoliko krivulja koje su rezultat uvrštavanja izraza (22) u izraz (17):

$$c_{p,\min} = c_g \cdot \left( 1 + \frac{n \cdot \dot{Z}^{OPT}}{c_g \cdot \dot{E}_p \cdot \tau \cdot 3600} \right) + \frac{(\beta + \gamma) \cdot B}{\tau \cdot \dot{E}_p^{1-m}} \cdot \left( \frac{c_g \cdot \dot{E}_p \cdot \tau \cdot 3600}{n \cdot \dot{Z}^{OPT}} \right) \quad (25)$$

unutar kojeg su uvršteni sljedeći nepromjenjivi parametri:

1. cijena drvnog ostatka: $c_g = 1{,}96 \cdot 10^{-6}$ kn/kJ [5];

## 12. ZAKLJUČAK

U radu je postavljen matematički model za određivanje optimalnog ekonomski-eksergetskog stupnja djelovanja putem kojeg se može odrediti najniža cijena produkta. Taj model primjenjiv je, kako za kompo-

nente energetskog sustava, tako i za sam sustav (metoda *crna kutija*!).

Nakon kratkog objašnjenja o vezi između prvog i drugog zakona termodinamike dana je termoekonomska analiza tipičnih komponenti za energetski sustav na bazi plinskog i parnog procesa kao i termoekonomska analiza energetskog sustava za suproizvodnju toplinske i električne energije.

Dobiveni matematički model primijenjen je na protutlačnom parnoturbinskom postrojenju pogonjenog drvnom biomasom, s određenim pogonskim parametrima i njegovom realnom cijenom. Na temelju tih podataka i trima danim varijantama takovog postrojenja istih pogonskih parametara, a različitih izlaznih električnih i toplinskih snaga određene su konstante $B$, $n$, $m$. Te konstante ovise o cijeni koštanja, eksergetskom protoku produkta (pare) i eksergetskom stupnju djelovanja razmatranog energetskog sustava.

Uvrštavanjem poznatih izraza u matematički model za izračunavanje najniže cijene pare razvijena je mreža najnižih cijena pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata, i to u ovisnosti o eksergetskom protoku pare te u ovisnosti o vremenu rada energetskog postrojenja sustava u godini. Nakon toga je razvijen dijagram u kojem godišnji ukupni troškovi sustava ovise o eksergetskom protoku pare za slučaj različitog vremena rada energetskog postrojenja u godini.

Na kraju je prikazan dijagram krivulja za različito vrijeme rada postrojenja energetskog sustava u godini, i to u ovisnosti najniže cijene pare o ukupnim godišnjim troškovima promatranog energetskog sustava. Pri tome se tražilo ono vrijeme rada razmatranog postrojenja energetskog sustava u godinu dana u kojem se ostvaruje što povoljniji kompromis između ukupnih godišnjih troškova za energetski sustav te najniže cijene pare za suproizvodnju toplinske i električne energije.

## LITERATURA


[1] H. POŽAR: "Osnove energetike 1", Školska knjiga, Zagreb, 1992.

[2] Z. PRELEC: "Energetika u procesnoj industriji", Školska knjiga, Zagreb, 1994.

[3] A. BEJAN, G. TSATSARONIS, M. MORAN,: "Thermal design and optimization", A Wiley-Interscience Publication, New York, USA, 1996.

[4] B. KRAUT: "Strojarski priručnik", Tehnička knjiga, Zagreb, 1976., str. 193.

[5] *GROWING POWER* – "Advanced solutions for bioenergy technology from Finland", pp 13, Found in http://www.tekes.fi/

[6] K. RAŽNJEVIĆ: "Termodinamičke tablice", Školska knjiga, Zagreb, 1975.

[7] V. URAN: "Optimizacija industrijskih energana s kogeneracijskim sustavom proizvodnje energije", Seminarski rad, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2002.

[8] L. KRNIĆ, Z. ŠIKIĆ: "Račun, diferencijalni i integralni", I. Dio, Školska knjiga, Zagreb, 1992.


## DETERMINATION OF LOWEST STEAM PRICE FOR HEAT AND ELECTRIC ENERGY PRODUCTION


In the work a mathematical model for the lowest steam price determination by exergy unit using optimisation method has been given. The model is based on thermal-economic parameters such as price, costs, exergy flow of certain fluids of the energy system, as well as price, costs, exergy efficiency degree of energy system components or the system itself. The model has been tested on a condensed steam-turbine facility using wooden biomass as a fuel. The result of this work is a compromise between the lowest steam price as a product of the system observed depending on its annual costs, for a certain period of operation of the same system observed during a year.


## DIE BESTIMMNG DES NIEDRIGSTEM DAMPFPREISES FÜR DIE STROM- UND WÄRMEERZEUGUNG


Innerhalb des Artikels ist ein die Optimierungsmetode nützendes Modell aufgebaut, mit welchem der Dampfniedrigstpreis je Exergieeinheit bestimmt wird. Das Modell beruht auf numerischen wärmewirtschaftlichen Kennzeichen wie Preis, Kosten, exergetischer Durchfluss einzelner Medien des energetischen Systems, sowie Preis, Kosten, exergetischer Wirkungsgrad der Bestandteile dieses Systems, oder einer seiner Anlagen.

Das aufgestellte mathematische Modell ist am Beispiel einer mit Holzbiomasse betriebenen Gegendruckdampfturbinenanlage getestet. Das Ergebnis dieser Arbeit ist der festgestellte Kompromiß zwischen dem Niedrigstpreis des Erzeugnisses des beobachteten Systems, also des Dampfes, und seiner Jahreskosten bei bestimmter Jahresbetriebszeit desselben Systems.



Naslov pisca:

**Vedran Uran, dipl. ing.**
**"CASE" d.o.o.**
**Šetalište XIII. divizije 28**
**51000 Rijeka, Hrvatska**



Uredništvo primilo rukopis:
2002 – 12 – 10.

# METODE ZA IZBOR OPTIMALNE VELIČINE I LOKACIJE UGRADNJE KOMPENZACIJSKIH UREĐAJA

Prof. dr. sc. Matislav M a j s t r o v i ć – mr. sc. Goran M a j s t r o v i ć – mr. sc. Davor B a j s, Zagreb

UDK 621.3.083.5:621.316
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

U članku se prezentira matematički model za određivanje optimalne veličine i lokacije kompenzacijskih uređaja s aspekta naponskih prilika, gubitaka radne snage i blizine sloma napona u elektroenergetskom sustavu. Na temelju sva tri promatranja kriterija formira se jedna objektna funkcija čije rješenje daje optimum, odnosno najpovoljnije lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja radi zadovoljenja naponskih prilika, smanjenja gubitaka radne snage i izbjegavanja sloma napona.

**Ključne riječi: matematički model, kompenzacijski uređaj, naponske prilike, gubici radne snage, blizina sloma napona.**

## 1. UVOD

Osnovni zadatak elektroenergetskog sustava je da svojim korisnicima osigura kvalitetnu električnu energiju, odnosno konstantnost frekvencije i napona unutar dopuštenih granica u svim čvorištima mreže, uz održanje zahtijevane sigurnosti i raspoloživosti, pri čemu je navedene zadatke potrebno realizirati uz što manje troškove. Stoga se kod planiranja izgradnje i korištenja prijenosne mreže često susreće problem određivanja najpovoljnije lokacije i snage kompenzacijskih uređaja. Priključkom kompenzacijskih uređaja na mrežu utječe se na profil napona u mreži, a time i na tokove jalovih snaga, čime se također može utjecati i na promjenu gubitaka radne snage u sustavu.

Problem kompenzacije jalove snage u mreži tako dobiva dvije dimenzije: zadovoljenje naponskih prilika i minimiziranje gubitaka radne snage. Doda li se tome i problem određivanja najkritičnijih čvorišta s aspketa kolapsa napona, vidimo da problem postaje dosta složen. Prilikom određivanja optimalne lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja potrebno je također voditi računa o ograničenjima koja proistječu iz pogonskih zahtjeva i ustrojstva sustava. Stoga se javila potreba za razvijanjem matematičkog modela kojim bi se obuhvatili svi navedeni problemi i ograničenja, te definirala metoda koja bi se mogla koristiti u budućnosti u praksi pri rješavanju razmatranog problema. Ta metoda bi, uz potpune ulazne podatke, dala nedvosmisleno rješenje o lokaciji i veličini kompenzacijskog uređaja u sustavu. U ovom radu opisana je metoda [1] po kojoj se određuje najpovoljnija lokacija kompenzacijskog uređaja s aspekta zadovoljenja naponskih prilika, minimiziranja gubitaka radne snage, te s aspekta najkritičnijeg čvorišta za kolaps napona. Pridodavanjem težinskih faktora za svaki pojedini kriterij određuje se najpovoljnija lokacija istodobno za sva tri uvjeta.

## 2. MATEMATIČKI MODEL

### 2.1. Određivanje najpovoljnije lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja s aspekta zadovoljenja naponskih prilika

Princip po kojem se određuje najpovoljnija lokacije je najveći odziv (promjena) napona na male jedinične vrijednosti injektiranih reaktivnih snaga. U najpovoljniji čvor se zatim priključuju standardne nazivne vrijednosti kompenzacijskih uređaja, sve dok se ne zadovolje naponske prilike. Pri tom se vodi računa o postavljenim ograničenjima s aspekta dopuštenih naponskih granica (relacije 1 i 2), te dopuštene promjene iznosa (modula) napona pri uključivanju kompenzacijskog uređaja (3).

$$V_j \le V_{max\,j} \tag{1}$$

$$V_j \ge V_{min\,j} \tag{2}$$

$$\left|\Delta V_j\right| \le \Delta v\, V_j \tag{3}$$

gdje su:

$V_j$ – modul napona u čvoru ; j = 1, 2, ..., $N$.; $j \neq r$,
$N$ – ukupni broj čvorova,
$r$ – čvor u kojem se nalazi regulacijska elektrana,
$V_{max}$ – maksimalni dopušteni iznos napona,
$V_{min}$ – minimalni dopušteni iznos napona,
$\Delta V$ – porast modula napona u čvoru u odnosu na početnu vrijednost prilikom uključenja kompenzacijskog uređaja,
$\Delta v$ – dozvoljeni relativni skok modula napona, na pr. 0.05 (5%).

Ukoliko se neko od navedenih ograničenja ne može zadovoljiti u promatranom čvoru, prelazi se na sljedeći čvor s najvećim prosječnim koeficijentom naponske osjetljivosti. Postupak se ponavlja sve dok se ne zadovolje sva ograničenja (optimalno rješenje) ili dok se ne iskoriste sve mogućnosti (sub-optimalno rješenje).

Svakom pojedinom čvoru pridružuje se jedan koeficijent kojim se opisuje koliko je promatrani čvor povoljan za ugradnju kompenzacijskog uređaja. Na taj način se dobije matrica tzv. koeficijenata naponske osjetljivosti. Koeficijent naponske osjetljivosti opisuje kolika bi bila ukupna promjena napona ako u taj čvor injektiramo reaktivnu snagu, odnosno ugradimo kompenzacijski uređaj jedinične snage. Najpovoljniji čvor za ugradnju kompenzacijskog uređaja je predstavljen maksimalnim koeficijentom naponske osjetljivosti. Matematički model počinje klasičnom matričnom jednadžbom koja opisuje vezu između napona i struje u stacionarnom stanju:

$$[V]=[Z][I] \tag{4}$$

gdje su:

$[V]$ – n-dimezionalni vektor napona čvorova (kompleksna varijabla $V=V\Theta$),

$[I]$ – $N$- dimenzionalni vektor struja čvorova (kompleksna varijabla),

$[Z]$ – $N \times N$ dimenzionalna matrica vlastitih i međusobnih impedancija čvorova (kompleksna varijabla).

Injektiranjem reaktivne snage u neki čvor, koje ćemo prikazati kao injektirane struje $[\Delta I]$, dolazi do promjene napona za $[\Delta V]$. Naponi čvorova nakon injekcije struja $[\Delta I]$ su:

$$[V_{novi}]=[V]+[\Delta V] \tag{5}$$

odnosno

$$[V_{novi}]=[Z][I]+[Z][\Delta I] \tag{6}$$

Prema tome vrijedi da je:

$$[\Delta V]=[Z][\Delta I] \tag{7}$$

Dakle, promjena napona jednaka je umnošku vlastitih i međusobnih impedancija čvorova i promjene struje. Poznati izraz za prividnu snagu je:

$$S = VI^* \tag{8}$$

gdje je:

$I^*$ – konjugirano kompleksna vrijednost struje.

Dogovorom je određeno da se induktivna snaga označava kao pozitivna, odnosno kapacitivna jalova snaga kao negativna. Iz izraza (8) vrijedi da je konjugirano kompleksna vrijednost struje jednaka:

$$I^*=\frac{S}{V} \tag{9}$$

prema tome je za induktivnu jalovu snagu:

$$I=\frac{S^*}{V^*}=\frac{(P+jQ)^*}{V^*}=\frac{P-jQ}{V^*} \tag{10}$$

Analogno, uz kapacitivnu jalovu snagu vrijedi:

$$I=\frac{S^*}{V^*}=\frac{P+jQ}{V^*} \tag{11}$$

Sada je potrebno razmotriti jedan po jedan čvor. Ukoliko se u $k$-ti čvor priključi kompenzacijski uređaj male snage (Q), injektirana struja u tom čvoru će biti:

$$\Delta I_k=\frac{\pm jQ}{V_k{}^*} \tag{12}$$

gdje predznak ovisi o vrsti razmatranog kompenzacijskog uređaja (kapacitivnog ili induktivnog karaktera). Za slučaj da samo u čvor $k$ injektiramo struju $\Delta I_k$, jednadžba (7) poprima sljedeći oblik:

$$\begin{bmatrix}\Delta V_1\\ \vdots\\ \Delta V_k\\ \vdots\\ \Delta V_N\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}Z_{11} & \dots & Z_{1k} & \dots & Z_{1N}\\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots\\ Z_{k1} & \dots & Z_{kk} & \dots & Z_{kN}\\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots\\ Z_{N1} & \dots & Z_{Nk} & \dots & Z_{NN}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0\\ 0\\ \Delta I_k\\ 0\\ 0\end{bmatrix} \tag{13}$$

Prema (12) porast napona u $i$-tom čvoru bit će:

$$\Delta V_i=Z_{ik}\cdot\Delta I_\kappa=Z_{ik}\left(\frac{\pm jQ}{V_k{}^*}\right) \tag{14}$$

Na taj način se dobije odziv (promjena) napona u svakom pojedinom čvoru zbog injektirane struje $\Delta I_k$ u čvoru $k$. Sumiranjem odziva svih čvorova kojima su naponi izvan dopuštenih granica dobije se veličina koju nazivamo *koeficijent naponske osjetljivosti (PKNO)*, definirana je kao suma promjena modula napona pri uključenju male reaktivne snage u čvoru $k$.

$$PKNO_k=\sum_{1\in P}|\Delta V_1|=\sum_{1\in P}\left|Z_{1,k}\left(\frac{\pm jQ}{V_k{}^*}\right)\right| \tag{15}$$

gdje je:

$P$ – skup svih čvorova za koje je napon izvan dopuštenih granica, odnosno vrijedi da je:

$$V_1\geq V_{\max 1} \tag{16}$$

ili

$$V_1\leq V_{\min 1} \tag{17}$$

Da bi se odredio raspored potrebnih kompenzacijskih uređaja za svaki potencijalni čvor odredi se koeficijent naponske osjetljivosti, te se na kraju odredi čvor s najvećim koeficijentom. Međutim, taj koeficijent opisuje promatrani čvor samo za jedno stanje sustava. Da bi se dobila realnija slika o kvaliteti tog čvora kao potencijalne lokacije potrebno je na isti način promotriti i druga moguća stanja sustava s aspekta drugih opterećenja, neraspoloživosti pojedinih komponenti i sl. Budući da se svako stanje sustava očekuje s nekom vjerojatnošću, množenjem koeficijenta naponske osjetljivosti za promatrano stanje i vjerojatnosti pripadnog stanja, te sumiranjem tih umnožaka za sva promatrana stanja dobit će se prosječni koeficijent naponske osjetljivosti, tj. realni pregled kvalitete tog

čvora kao potencijalne lokacije kompenzacijskog uređaja koji najviše zadovoljava sva razmatrana stanja. Uzme li se u razmatranje *Ms* različitih pogonskih stanja sustava, za svako razmatrano stanje $i = 1, 2, ...., Ms$ dobije se koeficijent naponske osjetljivosti u čvoru k:

$$PKNO_{k,i} = \left(\sum_{l\in P}\left|\Delta V_l\right|\right)_i = \left(\sum_{l\in P} Z_{l,k}\left|\frac{\pm jQ}{V_k{}^*}\right|\right)_i$$

$$; i = 1,2,.....,Ms. \qquad (18)$$

Uz vjerojatnost svakog promatranog pogonskog stanja, potrebno je svakom stanju pridodati i mjeru naponske težine. Bez obzira na vjerojatnost pojave nekog stanja, ne smiju imati istu težinu stanje pri kojem se rješava vrlo izraženi problem nezadovoljenja naponskih ograničenja i stanje pri kojem se rješava relativno mali problem nezadovoljavanja naponskih prilika. Stoga se svakom razmatranom stanju sustava pridjeljuje težinski faktor kojeg nazivamo mjera naponske težine ($w_i$). Taj faktor definiramo kao sumu razlika dopuštenog napona i trenutnog napona čvorova kojima su naponi izvan dopuštenih granica.

$$w_i = \sum_{l\in P_l}\left|\Delta V_l\right| \qquad (19)$$

gdje je:

$\Delta V_l$ – odstupanje modula napona od dopuštene vrijednosti u čvoru 1.

Za problem previsokih napona:

$$\Delta V_l = V_l - V_{\max l} \quad , \text{za } V_l > V_{\max l} \qquad (20)$$

Za problem preniskih napona:

$$\Delta V_l = V_{\min l} - V_l \quad , \text{za } V_l < V_{\min l} \qquad (21)$$

Koristeći sve spomenute relacije mogu se odrediti prosječni koeficijenti naponske osjetljivosti potencijalnih lokacija kompenzacijskih uređaja u Ms razmatranih pogonskih stanja, uz uvažavanje vjerojatnosti tih stanja i njihove naponske težine. Konačno, *prosječni koeficijenti naponske osjetljivosti (PKNO)* su:

$$PKNO_k = \frac{1}{Ms}\frac{\sum_{i=1}^{Ms}\left(p_i \cdot w_i \cdot \left(\sum_{l\in P}\left|Z_{l,k}\left(\frac{\pm jQ}{V_k{}^*}\right)\right|\right)_i\right)}{\sum_{i=1}^{Ms} p_i \sum_{i=1}^{Ms} w_i}$$

$$; i = 1,2,...,Ms, k \in \Omega \qquad (22)$$

gdje je:

*Ms* – ukupni broj razmatranih stanja,

Ω – skup svih čvorova - potencijalnih lokacija kompenzacijskog uređaja.

Prema tome je matrica prosječnih koeficijenata naponske osjetljivosti

$$[PKNO] = [PKNO_1\ \mathrm{PKNO}_2 \ldots \mathrm{PKNO}_{r-1} \ldots \ldots \mathrm{PKNO}_{r+1} \ldots \mathrm{PKNO}_N]^t \qquad (23)$$

gdje *t* znači transponiranu matricu. Prema iznosu prosječnog koeficijenta naponske osjetljivosti rangiraju se čvorovi, odnosno potencijalne lokacije kompenzacijskog uređaja s aspekta zadovoljenja naponskih prilika. Na slici 1 prikazan je pojednostavljeni dijagram toka predloženog postupka određivanja najpovoljnije lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja s aspekta zadovoljenja naponskih prilika.

### 2.2. Određivanje najpovoljnije lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja s aspekta minimiziranja gubitaka radne snage u mreži

Pretpostavimo da promatrani EES ima N čvorova i NG grana. Pretpostavimo da se u čvoru *r* nalazi regulacijska elektrana. Gubitak snage je razlika između snage izvora i snage potrošača.

$$\Delta S = S_c - S_p \qquad (24)$$

gdje je:

$S_c$ – prividna snaga izvora

$S_p$ – prividna snaga potrošača.

Ukupni gubici radne snage su realni dio ukupnih gubitaka prividne snage, odnosno:

$$\Delta P = \mathrm{Re}(\Delta S) = \mathrm{Re}\left(S_e - S_p\right) =$$

$$= \mathrm{Re}\left(\sum_{k=1}^{N} P_{ek} + \sum_{k=1}^{N} Q_{ek} - \sum_{k=1}^{N} P_{pk} - j\sum_{k=1}^{N} Q_{pk}\right) =$$

$$= \sum_{k=1}^{N} P_{ek} - \sum_{k=1}^{N} P_{pk} = \sum_{k=1}^{N}\left(P_{ek} - P_{pk}\right) \qquad (25)$$

gdje je:

$S_{ck}$ – ukupna prividna snaga izvora u čvoru *k*,

$P_{ck}$ – ukupna radna snaga izvora u čvoru *k*,

$Q_{ck}$ – ukupna jalova snaga izvora u čvoru *k*,

*N* – ukupni broj čvorova.

Budući da je radna snaga po svim čvorovima fiksna po iznosu i unaprijed poznata u jednom razmatranom stanju (osim u čvoru regulacijske elektrane), ukupni gubici radne snage mogu se računati prema sljedećem izrazu:

$$\Delta P = \left(P_{er} - P_{pr}\right) + \sum_{\substack{k=1 \\ k\neq r}}^{N}\left(P_{ek} - P_{pk}\right) \qquad (26)$$

U izrazu (26), sve veličine su unaprijed definirane, osim iznosa radne snage regulacijske elektrane ($P_{cr}$). Stoga se može reći da su ukupni gubici radne snage u promatranoj mreži proporcionalni promjeni radne snage regulacijske elektrane. Općenito se može reći da je prividna snaga u čvoru *k* jednaka razlici snage izvora i snage potrošača u tom čvoru, te je možemo pisati:

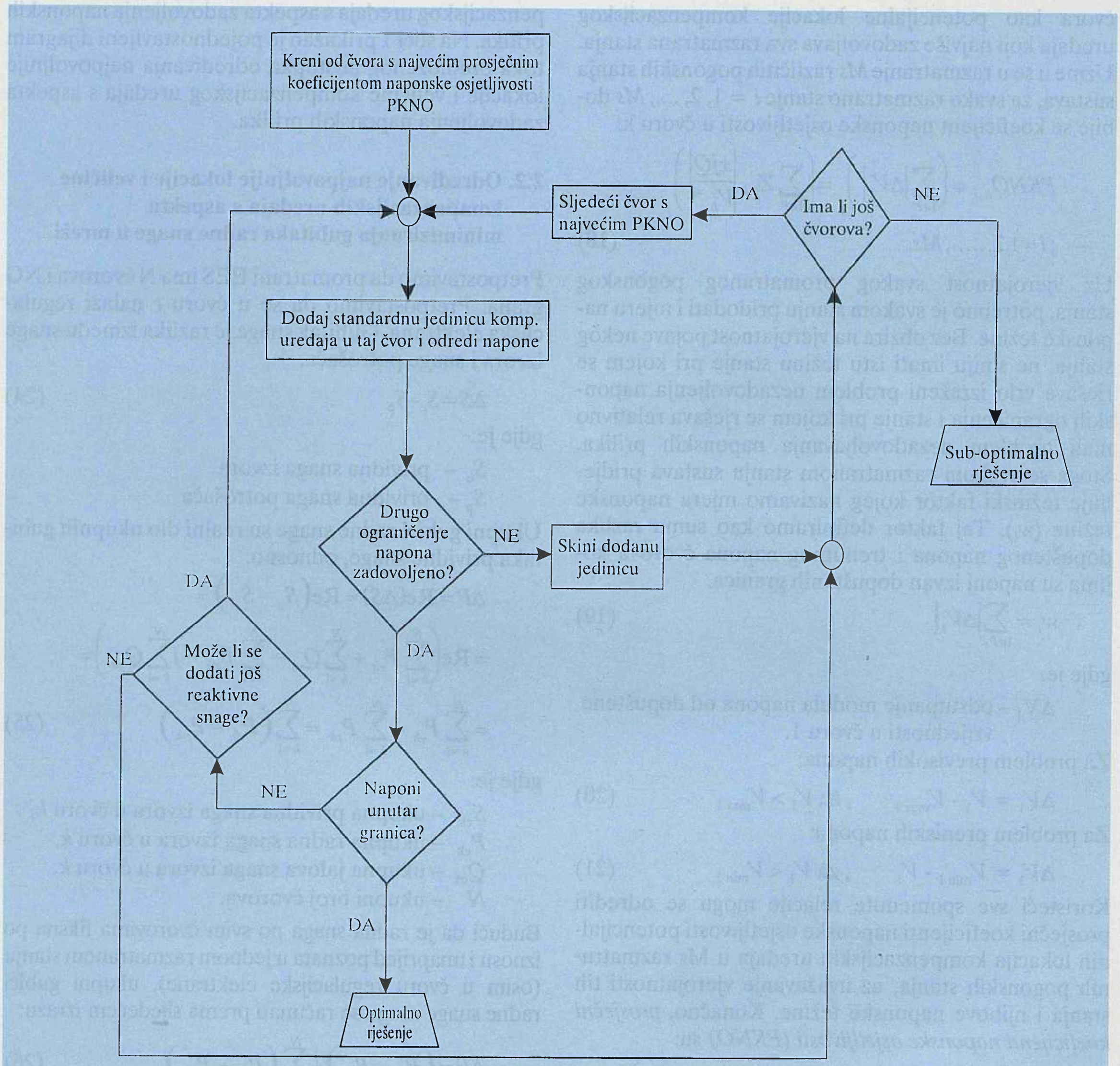
$$S_k = P_k + jQ_k = \left(P_{ek} - P_{pk}\right) + j\left(Q_{ek} - Q_{pk}\right)$$

$$S_k = V_k \sum_{k=1}^{N} Y_{ki}{}^* \cdot V_i{}^* \qquad (27)$$

gdje je:

$V_k$ – napon čvora *k* (kompleksna veličina),

$Y_{ki}$ – član matrice vlastitih i međusobnih admintancija čvorova (kompleksna veličina).




**Slika 1. Blok dijagram toka postupka određivanja optimalne lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja s aspekta zadovoljenja naponskih prilika**

Napone i vlastite i međusobne admintancije čvorova moguće je pisati na sljedeći način:

$$V_k = V_k \cdot e^{j\Theta k} \tag{28}$$

$$Y_{ki} = G_{ki} + jB_{ki} \tag{29}$$

Iz prethodna tri izraza dobije se:

$$P_k = V_k \sum_{i=1}^{N} V_i \left[ G_{ki} \cos\left(\Theta_k - \Theta_i\right) + B_{ki} \sin\left(\Theta_\kappa - \Theta_i\right) \right] \tag{30}$$

$$Q_k = V_k \sum_{i=1}^{N} V_i \left[ G_{ki} \sin\left(\Theta_k - \Theta_i\right) - B_{ki} \cos\left(\Theta_\kappa - \Theta_i\right) \right]$$

Iz jednadžbe (27) je vidljivo da je:

$$P_{ek} = P_k - P_{pk} \quad , Q_{ek} = Q_k - Q_{pk} \tag{31}$$

Iz (30) i (31) slijedi da je:

$$P_{ek} = V_k \sum_{i=1}^{N} V_i \left[ G_{ki} \cos\left(\Theta_k - \Theta_i\right) + B_{ki} \sin\left(\Theta_\kappa - \Theta_i\right) \right] + P_{pk} \tag{32}$$

$$Q_{ek} = V_k \sum_{i=1}^{N} V_i \left[ G_{ki} \sin\left(\Theta_k - \Theta_i\right) - B_{ki} \cos\left(\Theta_\kappa - \Theta_i\right) \right] + Q_{pk}$$

Radi jednostavnosti ćemo razliku kuteva pisati kao $O_{ki} = O_k - O_i$, pa prema tome iz izraza (26) i (32) slijedi izraz za gubitke radne snage u mreži:

$$\Delta P = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq r}}^{N} \left( P_{ek} - P_{pk} \right) + V_r \sum_{i=1}^{N} V_i \left[ G_{ki} \cos\Theta_{ki} + B_{ki} \sin\Theta_{ki} \right] \tag{33}$$

Dakle, ukupni gubici radne snage u mreži su funkcija parametara mreže i napona čvorova. Iz toga slijedi da

se reguliranjem napona u mreži mogu mijenjati i gubici radne snage. Ovisnost gubitaka radne snage o promjeni napona čvorova prikazuje se pomoću totalnog diferencijala koji je u matričnom obliku zapisan relacijom (34). Matrica [JC] je stupčasta matrica s elementima prema (34a).

$$[d(\Delta P)]=[JC]'[\Delta U] \tag{34}$$

$$[JC]=\begin{bmatrix} \dfrac{\partial P_{er}}{\partial \theta} \\ \\ \dfrac{\partial P_{er}}{\partial V} \end{bmatrix} \tag{34a}$$

Nadalje je

$$[\Delta U]=\begin{bmatrix} \Delta\Theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \tag{35}$$

Osim jednadžbe (34) za proračun ovisnosti promjene gubitaka radne snage o promjeni napona koristimo i matričnu jednadžbu za proračun napona čvorova:

$$[\Delta PQ]=[J][\Delta U] \tag{36}$$

gdje je:

- $[J]$ – Jakobijana reda 2(N-1),
- $[\Delta PQ]$ – stupčasta matrica razlike izračunate i stvarne radne i jalove snage po svim čvorovima
- $[\Delta U]$ – stupčasta matrica razlike izračunate i stvarne vrijednosti napona po svim čvorovima (35).

Iz ranije navedenih jednadžbi (34) i (36) dobija se:

$$[\Delta PQ]=[J][\Delta U] \Rightarrow [\Delta U]=[J]^{-1}[\Delta PQ] \tag{37}$$

$$[d(\Delta P)]=[JC]'[\Delta U]=[JC]'[J]^{-1}[\Delta PQ]=$$

$$=[L][\Delta PQ] \tag{38}$$

gdje je [L] matrica koeficijenata osjetljivosti. Ona je jednaka

$$[L]=[JC]'[J]^{-1} \tag{39}$$

Matrica [*L*] *je reda 2N*-2. Prvih *N*-1 članova matrice opisuje ovisnost promjene gubitaka radne snage o promjeni radne snage u čvorovima, dok preostalih *N*-1 članvoa opisuje ovisnost promjene gubitaka radne snage o promjeni jalove snage čvorova. Posljednji *N*-1 članovi matrice [L] predstavljaju koeficijente osjetljivosti s aspekta jalove snage, odnosno pomoću tih članova se rangiraju čvorovi po povoljnosti lokacije kompenzatora jalove snage. Najpovoljniji je onaj čvor koji ima najviši koeficijent osjetljivosti. Dakle, analiza najpovoljnije lokacije kompenzacijskog uređaja s aspekta minimiziranja gubitaka radne snage temelji se na proračunu elemenata karakteristične matrice osjetljivosti koji opisuju povoljnost pojedinih čvorova. Analogno prethodno analiziranom kriteriju zadovoljenja naponskih prilika, razmatraju se različita pogonska stanja. Ta pogonska stanja okarakterizirana su pripadnim vjerojatnostima ($p_i$), čija suma je jednaka jedan, budući da je riječ o međusobno nezavisnim događajima. Za svako pogonsko stanje dobit će se pripadna matrica $[L]_i$, gdje je $i$=1,2,.... *Ms* broj različitih stanja sustava. Srednja ili prosječna matrica koeficijenata osjetljivosti definira se kao suma umnožaka vjerojatnosti pogonskih stanja i pripadnih matrica osjetljivosti:

$$[\overline{L}]=\sum_{i=1}^{Ms} p_i [L]_i \tag{40}$$

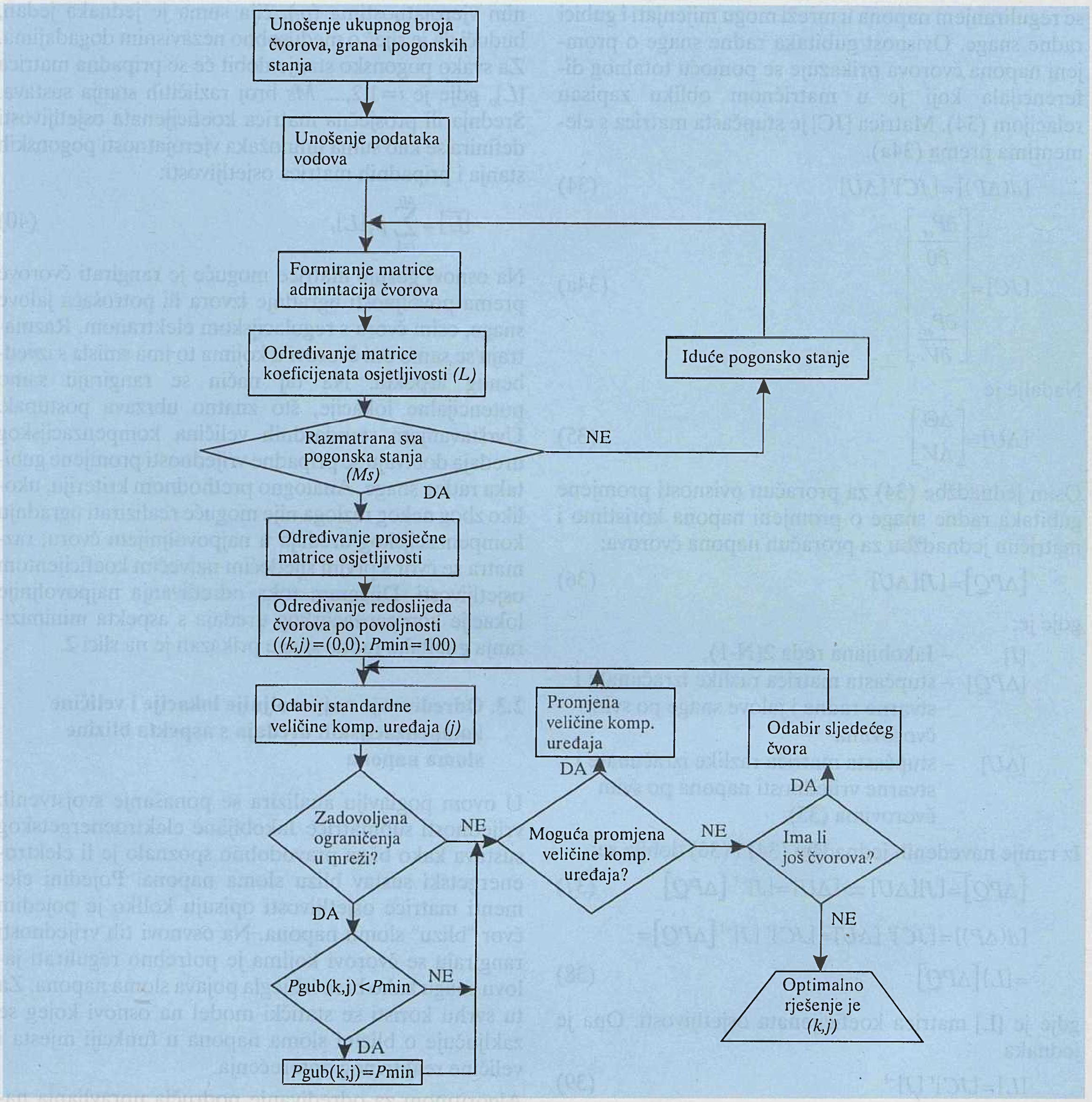
Na osnovi gornje matrice moguće je rangirati čvorove prema povoljnosti ugradnje izvora ili potrošača jalove snage, osim čvora s regulacijskom elektranom. Razmatraju se samo oni čvorovi u kojima to ima smisla s izvedbenog aspekta. Na taj način se rangiraju samo potencijalne lokacije, što znatno ubrzava postupak. Uvrštavanjem standardnih veličina kompenzacijskog uređaja dobivaju se pripadne vrijednosti promjene gubitaka radne snage. Analogno prethodnom kriteriju, ukoliko zbog nekog razloga nije moguće realizirati ugradnju kompenzacijskog uređaja u najpovoljnijem čvoru, razmatra se čvor s prvim sljedećim najvećim koeficijentom osjetljivosti. Dijagram toka određivanja najpovoljnije lokacije kompenzacijskog uređaja s aspekta minimiziranja gubitaka radne snage prikazan je na slici 2.

### 2.3. Određivanje najpovoljnije lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja s aspekta blizine sloma napona

U ovom poglavlju analizira se ponašanje svojstvenih vrijednosti submatrice Jakobijane elektroenergetskog sustava kako bi se pravodobno spoznalo je li elektroenergetski sustav blizu sloma napona. Pojedini elementi matrice osjetljivosti opisuju koliko je pojedini čvor "blizu" slomu napona. Na osvnovi tih vrijednosti rangiraju se čvorovi kojima je potrebno regulirati jalovu snagu kako bi se izbjegla pojava sloma napona. Za tu svrhu koristi se statički model na osnovi kojeg se zaključuje o blizini sloma napona u funkciji mjesta i veličine reaktivnog opterećenja.

Algoritmom za određivanje područja upravljanja naponom u jednom EES-u određuju se slabe električne veze. Na osnovi ovih veza može se odrediti područje upravljanja naponom. Baza ove analize je submatrica Jakobijane (*PV* i *PQ* sabirnice). Sam postupak se sastoji od sljedećih koraka:

1. traži se najveći dijagonalni element submatrice Jakobijane,
2. dijeli se svaki element submatrice s najvećim dijagonalnim elementom (normiraju se elementi submatrice),
3. apsolutne vrijednosti normiranih elemenata svakog retka se posebno poredaju od najmanje do najveće vrijednosti. Potom se eliminiraju elementi s najmanjim vrijednostima iz svakog retka. Eliminacija se vrši sve dotle dok suma eliminiranih elemenata bude manja ili jednaka unaprijed definiranom broju,




**Slika 2. Blok dijagram toka postupka određivanja optimalne lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja s aspekta minimiziranja gubitaka radne snage**

4. grupe sabirnica koje su ostale još povezane čine područje upravljanja naponom.

Opća jednadžba kod određivanja naponskih prilika i tokova snaga glasi:

$$\begin{bmatrix}\Delta P\\ \Delta Q\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial V}\\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial V}\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}\Delta\delta\\ \Delta V\end{bmatrix} \tag{41}$$

gdje je:

$\Delta P$ – vektor razlika radnih snaga čvora,
$\Delta Q$ – vektor razlika jalovih snaga čvora,
$\Delta\delta$ – vektor razlike kutova napona,
$\Delta V$ – vektor razlike modula napona.

Prethodna jednadžba pisana u proširenoj formi je:

$$[\Delta P]=\left[\frac{\partial P}{\partial \delta}\right]\cdot[\Delta\delta]+\left[\frac{\partial P}{\partial V}\right]\cdot[\Delta V]$$
$$[\Delta Q]=\left[\frac{\partial Q}{\partial \delta}\right]\cdot[\Delta\delta]+\left[\frac{\partial Q}{\partial V}\right]\cdot[\Delta V] \tag{42}$$

Budući da tražimo čvorove (sabirnice) u kojima će se postaviti kompenzacijski uređaji, u tim čvorovima se javlja matrica [ΔQ], dok je matrica $[\Delta P]=[0]$ (nul-matrica, tj. matrica čiji su svi članovi jednaki nuli). Svi čvorovi u mreži su potencijalne lokacije, osim čvorova u kojima su regulacijske elektrane. Uvažavajući prethodne jednadžbe, slijedi da je:

$$[0]=\left[\frac{\partial P}{\partial \delta}\right]\cdot[\Delta\delta]+\left[\frac{\partial P}{\partial V}\right]\cdot[\Delta V] \tag{43}$$

odnosno:

$$\left[\frac{\partial P}{\partial \delta}\right]\cdot[\Delta\delta]=-\left[\frac{\partial P}{\partial V}\right]\cdot[\Delta V] \tag{44}$$

$$[\Delta\delta]=-\left[\frac{\partial P}{\partial \delta}\right]^{-1}\left[\frac{\partial P}{\partial V}\right]\cdot[\Delta V]$$

Iz jednadžbe (42) vrijedi da je:

$$[\Delta Q]=\left[\frac{\partial Q}{\partial \delta}\right]\cdot[\Delta\delta]+\left[\frac{\partial Q}{\partial V}\right]\cdot[\Delta V] \tag{45}$$

Iz (44) i (45) dobije se:

$$[\Delta Q]=\left[\frac{\partial Q}{\partial \delta}\right]\cdot\left(-\left[\frac{\partial P}{\partial \delta}\right]^{-1}\left[\frac{\partial P}{\partial V}\right]\cdot[\Delta V]\right)+\left[\frac{\partial Q}{\partial V}\right]\cdot[\Delta V] \tag{46}$$

$$[\Delta Q]=\left(-\left[\frac{\partial Q}{\partial \delta}\right]\cdot\left[\frac{\partial P}{\partial \delta}\right]^{-1}\left[\frac{\partial P}{\partial V}\right]+\left[\frac{\partial Q}{\partial V}\right]\right)\cdot[\Delta V]=[D]\cdot[\Delta V]$$

gdje je:

$$[D]=\left[\frac{\partial Q}{\partial \delta}\right]\cdot\left[\frac{\partial P}{\partial \delta}\right]^{-1}\left[\frac{\partial P}{\partial V}\right]+\left[\frac{\partial Q}{\partial V}\right].$$

U skladu s jednadžbom (46) vrijedi da je:

$$[D]\cdot[\Delta V]=[\Delta Q] \tag{47}$$

Dimenzija kvadratne matrice $[D]$ *je* $M$ (gdje je $M$ – ukupni broj sabirnica-potencijalnih lokacija ($M \le (N\text{-}1)$). Ova se jednadžba može čitati na način da linearni operator $[D]$ transformira vektor napona $[\Delta V]$ u vektor $[\Delta Q]$. Može se postaviti pitanje postoje li u ovom prostoru neki vektori koje linearna transformacija, određena matricom $[D]$ kao operatorom, transformira u kolinearne vektore, tako da se može napisati da je

$$[D]\cdot[\Delta V]=\lambda\cdot[\Delta V] \tag{48}$$

gdje je:

$\lambda$ – neki skalar.

Ova matrična jednadžba se može napisati i na sljedeći način:

$$([D]-\lambda\cdot[I])\cdot[\Delta V]=[0] \tag{49}$$

gdje je:

$[I]$ – jedinična matrica, a [0] – nul vektor.

Ovo je sustav od $M$ homogenih linearnih jednadžbi sa $M$ nepoznanica i imat će netrivijalna rješenja samo onda kada je determinanta sustava jednaka nuli, tj. ako vrijedi:

$$|D-\lambda\cdot I|=0 \tag{50}$$

Odnosno može se pisati

$$p(\lambda)=|\lambda\cdot I-D| \tag{51}$$

gdje je $p(\lambda)$ karakteristični polinom matrice $[D]$. Budući da su elementi matrice [D] realni brojevi, slijedi da je

$$p(\lambda)=\lambda^{M}-c_1\cdot\lambda^{M-1}+c_2\cdot\lambda^{M-2}-\cdots+(-1)^{M}\cdot c_M \tag{52}$$

Svi koeficijenti ovog polinoma su realni brojevi. U skladu s jednadžbom (51) ti koeficijenti su:

$$c_1=\sum_{i=1}^{M} d_{ii} \tag{53}$$

gdje je:

$d_{ii}$ – $i$-ti dijagonalni element matrice [D].

Općenito je $c_j$ ($j$=2,···, $M$–1) jednak zbroju glavnih subdeterminanti reda j. Ima ih $\binom{M}{j}$, dok je

$$c_M=|D| \tag{54}$$

Karakteristični polinom (jednadžba 52) se može napisati i na sljedeći način:

$$p(\lambda)=\prod_{i=1}^{M}(\lambda-\lambda_i) \tag{55}$$

gdje su:

$\lambda_i$ – ($i$ = 1, 2, ...., $M$) korijeni karakterističnog polinoma, odnosno karakteristične jednadžbe (49) i nazivaju se svojstvene vrijednosti matrice $[D]$.

Matematičkom analizom se može pokazati da se svojstvene vrijednosti matrice $[D]$, dakle veličine $\lambda$, odnose na odgovarajuće čvorove. Veza između korijena i koeficijenata karakterističnog polinoma je sljedeća:

$$c_1=\sum_{i=1}^{M}\lambda_i \tag{56}$$

$$c_2=\lambda_1\cdot\lambda_2+\lambda_1\cdot\lambda_3+\cdots+\lambda_{M-1}\cdot\lambda_M \tag{57}$$

$$c_M=\sum_{j=1}^{M}\lambda_j \tag{58}$$

U skladu s jednadžbama (58) i (54) dovoljno je da jedna svojstvena vrijednost bude nula, pa da determinanta matrice $[D]$ bude jednaka nuli, što znači da je ova matrica singularna. Drugim riječima, ako se u realnom EES-u najmanja svojstvena vrijednost približava nuli, to znači da se EES približava točki kada nastupa slom napona. Stoga je na osnovi rangiranja svojstvenih vrijednosti moguće rangirati potencijalne lokacije za ugradnju kompenzacijskog uređaja s aspekta izbjegavanja sloma napona. Najmanji iznos funkcije $\lambda$ opisuje čvor u kojem je slom napona najbliži. Dakle, čvor s najmanjim $\lambda$ je "najkritičniji" čvor s aspekta sloma napona. Budući da su kod prethodna dva uvjeta najpovoljniji čvorovi za ugradnju kompenzacijskog uređaja bili opisani najvećim iznosom pripadnog koeficijenta osjetljivosti, na isti način promatramo i slom napona, odnosno uzimamo recipročnu vrijednost koeficijenta $\lambda$.

$$\varepsilon_j=\frac{1}{\lambda_j} \tag{59}$$

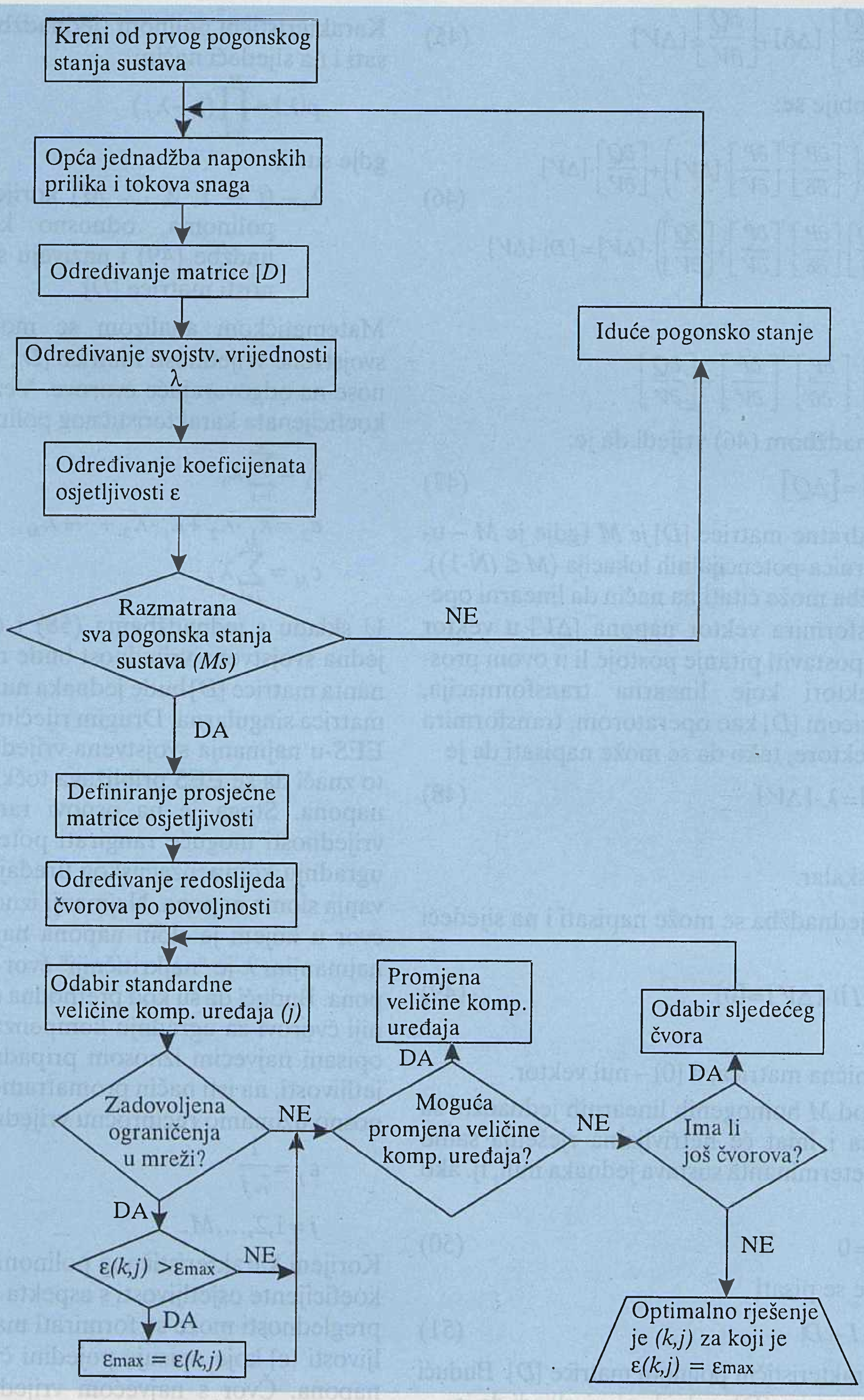
$$j=1,2,\ldots,M.$$

Korijeni karakterističnog polinoma $p(\lambda)$ predstavljaju koeficijente osjetljivosti s aspekta sloma napona. Radi preglednosti može se formirati matrica (vektor) osjetljivosti [ε] koja opisuje pojedini čvor s aspekta sloma napona. Čvor s najvećom vrijednošću ε je najbliže slomu napona, tj. to je najpovoljniji čvor za ugradnju kompenzacijskog uređaja s aspekta sloma napona.

Analogno prethodnim poglavljima potrebno je provesti analizu najkritičnijih čvorova za više pogonskih stanja ($i$=1,2,...*Ms.*). Svako pogonsko stanje je okarakterizirano određenom vjerojatnošću $p_i$. Srednja ili prosječna matrica koeficijenta osjetljivosti s aspekta sloma napona definira se kao suma umnožaka vjerojatnosti pogonskih stanja i pripadnih matrica osjetljivosti:

$$[\bar{\varepsilon}] = \sum_{i=1}^{Ms} p_i [\varepsilon]_i \qquad (60)$$

Članovi matrice $[\bar{\varepsilon}]$ uključuju u sebi razmatrana pogonska stanja u dužem vremenskom razdoblju i opisuju pogodnost čvorova za ugradnju kompenzacijskih uređaja. Na taj način smo rangirali čvorove s aspekta sloma napona. Najveći element matrice $[\bar{\varepsilon}]$ je najpogodnija lokacija za ugradnju uređaja za kompenzaciju jalove snage. Nakon toga potrebno je odrediti najpovoljniju veličinu kompenzacijskog uređaja. Sljedeća slika prikazuje dijagram toka funkcije određivanja najpovoljnije lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja s aspekta sloma napona.




**Slika 3. Blok dijagram toka postupka određivanja optimalne lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja s aspekta izbjegavanja sloma napona**

### 2.4. Konačni odabir lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja

Nakon provedenih analiza u prethodnim poglavljima dobili smo tri karakteristične matrice koje rangiraju čvorove kao potencijalne lokacije kompenzacijskog uređaja prema tri opisana kriterija. Postavlja se pitanje kako od tri neovisna uvjeta i tri neovisna rangiranja lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja dobiti jedinstvenu lokaciju i veličinu kompenzacijskog uređaja, odnosno jedinstveno rješenje koje bi moglo zadovoljiti sve postavljene uvjete.

Kao što je ranije rečeno, ovisno o konkretnom problemu, ali i iskustvu, svakom pojedinom kriteriju pridodaje se koeficijent važnosti, tj. težinski faktor, ovisno o tome koliku ulogu ima razmatrani kriterij (naponske prilike, gubici radne snage ili slom napona) u rješavanju problema u konkretnoj mreži. Težinski faktori mogu imati vrijednost i veću od jedan, ovisno o slobodnoj procjeni autora. Dakle, težinski faktori nisu vjerojatnosti, niti se mogu dokazati eksperimentom. To su veličine koje se definiraju na osnovi slobodne procjene planera koji na osnovi vlastitih iskustava, vezano za funkcioniranje prijenosne mreže, može postaviti relativne odnose između pojedinih stanja mreže s obzirom na kvalitetu pogona.

Osim toga potrebno je naglasiti da se kompenzacijski uređaj ugrađuje za jedno duže vremensko razdoblje, dakle ne za trenutne potrebe u mreži. Stoga je potrebno naći najpovoljniju lokaciju i veličinu kompenzacijskog uređaja za više različitih pogonskih stanja i za sagledivo iduće razdoblje. Zbog toga se koriste prosječne vrijednosti koeficijenata, te se formira jedna općenita matrica [*f*] koja predstavlja objektnu funkciju i to na sljedeći način:

$$[f]=w_{nap}[PKNO]+w_{gub}[\overline{L}]+w_{slom}[\bar{\varepsilon}] \qquad (61)$$

gdje su:

- [*PKNO*] – matrica *prosječnih* koeficijenata naponske osjetljivosti prema jednadžbi (23)
- [*L*] – matrica *prosječnih* koeficijenata osjetljivosti s aspekta smanjenja gubitaka radne snage prema jednadžbi (40)
- $[\bar{\varepsilon}]$ – matrica *prosječnih* koeficijenata osjetljivosti s aspekta sloma napona prema jednadžbi (60)
- $W_{nap}$ – težinski faktor koji opisuje ulogu zadovoljenja naponskih prilika pri ugradnji kompenzacijskih uređaja
- $W_{gub}$ – težinski faktor koji opisuje ulogu zadovoljenja gubitaka radne snage pri ugradnji kompenzacijskih uređaja
- $W_{slom}$ – težinski faktor koji opisuje ulogu sloma napona pri ugradnji kompenzacijskih uređaja.

Na taj način matrica [*f*] rangira elemente po sva tri kriterija. Najpovoljniji čvor za ugradnju kompenzacijskog uređaja je onaj koji je u matrici [*f*] opisan najvećim koeficijentom. Time smo odredili najpovoljniju lokaciju, ali ne i veličinu kompenzacijskog uređaja.

Nakon određivanja najpovoljnije lokacije potrebno je odrediti i najpovoljniju veličinu kompenzacijskog uređaja, odnosno njegovu snagu. Dakle, potrebno je za svaku standardnu veličinu kompenzacijskog uređaja u svakom čvoru provjeriti zadovoljenje postavljenih uvjeta, uvažavajući ranije dobivene koeficijente. Sumirajući sve postavljene uvjete jednostavno dobivamo funkciju $F(i,j)$, gdje je $i$ - čvor u kojeg je ugrađen kompenzacijski uređaj nazivne snage "$j$". Funkciju $F(i,j)$ definiramo na sljedeći način:

$$F(i,j)=w_{nap}PKNO(i)\cdot\frac{1}{\Delta V(i,j)+1}+$$

$$+w_{gub}\overline{L}(i)\cdot\frac{1}{\Delta P_{gub}(i,j)+1}+w_{slom}\cdot\bar{\varepsilon}(i) \qquad (62)$$

$$i=1,2,\ldots,M.$$

$$j=1,2,\ldots,Mns.$$

gdje su:

- $\Delta V(i,j)$ – suma apsolutnih vrijednosti odstupanja napona od dopuštenih granica ugradnjom kompenzacijskog uređaja "$j$" u čvor $i$.
- $\Delta P(i,j)$ – ukupno smanjenje gubitaka radne snage u mreži ugradnjom kompenzacijskog uređaja "$j$" u čvor $i$.
- $W_c$ – težinski faktor koji opisuje ulogu cijene ugradnje kompenzacijskih uređaja
- $M$ – ukupni broj čvorova, potencijalnih lokacija kompenzacijskih uređaja
- $Mns$ – ukupni broj nazivnih snaga kompenzacijskih uređaja.

Da bi se izbjegao utjecaj međusobnog nesrazmjera pojedinih veličina (različiti red veličina) potrebno je u relaciji (62) koristiti relativne (jedinične ili normirane) vrijednosti. Pri tom je potrebno prethodno za svaku veličinu odrediti pripadnu baznu vrijednost.

Vrijednost funkcije $F(i,j)$ u čvoru $i$, ugradnjom kompenzacijskog uređaja $j$ bit će veća što su veći koeficijenti osjetljivosti čvora $i$ za pojedini razmatrani kriterij (naponske prilike, gubitke radne snage i slom napona), odnosno što su manji: odstupanje napona od dopuštenih granica i gubici radne snage nakon ugradnje kompenzacijskog uređaja. Tako dobivamo matricu u kojoj retke predstavljaju čvorovi kao potencijalne lokacije kompenzacijskih uređaja, a stupce standardne nazivne vrijednosti kompenzacijskih uređaja. Ovu matricu ćemo nazvati globalnom matricom osjetljivosti.

$$[F]=\begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & \cdots & F_{1\mathrm{Mns}} \\ F_{21} & F_{22} & \cdots & F_{2\mathrm{Mns}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ F_{\mathrm{M1}} & F_{\mathrm{M2}} & \cdots & F_{\mathrm{MMns}} \end{bmatrix} \quad (63)$$

Pretpostavimo da se promatrana mreža sastoji od *M* čvorova – potencijalnih lokacija kompenzacijskog uređaja, te da standardna snaga kompenzacijskog uređaja može varirati od 200 MVAr kapacitivno do 200 MVAr induktivno i to u modulima od po 50 MVAr. To znači da pretpostavljamo da kompenzacijski uređaj može imati nazivnu snagu od 50 MVAr, 100 MVAr, 150 MVAr i 200 MVAr u kapacitivnom i u indukativnom području. Naravno, ovo su pretpostavke samo za ovaj primjer. U praksi je potrebno uzeti sve veličine kompenzacijskih uređaja dostupne na tržištu, te ih ravnopravno razmatrati. Globalna matrica osjetljivosti u konkretnom slučaju je:

$[F]=$

| čvor / nazivna snaga (MVAr) | | KOMPENZACIJSKI UREĐAJ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | -200 MVAr | -150 MVAr | ..... | 100 MVAr | 150 MVAr | 200 MVAr |
| Č V O R | 1 | F(1,-200 MVAr) | F(1,-150 MVAr) | ... | F(1,100 MVAr) | F(1, 150 MVAr) | F(1, 200 MVAr) |
| | 2 | F(2,-200 MVAr) | F(2,-150 MVAr) | ... | F(2, 100 MVAr) | F(2, 150 MVAr) | F(2, 200 MVAr) |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | M | F(N,-200 MVAr) | F(N,-150 MVAr) | ... | F(N, 100 MVAr) | F(N, 150 MVAr) | F(N, 200 MVAr) |

Najpovoljnije rješenje predstavlja ona kombinacija (čvor, veličina kompenzacijskog uređaja)=(*i,j*) koja je opisana najvećim iznosom funkcije *F(i,j)*. To znači da bi se od svih razmatranih opcija ugradnjom kompenzacijskog uređaja *j* u čvor *i* po svim razmatranim stanjima sustava najviše smanjila naponska odstupanja, gubici radne snage i mogućnost sloma napona u mreži. Na taj način se jednoznačno dobije najpovoljnije rješenje problema kompenzacije jalove snage u mreži s aspekta zadovoljenja napona, smanjenja gubitaka radne snage i izbjegavanja sloma napona.

Nakon ugradnje kompenzacijskog uređaja u čvor s najvećim iznosom funkcije *F* potrebno je ponovo razmotriti naponske prilike, gubitke radne snage i blizinu sloma napona u pojedinim čvorovima. Ukoliko su te veličine nezadovoljavajuće i nakon ugradnje prvog kompenzacijskog uređaja, potrebno je ponovno provesti isto razmatranje za ugradnju drugog kompenzacijskog uređaja. Također je moguće da jedan dio sustava ima previsoke, a drugi dio sustava preniske napone. Općenito, potrebno je provoditi razmatrani postupak sve dok zadani kriteriji s aspekta iznosa napona, gubitaka radne snage i sloma napona ne budu zadovoljeni.

## 3. ZAKLJUČAK

Zbog teritorijalnog oblika države i problema koji se javljaju u normalnom pogonu hrvatskog elektroenergetskog sustava bilo je potrebno detaljnije istražiti načine za određivanje najpovoljnije lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja. Metodologija prikazana u ovom članku predstavlja prvi dio projekta koji se odnosi na definiranje matematičkog modela. Drugi dio se odnosi na izradu programskog koda na osnovi postavljenog matematičkog modela, te njegovo testiranje.

U ovoj studiji razmatra se najpovoljnija lokacija i veličina kompenzacijskog uređaja s tri aspekta:

- zadovoljenje naponskih prilika,
- smanjenje gubitaka radne snage,
- izbjegavanje sloma napona.

Svakom pojedinom čvoru se za svaki promatrani aspekt (kriterij) pridružuje karakteristični koeficijent. Taj koeficijent govori koliko je pojedini čvor povoljan za ugradnju kompenzacijskog uređaja radi zadovoljenja promatranog kriterija. Prema problemima u konkretnoj mreži svakom aspektu se na osnovi iskustva autora pridjeljuje težinski faktor koji opisuje koliko je promatrani aspekt (naponske prilike, gubici radne snage, slom napona) naglašen u konkretnoj mreži. Razmatra se više stanja, te svako stanje ima pripadnu vjerojatnost. Umnoškom karakterističnih koeficijenata, njihovih težinskih faktora i pripadnih vjerojatnosti stanja, te sumiranja po svim stanjima dobije se jednoznačan broj koji određuje povoljnost ugradnje kompenzacijskog uređaja u svaki pojedini čvor za sva četiri uvjeta istodobno. Na taj način se rangiraju najpovoljnije lokacije za ugradnju kompenzacijskog uređaja.

Analizom zadovoljenja naponskih prilika, smanjenja gubitaka radne snage i izbjegavanja sloma napona za svaku pojedinu standardnu veličinu kompenzacijskog uređaja dobije se konkretan koeficijent *F(k,j)*. Uređeni par *(k,j)* opisuje čvor *k* u koji je ugrađen kompenzacijski uređaj nazive snage *j*. Svaki takav par ima svoj

koeficijent *F(k,j)*. Varijanta s najvećim *F* predstavlja najpovoljniju veličinu kompenzacijskog uređaja i određuje njegovu lokaciju. Na taj način se određuje najpovoljnija lokacija i veličina kompenzacijskog uređaja. Idući korak je bila izrada programske podrške, na osnovi prezentiranog matematičkog modela, te njegovo testiranje i primjena na prijenosnoj mreži Hrvatske.

## LITERATURA

[1] M. MAJSTROVIĆ, G. MAJSTROVIĆ, D. BAJS: "Metode za izbor najpovoljnije lokacije kompenzacijskih uređaja", Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 2001.

[2] H. GOLUB Gene, F. VAN LOAN Charles: "Matrix computations", The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.

[3] M. MAJSTROVIĆ, E. SUTLOVIĆ: "Ponašanje svojstvenih vrijednosti submatrice Jakobijane kao pokazatelj blizine sloma napona", Primošten CIGRE 1995.

[4] R. A. SCHLUETER, I. HU, W. CHANG, A. LO J. C. COSTI: "Methods for determing proximity to voltage collaps", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 6, No.1., February 1991.

[5] G. KROST , G. BAKARE: "A genetic algorithm based approach for improvement in voltage profile and real power loss minimization", IEEE Power Tech '99 Conference, Budapest, 1999.

## METHOD FOR OPTIMAL CHOICE OF COMPENSATION EQUIPMENT SIZE

Mathematical model for optimal choice of size and location of compensation equipment is presented from the aspect of voltage circumstances and vicinity of voltage breakdown in an electric power system. Based on three criteria the objective function is developed, resulting in the optimum, that is best location and size of compensation equipment to satisfy voltage circumstances, decrease losses of active power and avoid voltage breakdown.

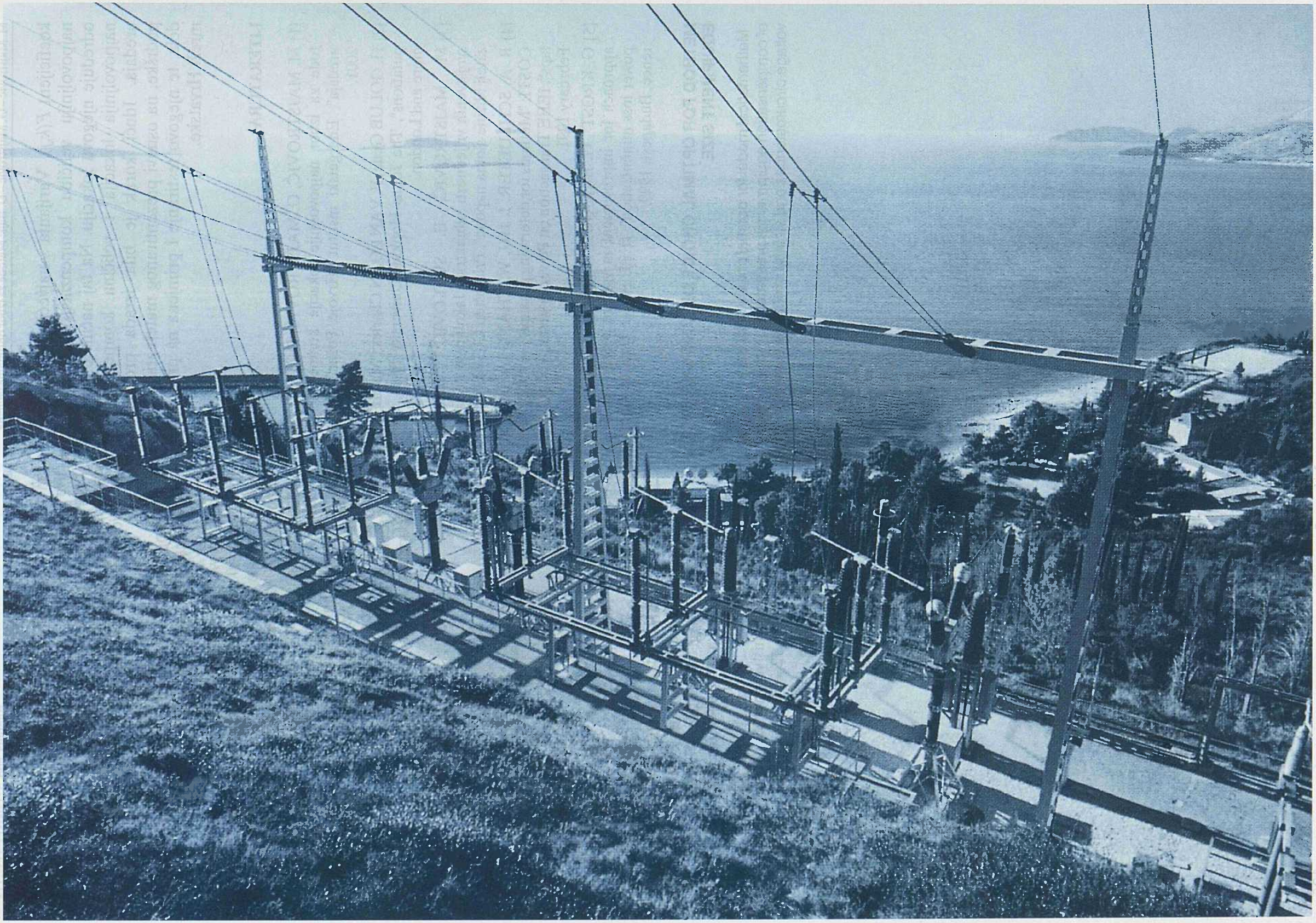
## METHODE ZUR AUSWAHL OPTIMALER LEISTUNG VON KOMPENSATIONSANLAGEN

Vorgezeigt wird das mathematische Modell der Bestimmung optimaler Leistung und Standortauswahl für Kompensationsanlagen aus der Sicht der Spannungsverhältnisse und des drohenden Spannungskollapses im Stromversorgungssysten. Nach drei betrachteten Merkmalen wird eine objektbezogene Funktion, deren Lösug einen Optimum bzw. beste Standorte und Leistungen von Kompensationsanlagen zwecks Erreichung der annehmbarer Spannungsverhältnisse, der Verlustminderungen der Wirkleistung und der Ausweichung dem Spannungskollaps gibt, gebildet.

Naslov pisaca:

**Prof. dr. sc. Matislav Majstrović, dipl. ing.**
**mr. sc. Goran Majstrović, dipl. ing.**
**mr. sc. Davor Bajs, dipl. ing.**
**Energetski institut "Hrvoje Požar",**
**Savska 163, 10000 Zagreb,**
**Hrvatska**

Uredništvo primilo rukops:
2002 – 12 – 10.



# OPTIMALNA VELIČINA I LOKACIJA UGRADNJE KOMPENZACIJSKIH UREĐAJA U PRIJENOSNOJ MREŽI HEP-a

Mr. sc. Davor B a j s – prof. dr. sc. Matislav M a j s t r o v i ć – mr. sc. Goran M a j s t r o v i ć, Zagreb

UDK 621.316.1:621.3.083.5
STRUČNI ČLANAK

Prezentira se analiza optimalne veličine i lokacije ugradnje kompenzacijskog(ih) uređaja u prijenosnoj mreži Hrvatske elektroprivrede, za planirani razvoj mreže u kratkoročnom i srednjoročnom razdoblju. Analiza je provedena na temelju matematičkog modela opisanog u prethodnom članku. Na osnovi velikog broja mogućih i očekivanih pogonskih stanja daje se prijedlog kompenzacije, te se analizira utjecaj pojedinih mjera i korištenja postojećih resursa radi održavanja naponskih prilika unutar dozvoljenih granica.

**Ključne riječi: kompenzacijski uređaj, kratkoročno i srednjoročno razdoblje, naponske prilike.**

## 1. UVOD

Prostorna raspodjela proizvodnih postrojenja i većih potrošačkih centara u Republici Hrvatskoj međusobno povezanih prijenosnom mrežom longitudinalne strukture najvišeg 400 kV napona, velika ovisnost o hidrologiji i izvedba priključka postojećih elektrana pretežito na 220 kV i 110 kV mreže, te karakteristike potrošnje s velikim varijacijama između maksimalnih i minimalnih dnevnih, sezonskih i godišnjih opterećenja, uzrokuju značajne promjene naponskih prilika u 400 kV mreži, posebno na njenom južnom kraku (TS Melina, RHE Obrovac, TS Konjsko).

Izvršene analize pokazuju da će se problematika previsokih napona u prijenosnoj mreži HEP-a još više potencirati obnovom 400 kV mreže na području Bosne i Hercegovine, odnosno rekonekcijom današnje druge sinkrone zone UCTE (Srbija, Crna Gora, Makedonija, Grčka, Bugarska i Rumunjska).

Problematika nepovoljnih naponskih okolnosti, prvenstveno s aspekta previsokih napona na južnom kraku prijenosne 400 kV mreže, razmatrana je u više studija, elaborata i članaka posljednjih nekoliko godina [2], [3]. Godine 2000. održan je i okrugli stol u organizaciji HK Cigre, na kojemu je raspravljana problematika nepovoljnih naponskih okolnosti u prijenosnoj mreži HEP-a, te problematika prijelazne i dinamičke stabilnosti EES-a. Na spomenutom okruglom stolu HK Cigre zabilježeno je i sljedeće razmišljanje: "*Na osnovi svega prethodno iznesenog, mišljenja smo da rješavanje problematike nepovoljnih naponskih prilika u dijelu 400 kV mreže na području R. Hrvatske, a posebice na njenom južnom kraku, te problematike stabilnosti EES-a ne treba odgađati, te da je nužno izvršiti sve preostale analize i eventualno nadopuniti dosadašnje novijim saznanjima o razvoju prijenosne mreže i EES-a u cjelini, nakon čega je potrebno izvesti optimalne zahvate u mreži koji bi sanirali postojeće stanje, te osigurali povoljan naponski profil i dovoljnu rezervu s aspekta očuvanja prijelazne i dinamičke stabilnosti EES-a ovisno o njegovu razvoju u bližoj i daljoj budućnosti*".

## 2. MATEMATIČKI MODEL

Matematički model na osnovi kojega su izvršeni proračuni detaljno je opisan u prethodnom članku. Matematički postupak je programiran, a korišteni programski paket je nazvan *Optlok*. Optlok koristi proračune tokova snaga i naponskih prilika izračunatih u programskom paketu *TOKSwin*, te na temelju matematičkog postupka opisanog u [1] daje kao izlazni rezultat optimalnu(e) lokaciju(e) i veličinu(e) kompezacijskog(ih) uređaja. Optimalna lokacija i veličina kompenzacijskog uređaja se određuje na osnovi:

- zadovoljenja naponskih prilika u mreži,
- gubitaka radne snage u mreži, i
- izbjegavanja sloma napona.

Kao početni korak u čitavom postupku nužno je formirati model EES u programskom paketu TOKSwin, te određeni broj mogućih pogonskih stanja kojima se pridružuju težinski faktori, kao mjera vjerojatnosti nastanka pojedinog pogonskog stanja. Budući da je neracionalno modelirati sva moguća pogonska stanja u mreži kroz godinu dana, te im pridruživati određene vjerojatnosti (zbroj svih vjerojatnosti bi tada bio 1), koriste se težinski faktori kao mjera "međusobne" vjerojatnosti nastanka određenog pogonskog stanja

i/ili mjera značajnosti za sustav pojedine varijante. Tako je npr. pogonsko stanje s težinskim faktorom 4 dvaput vjerojatnije od onoga s težinskim faktorom 2, odn. 4 puta vjerojatnije od onoga s težinskim faktorom 1.

Prilikom modeliranja mogućih pogonskih stanja potrebno je obratiti pažnju na opterećenja grana u mreži, te angažman regulacijske elektrane. Ukoliko je u kasnijem postupku pri ugradnji određenog kompenzacijskog uređaja angažman regulacijske elektrane izvan dozvoljenih granica, ili ukoliko je neka grana mreže opterećena iznad dozvoljene granice, postupak odbacuje tu varijantu kompenzacije koja se tada ispitivala.

Nakon modeliranja određenog broja mogućih pogonskih stanja i pridruživanja težinskih faktora svakome od njih, definiraju se moguće veličine i svojstva kompenzacijskih uređaja koji se ispituju. Razlog tomu je težnja za pronalaženjem realnog (praktičnog) optimuma, te izbjegavanje rezultata tipa decimalnog broja. Svojstva kompenzacijskog uređaja govore o njegovom induktivnom (prigušnica) ili kapacitivnom (kondenzator) djelovanju.

Nakon definiranja mogućih (ispitivanih) pogonskih stanja i veličina kompenzacijskih uređaja, obavlja se priprema podataka za proračun. Ta priprema podrazumijeva proračun tokova snaga, odnosno određivanje svih potrebnih varijabli stanja (naponi (moduli i kutevi), radna, jalova snaga, angažman regulacijske elektrane), za sva modelirana pogonska stanja. Nakon toga pristupa se proračunu optimalne lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja s aspekta prethodno nabrojena tri kriterija, a za željeni (definirani) broj kompenzacijskih uređaja u mreži. Završni korak analize je određivanje optimalne lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja s aspekta zadovoljenja sva tri postavljena kriterija.

## 3. MODEL ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Planirana i analizirana konfiguracija prijenosne mreže HEP-a, naponskih razina 400, 220 i 110 kV, a za promatrane vremenske presjeke ("nazivna" 2005. i 2010. godina), prikazana je slikama 1 i 2 (u Prilogu na str. 139. i 140). Pretpostavka je da će se do razmatranog početnog vremenskog presjeka ("nazivna" 2005. godina) obnoviti cjelokupna 400 kV i 110 kV mreža u Slavoniji (TS 400/110 kV Ernestinovo i rasplet 110 kV vodova prema prijeratnom stanju), izgraditi TS 400/220/110 kV Žerjavinec, te da će se na UCTE povezati EES-i BiH, Jugoslavije, Makedonije, Rumunjske, Bugarske i Grčke (cjelokupna 400 i 220 kV mreža BiH je obnovljena). Pretpostavljeno je da će u EES Hrvatske između 2005. i 2010. godine ući u pogon nova KTE Rijeka u krugu postojeće TE Rijeka (360 MW, 180 Mvar kap., 270 Mvar ind. – podaci ABB, [14], priključena na 400 kV sabirnice TS Melina.

Model EES-a RH obuhvaća cjelokupnu prijenosnu 400, 220 i 110 kV mrežu HEP-a. Elektrane su modelirane preko generatora i blok transformatora, zajedno s priključnim dalekovodima. Potrošači su modelirani na 110 kV naponskoj razini. Svi mrežni transformatori, izuzev onih u TS Tumbri na koje se priključuje postojeća prigušnica, modelirani su kao dvonamotni, što znači da se nisu ispitivale varijante ugradnje kompenzacijskih uređaja na tercijare tih transformatora, budući da je ocijenjeno (na temelju dosadašnjih studija) da bi takav slučaj rezultirao ekonomski neisplativim rješenjem s nerealno velikim brojem konačnih čvorova za ugradnju kompenzacijskih uređaja. Prigušnica u TS 400/110 kV Tumbri (priključena na tercijare transformatora) inicijalno je odspojena, budući da su naponske prilike u toj TS unutar dozvoljenih granica, a da ona ne utječe značajno na popravljanje naponskog profila na južnom kraku 400 kV mreže koja je kritična s aspekta pojave previsokih napona (priključenjem prigušnice u TS Tumbri napon u svim TS 400/(220)/110 kV se smanjuje za 1 – 2 kV na 400 kV razini). Prigušnica 100 Mvar u Ernestinovu (predviđena za ugradnju), priključena na 110 kV sabirnice, inicijalno je odspojena budući da su naponske prilike u toj TS zadovoljavajuće (pretpostavka je da TE Nikola Tesla regulira napon oko nazivnih vrijednosti u čvoru Obrenovac). Kondenzatorska baterija priključena na 110 kV sabirnice TS 220/110 kV Đakovo uključena je na modelu u vršnom režimu rada.

Budući da je cilj provedenih analiza bilo sagledavanje potrebe za ugradnjom jednog ili više kompenzacijskih uređaja na optimalnoj lokaciji(ama), pretpostavka je da će se svi postojeći resursi u sustavu koristiti prema svojim tehničkim mogućnostima. To znači da su pojedini generatori na modelu u mogućnosti davati jalovu induktivnu i kapacitivnu snagu (određeno prema tvorničkim pogonskim kartama pojedinih generatora dostupnih autorima ovog članka), te da su preklopke transformatora s mogućnošću promjene prijenosnog omjera, (400/220 i 400/110 kV transformatora u beznaponskom stanju, te 220/110 kV transformatora automatski, postavljene u optimalan položaj s obzirom na nazivni napon sekundara. Ta pretpostavka nije u skladu s postojećom praksom prema kojoj su te preklopke stalno u nultom položaju (mogućnosti utjecaja na tokove jalove snage i naponske prilike se ne koriste na taj način), ali preporuka je da se ubuduće one postavljaju u "optimalan" položaj barem dva puta godišnje (zimski i ljetni režim rada).

Za razmatrani problem u ovom članku od velike je važnosti odrediti mogući angažman elektrana (pojedinih generatora) u kapacitivnom i induktivnom dijelu pogonskog dijagrama, odnosno dozvoljeno područje rada generatora. Za postavljanje ispravnog modela vrlo je važno posjedovati ažurirane pogonske karte svih generatora u EES-u, što nažalost danas nije slučaj. Praksa je takva da se generatori u EES-u Hrvatske ne angažiraju u kapacitivnom dijelu pogonskog dijagrama [3] iz uglavnom neopravdanih razloga (nepoznato podešenje limitera poduzbude, neodređena praktična

granica stabilnosti, i dr.). Za očekivati je da će se stanje u svezi s tom problematikom bitno promijeniti uvođenjem otvorenog tržišta električnom energijom u kojemu će se pomoćne usluge (*eng. ancillary services*) financijski vrednovati, a u takve spadaju i primarna, te sekundarna i tercijarna regulacija reaktivne snage i napona.

Za ispravno određivanje optimalnih lokacija kompenzacijskog uređaja u EES-u Hrvatske nužno je modelirati (s većom ili manjom detaljnošću) susjedne elektroenergetske sustave, budući da oni imaju veliki utjecaj na naponski profil u promatranoj mreži. Model elektroenergetskih sustava ovog dijela Europe obuhvaća 400, 220 i 110 kV mrežu Hrvatske, 400 i 220 kV mreže Bosne i Hercegovine i Slovenije, 400 kV mreže Srbije i Crne Gore, te dio 400 kV mreže Mađarske (potez Heviz-Paks-Sandorfalva). Procijenjeno je da je takav model zadovoljavajući s obzirom na razmatrani problem. Model susjednih EES-a postavljen je na temelju podataka iz [4]. U navedenoj literaturi nalaze se opisi modela elektroenergetskih sustava Slovenije, Hrvatske, Mađarske, Rumunjske, Bugarske, Srbije, Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Makedonije, Albanije, Grčke i Turske, te ekvivalenti mreža UCTE i zapadne Ukrajne, za "nazivnu" 2005. godinu prema službenim planovima pojedinih elektoprivreda. Modeli EES-a se nalaze u formatu za programski paket PSS/E, pa su stoga podešeni za prikaz u TOKSwin-u. Svaki model pojedinog sustava sadrži službeno planiranu konfiguraciju mreže za razmatrani vremenski presjek, opterećenja modelirana na 400 kV i 220 kV naponskoj razini, prikaz elektrana kao grupa generatora i blok transformatora, angažman elektrana za bazno stanje (uravnoteženi sustavi), mogućnosti rada generatora u naduzbudi ili poduzbudi, te dugoročne ugovore o razmjeni električne energije. Za ispitivanu "nazivnu" 2010. godinu pretpostavljeno je da konfiguracije mreža susjednih modeliranih EES-a ostaju iste u odnosu na "nazivnu" 2005. godinu, a da će opterećenje u svakom modeliranom susjednom EES-u rasti po stopi od 2.5 % godišnje.

Osnovni princip po kojemu su modelirani susjedni EES-i je taj da se naponske prilike u svakom pojedinom susjednom sustavu moraju nalaziti unutar dozvoljenih granica, ukoliko je to moguće postići korištenjem postojećih resursa u mreži ili uz ispomoć njima susjednih sustava. To znači da su eventualna odstupanja napona u EES-u Hrvatske uglavnom posljedica karakteristika našeg EES-a, a ne uzrokovana problemima u našem okruženju. To je vrlo bitna pretpostavka budući da zbog strukture prijenosne mreže Hrvatske (longitudinalna struktura, četiri električki povezana susjedna sustava) naponski profil u graničnim čvorovima (praktički u čitavoj 400 kV mreži) direktno ovisi o naponskom profilu u pojedinom susjednom EES-u. Tako je npr. napon u TS Ernestinovo direktno ovisan o naponu u Sremskoj Mitrovici (Obrenovcu), u TS Žerjavinec o naponu u TS Heviz, u TS Tumbri o naponu u NE Krško, TS Melina je ovisna o naponskim prilikama u TS Divača, a naponi u TS Konjsko o naponu na sabirnicama TS Mostar. Naravno da vrijedi i obrnut utjecaj, što je značajan razlog da se pristupi saniranju nepovoljnih naponskih prilika u EES-u Hrvatske kako bi se uostalom zadovoljila pravila rada sustava u interkonekciji UCTE [5] – pogl 4. Voltage and reactive power control). Za većinu razmatranih pogonskih stanja naponske prilike u susjednim EES-ima su unutar dozvoljenih granica, iako u pojedinim slučajevima pri minimalnom opterećenju (ljetni noćni režim rada) blizu dozvoljene gornje granice. Zadovoljavajuće naponske prilike u susjednim EES-ima se postižu bilo radom generatora u dozvoljenom području rada prema [4], bilo radom pojedinih elektrana u kompenzacijskom režimu (primjer RHE Čapljina u BiH), bilo prijenosom dovoljnih količina reaktivne snage iz njima susjednih EES-a (primjer Srbija – Bugarska).

## 4. VARIJANTE PRORAČUNA

Optimalne lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja određene su uzimajući u obzir što veći broj mogućih pogonskih stanja kojima je pridružen određeni težinski faktor (prema slobodnoj procjeni planera). Pogonska stanja se međusobno razlikuju po:

- Vremenskom presjeku promatranja ("nazivna" 2005., "nazivna" 2010. godina).
- Opterećenju u sustavu (maksimalno, minimalno).
- Hidrologiji (normalna, ekstremno vlažna, ekstremno suha).
- Razmjenama snage sa susjednim EES-ima (Mađarskom, BiH, Srbijom).
- Tranzitima za treće sustave (Italija, BiH, Srbija, Bugarska).
- Angažmanu RHE Obrovac i RHE Čapljina (nisu angažirane, angažirane u generatorskom režimu rada, angažirane u motorskom režimu rada, angažirane u kompenzacijskom režimu rada).

Planirano opterećenje hrvatskog EES-a, te raspodjela opterećenja na pojedine čvorove 110 kV preuzeto je iz [12]. Pretpostavljeno je da minimum opterećenja iznosi 40 % maksimuma. Angažman hidroelektrana u vrijeme normalne, vlažne i suhe hidrologije određen je na osnovi podataka prikazanih u [11]. Termoelektrane se angažiraju prema minimalnim troškovima proizvodnje. Pogonska stanja su modelirana uzimajući u obzir mogućnosti razmjene energije/snage sljedećih iznosa:

- uvoz 1000 MW / 900 MW / 800 MW / 700 MW / 600 MW / 400 MW / 250 MW iz pravca EES Mađarske (na modelu prikazano povećanjem angažmana NE Paks)
- uvoz 800 MW / 700 MW / 600 MW / 500 MW / 400 MW / 300 MW iz EES BiH i Srbije (na modelu prika-

zano povećanjem angažmana elektrana u vlasništvu HEP-a i djelomice povećanjem angažmana TE Nikola Tesla)
- uvoz 700+500 MW / 600+400 MW / 500+400 MW / 400+300 MW / 300+200 MW iz pravca EES Mađarske, te BiH i Srbije (na modelu prikazano povećanjem angažmana NE Paks, te elektrana u vlasništvu HEP-a na području BiH i Srbije).

Promatrani su također sljedeći iznosi mogućih tranzita preko prijenosne mreže HEP-a:

700 MW BiH, Srbija, Bugarska → Italija
700 MW Italija → BiH, Srbija, Bugarska
600 MW BiH, Srbija, Bugarska → Italija
600 MW Italija → BiH, Srbija, Bugarska
500 MW BiH, Srbija, Bugarska → Italija
500 MW Italija → BiH, Srbija, Bugarska
400 MW BiH, Srbija, Bugarska → Italija
400 MW Italija → BiH, Srbija, Bugarska.

S obzirom na angažman RHE Obrovac (Velebit) i RHE Čapljina promatrane su sljedeće mogućnosti njihova rada:

1. generatorski rad do instalirane snage
2. kompenzacijski rad (RHE Obrovac do 80 Mvar, RHE Čapljina do 160 Mvar)
3. pumpni rad (RHE Obrovac do 240 MW, RHE Čapljina do 400 MW).

Ukupan broj modeliranih pogonskih stanja iznosi 224. Na "nazivnu" 2005. godinu odnosi se 112 pogonskih stanja, isto kao i za "nazivnu" 2010. godinu. Za svaki promatrani vremenski presjek modelirano je 36 pogonskih stanja u maksimumu opterećenja i 76 u minimumu opterećenja. Varijante proračuna s pridruženim težinskim faktorima mogu se pronaći u [2].

Za potrebe analiza u ovom članku razmatra se dva osnovna tipa kompenzacijskih uređaja:

1. kompenzacijski uređaj kapacitivnog djelovanja (paralelne prigušnice)
2. kompenzacijski uređaj induktivnog djelovanja (paralelne kondenzatorske baterije).

Prema terminologiji UCTE [5] korištenje ovih vrsta kompenzacijskih uređaja radi regulacije napona i reaktivnih snaga se svrstava u tercijarnu regulaciju.

Primjena ostalih uređaja za kompenzaciju reaktivne snage (sinkroni kompenzatori, statički VAR kompenzatori, FACTS uređaji), a koji se mogu izvesti iz dva osnovna tipa ovdje analizirana, u ovom članku nije razmatrana budući da se radi o sofisticiranim i relativno skupim uređajima s mogućnošću proizvodnje jalove induktivne i kapacitivne snage, a čija primjena ovisi i o drugim aspektima eksploatacije EES-a koji se ovdje ne promatraju (prijelazna i dinamička stabilnost, regulacija tokova aktivnih snaga i dr.). Generalno gledajući, nema nikakve prepreke da se i oni koriste za proizvodnju potrebne induktivne i/ili kapacitivne snage, a osnovu za razmatranje potreba njihove ugradnje mogu predstavljati rezultati ovdje opisanih analiza u kojima se na istom čvoru pojavljuje potreba ugradnje kompenzacijskog uređaja dvosmjernog djelovanja (kapacitivno, induktivno) za različite grupe pogonskih stanja.

Analizirana su tri standardna modula (veličina) kompenzacijskih uređaja (paralelnih prigušnica i kondenzatorskih baterija): 50 Mvar, 100 Mvar i 150 Mvar.

Kao potencijane lokacije za ugradnju kompenzacijskih uređaja analizirani su svi mrežni 400 kV i 220 kV čvorovi u EES-u Hrvatske koji su izgrađeni do "nazivne" 2005. godine, a u kojima nisu priključene elektrane, s izuzetkom RHE Obrovac. Budući da se traži optimalan raspored i veličina kompenzacijskih uređaja za vremenske presjeke 2005. i 2010. godine, u obzir se ne uzimaju čvorovi mreže (TS) izgrađeni poslije 2005. godine.

Čvorovi mreže 110 kV se ne uzimaju u obzir kao moguće lokacije ugradnje kompenzacijskih uređaja budući da su eventualni problemi s naponskim profilom na toj naponskoj razini uzrokovani poremećajima u 400 kV i 220 kV mrežama. Uzimanje i te naponske razine u obzir uzrokovalo bi (analogno ispitivanjima tercijara mrežnih transformatora) preveliki broj lokacija kompenzacijskih uređaja što se ocjenjuje neekonomičnim.

Popis potencijalnih lokacija je sljedeći:

| **400 kV mreža** | **220 kV mreža** |
|---|---|
| TS Ernestinovo, | TS Međurić, TS Žerjavinec, |
| TS Žerjavinec, | TS Mraclin, RP Brinje, |
| TS Tumbri, | TS Melina, |
| TS Melina, | TS Pehlin, |
| RHE Obrovac, | TS Konjsko, |
| TS Konjsko | TS Bilice. |

Sabirnice 220 kV u TS 220/110 kV Đakovo se ne uzimaju u obzir kao potencijalna lokacija kompenzacijskog uređaja budući da nisu izravno povezane s ostatkom 220 kV mreže EES-a RH. Matematički model koji se koristi radi određivanja optimalne lokacije i snage kompenzacijskog uređaja može rezultirati maksimalnim brojem kompenzacijskih uređaja smještenih na različite lokacije u mreži, jednak broju potencijalnih čvorova za ugradnju. Zato su ispitane tri moguće varijante s obzirom na broj ugrađenih kompenzacijskih uređaja, a koje su ocijenjene realnim i izvedivim: 1, 2 i 3 kompenzacijska uređaja u mreži

## 5. ANALIZA NAPONSKIH PRILIKA I TOKOVA SNAGA

### 5.1. Verifikacija modela

Radi verifikacije postavljenog modela za određivanje optimalne veličine i lokacije kompenzacijskog uređaja modelirano je stanje EES-a u maksimumu i minimumu opterećenja 2001. godine prema podacima dobivenim iz dispečerskog centra. Modeliranje je izvršeno u tri

koraka, ovisno o predstavljanju elektrana i susjednih EES-a. U završnom koraku na modelu su elektrane predstavljene kao grupe generatora i blok transformatora, a susjedni EES-i su modelirani u cijelosti. Izmjerene veličine i rezultati na modelima su prikazani tablicama 1 i 2. Na osnovi usporedbe rezultata ocijenjeno je da je postignuti model dovoljno kvalitetan da posluži za ovdje prikazane analize.

**Tablica 1. Naponske prilike u mreži na modelu EES-a u maksimumu 2001.**

| Sabirnica | Maksimum 2001 (17. 12. u 17[26]) | | Minimum 2001 (25. 6. u 3[30]) | |
|---|---|---|---|---|
| | Naponi – izmjereni (kV) | Naponi – model (kV) | Naponi – izmjereni (kV) | Napóni – model (kV) |
| **400 kV** | | | | |
| Tumbri | 397.3 | 396 | 409.8 | 410 |
| Melina | 397.3 | 396 | 410.4 | 410 |
| Obrovac | 400.3 | 401 | 412.2 | 410 |
| Konjsko | 400.5 | 402 | 413.1 | 410 |
| **220 kV** | | | | |
| Mraclin | 228.5 | 226 | 239.4 | 237 |
| TE Sisak | 230.3 | 231 | 238.5 | 238 |
| Međurić | 229.5 | 229 | 241.4 | 240 |
| Đakovo | 222.7 | 216 | 235.0 | 231 |
| Brinje | 231.6 | 231 | 238.0 | 238 |
| HE Senj | 231.4 | 231 | 237.5 | 238 |
| Melina | 227.9 | 227 | 235.8 | 236 |
| Pehlin | 226.7 | 226 | 235.1 | 236 |
| Plomin | 226.2 | 225 | 233.9 | 233 |
| Konjsko | 230.4 | 232 | 238.3 | 236 |
| HE Zakučac | 231.8 | 231 | 237.9 | 235 |
| Bilice | 229.7 | 231 | 239.4 | 237 |
| **110 kV** | | | | |
| Tumbri | 114.0 | 114 | 117.6 | 118 |
| Mraclin | 114.5 | 115 | 117.0 | 117 |
| Botinec | 112.8 | 113 | 117.0 | 117 |
| Nedeljanec | 109.2 | 113 | 115.7 | 116 |
| Đakovo | 110.3 | 110 | 115.9 | 115 |
| Osijek 2 | 105.0 | 106 | 115.1 | 114 |
| Vinkovci | 107.1 | 107 | 108.9 | 107 |
| Melina | 111.8 | 110 | 116.9 | 117 |
| HE Rijeka | 110.8 | 109 | 116.3 | 115 |
| Obrovac | 109.7 | 113 | 121.8 | 121 |
| Konjsko | 112.3 | 110 | 117.7 | 115 |
| HE Zakučac | 112.5 | 113 | 116.7 | 115 |
| Sućidar | 110.7 | 110 | 117.4 | 115 |

**Tablica 2. Tokovi snaga pojedinim vodovima na modelu EES-a u maksimumu 2001.**

| Vod | Maksimum 2001 (17. 12. u 17[26]) | | Minimum 2001 (25. 6. u 3[30]) | |
|---|---|---|---|---|
| | Tokovi snaga – izmjereni (MW/Mvar) | Tokovi snaga – model (MW/Mvar) | Tokovi snaga – izmjereni (MW/Mvar) | Tokovi snaga – model (MW/Mvar) |
| **400 kV** | | | | |
| Tumbri – Heviz | – 780 / 115 | – 778 / 125 | – 326 / 20 | – 324 / 20 |
| Tumbri – Krško | 2 x (– 182 / – 47) | 2 x (– 177 / – 51) | 2 x (– 208 / 14) | 2 x (– 199 / 18) |
| Tumbri – Melina | 549 / – 44 | 537 / – 42 | 479 / – 58 | 467 / – 57 |
| Melina – Divača | 398 / 1 | 387 / 26 | 217 / 20 | 205 / 14 |
| Melina – Obrovac | 74 / – 76 | 80 / – 90 | 205 / – 78 | 205 / – 66 |
| Obrovac – Konjsko | 23 / – 33 | 29 / – 45 | 121 / – 53 | 125 / – 31 |
| **220 kV** | | | | |
| Mraclin* – Đakovo | 124 / 2 | 116 / 0 | 87 / – 6 | 81 / – 11 |
| Mraclin* – Cirkovce | – 86 / – 3 | – 64 / 24 | – 28 / 8 | – 28 / 5 |
| Mraclin – Brinje | 16 / – 33 | 3 / – 41 | – | – |
| Mraclin – TE Sisak | – 63 / – 13 | – 59 / – 57 | – 56 / 19 | – 55 / – 8 |
| Đakovo – Tuzla | – 151 / – 13 | – 151 / – 12 | 36 / – 8 | 34 / 10 |
| Brinje – Konjsko | 22 / – 16 | 22 / – 22 | 44 / – 24 | 43 / – 16 |
| HE Senj – Melina | 52 / 22 | 45 / 20 | – 57 / 26 | – 56 / 30 |
| HE Senj – Brinje | 6 / – 8 | 19 / – 4 | 44 / – 26 | 43 / – 18 |
| Melina – Pehlin 1 | 169 / 17 | 157 / 31 | 11 / 20 | 7 / – 19 |
| Melina – Pehlin 2 | 133/ 20 | 120 / 29 | 15 / 26 | 8 / – 25 |
| Plomin – Pehlin | 31 / – 14 | 20 / – 16 | 94 / – 31 | 91 / – 52 |
| Plomin – Melina | – 14 / – 22 | – 20 / – 21 | 63 / – 34 | 62 / – 34 |
| Pehlin – Divača | 165 / 15 | 135 / 45 | 89 / 32 | 80 / 34 |
| Konjsko – Bilice | 2 x (36 / – 3) | 2 x (36 / – 3) | 2 x (5 / – 17) | 2 x (5 / – 16) |
| Konjsko – Mostar | – 48 / 7 | – 48 / 39 | 49 / 24 | 50 / 38 |
| Konjsko – HE Zakučac | – 70 / – 20 | – 68 / 19 | 48 / – 1 | 49 / 6 |
| HE Zakučac – Mostar | – 22 / 15 | – 19 / 31 | 32 / 16 | 33 / 26 |
| **110 kV** | | | | |
| Tumbri – Mraclin | 2 x (77 / – 27) | 2 x (80 / – 34) | 2 x (33 / – 2) | 2 x (31 / – 5) |
| Tumbri – Botinec | 155 / 19 | 157 / 21 | 63 / 10 | 63 / 8 |
| Đakovo – S. Brod | 10 / 17 | 8 / 20 | 0 / 0 | – 1 / 0 |
| Đakovo – Osijek 2 | 72 / 14 | 74 / 8 | – | – |
| Đakovo – Vinkovci | 109 / 1 | 105 / 5 | 30 / 54 | 30 / 54 |
| Melina – HE Rijeka | 41 / 11 | 38 / 13 | 3 / 11 | 6 / 62 |
| Crikvenica – Krk | 45 / – 7 | 48 / – 7 | 28 / – 16 | 22 / – 21 |
| Obrovac – Benkovac | 8 / 6 | 8 / 12 | 17 / 16 | 17 / 16 |
| Konjsko – Vrboran | 2 x (52 / 11) | 2 x (52 / – 17) | 2 x (43 / 0) | 2 x (43 / 0) |
| Zakučac – Kraljevac | 2 x (35 / 9) | 2 x (36 / 9) | – | – |

### 5.2. Analiza naponskih prilika

U 224 modelirana pogonska stanja detektirano je odstupanje napona od dozvoljenih gornjih granica (420 kV i 245 kV) u 41 pogonskom stanju 2005. i 48 pogonskih stanja 2010. godine (ukupno 89 pogonskih stanja s nedozvoljenim naponima – prekoračenja gornje granice u 400 kV i 220 kV mreži).

Za analizirane presječne godine pri maksimalnom opterećenju sustava ne dolazi do odstupanja naponskog profila od dozvoljenih granica na sve tri naponske razine (400, 220, 110 kV). Najniži naponi u 400, 220 i 110 kV mreži se kreću oko nazivnih vrijednosti. U minimumu opterećenja pojavljuje se problem povišenja napona u 400 kV mreži za većinu analiziranih pogonskih stanja. Napone u 220 kV mreži moguće je održavati unutar dozvoljenih granica za većinu analiziranih pogonskih stanja ispravnim podešenjem preklopki za regulaciju prijenosnog omjera transformatora 400/220 kV (u beznaponskom stanju). Naponi u 110 kV mreži nalaze se ispod dozvoljenih granica zbog optimalnog položaja preklopki transformatora 400/110 kV i automatske regulacije transformatora 220/110 kV. Najveći zabilježeni napon u 400 kV mreži "nazivne" 2005. iznosi 432 kV (RHE Obrovac), a "nazivne" 2010. godine 437 kV (TS Konjsko).

Previsoki naponi javljaju se isključivo na južnom kraku mreže (Konjsko, Obrovac, Melina), a u nekoliko varijanti zabilježen je previsok napon i u TE Sisak, TS Međurić i TS Đakovo.

### 5.3. Analiza opterećenosti elementa sustava i gubitaka radne snage

Opterećenja svih grana mreže (vodovi, mrežni transformatori, blok transformatori), u svim ispitivanim pogonskim stanjima, nalaze se unutar dozvoljenih granica, ukoliko su sve grane mreže raspoložive. Od svih ispitanih pogonskih stanja na modelu EES-a "nazivne" 2005. godine opterećenje 400 kV grana je manje od 28 % od njihove termičke granice, što znači da su one u normalnim okolnostima (raspoložive sve grane mreže) opterećene manje od 1/3 njihove prijenosne moći. Najveće zabilježeno opterećenje u postocima od termičke granice u 220 kV mreži iznosi 55 % $I_t$. Gubici radne snage na modelu "nazivne" 2005. godine se kreću u rasponu od 45.5 MW do 65.2 MW u maksimumu opterećenja, odnosno od 15.3 MW do 22.4 MW u minimumu opterećenja.

Na modelu EES-a "nazivne" 2010. godine opterećenje 400 kV grana je manje od 40 % od njihove termičke granice, što znači da su one u normalnim okolnostima (raspoložive sve grane mreže) opterećene manje od 2/5 njihove prijenosne moći. Najveće zabilježeno opterećenje u postocima od termičke granice u 220 kV mreži iznosi 59 % $I_t$. Gubici radne snage na modelu "nazivne" 2010. godine se kreću u rasponu od 51.2 MW do 85.4 MW u maksimumu opterećenja, odnosno od 15.6 MW do 24.3 MW u minimumu opterećenja.

To nadalje znači da su svi interni 400 kV vodovi u EES-u Hrvatske, pri svim analiziranim pogonskim stanjima, u normalnom pogonu (raspoložive sve grane mreže) opterećeni manje od njihove prirodne snage prijenosa pa se ponašaju kao proizvođači jalove induktivne snage (povišeni naponi i ostali efekti koji uz to idu).

## 6. OPTIMALNA VELIČINA I LOKACIJE KOMPENZACIJSKIH UREĐAJA

Optimalne lokacije (najviše 3) i veličine ugradnje kompenzacijskih uređaja s aspekta naponskih prilika, gubitaka radne snage i blizine sloma napona, određene su za različite grupe analiziranih pogonskih stanja:

1. Maksimalno opterećenje "nazivne" 2005. godine (36 pogonska stanja)
2. Minimalno opterećenje "nazivne" 2005. godine (76 pogonska stanja)
3. Maksimalno opterećenje "nazivne" 2010. godine (36 pogonska stanja)
4. Minimalno opterećenje "nazivne" 2010. godine (76 pogonska stanja)
5. Maksimalno opterećenje "nazivne" 2005. i 2010. godine (72 pogonska stanja)
6. Minimalno opterećenje "nazivne" 2005. i 2010. godine (152 pogonska stanja)
7. Maksimalna i minimalna opterećenja "nazivne" 2005. i 2010. godine (224 pogonska stanja).

Optimalne lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja za različite gore navedene grupe pogonskih stanja prikazuje tablica 3. Za određivanje optimalnih lokacija i veličina izgradnje kompenzacijskih uređaja s aspekta naponskih prilika kao mjerodavnu ocjenjujemo grupu pogonskih stanja karakterističnih po minimalnom opterećenju nazivne 2005. i 2010. godine (osjenčano u tablici). U slučaju uzimanja u obzir, kao mjerodavne za određivanje optimalne lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja s aspekta naponskih prilika, grupe pogonskih stanja karakterističnih i po maksimalnom opterećenju EES-a, rezulatati nisu realni jer se tada pretpostavlja da je prigušnica konstantno priključena na mrežu, što u stvarnosti nije slučaj (isključuje se pri visokim opterećenjima EES-a kada su naponske prilike zadovoljavajuće). Optimalne lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja s aspekta naponskih prilika su:

1. RHE Obrovac (400 kV sabirnice) – prigušnica 150 Mvar
2. TS 400/220/110 kV Konjsko (400 kV sabirnice) – prigušnica 50 Mvar.

Za određivanje optimalne lokacije i veličina izgradnje kompenzacijskih uređaja s aspekta gubitaka radne snage kao mjerodavne ocjenjujemo odvojeno grupe pogonskih stanja karakterističnih po maksimalnom i minimalnom opterećenju nazivne 2005. i 2010. godine (osjenčano u tablici). Iz rezultata je vidljivo da je optimalni kompenzacijski uređaj u maksimumu op-

**Tablica 3. Optimalne lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja**

| Pogonska stanja | Optimalne lokcije i veličine kompenzacijskih uređaja | | |
|---|---|---|---|
| | Naponske prilike | Gubici radne snage | Blizina sloma napona |
| Max. 2005. | / | Međurić 220 kV C100<br>Ernestinovo 400 kV C50 | / |
| Min. 2005. | Obrovac 400 kV L150 Mvar<br>Konjsko 400 kV L50 Mvar | Žerjavinec 220 kV L150<br>Ernestinovo 400 kV L100<br>Tumbri 400 kV L150 | Žerjavinec 220 kV L150<br>Pehlin 220 kV L150<br>Mraclin 220 kV L150 |
| Max. 2010. | / | Međurić 220 kV C100<br>Mraclin 220 kV C50<br>Žerjavinec 220 kV C100 | / |
| Min. 2010. | Obrovac 400 kV L150 Mvar<br>Konjsko 400 kV L50 Mvar | Žerjavinec 220 kV L150<br>Međurić 220 kV L50<br>Tumbri 400 kV L100 | Žerjavinec 220 kV L150<br>Pehlin 220 kV L150<br>Mraclin 220 kV L150 |
| Max. 2005. i 2010. | / | Međurić 220 kV C100<br>Mraclin 220 kV C50<br>Žerjavinec 220 kV C100 | / |
| Min. 2005. i 2010. | Obrovac 400 kV L150 Mvar<br>Konjsko 400 kV L50 Mvar | Žerjavinec 220 kV L150<br>Tumbri 400 kV L150<br>Mraclin 220 kV L50 | Žerjavinec 220 kV L150<br>Pehlin 220 kV L150<br>Mraclin 220 kV L150 |
| Max. i min. 2005. i 2010. | Obrovac 400 kV L150 Mvar<br>Melina 400 kV L50 Mvar | Žerjavinec 220 kV L100<br>Tumbri 400 kV L150<br>Ernestinovo 400 kV L100 | Žerjavinec 220 kV L150<br>Pehlin 220 kV L150<br>Mraclin 220 kV L150 |

* L – prigušnica (L50 – 50 Mvar, L100 – 100 Mvar, L150 – 150 Mvar)
C – kondenzatorska baterija (C50 – 50 Mvar, C100 – 100 Mvar, C150 – 150 Mvar)

terećenja EES-a s aspekta smanjenja gubitaka radne snage kapacitivnog djelovanja, a u minimumu opterećenja induktivnog djelovanja. To nadalje znači da bi s aspekta gubitaka radne snage trebalo ugraditi takav kompenzacijski uređaj koji ima mogućnost induktivnog i kapacitivnog rada (sinkroni kompenzator, statički Var kompenzator), kako bi imao utjecaja na smanjenje gubitaka radne snage tijekom čitave godine. Analize pokazuju da bi smanjenje gubitaka radne snage bilo toliko neznatno da takav kompenzacijski uređaj ne bi bio na prvi pogled ekonomski opravdan. Međutim, pravu verifikaciju njegove opravdanosti potrebno je vrednovati preko smanjenja gubitaka radne energije. Optimalne lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja (prigušnica) s aspekta smanjenja gubitaka radne snage su:

(a) u maksimumu opterećenja

1a.TS 220/110 kV Međurić (220 kV sabirnice) – kondenzator 100 Mvar

2a.TS 220/110 kV Mraclin (220 kV sabirnice) – kondenzator 50 Mvar

3a.TS 400/220/110 kV Žerjavinec (220 kV sabirnice) – kondenzator 100 Mvar.

(b) u minimumu opterećenja

1b.TS 400/220/110 kV Žerjavinec (220 kV sabirnice) – prigušnica 150 Mvar

2b.TS 400/110 kV Tumbri (400 kV sabirnice) – prigušnica 150 Mvar

3b.TS 220/110 kV Mraclin (220 kV sabirnice) – prigušnica 50 Mvar.

Očito je da provedene analize ne upućuju na istu optimalnu lokaciju kompenzacijskog uređaja s dvosmjernim djelovanjem (induktivno, kapacitivno) za maksimalna i minimalna opterećenja EES-a. Radi pronalaženja obostranog optimuma trebalo bi provesti dodatna istraživanja i analize, no zbog očite neisplativosti takvog uređaja daljnje analize nisu izvršene.

Optimalne lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja s aspekta blizine sloma napona su iste za sve analizirane grupe pogonskih stanja karakterističnih po minimalnom opterećenju EES-a. Za grupe pogonskih stanja karakterističnih po maksimalnom opterećenju EES-a optimalna veličina kompenzacijskog uređaja za razmatrani kriterij se ne može pronaći.

Optimalne lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja s aspekta blizine sloma napona su:

1. TS 400/220/110 kV Žerjavinec (220 kV sabirnice) – prigušnica 150 Mvar
2. TS 220/110 kV Pehlin (220 kV sabirnice) – prigušnica 150 Mvar
3. TS 220/110 kV Mraclin (220 kV sabirnice) – prigušnica 150 Mvar.

Očito je da računski opitmum s aspekta blizine sloma napona nije praktično primjenljiv budući da se pri niskim opterećenjima u sustavu ne pojavljuje opasnost od sloma napona.

Na osnovi provedenih analiza ocjenjujemo da optimalnu lokaciju i veličinu kompenzacijskog uređaja treba odrediti s aspekta zadovoljenja naponskih prilika u EES-u. Minimiziranje radne snage i blizina sloma napona nisu kriterij prema kojemu bi trebalo određivati način i veličinu kompenzacije u EES-u Hrvatske (težinski faktori su im 0 – funkcija cilja u korištenom matematičkom modelu). Kao konačan prijedlog lokacije, veličine i tipa kompenzacijskog uređaja, provedene analize nesumljivo ukazuju na sljedeću lokaciju: RHE Obrovac (400 kV) – prigušnica 150 Mvar.

## 7. UTJECAJ KOMPENZACIJSKOG UREĐAJA NA NAPONSKE PRILIKE I GUBITKE RADNE SNAGE

U ovom poglavlju je detaljno opisan utjecaj ugradnje prigušnice 150 Mvar na 400 kV sabirnice RHE Obrovac (kao predloženu lokaciju i izvedbu kompenzacije u EES-u Hrvatske), na naponske prilike i gubitke radne snage u EES-u kod jednog karakterističnog pogonskog stanja.

Kao karakteristično pogonsko stanje odabrana je varijanta "nazivne" 2010. godine za koju je na modelu detektiran najviši napon od 437 kV u TS Konjsko. Promatrano pogonsko stanje karakteristično je po:

- minimalnom opterećenju EES-a,
- normalnoj hidrologiji,
- uvozu 500 MW iz Mađarske i 400 MW iz BiH i Srbije,
- tranzitu 600 MW iz Italije za BiH, Srbiju i Bugarsku.

Važni pogonski detalji za razmatrano stanje još su:

- RHE Obrovac van pogona,
- prigušnice u TS Tumbri i TS Ernestinovo izvan pogona,
- preklopke transf. 400/220, 400/110 kV u optimalnom položaju za razmatrano pogonsko stanje,
- RHE Čapljina u kompenzacijskom režimu rada (180 Mvar), naponi u 400 kV mreži BiH iznad dozvoljenih granica (TS Mostar – 427 Mvar),
- naponi u EES Slovenije, Srbije, Crne Gore i Mađarske unutar dozvoljenih granica.

Utjecaj korištenja nekih postojećih resursa (kompenzacijski režim rada RHE Čapljina do 252 Mvar, kompenzacijski režim rada RHE Obrovac do 160 Mvar, priključenje prigušnice 50 Mvar u TS Tumbri, 100 Mvar u TS Ernestinovo, priključak prigušnice 150 Mvar na 400 kV sabirnice RHE Obrovac) prikazan je u tablici 4.

**Tablica 4. Naponske prilike i gubici radne snage u razmatranom pogonskom stanju "nazivne" 2010. godine**

| Varijanta | Naponi u kritičnim čvorovima mreže | | | |
|---|---|---|---|---|
| | RHE Obrovac | TS Konjsko | TS Melina | TS Đakovo |
| Osnovno stanje | 434 | 437 | 425 | 246 |
| Blokirane preklopke transf. 400/220 i 400/110 kV u položaju 0* | 429 | 432 | 422 | 251 |
| Kompenzacijski rad RHE Obrovac do 80 Mvar | 425 | 430 | 421 | 245 |
| Kompenzacijski rad RHE Obrovac do 160 Mvar | 420 | 426 | 418 | 244 |
| Kompenzacijski rad RHE Čapljina do 252 Mvar | 430 | 431 | 422 | 244 |
| Kompenzacijski rad RHE Čapljina do 252 Mvar + Kompenzacijski rad RHE Obrovac do 80 Mvar | 422 | 426 | 419 | 243 |
| Kompenzacijski rad RHE Čapljina do 252 Mvar + Kompenzacijski rad RHE Obrovac do 160 Mvar | 418 | 423 | 417 | 242 |
| Priključena prigušnica 50 Mvar u TS Tumbri | 433 | 436 | 423 | 246 |
| Priključena prigušnica 100 Mvar u TS Ernestinovo | 432 | 433 | 423 | 239 |
| Priključena prigušnica 150 Mvar u RHE Obrovac (400 kV) | 416 | 423 | 417 | 243 |
| Priključena prigušnica 100 Mvar u RHE Obrovac (400 kV) | 422 | 428 | 419 | 244 |
| Blokirane preklopke transf. 400/220 i 400/110 kV u položaju 0 + Priključena prigušnica 150 Mvar u RHE Obrovac (400 kV)** | 413 | 421 | 415 | 250 |

*** previsoki naponi još na:**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Bilice 220 | 251.3 kV | Melina 220 | 245.8kV |
| Brinje | 249.5 kV | Mraclin 220 | 246.8kV |
| HE Senj 220 | 249.1 kV | Pehlin 220 | 245.4kV |
| HE Zakučac 220 | 250.3 kV | Plat 220 | 245.5kV |
| Imotski 220 | 245.4 kV | TE Plomin 220 | 245.7kV |
| Konjsko 220 | 250.3 kV | TE Sisak 220 | 245.5kV |
| Medurić 220 | 246.1 kV | Vodnjan 220 | 245.6kV |

**** previsoki naponi još na:**

| | |
|---|---|
| Bilice 220 | 246.0kV |
| Brinje | 246.2kV |
| HE Senj 220 | 245.7kV |
| HE Zakučac 220 | 246.0kV |
| Konjsko 220 | 245.0kV |

Iz tablice je vidljivo da se najbolje naponske prilike postižu ugradnjom prigušnice snage 150 Mvar na 400 kV sabirnice RHE Obrovac. Napon je tada neznatno iznad dopuštene gornje granice jedino u TS Konjsko (423 kV), dok se u ostalim čvorovima mreže on nalazi unutar dozvoljenih granica.

Ukoliko bi preklopke transformatora 400/220 kV i 400/110 kV bile postavljene u položaj 0, naponi u 400 kV mreži bi se u odnosu na osnovno stanje (optimalan položaj preklopki tih transformatora s obzirom na očuvanje napona sekundara) nešto popravili (najviši napon u TS Konjsko – 432 kV), ali bi se znatno pokvarili u 220 kV mreži, a 15 čvorova u mreži te naponske razine u EES-u Hrvatske bi imalo napon viši od dopuštenih 245 kV.

U slučaju da pri opisanom pogonskom stanju jedan generator RHE Obrovac radi u kompenzacijskom režimu rada (– 3MW/do – 80 Mvar) naponske prilike u svim kritičnim čvorovima mreže bi ostale nepovoljne, izuzev u TS Đakovo gdje bi napon bio na dozvoljenoj gornjoj granici. Radom dva generatora RHE Obrovac u kompenzacijskom režimu rada napon u TS Konjsko bi i dalje bio iznad dozvoljene gornje granice (426 kV).

Bez nove prigušnice u EES-u RH, kompenzacijski rad RHE Čapljina s maksimalnih 252 Mvar kapacitivno, snizio bi napone u EES-u Hrvatske, ali ne u dovoljnoj mjeri. Kombinacija RHE Čapljina (do 252 Mvar) i jednog generatora RHE Obrovac (do 80 Mvar) i dalje ne bi snizila napone u svim kritičnim čvorovima mreže ispod gornje granice (Obrovac 422 kV, Konjsko 426 kV), a tek bi kombinacija RHE Čapljina i dva generatora RHE Obrovac u maksimalnom kompenzacijskom režimu rada dovela donekle do zadovoljavajućih naponskih prilika (TS Konjsko i dalje iznad gornje granice – 423 kV).

Prigušnica 50 Mvar na tercijaru transformatora u TS Tumbri ne utječe značajno na naponske prilike u kritičnim čvorovima mreže. Utjecaj priključenja prigušnice 100 Mvar na 110 kV sabirnice TS Ernestinovo nešto je izraženiji, a tek priključak prigušnice 150 Mvar na 400 kV sabirnice RHE Obrovac dovodi do donekle zadovoljavajućih naponskih prilika u EES-u Hrvatske (napon je i dalje previsok u TS Konjsko – 423 kV).

Iz tablice 4 je vidljivo da se priključkom prigušnice 150 Mvar u RHE Obrovac postižu približno jednake naponske prilike u kritičnim čvorovima mreže, kao i u istodobnom kompenzacijskom radu RHE Čapljina do maksimalno 252 Mvar kapacitivno i dva generatora RHE Obrovac do 160 Mvar ukupno. Očito je da bi u slučaju trajnog kompenzacijskog rada RHE Čapljina i RHE Obrovac pri niskim opterećenjima EES-a kada se naponi podižu iznad dozvoljene gornje granice, snaga ugrađene prigušnice na 400 kV sabirnicama RHE Obrovac mogla biti i manja od predloženih 150 Mvar.

Ugradnjom prigušnice 150 Mvar na 400 kV sabirnice RHE Obrovac ukupni gubici radne snage na modelu za analizirano pogonsko stanje bi se smanjili za 3.05 MW (35.13 MW – 32.08 MW). To smanjenje se odnosi na čitavu modeliranu mrežu (dakle i susjedne EES). U EES-u Hrvatske smanjenje gubitaka radne snage u analiziranom pogonskom stanju bi iznosilo 2.66 MW (16.79 MW – 14.13 MW).

Naponske prilike u 400 kV mreži Hrvatske značajno ovise o naponima u rubnim čvorovima susjednih sustava (Slo, Mađ, BiH i SRJ). U slučaju kada bi u prethodno analiziranom pogonskom stanju napon na sabirnicama Obrenovac i NE Krško bio 420 kV (ovisno o angažmanu jalove snage generatora TE Nikola Tesla i NE Krško) previsoki naponi bi se pojavili i u TS Ernestinovo i TS Tumbri. Prigušnice 50 Mvar u Tumbrima i 100 Mvar u Ernestinovu tada bi pridonijele smanjenju napona u tim TS, a za sniženje napona na južnom kraku bilo bi potrebno priključiti i prigušnicu 150 Mvar u RHE Obrovac.

## 8. ZAKLJUČAK

Na temelju matematičkog modela prema kojem se traži optimalna lokacija i veličina kompenzacijskih uređaja s aspekta naponskih prilika, minimiziranja gubitaka radne snage i blizine sloma napona, razvijen je programski paket *Optlok*, te su izvršeni proračuni potreba ugradnje kompenzacijskih uređaja u prijenosnoj mreži HEP-a za kratkoročan i srednjoročan razvoj mreže (do "nazivne" 2010. godine). Proračuni su obuhvatili analizu 224 moguća i očekivana pogonska stanja s obzirom na mogućnosti angažmana elektrana u EES-u Hrvatske (hidrologiju), opterećenje EES-a, razmjene i tranzite snage preko prijenosne mreže, te načinu rada RHE Obrovac i RHE Čapljina.

S obzirom na naponske prilike u EES-u Hrvatske (naponske razine 400, 220 i 110 kV), u kratkoročnom i srednjoročnom razdoblju možemo očekivati probleme povišenja napona u mreži iznad maksimalno dozvoljenih vrijednosti. Problem povišenja napona najizraženiji je u 400 kV mreži, a najugroženije transformatorske stanice su RHE Obrovac, Konjsko i Melina. Povišenje napona javlja se pri niskim opterećenjima EES-a bez obzira na razmjene snage sa susjednim EES-ima ili tranzite za potrebe trećih zemalja (u iznosima koji su analizirani). Rad jednog ili dva generatora RHE Obrovac u kompenzacijskom režimu (do 80 Mvar kapacitivno po generatoru) ne može u potpunosti riješiti spomeniti problem pri svim mogućim i očekivanim pogonskim stanjima. Problem bi se značajno ublažio ukoliko bi osim RHE Obrovac u kompenzacijskom režimu za potrebe EES-a Hrvatske radila još i RHE Čapljina.

Ispravnim podešenjem preklopki transformatora s mogućnošću promjene prijenosnog omjera u beznaponskom stanju (400/220 kV i 400/110 kV), te automatskom regulacijom napona transformatora 220/110 kV, problem povišenja napona u 400 kV mreži

moguće je ograničiti samo na tu naponsku razinu (usprkos intenziviranju problema na toj razini), te očuvati napone u 220 kV i 110 kV mrežama unutar dozvoljenih granica.

Radi efikasnog korišenja postojećih resursa u EES-u, a radi ublažavanja problema previsokih napona pri niskim opterećenjima u sustavu, predlaže se poduzimanje sljedećih koraka:

1. Ažuriranje pogonskih karata generatora u EES-u.
2. Provjera podešenja limitera poduzbude generatora, eventualno novo podešenje istih radi "dubljeg" rada generatora u kapacitivnom području, a ovisno o proračunima stabilnosti EES-a.
3. Podešenje preklopki transformatora s mogućnošću promjene prijenosnog omjera u beznaponskom stanju (400/220 kV i po potrebi 400/110 kV) najmanje dvaput godišnje (za zimski i ljetni režim rada).

Nakon obavljanja svih prethodno navedenih aktivnosti, radi održavanja naponskih prilika unutar dozvoljenih granica, nužno bi bilo ugraditi kompenzacijski uređaj kapacitivnog djelovanja (npr. prigušnicu) na 400 kV naponsku razinu. Najpovoljnija lokacija za istu je RHE Obrovac, a najpovoljnija veličina iste je 150 Mvar.

Ukoliko se želi u potpunosti izbjeći problem previsokih napona u mreži, bilo bi potrebno ugraditi dodatnu prigušnicu snage 50 Mvar na 400 kV sabirnice TS 400/220/110 kV Konjsko. Taj zahvat ne ocjenjujemo nužnim imajući u vidu moguća pogonska stanja u kojima se i dalje mogu javljati prekoračenja napona u 400 kV mreži nakon ugradnje prigušnice 150 Mvar u RHE Obrovac na 400 kV sabirnice, te mogućnosti kompenzacijskog režima rada RHE Obrovac i RHE Čapljina.

Ugradnju kompenzacijskog uređaja (jednog ili više njih, snage veće od 50 Mvar) s aspekta smanjenja gubitaka radne snage u prijenosnoj mreži, kao i s aspekta blizine sloma napona, ne smatramo opravdanom, budući da u EES-u realno ne postoji opasnost od sloma napona pri normalnom režimu rada (raspoložive sve grane mreže), te budući da smanjenje gubitaka radne snage nakon ugradnje kompenzacijskog uređaja nije značajno za sve analizirane varijante proračuna. Ovaj zaključak odnosi se na razmatranje potrebne kompenzacije na razini cjelokupnog EES-a, a zanemarujući moguće lokalne probleme (ispadi pojedinih vodova u 110 kV mreži, utjecaj automatske regulacije na transformatorima 110/x kV i sl.) koji eventualno mogu voditi ka razmatranju potreba (statičke i dinamičke analize) ugradnje lokalnih kompenzacijskih uređaja manje jedinične snage na 110 kV ili 35 kV naponskoj razini i s obzirom na ta dva kriterija.

Ekonomska opravdanost ove investicije nije ispitivana ovom prilikom, a što bi svakako trebalo imati veliku važnost pri eventualnom donošenju odluke o investiranju. Da bi se mogla što točnije procijeniti ekonomska dobit od ugradnje kompenzacijskog uređaja bilo bi nužno poznavati okvire tržišta električne energije unutar kojih će funkcionirati hrvatski elektroenergetski sustav, te naknade za pomoćnu uslugu regulacije napona i jalove snage.

**LITERATURA:**


[1] M. MAJSTROVIĆ, G. MAJSTROVIĆ, D. BAJS: "Metode za izbor najpovoljnije lokacije kompenzacijskih uređaja", Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 2001.

[2] D. BAJS, G. MAJSTROVIĆ, M. MAJSTROVIĆ: "Analiza potreba ugradnje kompenzacijskih uređaja u prijenosnoj mreži HEP-a za planirani razvoj mreže u kratkoročnom i dugoročnom razdoblju", Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 2002.

[3] ENERGIJA br. 5/2001, HEP, Zagreb, listopad 2001.

[4] SECI PROJECT GROUP ON DEVELOPMENT OF INTERCONNECTION OF ELECTRIC POWER SYSTEMS OF SECI COUNTRIES – REGIONAL TRANSMISSION NETWORK PLANNING PROJECT: Regional model construction, ESP, CMS,EKC, 2002.

[5] SUMMARY OF THE CURRENT OPERATING PRINCIPLES OF THE UCPTE, UCPTE, 1999.

[6] GODIŠNJI IZVJEŠTAJ 2000, Elektroprivreda BiH, Sarajevo, 03. 2001.

[7] LETNO POROČILO 2000, ELES Ljubljana, 2001.

[8] OSNOVNI PODACI ELEKTROPRIVREDE SRBIJE ZA 2000. GODINU,Beograd, 2001.

[9] GODIŠNJI IZVJEŠTAJ 2000., Elektroprivreda Crne Gore, Nikšić, 2001.

[10] ANNUAL REPORT 2000., MVM, Budapest, 2001.

[11] LOVRIĆ, GOIĆ: "Gubici električne energije u prijenosnoj mreži HEP-a", Energija, broj 5, Zagreb, 2001.

[12] RAZVITAK ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA HRVATSKE DO 2030. GODINE – MASTER PLAN (novelacija), EIHP, Zagreb, 2001.

[13] DALJINSKO UPRAVLJANJE REGULACIJOM NAPONA I JALOVE SNAGE – SEKUNDARNA REGULACIJA NAPONA I JALOVE SNAGE, FER, Zagreb, 1991.

[14] D. BAJS, B. RADMILOVIĆ, S. ALERIĆ: "Studija uklapanja nove KTE snage 400 Mw na EES Republike Hrvatske (lokacija TE-TO Zagreb, TE Sisak, TETO i PTE Osijek)", Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 2000.


**OPTIMAL SIZE AND LOCATION OF COMPENSATION EQUIPMENT INSTALLATION IN THE TRANSMISSION NETWORK OF HEP**


The paper offers the analysis of optimal size and location of compensation equipment installation in the transmission network of the Croatian Electric Company for planned short and mid-term period network development. The analysis has been conducted based on the mathematical model described in an earlier paper. Based on a huge number of possible and expected operation states the compensation proposal is given, the analysis of different measures as well as of the existing resource usage in order to maintain voltage within limits.

## OPTIMALE LEISTUNG UND STANDORT VON KOMPENSATIONSANLAGEN IM ÜBERTRAGUNGSNETZ KROATISCHER ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT

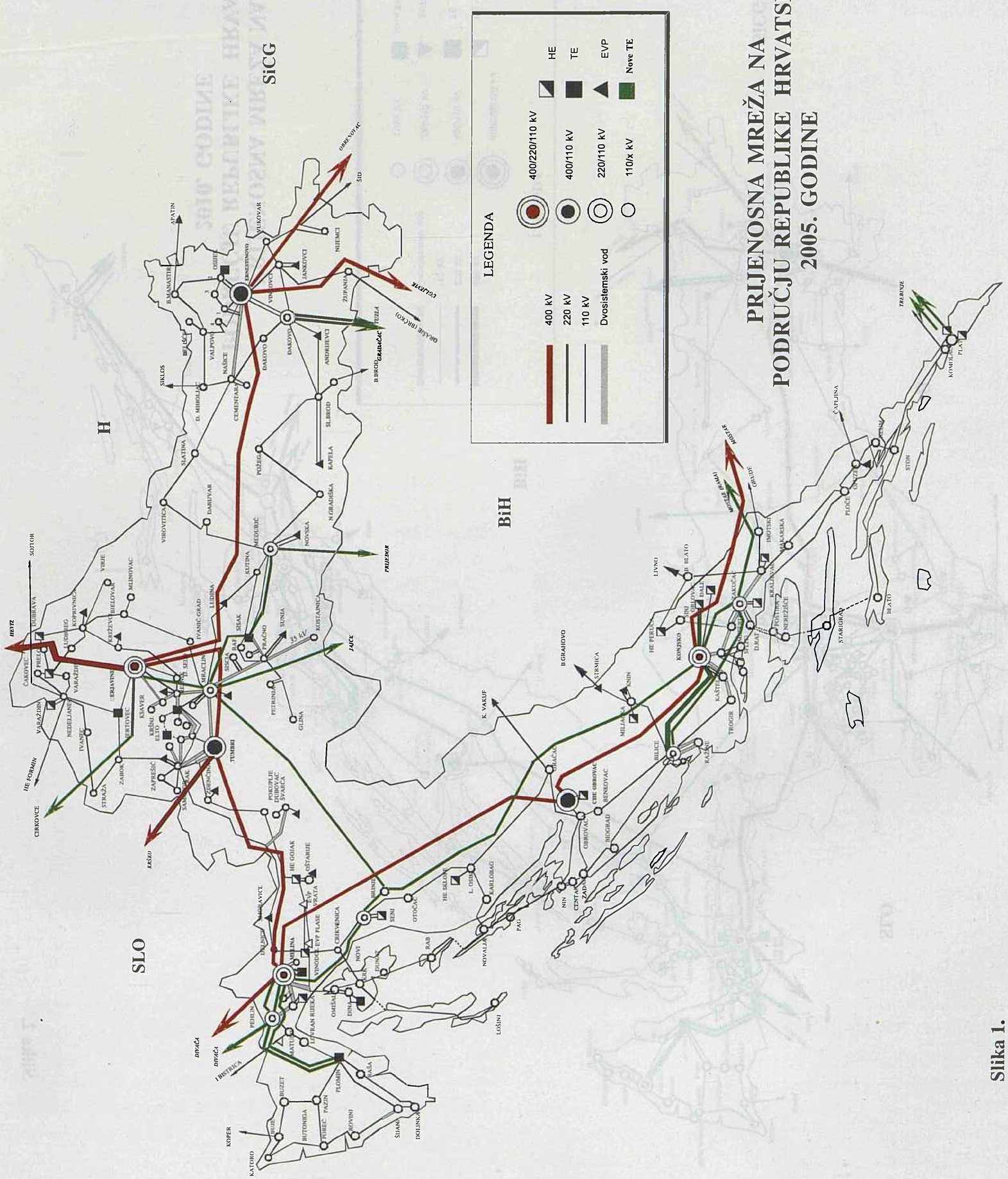
Vorgezeigt wird die Untersuchung optimaler Leistung und Standortauswahl für Kompensationsanlagen im Übertragungsnetz der Kroatischen Elektrizitätswirtschaft zwecks Planung der kurzfristigen und der mittelfristigen Netzentwicklung. Die Untersuchung ist auf Grund des im früheren Artikel beschriebenen mathematischen Modells durchgeführt worden. Von der grossen Anzahl möglicher und erwarteter Betriebszustände ausgehend, wird ein Vorschlag für die Kompensation gegeben und untersucht wird der Einfluss einiger Massnahmen und der Nutzung bestehender Mittel für die Einhaltung von Spannungsverhältnissen innerhalb zulässiger Grenzen.

Naslov pisaca:

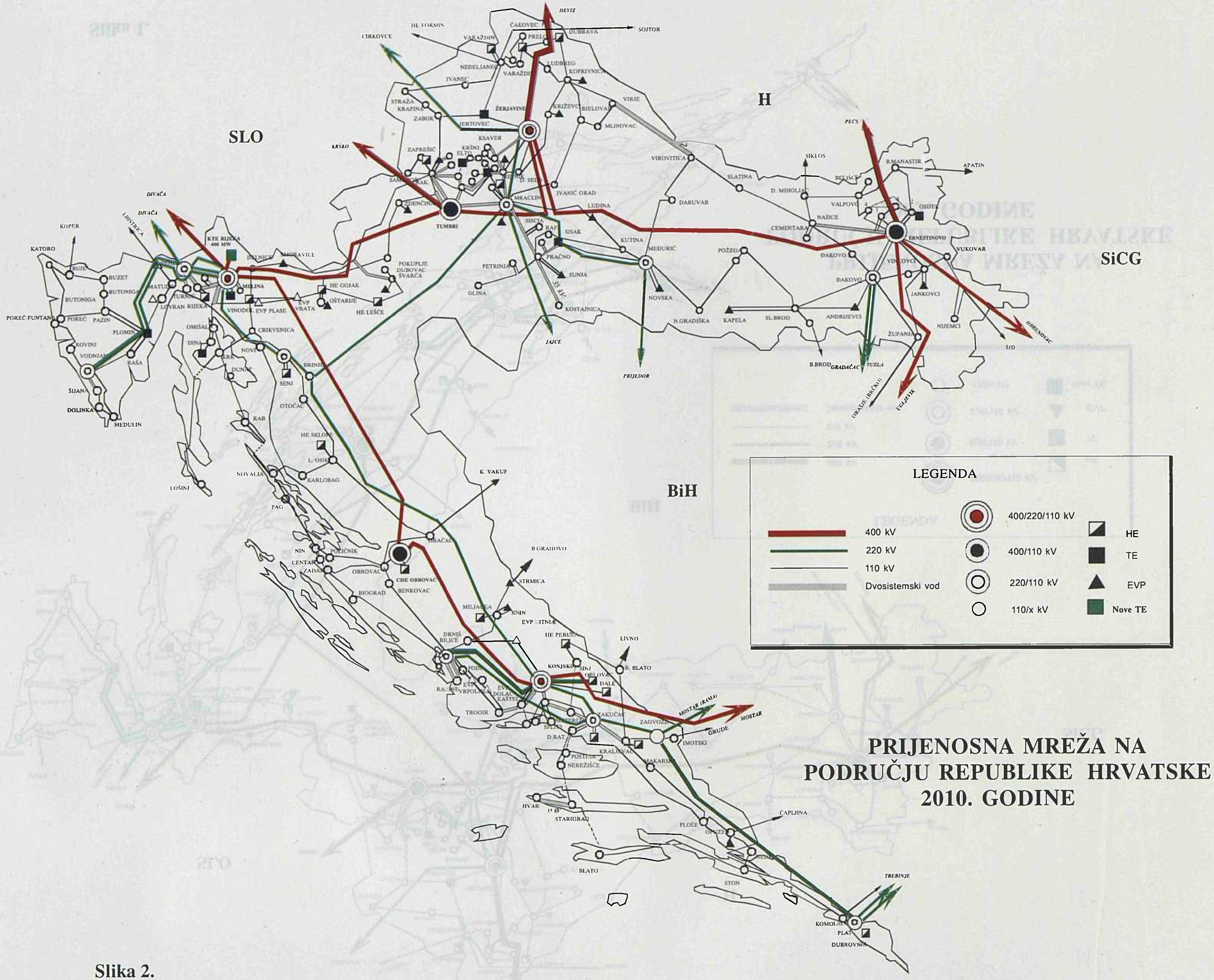
**Mr. sc. Davor Bajs, dipl. ing.**
**prof. dr. sc. Matislav Majstrović, dipl. ing.**
**mr. sc. Goran Majstrović, dipl. ing.**
**Energetski institut "Hrvoje Požar",**
**Savska 163, 10000 Zagreb**
**Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2002 – 12 – 10.

# PRILOG: ANALIZIRANE KONFIGURACIJE EES-a HRVATSKE




Slika 1.




# PRIJENOSNA MREŽA NA PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE 2010. GODINE

**Slika 2.**

# POTISKIVANJA VIBRACIJA VRATILA AGREGATA A HE DUBRAVA ZASNOVANO NA DETALJNOJ DIJAGNOSTICI ROTORA

Đuro D v e k a r, Goričan – Branko B a j i ć, Zagreb/Luksemburg – Ivan B a c i n g e r, Pušćine – Damir M a g i ć, Čakovec – Josip S a b o l e k, Čakovec – Muharem D e m i r o v i ć, Zagreb

UDK 621.311.21.005
PREGLEDNI ČLANAK

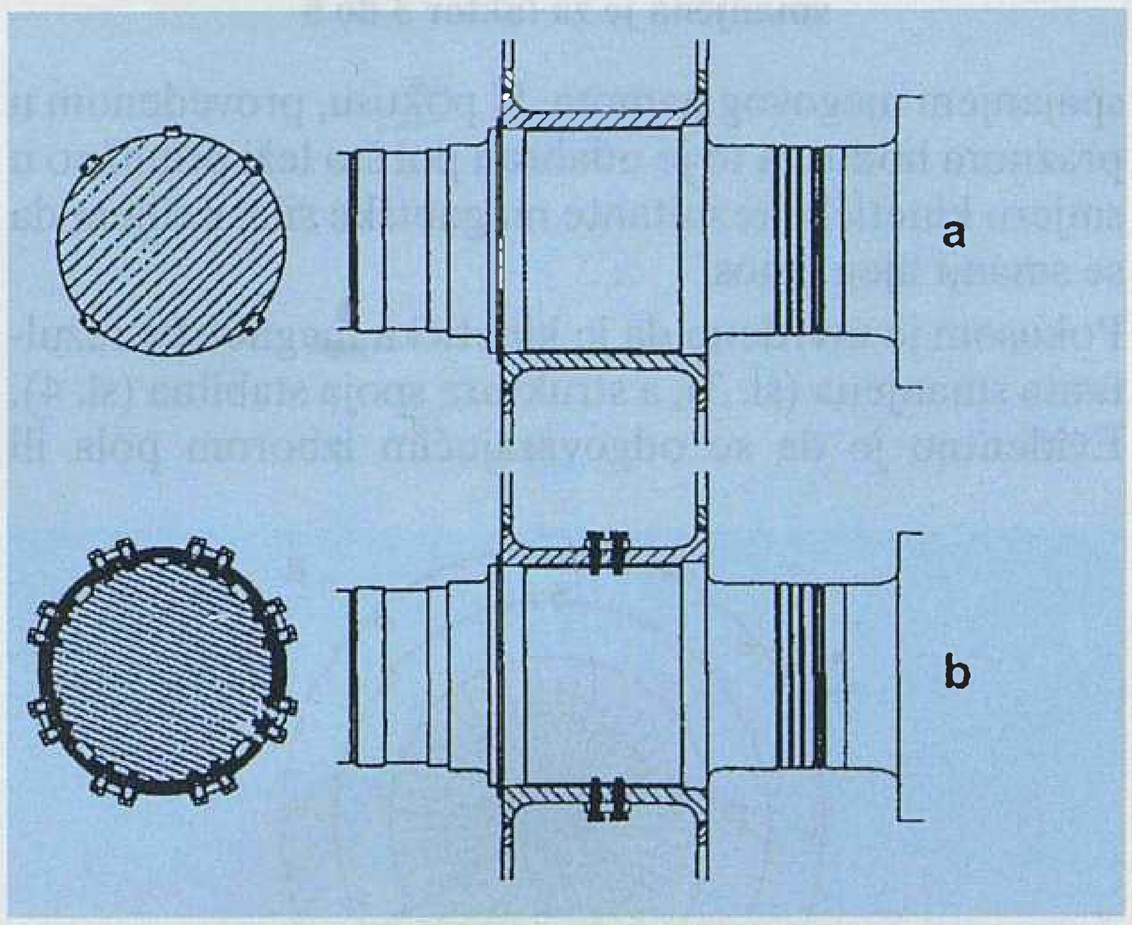
Opisuje se način smanjenja razine vibracija vratila cijevnog agregata A HE Dubrava uzrokovanih labavljenjem zaklinjenog spoja polnog kotača i vratila. Provedeno je precizno namještanje polnog kotača na vratilo zasnovano na opsežnim dijagnostičkim ispitivanjima i detaljnoj analizi kinematike i dinamike rotora agregata. Položaj je fiksiran elementima koji su imuni na postojeći tip trošenja.

**Ključne riječi: vratilo, polni kotač, rotor, vibracije, dijagnostika.**

## 1. UVOD

Vratila oba cijevna agregata HE Dubrava snage po 40 MW uležištena su pomoću dva radijalna ležaja na krajevima i jednog aksijalnog između njih, a polni kotač generatora je spojen na vratilo zaklinjenjem (sl. 1). Ovaj spoj ima nekoliko mana [1]: tanka i elastična glavina, premalen preklop između glavine polnog kotača i vratila, te neodgovarajuće izvedeni utori za klinove. Sve ovo je uzrok dugogodišnjeg trošenja i labavljenja spoja na agregatu A, što je rezultiralo visokim vibracijama vratila (sl. 2) i skakanjem polnog kotača po vratilu [2]. Konačno, povećanje amplituda vibracija vratila na 0,5 mm pod teretom i 0,8 mm u praznom hodu onemogućilo je daljnju eksploataciju.

Stroj je osposobljen za daljnji rad kroz dvije sanacije, koje se opisuju u nastavku.




**Slika 1. Spoj vratilo – polni kotač:**
**(a) prije i**
**(b) poslije 1. sanacije radijalnim prizonima**

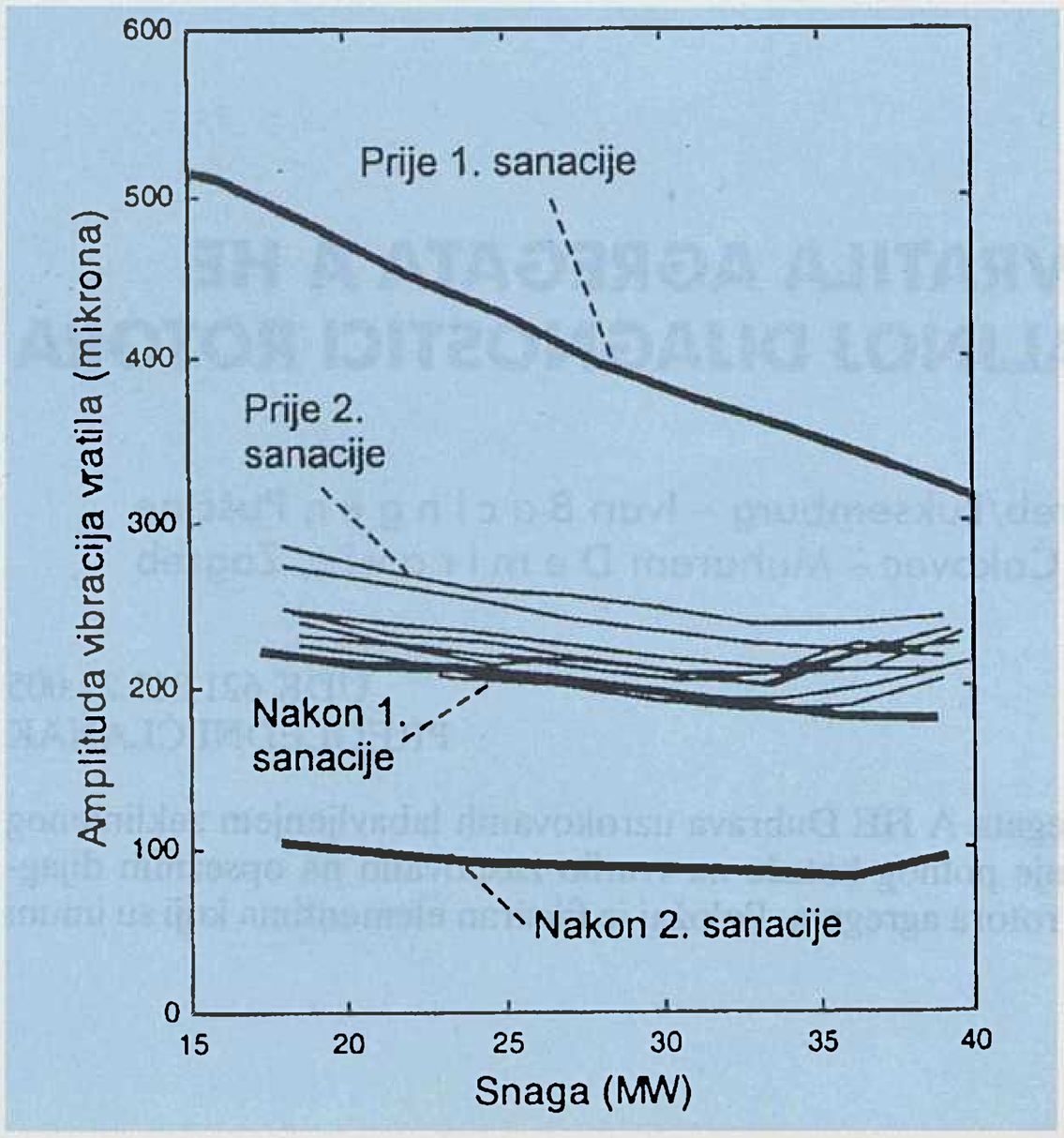
## 2. PRVA SANACIJA

Središnji dio glavine polnog kotača fiksiran je na vratilo pomoću 32 zatika koji su radijalno stegnuti vijcima, a postojeći klinovi su doklinjeni (sl. 1). Ideja ovakve sanacije bila je da se polni kotač osloni na središnji dio glavine, koji se ne deformira zbog radijalnih sila. Isto tako, kako je novo oslanjanje smješteno u uskom pojasu na sredini glavine, izostaje klizanje između dosjednih ramena glavine i vratila, uzrokovano savijanjem vratila.

Nakon zahvata obavljena su detaljna dijagnostička ispitivanja [2]. Provedena su mjerenja zračnog raspora, magnetskog toka i relativnih vibracija vratila da bi se otkrio uzrok visokih vibracija i ocijenio uspjeh sanacije. Utvrđeno je da je uzrok vibracija ekscentričnost polnog kotača u odnosu na os vrtnje. Magnetske sile između rotora i statora slijede promjenu zračnog raspora, a kinetička komponenta njihove rezultante ima smjer minimuma zračnog raspora. Ova sila uzrokuje prisilne vibracije vratila na frekvenciji vrtnje.

Sanacijom je ekscentričnost u mehaničkoj vrtnji smanjena i fiksirana na 0,35 mm s nizvodne strane, te 0,15 mm s uzvodne strane generatora, uz kut između smjerova ekscentričnosti od 90°. Amplituda vibracija vratila smanjena je za faktor reda 2 u odnosu na stanje prije remonta (sl. 2).

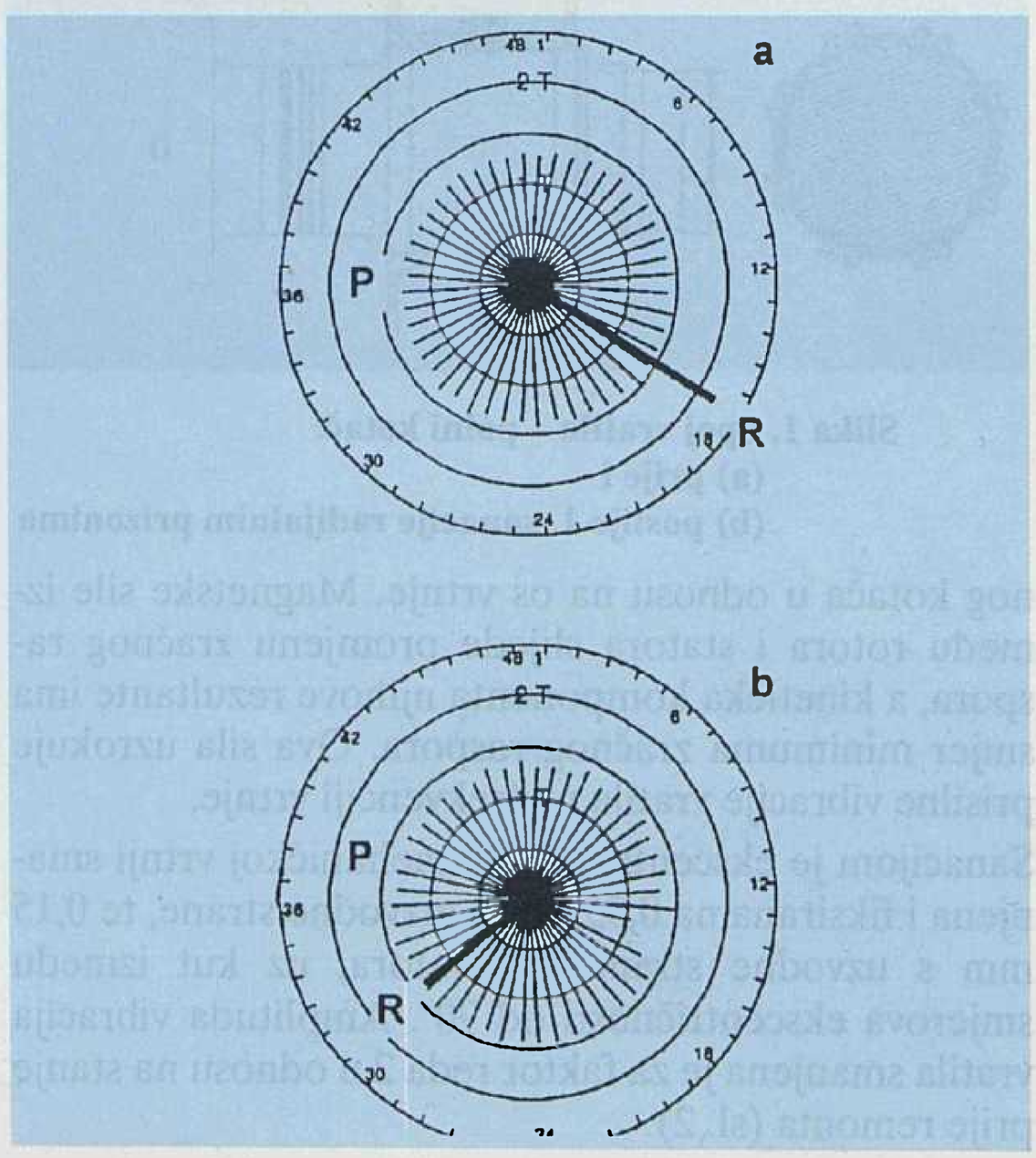
Da bi se ocijenila stabilnost strukture spoja postignuta sanacijom i eventualno našao još jedan način smanjenje razine vibracija vratila, proveden je pokus s isključivanjem djelovanja odabranog pola kratkim



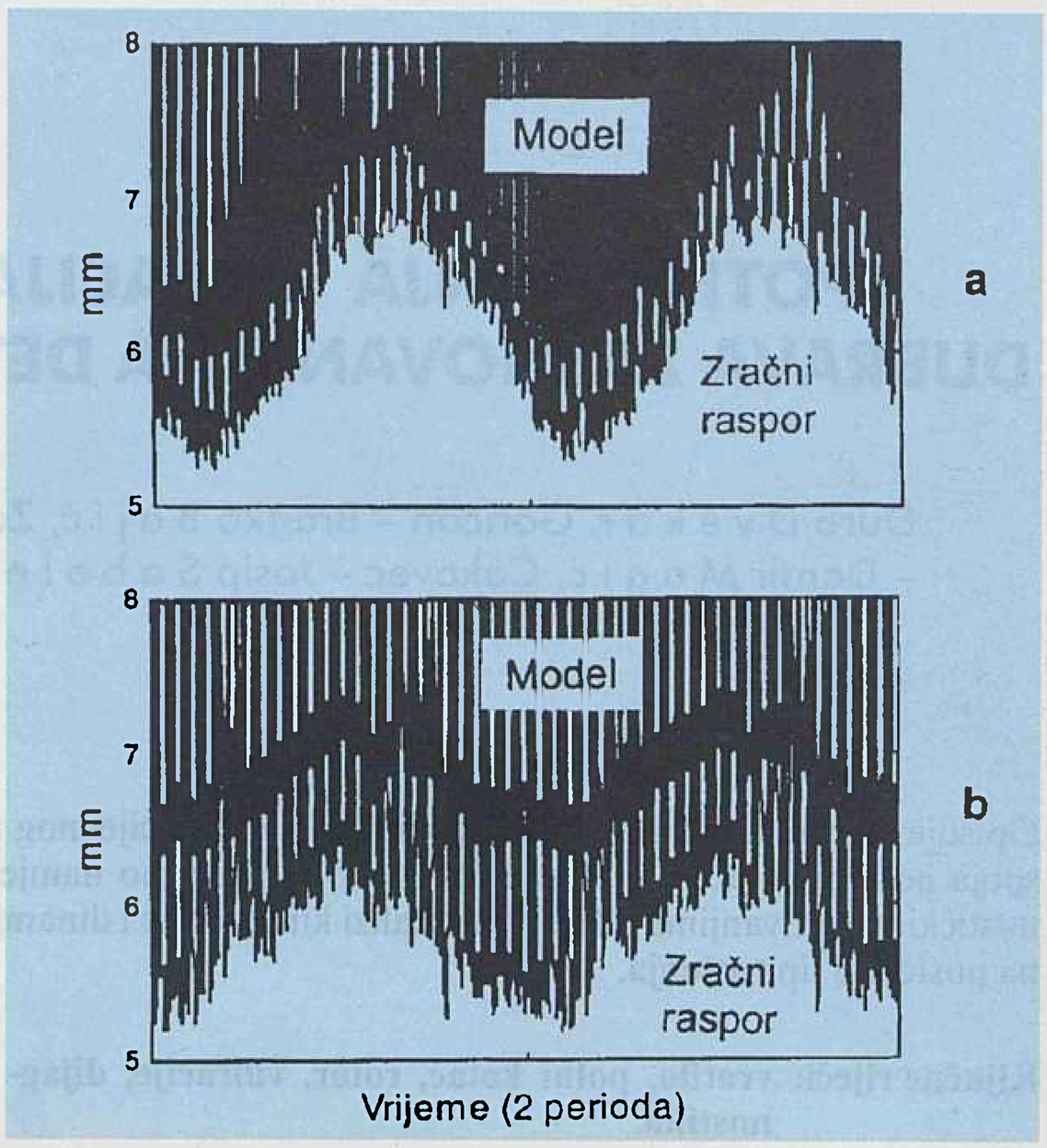

**Slika 2. Sanacijskim zahvatima amplituda vibracija vratila smanjena je za faktor 3 do 5**

spajanjem njegovog namota. U pokusu, provedenom u praznom hodu, za to je odabran pol što leži približno u smjeru kinetičke rezultante magnetske sile, s ciljem da se smanji njen iznos.

Pokusom je utvrđeno da je kinetička magnetska rezultanta smanjena (sl. 3), a struktura spoja stabilna (sl. 4). Evidentno je da se odgovarajućim izborom pola ili




**Slika 3. Rezultanta (R) dinamičke komponente magnetskog toka polova (P):**
**(a) bez kratkog spoja**
**(b) s kratkim spojem na jednom polu**




**Slika 4. Model za provjeru stabilnosti strukture spoja vratilo – polni kotač:**

**Ako je spoj stabilan vrijedi:**

1. **Zračni raspor u mehaničkoj vrtnji je obodno stalan.**
2. **Zračni raspor = Model – Obodno stalna deformacija zračnog raspora uzrokovana magnetskim silama, gdje je Model = Zračni raspor u mehaničkoj vrtnji + Dinamička komponenta pomaka vratila u ravnini i smjeru zračnog raspora.**

**Pokus pokazuje da su oba uvjeta zadovoljena, što znači da je prvom sanacijom postignuta stabilnost strukture. Porast vibracija tijekom naredne godine, između 1. i 2. remonta (sl. 2), pokazuje pak da se nestabilnost spoja ponovno razvijala.**

polova i stupnjem smanjenja njihova djelovanja promjenjiva magnetska sila može praktično potpuno eliminirati i time stroj dodatno umiriti.

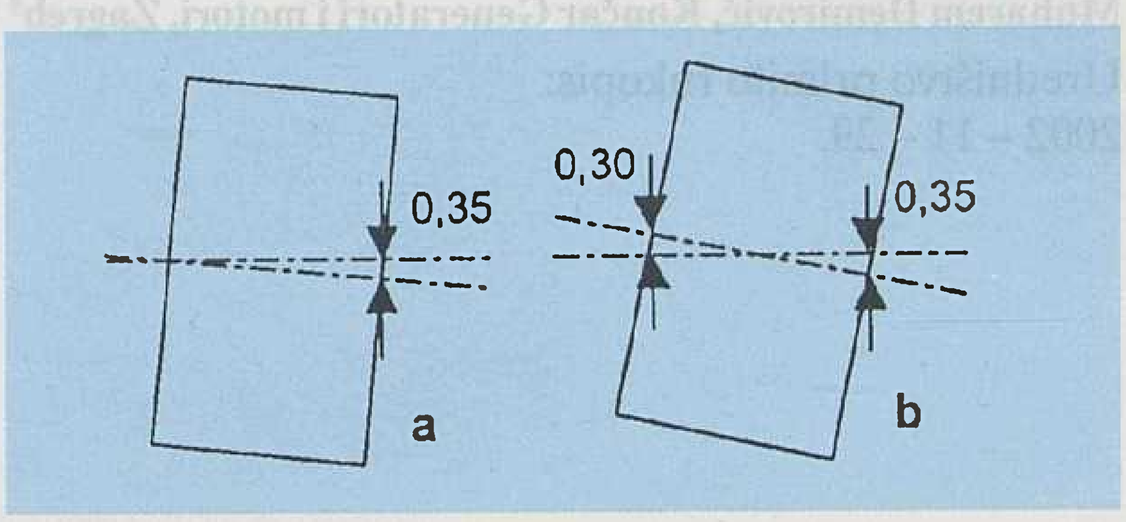
## 3. DRUGA SANACIJA

Neidealno učvršćenje polnog kotača na vratilo dozvolilo je porast ekscentričnosti u eksploataciji. U jednogodišnjem periodu ova je porasla na 0,4 mm s nizvodne i 0,17 s uzvodne strane generatora, dok su smjerovi ekscentričnosti ostali nepromijenjeni. Amplituda vibracija vratila porasla je za cca 30% (sl. 2).

Ovakvo pogoršavanje zahtijevalo je ponovnu sanaciju. Svi zatici zamijenjeni su novima, a na nizvodnoj strani glavine montirano je 8 vijaka za centriranje s pripadnim osloncem.

Polni kotač namješten je temeljem opsežnih dijagnostičkih ispitivanja i detaljne analize kinematike i dinamike rotora agregata. Ekscentričnost s nizvodne strane postavljena je na iznos iz prethodnog remonta, dok je ona s uzvodne strane generatora namjerno povećana na 0,3 mm, ali u suprotnom smjeru u odnosu

na ekscentričnost s nizvodne strane (sl. 5). Ovakvo "ekscentriranje" provedeno je jer fizički nije bilo moguće potpuno centriranje na nizvodnoj strani, a na temelju proračuna koji je pokazao da će nakon ovakvog zahvata razina relativnih vibracija vratila biti manja. Mjerenja su ovo potvrdila: ovim je zahvatom razina vibracija vratila smanjena za daljnjih 2 puta (sl. 2). Time su značajno smanjena dinamička opterećenja spoja, te je labavljenje spoja u idućem dvogodišnjem periodu bilo jedva primjetno.




**Slika 5. Položaj polnog kotača u odnosu na os vrtnje (mjere u mm)**
**(a) nakon 1. sanacije – centriranje**
**(b) nakon 2. sanacije – ekscentriranje**

## 4. DISKUSIJA

Ekscentričnosti polnoga kotača u odnosu na os vrtnje, koje se gore spominju, izmjerene su u mehaničkoj vrtnji, dakle bez magnetskih sila. Kad je uključena uzbuda, one se promijene za iznos amplitude vibracija vratila, kojoj su pak same i uzrok. Kinetička magnetska rezultanta može izazvati relativno velike amplitude vibracija vratila zbog izvedbe uležištenja rotora; težište polnog kotača udaljeno je od najbližeg vodećeg ležaja (generatorskog) više od 2 m.

Balansiranjem koje je provedeno nakon svake sanacije rotor je uravnotežen prema masenom debalansu. Utjecaj ovoga na vibracije vratila kad je uključena uzbuda nije značajan.

Prije dvije opisane sanacije pokušano je učvršćenje spoja ugradnjom aksijalnih zatika između vratila i glavine na nizvodnoj strani. Zbog karaktera trošenja, zahvat se nije pokazao učinkovitim.

Sanacija radijalnim prizonima ipak je privremena zbog nemogućnosti agresivnijeg zahvata na spoju bez demontaže generatora. Ograničenja tehnoloških postupaka provedivih na licu mjesta ne dozvoljavaju dovoljne dimenzije nosivih elemenata potrebne za trajnu pouzdanost ovakvog rješenja.

## 5. PREGLED I ZAKLJUČCI

Nakon što je stroj morao biti zaustavljen zbog labavosti spoja polnog kotača i vratila, sanacijama radijalnim zaticima osposobljen je za privremeni rad.

Prvom sanacijom otklonjena je akutna nestabilnost strukture spoja i obavljeno centriranje polnog kotača na vratilo uz primjenu klasičnih mjernih metoda. Time su vibracije vratila, ranije ekstremno visoke zbog labavosti spoja, smanjene za faktor reda 2.

Daljnji korak donio je daljnje smanjenje razine vibracija za faktor reda 2. Ovo je izvedeno uz primjenu modernih metoda dijagnostike kinematike i dinamike rotora, koje osim mjerenja vibracija uključuju i mjerenje zračnog raspora i magnetskog toka, te odgovarajuća modeliranja i interpretacije rezultata ispitivanja. Drugom sanacijom prošireno je dozvoljeno radno područje agregata sa 28-33 MW na 18-38 MW.

Nije moguća konačna stabilizacija zaklinjenog spoja vratilo – polni kotač. Sanacije s radijalnim zaticima omogućile su rad agregata do konačnog rješenja – zamjene rotora generatora novim rotorom sa zavarenim spojem vratila i polnog kotača.

Dani slučaj razvoja grešaka u vremenu ukazuje na značaj trajnog nadzora putem automatskog sustava za monitoring ili dovoljno čestih dijagnostičkih ispitivanja. Provedena ispitivanja pokazala su da je moguće značajno povećati pouzdanost nadzora ako se algoritmi tog nadzora urede po mjeri stroja i ako se nadzor vodi preko odgovarajućih izvedenih veličina.

## LITERATURA

[1] I. BACINGER, Đ. DVEKAR: "Pogonska iskustva na hidrogeneratorima sa zaklinjenim spojem glavine polnog kotača rotora na vratilo", V. Savjetovanje Hrvatskog komiteta CIGRE, Cavtat, listopad 2001.

[2] B. BAJIĆ, J. SABOLEK, Đ. DVEKAR, D. MAGIĆ: "Ispitivanje vibracija, zračnog raspora i magnetskog toka na cijevnom agregatu 1 HE Dubrava", 1. Međunarodni simpozij Hidroelektrane HEPP 2001, Elektrotehničko društvo Zagreb, Šibenik, lipanj 2001.

## VIBRATION DECREASE OF HPP DUBRAVA AGGREGATE *A* AXLE BASED ON DETAILED ROTOR DIAGNOSTICS

The paper describes possible vibration decrease of tube aggregate A axle in HPP Dubrava caused by looseness of wedge-shaped connection between pole wheel and axle. A precise set of pole wheel on axle has been realized based on extensive diagnostic tests and detailed cynematic and dynamic analysis of rotor aggregate. The position has been fixed using elements immune to existing damage type.

## HERUNTERDRÜCKEN VON WELLENSCHWINGUNGEN DES TURBOSATZES DES WASSERKRAFTWERKES "DUBRAVA" AUF GRUND DETAILLIERTER ROTORUNTERSUCHUNG

Beschrieben wurde das Herunterdrücken von Wellenschwingungen des Turbosatzes *A* des Wasserkraftwerkes "Dubrava", verursacht durch die Lockerung der Keilverbindung des Polrades mir der Welle. Präzise Aufstellung des Polrades an die Welle ist auf Grund sehr umfangreicher Untersuchungen und detaillierter Erörterung.der Kinematik und der Dynamik des Rotors durchgeführt worden.

Die Lage ist durch verschleisfeste Elemente befestigt worden.

Naslovi pisaca:

**Đuro Dvekar, HE Dubrava, Sveta Marija**[1]
**Branko Bajić, Korto Cavitation Services, Luksemburg**[2]
**Ivan Bacinger, PP HE Sjever, Varaždin**[3]
**Damir Magić, HE Dubrava, Sveta Marija**[1]
**Josip Sabolek, HE Dubrava, Sveta Marija**[1]
**Muharem Demirović, Končar Generatori i motori, Zagreb**[4]

Uredništvo primilo rukopis:
2002 – 11 – 29.

[1] 40326 Sveta Marija, tel.: 042 408300; fax: 042 408308; e-mail: djuro.dvekar@hep.hr; damir.magic@hep.hr; josip.sabolek@hep.hr

[2] 12, rue Ste Zithe; L-2763 Luxembourg; Luksemburg; tel.: 01 2452900; mob. 091 5806433; fax: 01 2452901 (sve u Hrvatskoj); e-mail: korto@cavitation.de; web: www.cavitation.de

[3] p.p. 74, 42001 Varaždin; tel.: 042 408001; fax: 042 408088; e-mail: ivan.bacinger@hep.hr

[4] Falerovo šetalište 22, 10000 Zagreb; tel.: 01 3655126; fax: 01 3667475; e-mail: design.gim@koncar1.tel.hr

# PRIMJERI MANJIH ZAHVATA U TEHNIČKO-IZVEDBENOM DIJELU DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA HEP-a KOJI REZULTIRAJU ZNAČAJNIM MATERIJALNIM UŠTEDAMA

Ivo Santica, Split

UDK 621.316.1.005
STRUČNI ČLANAK

Distribucijski sustav obuhvaća 45-50% materijalnih sredstava Hrvatske elektroprivrede (također se kaže da je u njemu sadržano i 90% problema HEP-a).

Svako pa i malo racionalnije tehničko rješenje u ovako složenom i velikom sustavu u konačnici rezultira znatnim materijalnim uštedama.

U članku će biti prikazana samo dva primjera racionalnijih rješenja s pokazateljima materijalnih ušteda. Kao prvo, prikazat će se mogućnost korištenja temelja betonskog stupa kao uzemljivača u mrežama niskog napona, a kao drugo predložit će se nešto racionalniji profil kabelskog kanala.

**Ključne riječi: uzemljivač, betonski temelj, kabelski kanal, korekcijski faktor.**

## 1. UVOD

Tehnički dio distribucijskog sustava sastavljen od električnih postrojenja i električnih mreža, te pratećih objekata i elemenata, veoma je opsežan i zahtjevan u pogledu izgradnje, nadzora i održavanja. Kao pokazatelje veličine sustava navodimo sljedeće podatke (podaci iz god. 2000.):

- Dužina zračne mreže 35 kV iznosi cca 3600 km.
- Dužina kabelske mreže 35 kV iznosi cca 1200 km.
- Dužina zračne mreže 10 i 20 kV iznosi cca 23000 km.
- Dužina kabelske mreže 10 i 20 kV iznosi cca 7500 km.
- Broj TS 110/10, 20 kV iznosi 26 kom.
- Broj TS 35/10, 20 kV iznosi 347 kom.
- Broj TS 10, 20/0,4 kV iznosi 22500 kom.
- Dužina zračne mreže 0,4 kV (goli i izolirani vodič) iznosi cca 47500 km.
- Dužina kabelske mreže 0,4 kV iznosi cca 14000 km.

Zahtjevi jednostavnosti izgradnje i održavanja stalno nameću potrebu tipizacije pojedinačnih rješenja i elemenata sustava.

Tipizacija je prezentirana nizom granskih normi Direkcije za distribuciju. Ideju, trud, rad i rezultate treba posebno uvažiti.

Međutim, cijeli sustav još nije obuhvaćen tipizacijom, a već bi dio prezentirane tipizacije trebalo korigirati povoljnijim i racionalnijim rješenjima.

Svako racionalnije rješenje za tisuće kilometara zračnih i kabelskih mreža i za tisuće pratećih objekata znači uvijek miljunske materijalne uštede.

## 2. BETONSKI STUP KAO UZEMLJIVAČ U MREŽI 0,4 kV

### 2.1. Uvodne napomene

U sljdećem tekstu opisane su uglavnom prilike u južnom dijelu Hrvatske, što ne isključuje moguću sličnost i na drugim prostorima.

Rekonstrukcija i izgradnja zračnih mreža 0,4 kV u zadnjih desetak godina na prostoru južne Hrvatske i na ratom razrušenim prostorima značila je s gledišta uporišnih mjesta ugradnju znatnog broja betonskih stupova. U početku primjene o ugradnji betonskih stupova nije se dovoljno znalo.

Betonski stupovi ugrađivani su na rasteretnim, kutnim i nosnim mjestima.

Neka ratom razrušena područja i naselja obnavljana su s potpuno novim mrežama 0,4 kV na betonskim stupovima, a neka pak s rekonstrukcijama pojedinačnih izvoda.

Za ugradnju stupova u postojeće mreže nije postojalo određeno pravilo. Mreže su se uglavnom "ojačavale" ugradnjom kutnih i rasteretnih stupova. Mogući pristup mehanizacije često je bio presudan kriterij za ugradnju, tako se ugradio i veliki broj nosnih stupova.

Budući da za izgradnju i rekonstrukciju nije trebala građevinska dozvola, dosta radova izvodilo se bez odgovarajuće projektantske dokumentacije. Tek jedan dio izvodio se temeljem idejnih rješenja. Stručan i sveobuhvatan projekt mreže niskog napona, jedan je od najintrigantnijih i najzahtjevnijih inženjerskih poslova u distribuciji. Od izbora presjeka samonosivog

kabelskog snopa do izbora mjesta ugradnje stupa, kao i izbora vršnih sila, a time i tipa stupa, bilo je prepušteno subjektivnom osjećaju i iskustvu pojedinca.

Izračuni vezani za padove napona, izgradnje osigurača, zaštitne mjere i dr., nisu rađeni sustavno. Danas, gledamo profesionalnim okom, dio tih mreža nažalost ima niz nedostataka. Nelogičnosti se uočavaju na svakom koraku. Veliki broj stupova ugrađen je s neodgovarajućom silom u vrhu stupa; uglavnom prevelikom, a i ugrađeni betonski temelji su prerobusni.

Betonski stup inače karakterizira dosta velika neadaptibilnost okolnom prostoru, za razliku od drvenog stupa. I iz tog razloga posebnu je pozornost trebalo posvetiti izboru što "elegantnijeg" stupa, odnosno stupa s optimalnom silom.

Ne samo što je takav stup znatno jeftiniji, nego kao tako izabran ne vrši "vizualni atak na okoliš" u takovoj mjeri kao deblji robusniji stup. Svakom esteti, a pogotovo stručnom oku, neće promaknuti izneseni dojmovi. Posebno loš dojam ovako predimenzionirani stupovi ostavljaju u ruralnom, inače nedirnutom dijelu Dalmacije, u unutrašnjosti otoka i Zagori.

Kada je dosta toga ovako nespretno izvedeno onda ne čudi što se tako ugrađeni stupovi i betonski temelji ne koriste kao uzemljivači u sustavu uzemljenja.

U mrežama niskog napona u kraškim terenima veoma složen problem, a i izuzetan materijalni trošak, predstavlja potreban robustan sustav uzemljenja. Razlog je veliki specifični otpor kraškog terena. Ovaj sustav ostvaruje se nizom pojedinačnih uzemljivača povezanih preko nul vodiča. Preko ovakvog sustava ispunjavaju se zahtjevi bezopasnosti od opasnih napona, dodira i koraka u mrežama i kod potrošača.

Inače, uobičajeno je da se kao zaštitna mjera prakticira zaštitno uzemljenje (združeni uzemljivač) i strujna zaštitna sklopka kod potrošača.

Dobar dio tih mreža radi s privremenom uporabnom dozvolom ili u tzv. probnom pogonu jer nisu ispunjeni zahtjevi bezopasnosti.

Prema grubim pokazateljima službi nabave broj ugrađenih betonskih stupova u južnom dijelu Hrvatske je:

- DP Elektrodalmacija, Split ..... 10000 kom.
- DP Elektrojug, Dubrovnik ..... 2000 kom.
- DP Elektra, Zadar ..... 2000 kom.
- DP Elektra, Šibenik ..... 2000 kom.

Teško je reći koji je broj stupova od gornjeg iznosa "nespretno" ugrađen, ali je sigurno da veliki dio nije korišten kao uzemljivač.

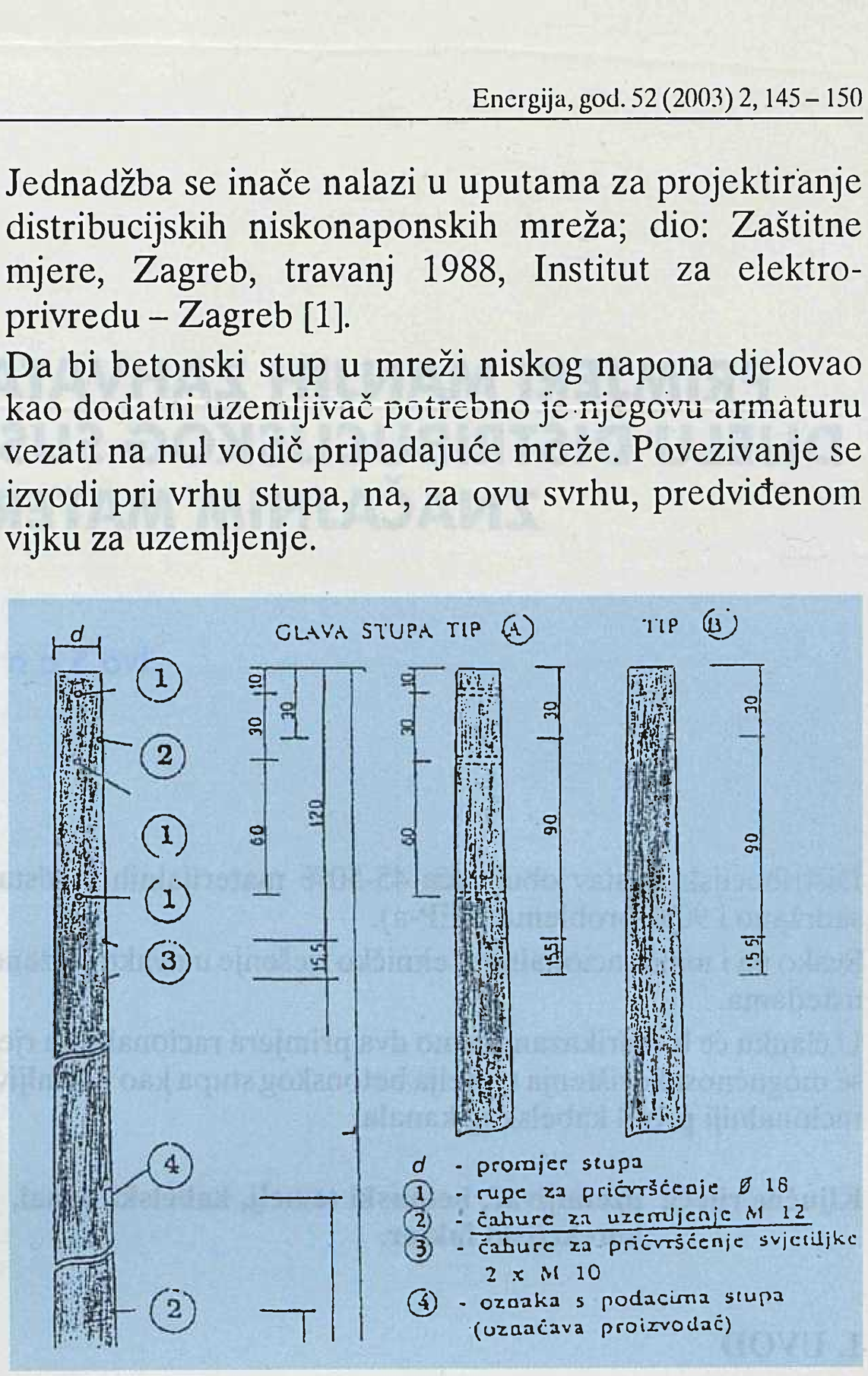
Betonski stup ugrađen u betonski temelj ima osobinu uzemljivačke sonde. Prijelazni otpor ugrađenog betonskog stupa bez ikakovih posebnih uzemljivača određuje se preko jednadžbe:

$$R_b = 0{,}255 \times \rho + 12{,}58 \quad \ldots\ldots (\Omega)$$

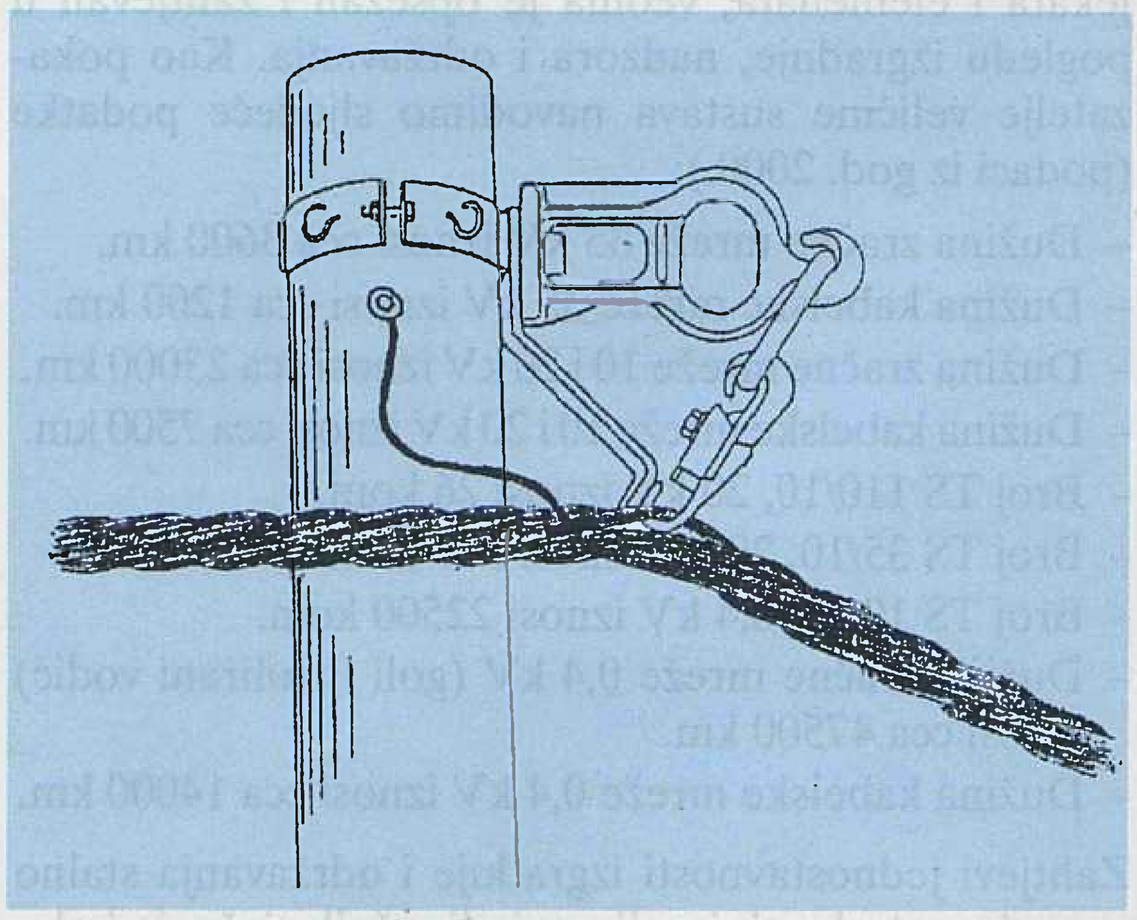
$\rho$ – specifični otpor tla ..... ($\Omega$ m)

Jednadžba se inače nalazi u uputama za projektiranje distribucijskih niskonaponskih mreža; dio: Zaštitne mjere, Zagreb, travanj 1988, Institut za elektroprivredu – Zagreb [1].

Da bi betonski stup u mreži niskog napona djelovao kao dodatni uzemljivač potrebno je njegovu armaturu vezati na nul vodič pripadajuće mreže. Povezivanje se izvodi pri vrhu stupa, na, za ovu svrhu, predviđenom vijku za uzemljenje.




**Slika 1. Detalj glave betonskog stupa s vijkom za uzemljenje**



**Slika 2. Detalj povezivanja betonskog stupa s nul vodičem SKS-a niskonaponske mreže**

## 2.2. Otpor kratkog trakastog uzemljivača

U sljedećem tekstu prikazat će se neke karakteristike trakastog uzemljivača, a s namjerom da se naprave određene usporedbe.

Prijelazni otpor uzemljenja kratkog trakastog uzemljivača (Fe-Zn traka 30x4 mmm) ukopanog na dubinu od oko 0,5 m izračunat je pomoću programa UZI.

Konstante otpora $c_R$ za razne dužine trake dane su u tablici 6.22 uputa naznačenih u prethodnoj točki [1].

Otpor uzemljenja kratkog trakastog uzemljivača izračunava se preko formule:

$$R_U = c_R \times \rho \ldots\ldots\ldots (\Omega)$$

Prikaz tablice 6.22 [1] za konstantu $c_R$ trakastog uzemljivača ukopanog na dubinu 0,5 m je:

| Dužina trake (m) | $c_R$ (1/m) - 1 × traka | $c_R$ (1/m) - 2 × traka |
|---|---|---|
| 5 | 0,236 | 0,133 |
| 10 | 0,138 | 0,077 |
| 15 | 0,101 | 0,056 |
| 20 | 0,080 | 0,044 |
| 25 | 0,067 | 0,036 |
| 30 | 0,057 | 0,031 |

Preko prikazanih formula izračunat će se koliko temelj betonskog stupa u funkciji uzemljivača zamjenjuje metara uzemljivača trake:

$$1/x\left(0{,}255 \times \rho + 12{,}58\right) = c_R \times \rho$$

$$\rho = 250\,\Omega\text{m}$$

$$\text{l} = 10\,\text{m}$$

$$x = 2{,}2$$

$$\rho = 1000\,\Omega\text{m}$$

$$x = 1{,}93$$

što znači da cca dva temelja betonska stupa povezana preko armature na nul vodič niskonaponske mreže zamjenjuju 10 m uzemljivačke trake.

Što je veći specifični otpor terena to smo bliži ovom iznosu.

Može se slobodno reći da u terenima sa specifičnim otporom iznad 1000 Ω m temelj betonskog stupa u funkciji uzemljivača zamjenjuje 5 m uzemljivačke trake.

### 2.3. Primjeri izvedenih mjerenja na ugrađenim betonskim stupovima

Izračun specifičnog otpora rađen je prema Wennerovoj metodi preko formule:

$$\rho = 2 \times \pi \times a \times R \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (\Omega\text{m})$$

$a$ – razmak sondi ..... (m)

$R$ – izmjerena vrijednost otpora ... (W)

gdje je ρ specifični otpor tla, a po definiciji, otpor mjeren između dvije suprotne površine kocke od homogenog tvoriva, duljine stranice 1 m. Mjerna jedinica je metar. Otpor tla je geološka i fizikalna veličina, koja nam omogućuje izračunavanje i dizajniranje sustava uzemljenja, a ovisi o vrsti tvoriva i o sezonskim promjenama.

2.3.1. *Mjerenja izvedena u Splitu (područje Žnjan) ..... 12. ožujka 2001. godine*

– izmjerena vrijednost.....$R_{stupa} = 20{,}9\ \Omega$
– izračunate vrijednosti:

$\rho = 2 \times \pi \times 7 \times 0{,}35 = 15{,}38\ \Omega\,\text{m}$

$a = 7$ m

$R_E = 0{,}35\ \Omega$

$R_{stupa} = 0{,}255 \times \rho + 12{,}58 = 16{,}50\ \Omega$

Mjereni i izračunati rezultati pokazuju razliku od cca 25%.

Zapravo realna usporedba bila bi između obje izmjerene vrijednosti, što znači da bi i uzemljivačku traku trebalo imati ukopanu u blizini temelja na kojem je izvedeno mjerenje.

2.3.2. *Mjerenje izvedeno u Dubrovniku (mjesto Topolo) ..... 15. ožujka 2001. godine*

– izmjerena vrijednost.....$R_{stupa} = 278\ \Omega$
– izračunate vrijednosti:

$\rho = 2 \times \pi \times 5 \times 39{,}2 = 1230{,}9\ \Omega\,\text{m}$

$a = 5$ m

$R_E = 39{,}2\ \Omega$

$R_{stupa} = 0{,}255 \times \rho + 12{,}58 = 326{,}5\ \Omega$

Manja odstupanja između izmjerenih i izračunatih vrijednosti otpora imamo kod tla s većim specifičnim otporom, što je vidljivo iz predhodnih računa.

### 2.4. Moguće uštede u jednom distribucijskom području (tamo gdje ovaj zahvat nije rađen)

Iskop, dovoz bolje vodljive zemlje, polaganje pocinčane trake, zatrpavanje kanala uz eventualni odvoz viška materijala u terenu IV. – V. kategorije iznosi otprilike 100 kuna/m.

Jedan temelj betonskog stupa zamjenjuje otprilike 5 m uzemljivačke trake.

5 m × 100 kn = 500 kuna ... ušteda kod korištenja jednog temelja kao uzemljivača

10.000 stupova x 500 kn = 5.000.000 kuna

Osim direktne materijalne uštede izbjegavaju se i imovinsko pravni sporovi i troškovi koji prate trase uzemljivačkih traka.

## 3. RACIONALIZACIJA KABELSKIH KANALA

### 3.1. Uvodne napomene

Granskom normom Direkcije za distribuciju N.033.01, klasifikacijski broj 4.10/92 naziva Tehnički uvjeti za izbor i polaganje elektroenergetskih kabela nazivnog napona 1 kV do 35 kV, definiran je presjek kanala.

Dubina kabelskog kanala ovisna je o naponskom nivou predviđenog kabela, pa za 35 kV kabele iznosi 1,0 m, a a 10(20) kV kabele 0,8 m.

Širina kabelskog kanala definirana je brojem paralelno položenih kabela i njihovim nazivnim naponima. Najmanja širina iznosi 0,4 m za 10(20) i 0,4 kV kabele i 0,50 m za 35 kV kabele.

Minimalne širine kabelskog kanala definirane su praktičkim mogućnostima iskopa kanala i tehničkim mogućnostima polaganja kabela. Specifične izuzetke neće se razmatrati.

Stvarne širine kabelskog kanala određuju se na način da se osnovnoj širini dodaju proširenja prema skicama u normi.

### 3.2. Širina kabelskog kanala prema normi N.033.01

Točka 3.2. Tehničkih uvjeta za izbor i polaganje elektroenergetskih kabela nazivnog napona 1 kV do 35 kV stavak 3.2.5. glasi: "**Za smanjenje međusobnog utjecaja** paralelno položenih kabela, potrebno je pridržavati se najmanje dopuštene međusobne udaljenosti kabela prema tablici XX".

**Tablica broj XX. iz [3]**

| Vrsta kabela | Prema pravilu međusobna udaljenost (cm) |
|---|---|
| Telefonski pokraj telefonskog | 0 |
| Signalni pokraj signalnog | 0 |
| Signalni pokraj telefonskog | 5 |
| Energetski n. n. kabeli međusobno | 10 |
| Energetski kabeli 10 kV pokraj drugih energestkih kabela | 15 |
| Energetski kabeli 20 kV i 35 kV 20 pokraj drugih energetskih kabela | 20 |

**Mogući su i manji razmaci, s tim da se uzmu u obzir korekcijski faktori.**

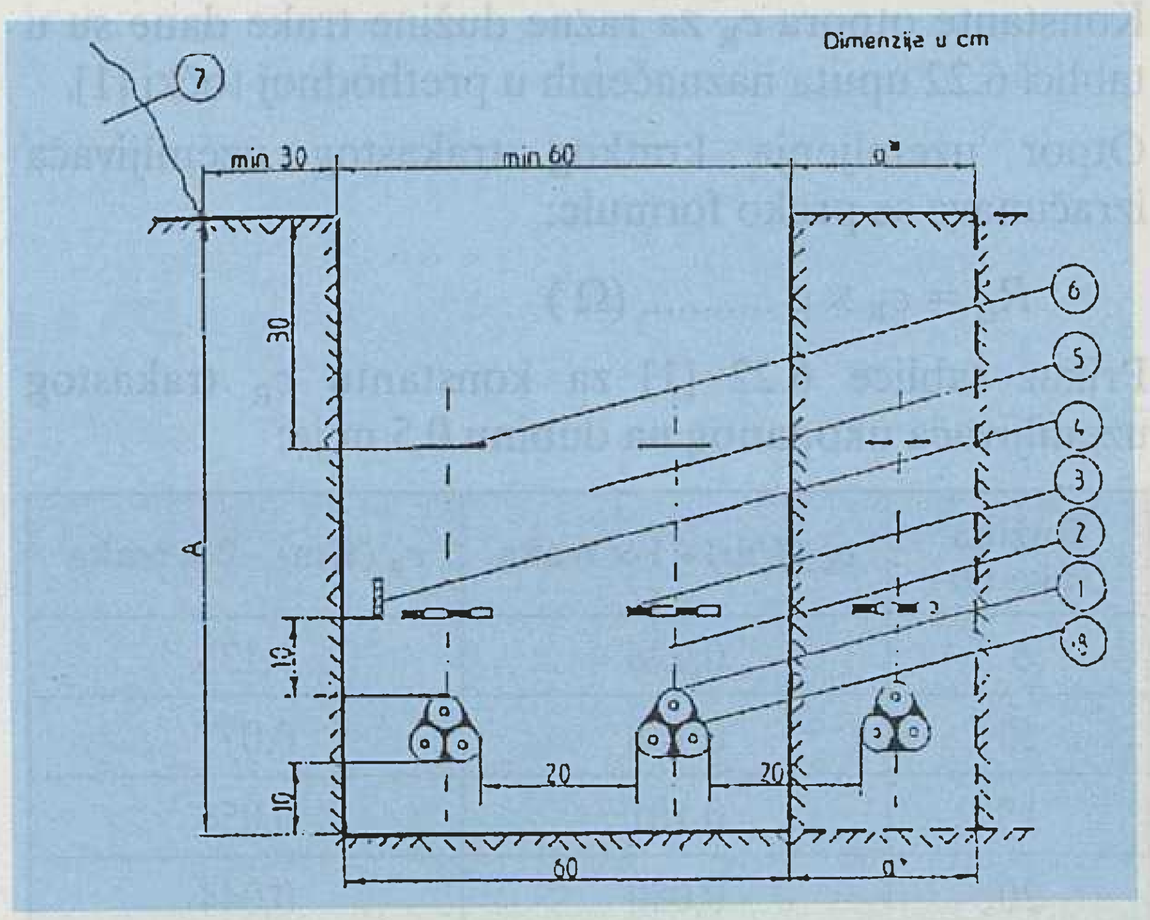
Gore podcrtano sastavni je dio norme N.033.01, a značajno je zbog stavova i prijedloga koji će slijediti u daljnjem tekstu.

### 3.3. Faktor međusobnog utjecaja kabela ovisno o razmacima prema podacima proizvođača kabela

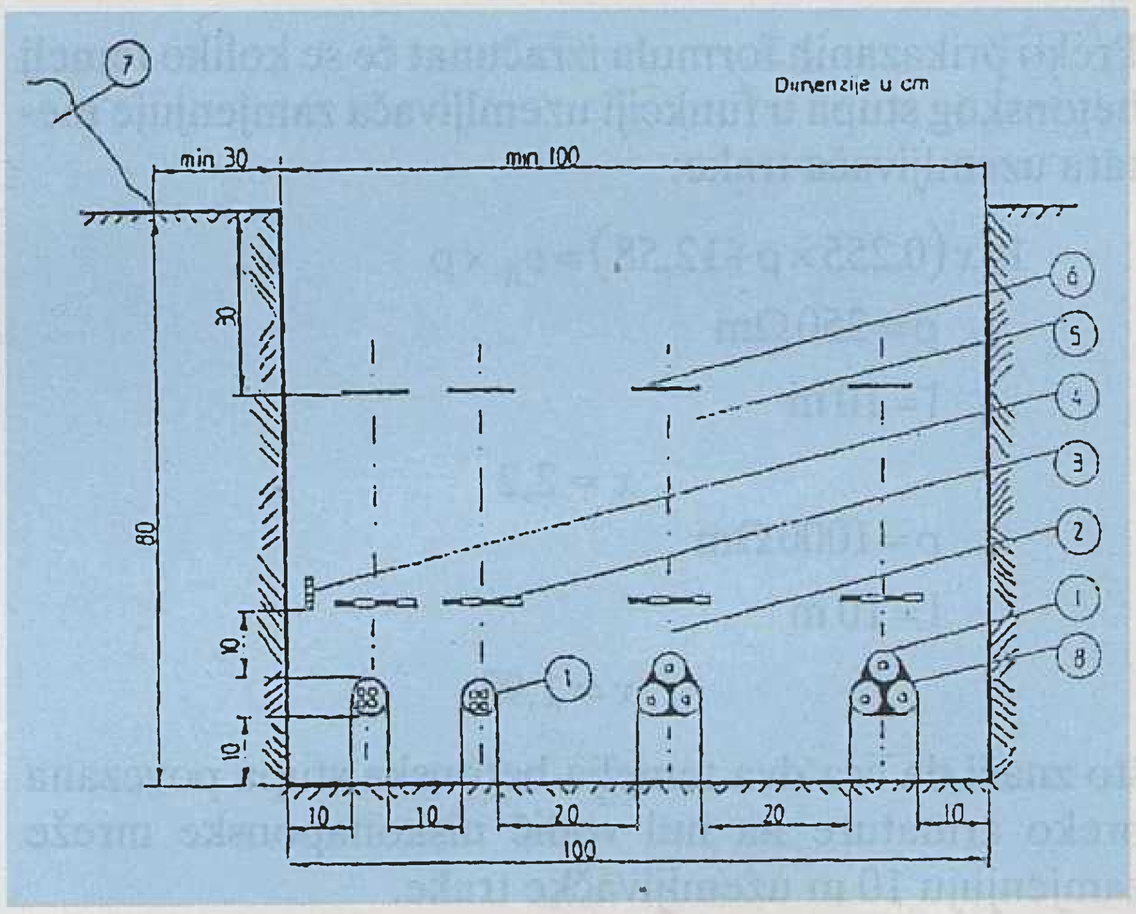
Sljedećim tekstom prezentiraju se podaci proizvođača kabela.

Proizvođač kabela je tvrtka ELKA – Zagreb, a podaci su sastavni dio kataloga Energetski srednjenaponski kabeli s XLPE izolacijom za napone do 35 kV [5].

Točkom 6.2 kataloga definiraju se korekcijski faktori.




**Slika 3. Presjek kabelskog rova za polaganje dva ili više kabelskih vodova nazivnog napona $U_o$/U = 12/20 ili 20/35 kV**




**Slika 4. Presjek kabelskog rova za polaganje kabela nazivnog napona $U_o$/U = 0,6/1 kV i $U_o$/U = 12/20 kV u zajedničkom rovu**

**Tumač pozicija i oznaka na slikama 3. i 4.:**

**1 – kabel $U_o$/U = 0,6/1, 12/20 ili 20/35 kV**
**2 – fino usitnjena zemlja ili pijesak**
**3 – dodatna mehaničko-upozoravajuća zaštita**
**4 – uzemljivač (ako postoji)**
**5 – nabijena zemlja**
**6 – upozoravajuća traka**
**7 – iskopana zemlja**
**8 – držač kabela**
**a = za svaki novi kabel proširenje rova za 25 cm**
**A = 80 cm za kabel $U_o$/U 12/20 kV**
**A = 100 cm za kabel $U_o$/U = 20/35 kV**

Strujno opterećenje kabela u normalnom radu kroz duže vrijemensko razdoblje dano je u tablicama 6.1.1 – 6.1.3. Radi li kabel u uvjetima koji se razlikuju od uvjeta danih u tablici 6.1 iz [5] nazivno strujno opterećenje kabela množi se korekcijskim faktorima

prema tablicama 6.2.1 – 6.2.2 iz [5]. Interesantna je kao pokazatelj tablica 6.2.4 – Korekcijski faktor za različiti broj kabela ili sustava u istom rovu.

**Tablica 6.2.4. iz [5]**

| Broj kabela (sustava) | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Razmak između kabela (sustava) | dodir | 0,79 | 0,69 | 0,63 | 0,58 | 0,55 | 0,50 | 0,46 |
| | 7 cm | 0,85 | 0,75 | 0,68 | 0,64 | 0,60 | 0,56 | 0,53 |
| | 15 cm | 0,86 | 0,77 | 0,72 | 0,68 | 0,64 | 0,61 | 0,58 |
| | 25 cm | 0,87 | 0,78 | 0,74 | 0,71 | 0,67 | 0,64 | 0,62 |

Iz gornje tablice vidljivo je da međusobna udaljenost od 10 do 20 cm utječe samo nekoliko postotaka na prijenosnu moć paralelno položenih kabela.

### 3.4. Zaključna razmatranja

Normom N.033.01 zadane međusobne udaljenosti paralelno položenih kabela (slika 2. i 3.) slijed su tradicionalnih "uzanci" polaganja. Međutim, za projektante ovako zadani razmaci su obvezujući za primjenu.

Rezultat toga su skuplji građevinski radovi na iskopu i zatrpavanju kabelskog kanala.

Razmak između kabela za verziranog polagača ne predstavlja nikakvu prepreku za polaganje niti za formiranje kabelskih trojki.

Kod održavanja, odnosno popravaka kabela, međusobna udaljenost 10, 15 ili 20 cm također nije relevnatna.

Osnovnu širinu kabelskog kanala od 40 odnosno 50 cm za sada ne bi trebalo mijenjati. Ona je ovisna o tehnici iskopa, a odgovara sadašnjoj tehnici razvlačenja kabela.

Sve veće širine uvjetovane većim brojem paralelno položenih kabela mogu se korigirati.

Ako smanjimo međusobne razmake kabela, odnosno kabelskih trojki, sa sadašnjih 15 ili 20 cm na 10 cm tada kabelski kanali s više kabela postaju uži za 10, 20 ili više centimetara.

Detaljnim jednostavnim izračunom (nije prikazan), uvažavajući jedinične cijene pojedinih faza iskopa i zatrpavanja, kao i jedinične cijene zasipnih materijala, dolazimo do rezultata da smanjenje širine kabelskog kanala za 10, 20 ili više cm, u ukupnoj cijeni znači uštedu do 15%.

### 3.5. Uštede na konkretnim kabelskim trasama

Prikaz mogućih ušteda računski ćemo prezentirati na novije realiziranim kabelskim trasama u DP Elektrodalmaciji Split.

3.5.1. *KB 10(20) i 0,4 kV TS 10/0,4 kV "Vinjani 1" – TS 10/0,4 kV "Vinjani 4"*

- Dužina kabelske trase ..... cca 3300 m
- Širina kabelskog kanala ..... 60 i 120 cm
- Dubina kabelskog kanala ..... 80 cm
- Kategorije terena ..... cca IV - V.

Ugovorena jedinična i ukupna cijena iskopa i zatrpavanja uključivši sve propisane slojeve, nabijanje slojeva, odvoz materijala iznosi:

- 1 m dužine kanala profila 60 × 80 cm = cca 220 kuna
- Ukupna cijena cijele trase - 3300 m × 220 kn = 726.000 kuna
- Cijena proširenja dijela KB trase i cijena specifičnih prijelaza = cca 174.000 kuna
- Ukupna cijena građevinskih radova = cca 900.000 kuna.

Ušteda na građevinskim radovima na kabelskoj trasi kod primjene reduciranih razmaka, tj. umjesto predviđenih 20 cm kabeli se polažu na razmak 10 cm iznosi:

– 15% od 900.000 kn = 135.000 kuna

3.5.2. *KB 35, 10(20) i 0,4 kV između TS 110/35 kV "Kaštela" – TS 35/10 kV "Divulje"*

- Dužina kabelske trase ..... cca 12000 m
- Širina kabelskog kanala ..... 60 i više cm
- Dubina kabelskog kanala ..... 100 cm
- Kategorija terena ..... II - III
- Cijena građevinskih radova (objekt izgrađen) ..... 3.100.000 kuna

Moguća ušteda:

– 15% od 3.100.000 kn = 465.000 kuna.

To su značajne uštede, pogotovo ako se imaju u vidu godišnje dužine realiziranih kabelskih trasa u distribucijskom području, odnosno distribucijskom sustavu.

## 4. NAZNAKE OSTALIH TEHNIČKIH ELEMENATA NA KOJIMA SU MOGUĆE ZNAČAJNE UŠTEDE

Već smo naznačili da je distribucijski sustav HEP-a veoma opsežan. Navest ćemo samo dio elemenata sustava na kojima su moguće značajnije uštede:

- Prigradske TS 35/10(20) kV moguće je s obzirom na dispoziciju (površinu) projektirati i graditi tako da se ostvare znatne uštede u odnosu na uobičajenu praksu (ušteda je površina manjeg stana).
- Temelje betonskih stupova u kraškim terenima sigurno treba racionalizirati.
- Niskonaponske betonske stupove treba ugrađivati s optimalnom silom u vrhu stupa. Djelomično se ovo odnosi i na betonske stupove u srednjenaponskim mrežama.
- Uvažavati dosadašnja iskustva i primjenjivati nove preporuke za odabir i izgradnju priobalnih zaštita podmorskih energetskih kabela.
- i. t. d.

## 5. ZAKLJUČAK

Racionalizacija i štednja civilizacijske su obveze. Postojeće granske norme treba hitno revidirati uvažavajući nova iskustva i nove tehnologije. Još nenormirani dio sustava treba obuhvatiti novim normama.

Prikazi u revidiranim i novim normama trebaju biti jasni, nedvojbeni i obvezujući. Također treba razraditi metodologiju i sustav stručnog praćenja i periodične revizije.

(Rad u distribucijskom sustavu možemo usporediti s radom u vinogradu, gdje se mora raditi i ljeti i zimi i u svako doba dana s izuzetnom ljubavi i marom).

## LITERATURA


[1] Upute za projektiranje distribucijskih niskonaponskih mreža. Dio: Zaštitne mjere, Institut za elektroprivredu, Zagreb, travanj 1988.

[2] Bilten br. 46, Tipizacija betonskih stupova niskonaponske mreže, HEP, travanj 1995 god.

[3] Bilten br. 22, Tehnički uvjeti za izbor i polaganje elektroenergetskih kabela nazivnog napona 1 kV do 35 kV, HEP, ožujak 1993 god.

[4] Željko NOVINC, dipl. ing., "Teorija i praksa odmjeravanja otpora uzemljenja", Belmet "T" Ljubljana

[5] Energetski srednjenaponski kabeli s XLPE izolacijom za napone do 35 kV, ELKA Zagreb

[6] Glavni projekt kabelskih trasa, Odjel Projektiranje, HEP DP Elektrodalmacija Split


## EXAMPLES OF SMALL INTERVENTIONS IN TECHNICAL AND OPERATIONAL PART OF HEP DISTRIBUTION NETWORK THAT RESULT IN SIGNIFICANT COST REDUCTIONS


The distribution system contains 45-50 percent of material means of the Croatian Electric Power Company (some say 90 percent of problems, too).

Each, even a small rational technical solution in such a complicated and huge system eventually brings significant cost reductions.

In the paper only two examples of rational solutions are shown together with cost reduction. In the first, the possibility of a concrete tower used as a grounding system of low voltage system is shown, and in the second a more rational profile of cable channel is proposed.


## BEISPIELE KLEINERER EINGRIFFE IN DIE AUSFÜHRUNGSTECHNIK DES VERTEILUNGSNETZES KROATISCHER ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT MIT BEDEUTENDEN EINSPARUNGEN


Das Verteilungssystem der Kroatischen Elektrizitätswirtschaft umfasst 45-50 % von ihrem Eigentum ( man sagt auch, es beinhaltet auch 90 % deren Probleme).

Jede etwas vernünftigere technische Lösung in einem so grossen und verwickelten System, resultiert im allerletzten mit wesentlichen Einsparungen.

Im Artikel werden nur zwei Beispiele rationeller Lösungen mit deutlichen Einsparungen dargestellt. Als erstes wird an die Möglichkeit der Nutzung des Betonfundamentes eines Mastes als Erder in den Niederspannungsnetzen, und als zweites wird ein etwas rationeller Querschnitt des Kabelgrabens.



Naslov pisca:

**Ivo Santica, dipl. ing.**
**Hrvatska elektroprivreda d.d.**
**DP Elektrodalmacija, Split**
**Gundulićeva 42, 21000 Split,**
**Hrvatska**


Uredništvo primilo rukopis:
2002 – 07 – 23.

# PREGLED KARAKTERISTIKA ŠUMA NA PLC MEDIJU

Mr. sc. Dubravko S a b o l i ć, Zagreb

UDK 621.0.310:621.391.22
PREGLEDNI ČLANAK

U ovome članku daje se pregled dosadašnjih spoznaja o šumu prisutnom na PLC mediju, bilo na vanjskoj ili unutarnjoj mreži, baziran na literaturi [1 – 12]. Poznavanje svojstava šuma na prijenosnom mediju omogućuje teoretsku evaluaciju, simulaciju i eksperimentalno utvrđivanje otpornosti pojedinog komunikacijskog sustava na ukupni šum prisutan na mediju, a posjedovanje odgovarajućeg modela šuma omogućuje optimizaciju komunikacijskog sustava tijekom njegovog razvoja.

**Ključne riječi: šum, PLC, distribucijska mreža.**

## 1. UVOD – KLASIFIKACIJA ŠUMA NA DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

Za razliku od mnogih drugih, ali opet ne svih, prijenosnih medija, PLC (engl. Power Line Carrier) niti približno ne odgovara predodžbi AWGN kanala (engl. Additive White Gaussian Noise). Šum u PLC mrežu stiže s tri moguće strane: iz transformatorske stanice, s trošila priključenih na distribucijsku mrežu, te prijamom elektromagnetskih polja prisutnih u prostoru. Termički šum u nama interesantnom frekvencijskom opsegu, od 3 kHz do 30-ak MHz, zanemariv je u odnosu na ostale vrste šuma proizvedene ljudskom aktivnošću, ili ponekad prirodnim procesima (npr. udari groma). Sveukupno, šum PLC medija može se klasificirati u šest glavnih vrsta:

- Pozadinski (engl. background) šum, koji nije bijeli, već je naglašeniji na nižim frekvencijama, a dolazi iz različitih izvora koje je teško identificirati, i na mreži je prisutan uvijek. Spektralna gustoća je relativno niska u odnosu na ostale vrste šuma, dok su njene promjene u vremenu polagane, i u značajnoj mjeri se događaju unutar intervala dugačkih više minuta ili sati. Do sada u literaturi nije precizno zabilježena eventualna korelacija spektralne gustoće, odnosno ukupne snage, pozadinskog šuma i dnevnog dijagrama opterećenja energetskog sustava, premda je logično očekivati da bi takva veza mogla postojati, s obzirom da pozadinski šum nastaje zajedničkim djelovanjem mnogo malih pojedinačnih izvora šuma, tj. trošila priključenih na mrežu, čija prisutnost je u razmjeri s opterećenjem mreže. Isto tako, dio pozadinskog šuma nastaje i prijamom elektromagnetskih signala prisutnih u okolini, čija ukupna gustoća snage na nekom mjestu također može biti u korelaciji s opterećenjem mreže, premda vjerojatno u manjoj. Obojeni pozadinski šum lako se modelira odgovarajućim filtriranjem izvora bijelog šuma, u skladu s eksperimentalnim saznanjima, što nije problem učiniti niti doslovce, a niti kao računalnu simulaciju.
- Uskopojasni šum [10, 11] najznačajniji je na frekvencijama u području nekoliko MHz, a nastaje gotovo isključivo prijamom elektromagnetskih polja AM radijskih odašiljača, pa je prema tomu njegov spektralni sastav jednostavan. Riječ je, naime, o moduliranom sinusnom signalu, tipične spektralne širine od nekoliko kHz. Snaga šuma mijenja se tijekom dana u skladu s promjenama propagacijskih uvjeta za AM signale, i obično je veća tijekom noći. Uskopojasni šum lako se modelira sinusnim izvorom. Preliminarni statistički model u skladu s kojim se može izvršiti odabir takvih izvora dan je u [10, 11].
- Šum koji se proizvodi u sinkronizmu s frekvencijom napona elektroenergetske mreže, ili češće njenom dvostrukom vrijednošću, duguje se različitim napajačkim i prekidačkim sklopovima koji koriste tiristorsku tehnologiju. Česti i jaki izvori smetnji su npr. tiristorski regulatori osvjetljenja. Impuls kojega generira svaki od prisutnih tiristora nastaje uvijek u istoj fazi periode ili poluperiode mrežnog napona. Stoga je spektar takvog šuma sastavljen od harmonika osnovne frekvencije, bilo to 50 ili 100 Hz, a snaga harmonika vrlo visokog reda (nekoliko stotina) još uvijek može višestruko nadvisivati pozadinski šum.
- Asinkroni periodički šum potječe od svih uređaja koji imaju tzv. switch-mode napajače, a to je danas većina elektroničkih uređaja koji se spajaju na niskonaponsku mrežu. Razlog povećanju količine ovakvih trošila je u nižoj cijeni, manjoj disipaciji snage i manjim dimenzijama ovakvih napajača u odnosu na klasične s transformatorom i diodnim mostovima, tako da se oni danas gotovo isključivo upotrebljavaju. Pošto switch-mode napajači rade na frekvencijama između 20 i 200 kHz, čiji izvori

nemaju nikakve veze s frekvencijom napona mreže, impulsi koje oni proizvode su periodični, ali nisu u korelaciji s frekvencijom mreže. Spektar šuma sadrži harmonike osnovne radne frekvencije. Oscilatori ovakvih sklopova često nisu osobito stabilni niti u vremenu, niti temperaturno, niti po opterećenju. Tipični uređaji sa switch-mode napajačima su televizori i računala. Pored frekvencije napajača, ova trošila još mogu emitirati spektralne linije harmonika frekvencije horizontalnog stupnja televizora, odnosno monitora.

- Šum s kontinuiranim spektrom, odnosno bez posebno istaknutih stacionarnih spektralnih linija, potječe od vrlo čestih trošila s univerzalnim elektromotorima i s četkicama. Tipični primjeri su bušilice, ventilatori, fenovi, i sl. Brzina njihova rada ne ovisi o mrežnoj frekvenciji, već o mehaničkom opterećenju, pa se spektralna gustoća šuma mijenja s time u skladu. Bez obzira na općenito glatki tijek spektralne gustoće ovakvih izvora smetnji, mogu postojati malo izdignute spektralne linije na harmonicima trenutne frekvencije preklapanja četkica, koja je u razmjeri s brzinom vrtnje stroja, a ta je vrlo promjenjiva u vremenu. Za komunikacijske sustave uske širine pojasa ova vrsta šuma može se aproksimirati bijelim Gaussovim šumom.
- Pojedinačni impulsi nastaju npr. zbog udara groma, uključivanja i isključivanja kondenzatorskih baterija u trafostanicama, preklapanja termostata, različitih prekidača, itd, i posve su slučajnog karaktera, bilo po trenutku nastajanja, trajanju, valnom obliku i amplitudi. Trajanja impulsa kreću se od nekoliko mikrosekundi do više milisekundi, a spektralna gustoća može se popeti i do 50 dB iznad pozadinskog šuma u nekim frekvencijskim opsezima. PLC medij u usporedbi s drugima obiluje impulsnim smetnjama. Podrobnija analiza impulsnog šuma može se naći u [7, 8, 9], a u ovome članku neće biti riječi o njemu, jer po svome značenju on prelazi okvire preglednog članka, i traži podrobniju obradu.

Zanimljivo je da su istraživači kroz protekle godine znatno više pažnje posvetili definiranju modela kanala PLC medija, nego li određivanju modela šuma, premda je analiza komunikacijskog sustava nemoguća bez bilo koje od ovih komponenti. Naime, prijamni signal jednak je sumi odaslanog signala izobličenog djelovanjem kanala i šuma, pa je svakako potrebno definirati vjerodostojan model šuma. Posebno, vrlo rijetko se susreće analiza impulsnog šuma, bez čijeg modela se ne mogu proučavati komunikacijski sustavi s PLC-om kao prijenosnim medijem. Chan i Donaldson u [4] daju rezultate mjerenja statistike impulsnog šuma samo u frekvencijskom području do 200 kHz. Tek Zimmerman i Dostert u [7], 2000. godine, iznose jedan dobar model impulsnog šuma s Markovljevim lancima, baziran na stvarnim mjerenjima impulsnih pojava, primjenjiv u analizi komunikacijskih sustava velike širine pojasa.

## 2. PREGLED KARAKTERISTIKA POZADINSKOG ŠUMA U FREKVENCIJSKOM PODRUČJU DO 1 MHz

Podaci o izmjerenim karakteristikama šuma u frekvencijskom području do 1 MHz dostupni su iz više izvora. U [12] su prezentirani, među ostalim, rezultati mjerenja šuma prisutnog na vanjskoj PLC mreži, na frekvencijama od 20 do 450 kHz. U [3] je dana podrobna analiza šuma na unutarnjoj mreži u području od 0 do 100 kHz, s posebnim osvrtom na tipične uređaje široke potrošnje koji se vrlo često susreću u uporabi, a generiraju značajne razine šuma. U [5] se nalaze podaci o mjerenjima šuma vanjske mreže do 100 kHz. U [1] se nalazi prikaz tipičnih vrijednosti spektralne gustoće šuma unutarnjeg PLC medija u području nekih 15 kHz do preko 200 MHz u različitim uvjetima (ruralna, industrijska i uredska zgrada). U tome članku vidi se opći trend ovisnosti intenziteta šuma o frekvenciji, gdje se uočava da u području do 1 MHz logaritam spektralne gustoće šuma pada otprilike linearno s logaritmom frekvencije, s nagibom od približno 25 dB po dekadi, te da se tipična razina šuma u tome području, između poslovnih zgrada u urbanim zonama i stambenih objekata u ruralnim sredinama, može razlikovati i za približno 25 dB. Prema tome, pozadinski šum PLC medija na niskim frekvencijama ima odlike obojenog šuma. Autori u [1] navode opisno i rezultate nekih svojih opažanja. Primjerice, srednje razine šuma u promatranoj stambenoj zgradi varairale su tijekom dana za oko 6 dB, pri čemu se maksimum događa oko 11 sati prije podne, a minimum u rano jutro. Sasvim je moguće da to ima neke veze s dnevnim dijagramom opterećenja elektroenergetskog sustava, a i maksimalna varijacija snage u rasponu od 6 dB odgovara tipičnom rasponu opterećenja sustava, od približno dva puta. Autori iznose i zapažanje da uključivanje pojedinih trošila malo doprinosi povećanju opće razine šuma, ali ne navode mjerne uvjete pod kojima su to opazili. Ovo je vjerojatno posljedica činjenice da šum na PLC mediju nastaje zajedničkim djelovanjem mnogih trošila, bilo vođenjem šuma preko mreže, bilo elektromagnetskim zračenjem, a opažena dnevna varijacija svakako govori tome u prilog.

Selander u [12] analizira šum u opsegu od 20 kHz do 450 kHz na vanjskoj podzemnoj mreži u jednom naselju. Analizirana mreža napaja 70 kućanstava, i predstavlja tipičnu europsku distribucijsku mrežu jedne niskonaponske trafostanice. Rezultati ukazuju na sljedeće:

- Spektralna gustoća šuma ima u osnovi isti frekvencijski tijek na različitim lokacijama i u različita vremena. Šum je najjači u području do 100 kHz. Na više lokacija spektralna gustoća u području od 20 do 100 kHz pada za približno 40 dB. Najveća je gustoća snage u najnižem dijelu spektra, gdje u pravilu iznosi oko – 100 dB (W/Hz). Čitavo područje od 20 do 450 kHz karakterizirano je izvanredno velikim brojem is-

taknutih uskih spektralnih linija, od kojih poneke nadvisuju pozadinski šum i za 25 dB.

- U području od 100 do 450 kHz pozadinski šum ima relativno ravnu frekvencijsku karakteristiku, negdje oko – 150 dB (W/Hz), ali zbog prisutnosti brojnih uskopojasnih komponenti stvarne prilike su dosta lošije. Autor je opazio da one polako u vremenu mijenjaju položaj na frekvencijskoj osi i snagu. Zamjetan broj ovih smetnji premašuje – 130 dB (W/Hz).
- Zanimljivo je da mjerenja praktički na svim lokacijama pokazuju veću razinu šuma tijekom vikenda, nego li tijekom radnog dana, a to se posebno odnosi na najniži frekvencijski opseg, do 100 kHz. S obzirom da je riječ o distribucijskoj mreži koja napaja stambeno naselje, to se ne čini nelogičnim. Vjerojatno je da stanovništvo tijekom tjednog odmora više koristi različite električne aparate nego li za vrijeme radnog tjedna.

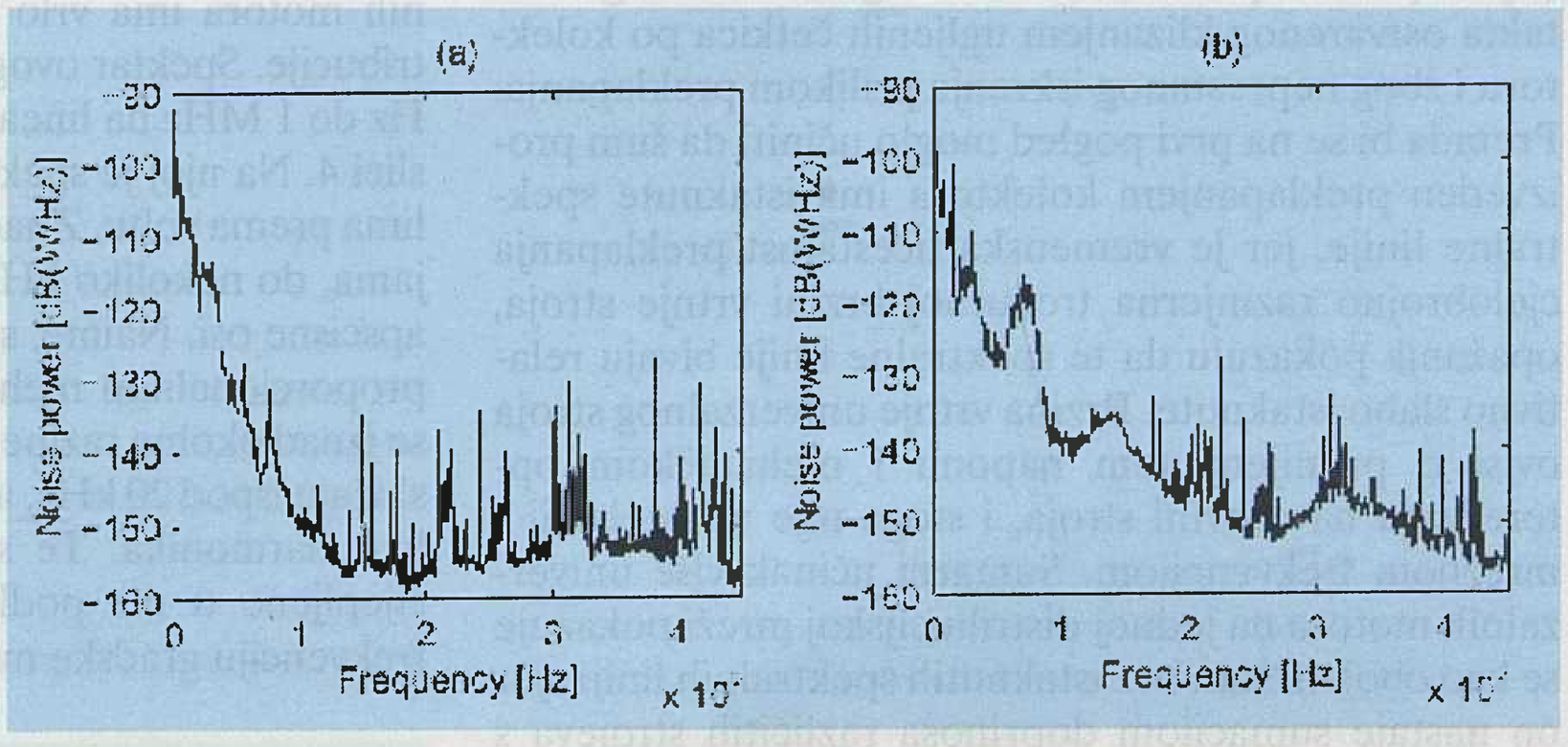
Samo ilustracije radi, na slici 1 dajemo usporedni prikaz karakteristike šuma snimljene na jednoj od razvodnih kutija promatranih u [12] tijekom radnog tjedna (a), odnosno tijekom vikenda (b). Slika 2, također prema [12], prikazuje jakost prijamnog signala u istoj ovoj kutiji, kada je odašiljač bio smješten u trafostanici, i kada je odašiljao signal linearno promjenjive frekvencije od 20 kHz do 450 kHz, amplitude 2.5 V, uz izlaznu impedanciju generatora od 50. Na žalost, autor ne daje podatak o amplitudi ovoga signala na samom ulazu u PLC mrežu, kao ni o međusobnoj udaljenosti trafostanice i razvodne kutije. U ovom primjeru se vidi tipična ovisnost odnosa signala i šuma o frekvenciji u promatranom opsegu frekvencija, od 20 do 450 kHz: on je najlošiji na najnižim frekvencijama, a u području iznad nekih 200 kHz može dostići i 70 dB.

Hooijen u [5] također vrši mjerenja na vanjskoj distribucijskoj elektroenergetskoj mreži i dolazi do vrlo sličnih prosječnih vrijednosti razina šuma, premda se njegov rad odnosi samo na područje frekvencija do 95 kHz. On zatim na bazi 700 izmjerenih spektralnih gustoća šuma, sakupljenih na četiri lokacije u istoj distribucijskoj mreži, kroz mjesec dana, definira parametre modela pozadinskog šuma za frekvencije između 9 kHz i 95 kHz, koji ne uključuje uskopojasne spektralne linije. U tom pojasu razinu šuma izraženu u dB (W/Hz) opisujemo formulom:

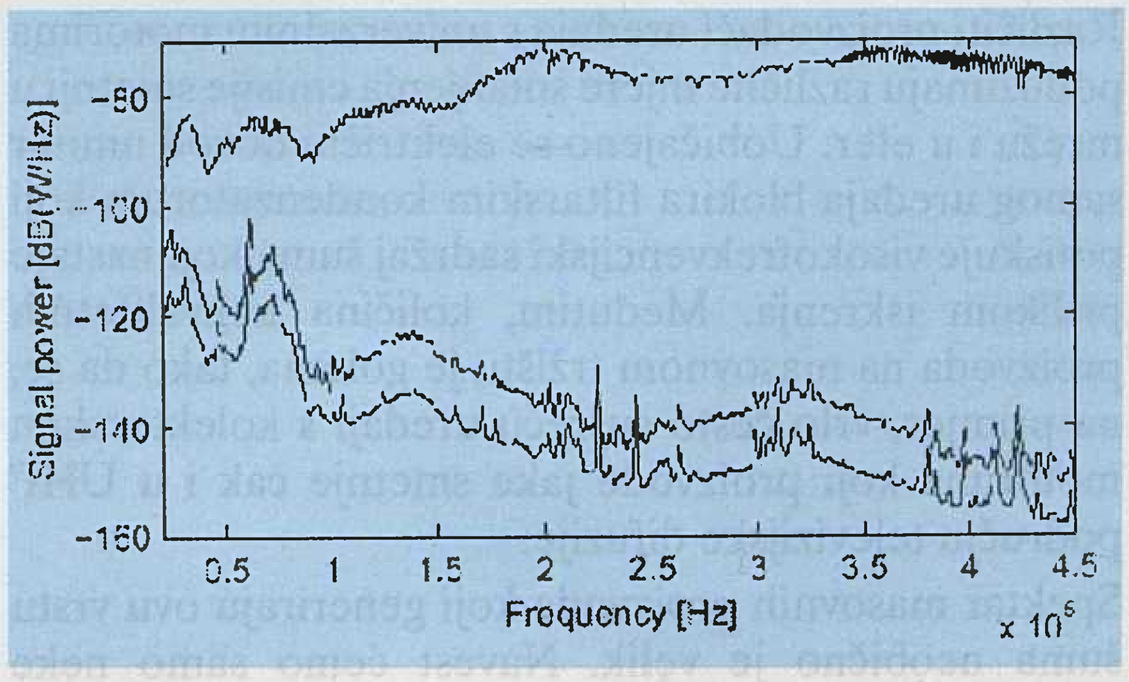
$$N(f) = -30 + 10\,(K - 3.95\times10^{-5} f/\mathrm{Hz}) \quad [\mathrm{dB/(W/Hz)}] \qquad (1)$$

Broj $K$ ovisi o lokaciji opažanja, i može se modelirati gaussovski distribuiranom varijablom sa srednjom vrijednošću karakterističnom za Hooijenov skup mjerenja $K_0$ od -5.64 dB i standardnom devijacijom $\sigma$ od 0.5 dB. Iz toga slijedi porodica padajućih pravaca koje karakterizira postotak vjerodostojnosti prema lokacijama promatranja. Kada se npr. u gornju formulu uvrsti upravo srednja vrijednost $K_0$, vjerojatnost da na drugim lokacijama prosječne razine šuma neće prekoračivati predviđene iznosi 50%. Uvrsti li se $K_0+\sigma$, ta vjerojatnost iznosi oko 84%, a za $K_0-\sigma$ ona je približno 16%, itd... $K$ ovisi i o vremenu, ali u pravilu dosta ili vrlo sporo. Kao što smo već spomenuli, pozadinski šum mijenja se znatno tek kroz minute i sate.

Prema podacima dostupnim u [3], [5], [12] i drugdje, čini se da se ovakav model srednje vrijednosti pozadinskog šuma može primijeniti na frekvencijama do malo iznad 100 kHz. Na višim frekvencijama spektralna gustoća snage pozadinskog šuma pokazuje značajno blaži pad. Što se tiče područja do 450 kHz, obrađenog u [12], može se računati s konstantnom razinom pozadinskog šuma od oko -140 do -150 dB (W/Hz), kada je riječ o frekvencijama između 100 i 450 kHz.




**Slika 1. Ilustracija spektra šuma na jednom razvodnom ormaru vanjske PLC mreže iz [12]. Slika (a) snimljena je tijekom radnog tjedna, a slika (b) tijekom vikenda.**




**Slika 2. Ilustracija za krivulje prijemnog signala (gore), maksimalne razine šuma (sredina) i prosječne razine šuma (dolje) za istu razvodnu kutiju kao na prethodnoj slici, također iz [12]**

## 3. PREGLED OSOBINA ŠUMA U PODRUČJU DO 1 MHz KOJEGA PROIZVODE RAZLIČITA TIPIČNA TROŠILA

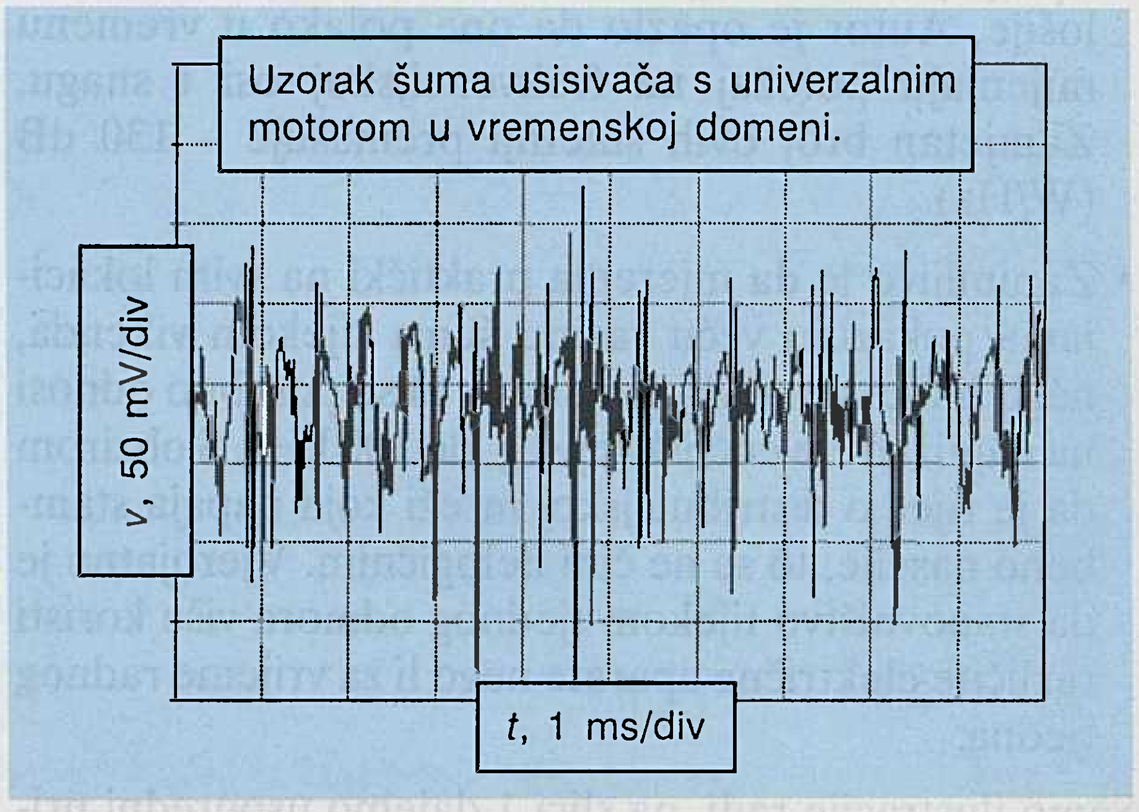
Trošila priključena na niskonaponsku elektroenergetsku mrežu sudjeluju u stvaranju pozadinskog šuma, koji nastaje dijelom i kao suma mnogih malih doprinosa svih pojedinačnih uključenih potrošača, od kojih neki po tipičnoj snazi daleko nadmašuju ostale. Nadalje, neke vrste trošila proizvode šum sa istaknutim spektralnim linijama, ili pak šum impulsnog tipa, koji se i u našoj uvodnoj klasifikaciji, i, što je važnije, u pogledu prirode utjecaja na komunikacijski proces, bitno razlikuje od pozadinskog šuma. Stoga ćemo u ovom odjeljku sumirati podatke dostupne u literaturi o karakteristikama šuma kojega proizvode takva posebno šumna trošila.

### 3.1. Univerzalni motori

Univerzalni električni motor koristi se zbog svoje jeftine i jednostavne izvedbe u mnogim aparatima pogonjenim istosmjernim ili izmjeničnim naponom. U smislu elektromagnetske kompatibilnosti njegove osobine u glavnome određuje kolektor s četkicama, koji u pravilu proizvodi šum zbog mehaničkog kontakta ostvarenog klizanjem ugljenih četkica po kolektoru i zbog neprestanog iskrenja prilikom preklapanja. Premda bi se na prvi pogled moglo učiniti da šum proizveden preklapanjem kolektora ima istaknute spektralne linije, jer je vremenska učestalost preklapanja cjelobrojno razmjerna trenutnoj brzini vrtnje stroja, opažanja pokazuju da te spektralne linije bivaju relativno slabo istaknute. Brzina vrtnje univerzalnog stroja ovisi o primijenjenom naponu i mehaničkom opterećenju na osovini stroja, i stoga nije u korelaciji s mrežnom frekvencijom. Sumarni učinak više univerzalnih motora na jednoj distribucijskoj mreži pokazuje se kao obojeni šum bez istaknutih spektralnih linija, jer on nastaje sumacijom doprinosa različitih strojeva s različitim snagama, momentalnim mehaničkim opterećenjima, itd. Zbog toga šum univerzalnih motora ima karakteristike tzv. šuma s glatkim spektrom.

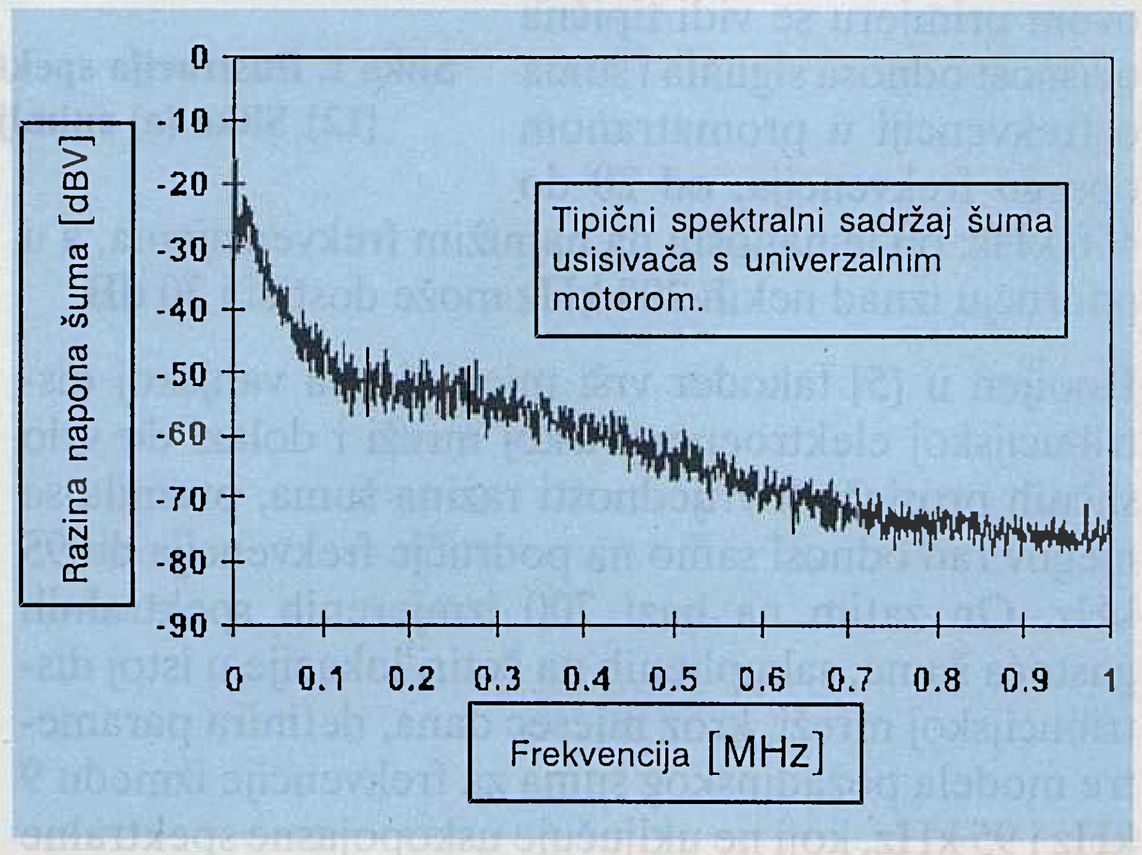
Različiti proizvođači uređaja s univerzalnim motorima poduzimaju različite mjere smanjenja emisije smetnji u mrežu i u eter. Uobičajeno se električni dovod unutar samog uređaja blokira filtarskim kondenzatorom koji potiskuje visokofrekvencijski sadržaj šuma koji nastaje prilikom iskrenja. Međutim, količina nekvalitetnih proizvoda na masovnom tržištu je golema, tako da se, na primjer, vrlo često susreću uređaji s kolektorskim motorima koji proizvode jake smetnje čak i u UHF području televizijske difuzije.

Spektar masovnih proizvoda koji generiraju ovu vrstu šuma neobično je velik. Navest ćemo samo neke najčešće, koji se susreću u svakom kućanstvu: usisivači, fenovi, mikseri, sokovnici, rezači i električni noževi, bušilice, brusilice, blanjalice i slični alati, šivaći strojevi, brijaći aparati, sobni ventilatori, rashladni ventilatori u računalima, hi-fi uređaji, video rekorderi, pumpe u hladionicima, klima uređaji, dječje igračke, itd ... Na slici 3 dajemo primjera radi jedan tipičan uzorak napona na priključnicama kućnog usisivača u trajanju od jedne poluperiode mrežnog napona, s tim da je mrežni napon frekvencije 50 Hz uklonjen filtriranjem.




**Slika 3. Uzorak napona šuma na priključnici usisivača u trajanju od 10 ms**

Zanimljivo je da statistika prvoga reda šuma univerzalnih motora ima vrlo izražena obilježja Gaussove distribucije. Spektar ovoga šuma, prikazan u rasponu od 0 Hz do 1 MHz na linearnoj skali, dajemo kao primjer na slici 4. Na njoj je spektralna gustoća izražena u decibelima prema voltu. Značajke šuma na najnižim frekvencijama, do nekoliko kHz, na slici se ne vide zbog mjerila apscisne osi. Naime, spektralne linije na frekvencijama proporcionalnim mehaničkoj brzini vrtnje stroja ističu se iznad okolne razine šuma na frekvencijama u svakom slučaju ispod 20 kHz, a značajno se ističe tek prvih nekoliko harmonika. Te spektralne linije u stvari su rascijepljene u niz podlinija razmaknutih za dvostruku frekvenciju gradske mreže [3].




**Slika 4. Spektar šuma sa slike 3 prikazan u području od 0 Hz do 1 MHz na linearnoj skali. Zbog mjerila apscise ne vide se spektralne linije na frekvencijama razmjernim mehaničkoj brzini vrtnje, koje su vidljive na frekvencijama do nekoliko kHz, a zatim nestaju u glatkom dijelu spektra.**

U [3] je također pokazano da različiti kućni uređaji s univerzalnim motorima proizvode šum u osnovi s istim frekvencijskim tijekom, a stvarne amplitude napona šuma razmjerne su nazivnoj snazi uređaja. Zbog toga među kućnim uređajima ovakvog tipa najveće smetnje na PLC mreži pričinjavaju upravo usisivači.

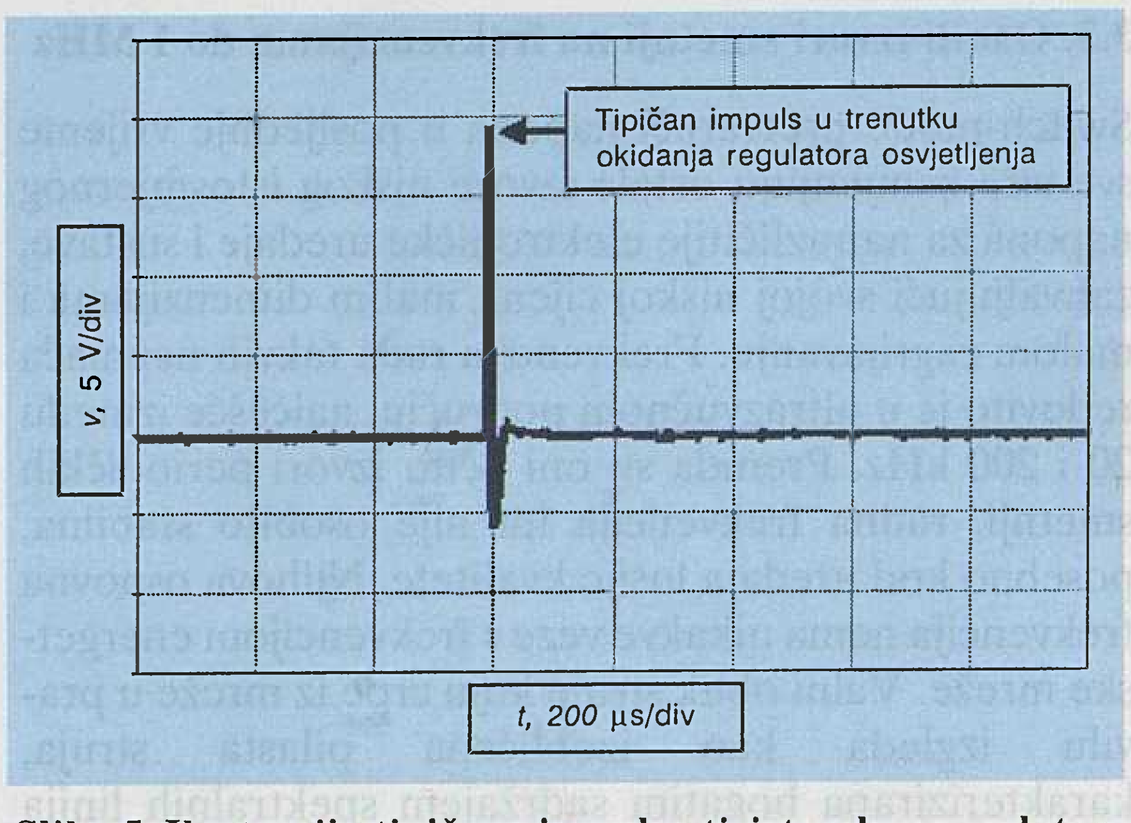
Zaključno, karakteristike šuma kojega proizvode univerzalni elektromotori na PLC mreži su prema [3] sljedeće:

- Šum ima glatki spektar, a intenzitet mu opada s frekvencijom. Jedino u području najnižih frekvencija, ispod 20 kHz, postoje istaknute spektralne linije promjenjive frekvencije, razmjerne trenutnoj mehaničkoj brzini rada stroja, koje se izdižu iznad okolne razine šuma za tipično najviše 15 do 20 dBV.
- Tipične razine šuma univerzalnih motora najjačih kućanskih trošila na frekvencijama ispod 100 kHz, mjereno na priključnicama uređaja, kreću se oko –30 do –40 dBV, ne računajući eventualno istaknute spektralne linije na frekvencijama do 20 kHz.
- U području do 20 kHz, gdje su smetnje kolektorskih motora najjače, one se izdižu iznad pozadinskog šuma za prosječno 15-ak dBV, mjereno na priključnicama. U području od 20 do 100 kHz ta razlika iznosi 30 do 40 dB.
- Na frekvencijama od 100 kHz do 1 MHz šum kolektorskih strojeva opada s približno 30 dBV po dekadi.
- Statistika prvoga reda ove vrste šuma ima obilježja Gaussove razdiobe, a unutar uskih frekvencijskih područja on se može modelirati kao bijeli šum. Na frekvencijama do 100 kHz odgovarajući model dobiva se superpozicijom bijelog šuma i nekoliko istaknutih spektralnih linija, s osnovnom frekvencijom proporcionalnom trenutnoj brzini vrtnje i njenim višim harmonicima.

### 3.2. Tiristorski sklopovi

Ova grupa uređaja također je dosta prisutna u kućanstvu i u industriji. Dok u širokoj uporabi uglavnom susrećemo različite regulatore osvjetljenja, grijanja, ili eventualno brzine vrtnje uređaja s univerzalnim motorima, te izvore napajanja unutar nekih elektroničkih uređaja, u industriji se pomoću tiristorskih sklopova i postrojenja upravlja ponekad i vrlo velikim tokovima energije. S obzirom na prirodu rada ovih uređaja, šum koji oni proizvode manifestira se kao niz impulsa sinkroniziranih s frekvencijom energetske mreže, ili češće s njenom dvostrukom vrijednošću.

Načelo rada jednostavnih prigušivača svjetla je jednostavno. Kontrolni element, obično triac, okida se uvijek u istoj fazi svake poluperiode sinusnog napona energetske mreže. To osigurava okidni sklop, čije vremensko kašnjenje u odnosu na početak poluperiode namješta korisnik. U fiksnom položaju regulatora trenutak okidanja točno je sinkroniziran na frekvenciju poluperiode, dakle na 100 Hz. Kada dobije okidni signal, triac odjednom omogući porast trenutne vrijednosti struje s nule na vrijednost određenu naponom mreže i otporom trošila. Istodobno, napon na triacu naglo pada s trenutne vrijednosti mrežnog napona na neku malu vrijednost, tipično do 2 V. Zbog toga nastaje kratkotrajan naponski impuls na mreži. Zbog ublažavanja impulsa u prigušivače se ugrađuje niskopropusni LC filtar, koji usporava porast struje pri uključenju. Međutim, niskopropusni filtar kao rezonantna struktura, zajedno s impedancijom distribucijske mreže i samim upravljanim trošilom, određuje slobodni odziv mreže na nagli naponski propad, odnosno na porast struje, a taj odziv obično sadrži prigušeno istitravanje na prirodnoj frekvenciji sustava. Na slici 5 vidi se primjer jednog impulsa koji nastaje svakih 10 ms u mreži u kojoj radi prigušivač rasvjete.




**Slika 5. Ilustracija tipičnog impulsa tiristorskog regulatora osvjetljenja. Obratiti pažnju na relativno kratko trajanje i visoku amplitudu. U ovome slučaju istitravanje je dobro prigušeno.**

Spektralni sadržaj impulsne smetnje prigušivača rasvjete vrlo je bogat. U niskofrekventnom području, do 100 kHz, postoji veliki broj jakih spektralnih linija, gotovo jednake razine, razmaknutih za po 50 Hz. Harmonici reda većeg od 200 u imaju razine tipično 40 dBV više od pozadinskog šuma [3]. Amplituda pojedinačnih impulsa, a time i amplituda harmoničkih komponenti, u proporciji je s upravljanom snagom, premda faktor razmjernosti ovisi o konkretnom tiristorskom sklopu i impedantnim prilikama u mreži. Nije nikakva rijetkost da vršne vrijednosti impulsa prijeđu i nekoliko desetaka volti, a u većini slučajeva radi se o najmanje nekoliko volti.

Ipak, zbog prirode nastanka smetnji tiristorskih sklopova može se ustvrditi da za primjene u PLC komunikacijama spektralni sadržaj te pojave nije od primarnog značenja, s obzirom na njenu inherentnu predvidivost, kako po trenutku nastajanja, tako i po trajanju i intenzitetu. Međutim, osim ako je izvor smetnje u neposrednoj blizini PLC prijamnika, atenuacijom i izobličenjem kroz mrežu ova se vrsta impulsne smetnje utapa u šumi impulsa drugih izvora, odnosno drugačijeg podrijetla, a najvažnije mjere za ocjenu

impulsnog šuma i uspješno modeliranje kanala onečišćenog njime su statističke razdiobe trajanja, amplitude i trajanja intervala bez impulsa smetnji.

Ključna svojstva smetnji koje proizvode tiristorski regulatori su:

- Kratkotrajni i vrlo intenzivni periodički impulsi sinkronizirani s frekvencijom poluperiode mreže, trajanja nekoliko mikrosekundi, i amplituda od nekoliko volti naviše.
- Energija impulsa raspršena je na dosta veliku širinu spektra, u jasno definiranim spektralnim linijama razmaka jednakog mrežnoj frekvenciji.
- Visok stupanj predvidivosti pojave, zbog kojega ju je zapravo neispravno zvati šumom. Vrlo mali dio trajanja poluperiode zagađen je ovom vrstom smetnje.

### 3.3. Ostali izvori smetnji na frekvencijama do 1 MHz

Switch-mode pretvarači napona u posljednje vrijeme sve više zamjenjuju ostale izvore niskog istosmjernog napona za najrazličitije elektroničke uređaje i sustave, zahvaljujući svojoj niskoj cijeni, malim dimenzijama i malom zagrijavanju. Frekvencija rada takvih napajača redovito je u ultrazvučnom području, najčešće između 20 i 200 kHz. Premda su oni očito izvori periodičkih smetnji, radna frekvencija im nije osobito stabilna, posebno kod uređaja lošije kvalitete. Njihova osnovna frekvencija nema nikakve veze s frekvencijom energetske mreže. Valni oblik struje koju crpe iz mreže u pravilu izgleda kao izobličena pilasta struja, karakterizirana bogatim sadržajem spektralnih linija na frekvencijama harmonika osnovne frekvencije. U literaturi nema podrobnije analize intenziteta smetnji od ovih uređaja. U svakom slučaju, s obzirom na relativno visoke osnovne frekvencije, smetnje swith mode napajača tonu u pozadinski šum tek na frekvencijama iznad nekih 700 kHz.

Vrlo jaki izvori harmoničkih smetnji mogu biti najrazličitiji nelicencirani uređaji za komuniciranje PLC medijem, od kojih su najčešći dječji alarmi. Kao i kod sve robe široke potrošnje, kvaliteta ovih uređaja, a posebno briga većine proizvođača za elektromagnetsku kompatibilnost, u najmanju ruku je upitna. Premda bi se ti uređaji dali pažljivo izvesti tako da zaposjedaju pojas od samo nekoliko kHz, s frekvencijom nosioca u ultrazvučnom području, oni obično u mrežu emitiraju niz vrlo jakih i dosta širokih spektralnih linija. Do sada objavljena literatura ne omogućuje kvantitativnu evaluaciju doprinosa tih uređaja ukupnom šumu, što je i razumljivo s obzirom na nestandardiziranost i veliku raznolikost proizvoda.

Televizijski prijamnici generiraju spektralne linije smetnji zamjetne jakosti na harmonicima frekvencije horizontalnog oscilatora. Po svojoj pojavnosti one nalikuju smetnjama od switch mode ispravljača, s tom razlikom što su iznosi frekvecija vrlo stabilni, jer su sinkronizirani horizontalnom frekvencijom televizijskih odašiljača. Unatoč ugrađenom kondenzatoru paralelno spojenom kabelu mrežnog napajanja, televizijski prijamnik na mjestu gdje je priključen podiže anvelopu spektra šuma za oko 20 dBV u odnosu na pozadinski šum, i pritom ima vrlo istaknute spektralne linije harmonika horizontalne frekvencije (tipično 50 dB iznad pozadinskog šuma). Osim ovih glavnih spektralnih linija, njihovi bočni pojasevi sadrže mnoštvo diskretnih spektralnih linija razmaknutih za iznos vetikalne frekvencije, odnosno frekvencije mreže, dakle za 50 Hz [3].

Selander u [12] konstatira postojanje uskopojasnih komponenti šuma, kao i da njihov intenzitet i, zanimljivo je, položaj na frekvencijskoj osi, ovisi o lokaciji promatranja, što se uostalom vidi i na slikama 1 i 2. On daje objašnjenje da je najvjerojatnije riječ o radiodifuziji, ali to ne mora biti u cijelosti istinito. Naime, ovisnost frekvencija istaknutih linija o mjestu promatranja ne govori tomu u prilog.

Ostali izvori šuma i smetnji na frekvencijama do 1 MHz imaju u osnovi zanemarivo djelovanje u usporedbi s do sada navedenima.

## 4. PREGLED KARAKTERISTIKA POZADINSKOG ŠUMA U FREKVENCIJSKOM PODRUČJU OD 1 DO 60 MHz

Eksperimentalni rezultati mjerenja pozadinskog šuma i šuma kojega proizvode različita trošila objavljeni su samo u nekoliko članaka i drugih publikacija. Općenito se može reći da su podaci o osobinama šuma PLC mreže na višim frekvencijama oskudni. Van der Gracht i Donaldson u [1] daju graf ovisnosti očekivane vrijednosti spektralne gustoće šuma u širokom rasponu frekvencija. Na tom se prikazu vidi da u najproblematičnijoj sredini, a to je, što se unutarnje mreže tiče, uredska zgrada u visokourbaniziranoj zoni, očekivana razina gustoće šuma uranja u razinu termičkog šuma na otporu od 50 Ω na frekvencijama oko 70 MHz. Prije toga ona opada (s) približno 40 dB po dekadi. U ruralnim sredinama tipične vrijednosti šuma su za oko 25 dB niže. Te su zakonitosti približno zadovoljene na frekvencijama od 5 do 70 MHz, i one mogu biti upotrijebljene kao prva aproksimacija za iznos pozadinskog šuma. Iznos gustoće šuma na 5 MHz je oko –160 dB(W/MHz). Termički šum na radnom otporu od 50 Ω ima jednoliku spektralnu gustoću od –204 dB(W/Hz).

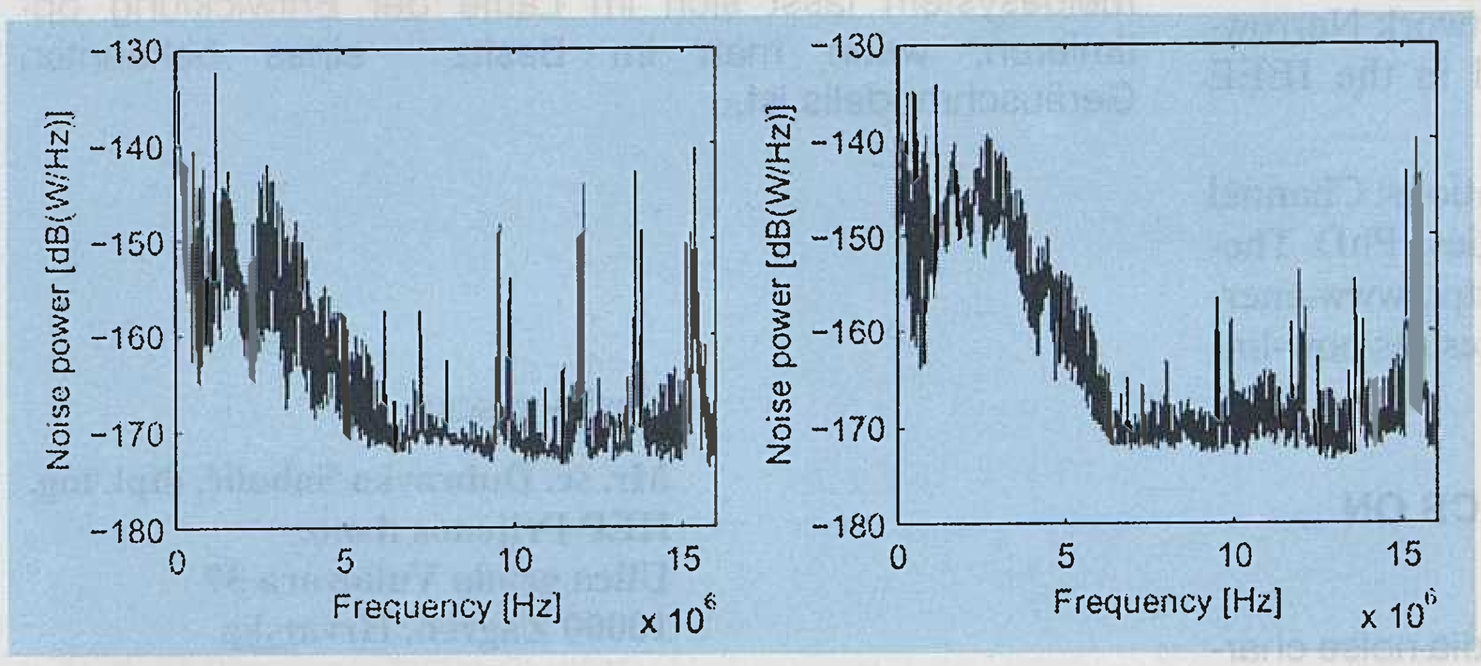
Kao i u području niskih frekvencija, osim pozadinskog šuma ukupnoj snazi šuma doprinose i drugi izvori. Najčešće su to trošila priključena na mrežu negdje u blizini komunikacijskog kanala. U tom slučaju pozadinskoj razini šuma treba dodati spektralnu gustoću šuma proizvedenog od strane predmetnog trošila u decibelima, te oduzeti odgovarajući broj decibela gušenja između izvora šuma i komunikacijskog prijamnika. Nadalje, potrebno je uračunati spektralne linije uskopojasnih izvora šuma (AM radiodifuzije, radio-

navigacije, fiksnih mobilnih servisa i sl., a na frekvencijama od 50-ak MHz nadalje, televizijske difuzije).

Selander u [12] daje rezultate mjerenja šuma na vanjskoj distribucijskoj mreži u pojasu od 1 do 16 MHz, gdje konstatira sljedeće:

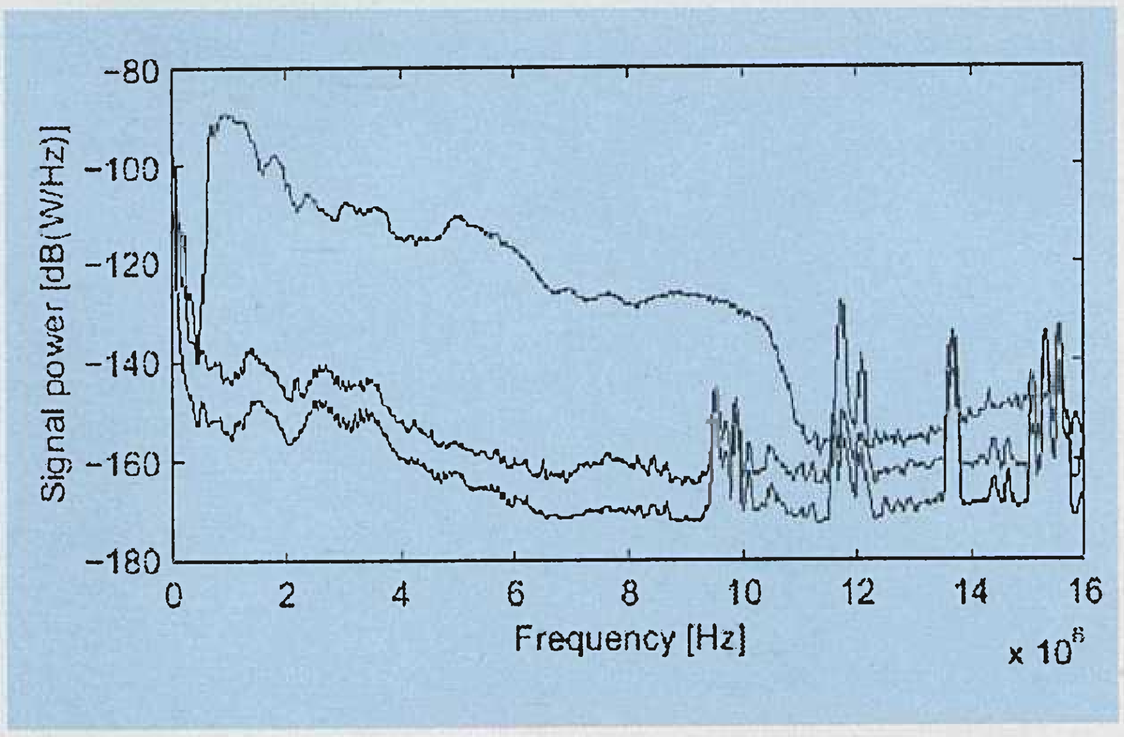
- Na frekvencijama između 1 i 7 MHz pozadinski šum se smanjuje s nekih –140 na –170 dB(W/Hz).
- Pozadinski šum na frekvencijama od 7 do 16 MHz ima spektralnu gustoću od približno –170 dB(W/Hz).
- Postoji veći broj istaknutih spektralnih linija uskopojasnih smetnji, koje se, posebno u višem frekvencijskom području, mogu izdizati i do 30 dB iznad pozadinskog šuma.

Na slici 6 kao ilustraciju iz [12] prenosimo usporedne dijagrame šuma snimljene na dvije različite faze vanjske mreže.




**Slika 6. Primjer snimljene ovisnosti šuma o frekvenciji na vanjskoj mreži iz [12], na dvije različite faze u istom razvodnom ormaru**

Nadalje, autor u [12] analizira i odnos signala i šuma u ovisnosti o frekvenciji za promatranu vanjsku mrežu. Uz amplitudu signala u trafostanici od 2.5 V i impedanciju generatora signala od 50 , odnosno uz jednoliku spektralnu gustoću izvora signala od –62 dB(W/Hz), snimljena je razina prijamnog signala i stavljena na isti graf s maksimalnim i očekivanim vrijednostima razine šuma. Ilustrativno ćemo to prikazati na slici 7 [12],




**Slika 7. Ilustracija frekvencijske ovisnosti odnosa signala i šuma na mjestu u vanjskoj mreži udaljenom oko 100 m od odašiljača, uz amplitudu signala odašiljača od 2.5 V na 50 Ω [12]**

snimljenoj u razvodnom ormaru stotinjak metara udaljenom od trafostanice.

Na slici se vidi da je odnos signala i šuma povoljan, naime veći od 20 dB, u pojasu do oko 10 MHz. Nakon toga se prijamni signal gubi u šumu. To znači da je promatrana vanjska mreža pogodna za komuniciranje u frekvencijskom području do 10 MHz. Postoje i druga opažanja koja daju slične rezultate, ili pak nešto povoljnije [2], ali čini se da područje povoljnog odnosa signala i šuma na vanjskoj mreži završava negdje između 10 i 15 MHz. Dostert u [2] iznosi da se očekuje primjena PLC komunikacija u distribucijskoj mreži do 10 MHz, a na instalacijskoj između 10 i 30 MHz.

Liu i drugi u [6] vrše parcijalna istraživanja šuma na instalaciji stambene kuće. Važno je uočiti da se razina pozadinskog šuma od oko –170 dB(W/Hz), zamijećena kod Selandera na vanjskoj mreži, nastavlja i na frekvencijama do 60 MHz. Autori analiziraju ponašanje šuma kada se na prostorno bliske utičnice spoje neki tipični električki uređaji u kućanstvu. Tako npr. uključivanje usisivača podiže razinu šuma za prosječno 40 dB kroz čitav promatrani opseg, do 60 MHz. Pritom spektar ostaje gladak. Električna grijalica podiže razinu šuma na svim promatranim frekvencijama za približno 40 dB, također s glatkim spektrom. Električni mikser u neposrednoj blizini povećava razinu šuma za oko 60 dB. Televizijski prijamnik ne podiže znatno razinu šuma na svim frekvencijama (srednja razina šuma diže se za samo oko 5 dB u području između 20 i 60 MHz), ali generira mnoštvo uskih spektralnih linija koje mogu nadvisivati okolnu razinu šuma i za 40 dB.

## LITERATURA

[1] P. K. VAN DER GRACHT, R. W. DONALDSON: "Communication Using Pseudonoise Modulation on Electric Power Distribution Circuits", IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-33, No. 9, Sept. 1985.

[2] K. DOSTERT: "High Speed Data Transmission over Power Lines Using Multi-Carrier (OFDM) Techniques", Frequenz, Vol. 54 (2000), No. 11-12.

[3] R. M. VINES et al: "Noise on Residential Power Circuits", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-26, No. 4, Nov. 1984.

[4] M. H. L. CHAN, R. W. DONALDSON: "Amplitude, Width, and Interarrival Distribution for Noise Impulses on Intrabuilding Power Line Communication Networks", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 31, No. 3, Aug. 1989.

[5] O. G. HOOIJEN: "A Channel Model for the Residential Power Circuit Used as a Digital Communications Medium", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 40, No. 4, Nov. 1998.

[6] D. LIU et al: "Wide Band AC Power Line Characterization", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 45, No. 4, Nov. 1999.

[7] M. ZIMMERMAN, K. DOSTERT: "An Analysis of the Broadband Noise Scenario in Powerline Networks", Proceedings of the 4th International Symposium on Powerline Communications and its Applications, Limerick, Ireland, April 5th-7th , 2000, http://www-iiit.etec.uni-karlsruhe.de/~plc/

[8] M. ZIMMERMANN, K. DOSTERT: "Analysis and Modeling of Impulsive Noise in Broad-Band Powerline Communications", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 44, No. 1, February 2002.

[9] K. DOSTERT: "Powerline Communications", Prentice Hall PTR, 2001.

[10] D. SABOLIĆ: "O statističkim osobinama uskopojasnog šuma na niskonaponskim električnim instalacijama", Energija, Vol. 51, br. 3,Zagreb, lipanj 2002.

[11] D. SABOLIĆ: "On The Distribution Network Narrowband Noise Statistics", to be published in the IEEE Transactions on Power Delivery in 2002.

[12] L. SELANDER: "Powerline Communications: Channel Properties and Communication Strategies, PhD Thesis", Lund University, Sweden, 1999, http://www.enersearch.se/knowledgebase/publications/thesises/pow-line.html

## INSPECTION OF NOISE CHARACTERISTICS ON PLC MEDIA

A review of current developments on PLC media noise characteristics, both on the outside and the inside network is given, based on references 1-12. Knowledge of noise characteristics on transmission media enables theoretical evaluation, simulation and experimental determination of resistance of each communication system on the total noise found on the media, and the corresponding noise model enables communication system's optimization during its development.

## ÜBERSICHT DER GERÄUSCHEIGENSCHAFTEN AN ENERGIELEITUNGEN

Auf Grund des Schrifttums [1-12] wird eine Übersicht bisheriger Erkenntnisse über das Geräusch an Energieleitungen, sowohl an Aussen- als auch an Innenleitungen, dargestellt. Das Wissen über Geräuscheigenschaften am Übertragungssystem macht eine theoretische Bewertung, eine Simulation und eine experimentelle Überprüfung der Widerstandsfähigkeit einzelner Fernmeldesysteme auf den Gesammtgeräusch in den Leitungen möglich. Ein Fernmeldesystem lässt sich im Laufe der Entwicklung optimieren, wenn man im Besitz eines bekannten Geräuschmodells ist.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.**
**HEP Prijenos d.o.o.**
**Ulica grada Vukovara 37**
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2002 – 07 – 23.

## STATISTIČKI STANDARDI ZA USKLAĐIVANJE SLUŽBENE STATISTIKE RH SA STATISTIKOM EUROPSKE UNIJE

Novi Statistički standardi za usklađivanje službene statistike RH sa statistikom Europske unije objavljeni su u Narodnim novinama broj 8 od 16. siječnja 2003. godine. U ovim standardima utvrđena je terminologija i obrasci na kojima se prikupljaju podaci, odnosno koncepti i definicije PRODCOM istraživanja (statističke jedinice, izvještajne jedinice, gotov i nedovršeni proizvod, intermedijarni proizvod, prodani proizvod, ukupna proizvodnja, organizacija provedbe statističkog istraživanja i dr.). Osim toga dane su i upute za ispunjavanje obrasca IND-21/PRODCOM. Ovim Statističkim standardima za PRODCOM istraživanje o industrijskoj proizvodnji (IND-21/PRODCOM) prestaju vrijediti Statistički standardi za godišnje izvješće industrije, objavljeni u Narodnim novinama, broj 60 od 13. kolovoza 1999. godine.

Potpisavši Sporazum o stabilizaciji i pridruživanju (SSP) s Europskom unijom, Vlada Republike Hrvatske preuzela je odredene obveze. Temeljem toga donijela je mjere u okviru Plana provedbe potpisamog sporazuma za razdoblje od 2001. do 2006. godine. Između ostaloga, iz tog dokumenta proizlazi i obveza usklađivanja službene statistike RH sa statistikom EU, odnosno i usklađivanje statistika industrije RH s EU. Da bi se usklađivanje provelo, potrebno je bilo zakonom propisati odgovarajuće norme, odnosno preuzeti norme EU iz tog područja.

EU polazi od činjenice, da je statistika temelj svakog demokratskog tržišnog društva, jer:

- potrebna je za donošenje odluka na svim razinama – za politiku planiranja, implementiranja i monitoringa
- daje ključne informacije, nužne za poslovanje gospodarskih subjekata, vlada, edukacijskih ustanova, ali isto tako
- daje javnosti objektivan pregled stanja društva.

S obzirom na važnost statistike, tim poslovima je u EU dano pripadajuće mjesto u organizacijskoj strukturi. Statističke poslove za EU obavlja njezin statistički ured imenom Eurostat. Osnovni zadatak Eurostata je opskrba EU visoko kvalitetnim informacijama na europskoj razini koje će omogućiti usporedbe između zemalja i regija. Eurostat je osnovan 1953. godine. On ne prikuplja podatke sam, već to čine državna tijela članica. Ona analiziraju nacionalne podatke te ih dostavljaju Eurostatu.

U našoj zemlji statističke poslove obavlja Državni zavod za statistiku i njegovi područni uredi po županijama. Istraživanja se obavljaju kroz godišnje i višegodišnje Nacionalne programe statističkih istraživanja te imaju zakonsku težinu. Nacionalnom klasifikacijom djelatnosti te Nomenklaturom industrijskih proizvoda utvrđeni su poslovni subjekti koji su obvezni obavljati prikupljanje podataka i činiti odgovarajuće obrade za potrebe statističkih istraživanja. Neispunjavanje ovih obveza povlači za sobom zakonsku odgovornost.

Prema Pravilniku o Organizaciji i sistematizaciji HEP d.d. u članku 57. (Bilten HEP-a broj 101 od 29. lipnja 2002. godine), Odjelu za statistiku i dokumentaciju u Sektoru za poslovnu informatiku dodijeljeni su poslovi organiziranja sustava statističkog praćenja poslovanja HEP Grupe te provedbe praćenja u Društvu. Time su institucionalno ispunjeni preduvjeti za efikasno provođenje statističkih istraživanja u grupi Hrvatska elektroprivreda kao dijela istraživanja u RH.

Radi približavanja EU nastavlja se rad na daljnjem usklađivanju statističkog praćenja industrijske proizvodnje tijekom 2002. prema zahtjevima EU-a. U skladu s time razdvaja se Godišnje izvješće industrije (IND-21) na dva samostalna istraživanja:

- PRODCOM istraživanje o industrijskoj proizvodnji i
- Poslovno-strukturno istraživanje industrije (PSI), za koje EU koristi posebne koncepte, definicije i klasifikacije.

Daljnji razvoj i cjelovita harmonizacija statistike industrije s istim statistikama EU-a predviđena je okvirno do kraja 2006. što je i bio pretpostavljeni cilj i pri izradi ovih statističkih standarda. Nacionalna klasifikacija djelatnosti (NKD) strukturom i opisima djelatnosti izvedena je iz NACE Rev. 1 – Uredbe Vijeća europske ekonomske komisije (EEC) br. 3037/90 o statističkoj klasifikaciji gospodarskih djelatnosti Europske zajednice. Zakon o Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti RH objavljen je u Narodnim novinama br. 98/94, a Odluka o Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti u Narodnim novinama broj 6/95, 3/97 i 7/97.

PRODCOM je naziv za proizvodne statistike EU. Od 1993. godine PRODCOM istraživanjem prikupljaju se podaci o industrijskoj proizvodnji država-članica EU-a.

U ovom istraživanju pod pojmom industrija PRODCOM podrazumijeva NACE Rev. 1 područja djelatnosti:

- C – Rudarstvo i vađenje
- D – Prerađivačka industrija
- E – Opskrba električnom energijom, plinom i vodom.

PRODCOM uredbom EU-a utvrđen je obvezatni sadržaj, definicije, klasifikacije i druge norme na temelju kojih se provodi PRODCOM istraživanje u državama - članicama EU. PRODCOM uredbom EU-a (Uredba Vijeća EEC br. 3924/91) utvrđena je i obveza godišnjeg ažuriranja PRODCOM Liste industrijskih proizvoda na temelju koje se prikuplja i objavljuje industrijska proizvodnja država - članica EU-a.

U razdoblju od 1995. do 2002. godine, IND-21 na temelju kojeg su se redovito prikupljaju podaci o godišnjoj industrijskoj proizvodnji RH, već je tri puta revidiran, svaki put s ciljem daljnjeg usklađivanja praćenja industrijske proizvodnje s konceptom, definicijama i klasifikacijama koji su propisani za PRODCOM istraživanje EU, a za čiju je kompilaciju nadležan Eurostat .

SBK

## VISINA I NAČIN PLAĆANJA NAKNADA ZA POKRIĆE TROŠKOVA OBVEZNOG CERTIFICIRANJA ELEKTROENERGETSKIH IZOLIRANIH VODIČA I KABELA

Naredba o visini i načinu plaćanja naknada za pokriće troškova obveznog ispitivanja i potvrđivanja/certifikacije elektroenergetskih izoliranih vodiča i kabela objavljena je u Narodnim novinama broj 148 od 11. prosinca 2002. godine.

**Tablica 1. Elektroenergetski izolirani vodiči i kabeli**

| Red. br. | Naziv proizvoda koji se potvrđuje / certificira | Visina naknada za pokriće troškova ispitivanja radi potvrđivanja / certifikaciju proizvoda (kn) | Visina naknada za pokriće troškova ispitivanja radi provjere sukladnosti s potvrđenim / certificiranim tipom (kn) |
|---|---|---|---|
| 1. | Nazivni napon do1000V | | |
| | – po tipu kabela | 1.350,00 | 950,00 |
| | – po presjeku istog kabela | 135,00 | 95,00 |
| 2. | Nazivni napon do 750V | | |
| | – po tipu vodiča | 950,00 | 650,00 |
| | – po presjeku istog tipa vodiča | 95,00 | 65,00 |

Za pokriće troškova obveznog ispitivanja, potvrđivanja, odnosno certifikaciju i provjeru sukladnosti elektroenergetskih izoliranih vodiča i kabela podnositelji zahtjeva za provedbu postupaka ispitivanja i potvrđivanja/certifikaciju plaćaju naknade.

Prema ovoj Naredbi naknada za pokriće troškova potvrđivanja, odnosno certifikaciju i izdavanja potvrde o sukladnosti (certifikata) iznosi 1.400,00 kuna neovisno o vrsti ispitivanja. Za izdavanje prijepisa potvrde o sukladnosti, odnosno certifikata za potvrđeni tip proizvoda plaća se naknada u iznosu od 250,00 kuna. Naknade za pokriće troškova ispitivanja radi provjere sukladnosti proizvoda s potvrđenim (certificiranim) tipom prikazane su u tablici 1.

Naknade za pokriće troškova ispitivanja proizvoda koji nisu sadržani u ovoj naredbi obračunavaju se prema cijeni radnog sata ovlaštene pravne osobe, ovisno o složenosti poslova i to: poslovi (VSS) 195,00 kuna, poslovi (VŠS) 156,00 kuna i poslovi (SSS) 117,00 kuna.

Naknada za pokriće izdavanja dopune potvrde o sukladnosti/certifikata iznosi 850,00 kuna.

SBK

## VISINA I NAČIN PLAĆANJA NAKNADA ZA POKRIĆE TROŠKOVA CERTIFIKACIJE TRANSFORMATORA ZA RAZDVAJANJE

Naredba o visini i načinu plaćanja naknada za pokriće troškova obveznog ispitivanja i potvrđivanja/certifikacije transformatora za razdvajanje i sigurnosnih transformatora za razdvajanje objavljena je u Narodnim novinama broj 148 od 11. prosinca 2002. godine.

U Naredbi je zakonodavac odredio tko može obavljati te poslove te komu se u određenoj situaciji isplaćuje naknada.

Naknada za pokriće troškova potvrđivanja/certifikacije proizvoda i izdavanja potvrde o sukladnosti/certifikata iznosi 1.400,00 kuna neovisno o vrsti ispitivanja, dok se za izdavanje prijepisa potvrde o sukladnosti plaća naknada u iznosu od 250,00 kuna.

Naknade za pokriće troškova ispitivanja radi provjere sukladnosti proizvoda s potvrđenim/certificiranim tipom utvrđene su u tablici 2. koja je kao prilog 1 sastavni dio ove Naredbe.

U Naredbi su utvrđene naknade za pokriće troškova:

- za ispitivanja proizvoda koji nisu sadržani u ovoj naredbi, koje se obračunavaju prema cijeni radnog sata ovlaštene pravne osobe ovisno o složenosti poslova i to: poslovi (VSS) 195,00 kuna, poslovi (VŠS) 156,00 kuna i poslovi (SSS) 117,00 kuna
- za ispitivanja proizvoda u slučaju izmjene konstrukcije, materijala i slično koje se obračunavaju prema stvarno utrošenom vremenu
- za pokriće izdavanja dopune potvrde o sukladnosti/certifikata koje iznose 850,00 kn

Troškove koji nisu obuhvaćeni ovom Naredbom i utvrđenim naknadama snosi podnositelj zahtjeva: troškova dnevnica, putovanja i sl. vezani uz postupak potvrdivanja/certifikacije, izdavanja dopune potvrde o sukladnosti/certifikata i provjere sukladnosti proizvoda s potvrđenim/certificiranim tipom nakon isteka valjanosti potvrde o sukladnosti/certifikata.

Podnositelj zahtjeva obvezan je prije početka ispitivanja uplatiti na račun ovlaštene pravne osobe beskamatni predujam u visini od 75% iznosa naknada za pokriće troškova ispitivanja proizvoda. Naknade u ovoj naredbi izražene su u hrvatskim kunama bez obračunatog poreza na dodatnu vrijednost.

SBK

**Tablica 2. Transformatori za razdvajanje i sigurnosni transformatori za razdvajanje**

| Red. br. | Naziv proizvoda koji se potvrđuje / certificira | Visina naknada za pokriće troškova ispitivanja radi potvrđivanja / certifikacije Proizvoda (kn) | Visina naknada za pokriće troškova ispitivanja radi provjere sukladnosti s potvrđenim / certificiranim tipom (kn) |
|---|---|---|---|
| 1. | Transformatori za razdvajanje i | 7.200,00 | 3.600,00 |
| 2. | Sigurnosni transformatori za razdvajanje | 7.200,00 | 3.600,00 |

## VISINA I NAČIN PLAĆANJA NAKNADA ZA POKRIĆE TROŠKOVA OBVEZNOG ISPITIVANJA I POTVRĐIVANJA/CERTIFIKACIJE SKLOPKI ZA NAPRAVE

Naredba o visini i načinu plaćanja naknada za pokriće troškova obveznog ispitivanja i potvrđivanja/certifikacije sklopki za naprave objavljena je u Narodnim novinama broj 148 od 11. prosinca 2002. godine.

Prema toj naredbi utvrđene su naknade za pokriće troškova koje podnositelji zahtjeva plaćaju nadležnim institucijama za:

– obvezno ispitivanje
– potvrđivanje/certifikaciju
– provjeru sukladnosti sklopki za naprave.

Iznos naknada prikazan je u tablici 3.

Naredbom je također utvrđena naknada za pokriće troškova:

– potvrđivanja/certifikaciju proizvoda i izdavanja potvrde o sukladnosti/certifikata u iznosu od 1.400,00 kuna neovisno o vrsti ispitivanja
– za izdavanje prijepisa potvrde o sukladnosti/certifikata za potvrđeni tip proizvoda u iznosu 250,00 kuna
– ispitivanja proizvoda koji nisu sadržani u ovoj naredbi te za pokriće troškova ispitivanja proizvoda u slučaju izmjene konstrukcije, materijala i slično prema cijeni radnog sata ovlaštene pravne osobe ovisno o složenosti poslova i to: poslovi (VSS) 195,00 kuna, poslovi (VŠS) 156,00 kuna i poslovi (SSS) 117,00 kuna
– naknada za pokriće izdavanja dopune potvrde o sukladnosti/certifikata u iznosu 850,00 kn.

Naredbom je utvrđeno da sljedeće troškove snosi sam podnositelj zahtjeva:

– troškovi dnevnica
– putovanja i sl. vezani uz postupak potvrđivanja/certifikaciju, izdavanja dopune potvrde o sukladnosti/certifikata i provjere sukladnosti proizvoda s potvrđenim/certificiranim tipom nakon isteka valjanosti potvrde o sukladnosti/certifikata.

Prema Naredbi podnositelj zahtjeva obvezan je prije početka ispitivanja uplatiti na račun ovlaštene pravne osobe beskamatni predujam u visini od 75% iznosa naknada za pokriće troškova ispitivanja proizvoda .

SBK

**Tablica 3. Sklopke za naprave**

| Red. br. | Naziv proizvoda koji se potvrđuje / certificira | Visina naknada za pokriće troškova ispitivanja radi potvrđivanja / certifikacije proizvoda (kn) | Visina naknada za pokriće troškova ispitivanja radi provjere sukladnosti s potvrđenim / certificiranim tipom (kn) |
|---|---|---|---|
| 1. | Sklopke za naprave nazivnog izmjeničnog napona od 50 do 600V i nazivne struje do 63A | 6.900,00 | 3.500,00 |
| 2. | Doplata za drugi nazivni napon i drugu nazivnu struju za isti tip | 900,00 | 900,00 |

## PRAVILNIK O UVJETIMA ZA OBAVLJANJE ENERGETSKE DJELATNOSTI

Ovim Pravilnikom propisuju se uvjeti tehničke i financijske kvalificiranosti i stručne osposobljenosti koje mora ispunjavati pravna osoba da bi od Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti mogla ishoditi rješenje, odnosno dozvolu za obavljanje energetske djelatnosti. Također se propisuje oblik, sadržaj i način vođenja registra izdanih i oduzetih dozvola za obavljanje energetske djelatnosti. Pravilnik je objavljen u Narodnim novinama broj 6 od 10. siječnja 2003. godine.

Odredbe ovoga Pravilnika primjenjuju se na sljedeće energetske djelatnosti (članak 15. Zakona o energiji, NN 68/2001):

1. proizvodnja električne energije
2. prijenos električne energije
3. distribucija električne energije
4. opskrba električnom energijom
5. vođenje elektroenergetskog sustava
6. organiziranje tržišta električnom energijom
7. dobava plina
8. transport plina
9. distribucija plina
10. proizvodnja naftnih derivata
11. transport nafte naftovodima i drugim oblicima transporta
12. transport naftnih derivata produktovodima i drugim oblicima transporta
13. trgovina na veliko naftnim derivatima
14. trgovina na malo naftnim derivatima
15. skladištenje nafte i naftnih derivata
16. proizvodnja toplinske energije
17. distribucija toplinske energije
18. opskrba toplinskom energijom
19. trgovanje, posredovanje i zastupanje na tržištu energije
20. transport i skladištenje ukapljenoga prirodnog plina (UPP)
21. trgovina na veliko i malo ukapljenim naftnim plinom (UNP)
22. trgovina na veliko ukapljenim prirodnim plinom (UPP).

Ne primjenjuje se za djelatnosti proizvodnje električne energije:

– koja se proizvodi isključivo za vlastite potrebe, a pravna osoba za takvo korištenje ne koristi javnu prijenosnu ili distribucijsku mrežu, ili

– proizvodi se u proizvodnim objektima snage do 5 MW, a priključeni su na javnu prijenosnu ili distribucijsku mrežu.

U drugom dijelu Pravilnika, u člancima 4. do 18. utvrđuju se uvjeti za izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti.

Prema člancima 4.i 5. gore navedene energetske djelatnosti može obavljati pravna osoba koja je od Vijeća za regulaciju ishodila dozvolu. Pravna osoba mora biti registrirana za obavljanje te djelatnosti i ispunjavati uvjete tehničke kvalificiranosti, stručne osposobljenosti i financijske kvalificiranosti.

Tehnička kvalificirana pravna osoba:

– ima objekte, postrojenja, uređaje i opremu za obavljanje energetske djelatnosti i provođenje tehničkih i sigurnosnih propisa
– nema izgrađene objekte, uređaje i mrežu i opremu za obavljanje energetske djelatnosti, ako posjeduje tehničko-investicijsku dokumentaciju potrebnu za realizaciju izgradnje objekata, uređaja ili mreže u skladu sa zakonima, propisima, standardima i uzancama koji vrijede za to područje
– ima objekte, postrojenja, uređaje i opremu u svom vlasništvu, koristi ih temeljem ugovora o zakupu zaključenog s drugom osobom ili koristi ih temeljem ugovora o koncesiji.

Stručna osposobljenost utvrđena u članku 6. znači da pravna osoba zapošljava radnike koji ispunjavaju uvjete određene propisima koji uređuju pitanja tehničke i radne sigurnosti i s njima ima sklopljen odgovarajući ugovor o radu.

U članku 7. utvrđena je financijska kvalificiranost. Pravna osoba je financijski kvalificirana za obavljanje energetske djelatnosti ako ima gotov novac na računu poslovne banke pravne osobe u iznosima navedenim u prilogu 1 ovog Pravilnika.

Isto tako pravna osoba je dužna, uz zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti, priložiti Vijeću za regulaciju trogodišnji plan izgradnje, održavanja i korištenja energetskih objekata koji je potvrdio neovisni ovlašteni revizor.

Prema članku 8. Vijeće za regulaciju je ovlašteno obavljati nadzor i provjeru ispunjavanja gore navedenih uvjeta kroz razdoblje trajanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti.

Podnošenje zahtjeva regulirano je člancima 9. i 13. Zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti podnosi se Vijeću za regulaciju na posebnom Obrascu ZDOED. Ako pravna osoba namjerava obavljati više energetskih djelatnosti mora podnijeti zahtjev za svaku djelatnost posebno.

Uz zahtjev za izdavanje dozvole pravna osoba je obvezna priložiti sljedeće dokaze:

– izvod iz sudskog registra trgovačkog suda
– isprave nadležnih tijela kojima se dokazuje ispunjavanje uvjeta tehničke kvalificiranosti za obavljanje energetske djelatnosti
– važeće ugovore zaključene s drugim osobama koji imaju utjecaja na tehničku kvalificiranost, ako su isti sklopljeni
– obrazac BON-1 i obrazac BON-2 ili izjavu poslovne banke pravne osobe o solventnosti pravne osobe
– izjavu poslovne banke pravne osobe ili neke druge poslovne banke o realnosti pribavljanja potrebnih financijskih sredstava, ako pravna osoba dokazuje da može pribaviti potrebna sredstva
– trogodišnji plan izgradnje, održavanja i korištenja energetskih objekata koji je potvrdio neovisni ovlašteni revizor
– važeći ugovor o koncesiji za obavljanje energetske djelatnosti, ako se energetska djelatnost obavlja temeljem koncesije
– odluku nadležnog inspektora kojom je određeno otklanjanje utvrđenih nedostataka
– potvrdu o otklanjanju nedostataka utvrđenih odlukom nadležnog inspektora,
– uvjerenje da nije pokrenut istražni ili kazneni postupak povezan s obavljanjem energetske djelatnosti protiv članova uprave pravne osobe, odnosno drugih njima odgovornih osoba
– dokaz o uplati upravne pristojbe propisane Uredbom o financiranju rada Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti (»Narodne novine« 60/02).

Člancima 14. do 18. regulirano je Izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti.

Prema članku 15., ako je pravna osoba najmanje 15 godina bila registrirana za obavljanje energetske djelatnosti na dan stupanja na snagu Zakona o energiji, Vijeće za regulaciju izdat će dozvolu na najdulje 15 godina:

– ako se djelatnost za koju traži dozvolu obavlja kao javna usluga bez koncesijskog ugovora
– ako se djelatnost za koju se traži dozvolu obavlja kao tržišna djelatnost bez koncesijskog ugovora.

U člancima 16. do 17. utvrđeni su uvjeti za ostale slučajeve. Prema članku 18. uz dozvolu za obavljanje djelatnosti izdaje se obrazac DOED koji je tiskan u prilogu III. ovoga Pravilnika i njegov je sastavni dio.

Registar dozvola za obavljanje energetske djelatnosti utvrđen je u člancima 19. do 23. Utvrđen je oblik registra, registarski broj dozvole i javnost registra. Prema članku 19. registarski spis sadrži:

– zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti,
– dokumente koji se prilažu uz zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti
– dozvolu za obavljanje energetske djelatnosti ili rješenje kojim se uskraćuje dozvola za obavljanje energetske djelatnosti
– obrazac DOED izdane dozvole za obavljanje energetske djelatnosti
– rješenje o oduzimanju dozvole za obavljanje energetske djelatnosti, ako je isto izdano
– odluke nadležnog drugostupanjskog tijela povodom žalbe na rješenje kojim se uskraćuje dozvola za obavljanje energetske djelatnosti, ako je ista donesena.

Prema članku 20. zbirni pregled (u elektronskom obliku) sadrži sljedeće elemente:

– registarski broj dozvole
– datum upisa u registar dozvola
– puni naziv pravne osobe kojoj je izdana dozvola
– sjedište i adresu pravne osobe kojoj je izdana dozvola
– matični broj pravne osobe kojoj je izdana dozvola
– naziv energetske djelatnosti
– razdoblje za koje se izdaje predmetna dozvola
– datum izdavanja rješenja Vijeća za regulaciju o oduzimanju dozvole
– datum izdavanja rješenja kojim se dozvoljava obavljanje energetske djelatnosti.

Registarski broj dozvole utvrđen je u člancima 21. i 22. Prema članku 22. registarski broj dozvole sastoji se od:

- matičnog broja pravne osobe (MB) upisa u registar trgovačkog suda
- četveroznamenkastog rednog broja koji određuje Vijeće za regulaciju po redoslijedu otvaranja registarskog spisa počevši od 0001-
- rednog broja djelatnosti prema članku 15. Zakona o energiji
- broja godine upisa počevši s 02.

Između matičnog broja subjekta i rednog broja kojeg određuje Vijeće za regulaciju, odnosno rednog broja djelatnosti stavljaju se crtice (-), a iza rednog broja djelatnosti i ispred godine upisa stavlja se kosa crta (/).

Člankom 23. utvrđuje se da je zbirni pregled javan te da se uvid u zbirni pregled obavlja u prostorima Vijeća za regulaciju, a može biti i elektronički putem interneta.

U završnim odredbama u članku 24. utvrđuje se da pravne osobe koje na dan stupanja na snagu ovoga Pravilnika obavljaju energetsku djelatnost iz članka 15. Zakona o energiji, mogu nastaviti obavljati energetsku djelatnost, pod uvjetom da u roku od šest mjeseci od dana stupanja na snagu ovoga Pravilnika podnesu Vijeću za regulaciju zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti u skladu s ovim Pravilnikom.

SBK

## MJERITELJSKI LABORATORIJI ZA OVJERAVANJE BROJILA ELEKTRIČNE ENERGIJE

U Narodnim novinama broj 11 od 22. siječnja 2003. godine objavljen je novi **Pravilnik o uvjetima za potvrđene mjeriteljske laboratorije za ovjeravanje brojila električne energije i načinu njihovog rada.** Primjenom ovog Pravilnika prestaje vrijediti Pravilnik o uvjetima kojima moraju udovoljiti potvrđeni mjeriteljski laboratoriji za ovjeravanje brojila električne energije i načinu njihova rada (NN br. 35/01).

Kao što mu i naziv kaže, ovim se pravilnikom propisuju uvjeti kojima moraju udovoljavati potvrđeni mjeriteljski laboratoriji za ovjeravanje brojila električne energije.

U člancima 2. i 3. utvrđuje se što može biti laboratorij i što on radi. Prema članku 3. laboratorij servisira i priprema brojila za ovjeravanje, a Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo ovjerava brojila.

U drugom dijelu, u člancima 4. do 30. utvrđuju se uvjeti kojima mora udovoljiti laboratorij. Prema članku 4. laboratorij mora udovoljiti uvjetima koji se odnose na:

1. radnike
2. prostoriju za ispitivanje brojila
3. opremu za ispitivanje brojila
4. propisanu dokumentaciju.

Člancima 5. i 6. utvrđuje se broj radnika, njihove kvalifikacije i organizacijska hijerarhija.

U člancima 7. do 11. utvrđuje se broj potrebnih prostorija, njihova namjena te mikroklimatski uvjetu (temperatura, vlažnost, izloženost sunčevim zrakama, vibracijama itd.).

Članak 12. utvrđuje da laboratorij mora imati navedenu opremu za ispitivanje brojila:

1. kontrolne uređaje i mjerila za ispitivanje brojila
2. kontrolne instrumente
3. stalke za postavljanje brojila.

Vrsta dokumentacije za rad laboratorija (propisi, upute proizvođača i sl.), kao i izvješća i odobrenja te sadržaj i način pohrane dokumentacije, utvrđen je u člnacima 29. do 30.

U trećem dijelu, u članku 31. utvrđene su obveze laboratorija. Laboratorij tijekom svog rada mora:

1. zadovoljavati uvjete propisane ovim pravilnikom
2. pripremati za ovjeravanje brojila koja imaju valjano tipno odobrenje, sukladno odobrenom postupku ispitivanja brojila
3. obavijestiti Zavod o svakoj promjeni koja bi mogla utjecati na osposobljenost laboratorija da zadovolji uvjete propisane ovim pravilnikom
4. omogućivati radnicima laboratorija sudjelovanje u svim oblicima stručnog usavršavanja koje organizira Zavod

   omogućivati radnicima laboratorija sudjelovanje u radu tijela Zavoda
5. sudjelovati u međulaboratorijskim usporedbama na zahtjev Zavoda
6. pridržavati se visine i načina plaćanja troškova ovjeravanja brojila koje je propisao ravnatelj Zavoda.

U četvrtom dijelu u završnim odredbama utvrđuje se da laboratorij dobiva rješenje na rok od tri godine.

SBK

## UNUTARNJE USTROJSTVO MINISTARSTVA ZAŠTITE OKOLIŠA I PROSTORNOG UREĐENJA

U Narodnim novinama broj 13 od 27. siječnja 2003. godine donesena je **Uredba o unutarnjem ustrojstvu ministarstva zaštite okoliša i prostornog uređenja.** Stupanjem na snagu ove Uredbe prestaje vrijediti Uredba objavljena u Narodnim novinama broj 70/2001.

Ovom se Uredbom određuje unutarnje ustrojstvo Ministarstva zaštite okoliša i prostornog uređenja, nazivi upravnih organizacija i drugih unutarnjih ustrojstvenih jedinica u sastavu Ministarstva, njihov djelokrug i način upravljanja, te okvirni broj državnih službenika i namještenika potrebnih za obavljanje poslova iz djelokruga Ministarstva.

Uredba se sastoji od sljedećih dijelova:

1. Unutarnje ustrojstvo
2. Djelokrug i ustrojstvo upravnih organizacija
3. Upravljanje upravnim organizacijama
4. Službenici i namještenici
5. Prijelazne i završne odredbe.

Prema članku 2. za obavljanje poslova iz djelokruga Ministarstva ustrojavaju se sljedeće upravne organizacije i druge unutarnje ustrojstvene jedinice u sastavu Ministarstva:

- Kabinet ministra
- Odjel za informiranje
- Tajništvo Ministarstva
- Uprava za upravno-pravne poslove
- Uprava za zaštitu okoliša
- Uprava za zaštitu prirode
- Uprava za inspekcijske poslove
- Uprava za graditeljstvo
- Zavod za prostorno uređenje.

Člankom 4. utvrđeni su poslovi Odjela za informiranje. U Odjelu za informiranje obavljaju se poslovi odnosa s jav-

nošću. Odjel priprema priopćenja o radu Ministarstva, ministra i njegovog zamjenika, priprema konferencije za novinare, upoznaje novinare s radom Ministarstva, dogovara razgovore ministra i njegovog zamjenika za medije i organizira medijsko praćenje događaja u kojima sudjeluju ministar i njegov zamjenik te po ovlaštenju ministra tajnik Ministarstva i pomoćnici ministra. Odjel sustavno prati i analizira priloge o ministru i Ministarstvu u medijima i predlaže vrijeme, vrstu i sadržaj javnih nastupa.

Unutar Odjela uređuje se časopis »Okoliš« na hrvatskom i engleskom jeziku, održavaju se kontakti sa suradnicima časopisa i obavljaju poslovi oko tiska i distribucije časopisa. Uređivanje i objavljivanje knjiga, publikacija, letaka i svih vrsta prigodnih materijala obavlja se u Odjelu.

Odjel je zadužen za: uređivanje i ažuriranje WEB stranica Ministarstva na hrvatskom i engleskom jeziku, pravodobno objavljivanje na WEB-u informacija o djelokrugu Ministarstva, o projektima za koje je Ministarstvo zaduženo, objavljivanje prijedloga zakona i provedbenih propisa iz djelokruga Ministarstva, natječaja koje objavljuje Ministarstvo, izvješća o radu svih ustrojstvenih jedinica Ministarstva, zaduženo je za uspostavu interaktivne komunikacije s korisnicima i druge poslove koje mu povjeri ministar.

Odjel obavlja poslove uspostave i vođenja biblioteke s publikacijama Ministarstva i drugim tiskanim materijalima, osigurava građanima cjelodnevnu dostupnost svih publikacija iz biblioteke te pristup podacima o radu ministarstva, Agencije za zaštitu okoliša, Državnog zavoda za zaštitu prirode i Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost. Odjel organizira promocije publikacija Ministarstva, prezentacije određenih poslova iz djelokruga Ministarstva, rasprave o zakonima i drugim propisima, koji se izrađuju u Ministarstvu, rasprave o temama iz djelokruga Ministarstva, javne tribine i druge akcije usmjerene na promidžbu rada pojedinih ustrojstvenih jedinica i Ministarstva u cjelini.

U člancima 5. do 7. utvrđeni su poslovi i zadaci tajništva, uprave za upravno-pravne poslove.

Uprava za zaštitu okoliša utvrđena je u članku 7. Prema tom članku u Upravi za zaštitu okoliša ustrojavaju se odjeli za:

– Postupanje s otpadom
– Zaštitu atmosfere, tla, mora i priobalja
– EU integracije i međunarodne projekte
– Strateško planiranje utjecaja na okoliš.

Uprava za zaštitu prirode utvrđena je u članku 8., dok članak 9. utvrđuje poslove i zadatke Uprave za inspekcijske poslove.

Člancima 10. i 11. utvrđena je Uprava za graditeljstvo i Zavod za prostorno uređenje.

Prema članku 10. Uprava za graditeljstvo obavlja upravne poslove i stručnoanalitičke poslove iz područja graditeljstva koji se odnose na: utvrđivanje uvjeta za projektiranje, gradnju i održavanje građevina te uporabljivost građevnih proizvoda, poslovanje Hrvatske komore arhitekata i inženjera u graditeljstvu te drugih osoba koje sudjeluju u projektiranju, gradnji i održavanju građevina, praćenje i analiziranje građevinskih i projektantskih usluga u graditeljstvu, načelne, građevne uporabne i dozvole za uklanjanje građevina, gradnju, korištenje i održavanje građevina, davanje mišljenja, objašnjenja, uputa i pripremanje odgovora na zastupnička pitanja, priprema izradu nacrta prijedloga zakona i nacrte prijedloga drugih propisa, uvođenje relevantnih smjernica Europske unije za područje graditeljstva, i obavlja druge poslove koje joj povjeri ministar.

U Upravi za graditeljstvo ustrojavaju se:

– Odjel za izdavanje dozvola
– Odjel za tehničku regulativu i ovlasnice.

Odjel za izdavanje dozvola obavlja upravne poslove i stručno-analitičke poslove iz područja graditeljstva.

Upravni poslovi koje obavlja Odjel za izdavanje dozvola jesu: izdavanje načelnih, građevnih, uporabnih i dozvola za uklanjanje građevina te provedba tehničkih pregleda građevina u nadležnosti Ministarstva, imenovanja te nadzor nad osobama ovlaštenim za poslove kontrole i nostrifikacije projekata, davanje suglasnosti za započinjanje obavljanja djelatnosti, utvrđivanje programa, provedba stručnog ispita i izdavanje uvjerenja o položenom stručnom ispitu prema Zakonu o gradnji, davanje stručnih mišljenja u žalbenim postupcima i postupcima poništenja dozvola o pravu nadzora, sudjelovanje u upravnom nadzoru koje provodi Ministarstvo, nadzor nad radom Hrvatske komore arhitekata i inženjera u graditeljstvu, vođenje službenih evidencija, prikupljanje i priprema statističkih podataka iz upravnih područja djelokruga Uprave.

Stručni poslovi koje obavlja Odjel za izdavanje dozvola jesu: praćenje primjene propisa iz područja graditeljstva i posebnih zakona, sudjelovanje u izradi stručnih podloga za utvrđivanje uvjeta za projektiranje, gradnju i održavanje građevina, davanje stručnih mišljenja, objašnjenja i tumačenja, postupanje po predstavkama i pritužbama građana, pripremanje odgovora na upite drugih tijela državne uprave i zastupnička pitanja, sudjelovanje u radu tehničkih odbora za izradu hrvatskih normi, sudjelovanje u radu mandatnih povjerenstava za područje izrade građevne-tehničke regulative i za područje odrednica za tehničke specifikacije iz područja graditeljstva, predlaže i priprema izradu nacrta prijedloga zakona i nacrta prijedloga drugih propisa, praćenje dostignuća s područja graditeljstva.

U Odjelu za izdavanje dozvola ustrojavaju se:

– Odsjek za načelne, građevne i dozvole za uklanjanje građevina
– Odsjek za uporabne dozvole, uvjerenja i suglasnosti.

Odjel za tehničku regulativu i ovlasnice obavlja upravne poslove i stručno-analitičke poslove iz područja graditeljstva.

Zavod za prostorno uređenje prema članku 11. obavlja stručne i upravne poslove provedbe politike prostornog uređenja Vlade Republike Hrvatske.

U Zavodu za prostorno uređenje ustrojavaju se:

– Odjel za istraživanje i informacijski sustav
– Odjel za opću politiku prostornog uređenja
– Odjel za sustav prostornog planiranja.

U člancima 12. do 15. utvrđeno je upravljanje organizacijama u sastavu ministarstva te okvirni broj službenika i namještenika.

SBK

## ODLUKA O NACIONALNOJ KLASIFIKACIJI DJELATNOSTI – NKD 2002

Odluka je objavljena u Narodnim novinama broj 13 od 27. siječnja 2003. godine.

Ovom Odlukom propisuje se Nacionalna klasifikacija djelatnosti – NKD 2002 s nazivima područja, potpodručja, odjeljaka, skupina, razreda i podrazreda gospodarskih i drugih djelatnosti.

U Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti označeni su:
- područja – jednoslovnom oznakom
- potpodručja – dvoslovnom oznakom
- odjeljci – dvoznamenkastom brojkom
- skupine – troznamenkastom brojkom
- razredi – četveroznamenkastom brojkom
- podrazredi – peteroznamenkastom brojkom.

Danom stupanja na snagu ove Odluke prestaje primjena Odluke o Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti (»Narodne novine«, br. 3/97. i 7/97.), osim za statističke i analitičke potrebe, za koje potrebe se primjenjuje do 31. prosinca 2003. godine.

Za elektroprivrednu djelatnost propisuje se nacionalna klasifikacija prema donjoj tabeli.

| **Područje E** | | | | **Opskrba električnom energijom, plinom i vodom** | |
|---|---|---|---|---|---|
| Odjeljak | Skupina | Razred | Podrazred | Naziv | NACE Rev. 1.1. |
| **40** | | | | **Opskrba električnom energijom, plinom, parom i toplom vodom** | |
| | 40.1 | | | Proizvodnja i distribucija električne energije | |
| | | 40.11 | | Proizvodnja električne energije | 40.11 |
| | | | 40.11.0 | Proizvodnja električne energije | |
| | | 40.12 | | Prijenos električne energije | 40.12 |
| | | | 40.12.0 | Prijenos električne energije | |
| | | 40.13 | | Distribucija i trgovina električnom energijom | 40.13 |
| | | | 40.13.0 | Distribucija i trgovina električnom energijom | |
| | 40.2 | | | Proizvodnja plina, distribucija plinovitih goriva distribucijskom mrežom | |
| | | 40.21 | | Proizvodnja plina | 40.21 |
| | | | 40.21.0 | Proizvodnja plina | |
| | | 40.22 | | Distribucija i trgovina plinovitim gorivima distribucijskom mrežom | 40.22 |
| | | | 40.22.0 | Distribucija i trgovina plinovitim gorivima distribucijskom mrežom | |
| | 40.3 | | | Opskrba parom i toplom vodom | |
| | | 40.30 | | Opskrba parom i toplom vodom | 40.30 |
| | | | 40.30.0 | Opskrba parom i toplom vodom | |

SBK

## IZMJENE I DOPUNE PRAVILNIKA O NOSTRIFIKACIJI PROJEKATA

U veljači ove godine donesen je novi **Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o nostrifikaciji projekata**. Izmjene se odnose na Pravilnik o nostrifikaciji projekata objavljen u Narodnim novinama broj 98/99. Izmjene i dopune objavljene su u Narodnim novinama broj 29 od 26. veljače 2003. godine.

Izmjene i dopune odnose se na članke 13., 14. i 15. Pravilnika o nostrifikaciji projekata.

Prema članku 2. Izmjena mijenja se postojeći tekst članka 13. u broju zaposlenih i njihovoj kvalifikaciji i dopunjuje novim tekstom, pojašnjavajući radno iskustvo i nadležnosti Stručnog odbora za poslove nostrifikacije. Tako kompletna izmjena, odnosno **članak 13. glasi**:

**«(1) Ovlaštenje za nostrifikaciju za jedno ili više područja projektiranja daje se pravnoj osobi registriranoj za projektiranje koja ima uposlena najmanje dva ovlaštena arhitekta i/ili dva ovlaštena inženjera iste struke za koje se područje ovlaštenje traži s najmanje deset godina radnog iskustva u projektiranju i koji su projektirali građevine osobite složenosti.**

**(2) Radnim iskustvom u projektiranju u smislu ovog Pravilnika smatra se radno iskustvo stečeno u projektiranju u svojstvu projektanta, glavnog projektanta, odnosno projektanta voditelja, koordinatora projekta ili odgovornog projektanta prema propisima koji su važili prije početka primjene Zakona o gradnji (»Narodne novine«, broj 52/99, 75/99 i 117/01).**

**(3) O stupnju složenosti građevina Stručni odbor za poslove nostrifikacije odlučuje u postupku davanja mišljenja«.**

Prema članku 3. Izmjena se odnosi na članak 14. stavak 2 podstavak 3. u zahtjevima za davanje i produženje ovlaštenja za nostrifikaciju.

Umjesto postojećeg teksta: "**3.** *popis uposlenih ovlaštenih projektanata s popisom značajnih projekata i radova u čijoj su izradi sudjelovali* " novi tekst glasi:

**»3. Popis uposlenih ovlaštenih arhitekata i/ili ovlaštenih inženjera s popisom značajnih projekata koje su izradili u svojstvu projektanta, glavnog projektanta, odnosno projektanta voditelja, koordinatora projekta ili odgovornog projektanta«.**

Iza ovog podstavka dodaju se novi podstavci 4. i 5. koji glase:

**»4. Dokaz o upisu ovlaštenih arhitekata ili ovlaštenih inženjera u Imenik ovlaštenih arhitekata i/ili imenike ovlaštenih inženjera Hrvatske komore arhitekata i inženjera u graditeljstvu.**

**5. Dokaz da su ovlašteni arhitekti i/ili ovlašteni inženjeri uposleni u pravnoj osobi koja je podnijela zahtjev za ovlaštenje za nostrifikaciju.«**

Iza podstavka 4. koji postaje podstavak 6. dodaje se novi podstavak 7. koji glasi: **»7. i druge dokaze po potrebi«.**

Prema članku 4. Izmjena mijenja se članak 15., pa se umjesto riječi "*ministar prostornog uređenja, graditeljstva i stanovanja*" zamjenjuje riječima

**"ministar zaštite okoliša i prostornog uređenja"**

Osim toga u istom članku iza stavka 4. dodaju se novi stavci 5. i 6. koji glase:

**»(5) Ministarstvo vodi evidenciju o danim ovlaštenjima za nostrifikaciju i odbijenim zahtjevima za davanje i produženje ovlaštenja za nostrifikaciju.**

**(6) Popis ovlaštenih pravnih osoba za nostrifikaciju objavljuje se u »Narodnim novinama«.**

Članak 5. ovih Izmjena utvrđuje **da postupak pokrenut po odredbama Pravilnika o nostrifikaciji projekata (»Narodne novine«, broj 98/99) do stupanja na snagu ovoga Pravilnika dovršit će se po odredbama ovoga Pravilnika.**

SBK

## IZ NACIONALNOG PROGRAMA ZA PRIDRUŽIVANJE EUROPSKOJ UNIJI

U Narodnim novinama broj 30 od 27. veljače 2003. godine objavljen je **Nacionalni program Republike Hrvatske za pridruživanje Europskoj uniji 2003. godine.**

Od potpisivanja Sporazuma o stabilnosti i pridruživanju (SSP) u listopadu 2001. godine Vlada Republike Hrvatske počela je ispunjavati preuzete obveze. Donesen je Plan provedbe SSP-a, čija je svrha osiguranje sustavne provedbe niza politika kojima se potiču reforme sadržane u SSP-u i u Privremenom Sporazumu. Plan je glavni instrument planiranja, praćenja i izvješćivanja o provedbi SSP-a za cijelo razdoblje do 2006. godine. Dokument trenutno obuhvaća više od 370 zakonodavnih, analitičkih, institucionalnih mjera te mjera vezanih uz pripremu projekata za tehničku pomoć. Kako bi se osiguralo pravodobno ostvarenje Plana, uspostavljeni su i mehanizmi za praćenje i izvješćivanje.

Kako bi se ostvarili postavljeni ciljevi, nužno je izraditi cjelovitu strategiju približavanja Europskoj uniji, koja će buduće članstvo u EU tretirati ne samo kao cilj, već i kao sredstvo čija je zadaća ubrzati i učiniti kvalitetnim sve prilagodbe. Takav pristup prihvaćen je u Nacionalnom programu RH za pridruživanje Europskoj uniji.

Određivanje prioriteta u Nacionalnom programu temelji se na nekoliko izvora:

- Operativni plan provođenja Programa Vlade RH 2002. – 2003.
- Sporazum o stabilizaciji i pridruživanju
- Plan provedbe sporazuma
- Ocjena napretka RH iz Izvješća Europske komisije
- Suradnja s Delegacijom Europske komisije u RH i dr.

Na taj način Nacionalni program odražava spremnost RH da, putem provedbe konkretnih mjera, ostvari kartkoročne i srednjoročne prioritete u procesu približavanja Europskoj uniji, s naglaskom na 2003. godinu.

Shodno situaciji Nacionalni program usmjeren je na nekoliko tema:

- Ispunjavanje političkih uvjetovanih kriterija
- Gospodarske prilagodbe
- Usklađivanje zakonodavstva RH
- Jačanje administrativne sposobnosti za provedbu reformi
- Komunikacijska strategija RH za informiranje hrvatske javnosti o približavanju europskim integracijama.

U petom poglavlju Nacionalnog programa sadržane su gospodarske prilagodbe. Glavni makroekonomski ciljevi u srednjoročnom i dugoročnom razdoblju su:

- porast zapošljavanja, odnosno smanjenje nezaposlenosti
- porast životnog standarda.

SBK

## KAKO ĆE IZGLEDATI SVJETSKI ELEKTROENERGETSKI SUSTAV 2020. ?

Na ovo pitanje nije lako dati odgovor. Treba imati na umu da se neće postići isto u razvijenim zemljama (zemlje OECD-a), zemljama u razvoju i zemljama u tranziciji. Prema potrošnji električne energije razvijene zemlje i zemlje u razvoju obuhvaćaju oko 90 %, dok na zemlje u tranziciji otpada oko 10 % od ukupne svjetske potrošnje.

Elektroenergetsku infrastrukturu u zemljama OECD-a čine prilično veliki elektroenergetski sustavi s prilično starim proizvodnim i prijenosnim kapacitetima. Tako npr. 1990. godine proizvodni kapaciteti stariji od 30 godina čine oko 12 % od ukupnih kapaciteta OECD zemalja. Taj udio u 2000. godini porastao je na 31 %. Danas se predviđa da će taj udio u 2010. godini iznositi 50 %. Istodobno će udio proizvodnje električne energije u elektranama s fosilnim gorivom s prosječnom termičkom efikasnošću od 35 % iznositi oko 65 %. Da bi se povećala efikasnost bit će potrebno obaviti rekonstrukcije i zamjene efikasnijom opremom.

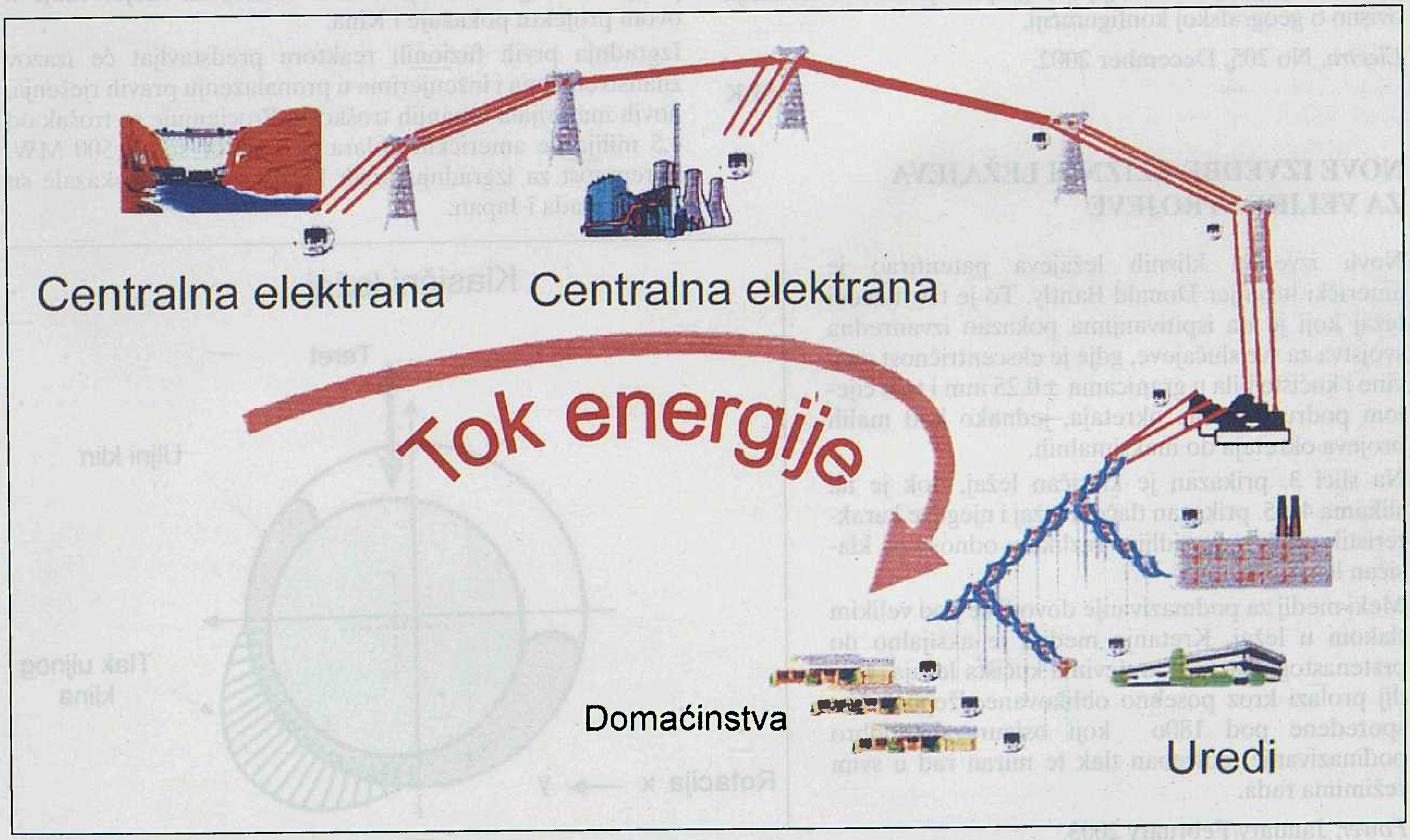
Kod prijenosa je sličan slučaj samo s još starijim postrojenjima. I ovdje je potrebno obaviti rekonstrukcije i zamjene. Uza povećanje energetske efikasnosti, potrebno je postići i određene standarde utjecaja na okoliš. Uza sve to ne smije se izostaviti i liberalizacija elektroenergetskog tržišta i problemi koje treba riješiti (prekogranični prijenos itd.).

U zemljama u razvoju promoviraju se programi elektrifikacije. Porast potrošnje električne energije važan je čimbenik koji će utjecati na trendove, naročito urbanizacije. Predviđa se da će urbana populacija u zemljama u razvoju rasti od 2,1 do 3,5 milijarde između 2000. i 2020. godine. Elektroenergetska infrastruktura u zemljama u razvoju relativno je mlada. Tako npr. 1990. godine udio proizvodnih kapaciteta stariji od 30 godine iznosi 5 %. U 2000. godini taj udio porastao je na 16 %, dok se za 2010. godinu predviđa njihov udio oko 27 %. Istodobno će proizvodni kapaciteti na fosilna goriva sudjelovati s oko 73 %.

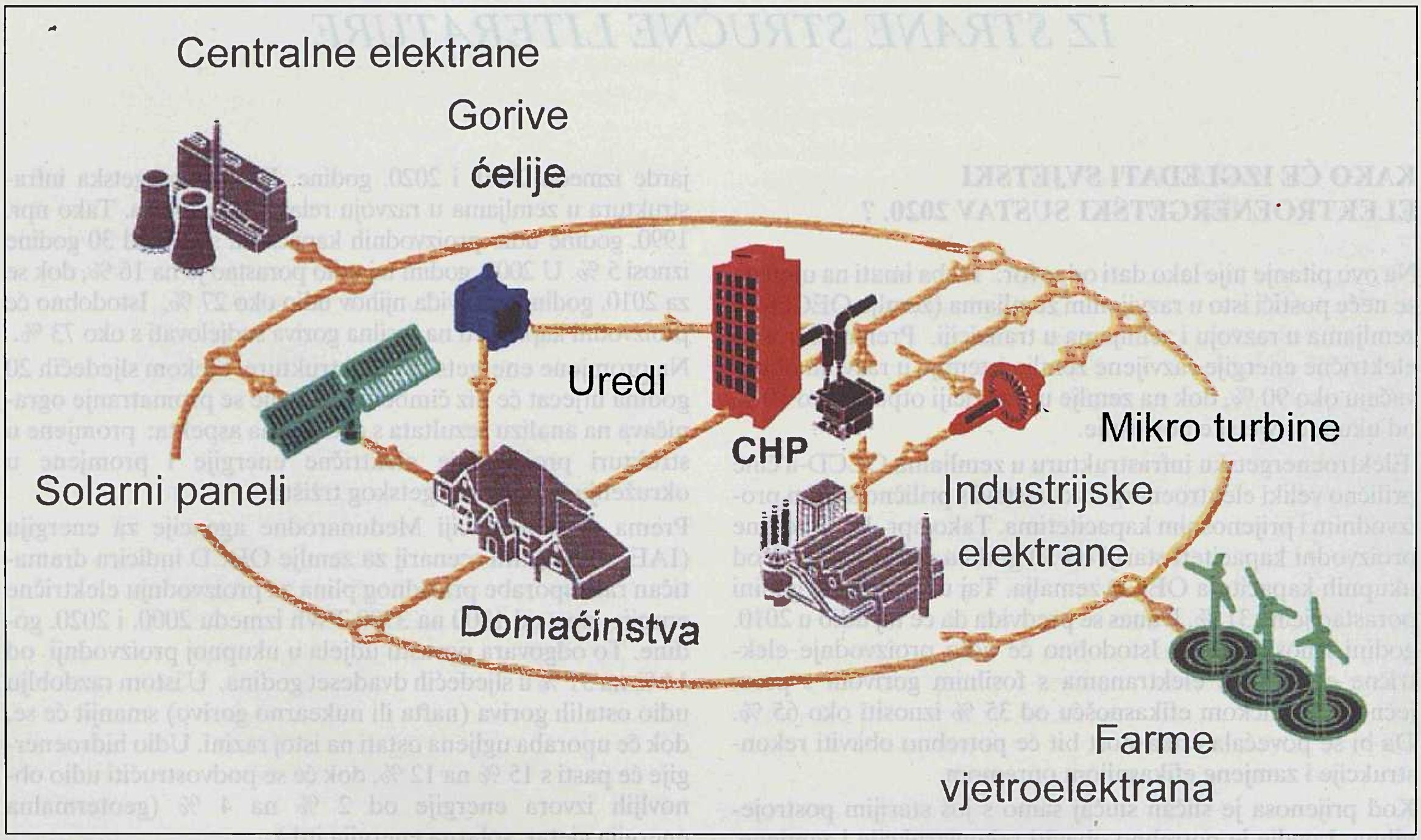
Na promjene energetske infrastrukture tijekom sljedećih 20 godina utjecat će niz čimbenika. Ovdje se promatranje ograničava na analizu rezultata s dva glavna aspekta: promjene u strukturi proizvodnje električne energije i promjene u okruženju elektroenergetskog tržišta.

Prema dokumentaciji Međunarodne agencije za energiju (IAE), referentni scenarij za zemlje OECD indicira dramatičan rast uporabe prirodnog plina za proizvodnju električne enrgije, npr. od 1200 na 3700 TWh između 2000. i 2020. godine. To odgovara porastu udjela u ukupnoj proizvodnji od 14 % na 31 % u sljedećih dvadeset godina. U istom razdoblju udio ostalih goriva (nafta ili nukearno gorivo) smanjit će se, dok će uporaba ugljena ostati na istoj razini. Udio hidroenergije će pasti s 15 % na 12 %, dok će se podvostručiti udio obnovljih izvora energije od 2 % na 4 % (geotermalna energija,vjetar, solarna energija itd.).

Predviđa se da bi u 2002. godini bila moguća dva scenarija elektroenergetskog sustava. Prema prvom scenariju, još uvijek bi prevladala centralizirana proizvodnja električne energije. Taj scenarij bi se mogao nazvati distributivnim scenarijem (distribution scenario), jer se s jednog centraliziranog mjesta upravlja elektroenergetskim sustavom. Tok energije je preko prijenosne i distribucijske mreže do potrošča kako je prikazano na slici 1.




**Slika 1.**




**Slika 2.**

Drugi scenarij (mixtribution scenario) prema slici 2. karakteriziraju energetski sustavi s 20 do 30 % distribuirane proizvodnje, dok preostali dio čini centralizirana proizvodnja. Proizvodne jedinice su priključene na distribucijsku mrežu, pa su i tokovi energije kratki.

I jedan i drugi scenarij mogu se primijeniti i za zemlju i za regiju. Velike geografske regije mogu primijeniti oba scenarija ovisno o geografskoj konfiguraciji.

*Electra,* No 205, December 2002.

SBK

## NOVE IZVEDBE KLIZNIH LEŽAJEVA ZA VELIKE STROJEVE

Novu izvedbu kliznih ležajeva patentirao je američki inženjer Donald Bantly. To je tzv. tlačeni ležaj koji je na ispitivanjima pokazao izvanredna svojstva za sve slučajeve, gdje je ekscentričnost osovine i kućišta bila u granicama ±0,25 mm i to u cijelom području broja okretaja, jednako kod malih brojeva okretaja do maksimalnih.

Na slici 3. prikazan je klasičan ležaj, dok je na slikama 4. i 5. prikazan tlačeni ležaj i njegove karakteristike iz čega je vidljiva razlika u odnosu na klasičan ležaj.

Meki medij za podmazivanje dovodi se pod velikim tlakom u ležaj. Kretanje medija je aksijalno do prstenastog izlaza na krajevima kućišta ležaja. Medij prolazi kroz posebno oblikovane džepove, raspoređene pod 180o koji osiguravaju dobro podmazivanje, potreban tlak te miran rad u svim režimima rada.

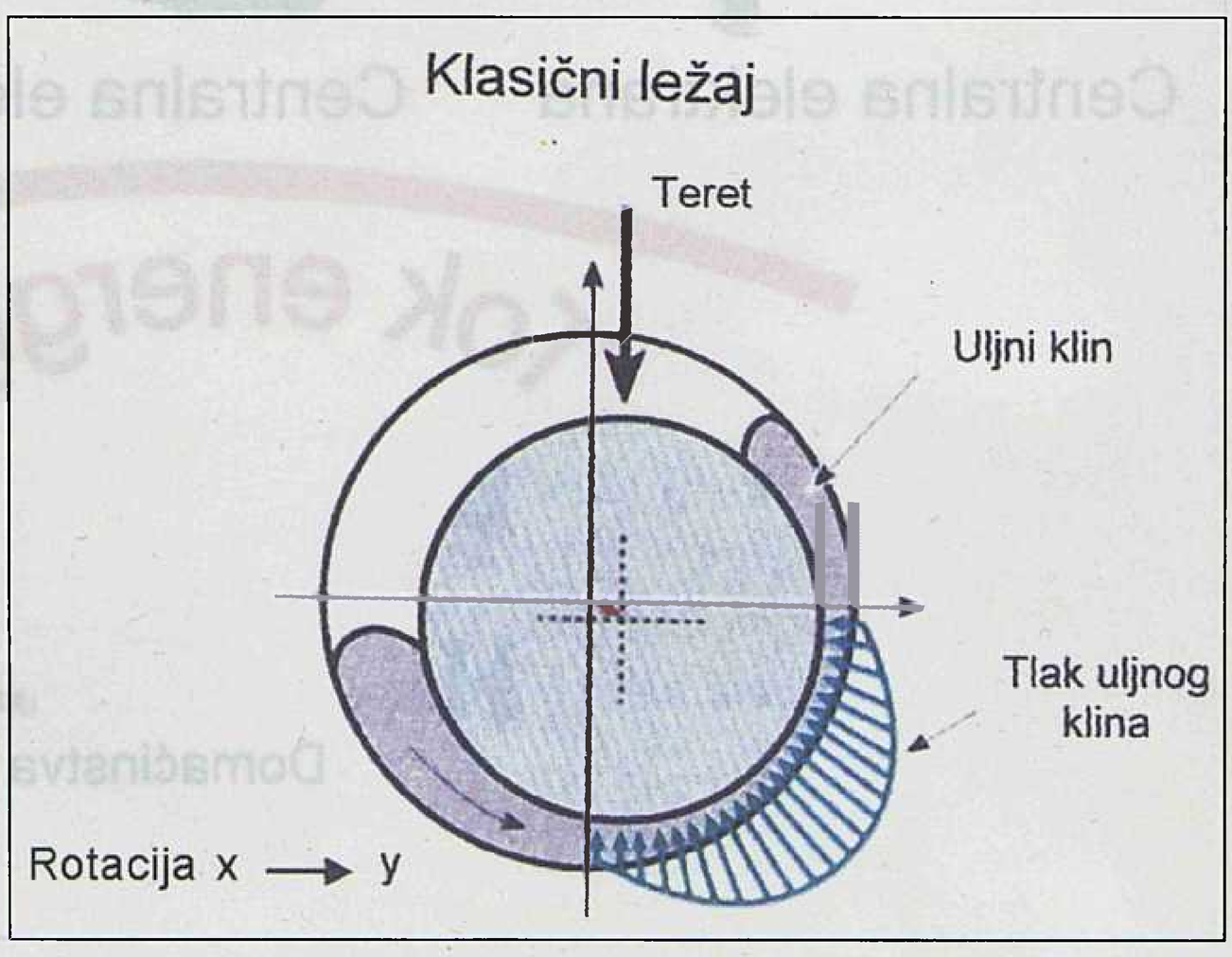
*Power,* January/February 2003.

SBK

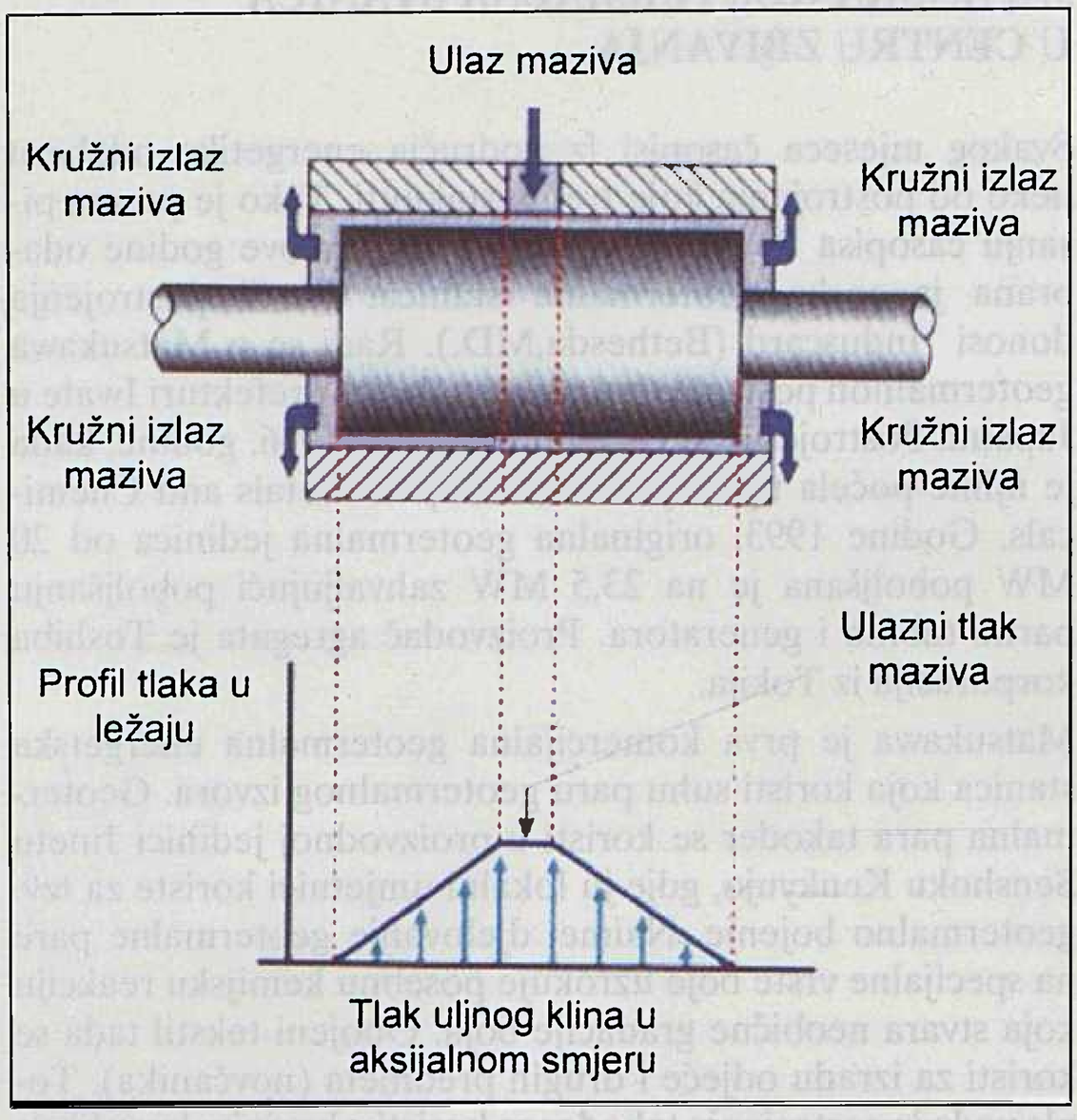
## ENERGIJA BUDUĆNOSTI – FUZIJA

U srpnju 2001. godine, nakon četiri desetljeća napornih istraživanja i pokusa, završena je projektna dokumentacija za prvi međunarodni nuklearni reaktor ITER. U projektu su sudjelovali EU, Rusija, Japan, Kanada, SAD te mnoge kompanije iz drugih zemalja. Veliki interes za sudjelovanje u ovom projektu pokazuje i Kina.

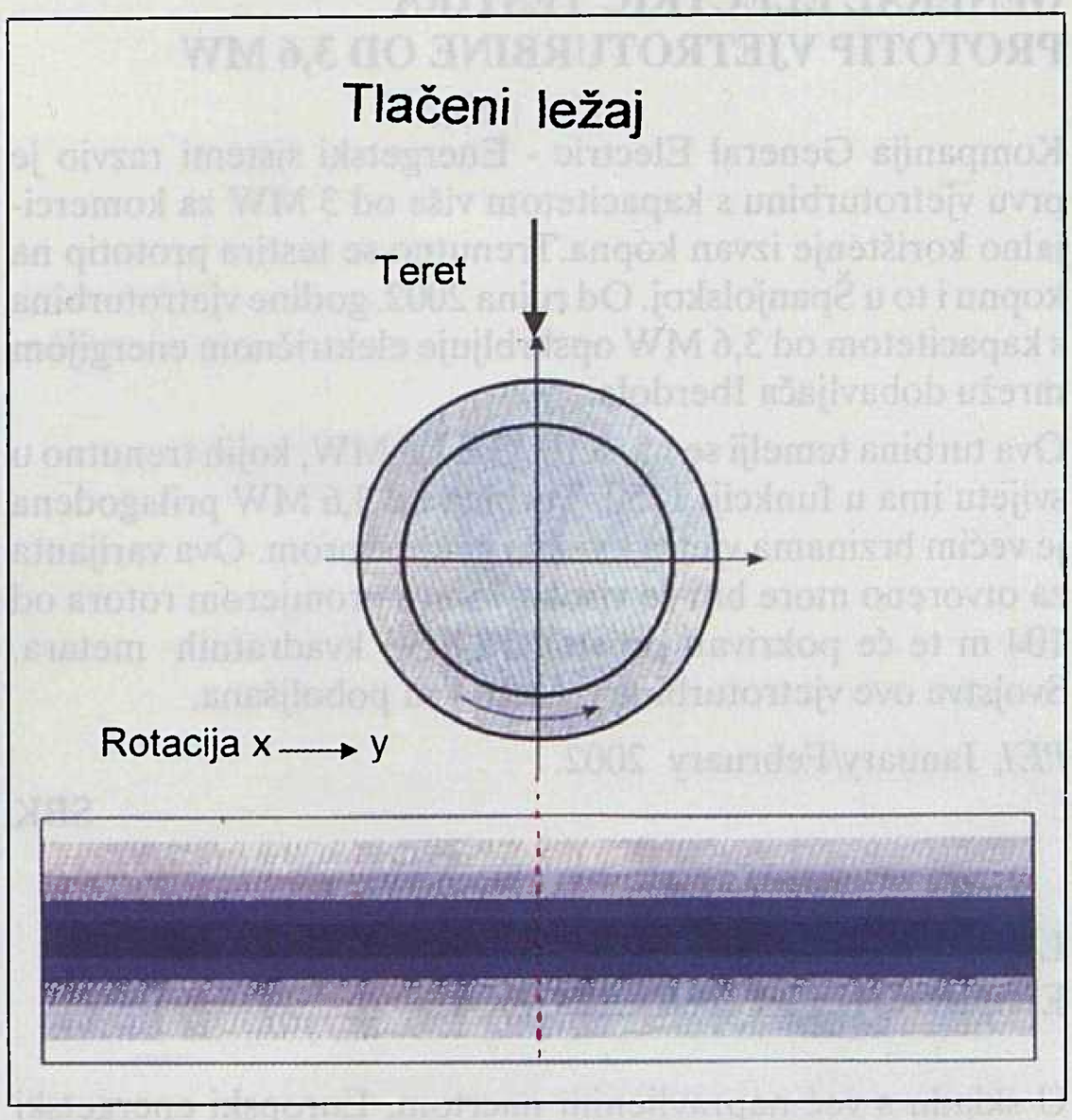
Izgradnja prvih fuzionih reaktora predstavljat će izazov znanstvenicima i inženjerima u pronalaženju pravih rješenja, novih materijala i manjih troškova. Procjenjuje se trošak od 4,5 milijarde američkih dolara za reaktor snage 500 MW. Spremnost za izgradnju prvih ITER reaktora pokazale su EU, Kanada i Japan.




**Slika 3.**




**Slika 4.**




**Slika 5.**

Što pokazuju činjenice?

– **Tehnička izvedivost** – Proizvodnja energije fuzijom demonstrirana je kroz eksperimentalni reaktor od 16 MW. Ovaj pokusni reaktor potvrdio je njegovu tehničku izvedivost te komercijalnu uporabu. No, u opearacionalizaciji projektiranog reaktora nužna su poboljšanja te pronalaženje novih materijala visoko otpornih na zračenje nisko aktivnih djelovanja neutrona. Sada projektirani materijali osiguravaju životni vijek reaktora od 10 do 20 godina.
– **Sigurnost** – Studije su pokazale da je fuzija u vrlo visokom stupnju sigurna za ljude i okoliš. Iniciranje i održavanje fuzione reakcije zahtijeva podržavanje velikog broja uvjeta i uređaja koji mogu kontrolirano prekinuti reakciju u slučaju potrebe. Količina energije koja se nalazi u fuzionom reaktoru nije dovoljna za havariju većih razmjera. Nuklearna reakcija odvija se između radioaktivnog deuterija i radioaktivnog tricija. Količina tricija u reaktoru je nedovoljna za veću havariju (poluvrijeme raspadanja tricija 12 godina.) Na kraju fuziono gorivo nije predmet uporabe u nuklearnom oružju, što umanjuje opasnost od terorističkog djelovanja.
– **Okoliš** – Za vrijeme rada fuzioni reaktor ne proizvodi staklenčke plinove i nema radioaktivnih ni toksičnih tvari. Unutrašnji zid reaktorske posude na koji djeluju neutroni može se reciklirati kao neopasan otpad nakon nekoliko desetljeća. Za očekivati je da će tijekom razvoja biti pronađeni novi materijali za zid posude reaktora koji će biti manje osjetljivi na utjecaj emisije neutrona.
– **Sigurnost u opskrbi** – Tricij, gorivo za fuziju uz deuterij, nastaje u samom reaktoru od litija. Litij je vrlo rasprostranjen u prirodi i ima nisku cijenu. Jedan nuklearni reaktor od 1000 MW, za jednu godinu rada, treba 100 kg deuterija i 4 tone litija, što odgovara energiji iz 2,1 milijun tona ugljena ili 10 milijuna barela nafte ili 100 tona urana.
– **Ekonomičnost** – Modeliranjem cijene reaktora te troškovima zaštite okoliša i održavanja došlo se do podatka da će cijena električne energije iz fuzionog reaktora biti konkurentna cijeni energije iz drugih izvora. Posebno ne treba gubiti iz vida dvije činjenice:

– Prvi reaktori potaknut će industriju na pronalaženje novih materijala koji će produžiti životni vijek reaktorske posude na 35 do 40 godina
– Izvori klasične energije (ugljen i nafta) postatajat će sve skuplji kako se budu smanjivale njihove rezerve.
– Društvena prihvatljivost – Rasti će u onoj mjeri u kojoj će odgovorna državna i društvena tijela upoznati stanovništvo s činjenicama dobivanja energije od fuzije.

Glavno pitanje koje se danas postavlja je, kada će energiju fuzije biti moguće koristiti u komercijalne svrhe. Gradnja prva tri do četiri ITER reaktora od 500 MW potrajat će oko deset godina, s vijekom eksploatacije od 10 do 20 godina. Realno je očekivati da će se poboljšanjima radni vijek produžiti na 35 godina. Proces eksploatacije ITER-ovih reaktora rezultirat će potpuno novom generacijom fuzionih reaktora koji će na širem planu biti spremni za proizvodnju energije oko 2050. godine.

Zašto je to još uvijek tako daleko? Prva istraživanja započeta su 1960. godine. Trebalo je rješavati teoretske postavke fizike plazme, jakih magnetskih polja itd. Danas je budućnost projekta na inženjerima koji trebaju razviti nove materijale te rješavati niz praktičnih tehnoloških problema. Naravno, treba osigurati i visoka ulaganja, približno 4 milijarde američkih dolara za jednu jedinicu.

Zašto ulagati u energiju fuzije? Evo, zašto:

– ne zagađuje zrak i okoliš
– ne proizvodi staklenčke plinove
– u slučaju havarije utjecaj na okoliš je vrlo ograničen
– svi se korišteni materijali mogu reciklirati, materijal reaktora je moguće reciklirati kao bezopasan otpad nakon 30 do 40 godina
– nuklearno gorivo ima poluvijek raspada 12 godina te otpada potreba za specijalnim skladištima, za usporedbu plutonij iz atomskih (fizionih) reaktora ima poluvijek raspada 6.000 godina (vrijeme čuvanja otpada).

*ETPC Paper,* No 01/2003. (www.iea.org)

SBK

## GENERAL ELECTRIC TESTIRA PROTOTIP VJETROTURBINE OD 3,6 MW

Kompanija General Electric - Energetski sistemi razvio je prvu vjetroturbinu s kapacitetom više od 3 MW za komercijalno korištenje izvan kopna.Trenutno se testira prototip na kopnu i to u Španjolskoj. Od rujna 2002. godine vjetroturbina s kapacitetom od 3,6 MW opskrbljuje električnom energijom mrežu dobavljača Iberdola.

Ova turbina temelji se na seriji GE 1,5 MW, kojih trenutno u svijetu ima u funkciji 1150. Turbina od 3,6 MW prilagođena je većim brzinama vjetra s većim generatorom. Ova varijanta za otvoreno more biti će visoka 75 m s promjerom rotora od 104 m te će pokrivati prostor od 8495 kvadratnih metara. Svojstva ove vjetroturbine izuzetno su poboljšana.

*PEI,* January/February 2002.

SBK

## LIBERALIZACIJA TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE I PLINA U EUROPI

U skladu s već napravljenim nacrtom, Europski energetski savjet dogovorio se 25. studenog 2002. godine oko pitanja vezanih za liberalizaciju tržišta plina i električne energije. Ranije, iste godine, Energetsko vijeće sastalo se u Barceloni zajedno s ministrima za energiju Europske unije, kada su se dogovorili o pridržavanju preuzetih obveza. Države članice imaju 15 mjeseci za provođenje legislativnog paketa u svojoj zemlji.

Glavne točke dogovora bile su:

- Krajnji rok za liberalizaciju tržišta EU za električnu energiju i plin za komercijalne korisnike je srpanj 2004. godine
- Krajnji rok za liberalizaciju tržišta EU za električnu energiju i plin za sve ostale korisnike uključujući kućanstva je srpanj 2007. godine
- Pravno razdvajanje između proizvođača električne energije i operatora mreže mora se učiniti do srpnja 2007. godine
- U siječnju 2006. godine Europska komisija će izraditi izvješće o primjeni direktive te predložiti nužne promjene
- Prilaz rezervama plina bit će reguliran temeljem pregovora
- Obveza da se energija dopremi po razumnim cijenama primijieniti će se na sve potrošače – kućanstva, ali postoji mogućnost da se to proširi i na mala i srednja poduzeća
- Regulatorno tijelo država članica bit će odgovorno za određivanje troškova distribucije i za osiguranje provođenja odluka
- Regulacija uvjeta za pristup električnoj mreži bit će provedena do srpnja 2004. godine.

Ovaj je dogovor došao u pravom trenutku za Veliku Britaniju, pogotovo onaj dio vezan za odgovor na nedavni konzultacijski memorandum o brizi za cijenu plina i moguće promjene u efikasnosti tržišta, koji je objavila tvrtka DTI 14. listopada 2002. godine. DTI shvaća utjecaj cijene plina na konkurentnost industrije te vjeruje da bi daljnja liberalizacija tržišta pline i električne energije u EU donijele znatne dobrobiti i za industriju i za potrošače kroz povećanu konkurentnost. Stoga DTI podržava akciju Energetskog Vijeća.

*Energy Markets,* January 2003.

SBK

## JAPANSKA GEOTERMALNA STANICA U CENTRU ZBIVANJA

Svakog mjeseca časopisi iz područja energetike odaberu neko od postrojenja koje treba istaknuti. Tako je prema pisanju časopisa Power za siječanj i veljaču ove godine odabrana japanska geotermalna stanica. Profil postrojenja donosi Induscard (Bethesda,MD.). Radi se o Matsukawa geotermalnon postrojenju koje se nalazi u prefekturi Iwate u Japanu. Postrojenje je započelo s radom 1966. godine, kada je njime počela upravljati tvrtka Japan Metals and Chemicals. Godine 1993. originalna geotermalna jedinica od 20 MW poboljšana je na 23,5 MW zahvaljujući poboljšanju parne tubine i generatora. Proizvođač agregata je Toshiba korporacija iz Tokija.

Matsukawa je prva komercijalna geotermalna energetska stanica koja koristi suhu paru geotermalnog izvora. Geotermalna para također se koristi u proizvodnoj jedinici Jinetu Senshoku Kenkyujo, gdje ju lokalni umjetnici koriste za tzv. geotermalno bojenje. Naime, djelovanje geotermalne pare na specijalne vrste boje uzrokuje posebnu kemijsku reakciju koja stvara neobične gradacije boja. Obojeni tekstil tada se koristi za izradu odjeće i drugih predmeta (novčanika). Topla voda iz postrojenja također se koristi u brojnim kupeljima u području oko Hachimamantaia i planine Iwate u sjevernom Tohokuju.

*Power,* January/February 2003.

SBK

## PRIKLJUČIVANJE SUSTAVA GORIVIH ĆELIJA NA LOKALNU MREŽU

Istraživački centar iz Houstona nedavno je objavio uključivanje stanice gorivih ćelija od 5 kW u lokalnu mrežu. Stanicu je izradila kompanija Plug Power. Vjeruje se da je to prvi veliki sustav za razmjenu energije u Texasu koji je priključen na mrežu javne korporacije.

Trenutno Istraživački centar testira sustav kao dio demonstracijskog projekta. Svrha ovog testiranja je da se prouči mogu li kućanstva u budućnosti sigurno proizvoditi vlastitu energiju te na taj način postići smanjenje emisije štetnih plinova.

*Power,* January/February 2003.

SBK

## NACIJE EUROPSKE UNIJE SUGLASNE OKO OTVARANJA TRŽIŠTA ENERGIJE

Ministri za energiju Europske unije, na sastanku u Bruxelesu, postigli su dogovor da se dopusti kućanstvima u EU da sami odaberu svoje dobavljače električne energije i plina od srpnja 2007. godine. Datum koji je dogovoren za liberalizaciju domaćeg tržišta energije, pomaknut je za 2 godine u odnosu na početni rok.

EU je pregovarala 10 godina da bi postigla dogovor oko otvaranja energetskog tržišta. Francuska vlada, koja se borila kako bi sačuvala monopol tvrke Electricite de France, utvrdila je da je potrebno više vremena za procjenu efekata liberalizacije energetskog sektora na cijenu i kvalitetu usluge prije, nego što se prijeđe na sektor kućanstava. Francuska se nalazi pod velikim pritiskom da prihvati kompromis.

Predsjednik Komisije EU Romano Prodi upozorio je na činjenicu da propast otvorenog tržišta energije može koštati europko gospodarstvo 15 milijardi eura godišnje.

Pozicija Francuske promijenila se nakon izbora dolaskom nove vladom desnog centra, koja oprezno favorizira više konkurentnosti u ovom sektoru.

Zahvaljujući Njemačkoj usporeno je odvajanje proizvodnje i prodaje od distribucije električne enrgije.

*Power Energy International,* December 2002.

SBK

## NOVA OTKRIĆA NA PODRUČJU GORIVIH ĆELIJA

Američki istaživači gorivih ćelija izradili su pouzdanu gorivu ćeliju na bazi čvrstog oksida (SOFC) za koju tvrde da može proizvesti električnu energiju jednako efikasno i jeftino kao i plinska tubina.

Istraživački tim iz laboratorija Berkeley tvrdi da se približavaju granici cijene od 400 dolara po KW.

Novi pronalazak ima umjesto keramičkih elektroda nehrđajuće čelične elektrode koje su snažne, lagane, jednostavne za proizvodnju i jeftine. Zbog toga vlada povećana potražnja ovih ćelija u razvoju komercijalno održivih postrojenja za proizvodnju gorivih ćelija.

*PEI,* December 2002.

SBK

## BUGARSKA OSNAŽUJE PRIJENOSNE VEZE S TURSKOM

Dovršenje druge 400 kV prijenosne veze Sakar između Bugarske i Turske predstavlja pojačanje veza između dvije države. Ova veza povećat će razmjenu električne energije i osigurati Bugarskoj izvoz električne energije u Tursku.

Trenutna vrijednost izvoza je 4000 miliona kWh godišnje. Prijenosna veza, duga 150 km, spaja elektranu Maritsa Iztok 3 u Bugarskoj s postrojenjem Hamitabata u Turskoj.

Sakar linija također će pomoći da se osigura pouzdano funkcioniranje turske električne mreže paralelno s europskim elektroenergetskim sustavom.

*PEI,* November 2002.

SBK

## MAĐARSKA PRODAJE PREKOGRANIČNA PRAVA

Mađarski operator sustava (Mavir) (u državnom vlasništvu) objavio je mogućnost prodaje prava korištenja viška mađarskih prekograničnih prijenosnih kkapaciteta. Ova ponuda označava prvi korak u djelomičnoj liberalizaciji. Ova akcija se može promatrati kao proba za buduće sustave aukcije.

Operator mreže očekuje veliki interes mogućih ponuđača kao što su lokalne podružnice njemačkih kompanija RWE i EON te francuske tvrtke EdF koje su najveće energetske grupe u zemlji.

Prava, da se koriste prekogranični kapaciteti, omogućit će uvoz i tranzit električne energije u tri od sedam mađarskih susjeda: Austriju, Slovačku i Hrvatsku.

*PEI,* January/February 2003.

SBK

## KAKVA JE PERSPEKTIVA NOVOG GOSPODARSTVA?

Novo gospodarstvo je u krizi te treba preispitati koje su to vrijednosti koje je ono donijelo. Zaključuje to predsjednik francuskog nacionalnog komiteta CIGRE.

Prije donošenja bilo kakvog zaključka potrebno je preispitati samu definiciju novog gospodarstva te u kakvom je odnosu s prijašnjim gospodarstvom.

Ako se koristi u najširem smislu, izraz novo gospodarstvo ne dozvoljava jednostavnu podjelu između tvrtki koje pripadaju novom gospodarstvu i onih koje pripadaju svijetu bivšeg gospodarstva.

Postoji li granica između gospodarstva temeljenog na informacijskoj i komunikacijskoj tehnologiji (ICT gospodarstvo) i gospodarstva temeljenog na tehnologijama koje se smatraju više tradicionalne? Na ovo pitanje svakako bi trebala naći odgovor industrija, energetska infrastruktura i prometne usluge.

Kada se pobliže promotri situacija može se primijetiti da informacijska i komunikacijska tehnologija ulazi i poboljšava sve sektore ljudske aktivnosti (projektiranje, proizvodnja). Da bi se proizvod stavio na tržište, potrebno je da se može integrirati u neprekinuti komunikacijski lanac unutar organizacijske hijerarhije.

To je bio povod da je francusko udrzuženje industrije GIMELEC Industries definiralo tri razine interpretacije odnosa između tradicionalnih tehnika i komunikacijskih tehnologija.

Sva energetska oprema te prometna infrastruktura, industrijski procesi ili bilo kakva oprema za tercijarni sektor prvenstveno se uzdaju u znanost i tehnologiju materijala. Potrebno je samo integrirati tehnološku inteligenciju u opremu i omogućiti joj komunikaciju.

Prva razina uvođenja komunikacijske tehnologije nazvana je **nova energetska i komunikacijska tehnologija** (NETC) koja omogućava praćenje vlastitog stanja opreme i postavljanja dijagnoze (motori, turbine, generatori, prekidači itd.).

Prijenos informacija na višu razinu omogućit će upravljanje održavanjem i troškovima, a također optmizirano korištenje opreme.

Druga razina nazvana **nova automatska i komunikacijska tehnologija (NACT)** sastoji se od integracije komunikacijske tehnologije u kompleksniji automatski sustav (energetska stanica, električna podstanica, itd.). NACT je operativni centar komleksnog procesa. Komunikacijska tehnologija poboljšava tehničke peformanse, a utječe i na investiranje u gospodarstvo.

Treća razina tzv. **nova informacijska i komunikacijska tehnologija (NICT)** nalazi svoju primjenu na području teleodržavanja, održavanja mreža (voda, plin, električna energija), regulacije cestovne i željezničke mreže, elektronskog tržišta itd. NITC je alat za povezivanje između područja fizičkih procesa i procesuiranja podataka i potrošača.

Na području električne energije može se utvrditi da će zbog povećanja efikasnosti otvaranje tržišta biti moguće samo kada se ispune tri osnovna uvijeta:

- Nužan regulativni okvir
- Adaptacija proizvodnje i prijenosne infrastrukture
- Kontrola i sustav korištenja podataka moraju omogućiti balansiranje tržišta s procesima proizvodnje, prijenosa, distribucije i potrošnje električne energije.

Informacijska i komunikacijska tehnologija potpuno su promijenile organizacijske , proizvodne i marketinške metode.

Zahvaljujući visokom protoku informacija te projektiranju pomoću računala omogućuje se timovima odvojenim tisuće kilometara da rade zajedno na istim projektima u realnom vremenu.

Proizvodnja, potpomognuta računalima, omogućuje upravljačkoj strukturi praćenje fizičkih tokova materijala kao i organizaciju i proizvodnju temeljenu na pogonima koji su dislocirani. Razvoj e-mreže izbrisao je prostorne i vremenske granice. I to je još jedna karakteristika novog gospodarstva.

Za zemlje koje su trenutno u fazi rekonstruiranja vlastitih industrijskih procesa, ove promjene predstavljaju izvanredne mogućnosti za uključivanje u vodeću svjetsku industriju. Primjer za to su Japan, Meksko,Tajvan, Južna Koreja te odnedavno Malezija.

Novo gospodarstvo ima budućnost , jer je njezina pokretačka snaga znanost i tehnologija.

*Electra,* broj 205, prosinac 2002.

SBK

## PRVO PLOVEĆE NUKLEARNO POSTROJENJE

Rusija kreće u izgradnju prvog plovećeg nuklearnog postrojenja. Bit će prva zemlja koja će izgraditi ploveću nuklearnu elektranu do 2008. godine. Za tu svrhu gradi se brod u sjevernoj regiji Arkhangelska. S instaliranim kapacitetom od 70 MW moći će opskrbljivati grad Severodvinsk s 250 tisuća stanovnika. Predviđa se da će troškovi izgradnje ovog postrojenja iznositi između 100 i 200 milijuna američkih dolara. Izgradnja će trajati između 4 i 5 godina.

Postrojenje će biti smješteno na otvorenom moru s mogućnošću premještanja u slučaju potrebe. Takve nuklearne elektrane opskrbljivat će u bližoj budućnosti više ruskih regija uključujući Sakhalin i Kamchatku.

Za ovu tehnologiju zainteresirana je i Kina.

*Power Engineering International,* December 2002.

SBK

*Energija*

Godište 52 (2003) Br. 2

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

ENERGIJA 1430

UDK 621.0.310:621.391.22
PREGLEDNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/2, 151 – 158

## PREGLED KARAKTERISTIKA ŠUMA NA PLC MEDIJU

*Mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.*

HEP Prijenos d.o.o., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

Daje se pregled dosadašnjih spoznaja o šumu prisutnom na PLC mediju, bilo na vanjskoj ili unutarnjoj mreži, baziran na literaturi [1 – 12]. Poznavanje svojstava šuma na prijenosnom mediju omogućuje teoretsku evaluaciju, simulaciju i eksperimentalno utvrđivanje otpornosti pojedinog komunikacijskog sustava na ukupni šum prisutan na mediju, a posjedovanje odgovarajućeg modela šuma omogućuje optimizaciju komunikacijskog sustava tijekom njegovog razvoja.

(Lit. 12, sl. 7 – original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/2/ 151 – 158/2003.

ENERGIJA 1431

UDK 621.311.1.203
STRUČNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/2, 93 – 103

## MOGUĆE OPCIJE RAZVOJA TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE U HRVATSKOJ

*Dr. sc. Ranko Goić, dipl. ing.*

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Hrvatska

Proces restrukturiranja elektroenergetskog sektora u Hrvatskoj i uvođenje tržišnih odnosa praktički je započeo stupanjem na snagu paketa novih energetskih zakona početkom 2002. godine. Različite opcije operativne implementacije ovog procesa u Hrvatskoj, kao i moguće posljedice na rad elektroenergetskog sustava nalažu vrlo pažljivo promišljanje i argumentirani odabir modela koji će biti primjereni zatečenim okolnostima u elektroenergetskom sektoru, te širim gospodarskim i razvojnim interesima. U ovom članku dano je jedno sažeto autorsko viđenje i ocjena trenutne situacije u Hrvatskoj, te mogući pravci daljnjeg razvoja.

(Lit. 23, sl. 4 – original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/2/93 – 103/2003.

ENERGIJA 1432

UDK 697.34:621.311.22
STRUČNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/2, 105 – 114

## ODREĐIVANJE NAJNIŽE CIJENE PARE ZA PROIZVODNJU TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE

*Vedran Uran, dipl. ing.*

"CASE" d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Hrvatska

U radu je postavljen matematički model za određivanje najniže cijene pare po jedinici eksergije metodom optimizacije. Model se temelji na termoekonomskim parametrima kao što su cijena, troškovi, eksergetski protok pojedinih fluida energetskog sustava, te cijena, troškovi, eksergetski stupanj djelovanja komponenti postrojenja energetskog sustava ili samog postrojenja. Postavljeni matematički model testiran je na primjeru protutlačnog parnoturbinskog postrojenja pogonjenog drvnom biomasom. Rezultat ovog rada jest utvrđeni kompromis između najniže cijene pare kao produkta razmatranog sustava u ovisnosti o njegovim godišnjim troškovima pri određenom vremenu rada postrojenja tog istog razmatranog sustava u godini dana.

(Lit. 8, sl. 11 – original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/2/105 –114/2003.

ENERGIJA 1432 UDK 697.34:621.311.22

1. Određivanje najniže cijene pare za proizvodnju toplinske i električne energije
*I. Uran, V.*
II. "CASE" d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Hrvatska

*Matematički model*
*Termoekonomski parametri*
*Godišnji troškovi*
*Cijena*
*Drvna biomasa*

ENERGIJA 1431 UDK 621.311.1.203

1. Moguće opcije razvoja tržišta električne energije u Hrvatskoj
*I. Goić, R.*
II. Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Hrvatska

*Tržište električne energije*
*Restrukturiranje*
*Prijenosna mreža*

ENERGIJA 1430 UDK 621.0.310:621.391.22

1. Pregled karakteristika šuma na PLC mediju
*I. Sabolić, D.*
II. HEP Prijenos d.o.o., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Šum*
*PLC*
*Distribucijska mreža*

*Energija*

Godište 52 (2003) Br. 2

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

ENERGIJA 1433

UDK 621.311.21.005
PREGLEDNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/2, 141 – 144

## POTISKIVANJA VIBRACIJA VRATILA AGREGATA *A* HE DUBRAVA ZASNOVANO NA DETALJNOJ DIJAGNOSTICI ROTORA

*Đuro Dvekar, dipl. ing.*
HEP – Proizvodnja d.o.o. – Pogon HE Dubrava, 40362 Sveta Marija, Hrvatska
*Branko Bajić, dipl. ing.*
Korto Cavitation Services, Luksemburg, c/o Brodarski institut d.o.o. – Sektor za upravljanje sustavima i procesima, Avenija V. Holjevca 20, 10020 Zagreb, Hrvatska
*Ivan Bacinger, dipl. ing. – Damir Magić, dipl. ing. – Josip Sabolek, dipl. ing.*
HEP – Proizvodnja d.o.o., – Pogon HE Dubrava, 40362 Sveta Marija, Hrvatska
*Muharem Demirović, dipl. ing.*
Končar Generatori i motori, 10000 Zagreb, Hrvatska

Opisuje se način potiskivanja vibracija vratila cijevnog agregata A HE Dubrava uzrokovanih labavljenjem zaklinjenog spoja polnog kotača i vratila. Provedeno je precizno namještanje polnog kotača na vratilo zasnovano na opsežnim dijagnostičkim ispitivanjima i detaljnoj analizi kinematike i dinamike rotora agregata. Položaj je fiksiran elementima koji su imuni na postojeći tip trošenja.
(Lit. 2, sl. 5 – original na hrvatskom jeziku)

Autori
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/2/141 – 144/2003.

ENERGIJA 1434

UDK 621.316.1:621.3.083.5
STRUČNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/2, 127 – 140

## OPTIMALNA VELIČINA I LOKACIJA UGRADNJE KOMPENZACIJSKIH UREĐAJA U PRIJENOSNOJ MREŽI HEP-a

*Mr. sc. Davor Bajs, dipl. ing.– mr. sc. Goran Majstrović*
Energetski institut Hrvoje Požar, Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska
*Prof. dr. sc. Matislav Majstrović, dipl. ing.*
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Hrvatska

Prezentira se analiza optimalne veličine i lokacije ugradnje kompenzacijskih uređaja u prijenosnoj mreži Hrvatske elektroprivrede, za planirani razvoj mreže u kratkoročnom i srednjoročnom razdoblju. Analiza je provedena na temelju matematičkog modela opisanog u članku 1435. Na osnovi velikog broja mogućih i očekivanih pogonskih stanja daje se prijedlog kompenzacije, te se analizira utjecaj pojedinih mjera i korištenja postojećih resursa radi održavanja naponskih prilika unutar dozvoljenih granica.
(Lit. 14, sl. – – original na hrvatskom jeziku)

Autori
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/2/127 – 140/2003.

ENERGIJA 1435

UDK 621.3.083.5:621.316
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/2, 115 – 125

## METODE ZA IZBOR OPTIMALNE VELIČINE KOMPENZACIJSKIH UREĐAJA

*Prof. dr. sc. Matislav Majstrović, dipl. ing.*
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića bb, 21000 Split, Hrvatska
*mr. sc. Goran Majstrović, dipl. ing. – mr. sc. Davor Bajs, dipl. ing.*
Energetski institut "Hrvoje Požar", Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

Prezentira se matematički model za određivanje optimalne veličine i lokacije kompenzacijskih uređaja s aspekta naponskih prilika i blizine sloma napona u elektroenergetskom sustavu. Na temelju sva tri promatrana kriterija formira se jedna objektna funkcija, čije rješenje daje optimum, odnosno najpovoljnije lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja radi zadovoljenja naponskih prilika, smanjenja gubitaka radne snage i izbjegavanja sloma napona.
(Lit. 5, sl. 3 – original na hrvatskom jeziku)

Autori
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/2/115 – 125/2003.

ENERGIJA 1435 UDK 621.3.083.5:621.316

1. Metode za izbor optimalne veličine kompenzacijskih uređaja

*I.* *Majstrović, M. – Majstrović, G. – Bajs, D.*

II. Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića bb, 21000 Split, Hrvatska – Energetski institut "Hrvoje Požar", Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Matematički model*
*Kompenzacijski uređaj*
*Naponske prilike*
*Gubici radne snage*
*Blizina sloma napona*

ENERGIJA 1434 UDK 621.316.1:621.3.083.5

1. Optimalna veličina i lokacija ugradnje kompenzacijskih uređaja u prijenosnoj mreži HEP-a

*I.* *Bajs, D. – Majstrović, M. – Majstrović, G.*

II. Energetski institut Hrvoje Požar, Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska – Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Hrvatska

*Kompenzacijski uređaj*
*Kratkoročno i srednjoročno razdoblje*
*Naponske prilike*

ENERGIJA 1433 UDK 621.311.21.005

1. Potiskivanja vibracija vratila agregata *A* HE Dubrava zasnovano na detaljnoj dijagnostici rotora

*I.* *Dvekar, Đ. – Bajić, B. – Bacinger, I. – Magić, D. – Sabolek, J. – Demirović, M.*

II. HEP – Proizvodnja d.o.o. – Pogon HE Dubrava, 40362 Sveta Marija, Hrvatska – Korto Cavitation Services, Luksemburg, c/o Brodarski institut d.o.o. – Sektor za upravljanje sustavima i procesima, Avenija V. Holjevca 20, 10020 Zagreb, Hrvatska – Končar Generatori i motori, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Vratilo*
*Polni kotač*
*Rotor*
*Vibracije*
*Dijagnostika*

*Energija*

Godište 52 (2003) Br. 2

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

ENERGIJA 1436

UDK 621.316.1.005
STRUČNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/2, 145 – 150

# PRIMJERI MANJIH ZAHVATA U TEHNIČKO-IZVEDBENOM DIJELU DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA HEP-a KOJI REZULTIRAJU ZNAČAJNIM MATERIJALNIM UŠTEDAMA

*Ivo Santica, dipl. ing.*

HEP Distribucija d.o.o. – DP Elektrodalmacija, Gundulićeva 42, 21000 Split, Hrvatska

Distribucijski sustav obuhvaća 45-50 % materijalnih sredstava Hrvatske elektroprivrede (također se kaže da je u njemu sadržano i 90 % problema HEP-a).
Svako pa i malo racionalnije tehničko rješenje u ovako složenom i velikom sustavu u konačnici rezultira znatnim materijalnim uštedama.
U članku će biti prikazana samo dva primjera racionalnijih rješenja s pokazateljima materijalnih ušteda. Kao prvo, prikazat će se mogućnost korištenja temelja betonskog stupa kao uzemljivača u mrežama niskog napona, a kao drugo predložit će se nešto racionalniji profil kabelskog kanala.
(Lit. 6, sl. 4 – original na hrvatskom jeziku)

Autor

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/2/145 – 150/2003.

ENERGIJA 1436 UDK 621.316.1.005

1. Primjeri manjih zahvata u tehničko-izvedbenom dijelu distribucijskog sustava HEP-a koji rezultiraju značajnim materijalnim uštedama

*I. Santica, I.*

II. HEP Distribucija d.o.o. – DP Elektrodalmacija, Gundulićeva 42, 21000 Split, Hrvatska

*Uzemljivač*
*Betonski temelj*
*Kabelski kanal*
*Korekcijski faktor*

*Energija*

Volume 52 (2003) Nº 2

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

ENERGIJA 1430

UDK 621.0.310:621.391.22
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/2, 151 – 158

## INSPECTION OF NOISE CHARACTERISTICS ON PLC MEDIA

*Dubravko Sabolić, M. Sc.*

HEP Prijenos d.o.o., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia

A review of current developments on PLC media noise characteristics, both on the outside and the inside network is given, based on references 1-12. Knowledge of noise characteristics on transmission media enables theoretical evaluation, simulation and experimental determination of resistance of each communication system on the total noise found on the media, and the corresponding noise model enables communication system's optimization during its development.

(No. of References: 12, Fig.: 7 – original in Croatian)

*Author*

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/2/151 – 158/2003.

ENERGIJA 1431

UDK 621.311.1.203
PROFESSIONAL PAPER

ENERGIJA 52/2003/2, 93 – 103

## POSSIBLE OPTIONS OF ELECTRIC ENERGY MARKET DEVELOPMENT IN CROATIA

*Ranko Gojić, D. Sc.*

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Croatia

Power system restructuring in Croatia and market introduction began in 2002 following the approval of a new energy laws package. Different options of operational implementation of this process in Croatia as well as possible consequences on the electric power system operation imply a careful analysis and reasonable choice of models corresponding to present circumstances in the power sector as well as to a wider economic and developmental interests. In the paper a short author's view is given as well as the evaluation of current situation in Croatia including possible development scenarios.

(No. of References: 23, Fig.: 4 – original in Croatian)

*Author*

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/2/93 – 103/2003.

ENERGIJA 1432

UDK 697.34:621.311.22
PROFESSIONAL PAPER

ENERGIJA 52/2003/2, 105 – 114

## DETERMINATION OF LOWEST STEAM PRICE FOR HEAT AND ELECTRIC ENERGY PRODUCTION

*Vedran Uran, B. Sc.*

"CASE" d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Croatia

In the work a mathematical model for the lowest steam price determination by exergy unit using optimisation method has been given. The model is based on thermal-economic parameters such as price, costs, exergy flow of certain fluids of the energy system, as well as price, costs, exergy efficiency degree of energy system components or the system itself. The model has been tested on a condensed steam-turbine facility using wooden biomass as a fuel. The result of this work is a compromise between the lowest steam price as a product of the system observed depending on its annual costs, for a certain period of operation of the same system observed during a year.

(No. of References: 8, Fig.: 11 – original in Croatian)

*Author*

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/2/105 – 114/2003.

ENERGIJA 1432 UDK 697.34:621.311.22

1. Determination of Lowest Steam Price for Heat and Electric Energy Production
*I. Uran, V.*
II. "CASE" d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Croatia

*Mathematical Model*
*Thermo-economic Parameters*
*Annual Costs*
*Price*
*Wooden Biomass*

ENERGIJA 1431 UDK 621.311.1.203

1. Possible Options of Electric Energy Market Development in Croatia
*I. Goić, R.*
II. Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Croatia

*Electric Energy Market*
*Restructuring*
*Transmission Network*

ENERGIJA 1430 UDK 621.0.310:621.391.22

1. Inspection of Noise Characteristics on PLC Media
*I. Sabolić, D.*
II. HEP Prijenos d.o.o., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia

*Noise*
*PLC*
*Distribution Network*

*Energija*

Volume 52 (2003) Nº 2

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

ENERGIJA 1433

UDK 621.311.21.005
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/2, 141 – 144

## VIBRATION DECREASE OF HPP DUBRAVA AGGREGATE *A* AXLE BASED ON DETAILED ROTOR DIAGNOSTICS

*Đuro Dvekar, B. Sc.*
HEP – Proizvodnja d.o.o. – Pogon HE Dubrava, 40362 Sveta Marija, Croatia
*Branko Bajić, B. Sc.*
Corto Cavitation Services, Luxemburg , c/o Brodarski institut d.o.o. – Sektor za upravljanje sustavima i procesima, Avenija V. Holjevca 20, 10020 Zagreb, Croatia
*Ivan Bacinger, B. Sc. – Damir Magić, B. Sc. – Josip Sabolek, B. Sc.*
HEP-Proizvodnja d.o.o. – Pogon HE Dubrava, 40362 Sveta Marija, Croatia
*Muharem Demirović, B. Sc.*
Končar Generatori i motori, 10000 Zagreb, Croatia

The paper describes possible vibration decrease of tube aggregate A axle in HPP Dubrava caused by looseness of wedge-shaped connection between pole wheel and axle. A precise set of pole wheel on axle has been realized based on extensive diagnostic tests and detailed cynematic and dynamic analysis of rotor aggregate. The position has been fixed using elements immune to existing damage type.

(No. of References: 2, Fig.: 5 – original in Croatian)

*Authors*
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/2/141 – 144/2003.

ENERGIJA 1434

UDK 621.316.1:621.3.083.5
PROFESSIONAL PAPER

ENERGIJA 52/2003/2, 127 – 140

## OPTIMAL SIZE AND LOCATION OF COMPENSATION EQUIPMENT INSTALLATION IN THE TRANSMISSION NETWORK OF HEP

*Davor Bajs, M. Sc. – Goran Majstrović, M. Sc.*
Energetski institut Hrvoje Požar, Savska cesta 163, 10000 Zagreb Croatia
*Matislav Majstrović, Prof. D. Sc.*
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje,R. Boškovića b. b., 21000 Split, Croatia

The paper offers the analysis of optimal size and location of compensation equipment installation in the transmission network of the Croatian Electric Company for planned short and mid-term period network development. The analysis has been conducted based on the mathematical model described in an earlier paper. Based on a huge number of possible and expected operation states the compensation proposal is given, the analysis of different measures as well as of the existing resource usage in order to maintain voltage within limits.

(No. of References: 14, Fig.: – – original in Croatian)

*Authors*
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/2/127 – 140/2003.

ENERGIJA 1435

UDK 621.3.083.5:621.316
ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER

ENERGIJA 52/2003/2, 115 – 125

## METHOD FOR OPTIMAL CHOICE OF COMPENSATION EQUIPMENT SIZE

*Matislav Majstrović, Prof. D. Sc.*
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje,R. Boškovića b. b., 21000 Split, Croatia
*Davor Bajs, M. Sc. – Goran Majstrović, M. Sc.*
Energetski institut Hrvoje Požar, Savska cesta 163, 10000 Zagreb Croatia

Mathematical model for optimal choice of size and location of compensation equipment is presented from the aspect of voltage circumstances and vicinity of voltage breakdown in an electric power system. Based on three criteria the objective function is developed, resulting in the optimum, that is best location and size of compensation equipment to satisfy voltage circumstances, decrease losses of active power and avoid voltage breakdown.

(No. of References: 5, Fig.: 3 – original in Croatian)

*Authors*
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/2/115 – 125/2003.

ENERGIJA 1428 UDK 621.3.083.5:621.316

1. Method for Optimal Choice of Compensation Equipment Size

*I.* *Majstrović, M. – Majstrović, G. – Bajs, D.*

II. Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje,R. Boškovića b. b., 21000 Split, Croatia – Energetski institut Hrvoje Požar, Savska cesta 163, 10000 Zagreb Croatia

*Mathematical Model*
*Compensation Equipment*
*Voltage Circumstances*
*Active Power Losses*
*Vicinity of Voltage Breakdown*

ENERGIJA 1434 UDK 621.316.1:621.3.083.5

1. Optimal Size and Location of Compensation Equipment Installation in the Transmission Network of HEP

*I.* *Bajs, D. – Majstrović, G. – Majstrović, M.*

II. Energetski institut Hrvoje Požar, Savska cesta 163, 10000 Zagreb Croatia – Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Croatia

*Compensation Equipment*
*Short and Mid-Term Period*
*Voltage Circumstance*

ENERGIJA 1433 UDK 621.311.21.005

1. Vibration Decrease of HPP Dubrava Aggregate *A* Axle Based on Detailed Rotor Diagnostics

*I.* *Dvekar, Đ. – Bajić, B. – Bacinger, I. – Magić, D. – Sabolek, J. – Demirović, M.*

II. HEP – Proizvodnja d.o.o.– Pogon HE Dubrava, 40362 Sveta Marija, Croatia – Corto Cavitation Services, Luxemburg ,c/o Brodarski institut d.o.o. – Sektor za upravljanje sustavima i procesima, Avenija V. Holjevca 20, 10020 Zagreb, Croatia – Končar Generatori i motori, 10000 Zagreb, Croatia

*Axle*
*Pole Wheel*
*Rotor*
*Vibration*
*Diagnostics*

*Energija*

Volume 52 (2003) Nº 2

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

ENERGIJA 1436

UDK 621.316.1.005
PROFESSIONAL PAPER

ENERGIJA 52/2003/2, 145 – 150

# EXAMPLES OF SMALL INTERVENTIONS IN TECHNICAL AND OPERATIONAL PART OF HEP DISTRIBUTION NETWORK THAT RESULT IN SIGNIFICANT COST REDUCTIONS

*Ivo Santica, B. Sc.*

HEP Distribucija d.o.o. – DP Elektrodalmacija, Gundulićeva 42, 21000 Split, Croatia

The distribution system contains 45-50 percent of material means of the Croatian Electric Power Company (some say 90 percent of problems, too).
Each, even a small rational technical solution in such a complicated and huge system eventually brings significant cost reductions.
In the paper only two examples of rational solutions are shown together with cost reduction. In the first, the possibility of a concrete tower used as a grounding system of low voltage system is shown, and in the second a more rational profile of cable channel is proposed.

(No. of References: 6, Fig.: 4 – original in Croatian)

*Author*

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/2/145 – 150/2003.

ENERGIJA 1436 UDK 621.316.1.005

1. Examples of Small Interventions in Technical And Operational Part of HEP Distribution Network that Result in Significant Cost Reductions

*I. Santica, I.*

II. HEP Distribucija d.o.o. – DP Elektrodalmacija, Gundulićeva 42, 21000 Split, Croatia

*Grounding Wire*
*Concrete Basement*
*Cable Channel*
*Correction Factor*

UDK 621.31

ENJAAC 52 (3) – (2003) – 173 – 248

ISSN 0013-7448

# ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

# energija

Godište 52 (2003) Zagreb 2003 Br. 3

*IZDAVAČ – PUBLISHER*

Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

*ZA IZDAVAČA*

Ivo Čović, dipl. ing.

*POMOĆ U IZDAVANJU*

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

*UREĐIVAČKI SAVJET – THE PUBLISHING COUNCIL*

Mr. sc. Branko *Grgić,* dipl. ing. (predsjednik), HEP Split – Adrijano *Fišer,* dipl. ing., HEP Rijeka – Marijan *Kalea,* dipl. ing., HEP Osijek – Damir *Karavidović,* dipl. ing., HEP Osijek – mr. sc. Mladen *Mandić,* dipl. oec., HEP Zagreb – dr. sc. Vladimir *Mikuličić,* dipl. ing., FER Zagreb – dr. sc. Niko *Malbaša,* dipl. ing., Ekonerg, Zagreb

*UREDNIČKI ODBOR – EDITORIAL BOARD*

Glavni urednik – Editor-in-chief: dr. sc. Zorko *Cvetković,* dipl. inž.
Urednik – Editor: Zdenka *Jelić,* prof.
Lektor: Šime *Čagalj,* prof.

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica grada Vukovara 37

Telefoni 6322-641 i 6322-083, telefax 6170-438

**Godišnje izlazi 6 brojeva.** Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300,00 kn, a za poduzeća i ustanove 480,00 kn (za studente 70,00 kn).

Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00 kn.

Za inozemstvo $ 95 godišnje.

Žiro računi kod ZAP, Zagreb – Hrvatska elektroprivreda (za "Energiju") broj 30101-604-495

Tisak: TIVA – Tiskara Varaždin

Naklada 1000 primjeraka

**SADRŽAJ**

*Matekoviæ I.*: Procjena rizika od prenapona u električnim instalacijama (Prethodno priopćenje) . . . . . 175 – 183

*Skansi R.*: GIS u javnoj rasvjeti grada Zagreba (Stručni članak) . . . . . 185 – 193

*Majstrović M. – Sarajčev P.*: Naponske prilike uzduž samonosivog optičkog kabela ovješenog na stupove visokonaponskog voda (Pregledni članak) . . . . . 195 – 199

*Uran V.*: Određivanje cijene pare i električne energije (Prethodno priopćenje) . . . . . 201 – 206

*Božičević Vrhovčak M. – Jakšić D. – Kovačević T.*: Zeleni certifikati: tržišni mehanizam potpore obnovljivim izvorima energije (Pregledni članak) . . . . 207 – 212

*Javornik Vončina S.*: Prikaz stanja normizacije i regulative vezane uz komuniciranje elektroenergetskim vodovima, PLC – I. dio: Normizacija PLC-a (Pregledni članak) . . . . . 213 – 236

**Vijesti iz elektroprivrede i okruženja** . . . . . 237 – 247

Fotografije na omotu:

**SITUACIJE NEKIH HIDROELEKTRANA**

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete – Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992.

Redakcija završena 2003 – 05 – 13

# Upute autorima

U "Energiji" smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa "stari" autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo "zaboravljive".

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda "Energiji", više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično "presude" recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica - SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   - **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   - **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
   - **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   - **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.

   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u "Energiji" prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu - svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm - 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članka:

**IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK** (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom svhvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:

- ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor.
- ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

**PRETHODNO PRIOPĆENJE** (prethodno sporočilo, prethodno saopštenje, preliminary communication, Vorlaufige Mitteliung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

**PREGLEDNI ČLANAK** (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

**STRUČNI ČLANAK** (strokovno delo, stručna rabota, professional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođavanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.


# energija

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su:

Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Générale de l'électricité, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

**UREDNIŠTVO**

# PROCJENA RIZIKA OD PRENAPONA U ELEKTRIČNIM INSTALACIJAMA

Mr. sc. Ivan M a t e k o v i ć, Zagreb

UDK 621.316.93:614.8
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Sve veća osjetljivost el. uređaja na pojavu prenapona te sve veća umreženost el. instalacija zahtijeva proučavanje vjerojatnosti pojave prenapona u el. instalacijama te, sukladno tome, procjenu rizika od prenapona. Da bi se procijenio rizik od prenapona u el. instalacijama identificirana je opasnost od prenapona, prenaponi su promatrani prema uzrocima nastanka, dani su iznosi i vjerojatnosti pojave prenapona u el. instalacijama, upozoreno je koje se štete od prenapona u el. instalacijama mogu očekivati, povezane su vjerojatnosti pojave prenapona s vjerojatnostima nastanka šteta od prenapona, te napravljena procjena rizika od prenapona. Na osnovi te procjene zaključeno je da se skoro svaku el. instalaciju isplati štititi uređajima za zaštitu od prenapona.

**Ključne riječi:** prenapon, **vjerojatnost pojave prenapona, šteta od prenapona, prenaponska kategorija, vjerojatnost nastanka šteta od prenapona, procjena rizika od prenapona.**

## 1. UVOD

Cilj ovog uratka je procijeniti koliki je rizik od prenapona u električnim instalacijama te odrediti opravdanost zaštite električne instalacije uređajima za zaštitu od prenapona. Kod toga je pretpostavljeno da su visokonaponska, srednjonaponska i niskonaponska postrojenja opremljena svom propisanom opremom za zaštitu od prenapona. Korištena je metoda procjene rizika koja se zasniva na šest osnovnih koraka: identifikaciji opasnosti od nastanka prenapona u električnim instalacijama, učestalosti pojave prenapona s obzirom na načine i uzroke nastanka, razdvajanju potencijalno opasnih prenapona od onih za koje se ocijeni da su potencijalno neopasni, povezivanju učestalosti pojave prenapona s učestalošću pojave štete od prenapona, procjeni šteta od potencijalno opasnih prenapona i procjeni rizika od prenapona.

## 2. IDENTIFIKACIJA OPASNOSTI OD PRENAPONA U ELEKTRIČNIM INSTALACIJAMA

Prenapon se najčešće definira kao "kratkotrajno nastupajući napon između dva vodiča ili vodiča i zemlje koji prekoračuje najviši dozvoljeni iznos pogonskog napona". Negativni utjecaji prenapona očituju se u naprezanju izolacije električne opreme ugrađene u električnu instalaciju i u naprezanju izolacije uređaja priključenih na električnu instalaciju. U krajnjoj liniji sve to može dovesti ili do proboja izolacije ili do preskoka u zraku ili do kliznog proboja preko površine izolacije.

Do prije tridesetak godina smatralo se da je klasična (vanjska) zaštita od munje dovoljna i za zaštitu od prenapona. Unutar građevina se nalazila jednostavna električna instalacija, električni uređaji i u električnu instalaciju ugrađena oprema bili su s mehaničkim kontaktima, energetski uređaji su bili bez elektroničkih dijelova, zračni razmaci veliki, dijelovi unutar sklopnih uređaja robustni i često predimenzionirani, rasvjetna tehnika klasična i slično. Tada je došlo do naglog prodora elektronike u sve pore ljudske djelatnosti; elektronika je postala primarna u području radio- i TV-tehnike, u telekomunikacijama i informatici. Daljnjim razvojem i intenziviranjem računalske tehnologije, mjernih, upravljačkih i regulacijskih uređaja došlo je do sve veće uporabe mikroprocesora. Kako su elektronički dijelovi koji se primjenjuju za te svrhe sve osjetljiviji na prenapone to je i opasnost od štetnog djelovanja prenapona na njih sve veća. To je dovelo do toga da danas već relativno mali prenapon od nekoliko desetaka volti na informatičkom kabelu može dovesti do razaranja nekog dijela u osobnom računalu. Za razaranje nekog električnog uređaja dovoljna je višestruko manja energija u odnosu na energiju dovoljnu za razaranje prvih, robustnih električnih uređaja.

Drugi razlog sve većem značenju prenapona je u sve većem korištenju upravljačkih komponenata u uređajima koji se koriste u kućanstvima i proizvodnji. U elektronički upravljanim ili s elektronikom povezanim uređajima postoje različiti spojevi kao ispravljači, regulatori s primjenom tiristora i trijaka i slično. Kod njihovog rada dolazi do stvaranja prenapona koji utječu na ostale korištene uređaje. Tako je s jedne strane došlo

do smanjenja otpornosti električnih uređaja na smetnje uzrokovane prenaponima, a s druge strane došlo je do povećanog broja smetnji.

Nekoliko karakterističnih primjera šteta nastalih zbog djelovanja prenapona su:

- prenapon koji uđe u objekt preko elektroenergetske instalacije može utjecati na loše upravljanje tijekom proizvodnog procesa, a posljedica može biti škartni proizvod, požar, eksplozija, ...
- djelovanjem prenapona na mjernu, upravljačku i regulacijsku tehniku robota može doći do opasnog tijeka njegovog rada,
- informacijski vodovi mogu biti zbog prenapona djelomično ili potpuno uništeni što može dovesti do problema s nadziranjem, javljanjem i regulacijom u proizvodnom procesu,
- zbog djelovanja prenapona mogu uređaji za zaštitu od opasnog napona dodira postati nedjelotvorni, što je opasno za život korisnika električnih uređaja,
- alarmni uređaji mogu biti djelovanjem prenapona uništeni, odnosno njihovi vodovi mogu biti onesposobljeni, što može posredno dovesti do opasnosti za čovjeka, odnosno objekte koje nadziru.

Iako razaranje samih uređaja zbog prenapona može biti dojmljivo, veće štete nastaju zbog dugotrajnih prekida u proizvodnji ili u poslovanju. Štete se mjere u milijardama bilo koje novčane jedinice. Prema nekim procjenama [1] od svih istraživanih 7737 šteta nastalih na elektronici tijekom 1998. godine u jednom osiguravajućem društvu njih 27,4 % bilo je uzrokovano prenaponima. S obzirom na sve šire korištenje elektroničkih uređaja, sve niže razine signala koji se koriste u njima i sve veće širenje informacijske tehnologije za očekivati je da će štete od prenapona biti sve veće.

## 3. UZROCI, IZNOSI I UČESTALOSTI POJAVE PRENAPONA

Prenaponi u električnim instalacijama mogu se pojaviti zbog različitih vrsta događaja ili mehanizama, njihovi iznosi mogu biti veći ili manji, učestalost njihove pojave može biti veća ili manja, njihov utjecaj na električnu instalaciju može biti znatan ili nikakav. U daljnjem će ih se promatrati prema uzrocima nastanka s time da će se odmah navoditi i ostale karakteristike bitne za procjenu rizika. Prema uzrocima nastanka prenaponi se u osnovi mogu podijeliti u tri osnovne kategorije:

- prenaponi uzrokovani munjom,
- prenaponi uzrokovani sklapanjima,
- prenaponi nastali zbog međudjelovanja različitih instalacija.

### 3.1. Prenaponi uzrokovani munjom

Munja je prirodni i neizbježni događaj koji svojom pojavom može uzrokovati nastanak prenapona u električnoj instalaciji. Najznačajniji parametri koji određuju utjecaj munje na nastanak prenapona u električnoj instalaciji su njezin valni oblik, tjemena vrijednost i učestalost pojavljivanja. Prema podrijetlu prenaponi uzrokovani munjom mogu se klasificirati u:

- prenapone zbog direktnog udara munje u nadzemne vodove srednjeg i niskog napona,
- prenapone inducirane u nadzemnim vodovima srednjeg i niskog napona zbog bliskog udara munje,
- prenapone uzrokovane udarom munje u zgradu ili neposredno uz nju.

Prenaponi nastali direktnim (iznosa do 180 kV) odnosno bliskim udarom munje (iznosa do 30 kV) u nadzemnim vodovima srednjeg napona šire se kroz srednjonaponsko postrojenje i prenose u vodove niskog napona. Kod širenja uzduž vodova dolazi do njihovog gušenja zbog gubitaka na vodovima, odnosno zbog proboja na izolatorima. Drugo ograničenje prenapona se događa pomoću uređaja za zaštitu od prenapona koji se ugrađuju na primarnoj strani transformatora srednji/niski napon ili na ulazu u mrežu niskog napona.

Prenaponi proizvedeni u srednjonaponskom postrojenju prenose se u niskonaponsku mrežu ili kapacitivnim i magnetskim povezivanjem preko transformatora srednji/niski napon ili povezivanjem preko zemlje. Visina prenesenog prenapona ovisi o mnogo parametara; izvedbi niskonaponske mreže, izvedbi transformatora, uvjetima povezivanja i sl. Između faznog i neutralnog vodiča u niskonaponskoj mreži može se prenijeti prenapon iznosa do 2 % nazivnog napona srednjonaponskog postrojenja, dok se između faznog vodiča i zemlje može prenijeti do 8 % nazivnog napona srednjonaponskog postrojenja. Širenjem uzduž vodova niskog napona dolazi do gušenja tih prenapona. Iz ovog je vidljivo da su prenaponi nastali zbog direktnog udara munje u srednjonaponski nadzemni vod ili zbog bliskog udara munje uz srednjonaponski nadzemni vod relativno neopasni za električnu instalaciju.

Prenaponi nastali u niskonaponskoj nadzemnoj mreži zbog direktnih ili bliskih udara munje su, također, visokih tjemenih vrijednosti i često imaju za posljedicu preskok između vodiča ili preskok prema zemlji preko stupova nadzemne mreže. U niskonaponskoj mreži kombiniranoj iz nadzemnih i kabelskih vodova dolazi do smanjenja visine prenapona kod ulaska u kabelsku mrežu, ali ono nije dovoljno. Ovi prenaponi, ako nisu ničim ograničeni, su najveća opasnost za električnu instalaciju.

U slučaju direktnog udara munje u zemlju na mjestu udara se poveća potencijal te točke (do nekoliko stotina kV) zbog udarnog otpora zemlje koja se u tom slučaju javlja kao uzemljivač. Sličan je slučaj kad munja udari u gromobransku instalaciju zgrade; svi dijelovi objekta koji su električki povezani s gromobranskom instalacijom dolaze na visoki potencijal prema zemlji. Između gromobranske instalacije i električne instalacije koja se nalazi u objektu dolazi do razlike potenci-

jala koja može uzrokovati preskoke ili proboje. Dodatno je kod udara munje u gromobransku instalaciju potrebno uzeti u obzir da struja munje zbog brze promjene stvara napon na induktivitetu munjovoda. Uz prosječne vrijednosti induktiviteta munjovoda od 1,5 $\mu$H/m i brzine promjene struje munje od 1 kA/$\mu$s dobiva se iznos pada napona od 1,5 kV/m koji se pribraja naponu nastalom na uzemljivaču zbog udarnog otpora uzemljivača.

### 3.2. Prenaponi uzrokovani sklapanjem

Prenaponi sklapanja su događaji koji mogu nastupiti:

- zbog namjernih radnji u elektroenergetskim postrojenjima (sklapanje tereta ili kapaciteta u prijenosnom ili razdjelnom dijelu),
- zbog namjernih radnji u električnim instalacijama (uklapanja i isklapanja električnih pogonskih sredstava),
- zbog nenamjernih radnji u elektroenergetskim postrojenjima (isklapanje prekidača zbog struje kvara i njezinog otklanjanja),
- zbog nenamjernih radnji u elekričnoj instalaciji (isklapanje automatskih prekidača, odnosno osigurača zbog struje kvara).

Općenito, sklapanje je svaka iznenadna promjena unutar mreže koja prevodi mrežu iz jednog stabilnog stanja u drugo stabilno stanje. U pravilu, ta promjena je povezana s nastupanjem prenapona, čiji iznos ovisi o mnogo faktora kao što su: vrsta električnog sustava, vrsta sklapanja (uklapanje, isklapanje, ponovno paljenje), vrsta tereta te način sklapanja. S obzirom na kompleksnost teoretskih studija kojima bi se trebalo obraditi svako pojedino sklapanje u nastavku su iznesene samo osnovne postavke potrebne za razumijevanje nastanka prenapona, a njegov iznos i učestalost ponavljanja su potkrijepljeni rezultatima mjerenja.

Sklopke se u svakom dijelu elektroenergetskog postrojenja vrlo široko primjenjuju za upravljanje električnim uređajima. Učestalost sklapanja zavisi o mjestu korištenja; visoka je učestalost u industrijskom pogonu i niža u kućanstvima. Isklapanjem mehaničkog sklopnog aparata (bilo da se odvija ručno ili elektromehanički) dolazi do pojave električnog luka. Iznenadna promjena struje zajedno s induktivitetima i kapacitetima koji su uvijek prisutni u svakom dijelu postrojenja uzrokuje pojavu visokofrekventnih titraja. Mjerenja provedena u industrijskim i drugim postrojenjima [2] pokazuju da je statističko očekivanje prenapona iznosa većeg od 2,5 kV samo 0,1 % od svih nastupajućih prenapona. No, i to je puno uzimajući u obzir veliku učestalost sklapanja u, naprimjer, industrijskim postrojenjima.

Sve veća uporaba posebnih proizvodnih sredstava, kao što su strojevi za erodiranje metala kod izrade alata ili robota za zavarivanje, uzrokuje veliki broj sklopnih prenapona koji, iako nisu tako visokog iznosa da mogu oštetiti elektroničke uređaje, mogu uzrokovati smetnje u njihovom radu.

Automatski prekidač se koristi u niskonaponskoj instalaciji za zaštitu od preopterećenja i od kratkog spoja. Za iznos nastalog prenapona interesantno je isklapanje automatskog prekidača u slučaju kratkog spoja; prema [3] nastali prenaponi su iznosa do 400 V. No, još je interesantniji odgovor automatskog prekidača na uklapanje elektromotora s visokom uklopnom strujom. To je slučaj kad je automatski prekidač loše dimenzioniran s obzirom na struju uklapanja motora ili ako je istodobno na tom strujnom krugu priključeno više trošila tako da je trenutna struja puno veća od nazivne struje automatskog prekidača. Prema [3] u takvim slučajevima mogu nastati prenaponi iznosa do 2,7 kV koji su opasni jer se nalaze direktno u električnoj instalaciji.

Rastalni osigurač se također u električnoj instalaciji koristi za zaštitu od preopterećenja i kratkog spoja. Zbog mehanizma prekidanja struje kratkog spoja nastali prenapon iznosi do 2,6 kV [3] i relativno je visok s obzirom da je uzročnik nastanka u električnoj instalaciji.

Svi električni uređaji koje se koriste kao pogonska sredstva proizvode prenapon većeg ili manjeg iznosa. Kod većine prenosivih električnih alata (električna bušilica, električna pila, električna blanjalica i slično) koristi se univerzalni elektromotor čije isklapanje prema [3] u strujnom maksimumu može prouzročiti prenapon iznosa do 1,9 kV na njegovoj priključnoj strani. To je visoka vrijednost s obzirom da se taj prenapon direktno (bez gušenja) prenosi u električnu instalaciju.

### 3.3. Prenaponi nastali zbog međudjelovanja različitih instalacija

U kućanstvu, poslovnim uredima i tehničkim uredima za vođenje proizvodnje postoji velik broj elektroničkih uređaja koji imaju, osim priključka na elektroenergetsku instalaciju, i druge priključke. Takvi uređaji su:

- telefax-uređaji, automatske tajnice i osobna računala priključeni i na telekomunikacijsku mrežu,
- osobna računala priključena i na informatičku mrežu,
- mjerni-, regulacijski- i upravljački uređaji priključeni i na signalne vodove,
- radio-, tv- i video uređaji priključeni i na antensku instalaciju ili kabelsku mrežu,
- alarmni uređaji priključeni i na dojavne vodove.

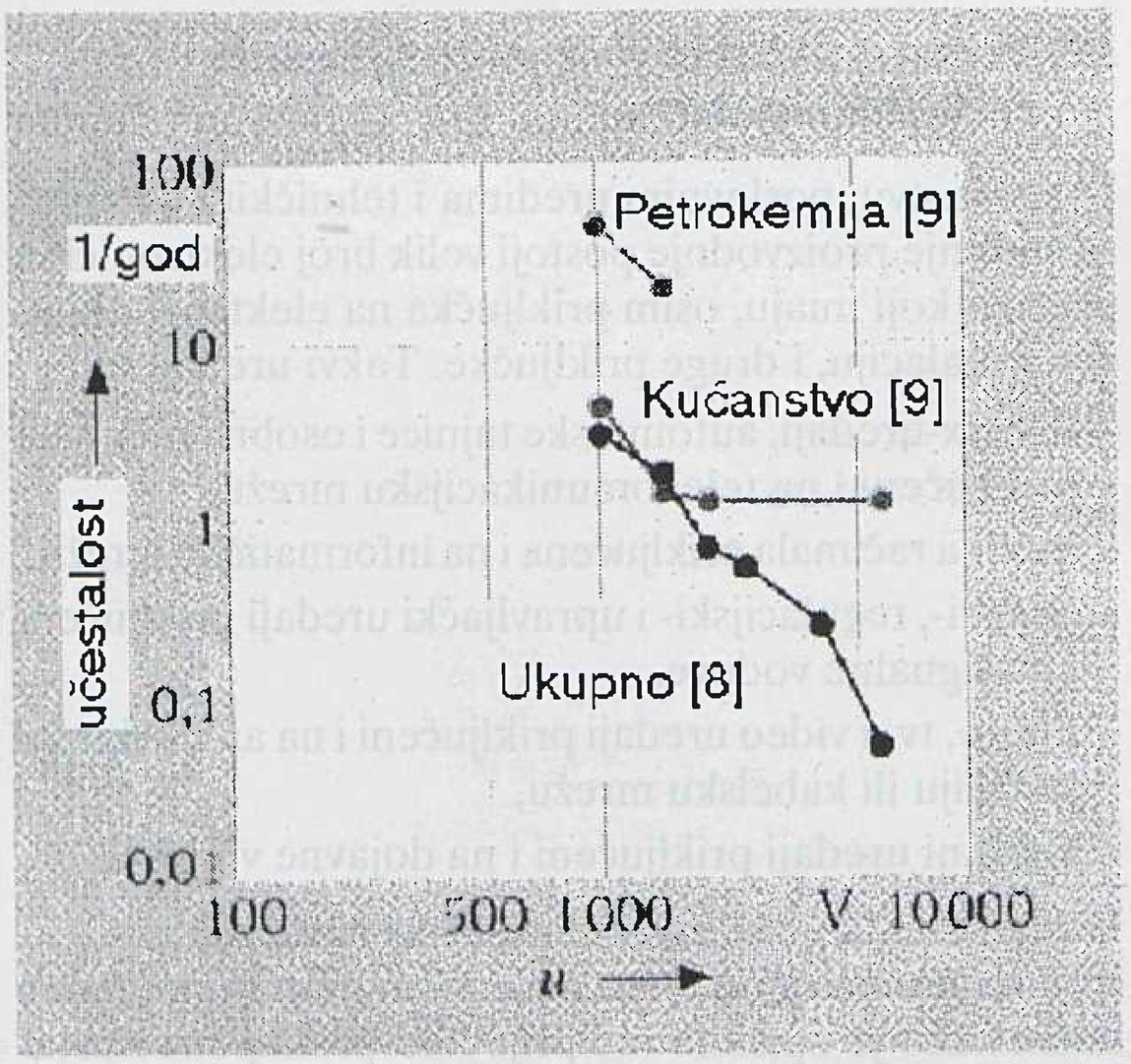
U mrežama koje su položene slično nadzemnim elektroenergetskim mrežama nastaje prenapon na sličan način kako je opisano već prije kod prenapona nastalog zbog izravnog ili bliskog udara munje u elektroenergetsku mrežu. Na sličan način može npr. prenapon "prodrijeti" u kućnu telekomunikacijsku instalaciju gdje može uzrokovati oštećenje uređaja priključenih na nju.

## 4. POTENCIJALNO OPASNI PRENAPONI U ELEKTRIČNIM INSTALACIJAMA

Ako je ostali dio elektroenergetske mreže i rasklopnog postrojenja izveden uvažavajući sva pravila struke [4], tada se može uzeti da su za električne uređaje priključene na električnu instalaciju i za električnu opremu ugrađenu u električnu instalaciju zbog svojeg iznosa i učestalosti najopasniji prenaponi koji nastaju zbog bliskih udara munje uz štićeni objekt, jer značajno i učestalo oštećuju izolaciju smanjujući vijek trajanja električnih uređaja. Prenaponi nastali zbog direktnih udara munje u gromobransku instalaciju po svojem iznosu su relativno visoki, značajno oštećuju izolaciju električnih uređaja, ali im je učestalost manja. Prenaponi sklapanja vrlo su značajni ne toliko zbog svojeg iznosa koliko zbog učestalosti (malo pomalo oštećujući izolaciju električnog uređaja).

Da bi se dobili podaci o stvarnim prenaponima koji se pojavljuju u elektroenergetskim instalacijama organizirana je serija mjerenja prenapona [5] i [6]. Mjerenje je trajalo neprestance skoro dvije godine; u zbroju mjernog vremena od skoro 700 mjeseci registrirano je više od 5000 prenapona. Prema izvješćima o tim mjerenjima [7] i [8] najveći broj registriranih prenapona nije prekoračio iznos od 1000 V. Vrlo rijetko je prenapon prekoračio tjemenu vrijednost od nekoliko kV.

U slici 1 iz [8] prikazane su srednje učestalosti nastanka prenapona različitih tjemenih vrijednosti za sva mjerna mjesta u 400-voltnoj električnoj instalaciji (dobivene tako da je zbroj svih impulsa iste veličine u svim mjernim mjestima podijeljen sa zbrojem trajanja mjerenja u svim mjernim mjestima).




**Slika 1. Mjerenjima dobivene učestalosti prenapona**

U drugoj seriji mjerenja prenapona [9] na 25 mjernih mjesta provedena su mjerenja isključivo na 400 V-noj električnoj instalaciji u ukupnom trajanju mjerenja od 500 mjeseci. Dobiveni rezultati učestalosti prenapona uglavnom potvrđuju prijašnje mjerenje uz primjedbu da je učestalost pojave prenapona kod obiteljskih kuća povećana kod tjemenih vrijednosti 2,5 kV i 6 kV, slika 1, podaci iz [9].

## 5. ŠTETE NASTALE OD PRENAPONA I UČESTALOST NJIHOVA NASTANKA

Prema posljedicama štete od prenapona mogu biti štete zbog zamjene ili popravka električnih uređaja ili opreme, štete zbog smanjene funkcije pogona ili štete zbog ispada pogona.

*Popravak ili zamjena električnih uređaja ili opreme.* To je najvidljivija posljedica prenapona; o uzroku štete može se odmah zaključiti znajući da je bilo nevrijeme s grmljavinom, a šteta je vidljiva i laiku. Radi li se o kućanstvu tada su najčešće štete na kućnom priključku, na razdjelnicima, kućnim električnim uređajima za primanje i obradu slike i tona te na osobnim računalima. Osiguravajuća društva te vrste šteta isplaćuju bez daljnjih istraživanja.

*Smanjenje funkcije pogona.* Prekid proizvodnje ili problemi u proizvodnji su najčešće štete koje se javljaju zbog relativno niskih prenapona od kojih nisu štićeni sve osjetljiviji uređaji za vođenje i upravljanje proizvodnjom. Sa sofistiranošću proizvodnog pogona utjecaj tih šteta je sve veći.

*Ispad pogona.* Ovo su najteže posljedice prenapona jer dolazi do potpunog ispadanja funkcije poduzeća; osobna računala, telekomunikacijski uređaji i uređaji za upravljanje više ne funkcioniraju ili nisu više međusobno povezani. Za osposobljavanje funkcije cijelog sustava potrebno je određeno vrijeme te su gubici znatni.

Da bi se provela procjena troškova šteta nastalih zbog prenapona uzimaju se u obzir:

- troškovi popravka ili zamjene električnih uređaja i električne opreme,
- troškovi zbog zastoja u proizvodnji, smanjene otpreme i prodaje proizvedene robe (uzima se u obzir smanjenje dobiti),
- uštede zbog smanjenih troškova proizvodnje za vrijeme dok pogon nije radio.

Prenaponi mogu prouzročiti različite vrste šteta zavisno o tome u kakvom prostoru se električne instalacije nalaze i za što je taj prostor namijenjen.

Tipične štete koje nastaju zbog prenapona u kućanstvima su:

- elektroinstalacijski vodovi su isčupani iz zidova,
- uređaji za antenski prijam su razoreni (satelitski i obični),
- razdjelnici s opremom su razoreni,
- električni uređaji su razoreni.

Male ili srednje velike obrtničke radionice ili industrijski pogoni obično imaju jednostavne uređaje i alate za rad (fiksne bušilice i glodalice većih snaga, uređaji za zavarivanje,...) ili za vođenje poslova (osobno računalo, telefax, automatska tajnica,...). Štete koje nastaju odnose se na popravak ili zamjenu električnih uređaja ili električne opreme, ali se mogu pojaviti i štete zbog smanjene funkcije pogona.

Veliki industrijski pogoni u slučaju prenapona mogu imati iste ili slične probleme kao i male ili srednje obrtničke radionice ako je djelovanje prenapona bilo lokalizirano. Ako je prenapon bio naročito visok, a zaštita od njega nije bila dosljedno provedena osim troškova popravka i zamjene električnih uređaja i električne opreme mogu nastati dodatni troškovi zbog ispada pogona i vremena potrebnog za obnovu kakvog-takvog poslovanja. Prema jednoj procjeni [10] ponovno osposobljavanje sustava kod ispada informatičke mreže u banci traje 2 dana, kod prodajno orijentiranog poduzeća 3,3 dana, kod proizvodnog pogona 4,9 dana, kod osiguravajućeg poduzeća 5,6 dana.

U poslovnim uredima nezamisliv je rad bez osobnih računala sa svim svojim perifernim uređajima priključenim na telekomunikacijsku mrežu i međusobno umreženim preko interne informatičke mreže, telefaxa, uređaja za kopiranje, ... Štete samo na uređajima zbog zamjene ili popravka mogu biti znatne, ali su nemjerljivo veće štete zbog prekida poslovanja.

Osobito kritična postrojenja su ona kod kojih može, osim troškova popravka ili zamjene uređaja i opreme, doći do direktne opasnosti po život (naprimjer bolnice), doći do posredne opasnosti po život (naprimjer petrokemijska postrojenja) ili doći do opasnosti po okolinu (također petrokemijska postrojenja).

Nakon što su sakupljeni podaci o učestalosti pojave prenapona i opisane štete prema posljedicama i mjestima pojavljivanja potrebno je povezati učestalost pojave prenapona s učestalošću nastanka šteta.

Zbog pojave prenapona električna instalacija je napregnuta i između električki aktivnih dijelova može doći do proboja, preskoka u zraku, odnosno kliznog proboja preko površine izolacijskog materijala. Prema otpornosti na udarne prenapone električni uređaji moraju biti projektirani, izrađeni i ispitani s obzirom na prenaponske kategorije [11]. Postoje četiri prenaponske kategorije; za svaki projektirani napon uređaja definira se za određenu prenaponsku kategoriju podnosivi udarni napon (oblika 1,2/50 $\mu$s) koji taj uređaj mora zadovoljiti (tablica 1). Podnosivi udarni napon je podatak o otpornosti električne izolacije električnog uređaja na prenapon.

Četiri prenaponske kategorije na primjeru električne instalacije 230/400 V znače sljedeće:

- IV. prenaponska kategorija predstavlja područje napajanja električnom energijom i vrijedi za električno brojilo, glavne osigurače i ostalu opremu na ili u blizini točke priključka. Električna oprema mora biti projektirana s obzirom na udarni napon od 6 kV.

**Tablica 1.**

| Projektirani pogonski napon prema zemlji (V) | Prenaponska kategorija | | | |
|---|---|---|---|---|
| | I. | II. | III. | IV. |
| | Podnosivi udarni napon (V) | | | |
| 230/400 i 277/480 | 1500 | 2500 | 4000 | 6000 |
| 400/690 | 2500 | 4000 | 6000 | 8000 |

- III. prenaponska kategorija predstavlja područje fiksne električne instalacije koje se nastavlja na prenaponsku kategoriju IV i predstavlja područje razdjelbe električne energije; vrijedi za razdjelnike, instalacijske vodove i kabele, sklopke, utičnice i sličnu opremu električne instalacije koja se fiksno postavlja. Električna oprema mora biti projektirana s obzirom na udarni napon od 4 kV .
- II. prenaponska kategorija predstavlja područje korištenja električne energije koje se nastavlja na prenaponsku kategoriju III. Vrijedi za kućanske uređaje i prenosiva pogonska sredstva, a električni uređaji i pogonska sredstva moraju biti projektirani s obzirom na udarni napon iznosa od 2,5 kV.
- I. prenaponska kategorija predstavlja područje za osobito osjetljive električne uređaje. Uređaji moraju biti projektirani za udarne napone od 1,5 kV.

Pretpostavke i ograničenja koja su uzeta u obzir kod procjene učestalosti nastanka šteta zbog prenapona:

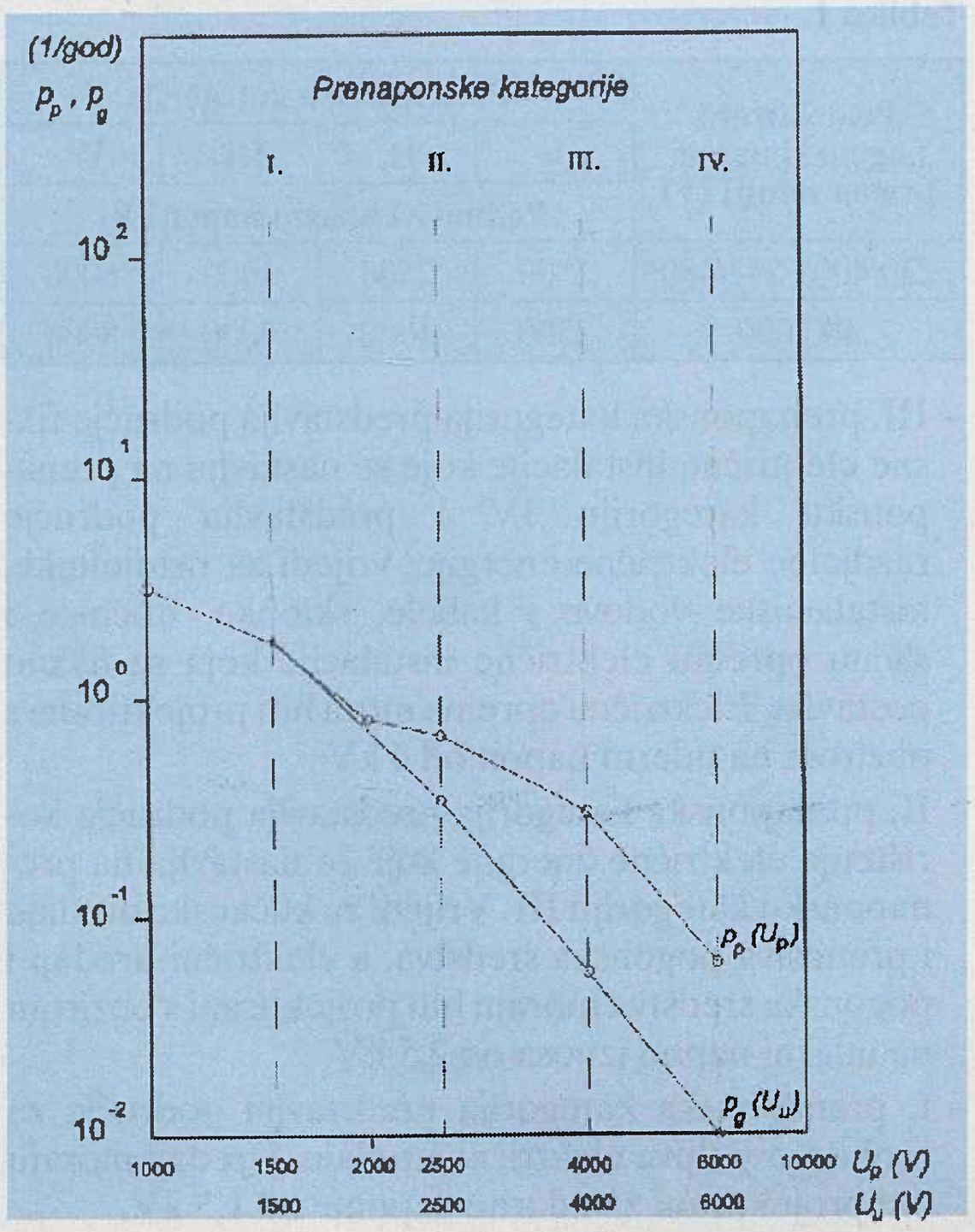
- životna dob izolacije ne utječe na visinu probojnog napona električnih uređaja i opreme,
- oblik prenapona ne utječe na visinu probojnog napona električnih uređaja i opreme,
- električna izolacija svih uređaja i opreme izvedena je tako da izdrži sve prenapone iznosa manjeg od podnosivog udarnog napona, a nakon prekoračenja tog iznosa sigurno dolazi do proboja.

Na osnovi učestalosti prenapona iz slike 1 (mjerenje prema [8]) u slici 2 prikazana je učestalost pojave prenapona $p_{pi}$ u zavisnosti o tjemenoj vrijednosti prenapona $U_{pi}$. Zatim su u tu sliku uneseni podaci o podnosivim udarnim naponima $U_{ui}$ za svaku od prenaponskih kategorija. Sada se može povezati učestalost nastanka šteta od prenapona s učestalošću pojave prenapona; do pojave štete zbog prenapona na električnom uređaju doći će sigurno ako je prenapon koji je narinut na uređaj veći od podnosivog udarnog napona za koji je projektiran taj uređaj. Sukladno tome, može se definirati i učestalost nastanka štete $p_{gi}$ za uređaje i opremu određene prenaponske kategorije (za koju je definiran podnosivi udarni napon $U_{ui}$):

$$p_{gi}(U_{ui}) = \Sigma\, p_{pi}(U_{pi}) \qquad (1)$$
$$U_u > U_{ui}$$

pri čemu je $p_{pi}$ učestalost pojave prenapona kod određenog iznosa prenapona $U_{pi}$.

Na taj način je nastala krivulja učestalosti nastanka šteta o podnosivom udarnom naponu $p_g(U_u)$ električnog uređaja ili opreme u slici 2.




**Slika 2. Veza između učestalosti pojave prenapona i učestalosti nastanka šteta u električnoj instalaciji**

Sada se svaka šteta može povezati s određenim električnim uređajem ili opremom. Svaki električni uređaj ili oprema pripada određenoj prenaponskoj kategoriji. Kako je već prije došlo do povezivanja učestalosti nastanka štete s iznosima prenapona, to se sada može za svaki pojedini promatrani slučaj (obiteljska kuća, poslovni ured, obrtničku radionicu, proizvodni pogon) povezati iznos šteta $T_{pi}$ u zavisnosti o iznosu prenapona $U_{ui}$.

## 6. PROCJENA RIZIKA OD PRENAPONA, PRIHVATLJIVOST RIZIKA I PROCIJENJENA NEODREĐENOST IZRAČUNATOG RIZIKA

Iz dosadašnjeg razmatranja je vidljivo da treba pristupiti na sasvim osobit način procjeni rizika od prenapona koji može nastupiti u električnoj instalaciji. U prvom koraku je potrebno odrediti u kojoj kerauničkoj zoni je smješten objekt u kojem se nalazi električna instalacija. Zatim je potrebno provjeriti da li objekt ima izvedenu gromobransku zaštitu, da li se antenski sustav nalazi na krovu zgrade, da li je priključak na elektroenergetsku mrežu izveden preko zračnih vodova ili preko kabela, te da li se u neposrednoj blizini zgrade nalaze drugi objekti s ugrađenom gromobranskom zaštitom ili s antenskim sustavom. Uzimajući u obzir sve te podatke može se procijeniti učestalost pojave prenapona u električnoj instalaciji te njegova tjemena vrijednost. U drugom koraku je potrebno napraviti popis uređaja na koje može prenapon djelovati razarajuće, njihovu međusobnu povezanost i procijeniti međusobne utjecaje. U trećem koraku je potrebno procijeniti zastoje u poslovanju te štete zbog toga, kao i direktne štete zbog uništenja uređaja te troškove zbog otklanjanja tih šteta.

Kod same procjene rizika od prenapona u električnim instalacijama nije prikladno koristiti tzv. Vjerojatnostnu procjenu rizika [12] jer ona procjenjuje rizik malo vjerojatnih događaja na jednom izoliranom i tehnički kompliciranom postrojenju s potencijalno velikim ili potencijalno pogubnim posljedicama u kratkom vremenskom razdoblju na relativno velikom prostoru (na primjer rizik zbog rada nuklearnih elektrana). Isto tako nije prikladno koristiti tzv. Metodu brze procjene rizika [13] jer ona procjenjuje rizik od velikih nezgoda na više stacionarnih industrijskih postrojenja smještenih na relativno velikom prostoru u različitim vremenskim razdobljima s potencijalno velikim i pogubnim posljedicama na relativno velikom prostoru (naprimjer zbog događanja u različitim rizičnim postrojenjima u kojima može doći do požara, eksplozija ili ispuštanja opasnih tvari).

Procjeni rizika od prenapona u električnoj instalaciji treba pristupiti kao vrlo vjerojatnom događaju koji se može dogoditi u svakoj električnoj instalaciji, uzimajući u obzir da iznos šteta ovisi o puno parametara. Svaka promatrana električna instalacija predstavlja posebni problem koji treba rješavati od slučaja do slučaja. No, ipak je moguće odrediti osnovne postavke za rješavanje problema.

Rizik od prenapona u električnoj instalaciji se može definirati kao zbroj umnožaka učestalosti pojave štete zbog prenapona u određenoj prenaponskoj kategoriji i procijenjene štete na uređajima i opremi te zastoja zbog otklanjanja šteta na toj istoj prenaponskoj kategoriji:

$$R_i = \sum_i p_{gi} * T_{pi} \qquad (2)$$

Za potpuno razumijevanje problema, a da se ne izgubi osnovna nit, dobro je međusobno povezati podnosive udarne napone za svaku od prenaponskih kategorija $U_{ui}$, učestalost pojave prenapona $p_{pi}$, učestalost pojave štete od prenapona $p_{gi}$, procijenjeni iznos nastale štete od prenapona $T_{pi}$ i rizik od prenapona $R_i$. To je sve (uz procjene šteta dane od autora) napravljeno u tablici 2 za poslovne prostore sa servisom jednog srednje velikog prodavatelja automobila, a u tablici 3. za primjer jedne srednje velike obiteljske kuće.

Prema [14] troškovi ugradnje zaštite od prenapona u sva tri stupnja zaštite bili bi oko 13000 EUR-a, a time bi se vjerojatnost pojave prenapona svela praktični na nulu.

U tablici 3 izračunat je rizik od prenapona u električnoj instalaciji jedne srednje velike obiteljske kuće.

Želi li se smanjiti rizik od prenapona troškovi ugradnje zaštite od prenapona u sva tri stupnja bi iznosili oko 1400 EUR-a [14], a time bi se smanjila vjerojatnost pojave prenapona praktički na nulu.

**Tablica 2.**

| $U_p$(V) | $p_p$(1/god) | $U_u$(V) | $p_g$(1/god) | Uređaji koji bi bili uništeni | Troškovi ( EUR ) | | | Rizik od prenapona (EUR/god) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | uređaja | ostali | ukupni | |
| 1000 | 3 | | | | | | | |
| 1500 | 1,73 | 1500 | 1,78 | fax, aut. tajnica, kopirni uređaji, PC+perif., | 25000 | 100000 | 125000 | 222500 |
| 2000 | 0,8 | | | | | | | |
| 2500 | 0,65 | 2500 | 0,33 | utikači, svjetiljke, | 4000 | 800 | 4800 | 1584 |
| 4000 | 0,27 | 4000 | 0,06 | razdjelnici +oprema, | 3000 | 900 | 3900 | 234 |
| | | | | sklopke, utičnice | | | | |
| 6000 | 0,06 | 6000 | 0 | KPMO + ugrađena oprema | 4500 | 800 | 5300 | 0 |
| | | | | | | | Ukupni rizik : | 224318 |

**Tablica 3.**

| $U_p$(V) | $p_p$(1/god) | $U_u$(V) | $p_g$(1/god) | Uređaji koji bi bili uništeni | Troškovi ( EUR ) | | | Rizik od prenapona (EUR/god) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | uređaja | ostali | ukupni | |
| 1000 | 3 | | | | | | | |
| 1500 | 1,73 | 1500 | 1,78 | TV+satelit, fax, video+audio PC+perif., | 6000 | 0 | 6000 | 10680 |
| 2000 | 0,8 | | | | | | | |
| 2500 | 0,65 | 2500 | 0,33 | utikači, svjetiljke, | 1000 | 300 | 1300 | 429 |
| 4000 | 0,27 | 4000 | 0,06 | razdjelnici + oprema, | 1000 | 500 | 1500 | 90 |
| | | | | utičnice, sklopke | | | | |
| 6000 | 0,06 | 6000 | 0 | KPMO + ugrađena oprema (NH osig., brojilo) | 1300 | 400 | 1700 | 0 |
| | | | | | | | Ukupni rizik : | 11199 |

Time su dane osnove za procjenu prihvatljivosti rizika; ako je rizik (prikazan kroz EUR/god) da se dogodi šteta zbog neugrađene zaštite od prenapona veći od troškova ugradnje zaštite od prenapona (u EUR) tada je rizik neprihvatljiv! Iz gornjeg je vidljivo da je procijenjeni rizik od prenapona u odnosu na troškove ugradnje zaštite u oba slučaja puno veći, tako da svakako treba pristupiti smanjenju rizika od nastanka prenapona. Kako se to radi i na koji način nije više tema ovog uratka.

Potrebno je još istražiti kolika je neodređenost procijenjenog rizika. U tu svrhu može se postaviti nekoliko pitanja:

1. pitanje: je li primijenjeni model procjene rizika dobro izabran? Autor je postavio njemu nigdje poznati i opisani model procjene rizika od prenapona u električnim instalacijama. Naročita originalnost se sastoji u povezivanju učestalosti pojave prenapona i učestalosti nastanka šteta zbog prenapona. Autoru je poznat jedan rad koji se bavio ovom problematikom [15], no on se zasniva na mjerenjima izdržljivosti izolacija na prenapone koja su provedena radi ispitivanja pouzdanosti izolacije na prenapone.

2. pitanje: koliko su točni iznosi učestalosti prenapona s kojima se ušlo u proračun? To je najslabija točka ovog rada. Već je u t. 3 rečeno s kojim ograničenjima se može uzeti rezultate mjerenja učestalosti.

3. pitanje: koliko kod procjene učestalosti pojave šteta zbog prenapona utječu pretpostavke dane u t. 4 na iznos procijenjenog rizika:

- Nema utjecaja životne dobi izolacije na visinu probojnog napona električnih uređaja i opreme, što svakako nije točno, jer se probojni napon smanjuje sa životnom dobi izolacije.
- Oblik prenapona nema utjecaja na visinu probojnog napona električnog uređaja i opreme, što također nije točno, jer brzina porasta prenapona utječe na iznos probojnog napona.
- Električna izolacija svih uređaja i opreme izvedena je tako da do podnosivog udarnog napona sigurno izdrži prenapon, a nakon prekoračenja podnosivog udarnog napona sigurno dolazi do proboja; to također nije točno jer se uređaji i oprema u stvarnosti ne mogu proizvesti s takvom izolacijom.

Kako je najsporniji podatak onaj o učestalosti pojave prenapona određenog iznosa, a on najviše utječe na

neodređenost procijenjenog iznosa to je ponovljen cijeli izračun za obiteljsku kuću uz pretpostavku da je učestalost prenapona veća za tjemene vrijednosti prenapona 4000 V, 6000 V i novouvedenu vrijednost 10000 V (tablica 4). To se može obrazložiti time da međudjelovanje različitih mreža može biti znatno i vrijednosti prenapona nastalih na taj način znatne.

Također je ponovljen cijeli proračun za slučaj da uopće nema prenapona tjemenih vrijednosti većih od 2000 V (tablica 5). Iz dobivenih podataka vidljivo je a) da je procijenjeni rizik jako zavisan o učestalosti pojave prenapona te b) da je i uz male učestalosti pojave prenapona opravdano ugraditi zaštitu od prenapona u električne instalacije.

**Tablica 4.**

| $U_p$(V) | $p_p$(1/god) | $U_u$(V) | $p_g$(1/god) | Uređaji koji bi bili uništeni | Troškovi (EUR) | | | Rizik od prenapona (EUR/god) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | uređaja | ostali | ukupni | |
| 1000 | 3 | | | | | | | |
| 1500 | 1,73 | 1500 | 2,95 | TV+satelit, fax, video + audio | 6000 | 0 | 6000 | 17700 |
| | | | | PC+perif., | | | | |
| 2000 | 0,8 | | | | | | | |
| 2500 | 0,65 | 2500 | 1,5 | utikači, svjetiljke, | 1000 | 300 | 1300 | 1950 |
| 4000 | 0,6 | 4000 | 0,9 | razdjelnici + oprema, | 1000 | 500 | 1500 | 1350 |
| | | | | Utičnice, sklopke | | | | |
| 6000 | 0,5 | 6000 | 0,4 | KPMO + ugrađena oprema (NH osig., brojilo) | 1300 | 400 | 1700 | 680 |
| 10000 | 0,4 | | | | | | | |
| | | | | | | | Ukupni rizik.: | 21680 |

**Tablica 5.**

| $U_p$(V) | $p_p$(1/god) | $U_u$(V) | $p_g$(1/god) | Uređaji koji bi bili uništeni | Troškovi (EUR) | | | Rizik od prenapona (EUR/god) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | uređaja | ostali | ukupni | |
| 1000 | 3 | | | | | | | |
| 1500 | 1,73 | 1500 | 0,85 | TV + satelit, fax, video + audio | 6000 | 0 | 6000 | 5100 |
| | | | | PC + perif., | | | | |
| 2000 | 0,8 | | | | | | | |
| | | | | | | | Ukupni rizik : | 5100 |

## 7. ZAKLJUČAK

U radu je na originalan način povezana učestalost pojave prenapona s učestalošću nastanka štete od prenapona i mogućim štetama zbog prenapona u električnoj instalaciji. Procjena rizika od prenapona u električnim instalacijama pokazuje da je opravdana ugradnja zaštite od prenapona (čak i za obiteljske kuće s korištenjem relativno malog broja elektroničkih uređaja i električne opreme). Na osnovu ovih zaključaka o nužnosti i opravdanosti ugradnje zaštite od prenapona u električnim instalacijama slijedeći korak koji se nameće je postaviti osnovne zahtjeve da se to riješi.

## LITERATURA

[1] F. GRONEMEIER: "Vermeidung von Blitz- und Überspannungsschäden an elektrischen und elektronischen Anlagen unter EMV-Gesichtspunkten", DE Der Elektro- und Gebäudetechniker Nr.6/97

[2] E Beiblatt1 zu DIN VDE 0100-534/07.1999: Elektrische Anlagen von Gebäuden, Allgemeine Grundinformationen zu Überspannungen und Schutz bei Überspannungen in Niederspannungs-Starkstromanlagen mit Wechselspannungen

[3] W. PFEIFFER, F. SCHEUERER: "Überspannungserzeugende Betriebsmittel", etz Elektrotechnik + Automation Heft 3/1993

[4] DIN EN 60099-5/2000-09: Überspannungsableiter –Teil 5: Anleitung für die Auswahl und die Anwendung

[5] K. STIMPER, S. SCHWETZ: "Der DKE-Rundversuch 'Überspannungsmessungen", etz Elektrotechnik + Automation Heft 3/1991

[6] K. STIMPER: "Rundversuch zur Messung transienter Überspannungen beginnt im Herbst", etz Elektrotechnik + Automation Heft 18/1988

[7] G. ACKERMANN, M. HUDASCH, S. SCHWETZ, K. STIMPER: "Überspannungen in Niederspannungsanlagen", etz Elektrotechnik + Automation Heft 3 / 1993

[8] S. SCHWETZ: "Gefahren am Arbeitsplatz durch transiente Überspannungen", etz Elektrotechnik + Automation Heft 3/1993

[9] G. ACKERMANN, K. SCHEIBE, K. STIMPER: "Isolationsgefärdende Überspannungen im Niederspannungsbereich", etz Elektrotechnik + Automation Heft 1-2/1997

[10] P. HASSE: "Blitzschutz mit integriertem Störschutz als Massnahme der EMV", de Der Elektro- und Gebäudetechniker Nr.4/1994

[11] DIN VDE 0100-443/2002-01: Errichten von Niederspannungsanlagen –Teil 4: Schutzmassnahmen; Kapitel 44: Schutz bei Überspannungen; Hauptabschnitz 443: Schutz bei Überspannungen infolge atmosphärischer Einflusse oder von Schaltvorgängen

[12] V. MIKULIČIĆ, Z. ŠIMIĆ, I. VRBANIĆ: "Vjerojatnostna procjena tehničkih rizika", Energija 51/2002

[13] D. ŠKANATA, N. MALBAŠA i drugi: "Procjena rizika od energetskih i drugih kompleksnih gospodarskih sustava na području grada Zagreba", Gospodarstvo i okoliš 1/1995

[14] O. BOM: "Mehr Sicherheit mit Überspannungsschutz", Sonderdruck Nr.49 Dehn + Sohne

[15] H. KÜTTNER: "Zuverlässigkeitsisolierungen von Niederspannungsisolierungen bei transienten Spannungen", etz Elektrotechnik + Automation Heft 113/1992

## OVERVOLTAGE RISK ASSESSMENT OF ELECTRICAL INSTALLATIONS

Growing sensitivity of electrical equipment on overvoltage occurrence and electrical installation network requires probability assessment of overvoltage occurrence in electrical installations as well as risk assessment. In order to evaluate overvoltage risk in electrical installations, the danger of overvoltage is identified, and its causes observed. Values are given as well as probabilities of overvoltage occurrence in electrical installations, including damages caused by overvoltage. Probability of overvoltage is brought into relation with possibility of damage, and risk assessment is done. Based on that evaluation it is concluded that almost all electrical installations could be protected by overvoltage equipment in a cost-effective way.

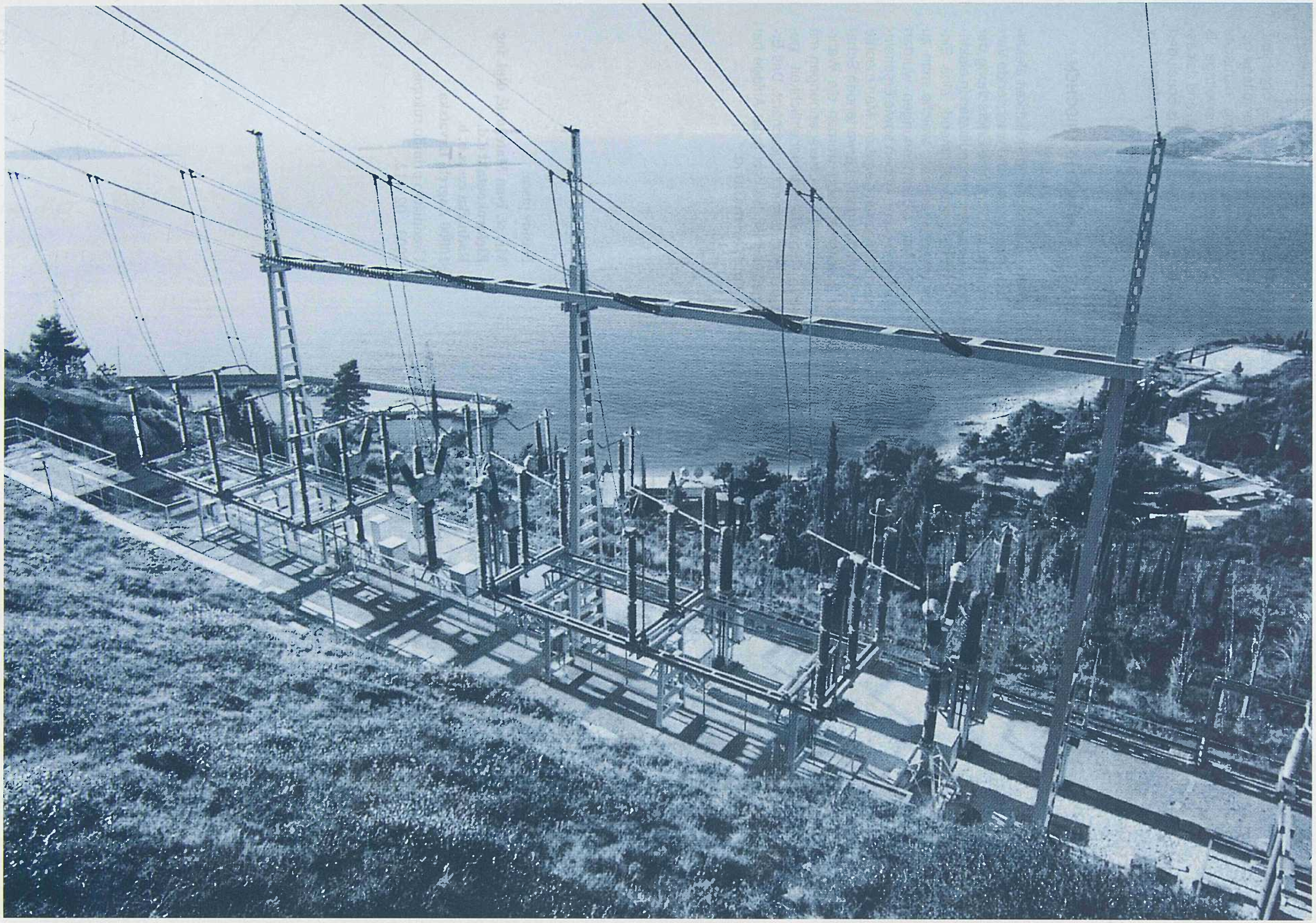
## DIE EINSCHÄTZUNG DER ÜBERSPANNUNGSGEFAHREN IN ELEKTRISCHEN ANLAGEN

Die immer grössere Überspannungsempfindlichkeit elektrischer Einrichtungen, sowie die andauernd wachsende Verknüpfung der Anlagennetze verlangt eine Erforschung der Wahrscheinlichkeit vom Überspannungsauftreten in elektrischen Anlagen, und damit übereinstimmend, eine Einschätzung der Überspannungsgefahren, welche man zu diesem Zweck erforscht hat. Überspannungen wurden nach Ursachen unterteilt und deren Höhen sowie Erscheinungserwartungen in den Anlagen angegeben. Man machte auf die in elektrischen Einrichtungen zu erwartenden Schaden aufmerksam; in Zusammenhang wurden die Wahrscheinlichkeiten der Entstehung von Überspannungen mit der daherstammenden Schadenwahrscheinlichkeit gebracht, und die Schaden von denen abgeschätzt. Das Ergebniss dieser Abschätzung ist: bei fast jeder Anlage hat der Überspannungsschutz seinen Grund.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Ivan Mateković, dipl. ing.**
**Elektrokontakt d.d.**
**Radnička cesta b. b.**
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 02 – 12.



# GIS U JAVNOJ RASVJETI GRADA ZAGREBA

Ranko S k a n s i, Zagreb

UDK 621.328
STRUČNI ČLANAK

U skladu s premisama modernog poslovanja te spoznaje o kvaliteti tehnologija koje su danas dostupne, razvijen je pilot projekt GIS-a iz domene javne rasvjete za područje Sv. Klare kraj Zagreba. Pri tome je korištena ESRI GIS tehnologija na razini ArcView 8 programskog paketa. Od sklopovske tehnologije, korišteno je računalo na bazi Pentium IV (1.6 GHz) procesora te ručni GPS uređaj tvrtke Trimble povezan s ručnim računalom Compaq IPAQ. Radi što preglednije i konciznije obrade, razvijena je osnovna baza podataka koja sadrži temeljne geografske podatke kao i temeljne tehnološke atribute. Za prikaz trenutačnog stanja, proizveden je multimedijalni film trajanja 7,5 min. Film prikazuje kompoziciju od tri kadra. Veći je dio dediciran noćnoj vožnji kroz Sv. Klaru, gornji manji, dnevnoj vožnji istom trasom, te manji donji prikazuje trenutačnu poziciju na planu Sv. Klare.

**Ključne riječi: GIS, Geografski Informacijski Sustav, podatak, karta, javna rasvjeta, GPS, Global Positioning System, Sv. Klara, ESRI, ArcView, Compaq IPAQ, Trident, parametri, prostorni podaci, atributni podaci, projekt.**

## 1. UVOD

Čovjek odavna želi putem matematičkih i simboličkih alata prikazati i opisati zbivanja i događaje u prirodi. Iz te se potrebe razvio cijeli niz znanosti. Prihvaćajući premisu o čovjeku kao najsavršenijem biću, moramo prihvatiti činjenicu da su ga upravo razum i komunikacijske sposobnosti, te različite metode prenošenja informacija drugim ljudima, postavile u razred savršenih bića. Velike napore, čovjek je od početaka svojeg postojanja, ulagao u potrebu opisivanja svojih osjećaja, misli i znanja, a sve sa svrhom da život učini jednostavnijim kao i da te informacije prenese drugim ljudima. Mnogo stvari, događaja, misli, moguće je prikazati simbolima ili matematičkim relacijama, međutim, postoje i stvari koje iziskuju veće napore u tom kontekstu. Jedna od tih je znanje.

Ako se složimo s činjenicom da je veliko znanje potrebno kako bi se sustavi javne rasvjete izgrađivali, održavali ili jednostavno "održavali na životu", složiti ćemo se i da je potrebno odabrati odgovarajuću tehnologiju koja će nas zadovoljiti u svim aspektima znanja koji su potrebni u kontekstu javne rasvjete. Bez puno razmišljanja, a nakon provjere danas dostupnih tehnologija, odlučili smo se za GIS platformu. Svjesni delikatnosti domene javne rasvjete kao i svih popratnih aspekata ove ljudske djelatnosti, te opsežnih konzultacija, a u isto vrijeme imajući na umu krajnji cilj domene javne rasvjete, a to je daljinsko upravljanje i nadzor, potvrđeno je da se GIS alati današnjice uz parcijalne dopune, definitivno mogu shvatiti kao najadekvatnije sredstvo za postizanje željenog cilja.

## 2. GIS

### 2.1. Općenito

Recimo najprije neke osnovne stvari o GIS tehnologiji.

GIS je skraćenica od: **Geografski Informacijski Sustav (Geographic Information System).**

Primarno služi za potrebe planiranja i za inženjerske tvrtke, geodete i kartografe, komunalna poduzeća te organizacije koje se bave zaštitom okoliša.

Nova tržišta za GIS tehnologiju se strahovito brzo otvaraju gdje god organizacije shvate da rade s informacijama koje se odnose na prostor. Uporaba GIS tehnologije za upravljanje prostornim podacima je postala odlučujući faktor konkurentnosti.

Tradicionalni ručni način u upravljanju ovih podataka je postao prespor i preskup. Ovaj ekonomski pritisak nas je doveo do nagle ekspanzije GIS tehnologije.

U najširem smislu riječi GIS je svaka ručna ili kompjutorizirana grupa procedura koja se koristi za pohranjivanje i upravljanje geografski referenciranim podacima.

GIS daje značenje geografskim informacijama kako bi bile korištene za veliki broj aplikacija od korisnika koji imaju širok spektar znanja i vještina. Da bi se ovi podaci koristili u odlučivanju, njihova kvaliteta mora biti pouzdana.

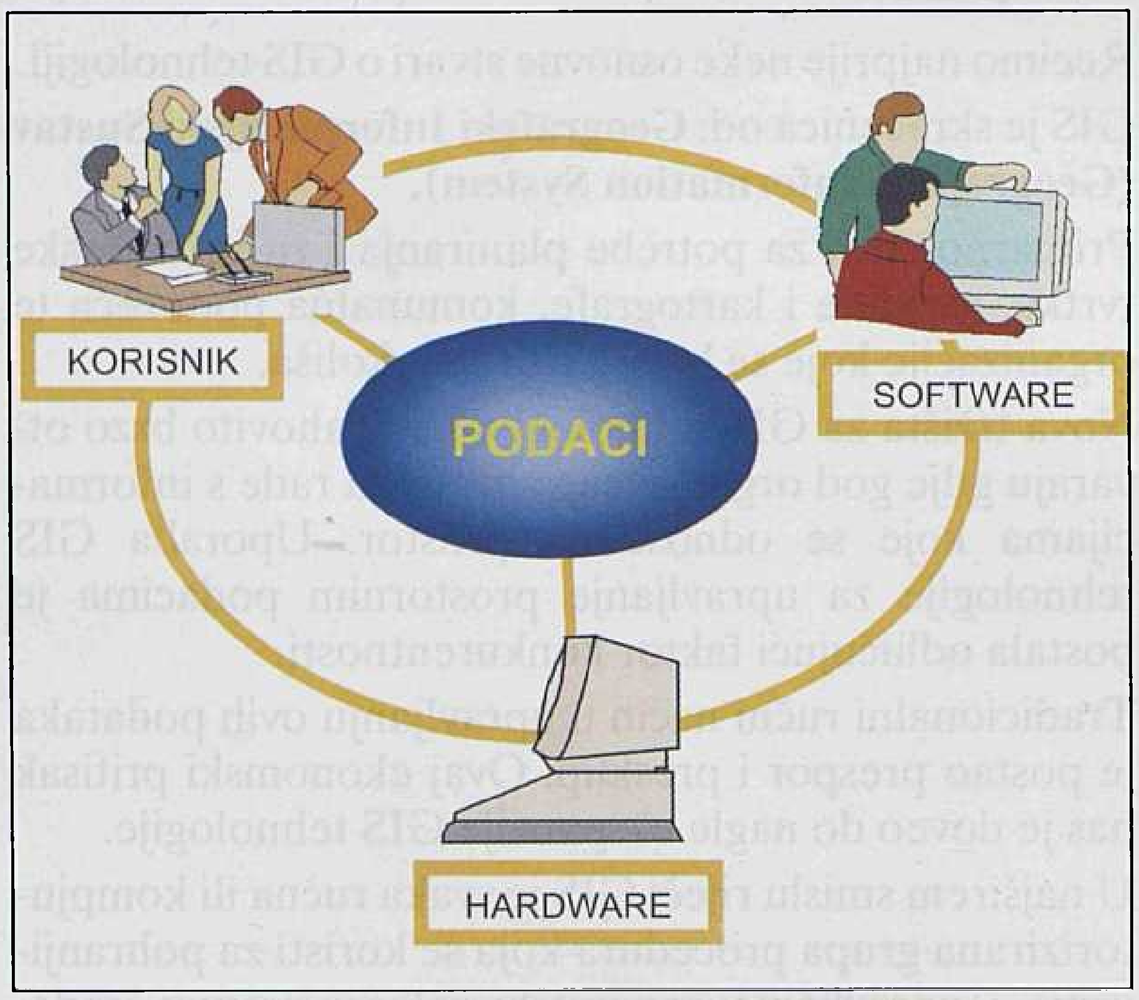
Osnovna definicija GIS-a bila bi: "Računalna tehnologija koja omogućava upravljanje i gospodarenje prostornim (geografskim) informacijama." Proširenije i preciznije tumačenje ove definicije govori da se radi o zbirci strojne opreme, programske podrške, geograf-

skih podataka i školovanih korisnika sa zadaćom bilježenja, pohranjivanja, posadašnjenja (ažuriranja), obrade, analize i prikaza svih detalja zemljopisnih informacija. Također, može se reći da se radi o tehnologiji koja korisniku predstavlja stvarni svijet u obliku informacija povezanih s određenom ciljanom lokacijom.

Osim toga, GIS je sustav za planiranje, upravljanje, procjenu korištenja zemljišta, njenih resursa i infrastrukture.

GIS, općenito, može biti (strogih granica nema): ručni (analogni podaci), uz djelomičnu podršku računala (analogni i digitalni), te uz isključivu podršku računala (digitalni), no bez obzira na svoju osnovnu karakteristiku i modalnost, radi se o pohranjivanju i upravljanju geografski referenciranim podacima. Drugim riječima, GIS je svaka ručna ili automatizirana grupa procedura koja se koristi za pohranjivanje i upravljanje geografski referenciranim (prostornim) podacima.

Za razliku od dosadašnjih projektantskih i programerskih tehnologija, osnovni entitet GIS tehnologije je podatak, a ne karta ili neki drugi oblik grafičkog prikaza. Ovdje se govori o aspektu tzv. "inteligentne kartografije" koja počiva na kvalitetnim i posadašnjenim podacima, čime je pogodna za precizno grafičko prikazivanje situacije iz stvarnog svijeta. Iz ove premise proizlazi činjenica da su podaci središnji subjekt u tehnologiji koja se zove GIS.




Slijedeći ideju o podacima, kao središnjem subjektu GIS tehnologije, recimo i nešto o njima općenito. U svojoj osnovi, pohranjivanje podataka je:

pretvorba analognih podataka u digitalne, digitalizacija karata (pretvorba crteža na papiru u digitalni zapis u računalu), te unos pisanih podataka u tablične forme u računalu. Osim toga radi se i o pretvorbi digitalnih podataka iz jedne forme u drugu ili iz jednog načina zapisa na računalu u drugi način zapisa. Također, pod upravljanjem podacima se podrazumijeva: obnavljanje podataka, obrada podataka i njihovo oblikovanje.

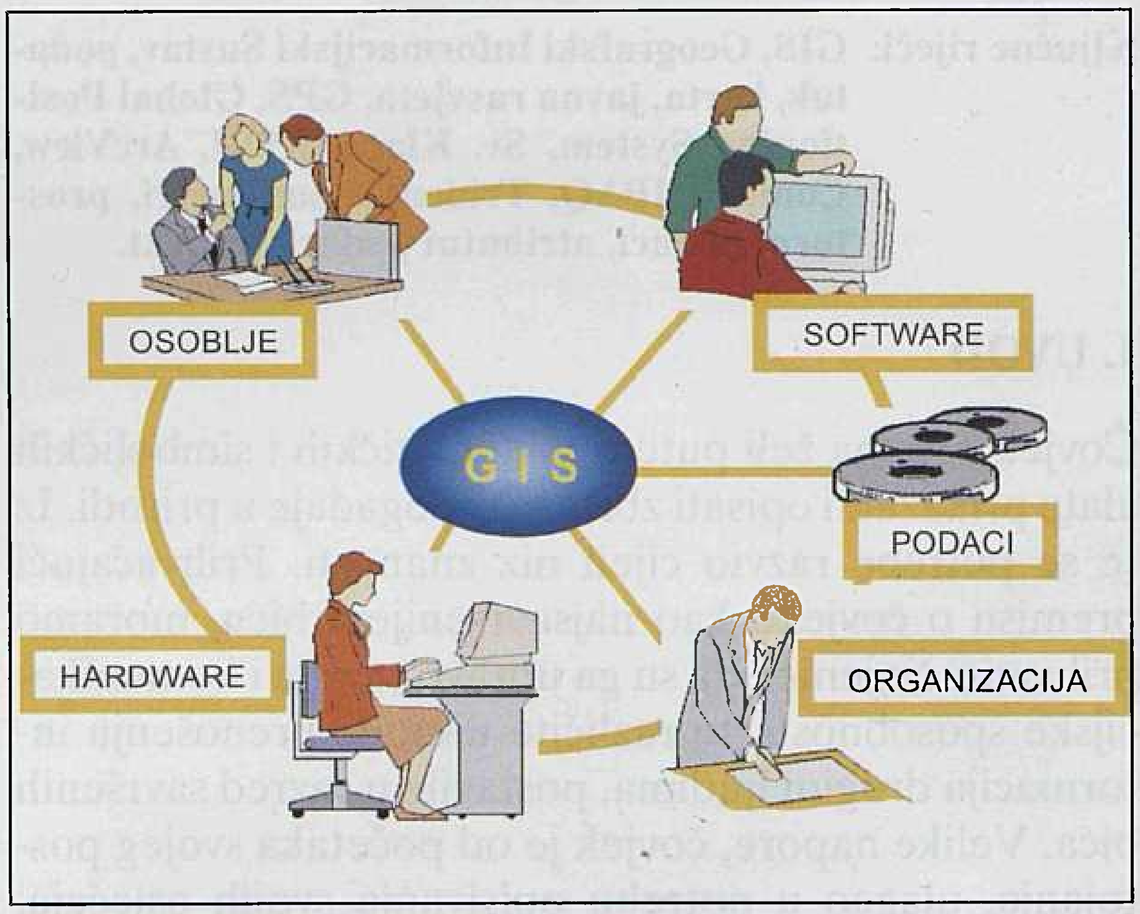
Temeljni podaci GIS-a su dvovrsni:

| | |
|---|---|
| **digitalne karte** | *prostorni podaci* |
| **tablice** | *atributivni podaci* |

GIS objedinjuje u logičku cjelinu digitalne karte raznih izvora (grafički podaci) i tablične podatke (atributni podaci). Grafički podaci i atributni podaci zajedno čine **GIS BAZU PODATAKA**.

**Napomena:** GIS nije digitalna kartografija, što se često pogrješno tumači. Digitalna kartografija je jedan od izlaza GIS-a. Eventualno se može smatrati inteligentnom interaktivnom kartografijom kod koje su osnova podaci u bazi, a prikazi u grafičkom obliku vezani uz sustav zaključivanja i pretraživanja tih podataka.

Drugi koncept percepcije GIS tehnologije je onaj s GIS platformom u centru, oko koje se nalaze važni elementi ukupne GIS ideje:




Rasčlanjujući ovaj koncept definiraju se sljedeći elementi:

STROJNA OPREMA (HARDWARE)
- Računala
- Mreže
- Grafički uređaji

PROGRAMSKA PODRŠKA (SOFTWARE)
- GIS programski paketi
- Baze podataka
- Operativni sustav
- Mrežni programski paketi

PODACI
- Vektorski podaci (točke, linije, poligoni)
- Rasterski podaci (fotografije, rasterske podloge, ...)
- Slike (fotografije pojedinih objekata ili njihovih dijelova)
- Atributne informacije (dodatni podaci vezani uz neki objekt)

OSOBLJE
- Manageri
- Administratori
- GIS tehničari / operateri
- Programeri
- Krajnji korisnici
- Potrošači

ORGANIZACIJA
- Planski pristup
- Standardizacija
- Specifikacije
- Procedure.

Tipična organizacija podataka je prema njihovoj svrsi i namjeni, te grupacija prema vrstama parametara, pa tako razlikujemo:
- geodetske parametre
- zemljopisne parametre
- komunalne parametre
- energetske parametre
- socijalne parametre
- fiskalne parametre.
- ..

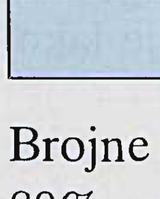
### 2.2. Kako GIS radi

Već je ranije rečeno, podatke možemo podijeliti u dvije osnovne kategorije. To su PROSTORNI PODACI i ATRIBUTNI PODACI. Iz sljedeće tablice bit će jasnije o čemu se radi:

**Prostorni podaci:**

X točka – predstavlja npr. Geodetsku točku, hidrant, javni telefon

——— linija – predstavlja obalu, cestu, vodovod, plinovod,…



poligon – predstavlja parcelu, zonu, granicu,…

**Atributni podaci:**

tablice:

| broj parcele | vlasnik | površina | ….. |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Brojne svjetske studije su pokazale:

80% podataka koje koriste Uprave gradova u svakodnevnom radu su **prostorni podaci**, stoga ne treba čuditi brza ekspanzija GIS tehnologije u mnoge sfere ljudskog djelovanja.

GIS kao tehnologija ima osobine (prednosti):
- vizualiziranja podataka
- organiziranja podataka
- integriranja podataka iz raznih izvora
- analiziranja podataka
- postavljanja pitanja
- otkrivanja onoga što je bilo "skriveno".

### 2.3. Svrha GIS-a

Temeljna zadaća Državnih i lokalnih uprava i samouprava za gospodarenje zemljištem je vrlo složena u stručnom, tehnološkom i organizacijskom smislu.

GIS kao tehnologija pomaže ostvarenju temeljne zadaće Uprava za gospodarenje zemljištem za:
- **unos podataka**
- **upravljanje podacima**
- **planiranje**
- **analizu podataka**
- **brzinu obrade**
- **donošenje odluka.**

GIS aplikacija istodobno obrađuje vrlo mnogo podataka, i gdje god se traži istodobno vrlo mnogo točnih podataka, GIS je nezamjenjiv.

Do sada smo govorili o površinama, odnosno o dvodimenzionalnim relacijama. Stvarni svijet je, međutim, trodimenzionalan, pa je ovdje nužno spomenuti cjelokupnu domenu iz koje nastaju podaci, a to je prostor. Realni prostor današnjice, pogotovo u urbanim sredinama, svakodnevno je podložan promjenama, kako u prostornom smislu tako i u atributnom smislu. Osnovne osobine realnog prostora koji nas okružuje su:
- **stanje u prostoru nije konstantno**
- **postojeći podaci nisu dovoljni**
- **postojeći i potrebni podaci nisu uravnoteženi**
- **postojeći i potrebni podaci nisu ažurni.**

Iz toga slijedi još veća potreba za obradom podataka na jedinstveni i transparentan način, kako bi se sve negativne konotacije iz gornje liste umanjile ili eliminirale.

GIS tehnologija omogućava ulazak u virtualni svijet podataka, koji je vjerna kopija stvarnog realnog svijeta koji nas interesira. O ovom, virtualnom svijetu, moguće su operacije koje su teže izvedive u stvarnom svijetu. Naprimjer, moguće je kretanje kartom duž neke zadane linije smjera (engl. path), udaljavanje od površine (promjena mjerila prikaza), prikaz elemenata prostora prema našem zahtjevu, kombinatorika s prostornim i atributnim elementima lokacije koja nas zanima itd. Također, moguće je mijenjati kartografske projekcije, osigurana je dobra orijentacija na površini ili u prostoru, i osim toga, mogući su precizni prikazi u bilo kojem zadanom mjerilu. Osim toga, ova tehnologija omogućava prikaz atributnih podataka vezanih uz neki prostorni podatak, zaista samo uz pomoć jednog klika mišem.

Jedna od karakteristika GIS tehnologija, je svakako sposobnost razlikovanja različitih "slojeva". Poput drugih kvalitetnijih grafičkih aplikacija, i u okviru ove tehnologije moguća je definicija korisničkih katova podataka, čime se omogućava grupiranje i selektivni prokaz jedne, više ili svih tako organiziranih grupa podataka. Općenito možemo okarakterizirati sloj kao:

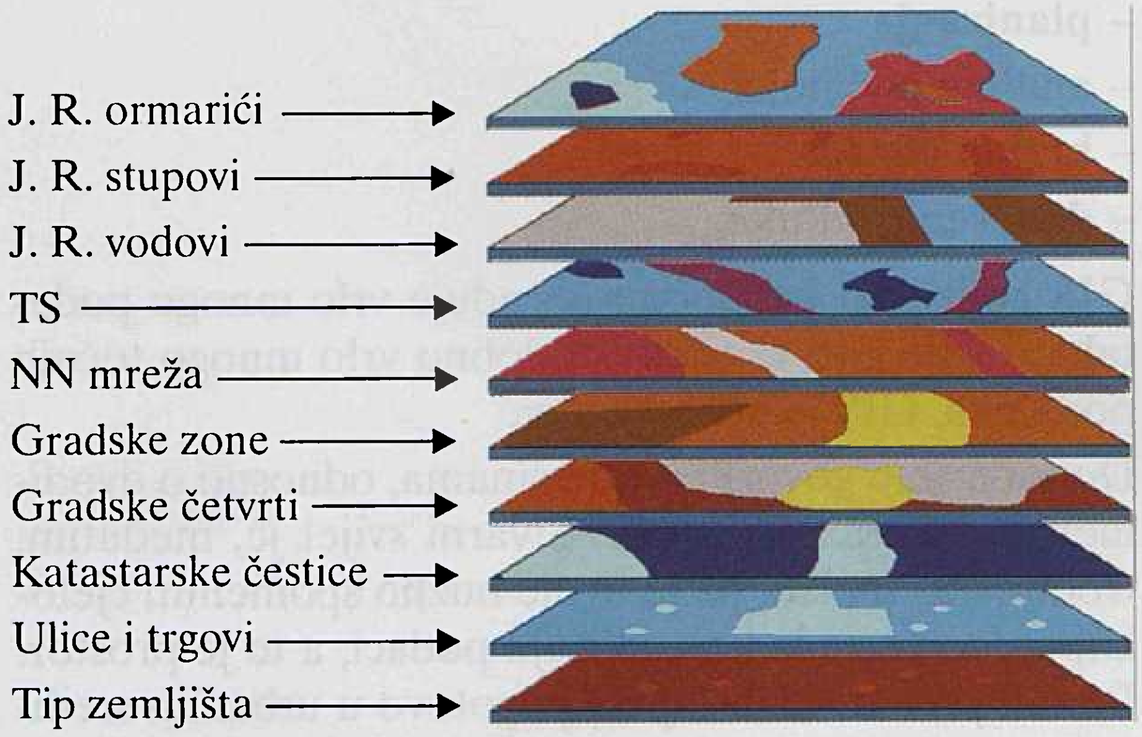
**SLOJ = lokacije + informacije**

**SLOJ = objekti + atributi**

a oni se u okviru normalnog rada:

- **mogu uključiti ili isključiti**
- **mogu poredati jedan preko drugog**
- **mogu uključiti ili isključiti u ovisnosti o mjerilu.**

Jedan primjer koji će na zoran način objasniti što su to slojevi u GIS tehnologiji, dan je sljedećom slikom:




Obučeni korisnik, osim isključivanja i uključivanja slojeva, može postavljati složene upite prema bazi podataka te tražiti iscrtavanje rezultata na nekoj preddefiniranoj podlozi, sloju ili grupi slojeva. Tako se u osnovi razlikuju:

PROSTORNI UPITI I SELEKCIJE

Selekcija prema prostornim odnosima

Koji strujni krugovi prelaze preko zadanog trga?

LOGIČKI UPITI I SELEKCIJE

Selekcija prema atributnoj informaciji

Koja rasvjetna tijela imaju regulaciju?

Također, GIS tehnologija omogućava primjenu jednostavnih i složenih analitičkih relacija, tako da je moguće npr:

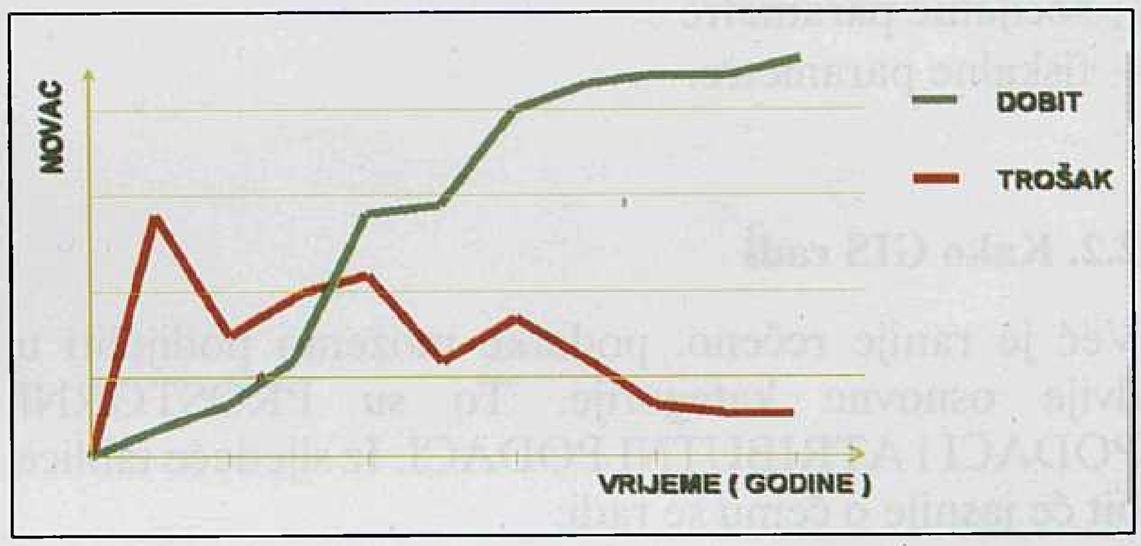
- klasifikacija slojeva prema atributima
- usporedba slojeva
- presjeci slojeva
- preklapanja slojeva
- prostorno modeliranje
- itd.

Zaključimo, GIS tehnologiji ćemo prostupiti tek kada smo postali dovoljno svjesni tehnoloških mogućnosti, opravdanosti investicije te unaprjeđenja poslovanja. Stoga ponovimo koje premise je potrebno zadovoljiti kako bismo "pribavili ulaznicu za GIS":

- JASNI CILJEVI
- RAD
- OSOBLJE
- STROJNA OPREMA
- PROGRAMSKA OPREMA
- PODACI
- AUTORITET I DOSLJEDNOST VODSTVA.

Svako poslovanje, pa i onaj dio poslovne aktivnosti koji se bavi unaprjeđenjem poslovanja, mora voditi velikog računa o troškovima, kako svojim tako i troškovima cjelokupnog pravnog subjekta u sklopu kojega funkcionira. Stoga je ovo zgodno mjesto za navesti i neke ekonomske aspekte GIS tehnologije. Na sljedećem dijagramu dan je shematski odnos uloženog (troškovi) i vraćenog (dobit) na osnovi velikog broja poslovnih analiza (izvor: GIS World, 12. 2001.).

TROŠAK NASUPROT DOBITI




Navedimo i pojedine opće kategorije koje dovode do stvaranja odnosa kakav je prikazan na prethodnom dijagramu:

TROŠKOVI

- prikupljanje i pretvaranje informacija
- programska oprema, informacijski sustav i aplikacije
- osposobljavanje osoblja
- nabava i održavanje strojne opreme

DOBIT

- brži i učinkovitiji pristup informacija
- djelotvornija obrada podataka, evidencija informacija
- utemeljenje odluke, ekološka svijest
- ažurno stanje informacija
- obrazovano osoblje
- vlastiti i kvalitetni kartografski i grafički prikazi.

Podsjetimo se stare talijanske izreke "Uomo informato; uomo mezzo salvato" (informirani čovjek je napola spašen čovjek), te recimo glasno, odluke je lako donositi ako nema informacija:

*Alice: " Kojim od ovih puteva moram krenuti?"*

*Mačak: "Kamo namjeravaš doći?"*

*Alice: "Ne znam!"*

*Mačak: "Onda je svejedno!"*

## 2.4. Što mora zadovoljiti GIS tehnologija

Da bismo uopće razmatrali ulazak u svijet GIS-a, moramo biti odlučni u svojim prohtjevima. Osnovne stvari koje GIS tehnologija mora zadovoljiti su:

- JEDNOSTAVNOST UPORABE
- MOGUĆNOST USPOSTAVE PROCEDURA
- OSIGURANJE KVALITETE
- TRAJNOST U VREMENU
- ZAŠTITA INVESTICIJE.

Stoga, ako procijenimo nakon detaljnih pred-analiza da neka od ovih kategorija nije zadovoljena, treba odustati od nabave GIS tehnologije ili se uz savjetovanje s iskusnim korisnicima potruditi i načiniti nove analize te provjeriti njihove rezultate.

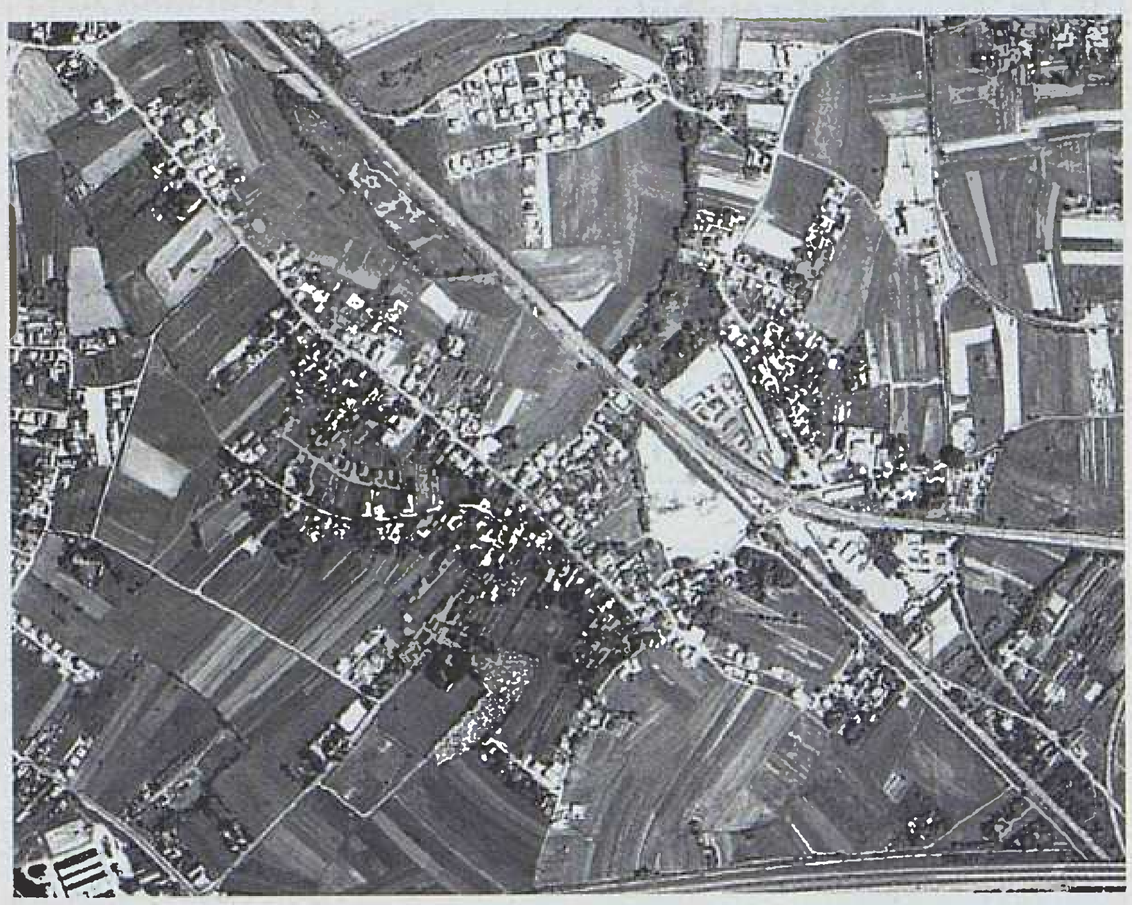
## 2.5. Osvrt na prostorne podatke kao temelj GIS-a

U svrhu što je moguće veče točnosti budućih podataka, idealno je osigurati brzu i točnu digitalizaciju prostornih koordinata. Ovaj postupak je dugotrajan i skup, pa treba imati na umu sljedeće:

- svrha podataka i uporabljivost za rješavanje konkretnih zadataka
- točnost i količina postojećih podataka
- tehničko-tehnološke mogućnosti
- vremenske i financijske mogućnosti.

Prostorni podaci visoke točnosti su sadržani u katastarskim i topografskim planovima u mjerilu 1:1000. Ovo mjerilo je vrlo pogodno za formiranje i povezivanje mnogobrojnih atributnih podataka (broj parcele, vlasništvo, površina itd.). Proces dobivanja ovih karata digitalnom obliku je skup i dugotrajan.

Danas se, međutim. snalazimo i sa drugim tipovima podataka koji predstavljaju "digitalnu" podlogu prostora našeg interesa. Na tržištu su dostupni tzv DOF (Digital Orto Photo) podaci, koji su u stvari fotogrametrijske snimke površine našeg interesa iz zraka (avio, ne satelitske!).

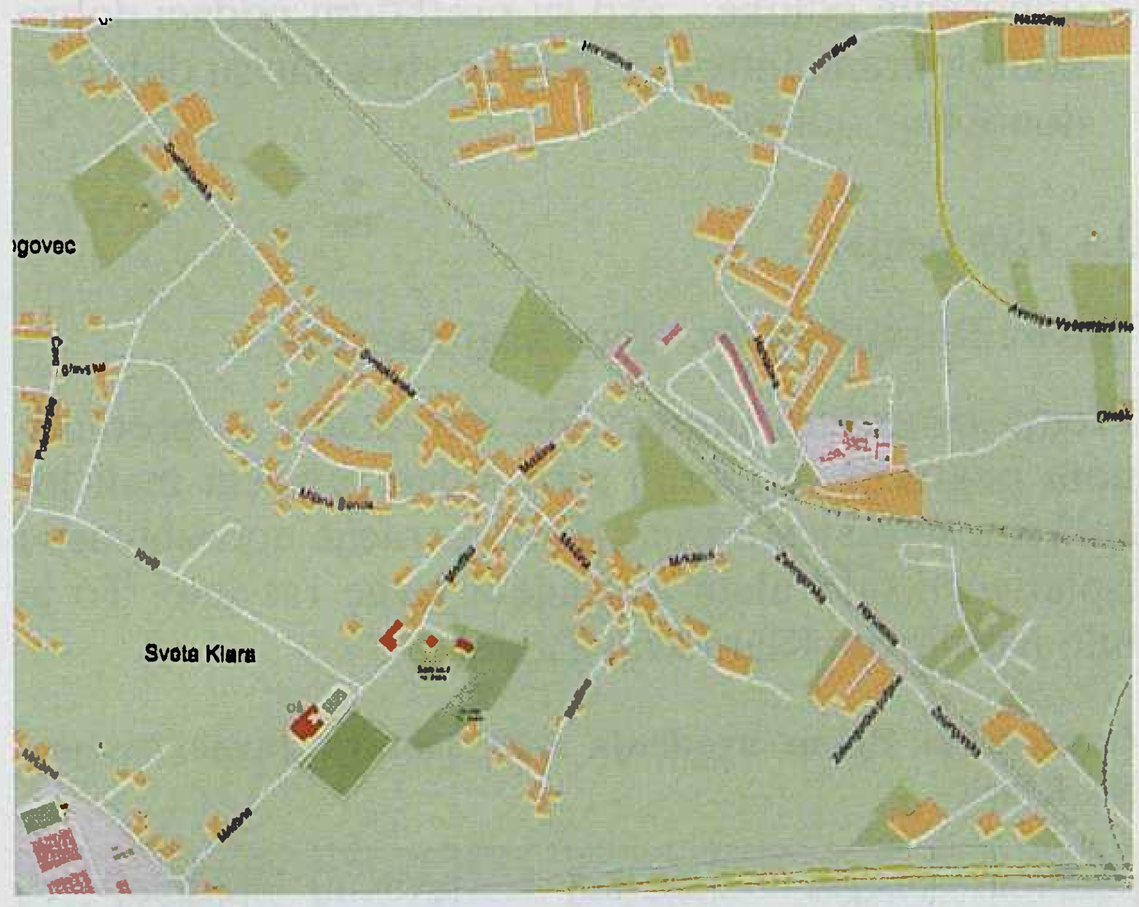


**Slika prikazuje područje Sv. Klare kraj Zagreba, snimljeno iz zraka (DOF)**

Tvrtke koje se bave obradom ovog tipa podataka, nerijetko vrše i interpretaciju istih, čime nastaje filtrirani prikaz površine, gdje su naznačeni samo bitni elementi (prometnice, vodotokovi, građevine i željezničke pruge).




**Slika prikazuje prekloplјene DOF i interpretiranu podlogu**




**Slika prikazuje samo interpretiranu podlogu istog lokaliteta**

Druga, manje točna mjerila su također pogodna za GIS, ako u pogledu točnosti zadovoljavaju zahtjeve korisnika.

Odluka o kartama kao temeljnom podatku za GIS se ostvaruje suradnjom Ureda za katastar i geodetske poslove i Odjela Gradske uprave gdje se GIS koristi.

## 3. IZBOR MANJEG REALNOG GIS PROJEKTA

Kod implementacije GIS-a treba znati:

- **Implementacija GIS-a je profitabilna**
- **Daje rezultate u razumnom roku.**

Zbog gore navedenog, Projekt mora biti manjeg obima i realan, kako bismo investitora u što je moguće kraćem vremenu uvjerili u ispravnost odluke o nabavci GIS tehnologije te implementaciji iste u svojoj radnoj sredini. Već je prije rečeno da postoji i "ručni" GIS ili njegovi dijelovi. Zato, ako želimo automatizirati ručno rađene procese, potrebno je izvršiti sljedeće korake:

- odabrati mali realni (pilot) projekt
- specifikacija problema - koje informacije trebamo iz sustava i u kom obliku
- definiranje GIS baze podataka - koje informacije stavljamo u bazu
- specifikacija sustava - sw i hw
- prikupljanje podataka - digitalizacija karata i atributni dio
- obrada podataka - dolaze iz raznih izvora, pa ih treba prilagoditi
- analiza podataka - stavljamo "grube" analogne podatke u digitalnu formu pa je potrebna provjera
- upravljanje podacima - sigurnost i dopuna podataka, procedure (tko, kada, gdje, kako)
- prikaz podataka - tabele, grafikoni, karte, izvještaji
- ocjena greške i točnosti - računalo zna obraditi podatke, ali ne zna da li su podaci točni
- donošenje odluke - ako su prethodni podaci dobro kompletirani, informacije tako stvorene su dobre za donošenje odluke.

### 3.1. GIS projekt:

### "Javna Rasvjeta u Sv. Klari kraj Zagreba"

Prema osnovnim premisama navedenim u prethodnom poglavlju, odabrali smo jedan priručni mali lokalitet u svrhu testiranja i demonstracije uporabivosti i isplativosti GIS alata u domeni javne rasvjete. To je bilo naselje Sv. Klara kraj Zagreba.

**Gantogram Plana uvođenja GIS sustava Javne rasvjete Sv. Klare**

| veljača | ožujak | travanj | svibanj | srpanj |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| Nabavka hw, sw za prvi GIS projekt | obuka i pripreme za početak rada | unos prikupljenih podataka u aplikaciju | izrada tematskih karata | povezivanje grafike i alfanumerike |

Svjesni činjenice da o ovom lokalitetu postoji malo digitalnih podataka tehničke naravi, a prvenstveno vezanih uz instalaciju javne rasvjete, pristupili smo definiranju procedura za ovaj radni zadatak. Prvi i osnovni korak u kontekstu kvalitetnog GIS rješenja, svakako je bio specificirati problem, tj. odlučiti koje sve informacije moramo prikupiti a koje su vezane uz sustav.

U prvom redu konzultirali smo sve direktno i indirektno koinvolgirane subjekte koji bi eventualno mogli raspolagati tehničkom dokumentacijom koja nam je trebala. Nakon uvida u dokumentaciju, odlučili smo pribaviti DOF podlogu lokaliteta Sv. Klara, kao i interpretiranu DOF podlogu.

Model baze podataka definiran je prema sljedećim tablicama:

**1. Tablica atributa: MJERNO MJESTO (MM) – TRAFO STANICA**

| R. br. | Naziv atributa | Tip | Kodirana lista (+ = da) |
|---|---|---|---|
| 1 | Šifra | int | |
| 2 | Naziv | char | |
| 3 | Adresa | char | |
| 4 | Tip_ploče | char | + |
| 5 | Max. br. struj. krugova | int | |
| 6 | Broj struj. krugova | int | |
| 7 | Upravljanje | char | + |
| 8 | God. Izgradnje | char | |
| 9 | Vršna snaga (kW) | float | |
| 10 | Šifra potrošača | char | |
| 11 | Serijski br.brojila | char | |
| 12 | Izvedba | char | + |
| 13 | Pristup | char | + |
| 14 | Vlasnik | char | + |
| 15 | Br. dosjea u arhivi | char | |
| 16 | Napomena 1 | char | |
| 17 | Napomena 2 | char | |
| 18 | Labela | char | |

**Napomena:** U ovoj kao i u sljedećim tablicama, u stupcu "tip" oznake znače slijedeće: int – integer (cjelobrojni atribut); char – character (slovno brojčani atribut); float – floating point (atribut označen decimalnim brojem); obj – object (multimedijski objekt: slika, zvuk, film).

**2. Tablica atributa: NAPOJNI VOD (NV)**

| R. br. | Naziv atributa | Tip | Kodirana lista (+ = da) |
|---|---|---|---|
| 1 | Šifra | int | + |
| 2 | Grupa | char | + |
| 3 | Naziv | char | + |
| 4 | Mjerno mjesto | char | |
| 5 | Strujni krug | int | |
| 6 | Naziv strujnog kruga | char | |
| 7 | Ring | char | + |
| 8 | Materijal | char | + |
| 9 | Broj žila | int | + |
| 10 | Presjek (mm2) | float | + |
| 11 | Napon (v) | int | + |
| 12 | Napajanje | char | + |
| 13 | Regulacija | char | + |
| 14 | Br. osnovnog sredstva | char | |

| R. br. | Naziv atributa | Tip | Kodirana lista (+ = da) |
|---|---|---|---|
| 15 | Datum montaže | char | |
| 16 | Datum demontaže | char | |
| 17 | Duljina NV između stupova (m) | float | |
| 18 | Duljina NV iz arhive | float | |
| 19 | Vlasnik | char | + |
| 20 | Napomena 1 | char | |
| 21 | Napomena 2 | char | |
| 22 | Labela | char | |

### 3. Tablica atributa: RASVJETNO MJESTO (RM)

U ovoj tablici kratice znače sljedeće:

SN ...Stup Nosač
SV ...SVjetiljka
JR ...Javna Rasvjeta
SN_NN_JR ...Stup Nosač_Nisko Naponska mreža na Stupu Nosaču Javne Rasvjete
AKZ ...Anti Korozivna Zaštita
KPO ...Kabelski priključni ormarić
OP ...Ostali Potrošači na javnoj rasvjeti.

U tablici su grupirani atributi rasvjetnog mjesta i označeni u stupcu "Pripadnost", s obzirom na komponentu rasvjetnog mjesta.

| R. br. | Naziv atributa | Tip | Pripadnost | Kodirana lista (+ = da) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Vrsta čvora | | | + |
| 2 | Broj mjernog mjesta | int | RM | |
| 3 | Broj strujnog kruga | int | RM | |
| 4 | Broj rasvjetnog mjesta | char | RM | |
| 5 | SN_Šifra | char | SN | + |
| 6 | SN_Grupa | char | SN | + |
| 7 | SN_Naziv elementa | char | SN | + |
| 8 | SN_Proizvođač | char | SN | |
| 9 | Materijal | char | SN | + |
| 10 | SN_Visina (m) | float | SN | + |
| 11 | SN_broj lukova | | | + |
| 12 | SN_Površina (m2) | float | SN | |
| 13 | SN_Otpor uzemljenja | char | SN | |
| 14 | SN_datum mjerenja otpora uzemljenja | char | SN | |
| 15 | SN_datum zadnjeg AKZ-a | char | SN | |
| 16 | SN_Datum postavljanja | char | SN | |
| 17 | SN_NN_JR | char | SN | + |
| 18 | SN_Ring_JR | char | SN | + |
| 19 | SV_Broj žarulja | int | SV | |
| 20 | Režim rada | char | SV | + |
| 21 | SV_Snaga (kW) | float | SV | + |
| 22 | SV_Šifra | char | SV | + |
| 23 | SV_Grupa | char | SV | + |
| 24 | SV_Naziv | char | SV | + |
| 25 | SV_Proizvođač | char | SV | + |
| 26 | SV_vrsta žarulje | char | SV | + |
| 27 | SV_Inventarski broj | char | SV | |
| 28 | SV_Datum montaže | char | SV | |
| 29 | SV_Datum demontaže | char | SV | |
| 30 | SV_Datum zamjene žarulje | char | SV | |
| 31 | Napajanje | char | SV | + |
| 32 | Šifra vlasništva | char | RM | + |
| 33 | Opis vlasništva | char | RM | + |
| 34 | Tip potrošača | char | OP | + |
| 35 | Opis | char | OP | |
| 36 | Snaga (kW) | float | OP | |
| 37 | KPO | char | SN | + |
| 38 | Fotografija | obj | RM | |
| 39 | Napomena 1 | char | RM | |
| 40 | Labela | char | RM | |

Naknadnim provjerama i redefinicijom, utvrđena je mogućnost redukcije atributa baze podataka, budući se radi o pilot projektu. Unatoč pojednostavljenju, obaveza je bila zadržati sve one atribute koji bi omogućili proširenje baze kada se za to ukaže potreba.

Osim alfanumeričkih podataka, lokaciju smo dopunili i fotografskim podacima vezanim uz svako rasvjetno tijelo, te se i taj slikovni atribut našao u bazi podataka. U nastavku je dano nekoliko slićica koje dokumentiraju gore rečeno:





Specifikacija tehničkog sustava na kome će zaživjeti GIS platforma, sveo se na proučavanje potrebnih tehnologija kako sklopovskih (engl. hardware), tako i programskih (engl. software). Prema savjetu stručnjaka iz ovog područja, odabrano je moderno računalo bazirano na Pentium 4 procesoru (1.6 Ghz) te opskrbljeno RAM memorijom od 1 GB. Računalo je također opremljeno kvalitetnom Matrox Millenium G550 grafičkom karticom te multimedijskim adapterom. Osim toga postavljena su dva 17" LCD monitora, prema načinu kako to podržava grafička kartica.

U svrhu dopunske akvizicije te provjere točnosti, nabavljen je Trident prijenosni GPS (Global Positioning System) uređaj koji se povezuje s ručnim računalom Compaq IPAQ. Ovaj uređaj doprinio je većoj točnosti očitanja lokacije pojedinih točkastih entiteta, kao i provjeri lokacije već definiranih i unesenih entiteta.

Izbor programskog paketa, pao je na ESRI tehnologiju, preciznije na ArcView 8.1 programski paket.

Uslijedila je prospekcija terena i ustanovljavanje realne situacije na terenu. Poslu smo pristupili planski, tako da je tijekom obilaska lokaliteta, vođen precizan dnevnik o svim parametrima koji su se mogli ovakvom prospekcijom utvrditi. Na osnovi prethodno definiranog modela baze podataka za koju smo procijenili da je dovoljno kompleksna za potrebe tehničke uporabe, uslijedilo je i prikupljanje terenskih podataka. Osim optičkog utvrđivanja lokacije pojedinog elementa javne rasvjete, GPS (Global Positioning System) uređajem, potvrdili smo precizno koordinate pojedinih entiteta. Očitavanja ovim uređajem nismo sprovodili kontinuirano, već samo za lokacije čija je pozicija bila upitna te za ključne lokacija na križanjima ili prijelazima preko pruge.

Programski paket omogućava sinkronizirano prikazivanje osnovnih atributnih i prostornih podataka, te prikaz dodatnih podataka prema zahtjevu korisnika. Tako se iz naše iscrtane baze podataka u kojoj su pohranjeni svi stupovi koji su zatečeni na terenu, moglo logičkim upitima dobiti presjek baze te prikazeti samo neke karakteristične podatke, npr drvene stupove sa svjetiljkama Elektrokovine. Također je, koristeći alate GIS programa, moguće klikom na pojedini prostorni element, dobiti ispis tablice atributa koja tom elementu odgovara.

Naknadnim analizama pojedinih podataka, ustanovljena je velika točnost podataka u bazi te je odlučeno da se na temeljima ovog projekta mogu bez problema graditi kompleksniji sustavi ovog područja.

## 4. ZAKLJUČAK

Sukladno premisama modernog poslovanja te poznavajući problematiku javne rasvjete grada Zagreba, odlučili smo se za izvedbu GIS pilot projekta relativno malog lokaliteta: Sv. Klare kraj Zagreba. Na ovom području smo testirali sve do sada poznate spoznaje o ovoj tehnologiji, te smo se uvjerili kako je ona pogodna i za područja znatno većeg rasprostiranja, kao što je to grad Zagreb u cjelosti. Osim dopune baze, odnosno modela podataka, sva ostala, u ovom projektu uporabljena tehnologija, može se direktno i bez promjena koristiti i za veća područja. Osim svega do sada rečenog, a svjesni krajnjeg cilja moderne koncepcije javne rasvjete, a to je centralni dispečerski centar, možemo tvrditi kako smo odabrali zaista univerzalnu tehnologiju, primjenjivu do samog krajnjeg cilja. Naime, ESRI GIS platforma, uz dopunske programske modula, podržava kontekst daljinskog upravljanja i nadzora. Preciznim projektiranjem od samog početka, te doradom sklopovlja na terenu (senzori i agenti daljinskog upravljanja), uspostavila bi se razina koja zadovoljava potrebe dispečerskog centra, a samim tim se gradu Zagrebu nudi mogućnost ekonomičnog upravljanja javnom rasvjetom.

## LITERATURA


[1] Uvod u GIS – GISDATA d.o.o., 1994.

[2] **GIS Data Conversion Handbook** – Glenn E.Montgomery, Harold C. Schuch, 1993.

[3] **The GIS Glossary** – ESRI Inc., 1996.

[4] **Managing a GIS**, ARC/INFO Method – ESRI Inc., 1995.

[5] **Inside ARC/INFO** – Michael Zeiler, Onword press, 1994.

[6] **Introduction to ArcView GIS** – ESRI Inc., 1996.

[7] **ONLINE SLIDE LIBRARY** – ESRI Inc., 1997

[8] **WWW.ESRI.COM** – ESRI Inc., 1997

[9] **Digital Earth Alpha Versions** – Mark E. Reichardt (mreichardt@usgs.gov) – Digital Earth Community Meeting, Oracle Corporation, 2-3 May 2000


## GIS IN PUBLIC LIGHTING OF THE CITY OF ZAGREB


According to modern management as well as to the knowledge of the quality of today's technology, GIS pilot project for public lighting for the area of Sv. Klara near Zagreb has been developed. ESRI GIS technology on the level of ArcView 8 programming package has been used. As regards hardware Pentium IV (1,6 GHz) based computer has been used as well as GPS handy equipment from Trimble connected to handbook Compaq IPAQ. In order to get good insight and evaluation, basic data base has been developed that consists of fundamental geographic data and technological attributes. To grasp the current state a multimedia film has been developed lasting for 7.5 minutes. The film consists of three scenes. A larger part is devoted to a night drive through Sv.Klara, the upper smaller to a day's drive by the same route while the lower shows the current position on the map of Sv. Klara.


## "GIS" IN DER STRASSENBELEUCHTUNG DER STADT ZAGREB

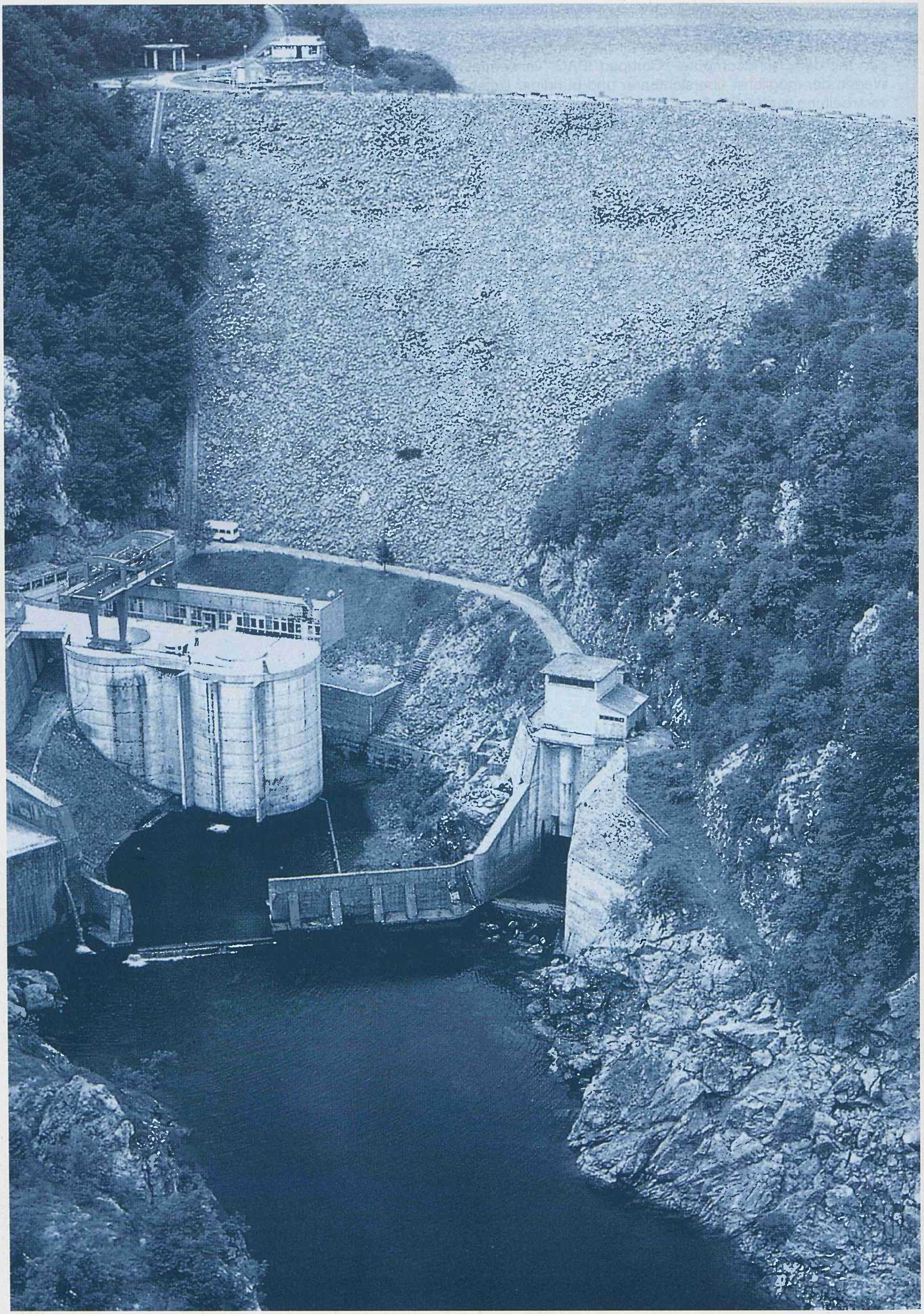

In Übereinstimmung sowohl mit den Voraussetzungen der zeitgenössischen Betriebsführung als auch mit den Kenntnissen bezüglich der Qualität der heuer zugänglichen Verfahrenskunden ist der Vorentwurf der Strassenbeleuchtung für den Bereich der zagreber Vorstadt Sveta Klara entwickelt worden. Dies geschah auf Grund des Programmes genannt: "System erdkundlicher Auskünfte" auf englisch "GIS" (Abkz. von: Geographic Information System). Er beruht auf dem vom Institut für die Untersuchung des Umgebungssystems "ESRI" (Abkz. in englisch: Environmental Systems Research Institute) auf der Stufe des "ArcView 8" Programmpaketes entwickelten Verfahren. Als Geräteausstattung wurde der Rechner mit Pentium IV Prozessor (1,6 GHz) und das Taschengerät GPS (Abkz. in englisch: Global Positionig System = digitales System der Standortbestim-

mung mittels Raumflugkörper) der Firma "Trimble", verbunden mit dem Handcomputer "Compaq IPAQ" verwendet. Wegen der möglichst übersichtbarer und bündiger Datenverarbeitung wurde eine Grunddatenbank mit wesentlichen erdkundlichen Angaben und grundsätzlichen Datensatzfeldern des Verfahrens geschaffen. Für die Darstellung des augenblicklichen Zustandes ist ein multimedialer Film in der Dauer von 6 Minuten erzeugt. Der Film zeigt eine Kombination von drei Aufnahmeteilen. Der grössere Teil des Leinwandes zeigt eine Nachtfahrt durch Sveta Klara. Der obere, kleinere Teil zeigt dieselbe Fahrt bei Tageslicht, und der untere den augenblicklichen Standort am Stadteilplan von Sveta Klara.

Naslov pisca:

**Ranko Skansi, dipl. ing,**
**ELICOM d.o.o., Nova ves 5,**
**10000 Zagreb, Hrvatska**
**e-mail: ranko.skansi@elicom.hr**

Uredništvo primilo rukopis:
2002 – 12 – 02.



# NAPONSKE PRILIKE UZDUŽ SAMONOSIVOG OPTIČKOG KABELA OVJEŠENOG NA STUPOVE VISOKONAPONSKOG VODA

Prof. dr. sc. Matislav M a j s t r o v i ć, Zagreb – Petar S a r a j č e v, Kaštel Sućurac

UDK 621.515.5:621.3.05
PREGLEDNI ČLANAK

U novije vrijeme došlo je do demonopolizacije u elektroenergetskom i telekomunikacijskom sektoru, što je dodatno otežalo dobivanje novih ili proširenje postojećih koridora. Zbog toga se sve češće optički kabeli postavljaju na stupove visokonaponskih vodova. Ovi kabeli se nalaze u jakom električnom polju, pa svako onečišćenje njihovog plašta može dovesti do oštećenja istih. U članku se analiziraju naponske i strujne prilike uzduž onečišćenog plašta samonosivog optičkog kabela bez metalnih dijelova, koji je ovješen na čeličnorešetkaste stupove visokonaponskog voda.

**Ključne riječi: dalekovod, optički kabel, napon, suha zona, preskok.**

## 1. UVOD

Zamjenom klasičnih telekomunikacijskih vodova (vodovi s metalnim vodičima (paricama)) s optičkim (bez metalnih dijelova) izostaje poznati elektromagnetski utjecaj elektroenergetskih vodova na vodove telekomunikacija. Zbog toga se danas oni često postavljaju relativno blizu visokonaponskih vodova. U nekim zemljama može ih se naći i na stupovima dalekovoda. Očekuje se da će u budućnosti ovakav način polaganja naći sve veću primjenu zbog ograničenosti prostora i sve težeg dobivanja pripadnih koridora. Zbog toga će se postojeći koridori koristiti maksimalno kako u energetskom, tako i telekomunikacijskom pogledu, tj. da se jedan koridor koristi za obje namjene. Današnja tehnološka dostiguća omogućavaju izradu optičkih kabela bez metalnih dijelova (engl.: all-dielectric self-supporting – ADSS) kojima se, ovisno o dodatnom teretu, mogu savladati rasponi od 800 do 1000 m. Posebna pozornost treba biti posvećena pri postavljanju ovih kabela na stupove viskonaponskih dalekovoda, naročito u sredinama u kojima se javljaju prirodna i/ili umjetna onečišćenja [2, 3, 4]. Onečišćenje plašta optičkog kabela nastaje taloženjem čestica nečistoće na njegovoj površini, te se pritom formira jedna tanka naslaga. Ovisno o njenoj strukturi i vremenskim uvjetima (vlažnosti zraka) ona postaje manje ili više vodljiva. Pri povećanoj vodljivosti ona postaje vodič drugog reda (ima svojstva elektrolita). S obzirom da se nalazi u električnom polju viskonaponskog voda, njome će teći uzdužna struja. Ova struja će biti veća što je veća vodljivost naslage i uzrokovat će toplinske gubitke. Zbog toga će doći do njenog zagrijavanja, a potom i sušenja. Sušenje je diskontinuirano, što dovodi do toga da se uzduž plašta optičkog kabela javljaju suhe zone, a na njima razlike potencijala. Ove razlike potencijala mogu biti takvog iznosa da uzrokuju preskoke preko pripadnih suhih zona. Ovisno o lokalnim uvjetima, spomenuti se parcijalni preskoci mogu spontano ugasiti ili mogu prerasti u veći električni luk. U ovom radu će se analizirati elektrostatski utjecaj faznih vodiča viskonaponskog dalekovoda na optički kabel kojem je onečišćen plašt. Fazni vodiči, dozemna užad i optički kabel su ovješeni na istim stupovima. Prezentirat će se razvijeni matematički model koji omogućava proračun naponskih prilika uzduž onečišćenog plašta optičkog kabela. Na temelju ovog proračuna mogu se odrediti naponska naprezanja suhih zona, te tokovi struja i radni gubici snage (toplinski gubici) uzduž plašta optičkog kabela.

## 2. MATEMATIČKI MODEL

Potencijal na onečišćenom plaštu optičkog kabela javlja se zbog kapacitivne sprege između faznih vodiča i optičkog kabela. Ovi kapaciteti se određuju pomoću pripadne matrice potencijalnih koeficijenata ***P***. Dimenzija ove kvadratne matrice jednaka je ukupnom broju vodiča koji utječu na električno polje u prostoru dalekovoda (fazni vodiči, dozemna užad i ADSS optički kabel s onečišćenim plaštem). Pretpostavi li se da dalekovod ima dva dozemna užeta (slika 1) slijedi da su elementi ove matrice po jedinici duljine [5]:

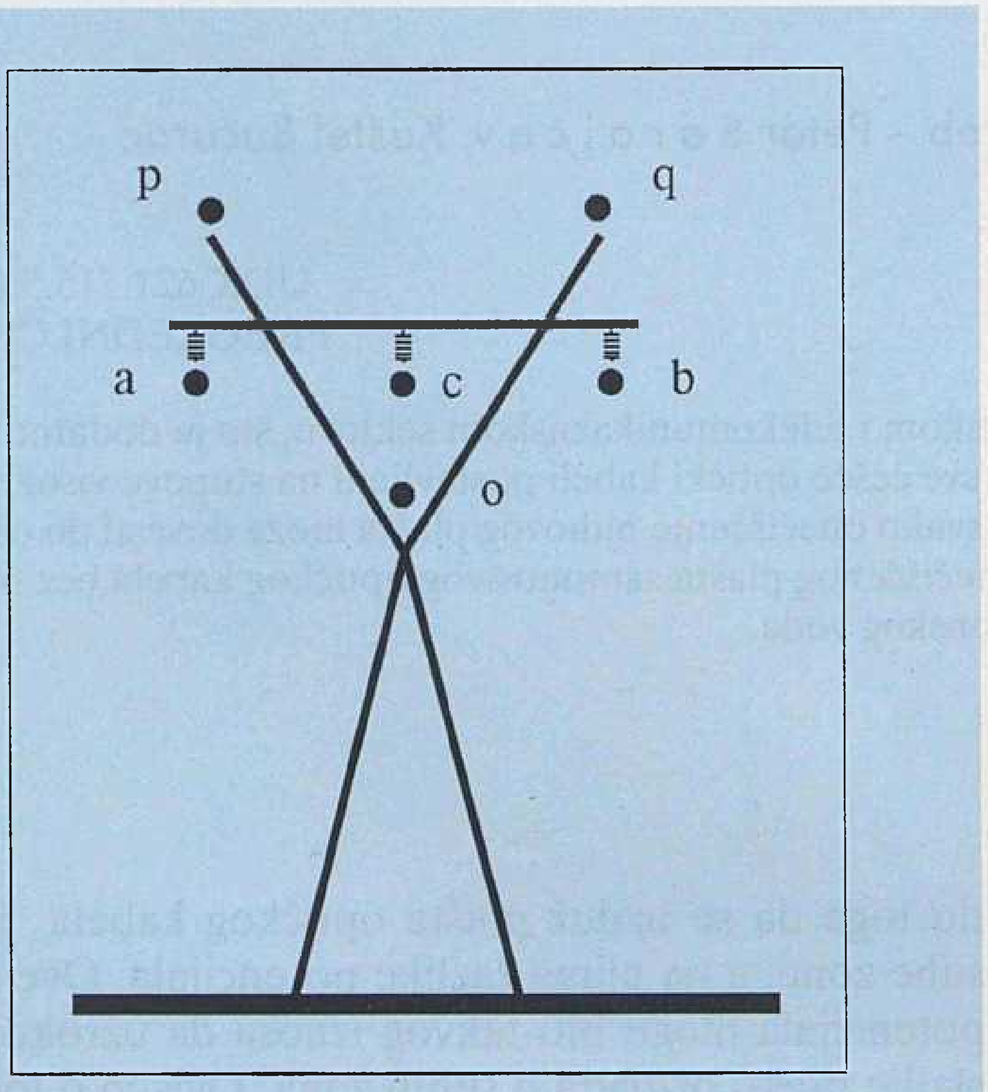
– dijagonalni elementi

$$P_{ii} = 18 \cdot 10^9 \ \ell n \frac{2h_i}{r_i} \qquad \left[\frac{\mathrm{Vm}}{\mathrm{As}}\right] \tag{1}$$

i= a, b, c, o, p, q

gdje je:

$h_i$ – visina i-tog vodiča nad zemljom,
$r_i$ – radius i-tog vodiča
a, b, c – fazni vodiči,
p, q – dozemna užad,
o – ADSS optički kabel s onečišćenim plaštom,




**Slika 1. Dalekovod s dva dozemna užeta i onečišćenim optičkim kabelom**

– izvandijagonalni elementi

$$P_{ik} = 18 \cdot 10^9 \ \ell n \frac{D_{ik}}{d_{ik}} \quad \left[\frac{\text{Vm}}{\text{As}}\right] \tag{2}$$

$i = a, b, c, o, p, q$

$k = a, b, c, o, p, q,$

$i \neq k$

gdje je:

$d_{ik}$ – udaljenost između i-tog i k-tog vodiča,
$D_{ik}$ – udaljenost između i-tog vodiča i zrcalne slike k-tog vodiča.

Slijedi da su naponi vodiča:

$$V^{abcopq} = P^{abcopq} \cdot \lambda^{abcopq} \tag{3}$$

gdje je:

$P^{abcpqo}$ – matrica potencijalnih koeficijenata vodiča,
$\lambda^{abcpqo}$ – stupčana matrica linijskih gustoća naboja vodiča.

Budući da su dozemna užad uzemljena na svakom stupu (njihovi naponi su jednaki nuli ($V^{pq} = 0$ (V)) slijedi da je:

$$\begin{bmatrix} V^{abco} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_I & P_{II} \\ P_{III} & P_{IV} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \lambda^{abco} \\ \lambda^{pq} \end{bmatrix} \tag{4}$$

Transformacijom ove matrične jednadžbe dobiva se:

$$V^{abco} = P^{abco} \cdot \lambda^{abco} \tag{5}$$

gdje je:

$$P^{abco} = P_I - P_{II} \cdot P_{IV}^{-1} \cdot P_{III}. \tag{6}$$

Matrica kapacitivnih koeficijenata po jedinici duljine voda je:

$$K^{abco} = (P^{abco})^{-1}. \tag{7}$$

Budući da je poznata matrica kapacitivnih koeficijenata slijedi da su:

– međusobni kapaciteti po jedinici duljine voda:

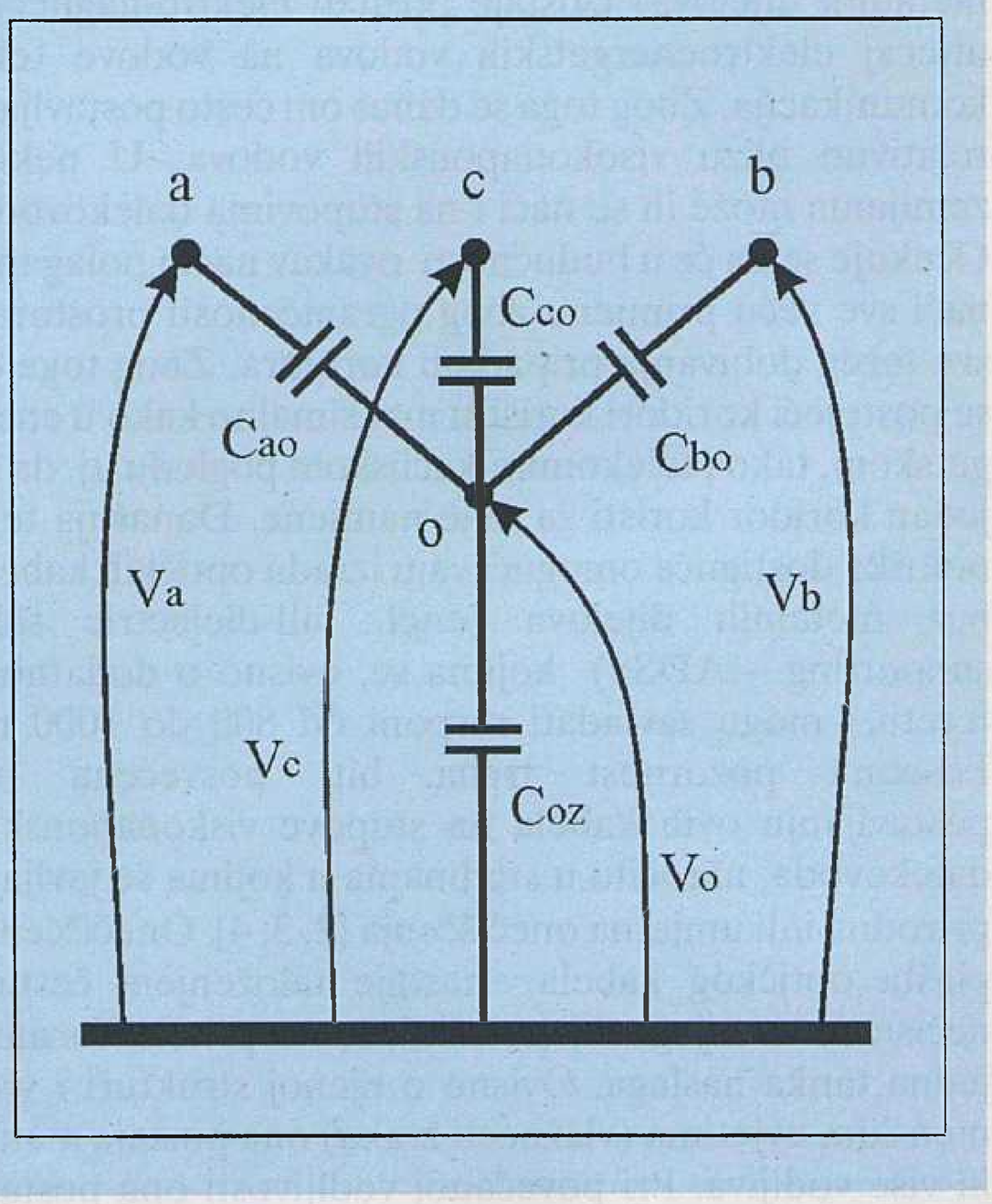
$$C_{ij} = -K_{ij}$$
$$i = a, b, c, o. \tag{8}$$
$$j = a, b, c, o.$$
$$i \neq j$$

– dozemni kapaciteti po jedinici duljine voda:

$$C_{iz} = \sum_{j=a}^{o} K_{ij} \tag{9}$$

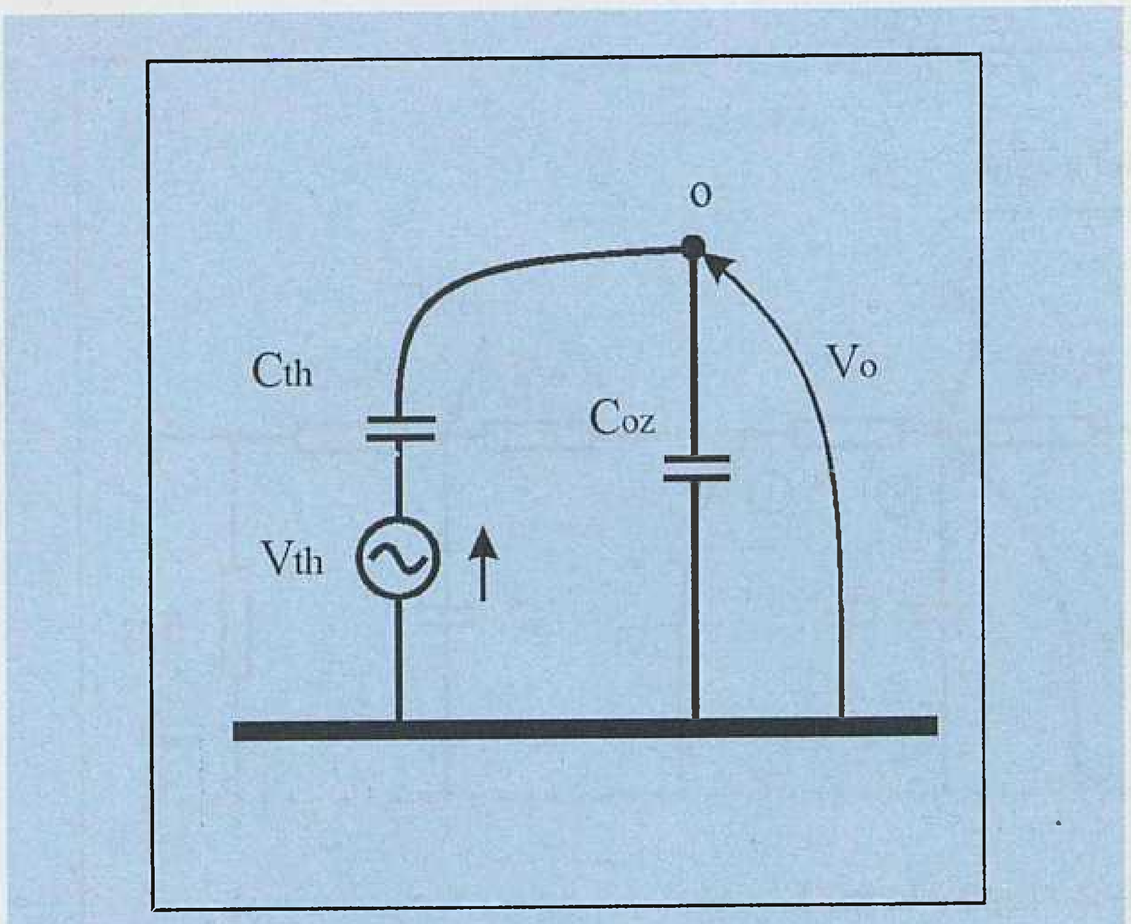
$i = a, b, c, o.$

Utjecaj faznih vodiča (a,b i c) na optički kabel s onečišćenim plaštem prikazan je na slici 2.




**Slika 2. Kapacitivna veza faznih vodiča i optičkog kabela s onečišćenim plaštem**

U skladu s Millman-ovim teoremom utjecaj faznih vodiča može se prikazati pomoću Thevenin-ovog ekvivalenta (slika 3).




**Slika 3. Kapacitivna veza optičkog kabela s onečišćenim plaštem i Thevenin-ovog ekvivalentna faznih vodiča**

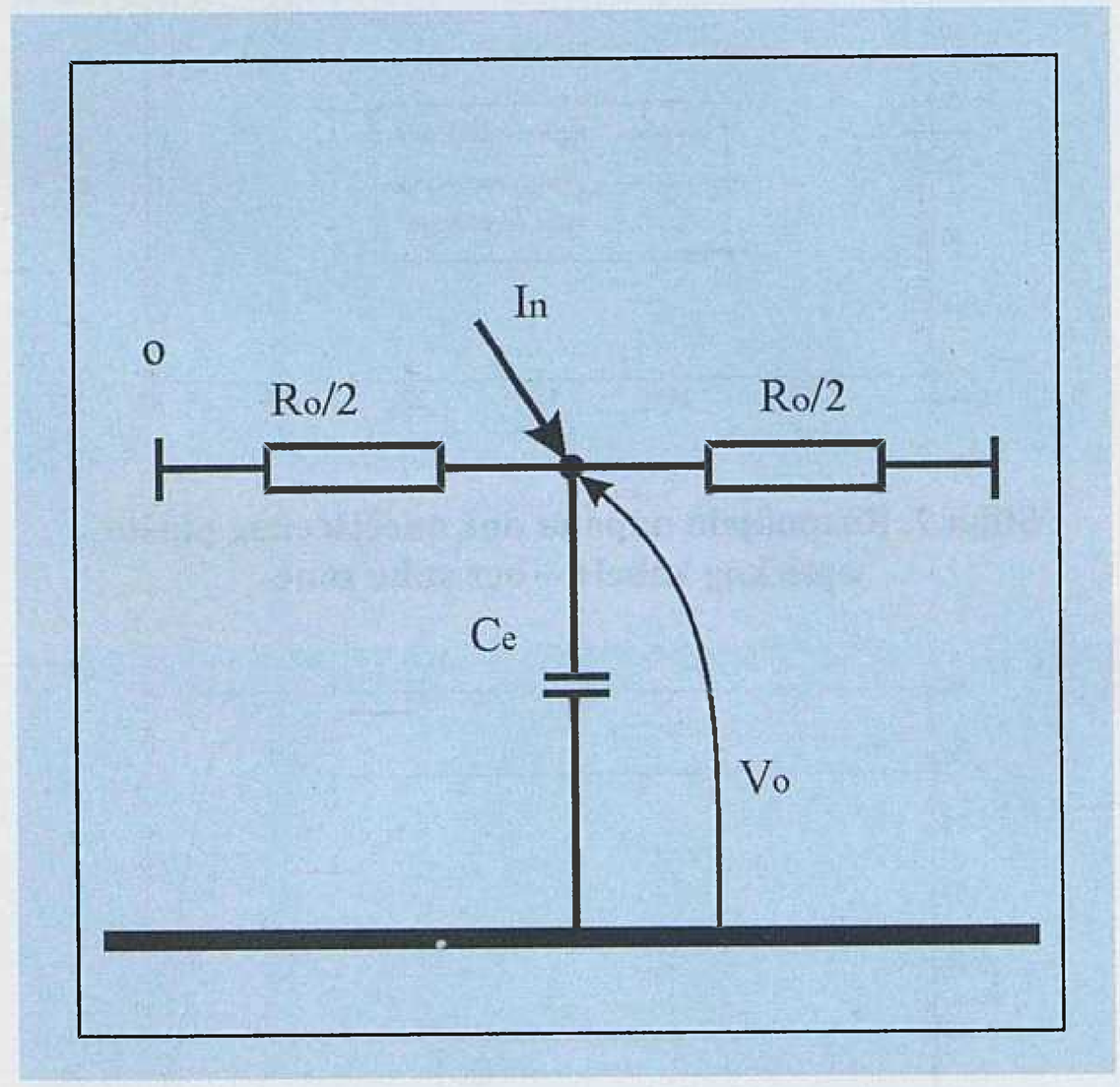
Pri tom je:

$$V_{th} = \frac{V_a C_{ao} + V_b C_{bo} + V_c C_{co}}{C_{ao} + C_{bo} + C_{co}}. \quad (10)$$

Odnosno:

$$C_{th} = C_{ao} + C_{bo} + C_{co}. \quad (11)$$

Nadomjesna shema dionice optičkog kabela jedinične duljine prikazana je na slici 4. Pri tom je Thevenin-ov ekvivalent prikazan pomoću Norton-ovog ekvivalenta.




**Slika 4. Nadomjesna shema jedinične duljine optičkog kabela s onečišćenim plaštem**

Nepoznate veličine na slici određuju se pomoću sljedećih izraza:

$$I_n = j\,2\pi\, f C_{th} V_{th} \quad (12)$$

i

$$C_e = C_{th} + C_{oz}. \quad (13)$$

*R*o je uzdužni radni otpor onečišćenog plašta optičkog kabela po jedinici duljine (?/m).

Da bismo dobili što vjerniju sliku o naponskom i strujnom stanju na onečišćenom plaštu optičkog kabela duž jednog raspona istog treba podijeliti na *n* dionica. Na plaštu optičkog kabela može postojati jedna ili više suhih zona. Na tim mjestima dolazi do porasta uzdužnog otpora (teoretski do beskonačne vrijednosti). Na slici 5 prikazana je nadomjesna shema optičkog kabela s onečišćenim plaštem duž jednog raspona s jednom suhom zonom. Pri tom je:

$$R_o' = R_o \cdot \ell_d \quad (14)$$

$$C_e' = C_e \cdot \ell_d \quad (15)$$

$$I_n' = I_n \cdot \ell_d \quad (16)$$

gdje je:

$\ell_d$ – duljina dionice, (m),
$R_{zl}$ – otpor između onečišćenog plašta optičkog kabela i referentne osi na lijevoj strani raspona, (Ω),
$R_{z2}$ – otpor između onečišćenog plašta optičkog kabela i referentne osi na desnoj strani raspona, (Ω).

Raspodjela napona duž optičkog kabela određuje se sljedećom matričnom jednadžbom:

$$V_c = Y_c^{-1} \cdot I_c \quad (17)$$

gdje je:

$V_c$ – vektor napona čvorova, (V),
$Y_c$ – matrica vlastitih i međusobih admitancija čvorova, (S),
$I_c$ – vektor struja čvorova, (A).

Ako je dobivena vrijednost napona na suhoj zoni veća od vrijednosti koja odgovara probojnoj čvrstoći zraka, doći će do njegovog proboja, odnosno do preskoka.

Raspodjela struja koje teku onečišćenim plaštem optičkog kabela može se lako odrediti. Za element s - t (slika 5) struja je:

$$I_{s-t} = 2\frac{V_s - V_t}{R_o} \quad (18)$$

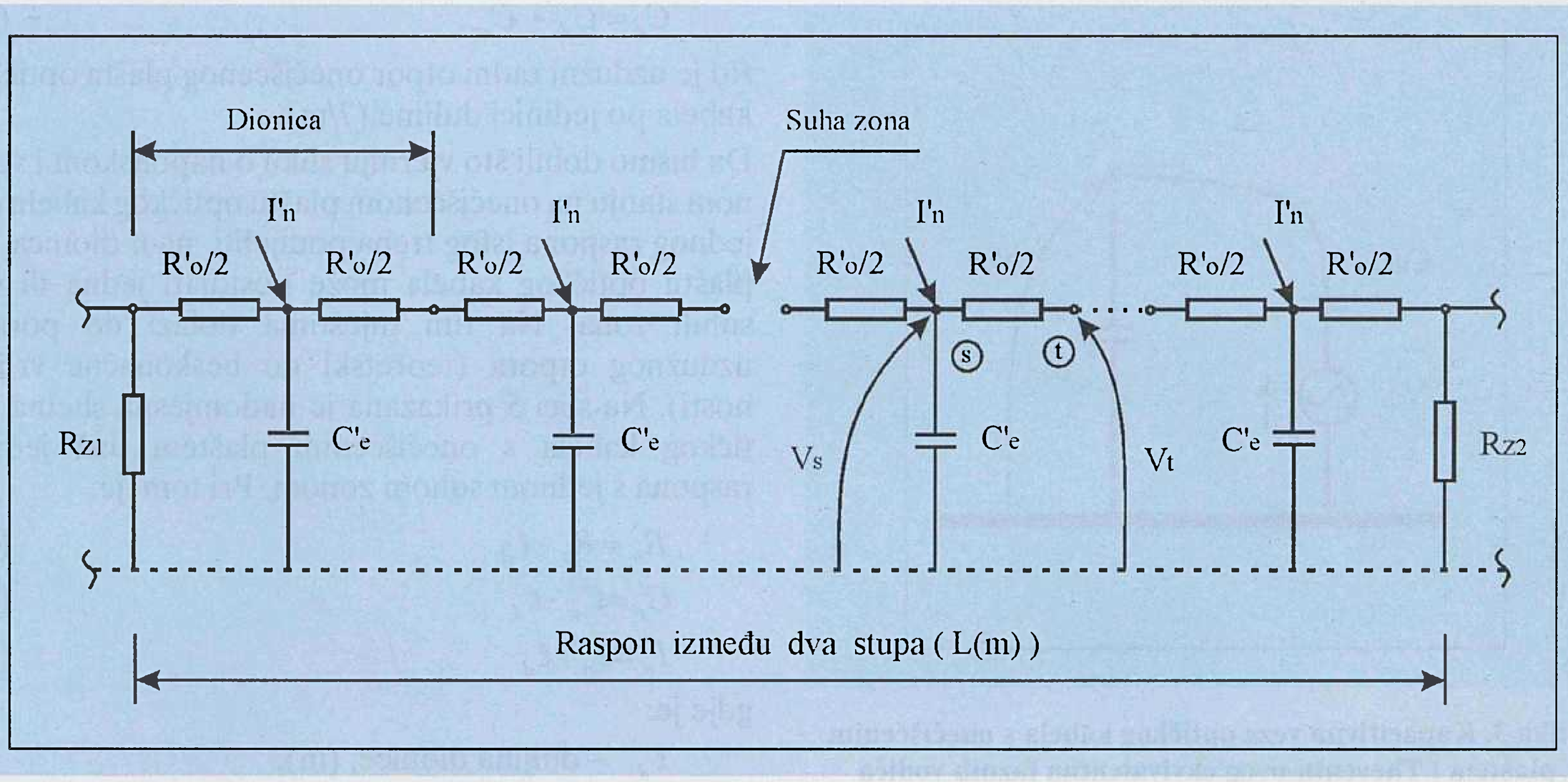
gdje su $V_s$ i $V_t$ naponi čvorova s i t između kojih se nalazi otpor $R_o'/2$.

Gubitak radne snage na ovom elementu je:

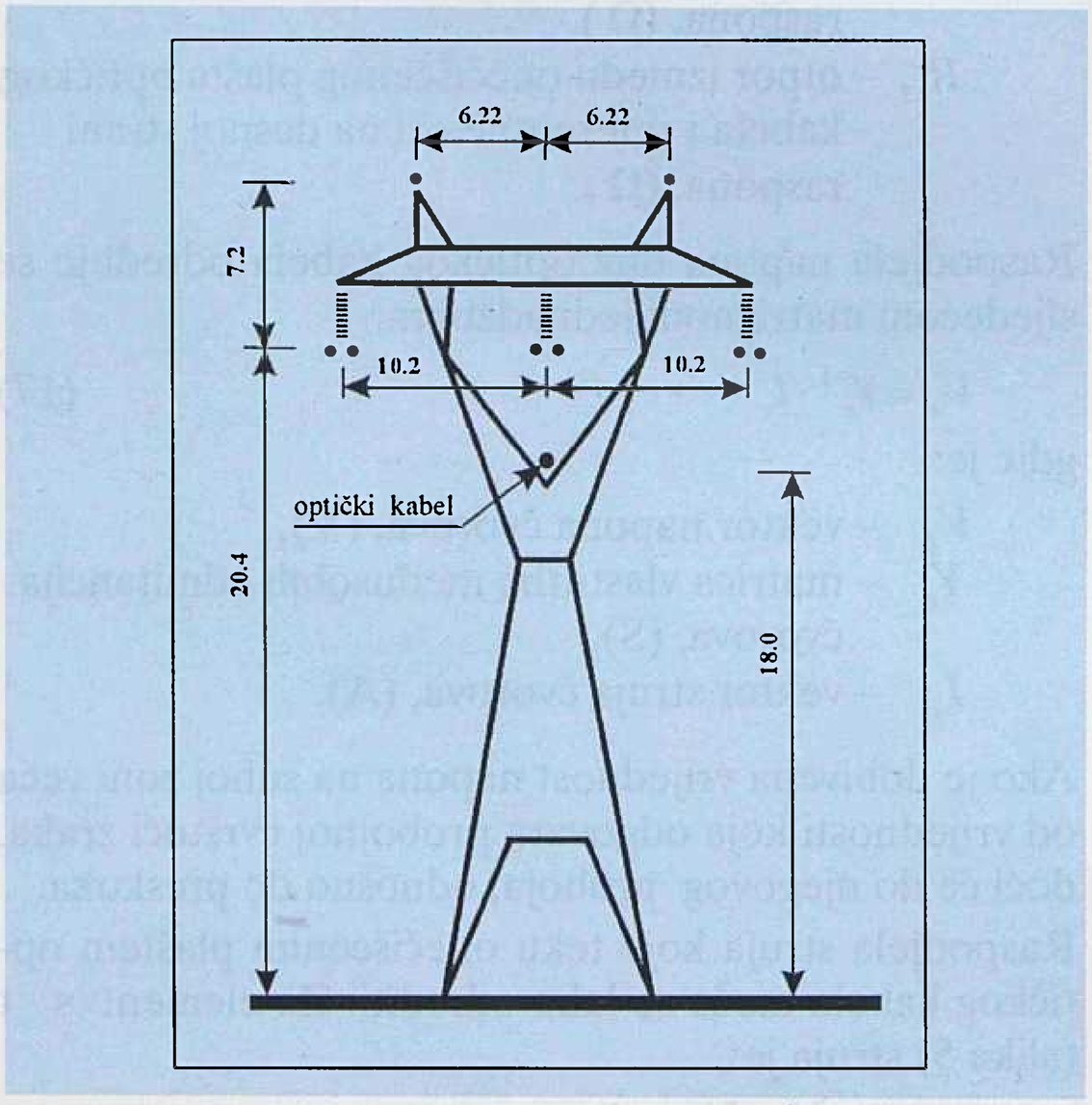
$$\Delta P_{s-t} = \left|I_{s-t}\right| \cdot \frac{R_o'}{2}. \quad (19)$$

## 3. PRIMJER

Izložena teorija primijenit će se na jednom konkretnom primjeru. Odabran je ADSS optički kabel tvrtke Alcatel tipa R-LT-144-A2J-SX. Isti je postavljen na čelično rešetkasti stup oblika "Y" 400 kV dalekovoda (slika 6).




**Slika 5. Nadomjesna shema jednog raspona**

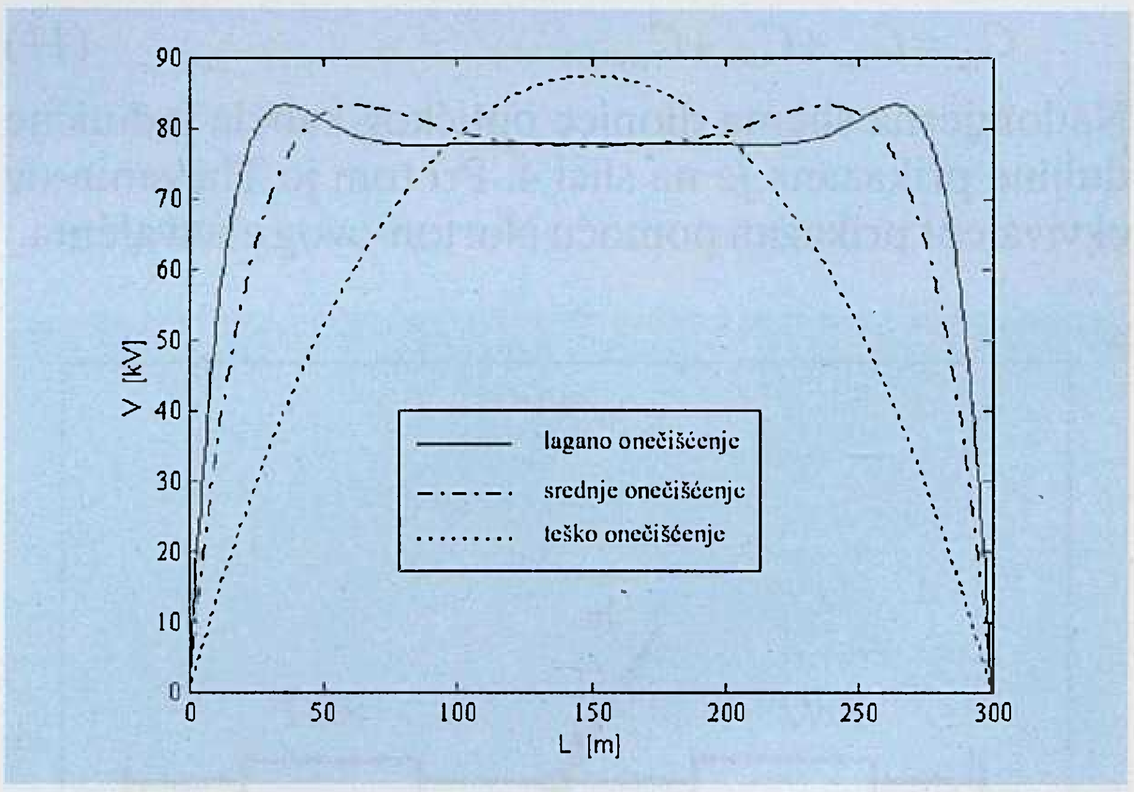



**Slika 6. Stup DV 400 kV s ADSS optičkim kabelom**

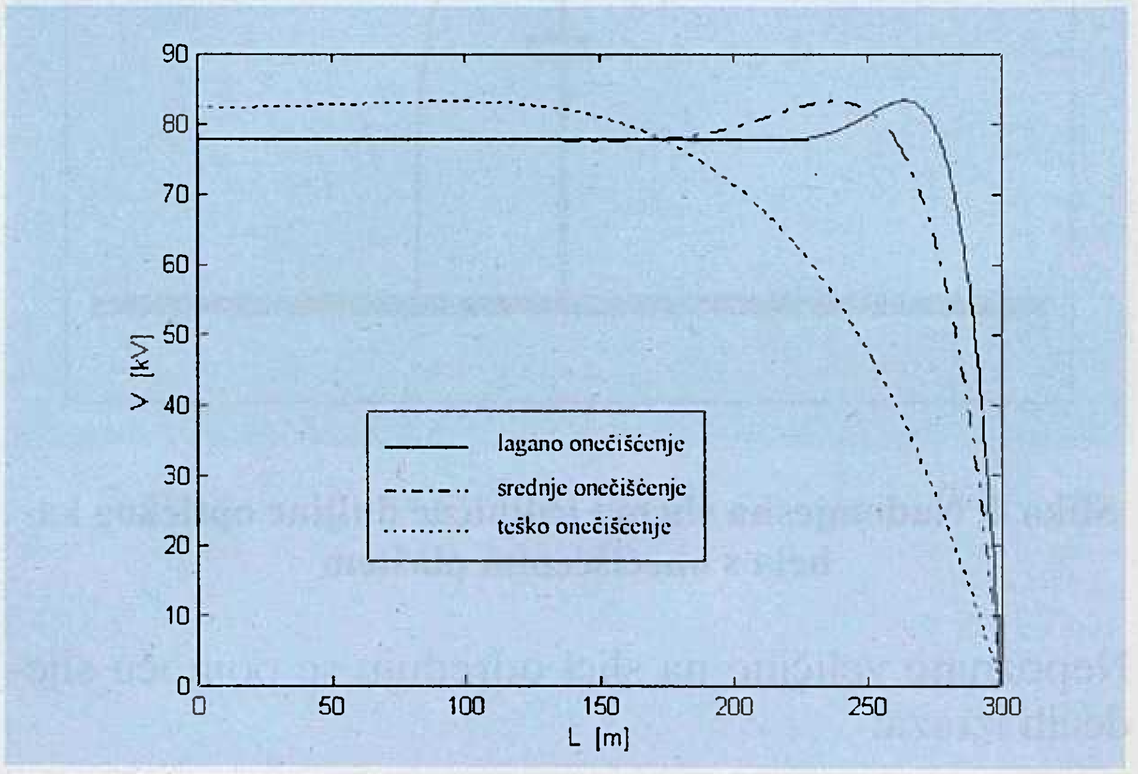
Fazni naponi vodiča su:

$$V_a = 242 \angle 0° \quad \text{(kV)}$$
$$V_b = 242 \angle 240° \quad \text{(kV)} \qquad (20)$$
$$V_c = 242 \angle 120° \quad \text{(kV)}.$$

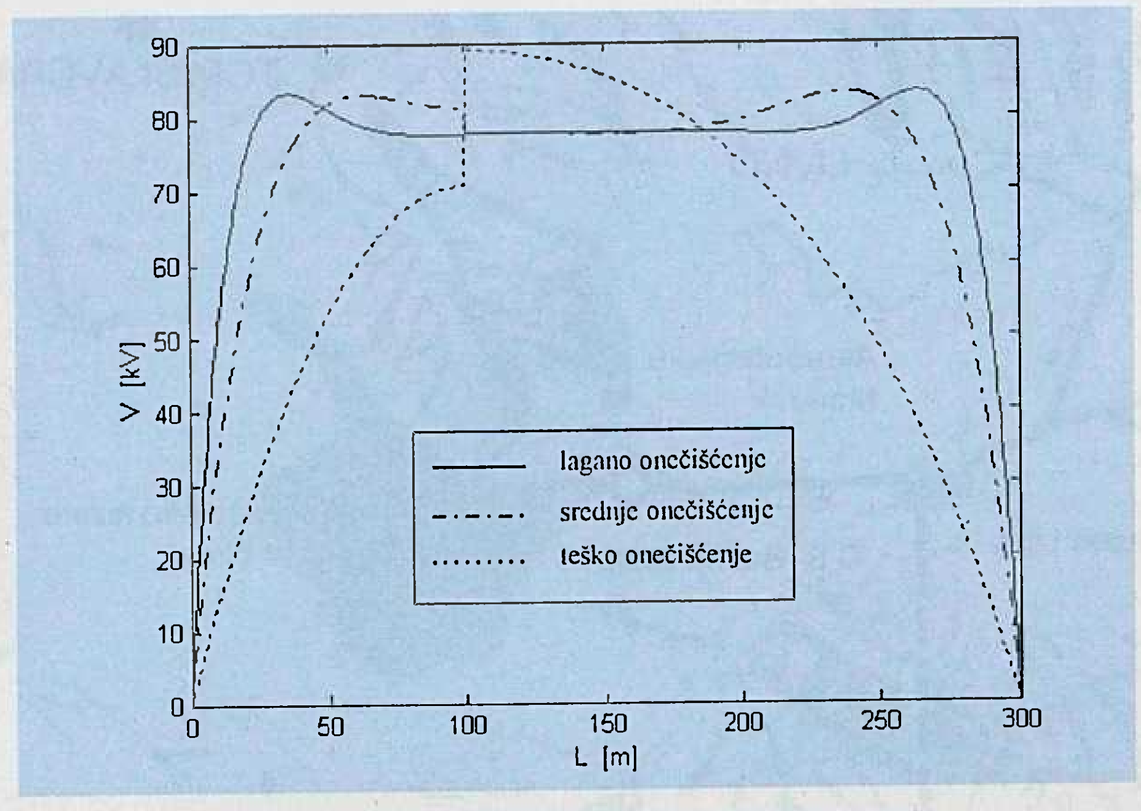
Analizirane su naponske prilike kod tri razine onečišćenja plašta optičkog kabela (lagano (3 (MΩ/m)), srednje (1 (MΩ/m)) i teško ( 0.1 (MΩ/m))). Pritom su razmatrana tri slucaja: onečišćenje je kontinuirano - bez suhe zone (slika 7), suha zona je na početku raspona (slika 8) i suha zona je na prvoj trećini raspona (slika 9). Budući da je ukupni radni otpor prema referentnoj osi zanemarivo malen u usporedbi s uzdužnim, u ovom primjeru se uzima da je: $Rz1 = 0(\Omega)$ i $Rz2 = 0(\Omega)$. U skladu s tim analiza naponskih prilika uzduz ukupne dužine voda se svodi na analizu naponskih prilika u jednom rasponu.




**Slika 7. Raspodjela napona duž onečišćenog plašta optičkog kabela – bez suhe zone**




**Slika 8. Raspodjela napona duž onečišćenog plašta optičkog kabela – suha zona je na početku raspona**




**Slika 9. Raspodjela napona duž onečišćenog plašta optičkog kabela – suha zona je na prvoj trećini raspona**

Analizirajući prethodne grafove uočava se da je u ovom primjeru najveći porast napona na krajevima raspona, te na mjestima suhih zona.

## 4. ZAKLJUČAK

Razvijeni matematički model omogućava proračun naponskih prilika uzduž onečišćenog plašta samonosivog optičkog kabela bez metalnih dijelova koji je ovješen na stupove viskonaponskog voda. Analiza naponskih prilika u funkciji intenziteta zagađenja, te o mjestu nastanka i veličini suhih zona je relativno jednostavna. Na temelju ovih analiza može se zaključiti o vjerojatnostima pojava parcijalnih preskoka.

## LITERATURA

[1] IEC T. C. 33: Guide for the section of insulators in respect of polluted condition, Geneve, 1983.

[2] G. KARADY, S. DEVARAJAN, M. TUOMINEN: "Novel Technique to Predict Dry-Band Arcing Failure of Fiber-Optic Cables Installed on High Voltage Lines", IEEE Power Tech '99 Conference, Budapest, 1999.

[3] G. KARADY, G. BESZTERCEY, M. W. TUOMINEN: "Corona Caused Deterioration of ADSS Fiber-optic Cables on High Voltage Lines", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No.4, October 1999.

[4] W. DEWITT, S. NEOGI, B. G. RISCH, P. COAT, D. AMMONS, G. KARADY and J. MADRID: "High Voltage ADSS Relability Modeling: Environmental and Climatological Effects on Advanced Jacket Material Selection", Proceedings of the 49th IEEE International Wire and Cable Symposium.

[5] M. OŽEGOVIĆ, K. OŽEGOVIĆ: "Električne energetske mreže I", Sveučilište u Splitu, ISBN: 953-6114-09-7, Split, 1996.

[6] M. OŽEGOVIĆ, K. OŽEGOVIĆ: "Električne energetske mreže II", Sveučilište u Splitu, ISBN: 953-6114-11-9, Split, 1997.

## VOLTAGE CIRCUMSTANCES ACROSS SELF-CARRYING OPTICAL CABLE SUPPORTED ON HIGH-VOLTAGE LINE TOWER

Recent demonopolisation of electric power and telecommunication systems has lead to additional problems when obtaining new or widening old corridors. Therefore there is a constant increase in putting optical cables on high-voltage line towers. These cables are situated within strong electrical fields and any pollution of their sheath could lead to their damage. The paper analyses voltage and current circumstances across polluted sheath of self-carrying optical cable supported by steel towers of high-voltage lines without metallic parts.

## SPANNUNGSVERHÄLTNISSE TNISSE LÄNGS EINES SELBSTTRAGENDEN, AN DEN MASTEN EINER HOCHSPANNUNGSLEITUNG AUFGEHANGTEN OPTISCHEN KABELS

Neuerliche Monopolauflösung im Bereich des Stromversorgungs- und des Fernmeldewesens, hat zusätzlich die Erhaltung neuer und die Erweiterung bestehender Korridore erschwert. Deshalb werden immer häufiger optische Kabel auf Hochspannungsmaste aufgehängt. Diese Kabel befinden sich im starken elektrischen Feld und jede Verunreinigung kann Beschädigungen der Mäntel solcher Kabel verursachen. Im Artikel werden Strom- und Spannungsverhältnisse längs verunreinigter Mäntel selbsttragender, an Stahligittermäste der Hochspannungsleitung angehängter optischer Kabel besprochen.

Naslov pisaca:

**Prof. dr. sc. Matislav Majstrović, dipl. ing.**
**Energetski institut "Hrvoje Požar"**
**Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska**

**Petar Sarajčev, dipl. ing.**
**Kaštelanska cesta 105**
**21212 Kaštel Sućurac, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2002 – 01 – 02.

TOMISLAVGRAD
LIVNO
CS Lusnić
Planirana
retencija Čaprazlije
Akumulacijsko jezero
Mandak
Akumulacijsko jezero
Buško Blato
Bazen Lipa
C S Buško Blato
DINARA
KAMEŠNICA
H E Peruća
CETINA
H E Orlovac
Akumulacijsko jezero
Peruća
SINJ
TRILJ
Akumulacijsko jezero Đale
Akumulacijsko jezero
Prančevići
H E Kraljevac
SVILAJA
H E Đale
CETINA
MOSOR
H E Zakučac
OMIŠ
SPLIT
JADRANSKO MORE
0 10 20 km

# ODREĐIVANJE CIJENE PARE I ELEKTRIČNE ENERGIJE

Vedran U r a n, Rijeka

UDK 697.34:338.52:621.3
PRETHODNO PRIOPĆENJE

U radu je opisan način energetskog i eksergetskog vrednovanja pare te iznesene prednosti i nedostaci tih dvaju različitih načina vrednovanja pare. Za određivanje cijene pare i elektri;ne energije, i po jedinici energije, i po jedinici eksergije izrađena je bilanca troškova najvažnijih sudionika energetskog sustava. Kao primjer za izračunavanje cijene pare i električne energije uzet je energetski sustav na bazi protutlačnog parnoturbinskog postrojenja.

**Ključne riječi: para, električna energija, jedinica energije, jedinica eksergije, bilanca troŠkova, energetski sustav, cijena, protutlačno parnoturbinsko postrojenje.**

## 1. UVOD

U praksi se prilikom analiziranja i optimiranja energetskih procesa teži Što racionalnijoj potrošnji energije, odnosno njezinoj štednji. Prema [1] odgovarajući pojam za potrošnjuenergije jest korištenje energije. Po istom izvoru [1] štedjeti se može samo u kvaliteti energije ili eksergiji[1] prilikom njene degradacije prema stanju okoline. Procesi degradacije povezani su sa zakonitošću neizbježnog i stalnog povećanja entropije u okolini. Takva konstatacija odgovara drugom zakonu termodinamike. Prema literaturama [3 – 5] težnja je tu generiranu entropiju u energetskim procesima umanjivati. Stoga se u tim literaturama prilikom oblikovanja i optimiranja energetskih procesa isključivo primjenjuje pristup eksergetskog vrednovanja pare.

Cilj je ovog rada zbog različitih pristupa pri analiziranju energetskih procesa opisati načine, i energetskog i eksergetskog vrednovanja pare. Razlika vrednovanja s termodinamskog stajališta najbolje se prikazuje kroz entalpijski i eksergetski odnos promjenjivog stanja pare s početnim stanjem pare[2]. Da bi ti opisi imali određenu težinu potrebno je ekonomski proanalizirati te različite načine vrednovanja pare. Pri tome se definira bilanca koja uključuje tekuće troškove struje, tvari energetskog sustava te visinu tekućih troškova samog sustava. Na osnovi bilanci tekućih troškova te entalpijskog i eksergetskog odnosa promjenjivoga stanja pare s početnim stanjem pare određena je cijena pare i električne energije posebno po jedinici energije, a posebno po jedinici eksegije.

To će se vrednovanje pare i električne energije izvršiti na primjeru energetskog sustava s protutlačnim parnoturbinskim postrojenjem. Kod takovog sustava promjenjivo stanje pare odgovara promjeni stanja ekspandirane pare, a početno stanje pare stanju svježe pare na ulasku u protutlačni parnoturbinski agregat.

Rezultat termoekonomske (posebno energetsko-ekonomske) analize i pristupa energetskom, odnosno eksergetsksom vrednovanju pare očitovat će se u prednostima i nedostacima takovih pristupa koji su navedeni pri kraju rada.

## 2. NAČINI TERMODINAMSKOG VREDNOVANJA PARE

Termodinamska analiza energetskog sustava obuhvaća prvi i drugi zakon termodinamike. Prvi zakon termodinamike govori o neuništivosti energije, tj. ona se ne može ni stvoriti ni uništiti. Prema zakonu termodinamike suma svih oblika energije u nekom zaokruženom sustavu jest nepromijenjena. Vrijednost svih tih oblika energije (unutarnje, kinetičke, toplinske, električne itd) se izjednačava.

Prvim se zakonom termodinamike ne objašnjava kvaliteta energije. Objašnjenje je potrebno naći kroz drugi zakon termodinamike. Taj zakon iynosi da se degradiranoj energiji može vratiti kvaliteta na početnu razinu ali samo uz razinu koja je veća od one koja se ponovo može iskoristiti u obrnutom postupku [1]. Kvaliteta energije je veća što se njeni veći dio može pretvoriti u koristan rad.

Na osnovi razmotrenog potrebno je dakle u termodinamske analize energetskih procesa uvesti veličinu koja upućuje na kvalitetu pojedine vrste energije.

---

[1] eksergija je pojam koji upućuje na kvalitetu pojedine vrste energije [1]

[2] u radu se entalpijski i eksergetski odnos pojavljuje kao entalpijski i eksergetski omjer

Takva je veličina definirana prema poznatom slovenskom termodinamičaru prof. dr. Zoranu Rantu koju je nazvao eksergija. A definacija eksergije jest: to je maksimalno iskoristiv rad koji se može izvesti iz nekog raspoloživog oblika energije pod određenim uvjetima okoline [1 – 3, 5].

Što je veći udio eksergije u nekoj energiji, veća je i kvaliteta te energije. Suprotna definicija eksergiji jest anergija. Što je udio anergije u nekoj energiji veći to je kvaliteta te energije manja. Prema tome vrijedi slijedeće:

***Energija = Eksergija + Anergija***

Neki se oblici energije (poput električne, potencijalne i kinetičke) mogu u idealnim uvjetima u potpunosti pretvoriti u druge oblike energije jer cjelokupan udio tih oblika energije čini eksergija. Kod unutarnje energije, tj. topline eksergija čini samo jedan njezin dio. Preostali dio energije se ne može iskoristiti za pretvorbu u koristan rad. Taj dio energije predstavlja anergija.

Objašnjenje prvog i drugog zakona termodinamike te pojma kvaliteta energije potrebno je radi utvrđivanja energetske i eksegetske vrijednosti pare. Te će vrijednosti pare odrediti razliku između cijene pare po jedinici energije te cijene pare po jedinici eksergije.

### 2.1. Energetsko vrednovanje pare

Promjena energetske vrijednosti pare najbrže se utvrđuje na temelju omjera količine topline (entalpije) ekspandirane pare koja se predaje toplinskim potrošačima i količine topline (entalpije) svježe pare na ulazu u protutlačni parnoturbinski agregat. Ta je promjena energetske vrijednosti pare prikazana u tablici 1.

**Tablica 1. Promjena stanja ekspandirane pare prema početnom stanju svježe pare na ulazu u protutlačni parnoturbinski agregat**

| Tlak bar | Temperatura °C | Entalpija kJ/kg | Entalpijski omjer | Jedinična električna snaga kW |
|---|---|---|---|---|
| 40 | 450 | 3328 | 1 | 0 |
| 30 | 405 | 3238 | 0,97 | 90 |
| 20 | 345 | 3125 | 0,94 | 203 |
| 10 | 255 | 2945 | 0,88 | 383 |
| 5 | 175 | 2800 | 0,84 | 528 |
| 2 | zas. | 2630 | 0,79 | 698 |
| 1 | zas. | 2520 | 0,76 | 808 |
| 0,2 | zas. | 2290 | 0,69 | 1038 |
| 0,1 | zas. | 2200 | 0,66 | 1128 |
| 0,04 | zas. | 2090 | 0,63 | 1238 |

Iz tablice 1 je vidljivo da entalpijski omjer relativno sporo opada u širokom rasponu tlaka pare koja ekspandira u protutlačnom parnoturbinskom agregatu. Što je omjer manji to je jedinična elektrčna snaga postrojenja veća. Ta snaga jednaka je razlici entalpiji svježe pare i entalpiji ekspandirane pare. Ovako vrednovanje pare ima karakteristike prvog zakona termodinamike jer jednako vrednuje »kvalitetu« toplinske i električne energije. U ovom slučaju toplinsku energiju predstavlja ekspandirana para koja se predaje toplinskim potrošačima.

Iz ovakve se analize zaključuje da se relativnom sporijom promjenom energetske vrijednosti pare procjenjuje vrijednost pare niskih tlakova, odakle proizlazi i onovni nedostatak takvog vrednovanja pare.

### 2.2. Eksergetsko vrednovanje pare

Promjena eksegetske vrijednosti pare utvrđuje se na analogan način kao i energetska vrijednost pare. Pri tome treba imati na umu da para u otvoreni strujni proces ulazi s nekim početnim stanjem (entalpija $h$, entropija $s$, temeratura $T$), a iz njega izlazi sa stanjem okoline (entalpija $h_0$, entropija $s_0$, temperatura $T_0$). Dobiveni tehni;ki rad odgovara jediničnoj eksergiji pare u strujanju, koja iznosi:

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) \qquad (1)$$

iz čega proizlazi jedinična anergija

$$a = h_0 + T_0(s - s_0). \qquad (2)$$

U tablici 2 je prikazana promjena eksegetske vrijednosti ekspandirane pare u odnosu na eksergetsku vrijednost svježe pare na ulazu u protutlačni parnoturbinski agregat.

**Tablica 2. Promjena eksergije ekspandirane pare prema eksergiji svježe pare na ulazu u protutlačni parnoturbinski agregat**

| Tlak bar | Temperatura °C | Entalpija kJ/kg | Entalpijski omjer | Jedinična električna snaga kW |
|---|---|---|---|---|
| 40 | 450 | 1265 | 1 | 0 |
| 30 | 405 | 1175 | 0,93 | 90 |
| 20 | 345 | 1062 | 0,84 | 203 |
| 10 | 255 | 882 | 0,70 | 383 |
| 5 | 175 | 737 | 0,58 | 528 |
| 2 | zas. | 567 | 0,45 | 698 |
| 1 | zas. | 457 | 0,36 | 808 |
| 0,2 | zas. | 227 | 0,18 | 1038 |
| 0,1 | zas. | 137 | 0,11 | 1128 |
| 0,04 | zas. | 27 | 0,02 | 1238 |

Iz tablice 2 ustanovljuje se da eksergetski omjer relativno brzo opada u odnosu na entalpijski omjer u istom rasponu tlakova pare koja ekspandira. To je iz razloga što ovakva vrijednost pare postaje jednaka ništici kada se njeni parametri izjednačuju sa stanjem okoline.

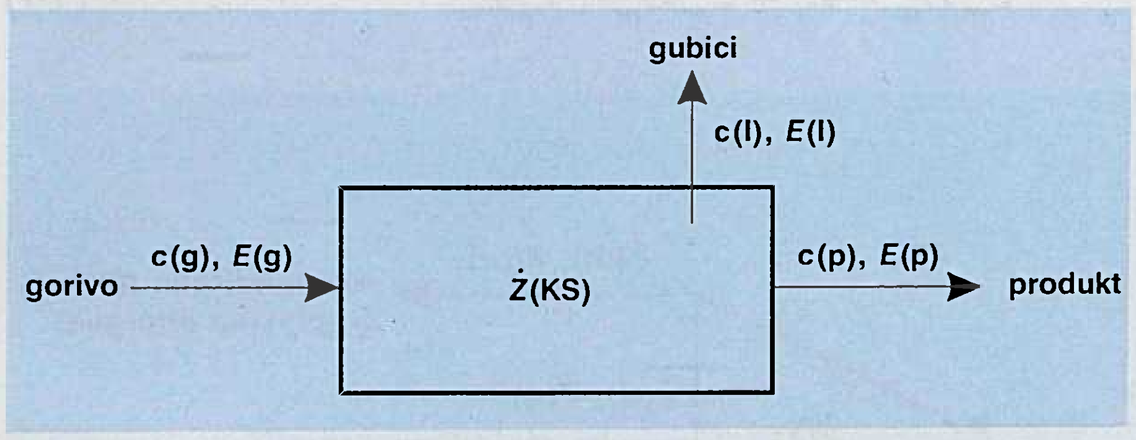
Takva postavka odgovara drugom zakonu termodinamike. Isto tako jedinična električna snaga ostaje nepromijenjena jer je električna energija po veličini jednaka kvaliteti električne energije. Zaključak je da se eksergetskim vrednovanjem pare kvalitetnije vrednuje proizvodnja toplinske i električne energije.

## 3. TERMOEKONOMSKA ANALIZA ENERGETSKOG SUSTAVA

Cijena proiyvedene toplinske i električne energije iskazuje se posebno kroz cijenu energije, a posebno kroz cijenu eksergije pojedinih struja tvari koje ulaze i izlaze iz nekog energetskog sustava. Ta se cijena određuje na temelju bilance troškova izraženih u jednici vremena. Takva bilanca uključuje cijenu pojedinih struja tvari unutar energetskog sustava, cijene produkta te cijene sastavnih dijelova razmatranog energetskog sustava. Pošto su cijene izražene u dvama različitim veličinama, energiji i eksergiji, posebno će se obrađivati energetsko-ekonomska analiza, a posebno eksegetsko-ekonomska analiza energetskog sustava.

### 3.1. Energetsko-ekonomska analiza energetskog sustava

Bilanca tekućih troškova goriva, produkta i gubitaka energetskog sustava prikazana je na slici 1.




**Slika 1. Shema za određivanje bilanci tekućih troškova**
***E* energija po jedinci vremena (energetski tok),**
***c* cijena struje tvari po jedinici energije**

Može se 'napisati jednadžba za bilancu tekućih troškova:

$$c_g E_g + \dot{Z}_{KS} = c_p E_p + c_l E_l \qquad (3)$$

gdje se redom sa lijeve strane jednadžbe (3): tekući troškovi ya gorivo ($c_g$, $E_g$), visina tekućih troškova za proizvodnju toplinske i električne energije ($\dot{Z}_{KS}$). S desne strane jednadžbe (3) slijede redom: tekući troškovi za produkt energetskog sustava ($c_p E_p$) i tekući troškovi za gubitke nastale u energetskom sustavu većinom nastale zbog nepotpune iskoristivosti unutarnje energije goriva ($c_l E_l$).

Produkt energetskog sustava predstavlja toplinska i električna energija. Tekući troškovi produkta jednaki su zbroju tekućih troškova toplinske ($c_t E_t$) i električne energije ($c_w E_w$), tj.

$$c_p E_p = c_t E_t + c_w E_w . \qquad (4)$$

Ako se (4) uvrsti u (3) dobiva se sljedeći oblik bilance tekućih troškova energetskog sustava:

$$c_g E_g + Z_{KS} = c_t E_t + c_w E_w + c_l E_l . \qquad (5)$$

Na slici 2 prikazana je načelna shema bilance tekućih troškova energetskog sustava na bazi protutlačnog parnoturbinskog postrojenja.

Bilanca tekućih troškova prema shemi na slici 2 može se podijeliti u dvije grupe: jedna se grupa odnosi na bilancu tekućih troškova dijela postrojenja s generatorom pare, a druga na bilancu tekućih troškova dijela postrojenja s protutlačnim parnoturbinskim agregatom.

Može se napisati jednadžba bilance tekućih troškova dijela postrojenja s generatorom pare:

$$c_g E_g + Z_{GP} = c_{sp} E_{sp} + c_{dp} E_{dp} \qquad (6)$$

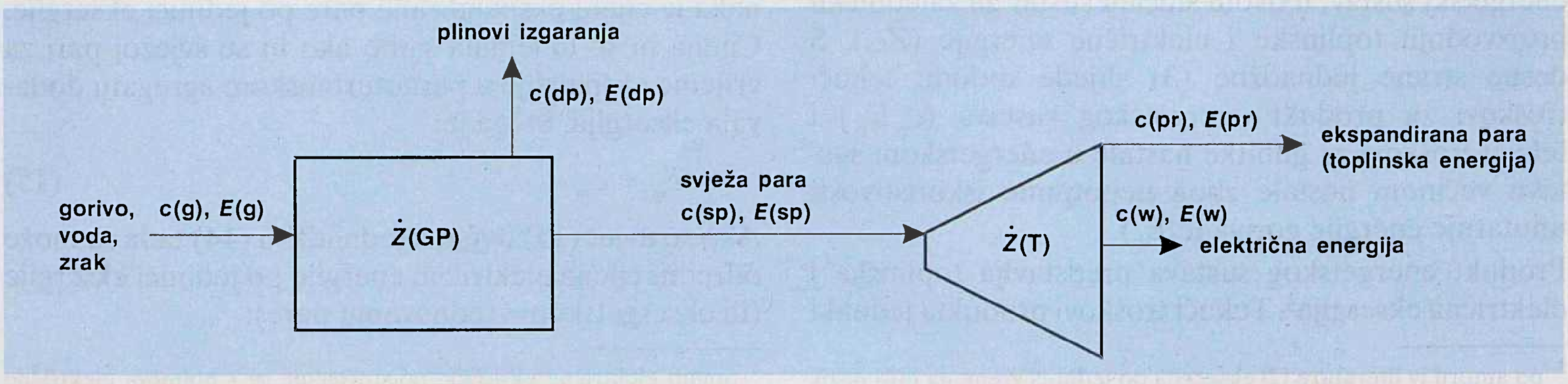
gdje su redom $c_g E_g$ tekući troškovi za gorivo $\dot{Z}_{GP}$ visina tekućih troškova za generator pare, $c_{sp} E_{sp}$ tekući troškovi svježe pare, $c_{dp} E_{dp}$ tekući troškovi plinova izgaranja.

Jednadžba bilance tekućih troškova dijela postrojenja s protutlačnim parnoturbinskim agregatom izgleda na sljedeći način:

$$c_{sp} E_{sp} + \dot{Z}_t = c_{pr} E_{pr} + c_w E_w \qquad (7)$$

gdje su redom $c_{sp} E_{sp}$ tekući troškovi svježe pare, $\dot{Z}_t$ visina tekućih troškova za protutlačni parnoturbinski agregat, $c_{pr} E_{pr}$ tekući troškovi ekspandirane pare (toplinske energije), $c_w E_w$ tekući troškovi električne energije.

Prema [3] cijena svježe pare po jedinici energije jednaka je cijeni ekspandirane pare po jedinici energije. Cijena bi se mijenjala samo ako bi se svježoj pari za




**Slika 2. Načelna shema energetskog sustava na bazi protutlačnog parnoturbinskog postrojenja**

vrijeme ekspanzije u parnoturbinskom agregatu dodavala energija. Stoga je:

$$c_{sp} = c_{pr}. \tag{8}$$

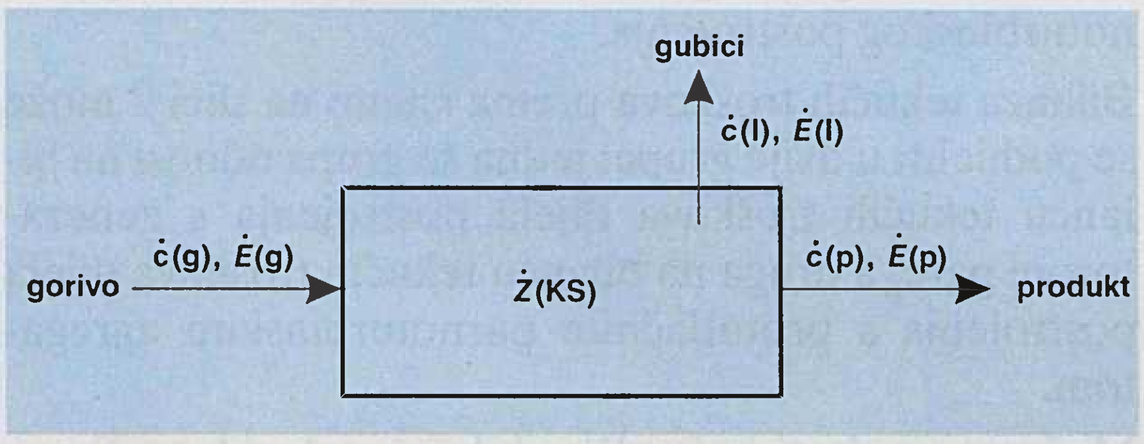
Ako se uvjet (8) uvrsti u jednadžbu (7) tada se može odrediti cijena električne energije po jedinci energije (ili energetskom vrednovanju pare):

$$c_w = \frac{c_{pr}(E_{sp} - E_{pr}) + Z_t}{E_w} \tag{9}$$

gdje je $E_{sp}$ energetski tok svježe pare, $E_{pr}$ energetski tok ekspandirane pare, a $E_w$ električna snaga postrojenja.

### 3.2. Eksergetsko-ekonomska analiza energetskog sustava

Bilanca tekućih troškova goriva, produkta i gubitaka energetskog sustava prikazana je na slici 3.




**Slika 3. Shema za određivanje bilanci tekućih troškova**
***E* eksergija po jedinici vremena (eksergetski protok)[3],**
***c* cijena struje tvari po jedinici eksergije**

Može se napisati jednadžba za bilancu tekućih troškova:

$$\dot{c}_g \dot{E}_g + \dot{Z}_{KS} = \dot{c}_p \dot{E}_p + \dot{c}_l \dot{E}_l \tag{10}$$

gdje su redom s lijeve strane jednadžbe 10: tekući troškovi za gorivo ($\dot{c}_g E_g$), visina tekućih troškova za energetski sustav, u ovom slučaju sustav za zajedničku proizvodnju toplinske i električne energije ($\dot{Z}_{KS}$). S desne strane jednadžbe (3) slijede redom: tekući troškovi za produkt energetskog sustava ($\dot{c}_p \dot{E}_p$) i tekući troškovi za gubitke nastale u energetskom sustavu većinom nastale zbog nepotpune iskoristivosti unutarnje energije goriva ($\dot{c}_l \dot{E}_l$).

Produkt energetskog sustava predstavlja toplinska i električna eksergija[4]. Tekući troškovi produkta jednaki su zbroju tekućih troškova toplinske eksergije ($\dot{c}_t \dot{E}_t$) i električne energije ($\dot{c}_w \dot{E}_w$), tj.

$$\dot{c}_p \dot{E}_p = \dot{c}_t \dot{E}_t + \dot{c}_w \dot{E}_w. \tag{11}$$

Ako se (11) uvrsti u (10) dobiva se sljedeći oblik bilance tekućih troškova energetskog sustava:

$$\dot{c}_g \dot{E}_g + \dot{Z}_{KS} = \dot{c}_t \dot{E}_t + \dot{c}_w \dot{E}_w + \dot{c}_l \dot{E}_l. \tag{12}$$

Na slici prikazana je načelna shema bilance tekućih troškova energetskog sustava na bazi protutlačnog parnoturbinskog postrojenja.

Bilanca tekućih troškova prema shemi na slici 4 može se podijeliti u dvije grupe: jedna se grupa odnosi na bilancu tekućih troškova dijela postrojenja s generatorom pare, a druga na bilancu tekućih troškova dijela postrojenja s protutlačnim parnoturbinskim agregatom.

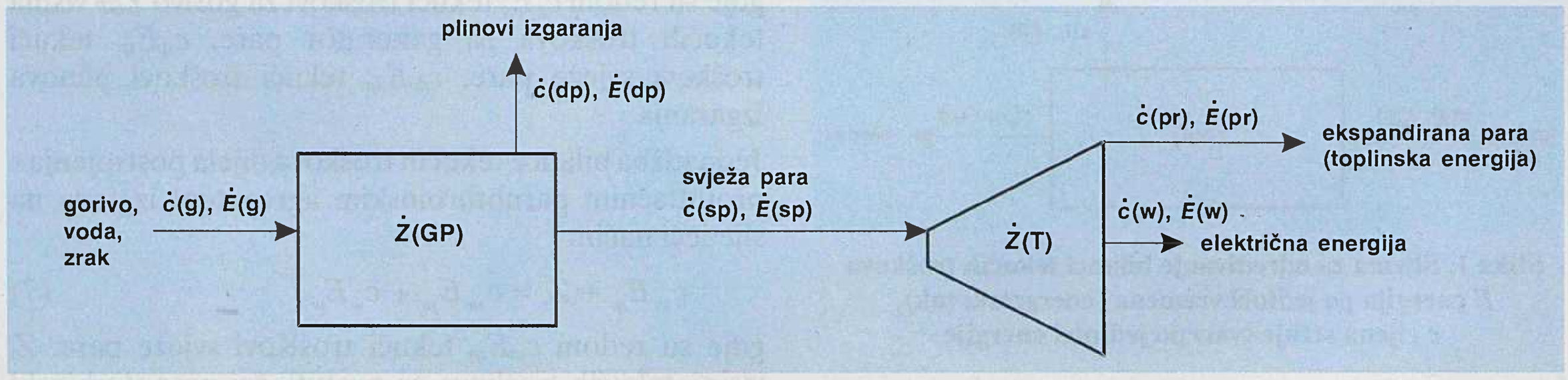
Može se napisati jednadžba bilance tekućih troškova dijela postrojenja s generatorom pare:

$$\dot{c}_g \dot{E}_g + \dot{Z}_{GP} = \dot{c}_{sp} \dot{E}_{sp} + \dot{c}_{dp} \dot{E}_{dp} \tag{13}$$

gdje su redom $\dot{c}_g \dot{E}_g$ tekući troškovi za gorivo, $\dot{Z}_{GP}$ visina tekućih troškova za generator pare, $\dot{c}_{sp} \dot{E}_{sp}$ tekući troškovi svježe pare, $\dot{c}_{dp} \dot{E}_{dp}$ tekući troškovi plinova izgaranja.

Jednadžba bilance tekućih troškova dijela postrojenja s protutlačnim parnoturbinskim agregatom izgleda na sljedeći način:

$$\dot{c}_{sp} \dot{E}_{sp} + \dot{Z}_t = \dot{c}_{pr} \dot{E}_{pr} + \dot{c}_w \dot{E}_w \tag{14}$$




**Slika 4. Načelna shema energetskog sustava na bazi protutlačnog parnoturbinskog postrojenja**

gdje su redom $\dot{c}_{sp} \dot{E}_{sp}$ tekući troškovi svježe pare, $\dot{Z}_t$ visina tekućih troškova za protutlačni parnoturbinski agregat, $\dot{c}_{pr} \dot{E}_{pr}$ tekući troškovi ekspandirane pare (toplinske eksergije!), $\dot{c}_w \dot{E}_w$ tekući troškovi električne energije.

Prema [2] cijena svježe pare po jedinici eksergije jednaka je cijeni ekspandirane pare po jedinici eksergije. Cijena bi se mijenjala samo ako bi se svježoj pari za vrijeme ekspanzije u parnoturbinskom agregatu dodavala eksergija. Stoga je:

$$\dot{c}_{sp} = \dot{c}_{pr} \tag{15}$$

Ako se uvjet (15) uvrsti u jednadžbu (14) tada se može odrediti cijena električne energije po jedinici eksergije (ili eksergetskom vrednovanju pare):

[3] po autoru iy literature [2] eksergija po jedinici vremena nosi naziv ergenija

[4] pojam električne eksergije poistovjećuje se s pojmom električne energije čije su vrijednosti jednake

$$\dot{c}_w = \frac{\dot{c}_{pr}(\dot{E}_{sp} - \dot{E}_{pr}) + \dot{Z}_t}{\dot{E}_w} \quad (16)$$

gdje je $\dot{E}_w = E_w$.

## 4. ODREĐIVANJE CIJENE PARE I ELEKTRIČNE ENERGIJE

Na osnovi poznatih entalpijskih omjera iz tablike 1 i eksergetskih omjera iz tablice 2 određuje se cijena pare po jedinici energije, odnosno cijena pare po jedinici eksergije. Cijena pare po jedinici energije iznosit će:

$$c_{pr} = c_{sp} \cdot EO \quad (17)$$

gdje je $\dot{c}_{pr}$ cijena ekspandirane pare po jedinici energije, $c_{sp}$ cijena svježe pare po jedinici energije, $EO$ entalpijski omjer.

Cijena pare po jedinici eksergije će biti jednaka:

$$\dot{c}_{pr} = \dot{c}_{sp} \cdot EO \quad (18)$$

gdje je $\dot{c}_{pr}$ cijena ekspandirane pare po cijeni eksergije, $\dot{c}_{sp}$ cijena svježe pare po jedinici eksergije, $\dot{EO}$ eksergetski omjer.

Kod određivanja cijena pare u obzir će se uzeti sljedeće vrijednosti svježe pare:

Entalpija svježe pare, $h_{sp}$ = 3328 kJ/kg,

Eksergija svježe pare, $e_{sp}$ = 1265 kJ/kg,

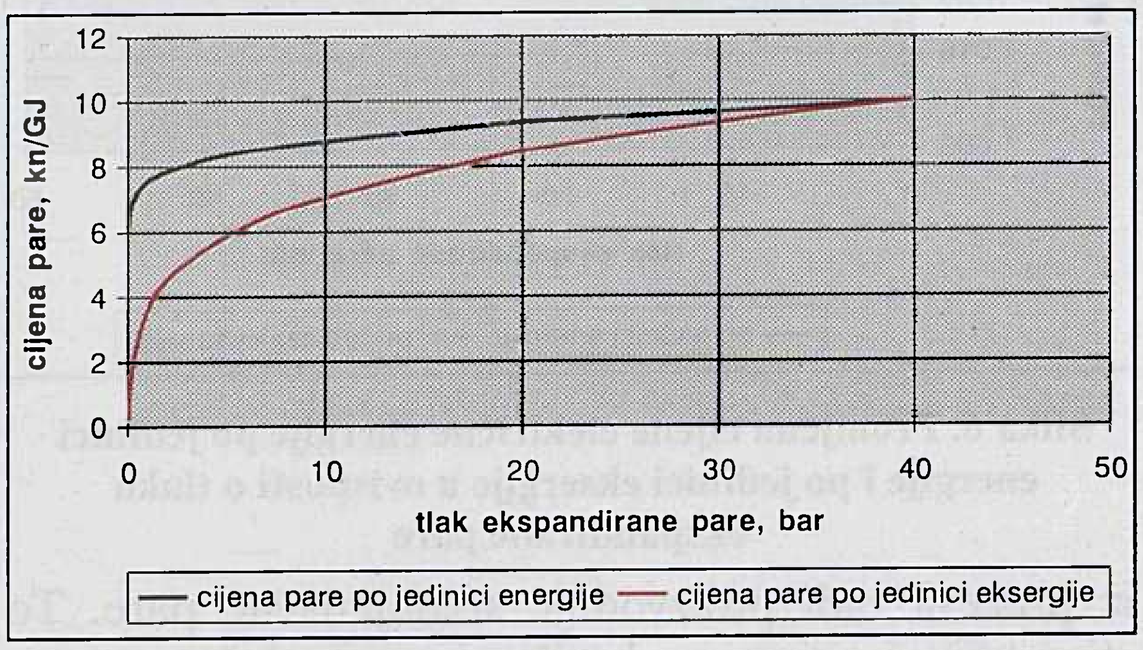
Cijena svježe pare, $c_{sp} = \dot{c}_{sp}$ = 10 kn/GJ

Maseni protok svježe pare i ekspandirane pare, $\dot{m}_{sp} = \dot{m}_{pr} = 1$ kg/s

Specifična cijena protutlačnog parnoturbinskog agregata, $\dot{Z}_t = 0{,}28[kn/s]\left(\frac{\dot{E}_w = E_w}{1000[kW]}\right)$ (kn/s)·

U tablici 3 su prikazane cijene pare i električne energije posebno po jedinici energije a posebno po jedinici eksergije.

Iz tablice 3 vidljivo je da se cijena pare, i po jedinici energije, i po jedinici eksergije smanjuje usporedo sa smanjivanjem entalpije i eksergije (tlaka i temperature) ekspandirane pare. Dijagramski su te promjene cijena prikazane na slici 5.




**Slika 5. Primjena cijene pare po jedinici energije i po jedinici eksergije u ovisnosti o tlaku ekspandirane pare**

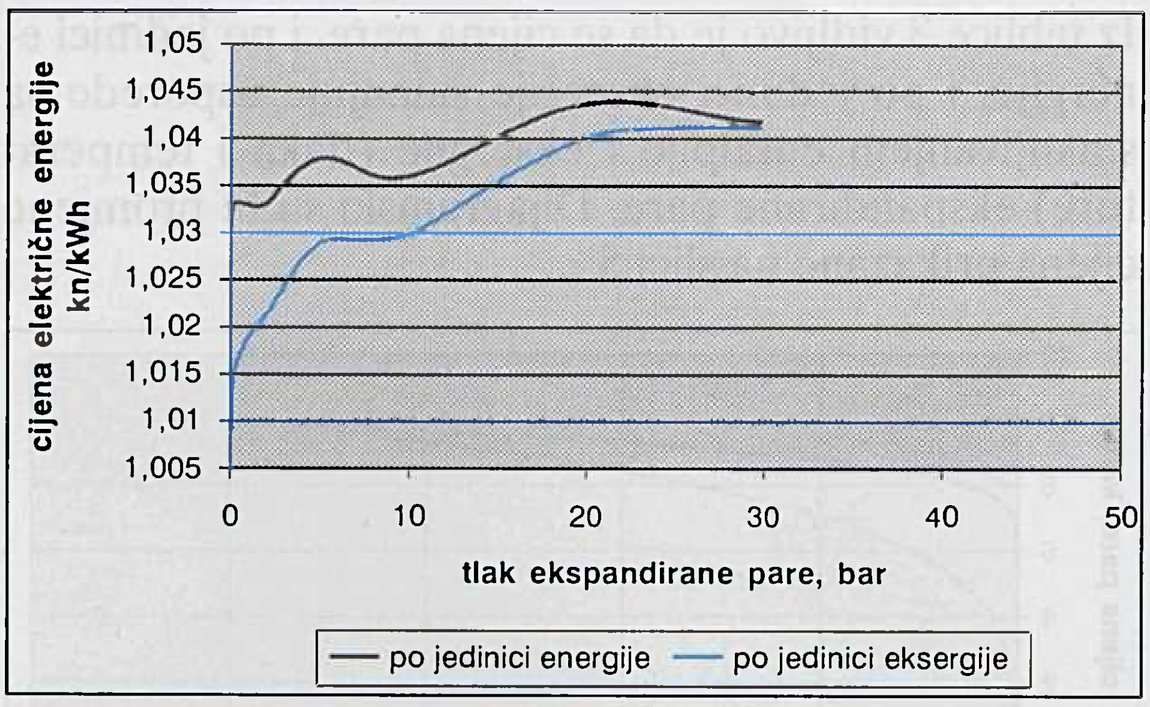
Iz tablice 3 je također vidljivo da je cijena električne energije po jedinici energije viša od cijene električne energije po jedinici eksergije. Cijena električne energije po jedinici energiji mijenja se nepravilno dok se cijena električne energije po jedinici eksergije smanjuje paralelno sa smanjivanjem cijene ekspandirane pare po jedinici eksergije.

Navedene cijene električne energije ovise i o visini tekućih troškova za protutlačni parnoturbinski agregat čija je jedinična cijena u funkciji električne snage tog agregata. Dijagramski su promjene cijene električne energije prikazane na slici 6.

Dijagrami sa slike 5 i slike 6 prikazuju prednosti i nedostatke energetskog i eksergetskog vrednovanja pare. Krivulja koja opisuje promjenu cijene ekspandirane pare po jedinici energije (sliku 5) otkriva sve više iracionalno trošenje ekspandirane pare pri sve nižim tlakovima. No, takvo trošenje ekspandirane pare jest poticajno jedino u slučaju rekuperacije izlazne topline

**Tablica 3. Cijena ekspandirane pare i električne energije po jedinici energije i po jedinici eksergije**

| Entalpija ekspandirane pare kJ/kg | Eksergija ekspandirane pare kJ/kg | Cijena pare po jedinici energije kn/GJ | Cijena pare po jedinici eksergije kn/GJ | Jedinična električna snaga kW | Cijena električne energije po jedinici energije kn/kWh | Cijena električne energije po jedinici eksergije kn/kWh |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3328 | 1265 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| 3238 | 1175 | 9,7 | 9,3 | 90 | 1,042 | 1,0406 |
| 3125 | 1062 | 9,4 | 8,4 | 203 | 1,044 | 1,0403 |
| 2945 | 882 | 8,8 | 7,0 | 383 | 1,036 | 1,0302 |
| 2800 | 737 | 8,4 | 5,8 | 528 | 1,038 | 1,0291 |
| 2630 | 567 | 7,9 | 4,5 | 698 | 1,033 | 1,0212 |
| 2520 | 457 | 7,6 | 3,6 | 808 | 1,033 | 1,0191 |
| 2290 | 227 | 6,9 | 1,8 | 1038 | 1,033 | 1,0147 |
| 2200 | 137 | 6,6 | 1,1 | 1128 | 1,031 | 1,0115 |
| 2090 | 27 | 6,3 | 0,2 | 1238 | 1,031 | 1,0090 |




**Slika 6. Promjena cijene električne energije po jedinici energije i po jedinici eksergije u ovisnosti o tlaku ekspandirane pare**

iz procesa radi proizvodnje srednjetlačne pare. To stimulativno utječe na korištenje protutlačno parnoturbinskog agregata.

Poticaj rekuperacije otpadne topline nije moguć kod eksegetskog vrednovanja pare. Kod takvog načina vrednovanja pare tehnički se kvalitetnije vrednuje proizvodnja toplinske i električne energije. Promjene cijene ekspandirane pare po jedinici eksergije opisane krivuljom na slici 6 izražene su kod različitih nivoa tlakova. Iz toga proizlazi da ovakav način vrednovanja pare potencira tehničke onove za optimalan izbor radnih parametara, osobito razine tlaka pare u pjedinim dijelovima procesa pa se moče zaključiti da s termodinamskog gledišta pruža najpovoljnije rezultate [1].

## 5. ZAKLJUČAK

U radu su prikazana dva načina termodinamskog vrednovanja pare. Prvi je način energetsko vrednovanje pare po kom se utvrdio entalpijski omjer. Drugi je način eksergetsko vrednovanje pare po kom se utvrdio eksergetski omjer. Ti omjeri predstavljaju odnos entalpije, odnosno eksergije pare (koja se mijenja sa promjenom tlaka i temperature) i entalpije, odnosno eksergije pare početnog stanja.

Nakon određivanja entalpijskog i eksergetskog omjera dana je posebno energetsko-ekonomska analiza, a posebno eksegetsko-ekonomska analiza koje uključuju bilance tekućih troškova. Te su dvije različite analize primjenjene prvo na energetskom sustavu za kombiniranu proizvodnju toplinske i električne energije u općem obliku, a zatim konkretno na primjeru energetskog sustava na bazi protutlačnog parnoturbinskog postrojenja. Na tom su se primjeru energetskog sustava odredile cijene ekspandirane pare i električne energije, posebno po jedinici energije, a posebno po jedinici eksergije. Svrsishodno određivanju cijena izrađene su odgovarajuće tablice i dijagrami koji opisuju promjene tih navedenih tipova cijena.

Na osnovi cijena ekspandirane pare i električne energije vrednovanim po dvjema veličinama, energiji i eksergiji, ustanovile su se prednosti i nedostaci tih dvaju različitih pristupa.

Osnovna prednost kod energetskog vrdndovanja pare jest to što se stimulativno utječe na korištenje rekuperativne otpadne topline radi proizvodnje srednjetlačne i niskotlačne pare. Kod ovakvog vrednovanja pare procjenjuje se vrijednost pare niskih tlakova, a podcjenjuje vrijednost električne energije, što destimulatvno utječe na njezino racionalno korištenje. Osnovna prednost kod eksergetskog vrednovanja pare jest mogućnost optimalnog izbora radnih parametara, osobito razine tlaka u pojedinim dijelovima procesa što je s termodinamskog stajališta najpovoljnije. Nedostatak ovakvog vrednovanja pare jednak je osnovnoj prednosti energetskog vrednovanja pare.

## LITERATURA

[1] Z. PRELEC, "Energetika u procesnoj industriji", Školska knjiga, Zagreb, 1994.

[2] V. BRLEK, "Termodinamika", Tehnička enciklopedija, Svezak 13, Leksikografski zavod »Miroslav Krleža«, Zagreb, 1997., str. 1-43

[3] A. BEJAN, G. TSATSARONIS, M. MORAN, "Thermal Design And Optimization", A Wiley-Interscience Publication, New York, USA, 1996.

[4] T. J. KOTAS, "The Exergy Method of Thermal Plant Analysis", Krieger, Melbourne, Fl, 1995.

[5] M. J. MORAN, H. N. SHAPIRO, "Fundamentals of Engineering Thermodynamics", 3rd ed., A Wiley-Interscience Publication, New York, USA, 1995.

[6] K. RAŽNJEVIĆ, "Termodinamičke tablice", Školska knjiga, Zagreb, 1975.

## PRICE DETERMINATION FOR STEAM AND ELETRIC ENERGY

The paper describes energy and exergy valorisation of steam as well as advantages and disadvantages of these two different valorisation ways. For price determination of steam and electric energy, by energy unit and by exergy unit, the balance of costs of most important participants in the energy system is done. As an example of cost evaluation of steam and electric energy, the energy system based on back-pressure steam turbine facility is given.

## DIE BESTIMMUNG DES DAMPF- UND STROMPREISES

Im Artikel ist die energetische und die exergetische Bewertung des Dampfes dargestellt und Vor- sowie Nachteile beider unterschiedlicher Zutritte der Bewertung beschrieben. Für die Bestimmung des Einheitspreises für Dampf und Strom ist die Kostenbilanz wichtigster Anteile im energetischen System sowohl für Energie, als auch für Exergie angefertigt. Als Beispiel der Preisberechnung von Dampf und Strom ist ein energetisches System genommen. Dieser System gründet auf einem Dampfturbinen-Gegendrucksatz.

Naslov pisca;

**Vedran Uran, dipl. ing.**
**"CASE" d.o.o.**
**Šetalište XIII. divizije 28**
**51000 Rijeka, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 01 – 13.

# ZELENI CERTIFIKATI: TRŽIŠNI MEHANIZAM POTPORE OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE

Mr. sc. Maja Božičević Vrhovčak – Dražen Jakšić – mr. sc. Tea Kovačević, Zagreb

UDK 620.95:621.311.25
PREGLEDNI ČLANAK

Navedeni su načini potpore obnovljivim izvorima energije. Detaljno je opisan nov, tržišno orijentiran mehanizam potpore – sustav zelenih certifikata. Opisano je tržište zelenih certifikata te ukazano na moguće zapreke njegovom ispravnom funkcioniranju. Prikazane su mogućnosti i zapreke uspostavi međunarodne trgovine zelenim certifikatima.

**Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, mehanizmi potpore, zeleni certifikati, tržište električne energije.**

## UVOD

U prvom desetljeću 21. stoljeća, svjetska energetika suočena je s dva problema koji su dominirali i krajem prethodnog stoljeća, a to su liberalizacija energetskih tržišta i istodobno, ispunjavanje međunarodnih ciljeva u pogledu zaštite okoliša i održivog razvoja. Stroge zahtjeve u pogledu očuvanja okoliša u elektroenergetici moguće je zadovoljiti povećanjem energetske efikasnosti, primjenom čistijih tehnologija za proizvodnju električne energije i širom uporabom obnovljivih izvora energije.

Sve veća pozornost posvećuje se obnovljivim izvorima energije, zbog višestrukih koristi koje se ostvaruju njihovom primjenom. To su prije svega smanjenje emisije ugljičnog dioksida; smanjenje emisije onečišćujućih tvari i stvaranja otpada tj. doprinos lokalnom očuvanju okoliša; diverzifikacija energenata pa stoga i povećana sigurnost opskrbe električnom energijom; smanjenje ovisnosti o uvoznim energentima; očuvanje prirodnih resursa, prvenstveno fosilnih goriva i vode; poticanje domaće proizvodnje tehnologija za uporabu obnovljivih izvora te otvaranje novih radnih mjesta. Međutim, uz navedene prednosti, obnovljivi izvori imaju i veliki nedostatak, a taj je da je cijena električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora još uvijek u najvećem broju slučajeva viša od cijene energije iz konvencionalnih postrojenja.

Na temelju navedenih prednosti uporabe obnovljivih izvora očigledno je da njihovo korištenje, iako još uvijek skuplje od korištenja konvencionalnih energenata, donosi višestruku korist – kako na nacionalnoj i regionalnoj, tako i na globalnoj razini. Zbog toga razvijene zemlje različitim mehanizmima nastoje potaknuti njihovu uporabu. Kako su energetska tržišta u velikom broju razvijenih zemalja danas liberalizirana, prevladavajući je stav da mehanizam potpore ne smije biti u suprotnosti s tržišnim mehanizmima te da njegova primjena ne smije uzrokovati tržišne poremećaje. Zbog svoje usklađenosti s tržišnim principima, kao mehanizam potpore obnovljivim izvorima, sve je popularniji tzv. sustav zelenih certifikata.

U ovom je članku dan pregled postojećih mehanizama potpore obnovljivim izvorima, detaljno su opisani zeleni certifikati te funkcioniranje tržišta certifikata, ukazano je na elemente dizajna sustava zelenih certifikata o kojima posebno treba voditi računa, te je dan osvrt na međunarodnu trgovinu zelenim certifikatima.

## MEHANIZMI POTPORE OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE

Državna potpora električnoj energiji iz obnovljivih izvora posljedica je brige za okoliš, zahtjeva za sigurnošću opskrbe električnom energijom, kao i potrebe za većom neovisnošću o uvoznom gorivu. Čitav niz faktora može pospješiti uporabu obnovljivih izvora, no čini se da niti jedan zasebno ne predstavlja ključ za uspjeh, već je on određen njihovim ispreplitanjem i nadopunjavanjem. Postoje, međutim, nezaobilazni elementi strategije razvoja obnovljivih izvora, koji ako se sustavno primjenjuju jamče uspjeh. To su:

- politička potpora
- odgovarajuće zakonodavstvo
- poticajna porezna politika
- financijska potpora
- administrativna potpora
- podupiranje tehnološkog razvoja
- promocija obnovljivih izvora putem obrazovanja.

Vlade većine zemalja članica EU zacrtale su ciljeve u pogledu uporabe obnovljivih izvora, i radi toga propisale minimalni udio obnovljivih izvora u utrošenoj električnoj energiji – tzv. kvotu obnovljivih izvora [1]. Da bi se ti prilično zahtjevni ciljevi mogli ispuniti, predviđeni su različiti mehanizmi potpore obnovljivim izvorima. Trenutačno se radi na harmonizaciji sustava potpore na razini EU. Najvažniji i najpoznatiji instrumenti potpore obnovljivim izvorima u elektroenergetskom sustavu su porezne olakšice i financijska potpora. Radi se prvenstveno o olakšicama na ulaganje u obnovljive izvore energije ili o potpori po proizvedenom kWh, najčešće u obliku tzv. zajamčenih tarifa. Prema tom konceptu, elektroprivrede imaju obvezu otkupa električne energije iz obnovljivih izvora koji se nalaze na njihovom području, i to po zagarantiranoj cijeni.

Koncept zajamčenih tarifa usvojen je u Njemačkoj i Španjolskoj [2], gdje se pokazao kao vrlo učinkovit. Međutim, važan nedostatak tog mehanizma je da ne potiče smanjenje troškova proizvodnje u obnovljivom postrojenju. Osim toga, u tržišnim uvjetima takav sustav dovodi elektroprivrede smještene na području na kojem je udio obnovljivih izvora velik u lošiji položaj jer će morati otkupljivati veću količinu električne energije po zagarantiranoj cijeni od svojih konkurenata. Da bi se to izbjeglo potrebno je ustanoviti jedinstven kompenzacijski mehanizam na čitavom području povezanom u jedan elektroenergetski sustav.

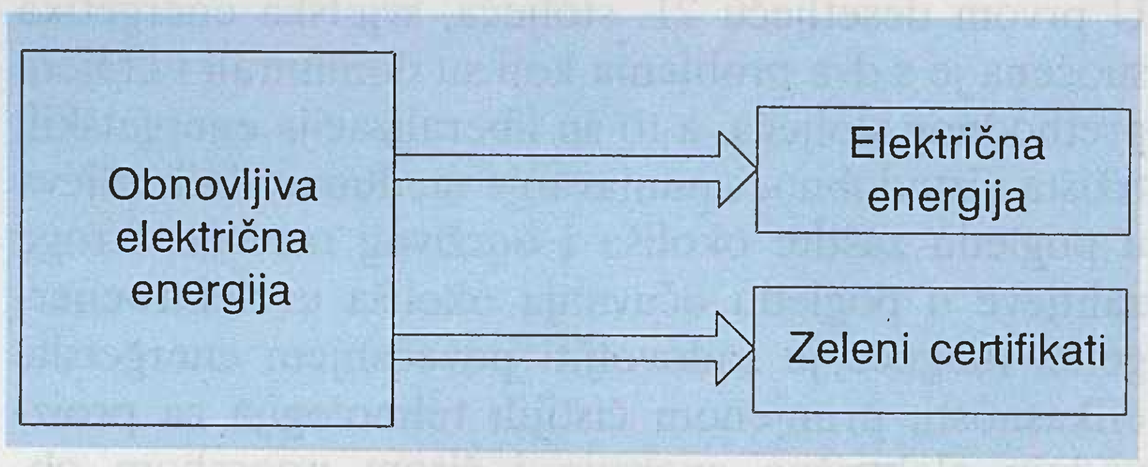
Jedan od načina potpore obnovljivim izvorima je i uvođenje olakšica na proizvedeni kilovatsat koje se dodjeljuju ograničenom broju investitora. Država raspisuje natječaj za izgradnju novih obnovljivih postrojenja, a olakšice se dodjeljuju ulagačima koji ponude najmanju proizvodnu cijenu. Takav sustav bio je dugo na snazi u Velikoj Britaniji i Irskoj [2], gdje su se aukcije održavale svake dvije godine. Pokazalo se da je učinkovit u pogledu smanjenja troškova. Međutim, potencijalni se investitori suočavaju s nekoliko izvora nesigurnosti. Prije svega, ishod natječaja je neizvjestan. Zatim, svaki investitor ima rok u kojem projekt mora biti realiziran, ali to često nije dovoljno zbog problema u planiranju i otpora lokalnih zajednica izgradnji novih postrojenja. Konačno, nije jasno koji će dio sredstava biti investiran u koju obnovljivu tehnologiju.

Mjera koja je u skladu s principima slobodnog tržišta, a istodobno potiče uporabu obnovljivih izvora je internalizacija eksternih troškova konvencionalnih postrojenja. To je u praksi moguće barem dijelom provesti oporezivanjem emisije ugljičnog dioksida, sumpornog dioksida i dušičnih oksida ili oporezivanjem energije, iz čega su izuzeti obnovljivi izvori. Valja primijetiti da izuzimanje obnovljivih izvora iz poreza na energiju cilja upravo na veću primjenu obnovljivih izvora, dok oporezivanje emisija, uz primjenu obnovljivih izvora energije, podupire i energetsku efikasnost. Oporezivanje potrošnje energije ili ispuštanja produkata izgaranja na snazi je u većem broju europskih zemalja pa je u tim zemljama smanjena razlika između cijene električne energije proizvedene na konvencionalan način i iz obnovljivih izvora. Međutim, zbog očuvanja konkurentnosti proizvoda koji se plasiraju na međunarodno tržište, takvi porezi nikad nisu dosegli razinu koja bi znatno povećala uporabu obnovljivih izvora.

Očigledno je da većina opisanih mjera unosi određene poremećaje na tržište. Zbog toga je na otvorenom tržištu električne energije potreban mehanizam koji je usklađen s funkcioniranjem tržišta, a danas prevladava stav da je to sustav zelenih certifikata.

## SUSTAV ZELENIH CERTIFIKATA

U ukupno proizvedenoj električnoj energiji određeni udio čini energija proizvedena iz obnovljivih izvora. Da bi ta energija uživala određene povlastice, potrebno ju je na neki način razlikovati od energije iz konvencionalnih izvora, iako su po fizikalnim svojstvima one identične. Zbog toga se električnoj energiji proizvedenoj iz obnovljivih izvora dodjeljuje potvrda, tzv. zeleni certifikat. To znači da se u obnovljivom postrojenju proizvode dva odvojena proizvoda: električna energija i zeleni certifikat, kojima se može trgovati na zasebnim tržištima, kao što prikazuje slika 1.




**Slika 1. Razdvajanje obnovljive električne energije na dva proizvoda**

Zeleni certifikat predstavlja dodatnu vrijednost obnovljivog izvora u odnosu na konvencionalni. Ovisno o stupnju liberaliziranosti tržišta, zakonskom okviru i drugim čimbenicima, zelene certifikate moguće je koristiti kao:

– jamstvo podrijetla tzv. zelene električne energije
– proizvod na tržištu utrživih zelenih certifikata.

Ako se kao mehanizam potpore obnovljivim izvorima usvoji ranije opisani sustav zajamčene tarife, to znači da kupac zelene električne energije – najčešće opskrbljivač – plaća cijenu kWh višu od tržišne cijene električne energije. Pri prodaji električne energije, opskrbljivač će višu cijenu raspodijeliti po svim potrošačima na svom području, ili će im pružiti mogućnost odabira tzv. zelene tarife.

Zelene tarife oblik su dobrovoljne potpore obnovljivim izvorima energije, prema kojem potrošač dobrovoljno plaća višu cijenu električne energije jer se određeni dio njegovih potreba podmiruje iz obnovljivih izvora. Ponuda može sadržavati raspon proizvoda zelene električne energije koji se međusobno razlikuju po udjelu

obnovljivih izvora u portfelju i, sukladno tome, po cijeni. Zelena električna energija, tj. energija po zelenim tarifama, nudi se kao zaseban proizvod u Nizozemskoj od 1995. godine [3], a kasnije se to počelo prakticirati i u drugim europskim državama. Potrošači koji kupuju zelenu električnu energiju plaćaju višu cijenu kilovatsata, a njihova elektroprivreda jamči da je utrošena električna energija proizvedena iz obnovljivih izvora. Postupak nadgleda neovisna institucija, najčešće nevladina organizacija (u Nizozemskoj je to World Wildlife Fund). Iako je takav sustav posve u skladu s liberalizacijom energetskog tržišta, on ne garantira znatnije povećanje udjela obnovljivih izvora.

Bez obzira na to da li viša cijena električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora povisuje prosječnu cijenu električne energije za sve kupce, ili se zelena električna energija nudi kao zaseban proizvod, opskrbljivač mora moći dokazati udio obnovljivih izvora u svom portfelju. Za to mu služe zeleni certifikati, koji otkupom električne energije od obnovljivog proizvođača po zajamčenoj tarifi prelaze u njegovo vlasništvo. Korišten kao jamstvo podrijetla, certifikat prvenstveno predstavlja sredstvo zaštite potrošača.

Međutim, zeleni certifikat nije samo jamstvo kvalitete proizvoda, već predstavlja i proizvod kojim se može trgovati. U tom se slučaju naziva utrživi zeleni certifikat. Cijena zelenog certifikata, kao i svakog drugog proizvoda, ovisi o ponudi i potražnji i određuje je tržište.

Pojednostavljenu shemu odvojenog trgovanja električnom energijom i zelenim certifikatima prikazuje slika 2.

Sudionici i institucije na tržištu zelenih certifikata su:

- proizvođači električne energije iz obnovljivih izvora
- tijelo za izdavanje certifikata
- registar zelenih certifikata
- opskrbljivač
- potrošač električne energije.

U životnom ciklusu certifikata razlikuju se tri faze: izdavanje, trgovanje i povlačenje certifikata, tj. njegovo iskorištenje.

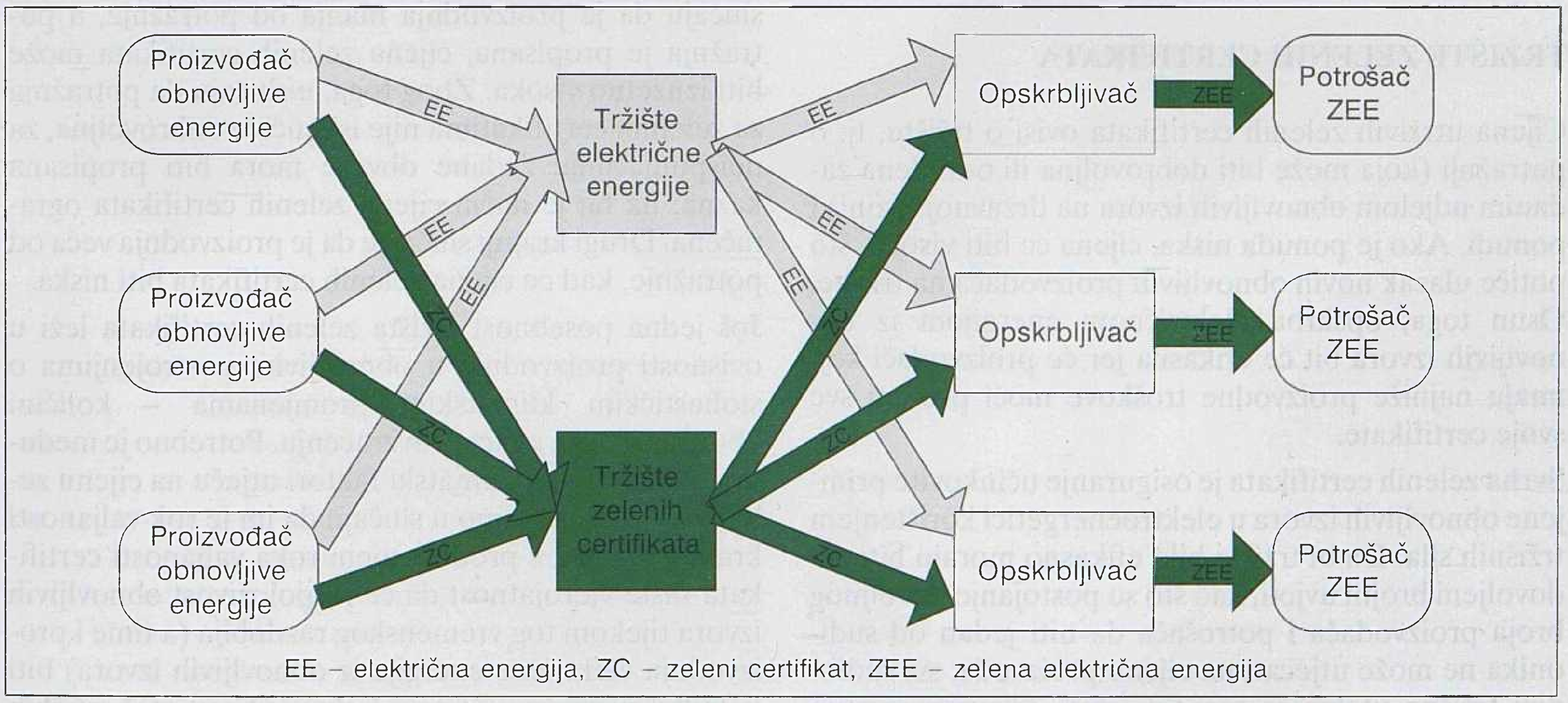
Proizvođač obnovljive energije mora biti certificiran od strane neovisnog tijela. Tijelo za izdavanje certifikata ovlaštena je i neovisna institucija koja za određenu količinu proizvedene energije (najčešće 1 MWh, [4]) obnovljivom proizvođaču izdaje certifikat. Certifikat je elektronički zapis koji se pohranjuje u registar, a sadrži podatke o proizvođaču, tehnologiji i datumu proizvodnje i dr.

Nakon izdavanja certifikata njegov je vlasnik proizvođač. Od tog trenutka počinje faza trgovine koja ne mora biti jednokratna, tj. certifikat se može više puta preprodati. Trgovati se može određeni vremenski period, dok ne istekne valjanost certifikata, obično najmanje godinu dana. Time se u potpunosti uklanja problem istodobnosti proizvodnje i potrošnje. Sve transakcije certifikata bilježe se u registru. To je trgovački registar u kojem se registrira vlasništvo certifikata.

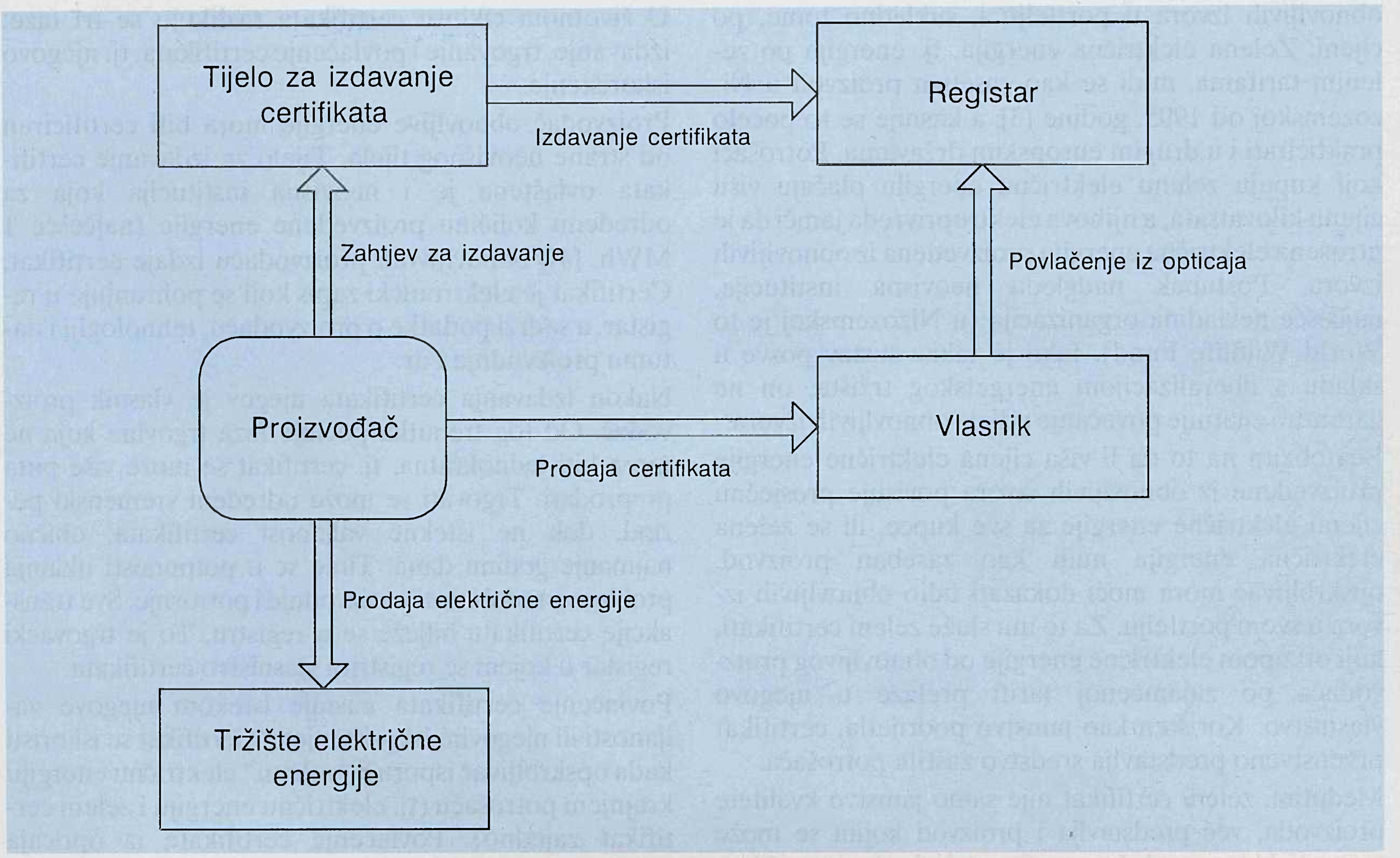
Povlačenje certifikata nastaje istekom njegove valjanosti ili njegovim iskorištenjem. Certifikat se iskoristi kada opskrbljivač isporuči "zelenu" električnu energiju krajnjem potrošaču (tj. električnu energiju i zeleni certifikat zajedno). Povlačenje certifikata iz opticaja bilježi se u registru.

Pojednostavnjeni model tržišta zelenih certifikata prikazuje slika 3.

Sustav zelenih certifikata, odnosno model tržišta, može se razlikovati u više aspekata. Primjerice, mogu se razlikovati prema tijelu ovlaštenom za izdavanje certifikata. To tijelo u svakom slučaju mora biti institucija neovisna o proizvođačima i dobavljačima. Ono može biti specijalizirano za obavljanje djelatnosti izdavanja certifikata, ili mu to može biti sekundarna djelatnost. Često je to operator prijenosnog sustava, pod uvjetom da je vlasnički potpuno odvojen od proizvodnje i opskrbe.




**Slika 2. Tržišta zelenih certifikata i tržišta električne energije mogu biti posve odvojena**




**Slika 3. Model tržišta zelenih certifikata**

Zeleni certifikati mogu se razlikovati prema vijeku trajanja i propisanim kriterijima za izdavanje. Naime, definicije obnovljive i zelene energije donekle se razlikuju u pojedinim zemljama pa se prema tome razlikuju i kriteriji za izdavanje zelenog certifikata, odnosno koje će tehnologije za proizvodnju zelene energije moći dobiti certifikat. Sustavi se razlikuju i prema modelu trgovanja, mjestu na kojem se ono obavlja, postoji li jedinstveno tržište u obliku burze ili se trguje na bilateralnoj osnovi itd.

## TRŽIŠTE ZELENIH CERTIFIKATA

Cijena utrživih zelenih certifikata ovisi o tržištu, tj. o potražnji (koja može biti dobrovoljna ili određena zadanim udjelom obnovljivih izvora na državnoj razini) i ponudi. Ako je ponuda niska, cijena će biti visoka, što potiče ulazak novih obnovljivih proizvođača na tržište. Osim toga, opskrba električnom energijom iz obnovljivih izvora bit će efikasna jer će proizvođači koji imaju najniže proizvodne troškove moći prodati sve svoje certifikate.

Svrha zelenih certifikata je osiguranje učinkovite primjene obnovljivih izvora u elektroenergetici korištenjem tržišnih sila. Da bi tržište bilo efikasno moraju biti zadovoljeni brojni uvjeti, kao što su postojanje dovoljnog broja proizvođača i potrošača da niti jedan od sudionika ne može utjecati na cijenu proizvoda, svi sudionici tržišne utakmice moraju imati osiguran pristup relevantnim informacijama, ne smiju postojati zapreke ulasku na tržište, transakcijski troškovi moraju biti zanemarivi, itd.

Osim navedenih zahtjeva, koji su preduvjeti funkcioniranja bilo kojeg konkurentnog tržišta, tržište zelenih certifikata ima i svoje posebnosti.

Prije svega, kao što je uobičajeno u proizvodnji električne energije, instalirana snaga krakoročno je neflek-sibilna, a isto vrijedi i za snagu instaliranu u obnovljivim postrojenjima. Zbog toga cijene na tržištu zelenih certifikata mogu biti vrlo promjenjive. U slučaju da je proizvodnja manja od potražnje, a potražnja je propisana, cijena zelenih certifikata može biti izuzetno visoka. Zbog toga, u slučaju da potražnja za zelenim certifikatima nije isključivo dobrovoljna, za neispunjavanje zadane obveze mora biti propisana kazna: na taj je način cijena zelenih certifikata ograničena. Drugi krajnji slučaj je da je proizvodnja veća od potražnje, kad će cijena zelenih certifikata biti niska.

Još jedna posebnost tržišta zelenih certifikata leži u ovisnosti proizvodnje u obnovljivim postrojenjima o stohastičkim klimatskim promjenama – količini oborina, vjetru, sunčevom zračenju. Potrebno je međutim primijetiti da klimatski faktori utječu na cijenu zelenih certifikata samo u slučaju da im je rok valjanosti kratak. Naime, s produljenjem roka valjanosti certifikata raste vjerojatnost da će raspoloživost obnovljivih izvora tijekom tog vremenskog razdoblja (a time i proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora) biti jednaka prosječnoj, što znači da se utjecaj stohastičkih klimatskih faktora smanjuje [5].

Postoje i drugi aspekti o kojima treba voditi računa pri osmišljavanju sustava zelenih certifikata. Naprimjer, treba odrediti koji će se obnovljivi izvori uključiti u sustav potpore. Često se spominje da su velike hidroelektrane isplative i bez potpore. Međutim, izgradnja novih hidroelektrana zahtijeva velika ulaganja i daleko je skuplja od izgradnje npr. postrojenja loženog fosilnim gorivom. Kako su zeleni certifikati tržišni mehanizam, najbolje je na certifikatu naznačiti podrijetlo, pa će se cijena za pojedine izvore i tehnologije formirati na temelju zahtjeva tržišta.

Dugoročno, sustav zelenih certifikata pomaže u povećanju udjela obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije. Te je dugoročne ciljeve potrebno pretočiti u jasno definirana pravila sustava zelenih certifikata koja se neće s vremenom promijeniti zbog novih prioriteta ili promjene vlasti. To je važan preduvjet da bi sudionici na tržištu bili sigurni u isplativost svog ulaganja.

## MEĐUNARODNO TRGOVANJE ZELENIM CERTIFIKATIMA

Prednost trgovanja zelenim certifikatima u odnosu na trgovinu električnom energijom proizvedenom iz obnovljivih izvora je u tome što trgovina certifikatima nema fizičkih zapreka. Zeleni certifikati omogućavaju potpuno fizičko razdvajanje električne energije od prednosti koje ima proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora (tzv. "zelenih atributa") – te su prednosti pretočene u zeleni certifikat.

Mogućnosti za međunarodnu trgovinu certifikatima postoje zbog različite vrijednosti zelenih certifikata u različitim državama, što ovisi o mogućnosti proizvodnje certifikata (ponudi) i zadanoj kvoti obnovljivih izvora (potražnji). To znači da zadana kvota igra ključnu ulogu u međunarodnoj trgovini zelenim certifikatima.

Međunarodna trgovina zelenim certifikatima pomaže liberalizaciji međunarodnog tržišta električne energije te promovira projekte koji su produktivni i lokacije koje su ekonomične uklanjajući potrebu prijenosa energije na velike udaljenosti. Stoga odvajanje električne energije i certifikata dovodi do povećanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora uz jednake granične troškove.

Postoji veći broj primjera bilateralne međunarodne trgovine zelenim certifikatima [4, 6]. Princip je uvijek isti: ovlašteno neovisno tijelo izda zeleni certifikat proizvođaču za određenu količinu proizvedene električne energije iz obnovljivog izvora koji zatim taj zeleni certifikat može utržiti, tj. prodati onome tko ga je voljan kupiti. Cijena zelenog certifikata slobodno se ugovara. Kod zelenih certifikata nema bitnih tehničkih ograničenja koji bi ometali slobodnu trgovinu te postoje sve pretpostavke da se stvori uistinu konkurentno tržište.

Očekuje se da bi harmonizacija sustava zelenih certifikata na međunarodnoj razini olakšala pristup jeftinijim certifikatima i potakla izgradnju obnovljivih izvora na najpovoljnijim lokacijama. Međutim, da bi međunarodna trgovina zelenim certifikatima zaista zaživjela, nacionalne sustave certifikata i mehanizme potpore obnovljivoj energiji treba najprije uskladiti.

## ZAKLJUČAK

Zbog brojnih prednosti uporabe obnovljivih izvora energije, njihova šira uporaba jedan je od prioriteta u energetskoj strategiji svake države. Međutim, električna energija iz obnovljivih izvora još je uvijek najčešće skuplja od električne energije proizvedene u konvencionalnim postrojenjima. Zbog toga država mora potaknuti ulaganja u obnovljive izvore energije.

Mehanizam potpore obnovljivim izvorima koji je u skladu sa zakonitostima liberaliziranog tržišta električne energije je sustav zelenih certifikata.

Jasna i dosljedna državna politika važan je preduvjet za postojanje valjanog sustava zelenih certifikata koji će osigurati odgovarajući okvir za ulaganja u obnovljive izvore energije. Zbog toga je važno na državnoj razini pažljivo razraditi sustav i pravila tržišta zelenih certifikata te zadati vremenski okvir unutar kojeg se zadana pravila neće mijenjati, jer će se na taj način smanjiti nesigurnost ulaganja u obnovljive izvore.

Kako zeleni certifikati omogućavaju potpuno razdvajanje električne energije od njenih "zelenih atributa", trgovina zelenim certifikatima nema fizičkih zapreka. Zbog toga se očekuje da će takav oblik trgovanja "zelenom" komponentom električne energije doživjeti procvat na liberaliziranom tržištu električne energije, posebno na međunarodnoj razini.

No, da bi međunarodna trgovina zaista zaživjela, nužno je usklađivanje nacionalnih sustava zelenih certifikata, i usuglašavanje mehanizama potpore obnovljivim izvorima energije.

## LITERATURA

[1] Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in te internal electricity market, Official Journal of the European Communitiesh

[2] V. LAUBER: "The different concepts of promotin RES-electricity and their political careers", The Conference on the Human Dimensions of Global Envrionmental Change, Berlin, December 2001

[3] TOMŠIĆ et al: "Utjecaj propisa i ekonomskih mjera zaštite okoliša na rad i razvoj elektroenergetskog sustava u uvjetima reforme i liberalizacije hrvatskog elektroenergetskog sektora", FER, Zagreb, ožujak 2001.

[4] H. SCHNEIDER, "TRECs in Europe", Proceedings of the International Conference "International Trade of Green Certificates – New Opportunities", Warshaw, December 2002

[5] G. J. SCHAEFFER, M. G. BOOTS, C. MITCHELL, T. ANDERSON, C. TIMPE, M. CAMES: "Options for design of tradable green certificate systems", ECN-C--00-032, April 2000

[6] Energy Research Center of the Netherlands: "Effects of burden sharing and certificate trade on the renewable electricity market in Europe", May 2001

## GREEN CERTIFICATES – MARKET MECHANISM TO SUPPORT RENEWABLE ENERGY SOURCES

Different supporting models for renewable energy sources are given. New, market oriented support mechanisms – green certificates model is described in detail. Green certificates market is also described whereby possible barriers to its correct operation are also given. Possibilities and barriers for green market certificates trading are also stated.

## GRÜNE ZEUGNISSE: EIN MARKTMECHANISMUS DER UNTERSTÜTZUNG DER ERNEUBAREN ENERGIEQUELLEN

Es werden Möglichkeiten der Unterstützung erneubarer Energiequellen angeführt. Ausführlich beschrieben ist die neue marktorientierte Art dieser Unterstützung: System der grünen Zeugnisse. Der Markt mit Teilname dieser Zeugnisse ist beschrieben und auf mögliche Störungen seinm erfolgreichen Ablauf hingewiesen. Möglichkeiten der Einführung des Handels mit grünen Zeugnissen und die dabei im Wege stehenden Hindernisse sind dargestellt.

Naslov pisaca:

**Mr. sc. Maja Božičević Vrhovčak, dipl. ing.**
**Dražen Jakšić, dipl. ing.**
**mr. sc. Tea Kovačević, dipl. ing.**
**Zavod za visoki napon i energetiku**
**Fakultet elektrotehnike i računarstva**
**Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 02 – 03.

# PRIKAZ STANJA NORMIZACIJE I REGULATIVE VEZANE UZ KOMUNICIRANJE ELEKTROENERGETSKIM VODOVIMA, PLC

## I. dio: Normizacija PLC-a

Mr. sc. Suzana Javornik Vončina, Zagreb

UDK 658.516:621.391.31
PREGLEDNI ČLANAK

Članak daje pregled normizacije sustava za komuniciranje elektroenergetskim vodovima, od prvobitnih uskopojasnih PLC sustava kod nas poznatih pod nazivom VF veze po VN vodovima, do danas aktualnih širokopojasnih pristupnih PLC sustava kojima se ostvaruju pristupne PLC usluge i energetske PLC usluge, te širokopojasnih PLC sustava kojima se ostvaruje komunikacija informatičkih i ostalih električnih i elektroničkih uređaja unutar zgrade.

**Ključne riječi: normizacija, komuniciranje elektroenergetskim vodovima, PLC, PLT, elektromagnetska usklađenost, referentni model mrežne arhitekture, kakvoća usluga.**

### Uvod

Uporaba elektroenergetske mreže u komunikacijske svrhe, PLC, poznata je od početka 20. stoljeća. Osnovna ideja PLC-a je prenositi električnu energiju na 50 Hz, a istodobno na višim frekvencijama telekomunikacijske informacije.

Prvi PLC sustavi upotrebljavani su na visokonaponskim vodovima elektroprivreda za interno komuniciranje, daljinsko mjerenje i nadzorne funkcije. Kod nas je uobičajen termin za ove sustave visokofrekvencijske veze po visokonaponskim vodovima, VF veze po VN vodovima.

Međutim, mogućnosti PLC-a su daleko šire: osim na visokonaponskim vodovima, PLC se može primijeniti i na srednjonaponskim i niskonaponskim elektroenergetskim vodovima, kao i na električnim instalacijama unutar zgrada. Na taj način, osim što omogućava telekomunikacijske usluge za potrebe elektroprivrednih poduzeća, PLC može biti osnova za pružanje telekomunikacijskih usluga u pristupnim telekomunikacijskim mrežama (pristupni PLC), kao i telekomunikacijskih usluga u kućanstvima (kućni PLC).

U Europi je u području telekomunikacija osobito velika potreba za povećanjem kapaciteta pristupnih telekomunikacijskih mreža, što je preduvjet za brz pristup Internetu i razvoj elektroničkog poslovanja. Dva su načina povećanja kapaciteta telekomunikacijske pristupne mreže: izgradnja novih mreža, što je skupo i dugotrajno, te uporaba novih tehnologija na postojećim mrežama (xDSL, CATV), što uglavnom podrazumijeva uporabu infrastrukture tradicionalnih telekomunikacijskih monopolista.

U tom svjetlu vrlo je zanimljiva kombinacija uporaba elektroenergetskih distribucijskih mreža kao infrastrukture za pristupne telekomunikacijske mreže, budući da se radi o postojećoj infrastrukturi koja nije u vlasništvu tradicionalnih telekomunikacijskih monopolista. Zbog toga se na razvoju PLC-a angažirao veći broj proizvođača, normizacijskih tijela, novonastalih udruženja i telekomunikacijskih stručnjaka sa sveučilišta diljem svijeta.

U SAD-u, gdje je broj telefonskih priključaka po kućanstvu u prosjeku veći nego u Europi, još veći interes pobudila je mogućnost komuniciranja električnom instalacijom unutar zgrada, koja omogućava automatizaciju kućanstva. Na normizaciji istog angažirao se veći broj proizvođača informatičke tehnologije, kao i proizvođača kućanskih aparata i elektronike.

Osnovna pitanja koja treba riješiti da bi PLC zaživio mogu se podijeliti u tri glavna područja: tehnologija, normizacija i regulativa, te promidžba.

Na razvoju tehnologije pristupnog PLC-a aktivan je niz proizvođača, među kojima su danas najistaknutiji Ascom Powerline i Main.net Communications čija su rješenja već u komercijalnoj uporabi. Brojne probne instalacije pokazale su da PLC može ostvariti prijenosne brzine reda veličine 2 Mbit/s (propusnost dijele sva kućanstva spojena na istu transformatorsku stanicu) uz domet prijenosa do 400 m. Na razvoju tehnologije za kućni PLC najaktivniji su proizvođači okupljeni u organizaciji HomePlug Powerline Alliance, koja je 2001. godine donijela industrijsku normu za kućni PLC brzine 14 Mbit/s.

Za razliku od VF veza po VN vodovima, za koje je zadovoljavajuća mala brzina prijenosa, kod pristupnog i kućnog PLC-a tržišno su zanimljive brzine od par Mbit/s, što zahtijeva uporabu frekvencijskog pojasa čija je širina reda veličine desetak MHz. U takvoj situaciji do izražaja dolaze karakteristike elektroenergetske mreže (topologija, fizička svojstva, te prijenosna svojstva) koja se značajno razlikuje od uobičajenih telekomunikacijskih mreža. Kako niti niskonaponska elektroenergetska mreža niti električne instalacije u zgradama nisu osmišljene za prijenos podataka, postići zadovoljavajući prijenosni kapacitet PLC-a nije jednostavan zadatak. Osnovni ograničavajući faktori za zadovoljavajući prijenosni kapacitet i zadovoljavajući domet PLC-a su elektromagnetska emisija i otpornost na smetnje. PLC sustav proizvodi elektromagnetsku emisiju i može uzrokovati smetnje drugim komunikacijskim sustavima koji rade na istim frekvencijama, posebice različitim radijskim službama s obzirom da radi u megahercnom području. Zbog toga je preduvjet razvoja, prihvaćanja i šire uporabe PLC-a donošenje odgovarajuće normizacije i regulative, prvenstveno definiranje frekvencijskog područja za njegov rad i određivanje takvih pravila njegove uporabe koja će ograničiti emisiju PLC sustava u mjeri dovoljnoj za zaštitu korisnika radijskih službi koje rade na istim frekvencijama. Na definiranju frekvencijskih područja, graničnih vrijednosti polja smetnji i pripadnih postupaka mjerenja, kao i na ostalim normizacijskim i regulatornim pitanjima vezanim uz kućni i pristupni PLC, rade različite regulatorne i normizacijske organizacije, kao i s tom svrhom osnovana udruženja.

Radi promidžbe PLC-a osnovana su razna udruženja, među kojima najistaknutiju ulogu na promoviranju pristupnog PLC-a ima udruženje PLCforum, a na promoviranju kućnog PLC-a savez HomePlug Powerline Alliance. Ova su udruženja ujedno aktivna i na normizaciji PLC-a.

Ovaj članak prvi je dio serije Prikaz stanja normizacije i regulative vezane uz komuniciranje elektroenergetskim vodovima. U njemu je opisano normizacijsko područje razvoja PLC-a, dok će u drugom dijelu serije biti opisano područje međunarodne i europske regulative vezane uz PLC.

U 1. poglavlju dan je pregled normizacijskih i regulatornih tijela uključenih u razvoj PLC-a. U 2. poglavlju dana je klasifikacija PLC-a i istaknuta su područja PLC-a čija je normizacija u tijeku. U 3. poglavlju opisana je normizacija vezana uz PLC na međunarodnoj razini, a u 4. poglavlju na europskoj razini. U 5. poglavlju opisane su najznačajnije organizacije osnovane radi razvoja i promidžbe PLC-a. U 6. poglavlju objašnjene su sve kratice upotrijebljene u članku, a u 7. poglavlju dan je hrvatski prijevod i engleski naziv za osnovne pojmove korištene u članku. Slijede zaključak, te literatura navedena redoslijedom spominjanja u članku.

## 1. PREGLED NORMIZACIJSKIH I REGULATORNIH TIJELA UKLJUČENIH U RAZVOJ PLC-a

Na slici 1 dan je prikaz regulatornih i normizacijskih tijela uključenih u izradu normi i regulative vezanih uz PLC i nove kabelske tehnologije koje osiguravaju širokopojasnu komunikaciju općenito. U nastavku su dani puni nazivi tih tijela zajedno s adresom njihove početne stranice na Internetu, te kratkim opisom njihove uloge.

- **ITU** (*International Telecommunication Union*), **Međunarodna telekomunikacijska udruga,** www.itu.int

ITU je međunarodna organizacija sa sjedištem u Ženevi koja djeluje od 1865. godine (od 1956. do 1992. pod imenom CCITT). Unutar ITU-a vlade 189 zemalja članica i više od 660 privatnih članova (telekomunikacijske uprave, regulatori, te međunarodne, međuvladine, regionalne, znanstvene i industrijske organizacije,...) koordiniraju globalne telekomunikacijske mreže i usluge. Prava i obveze članica ITU-a definirana su u *Ustavu* (Constitution) i *Konvenciji* (Convention) ITU-a. Republika Hrvatska članica je ITU-a od 3.6.1992. godine.

- **IEC** (*International Electrotechnical Commission*), **Međunarodna elektrotehnička komisija,** www.iec.ch

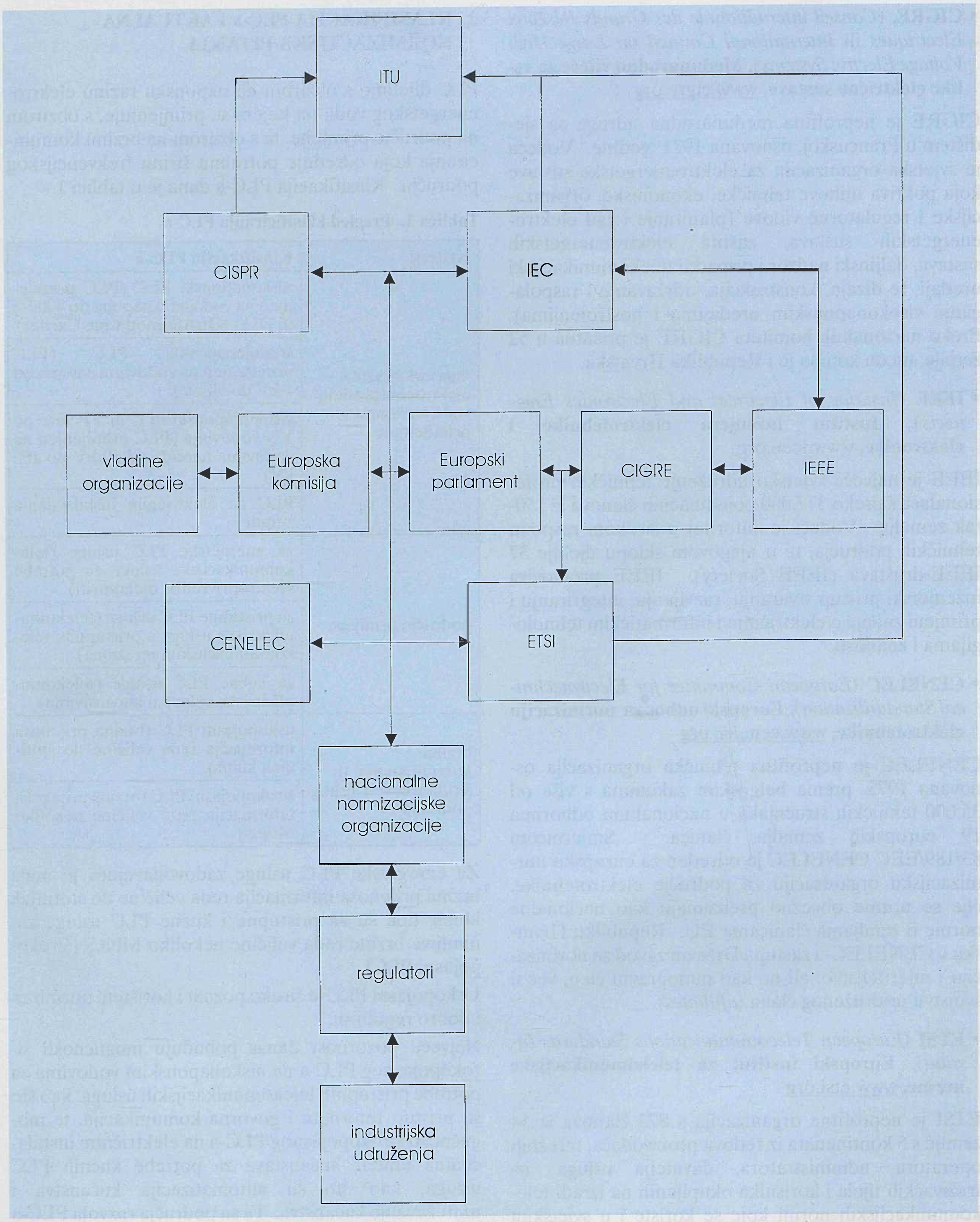
IEC je međunarodna organizacija osnovana 1906. godine, čije su članice nacionalni odbori više od 60-tak zemalja. IEC izrađuje i izdaje međunarodne norme za električne, elektroničke i srodne tehnologije radi uklanjanja tehničkih ograničenja svjetskoj trgovini. Prema ugovoru sklopljenom u Dresdenu (Dresden Agreement), na planiranju aktivnosti i usvajanju normi IEC surađuje s CENELEC-om. Hrvatski član IEC-a je Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo.

- **CISPR** (*Comité international spécial des perturbations radioélectriques* ili *International Special Committee on Radio Interference*), **Međunarodni odbor za radijsku interferenciju**

CISPR je IEC-ov odbor koji se bavi međunarodnim sporazumijevanjem glede različitih vidova radijske interferencije radi omogućavanja međunarodne trgovine. Osnovni mu je zadatak izraditi norme koje će osigurati zaštitu radijskog prijama od izvora smetnji, kao što su sve vrste električnih uređaja, sustavi za opskrbu električnom energijom, radijski i televizijski prijamnici, a posebice informatički uređaji. Zbog toga rad CISPR-a uključuje definiranje uređaja za mjerenje smetnji, načina mjerenja smetnji, ograničenja emisije, zahtjeva za otpornost na smetnje, kao i načina mjerenja otpornosti na smetnje. CISPR se bavi tzv. visokim frekvencijama, a to su prema IEC-ovoj terminologiji frekvencije iznad 9 kHz.

- **EC** (*European Commission*), **Europska komisija**

Europska komisija je izvršno tijelo Europske unije s pravom iniciranja donošenja zakona koje podupire interese




**Slika 1. Normizacijske i regulatorne organizacije značajne za razvoj PLC-a**

Unije kao cjeline. Europska komisija izrađuje prijedloge novog zakonodavstva za Europski Parlament i Vijeće, nadzire primjenu ugovora Europske unije u zemljama članicama te predstavlja izvršno tijelo Unije odgovorno za političku implementaciju i upravljanje.

- **Europski parlament** *(European Parliament)*

Europski parlament ima zakonodavnu vlast (suodlučuje s Vijećem), usvaja proračun Unije i nadzire sve djelatnosti Zajednice.

- **CIGRE,** (*Conseil internationale des Grands Réseaux Electriques* ili *International Council on Large High Voltage Electric Systems*), **Međunarodno vijeće za velike električne sustave,** www.cigre.org

CIGRE je neprofitna međunarodna udruga sa sjedištem u Francuskoj, osnovana 1921. godine. Vodeća je svjetska organizacija za elektroenergetske sustave koja pokriva njihove tehničke, ekonomske, organizacijske i regulatorne vidove (planiranje i rad elektroenergetskih sustava, zaštita elektroenergetskih sustava, daljinski nadzor i pripadni telekomunikacijski uređaji, te dizajn, konstrukcija, održavanje i raspolaganje visokonaponskim uređajima i postrojenjima). Preko nacionalnih komiteta CIGRE je prisutna u 52 zemlje, među kojima je i Republika Hrvatska.

- **IEEE** (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), **Institut inženjera elektrotehnike i elektronike,** www.ieee.org

IEEE je najveće svjetsko udruženje tehničkih profesionalaca s preko 377.000 pojedinačnih članova iz 150-tak zemalja. Vodeći je autoritet u širokom rasponu tehničkih područja, te u njegovom sklopu djeluje 37 IEEE-društava (IEEE Society). IEEE promovira inženjerski pristup stvaranju, razvijanju, integriranju i primjeni znanja o električnim i informatičkim tehnologijama i znanosti.

- **CENELEC** (*European Committee for Electrotechnical Standardization),* **Europski odbor za normizaciju elektrotehnike,** www.cenelec.org

CENELEC je neprofitna tehnička organizacija osnovana 1973. prema belgijskim zakonima s više od 35.000 tehničkih stručnjaka u nacionalnim odborima 19 europskih zemalja članica. Smjernicom 83/189/EEC CENELEC je određen za europsku normizacijsku organizaciju za područje elektrotehnike, čije se norme obvezno preuzimaju kao nacionalne norme u zemljama članicama EU. Republiku Hrvatsku u CENELEC-u zastupa Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, ali ne kao punopravni član, već u svojstvu pridruženog člana (*affiliates*).

- **ETSI** (*European Telecommunications Standards Institut),* **Europski institut za telekomunikacijske norme,** www.etsi.org

ETSI je neprofitna organizacija s 873 članova iz 54 zemlje s 5 kontinenata iz redova proizvođača, mrežnih operatora, administratora, davatelja usluga, istraživačkih tijela i korisnika okupljenih na izradi telekomunikacijskih normi koje se koriste i u svjetskim razmjerima. Neke ETSI-jeve norme Europska komisija usvaja kao tehničku osnovu smjernica i regulative. ETSI je određen za europsku normizacijsku organizaciju za područje telekomunikacija. Hrvatski članovi ETSI-a su administrator Ministarstvo pomorstva, prometa i veza, te mrežni operator VIP-NET GSM d.o.o.

## 2. KLASIFIKACIJA PLC-a I AKTUALNA NORMIZACIJSKA PITANJA

PLC dijelimo s obzirom na naponsku razinu elektroenergetskog voda na kojem se primjenjuje, s obzirom na područje primjene, te s obzirom na brzinu komuniciranja koja određuje potrebnu širinu frekvencijskog područja. Klasifikacija PLC-a dana je u tablici 1.

**Tablica 1. Pregled klasificiranja PLC-a**

| Kriterij | Klasifikacija PLC-a |
|---|---|
| naponska razina elektroenergetskog voda na kojem se primijenjuje | niskonaponski PLC (PLC primijenjen na vodovima napona do 400 V) ili DLC (Distribution Line Carrier) |
| | srednjenaponski PLC (PLC primijenjen na vodovima napona od 1 kV do 50 kV) |
| | visokonaponski PLC ili VF veze po VN vodovima (PLC primijenjen na vodovima napona od 50 kV do 400 kV) |
| | PLC na električnim instalacijama zgrade |
| područje primjene | za energetske PLC usluge (telekomunikacijske usluge za potrebe elektroprivredne djelatnosti) |
| | za pristupne PLC usluge (telekomunikacijske usluge u pristupnim telekomunikacijskim mrežama) |
| | za kućne PLC usluge (telekomunikacijske usluge u kućanstvima) |
| brzina komuniciranja, tj. širina frekvencijskog područja | uskopojasni PLC (brzina prijenosa informacija reda veličine do stotinjak kbit/s) |
| | širokopojasni PLC (brzina prijenosa informacija reda veličine nekoliko Mbit/s) |

Za energetske PLC usluge zadovoljavajuća je mala brzina prijenosa informacija reda veličine do stotinjak kbit/s, dok su za pristupne i kućne PLC usluge zanimljive brzine reda veličine nekoliko Mbit/s (širokopojasni PLC).

Uskopojasni PLC je široko poznat i korišten, normiran i dobro reguliran.

Najveću pozornost danas pobuđuju mogućnosti širokopojasnog PLC-a na niskonaponskim vodovima za potrebe pristupnih telekomunikacijskih usluga, kao što su pristup Internetu i govorna komunikacija, te mogućnosti širokopojasnog PLC-a na električnim instalacijama unutar kućanstava za potrebe kućnih PLC usluga, kao što su automatizacija kućanstva i umrežavanje kućanstva. Ta su područja razvoja PLC-a novijeg datuma i danas su predmet značajnije normizacijske i regulatorne aktivnosti.

Najvažniji zadatak normizacije širokopojasnog PLC-a je osigurati mogućnost istodobnog rada pristupnog i kućnog PLC-a, kao i mogućnost istodobnog rada kućnih PLC-ova različitih proizvođača spojenih na istu transformatorsku stanicu.

Osnovne postavke na kojima se temelji razvoj normi za širokopojasni PLC su:

- uzeti u obzir ograničenja potrebna radi zaštite drugih službi, prvenstveno radijskih,
- definirati parametre sustava nužne za status normiranog proizvoda i
- zadovoljiti zahtjeve odgovarajućih europskih smjernica.

Širokopojasni PLC ostvaruje veće brzine uporabom šireg frekvencijskog pojasa iz frekvencijskog spektra od 1,6 MHz do 30 MHz, budući da je iznad 30 MHz prigušenje u elektroenergetskim vodovima preveliko. Taj je dio spektra namijenjen različitim radijskim službama. Ukoliko prijenosni medij za komunikacijske sustave nije zadovoljavajuće oklopljen niti simetričan, kao što je slučaj s elektroenergetskim vodovima, dolazi do neželjene elektromagnetske emisije i ometanja sustava koji rade na istim frekvencijama. Prema tome, kod širokopojasnog PLC-a se očiglednoj prednosti uporabe postojeće širokorasprostranjene elektroenergetske infrastrukture suprotstavlja problem njene neprilagođenosti komunikacijskoj namjeni.

Jedna od metoda zaštite radijskih službi je osiguravanje elektromagnetske usklađenosti, EMC-a, tj. sposobnosti uređaja ili sustava da zadovoljavajuće radi u svom elektromagnetskom okruženja bez da unosi neprihvatljive elektromagnetske smetnje ičemu u svom okruženju. Da bi se ometanje radijskih službi koje rade na istim frekvencijama svelo na prihvatljivu razinu, potrebno je ograničiti zračenje PLC sustava, tj. jakost polja smetnji. U tablici 2 definirani su osnovni pojmovi vezani uz EMC. Na međunarodnoj razini norme vezane uz EMC izrađuje IEC. Na europskoj razini EMC regulira Smjernica o EMC-u [1] i pripadne ETSI-jeve i CENELEC-ove harmonizirane norme za EMC.

Norme vezane uz EMC dijele se na osnovne norme, općenite norme i norme specifične za određenu vrstu proizvoda, što je pobliže objašnjeno u tablici 3. Ukoliko postoji norma specifična za određenu vrstu proizvoda, primjenjuje se ta norma. Ukoliko ne postoji, primjenjuje se norma za obitelj proizvoda. Kad ne postoji norma specifična za određenu vrstu proizvoda niti za obitelj proizvoda, primjenjuje se općenita norma. Općenite norme razvijaju se za dva razreda okruženja: uredsko (Domestic, Commercial and Light Industrial Environment) i industrijsko (Industrial Environment), koja se razlikuju u načinu napajanja uređaja.

Napredak tehnologije prati stalna potreba razvoja normi za EMC kako bi ove savladale novonastale izazove u zaštiti radijskih službi. Radijske službe danas koriste sve više frekvencije, a sve je zastupljenije i korištenje digitalne modulacije. Današnje norme za EMC napravljene su vezano uz analogne radijske

**Tablica 2. Definicije vezane uz elektromagnetsku usklađenost**

| Naziv pojma | | Definicija pojma prema CENELEC Guide no 24: EMC Standardization for Product Committees |
|---|---|---|
| engleski | hrvatski | |
| electromagnetic environment | elektromagnetsko okruženje | sveukupnost elektromagnetskih fenomena koji postoje na danoj lokaciji |
| electromagnetic disturbance | elektromagnetska smetnja | elektromagnetski fenomen koji može pogoršati performanse sprave, uređaja ili sustava |
| electromagnetic interference, EMI | elektromagnetska interferencija | pogoršanje performansi uređaja, prijenosnog kanala ili sustava uzrokovano elektromagnetskom smetnjom |
| electromagnetic compatibility, EMC | elektromagnetska usklađenost | sposobnost uređaja ili sustava da zadovoljavajuće radi u svom elektromagnetskom okruženju bez da unosi neprihvatljive elektromagnetske smetnje ičemu u tom okruženju |
| (electromagnetic) emission | (elektromagnetska) emisija | fenomen izlaska elektromagnetske energije iz izvora |
| immunity (to a disturbance) | otpornost (na smetnje) | sposobnost sprave, uređaja ili sustava da radi bez pogoršanja u prisutnosti eklektromagnetske smetnje |
| port: | ulaz: | određeno sučelje uređaja koje uređaj spaja s vanjskim elektromagnetskim okruženjem ili na koje utječe vanjsko elektromagnetsko okruženje: |
| AC power port | ulaz za napajanje izmjeničnom strujom | ulaz značajan za EMC zbog mogućnosti vođene emisije |
| DC power port | ulaz za napajanje istosmjernom strujom | ulaz značajan za EMC zbog mogućnosti vođene emisije |
| Enclosure port | ulaz kućišta | fizičke granice uređaja na kojima može doći do zračene emisije ili elektrostatskog pražnjenja |
| Signal/control port | signalno-nadzorni ulaz | ulaz značajan za EMC zbog mogućnosti vođene emisije |
| Functional earth port | ulaz za uzemljenje | ulaz značajan za EMC zbog mogućnosti vođene emisije |

**Tablica 3. Sadržaj i svrha različitih vrsta normi vezanih uz elektromagnetsku usklađenost**

| Vrsta | Sadržaj | Uloga |
|---|---|---|
| osnovne norme (basic norms) | – pokrivaju opće vidove problema<br>– definiraju načine ispitivanja i mjerenja<br>– definiraju instrumente<br>– daju osnovne postavke ispitivanja<br>– definiraju raspone razina ispitivanja za otpornost<br>– ne sadrže ograničenja niti kriterije performansi<br>– izrađuju ih tehnički odbori s horizontalnom funkcijom: TC 77 i CISPR | – nisu harmonizirane norme, tj. nisu norme za potvrđivanje sukladnosti proizvoda sa zahtjevima europske smjernice<br>– služe kao alati za normizaciju na čiji se sadržaj referenciraju općenite norme i norme za proizvode i obitelj proizvoda |
| općenite norme (generic norms) | – precizni zahtjevi za proizvode namijenjene uporabi u određenom okruženju, npr. stambenom (residential), trgovačkom (commercial), industrijskom (commercial), ...<br>– referenciraju se na osnovne norme glede načina ispitivanja i mjerenja<br>– daju opće kriterije za performanse<br>– izrađuju ih tehnički odbori s horizontalnom funkcijom: TC 77 i CISPR | – harmonizirane norme, tj. služe za potvrđivanje sukladnosti proizvoda sa zahtjevima smjernice kad ne postoji odgovarajuća norma za proizvod ili obitelj proizvoda<br>– definiraju nužnu razinu zaštite za dano okruženje uzimajući u obzir i zbirni utjecaj svog zračenja prisutnog u danom okruženju<br>– definiraju isto ograničenje za svu opremu sličnih radnih svojstava namijenjenu za isto okruženje<br>– omogućuju usklađivanje normi za proizvod ili obitelj proizvoda |
| norme za obitelj proizvoda (product-family norms) | – daju EMC zahtjeve za obitelj proizvoda<br>– daju detaljnije kriterije za performanse<br>– definiraju specifične postavke za ispitivanje<br>– referenciraju se na osnovne norme glede načina ispitivanja i mjerenja<br>– izrađuju ih tehnički odbori koji se bave tom određenom obitelji proizvoda, a u rjeđim slučajevima i odbori s horizontalnom funkcijom | – harmonizirane norme, tj. služe za potvrđivanje sukladnosti proizvoda sa zahtjevima smjernice kad ne postoji odgovarajuća norma za proizvod<br>– ispitivanja i ograničenja definirana u ovim normama trebaju biti usklađena s onima u općenitim normama<br>– prioritetna norma u odnosu na općenitu, ali mora biti usklađena s općenitim normama |
| norme za određeni proizvod (dedicated product norms) | – kao i norma za obitelj proizvoda osim što su specifičnije<br>– izrađuju ih tehnički odbori koji se bave tim određenim proizvodom | – harmonizirane norme, tj. služe za potvrđivanje sukladnosti proizvoda sa zahtjevima smjernice<br>– ostalo vrijedi kao i za norme za obitelj proizvoda |

službe koje rade na frekvencijama nižim od 1 GHz, a njihovo revidiranje ne prati tempo razvoja novih digitalnih tehnologija. Tako i razvoj kabelskih tehnologija za širokopojasne komunikacije, među kojima posebice razvoj PLC-a, zahtijeva razmatranje dodatnih pitanja u normama za EMC.

Uvođenjem širokopojasnih komunikacija putem kabelskih mreža elektromagnetska usklađenost mreže postaje značajno područje EMC-a. Postojeće norme za EMC usredotočene su na uređaje. Međutim, kad se pojedini uređaji međusobno povezuju, performanse kabela i načina na koji su instalirani značajnije utječu na karakteristiku EMC-a cjelokupne mreže. Utjecaj razlike između norme za EMC proizvoda i rezultirajuće karakteristike EMC-a u okruženju komunikacijskog sustava kod širokopojasnih kabelskih sustava postaje sve značajniji. Ovo je posebice slučaj kod PLC-a, gdje se koriste ranije instalirani elektroenergetski vodovi koji nisu ni zamišljeni ni instalirani u komunikacijske svrhe. Uređaj sa zadovoljavajućom EMC-karakteristikom uz lošu izvedbu instalacije ili slabu kvalitetu kabela daje slabe performanse EMC-a.

Zbog ovih razloga, a radi daljnjeg osiguravanja odgovarajuće zaštite radijskih službi, potrebno je definirati ograničenje emisije cjelokupne mreže korištene za širokopojasnu komunikaciju, s tim da je osnovno područje interesa frekvencijsko područje do 30 MHz. Smisleno je definirati samo takva ograničenja uz koja širokopojasni kabelski sustavi u praksi mogu raditi s tim da ne dolazi do neprihvatljivog ometanja radijskih službi, tj. ograničenja trebaju zadovoljiti i PLC-industriju i korisnike radijskog spektra.

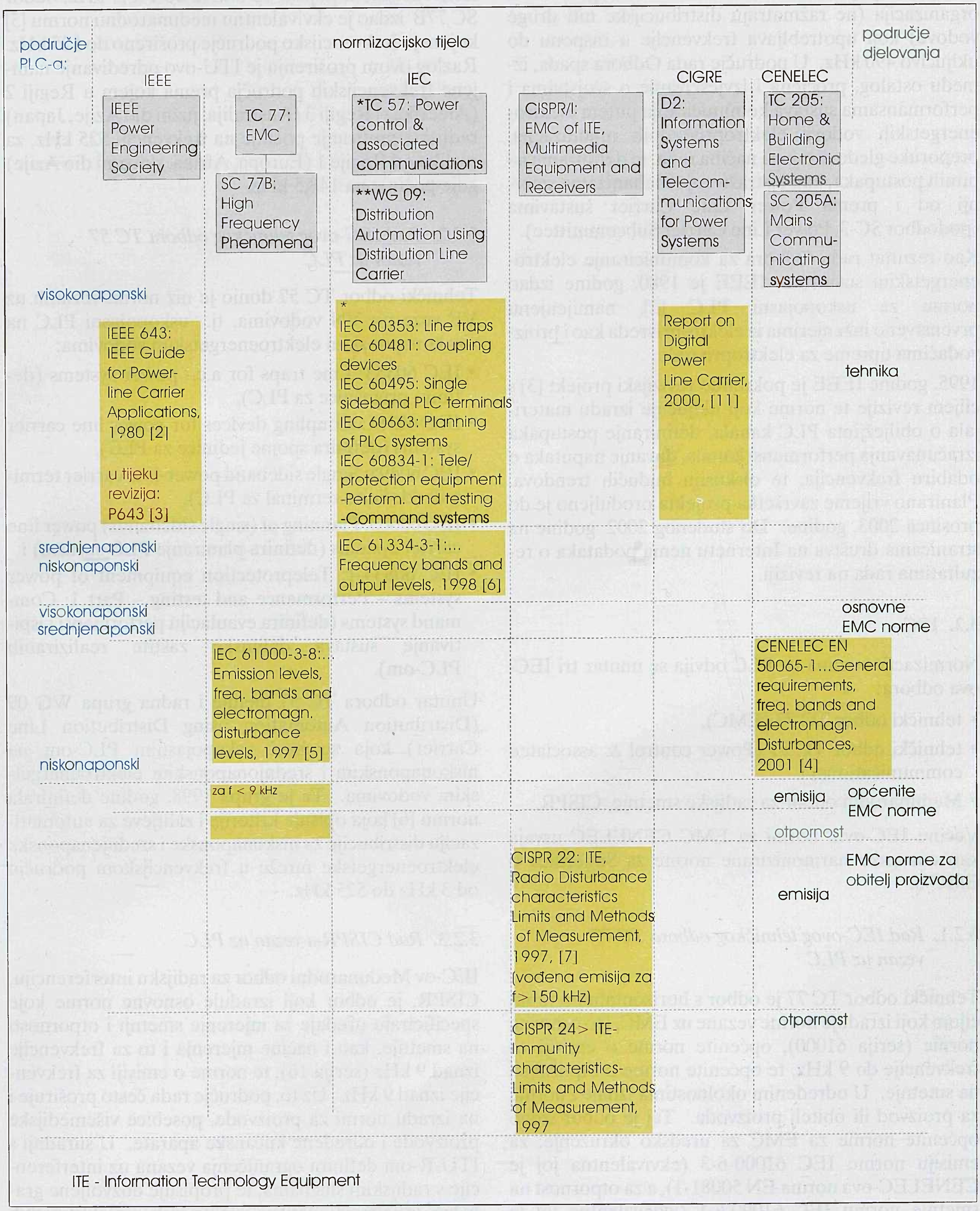
## 3. MEĐUNARODNA NORMIZACIJA PLC-a

Na polju normizacije PLC-a na međunarodnoj razini aktivne su međunarodne organizacije IEEE, IEC i CIGRE. IEC razvija međunarodne norme vezane uz EMC, a IEEE se bavi normizacijom uskopojasnog PLC-a na visokonaponskim elektroenergetskim vodovima. Organizacija CIGRE bavi se svim pitanjima važnim za elektroprivredna poduzeća, a u području PLC-a njeno dosadašnje djelovanje bilo je usmjereno na uskopojasni PLC.

Na slici 2 razvidno je prikazano stanje normizacije uskopojasnog PLC-a, koje uglavnom pokriva međunarodna normizacija, a u sljedećim točkama je u kratkim crtama opisana sveukupna aktivnost IEEE-a, IEC-a i CIGRE-a vezana uz PLC

### 3.1. IEEE

Pod okriljem društva IEEE Power Engineering Society djeluje Odbor za komuniciranje elektroenergetskim sustavom, Power System Communications Committee (adresa na Internetu: www.ewh.ieee.org/soc/pes/pscc ).




**Slika 2. Normizacija uskopojasnog PLC-a**

Djelovanje ovog odbora obuhvaća normizaciju uskopojasnog PLC-a na visokonaponskim elektroenergetskim vodovima, za koji upotrebljavaju termin elektroenergetski nositelj (Power Line Carrier). Elektroenergetski nositelj definiran je kao komunikacijski medij na prijenosnim vodovima elektroprivrednih organizacija (ne razmatraju distribucijske niti druge vodove) koji upotrebljava frekvencije u rasponu do uključivo 490 kHz. U područje rada Odbora spada, između ostalog, procjena i izvješćivanje o svojstvima i performansama sustava komuniciranja putem elektroenergetskih vodova elektroprivrednih organizacija, preporuke glede dizajna i načina rada, te definiranje ispitnih postupaka, kao i istraživanje mehanizama smetnji od i prema Power Line Carrier sustavima (pododbor SC-3, Power Line Carrier Subcommittee).

Kao rezultat rada Odbora za komuniciranje elektroenergetskim sustavom, IEEE je 1980. godine izdao normu za uskopojasni PLC [2], namijenjenu prvenstveno inženjerima iz elektroprivreda kao i proizvođačima opreme za elektroprivrede.

1995. godine IEEE je pokrenuo revizijski projekt [3] s ciljem revizije te norme koji uključuje izradu materijala o obilježjima PLC kanala, definiranje postupaka izračunavanja performansi kanala, davanje naputaka o odabiru frekvencija, te diskusiju budućih trendova. Planirano vrijeme završetka projekta produljeno je do prosinca 2003. godine. Do studenog 2002. godine na stranicama društva na Internetu nema podataka o rezultatima rada na reviziji.

## 3.2. IEC

Normizacija vezana uz PLC odvija se unutar tri IEC-ova odbora:

- tehnički odbor TC 77 (EMC),
- tehnički odbor TC 57 (Power control & associated communications) i
- Međunarodni odbor za radijske smetnje, CISPR.

Većinu IEC-ovih normi za EMC CENELEC usvaja kao europske harmonizirane norme za Smjernicu o EMC-u.

### 3.2.1. *Rad IEC-ovog tehničkog odbora TC 77 vezan uz PLC*

Tehnički odbor TC 77 je odbor s horizontalnom funkcijom koji izrađuje norme vezane uz EMC, i to osnovne norme (serija 61000), općenite norme o emisiji za frekvencije do 9 kHz, te općenite norme o otpornosti na smetnje. U određenim okolnostima izdaje i norme za proizvod ili obitelj proizvoda. Taj je odbor izdao općenite norme za EMC za uredsko okruženje: za emisiju normu IEC 61000-6-3 (ekvivalentna joj je CENELEC-ova norma EN 50081-1), a za otpornost na smetnje normu IEC 61000-6-1 (ekvivalentna joj je CENELEC-ova norma EN 50082-1).

Unutar odbora TC 77 djeluje studijski odbor za fenomene na visokim frekvencijama, SC 77B. 1997. godine, šest godina nakon izdavanja europske norme [4] kojom CENELEC definira uporabu PLC-a na niskonaponskim elektroenergetskim vodovima u frekvencijskom pojasu od 3 kHz do 148,5 kHz, odbor SC 77B izdao je ekvivalentnu međunarodnu normu [5] kojom je frekvencijsko područje prošireno do 525 kHz. Razlog ovom proširenju je ITU-ovo određivanje namjene frekvencijskih područja prema kojem u Regiji 2 (Amerika) i Regiji 3 (Australija, južni dio Azije, Japan) radijsko emitiranje počinje na frekvenciji 525 kHz, za razliku od Regije 1 (Europa, Afrika, sjeverni dio Azije) gdje počinje na 148,5 kHz.

### 3.2.2. *Rad IEC-ovog tehničkog odbora TC 57 vezan uz PLC*

Tehnički odbor TC 57 donio je niz normi vezanih uz VF veze po VN vodovima, tj. uskopojasni PLC na visokonaponskim elektroenergetskim vodovima:

- IEC 60353: Line traps for a.c. power systems (definira prigušnice za PLC),
- IEC 60481: Coupling devices for power line carrier systems (definira spojne jedinice za PLC),
- IEC 60495: Single sideband power-line carrier terminals (definira terminal za PLC),
- IEC 60663: Planning of (single sidebands) power line carrier systems (definira planiranje PLC-sustava) i
- IEC 60834-1: Teleprotection equipment of power systems – Performance and testing – Part 1: Command systems (definira evaulaciju performansi i ispitivanje sustava daljinske zaštite realiziranih PLC-om).

Unutar odbora TC 57 djeluje i radna grupa WG 09 (Distribution Automation using Distribution Line Carrier) koja se bavi uskopojasnim PLC-om na niskonaponskim i srednjonaponskim elektroenergetskim vodovima. Ta je grupa 1998. godine definirala normu [6] koja opisuje kriterije i zahtjeve za automatizaciju distribucije za niskonaponske i srednjenaponske elektroenergetske mreže u frekvencijskom području od 3 kHz do 525 kHz.

### 3.2.3. *Rad CISPR-a vezan uz PLC*

IEC-ov Međunarodni odbor za radijsku interferenciju, CISPR, je odbor koji izrađuje osnovne norme koje specificiraju uređaje za mjerenje smetnji i otpornosti na smetnje, kao i načine mjerenja i to za frekvencije iznad 9 kHz (serija 16), te norme o emisiji za frekvencije iznad 9 kHz. Uz to, područje rada često proširuje i na izradu normi za proizvode, posebice višemedijske proizvode i određene kućanske aparate. U suradnji s ITU-R-om definira ograničenja vezana uz interferencije s radijskim službama, te propisuje dozvoljene granične vrijednosti emisije električnih i elektroničkih uređaja čijim se poštivanjem osigurava rad radijskih

komunikacija. Odbor CISPR je 1985. godine normom CISPR 22 definirao granične vrijednosti emisije za uređaje iz područja informatičke tehnologije, kao što su računala, uredski uređaji ili telekomunikacijski uređaji spojeni na niskonaponsku elektroenergetsku mrežu, te metode ispitavanja emisije tih uređaja. Ta je norma za EMC obitelji proizvoda iz područja informatičke tehnologije već dekadu i pol dominantna međunarodna norma za ispitivanje zračene i vođene emisije. Međutim, CISPR 22 definira granične vrijednosti zračene emisije samo za frekvencije iznad 30 MHz (vidi tablicu 4), dok za frekvencije ispod 30 MHz definira ograničenje vođene emisije (vidi tablicu 5). Trenutno je na snazi treće izdanje te norme [7]. Ekvivalentna joj je europska norma EN55022 [8]. Otpornost na smetnje za uređaje informatičke tehnologije CISPR definira normom CISPR 24. S obzirom da PLC uređaji spadaju u uređaje iz područja informatičke tehnologije, trebali bi biti obuhvaćeni odredbama normi CISPR 22 i CISPR 24.

**Tablica 4. Granične vrijednosti zračene emisije prema normi CISPR 22**

a) za uređaje razreda A (uređaji namijenjeni komercijalnom, industrijskom ili poslovnom okruženju)

| frekvencijsko područje MHz) | zračena emisija na udaljenosti 30 m * *Quasi-Peak (dBμV/m)* |
|---|---|
| 30 – 230 | *30* |
| 230 – 1000 | *37* |

b) za uređaje razreda B (uređaji namijenjeni stambenom okruženju)

| frekvencijsko područje (MHz) | zračena emisija na udaljenosti 10 m * *Quasi-Peak (dBμV/m)* |
|---|---|
| 30 – 230 | *30* |
| 230 – 1000 | *37* |

* Quasi-peak - amplituda rangirana u odnosu na frekvenciju pojavljivanja

**Tablica 5. Ograničenje vođene emisije prema normi CISPR 22**

a) za uređaje razreda A (uređaji namijenjeni komercijalnom, industrijskom ili poslovnom okruženju)

| frekvencijsko područje (MHz) | vođena emisija (dBμV) | |
|---|---|---|
| | ** *Quasi-Peak* | *Average* |
| *0,15 – 0,5* | *79* | *66* |
| 0,5 – 30 | *73* | *60* |

b) za uređaje razreda B (uređaji namijenjeni stambenom okruženju)

| frekvencijsko područje (MHz) | vođena emisija (dBμV) | |
|---|---|---|
| | ** *Quasi-Peak* | *Average* |
| *0,15 – 0,5* | *66 - 56 ** | *56 - 46 ** |
| 0,5 – 5 | *56* | *46* |
| 5 – 30 | *60* | *50* |

* vrijednost opada linearno

** Quasi-Peak - amplituda rangirana u odnosu na frekvenciju pojavljivanja

Za PLC je od važnosti rad CISPR-ovog pododbora za zaštitu radijskih službi, CISPR/H (Limits for the Protection of Radio Services), koji razvija općenite norme za EMC, i pododbora za smetnje vezane uz višemedijske uređaje i uređaje informatičke tehnologije, CISPR/I (Electromagnetic Compatibility of Information Technology Equipment, Multimedia Equipment and Receivers), u čije područje rada spada i norma CISPR 22. CISPR/I je noviji pododbor CISPR-a, nastao u ljeto 2001. godine objedinjavanjem prijašnjih pododbora CISPR/E i CISPR/G zaduženih za informatičku, odnosno televizijsku opremu. Ovakvo objedinjavanje rezultat je činjenice da je kod nekih uređaja novije tehnologije koji mogu obavljati funkcije obiju vrsta uređaja ponekad teško odrediti spadaju li u televizijske ili računalne uređaje. Samim time nije uvijek jasno ni koju normu primijeniti, a vidljivo je kako ni nema smisla definirati različita ograničenja za informatičke od ograničenja za televizijske uređaje ukoliko isti uređaj može služiti za obje funkcije. Zadatak pododbora CISPR/I je donijeti novu EMC normu zajedničku za višemedijske proizvode i uređaje informatičke tehnologije. U međuvremenu se održavaju postojeće norme za EMC proizvoda: CISPR 13, 20, 22 i 24.

Između ostalog, CISPR/I radi na doradi norme CISPR 22 vezano uz PLC i to na definiranju ograničenja vođene emisije na ulazima PLC uređaja te na definiranju načina njenog mjerenja [9]. Prema verziji norme na snazi, smetnje zbog vođene emisije uređaja informatičke tehnologije mjere se na ulazu za napajanje i na telekomunikacijskom uređaju. Međutim, PLC-uređaji za obje funkcije koriste isti ulaz. Dosadašnji rezultat dorade norme CISPR 22 je dokument CISPR/I/44/CD u nacrtnom obliku iz srpnja 2002. godine. U njemu CISPR zbog specifičnosti PLC-a predlaže uvođenje koncepcije dvonamjenskog ulaza [10]. Dvonamjenski ulaz spaja uređaj na niskonaponsku elektroenergetsku mrežu osiguravajući ujedno i prijenos informacija. Kako isti ulaz funkcionira kao korisnik napajanja te kao telekomunikacijski uređaj, na njega se odnose dvoja ograničenja te interferenciju treba mjeriti dva puta. Specifična ograničenja i načine mjerenja definirat će amandman norme CISPR 22. Zanimljivo je da

materijal definira vrijednost parametra *uzdužni vođeni gubici* (Longitudinal Conducted Losses) na 36 dB ± 3 dB. Ovakvo ograničenje temelji se na statističkoj analizi rezultata mjerenja parametra LCL u nizu zemalja provedenom kako bi se ustanovio LCL stvarnih električnih mreža. Frekvencije na kojima se mjerilo određivane su metodom slučajnog odabira. Granična vrijednost parametra LCL postavljena je na način da 80% vrijednosti dobivenih u provedenim mjerenjima zadovolja. Predložena granična vrijednost parametra LCL odgovara prijedlogu predstavnika PLC industrije [10]. Rezultat ovog rada pododbora CISPR/I bit će amandman norme CISPR 22.

### 3.3. CIGRE

Tehnički rad CIGRE provodi 15 studijskih komiteta, čija je zadaća iniciranje i koordinacija studija vezanih uz elektroprivrednu djelatnost koje doprinose tehničkom napretku odgovarajućeg područja. Studijski komiteti sudjeluju u organizaciji plenarnih sjednica i odabiru preferencijalnih tema za diskusije tijekom tih sjednica. Studijski komitet 35 bavi se telekomunikacijama i daljinskim upravljanjem elektroenergetskog sustava.

Na sastanku CIGRE-inog Studijskog komiteta 35 u Madridu 1995. godine formirana je radna skupina 35.02 (Task Force 35.02) čiji je zadatak bio procijeniti raširenost uporabe sustava komuniciranja putem visokonaponskih elektroenergetskih vodova, sustava VF veza po VN vodovima (Power Line Carrier system) i potrebu formiranja radne grupe za istraživanje digitalnih VF veza po VN vodovima [24]. Radna skupina napravila je upitnik i razaslala ga većem broju elektroprivrednih organizacija. Na temelju dobivenih 36 odgovora, zaključak radne skupine bio je kako slijedi [11]:

- elektroprivredne organizacije namjeravaju i ubuduće upotrebljavati VF veze po VN vodovima,
- sve anketirane elektroprivredne organizacije odgovorile su da namjeravaju implementirati ili evaluirati digitalne VF veze po VN vodovima,
- namjera anketiranih elektroprivrednih organizacija je održavati svoje osnovne aplikacije VF veza po VN vodovima, kao i implementirati mrežne aplikacije uporabom digitalnih VF veza po VN vodovima, te
- potrebno je formirati radnu grupu za istraživanje digitalnih VF veza po VN vodovima.

Temeljem ovakvih rezultata istraživanja radne skupine 35.02, 1996. godine formirana je radna grupa WG.09 sa zadatkom pripreme izvješća o digitalnim VF vezama po VN vodovima. Radna grupa WG.09 završila je rad 2000. godine objavljivanjem izvješća [11] o tehnologiji digitalnih VF veza po VN vodovima, koegzistenciji digitalnih i analognih VF veza po VN vodovima, uslugama, parametrima planiranja i postupcima ispitivanja.

U tijeku je reorganizacija rada CIGRE. Prema novoj organizaciji telekomunikacijama se bavi studijski komitet D2: Informatički sustavi i telekomunikacije za elektroenergetske sustave (Information Systems and Telecommunication for Power Systems). Jedna od preferencijalnih tema za kolokvij hrvatskog komiteta D2 u 2003. godini je iskustva s PLC-om.

## 4. EUROPSKA NORMIZACIJA PLC-a

Europska normizacijska organizacija za telekomunikacije, ETSI, pokrenula je projekt normizacije PLC-a.

Na europskoj razini normizacija PLC-a potpada pod odredbe Smjernice o EMC-u [1], te Smjernice o radijskim i telekomunikacijskim krajnjim uređajima [12], a na izradi pripadnih harmoniziranih normi aktivne su europske normizacijske organizacije ETSI i CENELEC.

U Europskoj uniji je u tijeku proces harmonizacije, koji podrazumijeva onemogućavanje ili uklanjanje razlika u tehničkom sadržaju normi istog opsega, posebice razlika koje mogu uzrokovati ometanje trgovine. Suštinski zahtjevi koje proizvodi moraju zadovoljavati definiraju se smjernicama.

Harmonizirane europske norme su europske norme čijim se poštivanjem osigurava usklađenost s odgovarajućom europskom smjernicom. Europske norme su norme čija je implementacija obvezna na nacionalnoj razini u zemljama članicama Europske unije: one dobivaju status nacionalne norme, a sve se nacionalne norme koje nisu u skladu s europskom normom odbacuju.

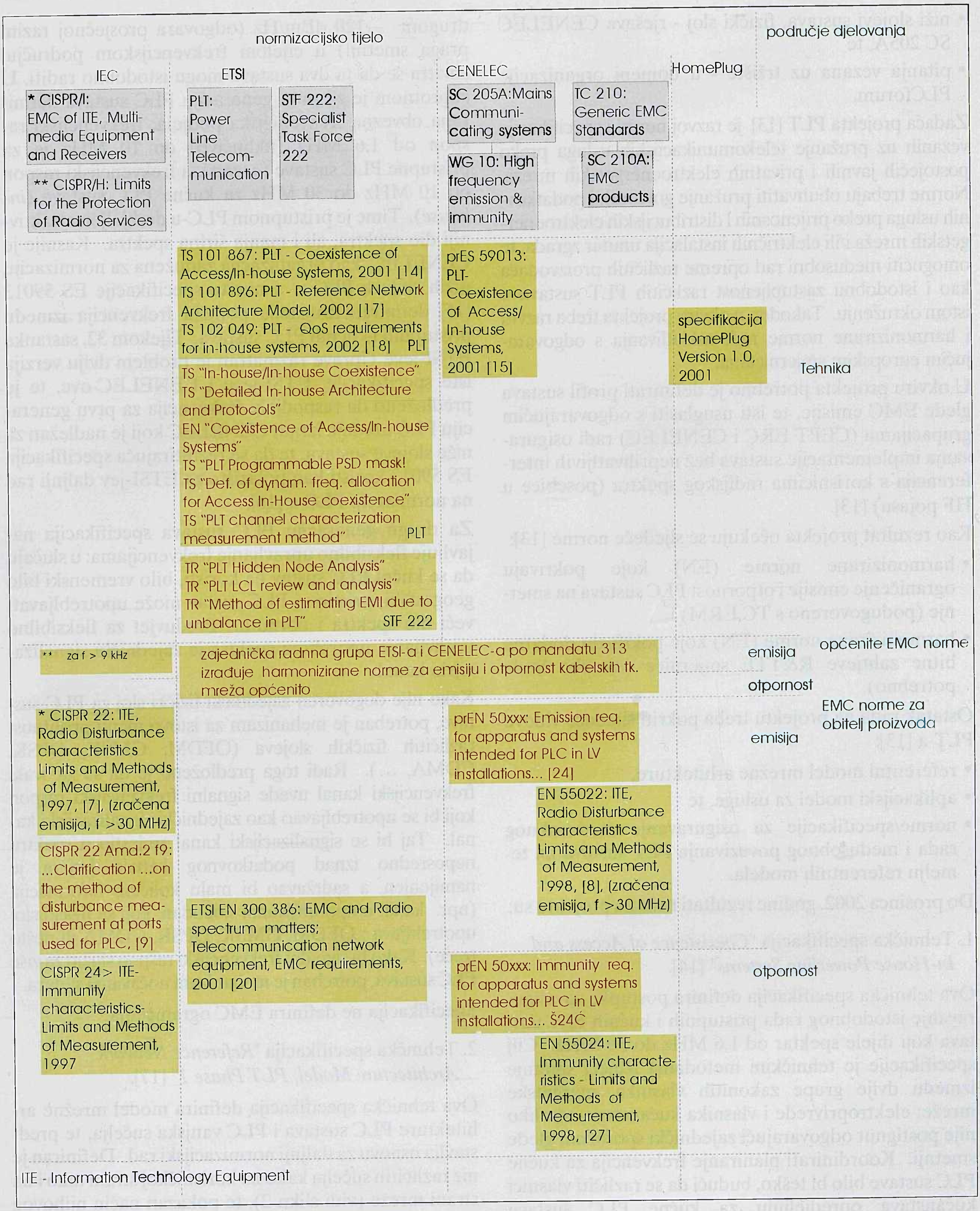
Na slici 3 razvidno je prikazano stanje normizacije širokopojasnog PLC-a, koje se velikim dijelom odvija unutar europskih normizacijskih organizacija ETSI i CENELEC. Sveukupna aktivnost ETSI-a i CENELEC-a vezana uz PLC je u kratkim crtama opisana u narednim točkama.

### 4.1. ETSI

Područja od interesa za PLC u kojima je ETSI aktivan su projekt o PLC-u, te izrada harmoniziranih normi pod Smjernicom o EMC-u vezanih uz telekomunikacijske mrežne uređaje, što je opisano u naredne dvije točke.

#### 4.1.1. *ETSI-jev rad na projektu Telekomunikacije putem elektroenergetskih mreža, PLT*

U rujnu 2000. godine ETSI je započeo PLC projekt pod nazivom Telekomunikacije putem elektroenergetskih vodova, PLT. Jedan od početnih problema rada na projektu bila je podjela zadataka između nadležnih normizacijskih organizacija. U siječnju 2001. godine postignut je sporazum CENELEC-a, ETSI-a i CEPT-a o strukturiranju rada u području PLC-a. Temeljem do-




**Slika 3. Normizacija širokopojasnog PLC-a**

govora [13], ETSI-jev projekt PLT usko surađuje s drugim normizacijskim tijelima po sljedećim pitanjima:

- upravljanje spektrom - suradnja s CEPT ECC/ERC-om, preko ETSI ERM-a, "horizontalnog" tehničkog odbora ETSI-a odgovornog za normizaciju pod Smjernicom o EMC-u i pitanja vezana uz radijski spektar za potrebe svih ostalih tehničkih tijela ETSI-a,
- EMC - zajednički rad ETSI-a i CENELEC-a, uključujući stručnjake iz odbora ETSI TC ERM, te CENELEC-ovih odbora SC 205A, TC 209, TC 210 i TC 215,

- niži slojevi sustava, fizički sloj - rješava CENELEC SC 205A, te
- pitanja vezana uz tržište - u domeni organizacije PLCforum.

Zadaća projekta PLT [13] je razvoj normi i specifikacija vezanih uz pružanje telekomunikacijskih usluga preko postojećih javnih i privatnih elektroenergetskih mreža. Norme trebaju obuhvatiti pružanje govornih i podatkovnih usluga preko prijenosnih i distribucijskih elektroenergetskih mreža i/ili električnih instalacija unutar zgrada, te omogućiti međusobni rad opreme različitih proizvođača kao i istodobnu zastupljenost različitih PLT sustava u istom okruženju. Također, u okviru projekta treba razviti i harmonizirane norme radi usklađivanja s odgovarajućim europskim smjernicama.

U okviru projekta potrebno je definirati profil sustava glede EMC emisije, te isti usuglasiti s odgovarajućim grupacijama (CEPT ERC i CENELEC) radi osiguravanja implementacije sustava bez neprihvatljivih interferencija s korisnicima radijskog spektra (posebice u HF pojasu) [13].

Kao rezultat projekta očekuju se sljedeće norme [13]:

- harmonizirane norme (EN) koje pokrivaju ograničenje emisije i otpornost PLC sustava na smetnje (podugovoreno s TC ERM) i
- harmonizirane norme (EN) koje pokrivaju dodatne bitne zahtjeve R&TTE smjernice (ukoliko bude potrebno).

Ostatak rada na projektu treba pokriti sljedeće vidove PLT-a [13]:

- referentni model mrežne arhitekture,
- aplikacijski model za usluge, te
- norme/specifikacije za osiguravanje međusobnog rada i međusobnog povezivanja PLT sustava na temelju referentnih modela.

Do prosinca 2002. godine rezultati rada na projektu su:

1. Tehnička specifikacija "*Coexistence of Access and In-House Powerline Systems*" [14].

Ova tehnička specifikacija definira postupke za osiguravanje istodobnog rada pristupnih i kućnih PLC sustava koji dijele spektar od 1,6 MHz do 30 MHz. Cilj specifikacije je tehničkim metodama izbjeći smetnje između dvije grupe zakonitih vlasnika energetske mreže: elektroprivrede i vlasnika kućanstava, ukoliko nije postignut odgovarajući zajednički sporazum glede smetnji. Koordinirati planiranje frekvencija za kućne PLC sustave bilo bi teško, budući da se različiti vlasnici kućanstava opredjeljuju za kućne PLC sustave različitih proizvođača. Zbog toga je potrebno definirati mehanizam onemogućavanja interferencije između kućnih i pristupnih PLC sustava.

Mogućnost istodobnog rada temelji se na uvođenju blokirajućih filtara ili na frekvencijskoj podjeli. Ukoliko se blokirajućim filtrima može postići da je maksimalna smetnja koju jedan PLC sustav uzrokuje drugom – 120 dBm/Hz (odgovara prosječnoj razini praga smetnji) u cijelom frekvencijskom području, smatra se da ta dva sustava mogu istodobno raditi. U suprotnom je za prvu generaciju PLC sustava definirana obvezna frekvencijska podjela: frekvencijski raspon od 1,6 MHz (uključivo) do 10 MHz je za pristupne PLC sustave (*access*), a frekvencijski raspon od 10 MHz do 30 MHz za kućne PLC sustave (*in-house*). Time je pristupnom PLC-u dodijeljen atraktivniji dio spektra, ali i manja širina spektra. Kasnije je CENELEC, kao organizacija zadužena za normizaciju nižih slojeva PLC-a, u nacrtu specifikacije ES 59013 [15] definirao drugačiju podjelu frekvencija između pristupnih i kućnih PLC sustava. Tijekom 32. sastanka ETSI-jeve Uprave razmatran je problem dviju verzija iste specifikacije, ETSI-jeve i CENELEC-ove, te je predloženo da raspodjelu frekvencija za prvu generaciju PLC uređaja izradi CENELEC koji je nadležan za niže slojeve sustava, te da se rezultirajuća specifikacija ES 59013 koristi kao polazište za ETSI-jev daljnji rad na normizaciji PLC-a [16].

Za drugu generaciju PLC sustava specifikacija najavljuje fleksibilno upravljanje frekvencijama: u slučaju da se kućni PLC sustav ne koristi, bilo vremenski bilo geografski, pristupni PLC sustav može upotrebljavati veći dio spektra i obrnuto. Preduvjet za fleksibilno upravljanje uporabom spektra je zajednički signalizacijski kanal.

Kako nije dogovoren zajednički fizički sloj za PLC sustave, potreban je mehanizam za istovremenu prisutnost različitih fizičkih slojeva (OFDM, GMSK, QPSK, CDMA, ...). Radi toga predloženo je da se za svaki frekvencijski kanal uvede signalni frekvencijski raspon koji bi se upotrebljavao kao zajednički signalizacijski kanal. Taj bi se signalizacijski kanal smjestio u spektru neposredno iznad podatkovnog kanala kojem je namijenjen, a sadržavao bi malu količinu informacija (npr. kanal u uporabi/kanal slobodan, koji se fizički sloj upotrebljava : OFDM, GMSK, QPSK, CDMA ili nešto treće). Kako bi signalni frekvencijski raspon služio za više PLC sustava, potreban je mehanizam uočavanja sudara.

Specifikacija ne definira EMC ograničenja.

2. Tehnička specifikacija "*Reference Network Architecture Model; PLT Phase 1*" [17].

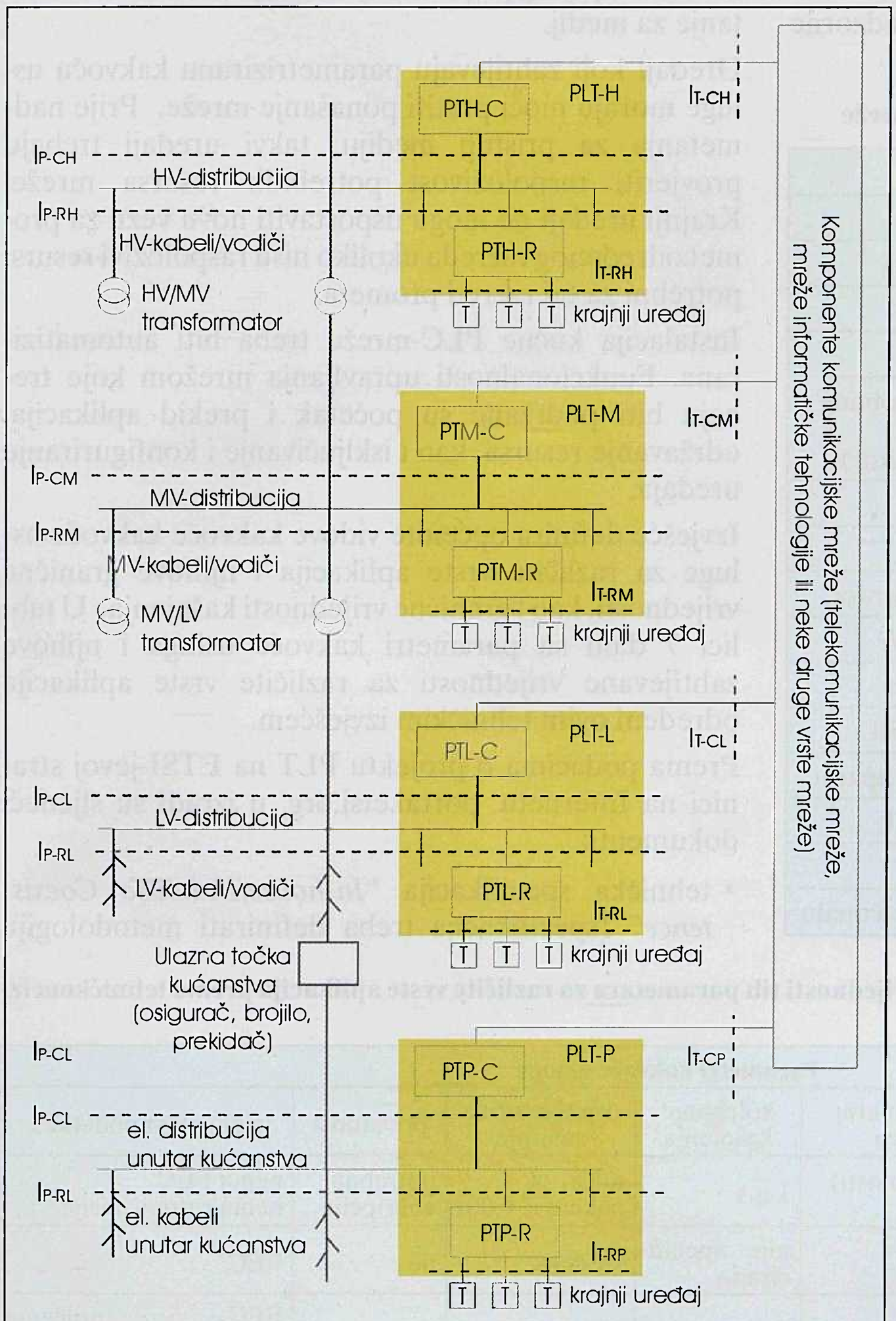
Ova tehnička specifikacija definira model mrežne arhitekture PLC sustava i PLC vanjska sučelja, te predstavlja osnovu za daljnji normizacijski rad. Definiran je niz različitih sučelja kako na korisničkoj strani tako i na strani mreže (vidi sliku 2), te pokazan način njihovog međusobnog povezivanja za potrebe prijenosa korisničkih i signalizacijskih podataka putem PLC mreže.

Razlikuju se dva područja gdje je potrebno osigurati mogućnost međusobnog rada PLC sustava i drugih sustava:

- međusobni rad PLC mreža i telekomunikacijskih mreža za telekomunikacijske usluge
- međusobni rad PLC mreža i elektroenergetskih mreža.

Zbog toga model referentne mrežne arhitekture PLC-a definira dvije grupe sučelja: $I_T$ sučelja i $I_P$ sučelja.

Sučelja $I_{T\text{-}Cx}$ su točke spajanja PLC sustava na uređaje drugih komunikacijskih mreža. Sučelja $I_{T\text{-}Rx}$ su sučelja krajnjih korisnika mreže. Mogu imati različite funkcije za različite aplikacije: sučelje za osobno računalo (tj. krajnji telekomunikacijski uređaj), terminal za uslugu dodane vrijednosti (npr. za očitavanje električnog brojila) i druge.




Legenda:
x označava naponsku razinu elektroenergetskog voda
H - HV, visoki napon (50 kV - 400 kV)
M - MV, srednji napon (1 kV - 50 kV)
L - LV, niski napon, vanjski vodovi (400 V)
P - PV, niski napon, vodovi unutar kućanstva (400 V)
PTx-C - središnji PLC uređaj
PTx-R - krajnji PLC uređaj
IP-Cx - sučelje središnjeg PLC uređaja prema elektroenergetskoj mreži
IP-Rx - sučelje krajnjeg PLC uređaja prema elektroenergetskoj mreži
IT-Cx - sučelje središnjeg PLC uređaja prema telekomunikacijskoj mreži
IT-Rx - sučelje krajnjeg PLC uređaja prema telekomunikacijskoj mreži
PLT-x - građevni blok PLC sustava

Napomene:
Razine srednjeg napona mogu biti drugačije.
Struktura kućne električne instalacije može biti drugačija.
Na svim naponskim razinama moguće su i prstenaste konfiguracije.

**Slika 4. Sučelja PLC-a prema ETSI TS 101 806 V.1.1.1**

Osim za povezivanje na komunikacijsku mrežu prikazano slikom 4, sučelje $I_{T\text{-}Cx}$, može biti i točka spajanja na sučelje $I_{T\text{-}Rx}$ drugog PLC-sustava, bilo u lančanoj, bilo u hijerarhijskoj PLC-infrastrukturi (npr. sučelje $I_{T\text{-}CP}$ na sučelje $I_{T\text{-}RL}$).

Osim za spajanje korisnikovih krajnjih uređaja prikazano slikom 4, sučelje $I_{T\text{-}Rx}$ može biti i točka spajanja na sučelje $I_{T\text{-}Cx}$ drugog PLC-sustav, bilo u lančanoj, bilo u hijerarhijskoj infrastrukturi PLC-a.

Sučelja Ip-$c_x$ su točke spajanja središnjih PLC-uređaja na elektroenergetsku mrežu, a sučelja Ip-$r_x$ točke spajanja krajnjih PLC-uređaja na elektroenergetsku mrežu.

Građevni blok PLC-sustava sastoji se od jednog središnjeg PLC-uređaja na koji se spaja jedan ili više odgovarajućih krajnjih PLC-uređaja.

Središnji PLC-uređaji, PTx-C, su modemske jedinice koje moduliraju informacije primljene iz komunikacijske mreže u radiofrekvencijske signale radi slanja na elektroenergetske vodove putem odgovarajućeg sučelja $I_{P\text{-}Cx}$. U suprotnom smjeru demoduliraju radiofrekvencijske signale primljene putem sučelja $I_{P\text{-}Cx}$ s elektroenergetskih vodova i dobivene informacije šalju u komunikacijsku mrežu putem odgovarajućeg sučelja $I_{T\text{-}Cx}$. Sličnu modemsku ulogu imaju krajnji PLC-uređaji, PTx-R.

3. Tehničko izvješće "*Quality of Service (QoS) requirements for in-house systems*" [18].

Ovo tehničko izvješće definira parametre kakvoće usluga, kao i zahtjeve na kakvoću usluga PLC sustava za pružanje kućnih PLC usluga, za koje uvodi termin kućna PLC-mreža. Izvješće predstavlja referentni dokument za daljnju normizacijsku aktivnost. Kako bi kućne PLC-mreže zadovoljile zahtjeve korisnika kućnih PLC-usluga i tržišta njihove performanse trebaju biti predvidive, tj. kućne PLC-mreže trebaju ispuniti zahtjeve vezane uz kakvoću usluge za svaku primjenu koju omogućuju.

U tablici 6 kategorizirani su uređaji za kućne PLC-mreže. Spajanjem tih uređaja u kućnu PLC-mrežu bilo PLC-sučeljem za uređaj ili priključivanjem na PLC-modem, unutar kućanstva se putem električne instalacije omogućavaju aplikacije i usluge iz područja

zabave (audio, video, igre), prijenosa informacija (Internet, elektronički pregled programa, prijenos datoteka, elektroničko poslovanje, *tele-services*), komunikacija (govorna telefonija, videofon, elektronička pošta), automatizacije kućanstava i nadzora uređaja (grijanje, ventilacija, klimatizacija, nadzor kućanskih aparata), te sigurnosti i nadzornih sustava (nadzorne kamere, vatrodojava, detektori pokreta).

**Tablica 6. Kategorizacija uređaja za kućne PLC-mreže**

| | | |
|---|---|---|
| klijentski uređaji (ne uspostavljaju komunikaciju samostalno) | – ulazni (izvor komunikacijskog toka) | kamera |
| | | mikrofon |
| | | tipkovnica |
| | | skener |
| | – izlazni (ponor komunikacijskog toka) | televizor |
| | | zaslon osobnog računala (PC monitor) |
| | | |
| | | zvučnik |
| | – uređaji za pohranu (storage devices) | videorekorder |
| | | DVD-RW |
| | | tvrdi disk |
| | | optički disk |
| | – nadzirani uređaj | kućanski aparat |
| poslužiteljski uređaji (uspostavljaju komunikaciju i nadležni su za prioritizaciju i parametrizaciju usluge) | | pristupnik |
| | | modem |
| | | osobno računalo |

Korisnikove zahtjeve na određenu aplikaciju ili uslugu treba opisati skupom parametara za kakvoću usluge ili razredom usluge koji određuje prioritet usluge. Na taj način dobiva se profil kakvoće usluge za dotičnu aplikaciju ili uslugu. Parametri kakvoće usluge koriste se za inženjering prometa, rezervaciju resursa i nadmetanje za medij.

Uređaji koji zahtijevaju parametriziranu kakvoću usluge moraju moći pratiti ponašanje mreže. Prije nadmetanja za pristup mediju, takvi uređaji trebaju provjeriti raspoloživost potrebnih resursa mreže. Krajnji uređaji ne mogu uspostaviti novu vezu za promet određenog razreda ukoliko nisu raspoloživi resursi potrebni za taj razred prometa.

Instalacija kućne PLC-mreže treba biti automatizirana. Funkcionalnosti upravljanja mrežom koje trebaju biti podržane su početak i prekid aplikacija, održavanje resursa, kao i isključivanje i konfiguriranje uređaja.

Izvješće definira općenite vidove kakvoće kakvoće usluge za različite vrste aplikacija i njihove granične vrijednosti, kao i granične vrijednosti kašnjenja. U tablici 7 dani su parametri kakvoće usluga i njihove zahtijevane vrijednosti za različite vrste aplikacija određeni ovim tehničkim izvješćem.

Prema podacima o projektu PLT na ETSI-jevoj stranici na Internetu, portal.etsi.org, u izradi su sljedeći dokumenti:

- tehnička specifikacija "*In-house/In-house Coexistence*" (specifikacija treba definirati metodologiju

**Tablica 7. Parametri kakvoće usluge i zahtjevane vrijednosti tih parametara za različite vrste aplikacija prema tehničkom izvješću ETSI TR 102 049 Ver.1.1.1**

| | Parametri kakvoće usluge | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Vrsta aplikacije** | brzina prijenosa podataka | kašnjenje s kraja na kraj u jednom smjeru | kolebanje kašnjenja | osjetljivost na smetnje | privatnost | cjelovitost podataka |
| govor | < 64 kbit/s | < 150 ms (po mogućnosti)<br>< 400 ms granica | 1 ms | mala, za pakete < 0,001 | potrebna enkripcija | nema FEC<br>nema retransmisije |
| igre | još nedefiniran broj Mbit/s | < 200 ms | nije specificirano | srednja | ne | FEC |
| audio i video *streaming* (osim DVD) | još nedefiniran broj Mbit/s | < 10 s | << 1 ms | mala, < 1% | autentikacija | FEC, praćenje pogrješaka, retransmisija na sloju podatkovnog linka |
| DVD | još nedefiniran broj Mb/s | < 20 ms | < 2 ms | mala, < 1% | autentikacija | FEC, praćenje pogrješaka, retransmisija na sloju podatkovnog linka |
| pošta | niska | po mogućnosti < 2 s<br>prihvatljivo < 4 s | nije specificirano | velika | potrebna enkripcija | FEC, retransmisija na mrežnom sloju |
| Internet | niska | po mogućnosti < 2 s/stranici<br>prihvatljivo < 4 s/stranici | nije specificirano | velika | | retransmisija |
| elektroničko poslovanje | niska | po mogućnosti < 2 s<br>prihvatljivo < 4 s | nije specificirano | velika | autentikacija autorizacija enkripcija | retransmisija na mrežnom sloju |
| *tele-services* | visoka | < 400 ms | < 600 ms | velika | autentikacija | retransmisija |
| automatizacija kućanstva | niska | < 400 ms | < 600 ms | velika | autentikacija | retransmisija na mrežnom sloju |

koja će osigurati mogućnost istodobnog rada različih kućnih PLC sustava),

- tehnička specifikacija "*Detailed In-house Architecture and Protocols*" (obuhvaća referentnu arhitekturu, vidove fizičkog sloja i sloja podatkovne veze, mehanizme za osiguravanje kvalitete usluge, rad s pristupnim mrežama, povezivanje s kućnim kabelskim i bežičnim mrežama),
- europska norma "*Coexistence of Access and In-house Powerline Systems*" (obuhvaća upravljanje resursima, sloj pristupa mediju, mogućnost međusobnog rada kućnih PLC sustava različitih proizvođača, i sl., a rad na ovoj normi je revizija istoimene specifikacije),
- tehnička specifikacija "*PLT Programmable PSD mask*" (specifikacija treba definirati zahtjeve koje trebaju zadovoljiti mehanizmi za programiranje maske za spektralnu gustoću snage, Power Spectral Density Mask),
- tehnička specifikacija "*Definition of a Dynamical Frequency Allocation for Access/In-House Coexistence*" (sobzirom da može doći do situacije da se istodobno ne koriste i pristupne i kućne PLC usluge, potrebno je omogućiti da se cijeli frekvencijski spektar upotrebljava za pristupne PLC usluge, kad se ne upotrebljavaju kućne PLC usluge, kao i obrnuto), te
- tehničko izvješće "*PLT Channel Characterization Measurement Method*", koji će se koristiti za zapisivanje postavki mjerenja i pitanja vezanih uz mjerenje za potrebe specijalističkog zadatka 222 opisanog u točci 4.1.1.1.

Svrha projekta PLT je omogućiti elektroprivrednim organizacijama pružanje telekomunikacijskih usluga preko elektroenergetske mreže.

#### 4.1.1.1. ETSI-jev specijalistički zadatak broj 222

ETSI-jev mehanizam za ubrzavanje donošenja hitno potrebne tehničke normizacije je definiranje grupe za specijalistički zadatak kao podrške odgovarajućoj ETSI-jevoj tehničkoj organizaciji.

Tako je u rujnu 2002. godine osnovana grupa (3 člana i voditelj) za specijalistički zadatak broj 222 (STF 222, Specialist Task Force 222) za podršku rada na ETSI-jevom projektu PLT [19].

S obzirom da ne postoji autoritativan izvor informacija o PLC-u dolazi do tehničke neusklađenosti unutar različitih normizacijskih tijela vezano uz PLC. Također, uočena je prijetnja podjele tržišta između proizvođača međusobno nekompatibilnih PLC-rješenja.

Grupa za specijalistički zadatak broj 222 treba izraditi izvješća koja će osigurati vjerodostojni prikaz situacije vezane uz PLC i mogućnost međusobnog rada PLC-sustava za niskonaponske elektroenergetske vodove različitih proizvođača. Pretpostavka za razumijevanje situacije i izradu izvješća je provedba masovnih mjerenja, te analiza i prezentacija dobivenih rezultata. Rad grupe uključuje planiranje i provođenje mjerenja, te analizu, prikaz i prezentaciju rezultata u izvješćima. Grupa treba dati preporuke za poboljšanje rada tehničkih tijela koja se bave PLC-om kako bi se olakšao i ubrzao rad na normizaciji PLC-a. Osnovni cilj rada grupe je podrška projektu ETSI PLT u definiranju strategije, racionalizaciji, analizi, postizanju konsenzusa i izradi normi.

Grupa za specijalistički posao broj 222 radi na sljedećim izvješćima:

- tehničko izvješće "*PLT Hidden Node Analysis*",
- tehničko izvješće "*PLT LCL Review and Analysis*", izvještaj o vrijednosti parametra *uzdužni vođeni gubici,*
- tehničko izvješće "*Method for Estimating EMI due to Unbalance in PLT*", izvještaj o načinu procjenjivanja elektromagnetske interferencije zbog nebalansiranosti PLC-a.

Prva tri izvješća treba izraditi uzevši u obzir pitanja kao što su razlike u uzemljenju, razlike među državama i operatorima, topologija distribucija i faza, lokalno opterećenje mreže i slično.

Završetak aktivnosti grupe planiran je za kraj ožujka 2003. godine.

#### 4.1.2. *ETSI-jev rad na harmoniziranim normama za Smjernicu o EMC-u*

ETSI je europska normizacijska organizacija koja, između ostalog, u skladu s mandatom Europske komisije izrađuje harmonizirane norme za Smjernicu o EMC-u, i to norme o EMC-u telekomunikacijskih mrežnih uređaja i norme o EMC-u radijskih uređaja i sustava. Ovi su zadaci u nadležnosti radne grupe za EMC unutar ETSI-jevog odbora ERM, koja usko surađuje sa CENELEC-ovim tehničkim odborom TC 210. Dosadašnji rezultat rada ETSI-jeve radne grupe ERM EMC u tom području je harmonizirana norma za telekomunikacijske mrežne uređaje, EN 300 386. Radi se o normi za obitelj proizvoda koja specificira elektromagnetsku usklađenost uređaja instaliranih u telekomunikacijskim centrima, kao i uređaja korištenih u telekomunikacijskim mrežama. Sadrži specifikaciju instalacijskog okruženja, ispitne metode za otpornost na smetnje i emisiju, ispitne razine i ograničenja, općenite uvjete za ispitivanje kao i posebne zahtjeve za pojedine grupe opreme. U tablici 8 navedene su ispitne metode za otpornost i emisiju telekomunikacijskih mrežnih uređaja prema ovoj normi. Ograničenje emisije zračenog elektromagnetskog polja na ulazu kućišta, vođene emisije na ulazu za napajanje izmjeničnom strujom i ulazu za napajanje istosmjernom strujom, kao i na telekomunikacijskom ulazu treba biti u skladu s normom EN 55022 [8]. Trenutno je na snazi verzija 1.3.1 norme300 386 [20], kojom je područje norme prošireno na uređaje kabelske televizije i višemedijske uređaje, kao i xDSL uređaje.

**Tablica 8. Ispitne metode za otpornost i emisiju telekomunikacijskih mrežnih uređaja prema normi EN 300 386**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. Ispitne metode za otpornost na smetnje | | | |
| 1.1. Elektrostatsko pražnjenje | | | prema EN 61000-4-2[1)] |
| 1.2. Brzi električni tranzijenti | | | prema EN 61000-4-4[2)] |
| 1.3. Otpornost na vođene kontinuirane signale | | | |
| | za frekvencije do 150 kHz | | nema zahtjeva |
| | za frekvencije iznad 150 kHz | na ulazu za izmj. napajanje | prema EN 61000-4-6[3)] |
| | | na ulazu za istosmj. napajanje | prema EN 61000-4-6[3)] |
| | | na signalnom ulazu | prema EN 61000-4-6[3)] |
| 1.4. Otpornost na zračena elektromagnetska polja | | | prema EN 61000-4-3[4)] |
| 1.5. Otpornost na smetnje na ulazima za napajanje | | | |
| | za frekvencije do 150 kHz | za uređaje u tk centrima | nema zahtjeva |
| | | za uređaje izvan tk centara | prema EN 61000-4-11[5)] |
| 2. Ispitne metode za emisiju | | | |
| 2.1. Ulaz za izmjenično napajanje | | | |
| | za vođenu emisiju u frekv. podr. od 0,15 MHz do 30 MHz | | prema EN 55022 [8] |
| | za emisiju strujnih harmonika | | prema EN 61000-3-2[6)] |
| | za fluktuaciju napona | | prema EN 61000-3-3[7)] |
| 2.2. Ulaz za istosmjerno napajanje | | | prema EN 55022 [8] |
| 2.3. Telekomunikacijski ulaz | | | |
| | za vođenu emisiju u frekv. podr. od 0,15 MHz do 30 MHz | | prema EN 55022 [8] |
| 2.4. Zračena emisija | | | |
| | za zračenu emisiju u frekv. podr. od 30 MHz do 1000 MHz | | prema EN 55022 [8] |

1) EN 61000-4-2: "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-2: Testing and measurement techniques - Electrostatic discharge immunity test"

2) EN 61000-4-4: "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-6: Testing and measurement techniques - Electrical fast transient/burst immunity test "

3) EN 61000-4-6: "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-6: Testing and measurement techniques - Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields"

4) EN 61000-4-3: "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-3: Testing and measurement techniques - Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test"

5) EN 61000-4-11: "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-11: Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests"

6) EN 61000-3-2 (2000): "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current up to and including 16 A per phase"

7) EN 61000-3-3 (1995): "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current 16 A per phase and not subject to conditional changes"

Nadovezano na rad na projektu PLT i rad na harmoniziranim normama o EMC-u telekomunikacijskih mrežnih uređaja, ETSI je u prosincu 2001. godine prihvatio mandat 313 za izradu harmonizirane norme za emisiju i otpornost na smetnje kabelskih telekomunikacijskih mreža općenito zajedno s njihovim kućnim proširenjima [21]. Prema zahtjevima mandata [21], potrebno je obuhvatiti telekomunikacijske mreže ostvarene energetskim kabelima, koaksijalnim kabelima i telefonskim paricama, što ne isključuje i neke druge medije. Ove se harmonizirane norme trebaju odnositi samo na mreže, a ne i na proizvode, a pri njihovoj izradi treba uvažavati postojeće tehničke specifikacije, uključivo i međunarodne, gdje god bude moguće, kao i postojeće harmonizirane norme za proizvode ukoliko će se ti proizvodi spajati na mrežu. Uz to, naglašena je potreba zaštite frekvencija koje koriste službe sigurnosti i žurne službe.

U veljači 2002. godine dogovoreno je da se prvo izradi općenita norma koja će definirati ograničenja emisije i načine ispitivanja zajedničke za sve vrste telekomunikacijskih mreža kako bi se osigurao jednak tretman svih tehnologija [22]. Zajednička radna grupa CENELEC-a i ETSI-a osnovana u siječnju 2000. godine za rad na ETSI-jevom projektu o PLC-u (vidi poglavlje 4.2.2.) već se bavila ovom problematikom, te je imenovana kao zajednička radna grupa za EMC vodljivih prijenosnih mreža (JWG on EMC of Conducted Transmission Networks) i određena za izradu jedinstvene norme o EMC-u u skladu sa zahtjevima iz Mandata 313 [22]. Pri izradi te norme potrebno je primjera radi razmotriti postojeća različita gledišta u smislu ograničenja emisije, npr. stajalište engleskog i njemačkog regulatora. Prvenstvena svrha ove harmonizirane norme u prvom koraku je uporaba u slučaju prigovora (*enforcement standards*), uz definiranje mjernih matoda i ograničenja zračene emisije

u frekvencijskom području od 9 kHz do 3 GHz [22]. Nakon izrade i prihvaćanja ove norme, zemlje članice EU-a trebat će u roku od šest mjeseci odbaciti i ukinuti sve nacionalne norme koje će biti u suprotnosti s tom normom.

Uz rad na europskoj razini, ETSI je članica CISPR-a i posebice aktivno sudjeluje u radu pododbora CISPR/I (bivšeg CISPR/G) vezano uz globalne norme za EMC za informatičke i telekomunikacijske krajnje uređaje. Ograničenja emisije na radijskim frekvencijama koja CISPR/I definira, ETSI ugrađuje u norme za EMC za proizvode ili grupe proizvoda.

## 4.2. CENELEC

Problematiku PLC-a dotiče rad četiri tehnička odbora CENELEC-a: TC 205 (Home&Building Electronic Systems), TC 210 (Generic EMC Standards), TC 209 (CATV), te TC 215 (Building Cabling). Uz to, CENELEC djeluje u zajedničkoj radnoj grupi s ETSI-jem o pitanju EMC-a kabelskih mreža korištenih za širokopojasne komunikacije. U narednim točkama u kratkim je crtama opisan rad CENELEC-ovih odbora vezan uz PLC.

### 4.2.1. *Rad CENELEC-ovog tehničkog pododbora SC 205A vezan uz PLC*

Od početka 90-tih godina CENELEC-ov pododbor SC 205A, dio odbora TC 205, zadužen za komunikacijske sustave koji upotrebljavaju niskonaponske elektroenergetske vodove (Mains Communicating Systems), radi na normizaciji prijenosa podataka niskonaponskim mrežama u okviru javnih distribucijskih mreža ili u okviru korisničkih sustava unutar zgrade u frekvencijskom pojasu od 3 kHz do 148,5 kHz.

Rezultat je normizacija uskopojasne primjene PLC tehnologije na niskonaponskim mrežama, norma EN 50065-1 [4], čiji su kasniji amandmani:

- EN 50065-1:1991/A1:1992 "*Amandment to clause 4,6 & 7 and annex C of EN*"
- EN 50065-1:1991/A2:1995 "*Amandment to clause 7 and addition of annex E*"
- EN 50065-1:1991/A3:1996 "*Amandment to clause 6 & 9 and subclause 8.1 and addition of annex E*"

Na snazi je drugo izdanje te norme [23] iz 2001. godine. Norma definira dodjelu frekvencijskog područja različitim aplikacijama, ograničenja izlaznog napona krajnjih uređaja (vidi tablicu 9) i ograničenja smetnji, te daje metodu mjerenja. Metoda modulacije signala, metoda kodiranja, funkcijska svojstva (izuzev onih za sprječavanje zajedničkih smetnji), zahtjevi na okruženje, kao ni ispitivanje nisu definirani ovom normom. Ova norma spada u osnovne norme za EMC.

Cilj norme je ograničiti međusobno djelovanje PLC uređaja za predaju/slanje signala, kao i njihov utjecaj na osjetljive elektroničke uređaje.

**Tablica 9. Ograničenja izlaznog napona prema normi EN 50065-1**

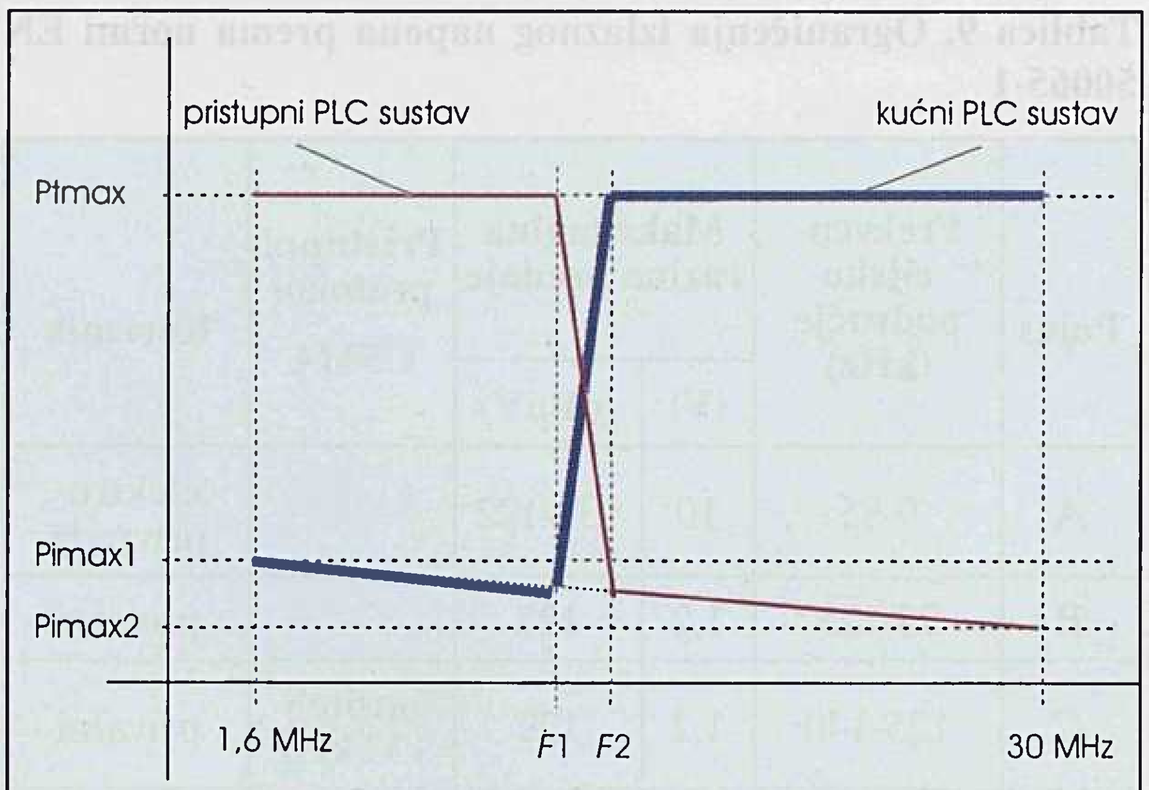
| Pojas | Frekvencijsko područje (kHz) | Maksimalna razina predaje | | Pristupni protokol CSMA | Korisnik |
|---|---|---|---|---|---|
| | | (V) | (dBμV) | | |
| A | 9-95 | 10 | 134-122 | - | elektro-privreda |
| B | 95-125 | 1,2 | 122 | - | privatni |
| C | 125-140 | 1,2 | 122 | nositelj 132 kHz | privatni |
| D | 140-148,5 | 1,2 | 122 | - | privatni |

Frekvencije koje je CENELEC ovom normom dodijelio PLC-u idealne su za primjene kojima je PLC prvobitno namijenjen, tj. daljinska mjerenja i ostale telekomunikacijske usluge za potrebe elektroprivrednih poduzeća za koje je zadovoljavajuća brzina od nekoliko desetaka kbit/s. Uporaba tih frekvencija u komercijalnim pristupnim telekomunikacijskim mrežama nije praktična, jer se zbog ograničene propusnosti ne mogu postići brzine reda veličine Mbit/s.

U lipnju 1999. godine CENELEC je unutar pododbora SC205A oformio i radnu grupu za širokopojasni PLC, WG10 (High frequency emisison & immunity), sa zadatkom definiranja rada na frekvencijama od 148,5 kHz do 30 MHz. U okviru te radne grupe u tijeku je izrada specifikacije za istodobni rad pristupnog i kućnog PLC-a u frekvencijskom području od 1,6 MHz do 30 MHz. Preciznije, specifikacija treba osigurati istodobni rad sučelja $I_{P\text{-}CL}$ i $I_{P\text{-}RL}$ sa sučeljima $I_{P\text{-}CP}$ i $I_{P\text{-}RP}$. Nacrt specifikacije [15] predan je na postupak usvajanja. Istodobni rad pristupnih i kućnih PLC sustava osigurava se definiranjem najviše razine smetnji koje pristupni PLC sustav smije uzrokovati kućnom PLC sustavu i obrnuto prema krivulji $P_{imax}$ prikazanoj na slici 5. Zadovoljavajuće gušenje između pristupnog i kućnog PLC sustava može se postići blokirajućim filtrima (u jednom ili u oba sustava) ili na neki drugi način. Ukoliko se zadovoljavajuće gušenje postiže filtrima, ne treba se pridržavati definirane maske za gustoću snage spektra, niti definirane raspodjele frekvencijskog spektra. Ukoliko se ne može postići zadovoljavajuće gušenje prema krivulji $P_{imax}$ prikazanoj na Slici 5, obvezno je primijeniti sljedeću raspodjelu frekvencija definiranu za PLC uređaje prve generacije:

- pristupni PLC sustav koristi frekvencije od 1,6 MHz (uključivo i 1,6 MHz) do 12,7 MHz, a
- kućni PLC sustav koristi frekvencije od 14,35 MHz do 30 MHz.

Specifikacija najavljuje fleksibilno upravljanje frekvencijama u sljedećim generacijama PLC uređaja, te definira potrebu za zajedničkim signalizacijskim kanalom. Postoji mogućnost da se na temelju ovog ma-




**Slika 5. Odjeljivanje pristupnog i kućnog PLC sustava: prema CENELEC prES 59013**

Područje ove specifikacije preklapa se sa ETSI-jevom specifikacijom TS 101 867 [14], kao što je već rečeno u točci 4.1.1.

Osim ove specifikacije, u okviru radne grupe WG10 u tijeku je i izrada norme za ograničenje emisije [24] i definiranje otpornosti na smetnje u HF frekvencijskom području [25] (prvobitno zamišljeno kao jedna norma). Također, ova radna grupa priprema vodič za norme o PLC-u [26] koji će sadržavati opopis svih normi za PLC, bilo CENELEC-ovih bio norme drugih normizacijskih organizacija.

4.2.2. *Rad ostalih CENELEC-ovih tehničkih odbora SC 210A koji utječe na normizaciju PLC-a*

CENELEC-ov pododbor SC 210A, dio odbora TC 210 zaduženog za izradu općenitih normi za EMC, razmatra harmonizaciju CISPR-ovih dokumenata, priprema norme o otpornosti na smetnje i emisiji informatičke i telekomunikacijske opreme, a po potrebi izrađuje norme za EMC za određeni proizvod. U svom radu surađuje s organizacijama IEC, ETSI i ITU. Ovaj je pododbor izradio normu koja definira granične vrijednosti emisije za uređaje iz područja informatičke tehnologije, kao što su računala, uredski uređaji ili telekomunikacijski uređaji spojeni na niskonaponsku mrežu, te metode ispitavanja emisije tih uređaja, EN 55022 [8], a ekvivalentna je CISPR-ovoj normi CISPR 22. Premda ova norma ima osobine osnovne norme za EMC, prvenstveno se smatra normom za obitelj proizvoda, budući da joj je glavna namjena osiguravanje usklađenosti proizvoda prema Smjernici o EMC-u. Pododbor SC 210A izradio je i normu koja definira otpornost uređaja informatičke tehnologije na smetnje, EN 55024 [27], ekvivalentnu CISPR-ovoj normi CISPR 24.

Tehnički odbor TC209 radi na seriji normi EN 50083 koje pokrivaju uređaje i mreže kabelske televizije. U kolovozu 2000. godine TC 209 je izdao normu EN 50083-8 koja sadrži općeniti skup ograničenja zračenja za sustave kabelske televizije, te dva nacionalna odstupanja (englesko i finsko), s time da se ne radi o harmoniziranoj normi pod Smjernicom o EMC-u. Na snazi je drugo izdanje te norme [28].

Tehnički odbor TC215 radi na planiranju instaliranja energetskih i telekomunikacijskih mreža unutar i izvan zgrada, pa je rad te grupe također značajan za PLC.

Nakon pokretanja projekta PLT u okviru ETSI-a, formirana je zajednička radna grupa ETSI ERM-a i CENELEC-a sa zadatkom definiranja zahtjeva vezanih uz EMC pri prijenosu komunikacijskih signala kabelskim prijenosnim mrežama (*Joint Working Group on EMC of Conducted Transmission Networks*). Cilj grupe bio je odrediti zajednički pristup definiranju zahtjeva vezanih uz otpornost na smetnje i emisiju različitih kabelskih mreža. Na prvom sastanku grupe u lipnju 2000. godine utvrđene su osnovne smjernice rada zajedničke grupe: definirati europsku normu (a ne različite nacionalne norme), odrediti zajedničke granične vrijednosti emisije primjenjive na sve kabelske sustave, te spriječiti ometanje radijskih službi u skladu s bitnim zahtjevima europskih smjernica. Istaknuto je da dodjeljivanje frekvencija nije u domeni rada grupe, već spada pod okrilje CEPT-a. Dogovoreno je da će ETSI i CENELEC prihvatiti rezultate rada zajedničke radne grupe. Kako PLC nije jedina tehnologija kod koje se elektromagnetski signali prenose metalnim kabelima frekvencijama reda veličine 10-tak MHz, ova grupa osim sa SC 205A WG 10 tijesno surađuje s odborima koji normiraju rad u tom smislu srodnih tehnologija, kabelske televizije (TC 209) i kabliranja zgrada (TC 215), te s tehničkim odborom CENELEC-a općenito zaduženim za pitanja EMC-a, TC 210.

U prosincu 2001. godine ova je radna grupa preuzela prvi zadatak po Mandatu 313 Europske komisije [22], kao što je opisano u poglavlju 4.1.2.

## 5. ORGANIZACIJE OSNOVANE ZA RAZVOJ I PROMIDŽBU PLC-a

Osim normizacijskih organizacija čiji je rad opisan u poglavljima 3 i 4, PLC-om se bave i međunarodne organizacije osnovane radi razvoja i promidžbe PLC-a, među kojima su najznačajnije PLCforum i The HomePlug Powerline Alliance.

U narednim točkama u kratkim je crtama opisana njihova aktivnost na normizaciji PLC-a.

### 5.1. Udruženje PLCforum

U ožujku 2000. godine prema švicarskim zakonima u Interlakenu, Švicarska, osnovano je PLC udruženje PLCforum, radi razmjene informacija o PLC-u između elektroprivreda, proizvođača, razvojnih organizacija,

prodavača, potencijalnih korisnika, kao i odgovarajućih regulatornih tijela. Premda su članovi Udruženja predstavnici svih sudionika PLC tržišta, samo Udruženje je u potpunosti nezavisna organizacija. Osnivanje PLCforuma rezultat je šestomjesečnog razmatranja spajanja prijašnjih PLC organizacija PTF i IPCF, budući da su njihovi članovi smatrali najučinkovitijim djelovati unutar jedinstvene PLC organizacije. Dok je u ožujku 2000. PLCforum osnovalo 42 članova osnivača, čiji su podaci navedeni u privitku osnivačkog dokumenta [29], prema podacima na stranici udruženja na Internetu (www.plcforum.org – About us) u prosincu 2002. godine PLCforum ima 77 članova i stalnih gostiju iz 23 zemlje s 3 kontinenta, navedenih u tablici 10.

**Tablica 10. Članovi PLCforuma u prosincu 2002. godine**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Instituto Balseiro-Universidad Nacional de Cuyo-CNEA | Argentina |
| 2 | InovaTech Limited | Australija |
| 3 | Datasoft ISDN Systems GmbH | Austrija |
| 4 | EVN AG | Austrija |
| 5 | TIWAG | Austrija |
| 6 | Finnish Electricity Association Sener | Finska |
| 7 | Jyväskylän Energia Oy | Finska |
| 8 | Alcatel | Francuska |
| 9 | EasyPlug | Francuska |
| 10 | EDF (Electricité de France) | Francuska |
| 11 | Kurtosis Ingénierie S.A. | Francuska |
| 12 | Aristotle University of Thessaloniki | Grčka |
| 13 | ENEL Distribuzione SpA | Italija |
| 14 | Universitá Degli Studi di Firenze | Italija |
| 15 | Itran Communications Ltd. | Izrael |
| 16 | Main.net Communications Ltd. | Izrael |
| 17 | NAMS | Izrael |
| 18 | Mitsubishi Electric Corporation | Japan |
| 19 | Tokyo Electric Power Company (Tepco) | Japan |
| 20 | Seoul National University | Južna Koreja |
| 21 | Xeline Co. Ltd | Južna Koreja |
| 22 | EPRI (China Electric Power Research Institute) | Kina |
| 23 | International Turnkey Systems | Kuvajt |
| 24 | Nuon | Nizozemska |
| 25 | Viken Energinett AS | Norveška |
| 26 | ABB New Ventures GmbH | Njemačka |
| 27 | Actima AG | Njemačka |
| 28 | ATANVO AG | Njemačka |
| 29 | Cetecom ICT Services GmbH | Njemačka |
| 30 | Dresden University of Technology | Njemačka |
| 31 | Eichhoff GmbH | Njemačka |
| 32 | ELCON Systemtechnik GmbH | Njemačka |
| 33 | EnBW Telekommunikation GmbH | Njemačka |
| 34 | EWE TEL GmbH | Njemačka |
| 35 | Felten & Guilleaume (NKT Cables) | Njemačka |
| 36 | iAD GmbH | Njemačka |
| 37 | Intellon Corporation | Njemačka |
| 38 | NEC Electronics (Europe) GmbH | Njemačka |
| 39 | Polytrax IT AG | Njemačka |
| 40 | Power PLUS Communications AG | Njemačka |
| 41 | Rheinisch-Westfälische Hochschule Aachen (RWTH) | Njemačka |
| 42 | Royal Philips Electronics | Njemačka |
| 43 | RWE Powerline GmbH | Njemačka |
| 44 | Universität Karlsruhe | Njemačka |
| 45 | Universität Paderborn | Njemačka |
| 46 | University of Dortmund | Njemačka |
| 47 | ONI Telecom | Portugal |
| 48 | Open Joint Stock Company Mosenergo | Rusija |
| 49 | Ambient Corp. | SAD |
| 50 | Amperion | SAD |
| 51 | Cinergy Corp. | SAD |
| 52 | Enikia Inc. | SAD |
| 53 | Inari Inc. | SAD |
| 54 | SP Telecommunications Pte Ltd | Singapur |
| 55 | Dimat S.A | Španjolska |
| 56 | DS2 | Španjolska |
| 57 | Endesa Servicios | Španjolska |
| 58 | ENDITEL | Španjolska |
| 59 | Iberdrola | Španjolska |
| 60 | Promax Electronica SA | Španjolska |
| 61 | Sainco | Španjolska |
| 62 | Union Fenosa Redes Telecommunicacion | Španjolska |
| 63 | Vayris | Španjolska |
| 64 | Ilevo AB | Švedska |
| 65 | Sydkraft Bredband AB | Švedska |
| 66 | Ascom PowerLine Communications AG | Švicarska |
| 67 | dHolding | Švicarska |
| 68 | Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) | Švicarska |
| 69 | Schaffner EMV AG | Švicarska |
| 70 | e-amra.com | Velika Britanija |
| 71 | LANergy Limited | Velika Britanija |
| 72 | Motorola | Velika Britanija |
| 73 | nSine Ltd. | Velika Britanija |
| 74 | Open University - Power Systems Comm. Research | Velika Britanija |
| 75 | Phonex Broadband Europe | Velika Britanija |
| 76 | SSE Telecom Scottish and Southern Energy plc | Velika Britanija |
| 77 | Xansa | Velika Britanija |

Zadaci udruženja PLCforum su sudjelovanje u uređenju PLC okruženja razvojem međunarodnih i nacionalnih normi za PLC proizvode i usluge i njihovim prosljeđivanjem odgovarajućim međunarodnim i nacionalnim normizacijskim tijelima, ubrzavanje razvoja PLC tehnologije, istraživanje i analiza tržišta, te podrška PLC-industriji. U sklopu istraživanja i analize tržišta, Udruženje posebice treba usporediti PLC i konkurentne pristupne tehnologije. Udruženje se redovito sastaje s Europskom komisijom i europskim normizacijskim i regulatornim organizacijama radi utjecaja na tijek normizacije i regulative vezane uz PLC. Udruženje sadrži dvije radne grupe: grupu za tehnologiju i regulativu, te grupu za promidžbu.

Adresa Udruženja na Internetu je www.plcforum.org.

### 5.2. Savez The HomePlug Powerline Alliance (HomePlug)

Savez HomePlug je neprofitna tvrtka koja predstavlja forum za izradu otvorenih specifikacija za proizvode i usluge kućnog PLC-a brzine par Mbit/s. Namjera je Saveza potaknuti zahtjeve za takvim proizvodima i uslugama sponzoriranjem tržišta i programima educiranja korisnika. Savez je osnovan u ožujku 2000. godine. Osnivači Saveza su bile tvrtke 3Com, AMD, Cisco Systems, Compaq, Conexant, Enikia, Intel, Intellon, Motorola, Panasonic, RadioShack, SONICblue i Texas Instruments. Prema podacima na stranicama Saveza na Internetu (www.homeplug.org – Alliance Memebers), u prosincu 2002. godine Savez čine sponzori (Cogency, NETGEAR, SHARP, Conexant, Enikia, Intellon, RadioShack i Texas Instruments), 24 člana (*participants*), te 33 tvrtke zainteresirane za usvajanje HomePlug tehnologije (*adopters*).

Savez je osnovan kako bi ubrzao i promovirao raspoloživost, usvajanje i implementaciju troškovno prihvatljivih kućnih PLC mreža i proizvoda temeljenih na definiranim specifikacijama, što osigurava mogućnost njihova međusobnog rada. Po osnivanju Saveza izrađen je dokument u kojem su utvrđeni zahtjevi tržišta i dane smjernice za razvoj specifikacije i načina ispitivanja tehnologije HomePlug (Marketing Requirements Document). Kao kriteriji za odabir tehnologije definirani su, između ostalog, brzina reda veličine brzine Ethernet/10Base-T-a, kompatibilnost, jednostavnost implementacije i pouzdanost.

U lipnju 2000. godine Savez je objavio podatak da je za osnovicu prve generacije HomePlug specifikacije kućnog PLC-a brzine 10 Mbit/s, specifikacije HomePlug v1.0, odabrana mrežna tehnologija tvrtke Intellon.

U prosincu 2000. završen je nacrt specifikacije i najavljena probna instalacija u 500 kućanstava radi provjere pouzdanosti i brzine tehnologije, te mogućnosti međusobnog rada, kao i namjera da se po završetku ispitivanja završi specifikacija HomePlug tehnologije i utemelji laboratorij za ispitivanje usklađenosti proizvoda.

U ožujku 2001. godine završena je probna instalacija u 350 od planiranih 500 kućanstava. Pri ispitivanju propusnosti, kašnjenja, rukovanja pogrješkama i prikladnosti za uobičajene aplikacije dobiveni su pozitivni rezultati, čime je potvrđena spremnost tehnologije za tržište. Isti mjesec radi širenja tehnologije HomePlug, Savez osniva radne grupe za Europu i Japan. U svibnju 2001. godine HomePlug je objavio završetak probne instalacije, čiji je rezultat utvrđivanje spremnosti tehnologije HomePlug za izlazak na tržište. U lipnju 2001. godine objavljen je završetak specifikacije HomePlug v1.0 [30]. Kao prijenosnu tehniku HomePlug koristi multipleksiranje s podjelom na ortogonalne frekvencije, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Na sloju podatkovne veze koristi inačicu višestrukog pristupa mediju s osjetom nositelja i izbjegavanjem sudara, CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Podržava razrede prioriteta i nadzor kašnjenja, a radi na frekvencijama od 4 MHz do 22 MHz [31]. U studenom 2001. godine ustanovljen je postupak potvrđivanja proizvoda sukladnih sa specifikacijom HomePlug 1.0. U svibnju 2002. godine Savez je izložio HomePlug-potvrđene proizvode 9 tvrtki članica Saveza na CONNECTIONS 2002 u Dallasu, država Texas [32]. Izloženi proizvodi navedeni su u tablici 11. U listopadu 2002. godine Savez je najavio planove za sljedeću verziju specifikacije HomePlug pod imenom HomePlug AV, koje naglašava pomak ka umrežavanju potrošačkih elektroničkih uređaja [33]. Nova specifikacija će podržavati distribuciju podataka i zabavnih sadržaja kroz kućanstvo, uključujući televiziju visoke razlučivosti (High Definition Television). Brzina komuniciranja još nije utvrđena, ali mora biti barem 20 Mbit/s obzirom na najavljenu podršku za televiziju visoke razlučivosti. Radi postizanja prednosti pred konkurentnim tehnologijama, Savez će pri razvoju specifikacije staviti naglasak na osiguravanje parametrizirane kakvoće usluge, tj. sposobnosti jamčenja propusnosti aplikacijama koje o tome zavise. Specifikacija se očekuje za 18 do 24 mjeseca.

Adresa Saveza na Internetu je www.homeplug.org.

## 6. ZAKLJUČAK

Uskopojasni PLC je zadovoljavajuće normiziran (vidi sliku 2). Niz IEC-ovih normi navedenih u točki 3.2.2 definiraju elemente uskopojasnog PLC-a na visokonaponskim elektroenergetskim vodovima, kao što su prigušnice, spojne jedinice i terminal za PLC, te principe planiranja i ispitivanja PLC-sustava. CENELEC-ova harmonizirana norma EN 50065-1 definira uporabu frekvencijskog područja od 3 kHz do 148,5 kHz za uskopojasni PLC, daje ograničenja izlaznog napona i smetnji, te metodu mjerenja. Njoj ekvivalentna IEC-ova norma, IEC 61000-3-8, za PLC određuje širi frekvencijski opseg sukladan ITU-ovom određivanju namjene frekvencijskih područja za Regiju 2.

**Tablica 11: HomePlug-ovlašteni proizvodi izloženi na CONNECTIONS 2002**

| Proizvodi za krajnje potrošače (consumer products) | | |
|---|---|---|
| **Proizvođač** | **Vrsta proizvoda** | **Proizvod** |
| Asoka USA Corporation www.asokausa.com | premosnik | Asoka™ PlugLink™ Ethernet Bridge (PL9610-ETH) |
| | premosnik | Asoka™ PlugLink™ USB Bridge (PL9710-USB) |
| Gigafast Ethernet www.gigafast.com | prilagodnik | PowerLine USB Adapter (PE901-UI) |
| | premosnik | PowerLine Ethernet Bridge (PE902-EB) |
| Linksys Group Inc. www.linksys.com | prilagodnik | Instant PowerLine™ EtherFast 10/100 Bridge (PLEBR10) |
| | prilagodnik | Instant PowerLine™ USB Adapter (PLUSB10) |
| NETGEAR, Inc. www.netgear.com | prilagodnik | NETGEAR Powerline Ethernet Adapter |
| | prilagodnik | NETGEAR Powerline USB Adapter |
| Phonex Broadband Corporation www.phonex.com | premosnik | |
| Samsung Electro-Mechanics Co. Ltd. www.sem.samsung.com | premosnik | |
| ST&T Instrument Corporation www.stt.com.tw | premosnik | PowerLine Ethernet Bridge (M51) |
| | premosnik | PowerLine USB Bridge (M51) |
| **Referentni dizajni (reference designs)** | | |
| **Proizvođač** | **Proizvod** | |
| Cogency Semiconductor www.cogency.com | CS1100 HomePlug-Ethernet/USB/PCI/MII Evaluation Platform (EV1100) | |
| Intellon Corporation www.intellon.com | Powerline to Ethernet Bridge Reference Design (RD5130-ETH) | |
| | Powerline to USB Bridge Reference Design (RD5130-USB) | |
| | Powerline to PCI evaluation kit (EK5130-PCI) | |

S druge strane, normizacija danas interesantnijeg širokopojasnog PLC-a nije zadovoljavajuća.

Tijekom zadnjih pet godina, vođen je čitav niz probnih instalacija širokopojasnog PLC-a, a od 2001. započele su i komercijalne. Različite tvrtke nevezano su rješavale pitanja modulacije, kodiranja, sažimanja, dijeljenja medija i ostala tehnička pitanja nastojeći prevladati ograničenja elektroenergetskih vodova koji nisu osmišljeni za komuniciranje, te postići što veću brzinu prijenosa informacija i što veći domet prijenosa, na čemu rade i dalje. Međutim, preduvjet daljeg razvoja, prihvaćanja i šire uporabe širokopojasnog PLC-a je donošenje odgovarajuće normizacije.

Uočivši potencijal širokopojasnog PLC-a, ETSI je u rujnu 2000. godine pokrenuo projekt njegove normizacije. Kako je niz tvrtki već razvilo vlastita rješenja pristupnog PLC-a, te kako nema smisla graditi pristupni PLC sustav opremom različitih proizvođača, normizacija ne zadire u temeljitu razradu rješenja rada samog pristupnog PLC-a, već se usredotočuju na osiguravanje mogućnosti istodobnog rada pristupnog i kućnog PLC-a, osiguravanje mogućnosti međusobnog rada PLC sustava različitih proizvođača, kao i zaštitu korisnika radijskih frekvencija koji u okruženju širokopojasnih PLC sustava rade na istim frekvencijama. Definiran je referentni model mrežne arhitekture za PLC, a CENELEC je u završnoj fazi izrade specifikacije koja definira istodobnu uporabu frekvencijskog područja od 1,6 MHz do 30 MHz za kućni i za pristupni PLC.

Normizacija kućnog PLC-a zahtijeva temeljitiju normizaciju tehnike rada kućnog PLC sustava, budući da ti sustavi predviđaju priključivanje različitih uređaja informatičke tehnologije, te ostalih električnih i elektroničkih uređaja u kućnu PLC mrežu. Uz to, posebice je izražena potreba osiguravanja mogućnosti istodobnog rada kućnih PLC sustava različitih proizvođača, budući da se susjedna kućanstva mogu opredijeliti za rješenja različitih proizvođača i da nema načina za planiranje izgradnje kućnih PLC mreža na nekom području jer se radi o mrežama različitih privatnih korisnika. Na normizaciji tehnike rada kućnog PLC-a značajni su rezultati saveza HomePlug Powerline Alliance, s tim da nije jasno odgovara li uporaba frekvencijskog područja od 4 MHz do 30 MHz predviđena specifikacijom HomePlug zahtjevima nacrta CENELEC-ove specifikacije za osiguravanja istodobnog rada pristupnog i kućnog PLC-a, prES 59013.

Zaštita radijskih službi koje rade na istim frekvencijama kao i PLC sustav, tj. normizacija vezana uz EMC PLC-a, pokazala se vrlo opsežnim zadatkom, koji uz to i nadilazi pitanje samog PLC-a. Problemi vezani uz EMC do kojih dolazi pri implementaciji PLC-a srodni su problemima do kojih dolazi i kod implementacije ostalih širokopojasnih kabelskih komunikacijskih sustava, npr. xDSL-a ili kabelske televizije, čiji se rad temelji na prijenosu radijskih frekvencija metalnim medijem.

Dosadašnje norme za EMC usredotočene su na EMC uređaje, a ne uzimaju u obzir način povezivanja

uređaja i performanse kabela kojima su uređaji povezani, što značajno utječe na cjelokupnu zračenu emisiju u danom okruženju. Prijašnjih godina u suštini nije bilo narušavanja EMC-a između kabelskih sustava i bežičnih aplikacija. Nažalost, to se stanje promijenilo uvođenjem širokopojasnih kabelskih komunikacijskih sustava, među kojima PLC proizvodi najvišu zračenu emisiju i na najjačem je udaru, jer podrazumijeva uvođenje novih subjekata u područje telekomunikacija, što nije u interesu tradicionalnih davatelja telekomunikacijskih usluga. Tako je pitanje PLC-a, kao kabelske tehnologije za širokopojasnu komunikaciju koja je izazvala najviše protesta korisnika radijskih frekvencija, otvorilo pitanje emisije kabelskih sustava korištenih za širokopojasnu komunikaciju općenito. Uočeno je da norme za EMC što hitnije trebaju obuhvatiti dodatna područja proizašla iz nedavnog razvoja kabelskih tehnologija za širokopojasnu komunikaciju da bi ostale učinkovite i zadovoljavajuće i u budućnosti. Europska komisija je polovinom 2002. godine izdala Mandat 313 i inicirala izradu harmoniziranih normi za emisiju i otpornost kabelskih telekomunikacijskih mreža općenito. Kao prvi korak rada po tom mandatu, zajednička radna grupa ETSI-a i CENELEC-a započela je rad na izradi općenite norme za emisiju kabelskih telekomunikacijskih mreža i općenite norme za otpornost na smetnje. Zahtjevi iz harmoniziranih normi koje će biti izrađene po Mandatu 313 trebaju biti usklađeni sa zahtjevima postojećih normi za EMC proizvoda, tj. ne smije se doći u situaciju da se uređajima koji zadovoljavaju harmonizirane norme za EMC proizvode ne može ostvariti mreža koja bi zadovoljila zahtjeve iz harmonizrane norme za EMC mreže. Svrha Mandata 313 je osigurati jedinstveni europski pristup reguliranju EMC-a za kabelske mreže korištene za širokopojasnu komunikaciju.

Uz nedostatak normizacije EMC-a cjelokupnog PLC-sustava, za normizaciju širokopojasnog PLC-a je problem i to što postojeće norme za EMC uređaje nisu u potpunosti primjenjive na PLC-uređaje. Međunarodna norma za emisiju uređaja informatičke tehnologije u koje spadaju i uređaji za PLC, CISPR 22, , dorađuje se vezano uz mjerenje vođene emisije u frekvencijskom području koje upotrebljava širokopojasni PLC. Na europskoj razini je u tijeku izrada normi za emisiju i otpornost na smetnje PLC-uređaja i PLC-sustava niskonaponskog PLC-a.

Ukupno gledano, u ETSI-jevom i CENELEC-ovom radu na normizaciji PLC-a od 2000. godine do polovine 2002. godine nije postignut značajniji rezultat i može se reći da se nije odvijao prema planu. Međutim, od polovice 2002. godine Europska komisija poduzela je mjere da se rad ubrza. ETSI-u i CENELEC-u dodijeljen je mandat za izradu harmonizirane norme za kabelske mreže korištene za širokopojasnu komunikaciju. Uz to, ETSI je formirao i dodatnu Grupu za specijalistički zadatak broj 222 kako bi se, zbog hitnosti, olakšao i ubrzao rad na normizaciji PLC-a.

Razvoj normi u suštini nastoji postići konsenzus svih zainteresiranih strana. Svaka strana usredotočuje se na određeni vid problema i nastoji utjecati na razvoj norme u određenom smjeru. Kod normizacije PLC-a važno je da se problem PLC-a pažljivo razmotri i što šire sagleda, da normizacija rezultira praktičnim i upotrebljivim normama, te da se pri izradi normizacije za PLC postigne konsenzus svih zainteresiranih strana. ETSI i CENELEC već su odredili razdvajanje frekvencijskog spektra na dio za pristupni PLC i dio za kućni PLC. Definiran je referentni model i sva sučelja i osnovni vidovi osiguravanja kakvoće usluga u kućnim PLC mrežama, što predstavlja podlogu za daljnji rad. S obzirom na preuzet mandat, kao i rad Grupe za specijalistički zadatak broj 222, za očekivati je da će u 2003. godini rezultati rada na normizaciji PLC-a biti daleko značajniji.

Namjera ovog članka bila je dati pregled različitih normizacijskih organizacija koje pridonose izradi međunarodnog normativnog okruženja za PLC i dosadašnjih dostignuća u njihovom radu. Međutim, prikazani rad normizacijskih organizacija ne odnosi se samo na PLC, već i na sve ostale kabelske sustave koji će se upotrebljavati za širokopojasne komunikacije. Potreba za takvim sustavima nije ni danas upitna, a u budućnosti predstavlja imperativ razvoja elektroničkog poslovanja i gospodarstva, kao i zabave za široke mase. U tom svjetlu prikazani rad normizacijskih organizacija predstavlja značajan doprinos dobrobiti našeg društva.

## 7. KRATICE

| | | |
|---|---|---|
| CEPT | European Conference of Postal and Telecommunications Administrations | Europska konferencija poštanskih i telekomunikacijskih administracija |
| DVD-RW | Digital Video Disc – ReWritable | digitalni video disk s mogućnošću ponovnog upisivanja |
| EBU | European Broadcasting Union | Europska udruga radiotelevizijskog emitiranja |
| ECC | Electronic Communications Committee | Odbor za elektroničke komunikacije |
| EMC | Electromagnetic Compatibility | elektromagnetska usklađenost |
| EMI | Electromagnetic Interference | elektromagnetska interferencija |
| EN | European Standard | europska norma |
| EP | ETSI Project | ETSI-ev projekt |
| ERM | EMC and Radio Spectrum Matters | Elektromagnetska kompatibilnost i pitanja radijskog spektra |
| ES | ETSI Standard | ETSI-eva norma |
| ETC | European Telecommunications Committee | Europski telekomunikacijski odbor |

| | | |
|---|---|---|
| HF | High Frequency | dio frekvencijskog spektra od 3 MHz do 30 MHz |
| IARU | International Amateur Radio Union | Međunarodna udruga radioamatera |
| IPCF | International Powerline Communications Forum | Međunarodni forum za PLC |
| LCL | Longitudinal Conducted Losses | uzdužni vođeni gubici |
| OFDM | Orthogonal Frequency Division Multiplexing | vrsta modulacije |
| PLC | PowerLine Communications | komuniciranje elektroenergetskim vodima |
| PLCforum | PowerLine Communications Forum | Forum za PLC |
| PLT | Powerline telecommunications | telekomunikacije putem elektroenergetskih vodova |
| PTF | Powerline Telecommunications Forum | Forum za telekomunikacije putem elektroenergetskih vodova |
| PSD | Power Spectrum Density | maska za spektralnu gustoću snage |
| QPSK | Quadrature Phase Shift Keying | vrsta modulacije |
| R&TTE Directive | Radio Equipment and Telecommunications Terminal Equipment Directive | Smjernica o radijskim uređajima i krajnjim telekomunikacijskim uređajima |
| SRD | System Reference Document | Referentni dokument o sustavu |
| TC | Technical Committee | tehnički odbor |
| TR | Technical Report | tehničko izvješće |
| TS | Technical Specification | tehnička specifikacija |
| VF | | visokofrekvencijske |
| VN | | visokonaponski |
| TS | Technical Specification | tehnička specifikacija |

## 8. POJMOVI

access network – telekomunikacijska pristupna mreža
access PLC – pristupni PLC
Administration – administracija, uprava
basic norms – osnovne norme
broadcasting – radiotelevizijsko odašiljanje
coexistence – mogućnost istodobnog rada
conducted emission – vođena emisija
directive – smjernica
e-commerce – elektroničko poslovanje
Electromagnetic Compatibility – elektromagnetska usklađenost
emergency services – žurne službe
emmision – emisija
essential requirement – suštinski zahtjevi
frequency band – frekvencijsko područje
generic norms – općenite norme
harmonized standards – harmonizirane norme
High Definition television – televizija visoke kvalitete
home automation – automatizacija kućanstva
immunity – otpornost na smetnje
in-house PLC – kućni PLC
interference – interferencija
interoperability – mogućnost međusobnog rada
Longitudinal Conducted Losses – uzdužni vođeni gubici
power utility – elektroprivredna organizacije
powerline – elektroenergetski vod
radiated emission – zračena emisija
radio service – radijska služba
safety services – službe sigurnosti

## LITERATURA

[1] "Council Directive 89/336/EEC of 3 May 1999 on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility, Official Journal L 139, 23/05/1989

[2] IEEE 643:1980 "IEEE Guide for Power-Line Carrier Applications"

[3] IEEE P643 "Guide for Power Line Carrier Applications"

[4] CENELEC EN 50065-1:1991 "Signalling on low-voltage electrical installations in the frequency range 3 kHz to 148,5 kHz – Part 1: General requirements, frequency bands and electromagnetic disturbances"

[5] IEC 61000-3-8 "Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 8: Signalling on low-voltage electrical installations – Emission levels, frequency bands and electromagnetic disturbance levels", 1997

[6] IEC 61334-3-1 "Distribution automation using distribution line carrier systems – Part 3: Mains signalling requirements – Section 1: Frequency bands and output levels", 1998

[7] CISPR 22:1997, 3rd ed., "Information Technology Equipment – Radio Disturbance Characteristics – Limits and Methods of Measurement", IEC, CISPR, Geneva, November 1997

[8] CENELEC EN55022: 1998, "Information technology equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement"

[9] CISPR 22 Amd.2 f9, Amendment to CISPR 22: Clarification of its application to telecommunication system on the method of disturbance measurement at ports used for PLC (Power Line Communication)

[10] REPORT OF ADVISORY GROUP 2 on "Coordination of standardisation activities", CIGRE Study Committee 36, Paris, August 2002

[11] "Report on Digital Power Line Carrier", Working Group 35.09, Cigré Reference number 164, Paris, 2000

[12] "Directive 1999/5/EC of the European Parliament and of the Council of 9 March 1999 on radio equipment and telecommunications terminal equipment and the mutual recognition of their conformity", Official Journal L 091, 07/04/1999 p.p. 0010 – 0028

[13] Terms of Reference for ETSI Project Powerline Telecommunications (PLT) http://portal.etsi.org/plt/PLT_tor.asp

[14] ETSI TS 101 867 Ver.1.1.1, "Powerline Telecommunications (PLT); Coexistence of Access and In-House Powerline Systems", November 2000

[15] CENELEC prES 59013: Powerline Telecommunications (PLT) – Coexistence of Access/In-house Systems - PLT Phase 1, April 2001

[16] Draft summary minutes, decisions and actions from 32nd ETSI Board Meeting, Sophia Antipolis, 25-26 April 2001

[17] ETSI TS 101 896 Ver.1.1.1, "Powerline Telecommunications (PLT); Reference Network Architecture Model; PLT Phase 1", February 2001

[18] ETSI TR 102 049 Ver.1.1.1, "PowerLine Telecommunications (PLT); Quality of Service (QoS) requirements for in-house systems", May 2002

[19] ETSI PLT: "Terms od Reference for Specialist Task Force 222 *V1.5* (MB), EP PLT to undertake a European-wide measurement and analysis review to ensure correct representation of the situation in member states with respect to PLT standards and to ensure coexistence between PLT systems from different vendors", September 2002, portal.etsi.org/stfs/ToR/ToR222v15:PLT.doc

[20] ETSI EN 300 386 "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum matters (ERM); Telecommunication network equipment; ElectroMagnetic Compatibility (EMC) requirements 2001-09-11

[21] Mandate 313 EN: "Standardisation Mandate addressed to CEN, CENELEC and ETSI concerning Electromagnetic Compatibility (EMC) – Telecommunications Networks", European Commission, Brussels, 7 August 2001, www.etsi.org/public-interest/mandate/M313.pdf

[22] Status report on the follow-up of EC mandate M/313 of telecom networks, CENELEC, June 2002

[23] CENELEC EN 50065-1:2001 "Signalling on low-voltage electrical installations in the frequency range 3 kHz to 148,5 kHz – Part 1: General requirements, frequency bands and electromagnetic disturbances"

[24] CENELEC prEN50XXX: "Emission requirements for apparatus and systems, intended for power line communication in low voltage installations, in the frequency range 1,6 MHz to 30 MHz"

[25] CENELEC prEN50XXX: " Immunity requirements for apparatus and systems, intended for power line communication in low voltage installations, in the frequency range 1,6 MHz to 30 MHz" "

[26] CENELEC prCLC/TR 50XXX: "Guide to standards intended for power line communication in low voltage installations, in the frequency range 1,6 MHz to 30 MHz – Introductory document"

[27] CENELEC EN 55024: 1998, "Information technology equipment – Immunity characteristics – Limits and methods of measurement"

[28] CENELEC EN 50083-8, "Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 8: electromagnetic compatibility for networks", 2002-05-24

[29] "Articles of Accociation of the PLCforum Association" (http://palas.regiocom.net/public/upload/Sharf/D5.pdf)

[30] HomePlug Introduces the Industryžs First High-speed Powerline Home Networking Specification, San Ramon, California, June 26, 2001, www.homeplug.org/news/press062601.html

[31] S. Gardner, B. Markwalker, and L. Youge, "HomePlug Standard Brings Networking to the Home", Commsdesign, January, 2001

[32] HomePlug Powerline Alliance demonstrates HomePlug-certified products at CONNECTIONS 2002, San Ramon, California, May 14, 2002, www.homeplug.org/news/press051402.html

[33] HomePlug Powerline Alliance Unveils Plans For Next Generation Specification, San Ramon, California, October 24, 2002, www.homeplug.org/news/press102402.html

## REVIEW ON NORMISATION AND REGULATION CONCERNING COMMUNICATION THROUGH ELECTRIC POWER LINES, PLC PART I: PLC NORMISATION

The paper gives a review on normisation system for communication through electric power lines, from the first short-range PLC systems known under the name VF connections by VN lines, to today's current wide-range access PLC systems that enable access PLC services and energy PLC services, as well as wide-range PLC systems for communication among information and other electric and electronic appliances in a building.

## DARSTELLUNG DES ZUSTANDES VON NORMATIVE UND REGULATIVE BETREFFEND DIE VERSTÄNDIGUNG MITTELS STARKSTROMLEITUNGEN; PLC (LEISTUNGSLEITENDE-FERNMELDETRÄGER) 1. TEIL: DIE NORMIERUNG

Eine Normierungsübersicht des Verständigungssystems mittels energietragender Leitungen wird dargestellt: angefangen mit den seinerzeitigen Schmalbandträgern, bei uns bekannt als Hochfrequenzverbindungen auf Hochspannungsleitungen, bis auf die heutigen dem allgemeinen Zutritt und der Energieübertragung, sowie der Hausverbindung informatischer und anderer elektrischen und elektronischen Einrichtungen dienenden Breitbandsysteme.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Suzana Javornik Vončina, dipl. ing.**
**Hrvatska elektroprivreda**
**Sektor za poslovnu informatiku**
**Ulica grada Vukovara 37**
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 01 – 13.

## PREOBLIKOVANJE ENERGETSKOG INSTITUTA »HRVOJE POŽAR« U USTANOVU

Vlada Republike Hrvatske na sjednici od 27. ožujka donijela je Uredbu o preoblikovanju energetskog instituta »HRVOJE POŽAR« u ustanovu. Ova Uredba objavljena je u Narodnim novinama broj 52 od 1. travnja 2003. godine.

Prema članku 2. Uredbe ustanova posluje pod nazivom Energetski institut »Hrvoje Požar«. Sjedište ustanove Energetskog instituta »Hrvoje Požar« je u Zagrebu, Savska cesta 163.

U članku 3. je utvrđena djelatnost ustanove koja obuhvaća:

- obavljanje znanstvenih i stručnih poslova u području energetike za potrebe tijela Republike Hrvatske, tijela jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave, Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti, te pravnih osoba koje obavljaju djelatnosti u području energetike
- obavljanje poslova provedbe i promocije energetske politike, osobito korištenja obnovljivih izvora energije i učinkovitog korištenja energije
- izdavanja publikacija
- održavanja savjetovanja, seminara, stručnih radionica i drugih oblika edukacije u području energetike.

Prema članku 4. voditelj ustanove je ravnatelj kojeg imenuje i razrješava Upravno vijeće, na prijedlog Ministarstva gospodarstva.

Ustanovom Energetskog instituta »Hrvoje Požar«, prema članku 5., upravlja Upravno vijeće kojeg čini pet članova koje imenuje i razrješava Vlada Republike Hrvatske.

U članku 6. utvrđeno je da ima znanstveno vijeće, kao kolegijalni stručni organ, a može imati i druge stručne, savjetodavne i nadzorne organe, čiji se sastav i poslovi određuju Statutom.

Imovinu ustanove Energetskog instituta »Hrvoje Požar«, prema članku 8., čini imovina (nekretnine, pokretnine i druga sredstva) koja je na dan upisa ustanove u sudski registar u vlasništvu trgovačkog društva Energetski institut »Hrvoje Požar« d.o.o. Sredstva za rad ostvaruju se iz naknade za obavljanje djelatnosti.

Prema članku 9. ustanova Energetski institut »Hrvoje Požar« svoju djelatnost neće obavljati radi stjecanja dobiti, pa će se dobit ostvarena poslovanjem Ustanove upotrijebiti za obavljanje i razvoj njene djelatnosti.

U članku 10. utvrđeno je da ustanova Energetski institut »Hrvoje Požar« odgovara za obveze cijelom svojom imovinom, a osnivač Ustanove Republika Hrvatska za njene obveze odgovara solidarno i neograničeno.

Gubici Ustanove pokrit će se prvenstveno iz sredstava Ustanove.

SBK

## ENERGETSKA BILANCA

Ministarstvo gospodarstva donijelo je **Pravilnik o energetskoj bilanci** koji je objavljen u Narodnim novinama broj 33 od 5. ožujka 2003. godine.

Ovim Pravilnikom propisuje se sadržaj i način dostave podataka koje su između ostalih i energetski subjekti dužni dostavljati Ministarstvu gospodarstva nadležnom za energetiku radi utvrđivanja prijedloga energetskih bilanci.

Prema članku 3. Pravilnika godišnja energetska bilanca obuhvaća analizu iskorištavanja primarnih oblika energije, energetskih transformacija, uporabe transformiranih oblika, uvoza i izvoza primarnih i transformiranih oblika energije te uporabe pojedinih oblika energije za opskrbu neposrednih kupaca energije.

Godišnja energetska bilanca izrađuje se u tri faze:

1. Prikupljanje podataka i izrada predviđene energetske bilance za sljedeću godinu
2. Mjesečno praćenje ostvarenja karakterističnih veličina iz predviđene energetske bilance
3. Izrada konačne ostvarene energetske bilance po završetku kalendarske godine.

U drugom dijelu Pravilnika definira se prikupljanje podataka:

- za izradu prognoze bilance te
- za izradu ostvarene godišnje energetske bilance.

Također se utvrđuje i način i rokovi dostave podataka.

Prema članku 4. za organizaciju i koordinaciju prikupljanja podataka odgovorno je Ministarstvo godpodarstva.

U člancima 5., 6. i 7. utvrđeni su rokovi i oblik dostave podataka.

U prilogu 1. ovog Pravilnika utvrđena je metodologija, organizacija i dinamika izrade te sadržaj predviđene energetske bilance.

Aktivnosti na izradi godišnje energetske bilance mogu se podijeliti u tri temeljne faze:

- prikupljanje podataka i izrada predviđene energetske bilance za sljedeću godinu
- mjesečno praćenje ostvarenja karakterističnih veličina iz predviđene energetske bilance
- izrada konačne ostvarene energetske bilance po završetku kalendarske godine.

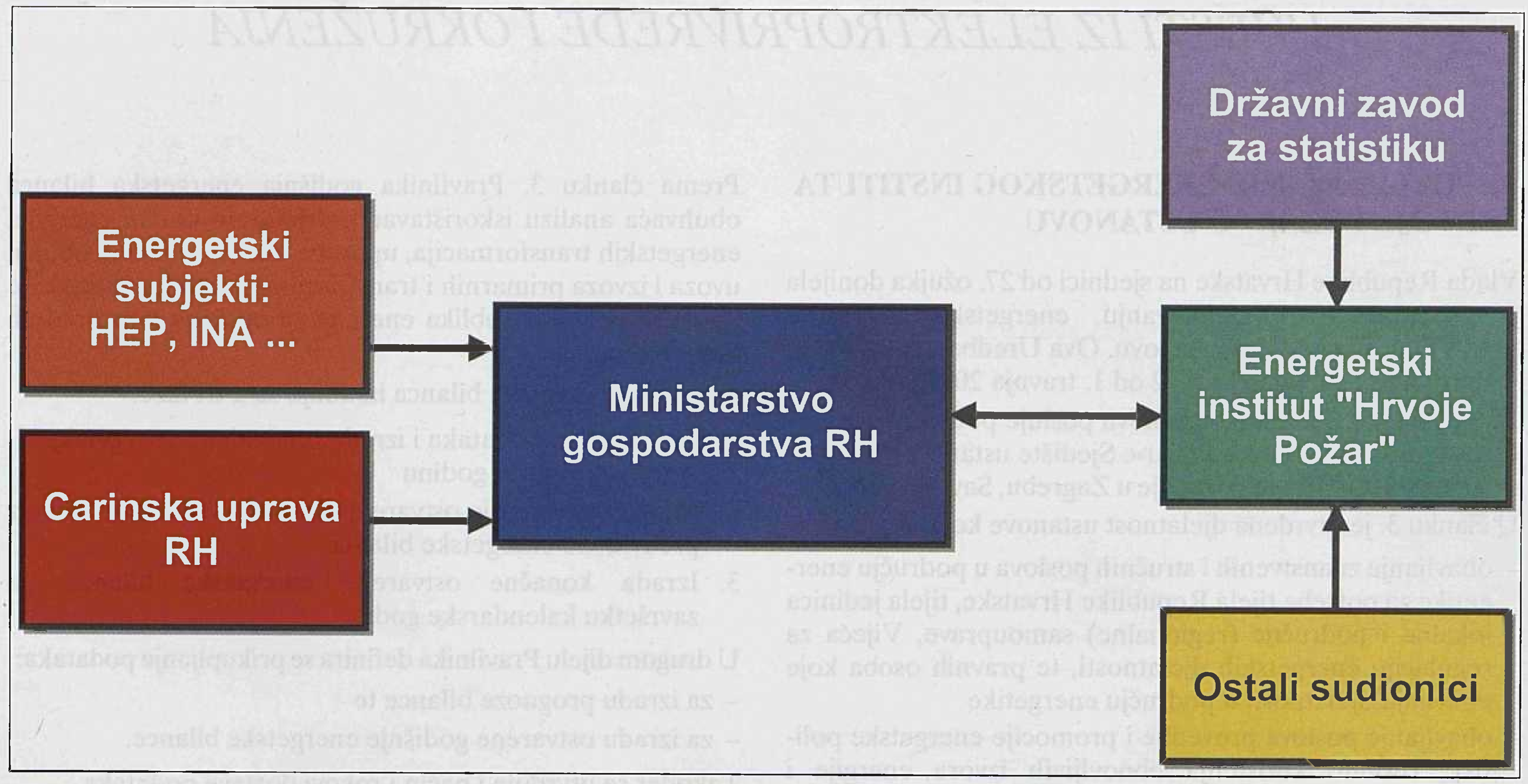
U izradi energetske bilance sudjeluje više subjekata – državne institucije, energetski subjekti i Energetski institut »Hrvoje Požar«. Njihov međusobni odnos prikazan je grafički na slici 1.

Kao što se iz slike 1. vidi Ministarstvo gospodarstva ima središnje mjesto u organizaciji prikupljanja podataka potrebnih za izradu predviđene energetske bilance za sljedeću godinu.

1. Aktivnosti na prikupljanju podataka trebale bi započeti 1. rujna svake godine i tijekom dva sljedeća mjeseca do 1. studenog prikupile bi se osnovne planske veličine.
2. Na temelju tih planskih veličina će se u Energetskom institutu »Hrvoje Požar« do 1. prosinca izraditi prva verzija energetske bilance za sljedeću godinu.
3. Tijekom prosinca osnovna verzija predviđene energetske bilance dodatnim će se usklađivanjima, analizama i provjerama potpuno završiti i dovesti u oblik pogodan za usvajanje.

Prognoza energetske bilance prikazat će se u obliku četiri osnovne tablice:

- ukupno potrebna energija,
- energija za energetske transformacije,
- proizvodnja transformiranih oblika energije,
- struktura potrošnje energije.




**Slika 1 – Grafički prikaz međusobnih odnosa subjekata u izradi energetske bilance**

Da bi se predviđena energetska bilanca i spomenute karakteristične veličine mogle izraditi i pratiti na opisani način, obveza je energetskih subjekata da Ministarstvu gospodarstva dostave planske i ostvarene veličine u odgovarajućem roku. Pri tome planske veličine za sljedeću godinu treba dostaviti najkasnije do 1. studenog, a ostvarene mjesečne veličine najkasnije do 20. dana u sljedećem mjesecu.

Energetski subjekti koji se bave djelatnostima vezanim za električnu ili toplinsku energiju moraju za izradu energetske bilance osigurati sljedeće planske i ostvarene veličine razrađene mjesečno:

- plan i ostvarenje proizvodnje električne energije na generatoru u svakoj termoelektrani, hidroelektrani i dizelskoj elektrani,
- plan i ostvarenje proizvodnje električne energije na pragu u svakoj termoelektrani, hidroelektrani i dizelskoj elektrani,
- plan i ostvarenje uvoza i izvoza električne energije. Ostvarenje uvoza i izvoza treba tako razraditi da se vide količine uvoza, odnosno količine izvoza po državama,
- plan i ostvarenje ukupne potrošnje električne energije, plan i ostvarenje gubitaka prijenosa električne energije, plan i ostvarenje potrošnje izravnih i distributivnih kupaca i plan i ostvarenje gubitaka u distribuciji,
- za svaku termoelektranu i dizelsku elektranu plan i ostvarenje potrošnje goriva, plan i ostvarenje nabave goriva, stanje zaliha na početku godine te plan i ostvarenje punjenja i pražnjenja zaliha,
- za postrojenja koja proizvode toplinsku energiju (TE-TO Zagreb, EL-TO Zagreb i TE-TO Osijek) posebno treba prikazati gorivo za električnu energiju, a posebno gorivo za toplinsku energiju,
- za TE-TO Zagreb, EL-TO Zagreb i TE-TO Osijek prikazati u energetskoj jedinici plan i ostvarenje bruto proizvodnje tehnološke pare i ogrjevne topline, plan i ostvarenje vlastite potrošnje tehnološke pare i ogrjevne topline, odnosno plan i ostvarenje neto proizvodnje tehnološke pare i ogrjevne topline,
- plan i ostvarenje gubitaka u distributivnoj mreži tehnološke pare i ogrjevne topliне u Zagrebu i u Osijeku,
- ostvarenje dotoka u pojedine akumulacije, odnosno dotok na mjerodavnom profilu za svaku hidroelektranu,
- plan i ostvareno stanje u pojedinim akumulacijskim bazenima,
- najmanje i najveće opterećenje sustava.

Prema ovom Pravilniku organizaciju prikupljanja podataka provodi Ministarstvo gospodarstva, dok će Energetski institut »Hrvoje Požar« podatke prikupljati, pohranjivati, analizirati, izraditi energetsku bilancu, i izraditi prikaze plana i ostvarenja karakterističnih veličina iz predviđene energetske bilance.

Ostvarena godišnja energetska bilanca izrađuje se u detaljnijem obliku u odnosu na plan godišnje energetske bilance pa su za njezinu izradu potrebni još i dodatni podaci. Ovisno o potrebama i razvoju tržišta energijom, razvoju statističkih istraživanja i raspoloživosti određenih podataka, svake će se godine procijeniti koji dodatni podaci su potrebni za izradu godišnje energetske bilance.

Dodatni podaci potrebni za izradu ostvarene godišnje energetske bilance prikupit će se između ostalih i od subjekata:

- Državnog zavoda za statistiku
- energetskih subjekata koji obavljaju distribuciju plina
- energetskih subjekata s područja električne energije
- energetskih subjekata s područja toplinske energije
- velikih javnih kotlovnica.

Energetski subjekti za prijenos i distribuciju električne energije moraju dostaviti i podatke o prodaji električne energije na 110 kV, 35 kV, 10 kV i 0,4 kV i to kućanstvima, I. tarifnoj grupi, II. tarifnoj grupi i javnoj rasvjeti, odnosno o prodaji električne energije pojedinim grupama kupaca sukladno važećem tarifnom sustavu.

Na temelju ostvarene energetske bilance u Institutu će se za potrebe Ministarstva gospodarstva izraditi godišnji energetski pregled »Energija u Hrvatskoj«. Taj pregled će osim zadnje godine obuhvatiti i prethodno razdoblje, a Energetski

institut »Hrvoje Požar« obvezuje se da potpuno završi i publicira godišnji energetski pregled najkasnije do kraja godine.

Godišnji energetski pregled publicirat će se dvojezično – na hrvatskom i engleskom jeziku.

SBK

## ODLUKA O PROGLAŠENJU ZAKONA O IZMJENI ZAKONA O GRADNJI

Zakon o gradnji objavljen je u Narodnim novinama broj 55 od 26. svibnja 1999. godine. Od tada do danas uslijedile su izmjene i dopune objavljene u Narodnim novinama broj 75 od 16. srpnja 1999., broj 117 od 24. prosinca 2001. godine te ove zadnje izmjene objavljene u Narodnim novinama broj 47 od 25. ožujka 2003. godine

Prema ovoj izmjeni Ministarstvo ne izdaje više građevnu dozvolu za građevine iz grupe prometa i veza koje se odnose na međunarodne granične prijelaze.

SBK

## IZMJENA ODLUKE O OSNIVANJU NACIONALNOG VIJEĆA ZA ZAŠTITU NA RADU

Odluka o izmjenama Odluke o osnivanju Nacionalnog vijeća za zaštitu na radu, koju je donijela Vlada objavljena je u Narodnim novinama broj 47 od 25. ožujka 2003. godine. Izmjena se odnosi na Odluku objavljenu u Narodnim novinama broj 99 od 6. listopada 2000. godine.

Prema zadnjoj izmjeni Nacionalno vijeće ima predsjednika i deset članova, a čine ga predstavnici države (2), poslodavaca (2), radnika (2) i istaknutih stručnjaka zaštite na radu (5). Predsjednik i članovi Nacionalnog vijeća imenuju se na četiri godine i mogu biti ponovno imenovani.

U Nacionalno vijeće se imenuju:

a) za predsjednika:

- prof dr. sc. Jadranka Mustajbegović, Škola narodnog zdravlja "Andrija Štampar".

b) za članove:

- Fran Marović, Ministarstvo rada i socijalne skrbi
- Nenad Puljić, Državni inspektorat Republike Hrvatske
- Hrvoje Jukić, Hrvatska udruga poslodavaca
- Krešimir Telebec, Hrvatska udruga poslodavaca
- Silvano Hrelja, Savez samostalnih sindikata Hrvatske
- Branko Peran, Hrvatska udruga sindikata
- dr. sc. Nenad Kacijan, Visoka škola za sigurnost na radu s pravom javnosti
- Pave Jukić, Udruga za promicanje zaštite ljudi u radnoj i životnoj okolini
- mr. sc. Slavenka Majski Cesarec, Hrvatsko društvo za medicinu rada Hrvatskog liječničkog zbora
- Boris Čavrak, INA – Rafinerija Sisak.

Administrativne poslove za Nacionalno vijeće obavljat će Ministarstvo rada i socijalne skrbi – Zavod za zaštitu na radu.

SBK

## PRAVILNIK O RAZVRSTAVANJU POSLOVNIH SUBJEKATA PREMA NKD

Ravnatelj Državnog zavoda za statistiku donio je Pravilnik o razvrstavanju poslovnih subjekata prema nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti – NKD 2002, koji je objavljen u Narodnim novinama broj 52 od 1. travnja 2003. godine. Stupanjem na snagu ovog pravilnika prestaje primjena Pravilnika o razvrstavanju poslovnih subjekata prema Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti (Narodne novine broj 22/95).

Ovim Pravilnikom propisuje se sadržaj i način podnošenja prijave za razvrstavanje pravnih osoba, tijela državne vlasti i tijela jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave (poslovni subjekti), postupak razvrstavanja prema Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti – NKD 2002, sadržaj i način izdavanja obavijesti o razvrstavanju, način određivanja matičnog broja te sadržaj, oblik i način vođenja Registra poslovnih subjekata razvrstanih po djelatnostima prema NKD-u 2002.

Obrasci prijava za razvrstavanje poslovnih subjekata s odgovarajućim sadržajem i NKD 2002 s objašnjenjima otiskani su uz ovaj Pravilnik i čine njegov sastavni dio.

Za prijavu su propisani obrasci RPS-1 i RPS-2 ( za dijelove poslovnog subjekta) koji se dostavljaju Državnom zavodu za statistiku.

Državni zavod za statistiku razvrstava poslovni subjekt prema djelatnosti koju pretežito obavlja (glavna djelatnost).

Poslovni subjekti razvrstavaju se prema NKD-u 2002 tako da se utvrđuje podrazred glavne djelatnosti.

Djelatnost dijelova poslovnog subjekta utvrđuje se neovisno o djelatnosti poslovnog subjekta u čijem su sastavu.

Državni zavod za statistiku izdaje poslovnom subjektu obavijest o razvrstavanju poslovnog subjekta koja sadrži: naziv odnosno tvrtku poslovnog subjekta, sjedište i adresu poslovnog subjekta, brojčanu oznaku pravno-ustrojbenog oblika, brojčanu oznaku i naziv podrazreda djelatnosti NKD-a 2002, matični broj poslovnog subjekta, obrazloženje i uputu o pravnom lijeku.

Obavijest o razvrstavanju dijelova poslovnog subjekta sadrži: naziv odnosno tvrtku dijela, sjedište i adresu dijela i brojčanu oznaku podrazreda djelatnosti NKD-a 2002.

Državni zavod za statistiku svakom poslovnom subjektu određuje sedmeroznamenkasti matični broj postupkom dodjele kontrolnog broja po modulu 11, a dijelu poslovnog subjekta određuje se i četveroznamenkasti redni broj uz matični broj.

Matični je broj stalna oznaka svakog poslovnog subjekta.

Matični se broj rabi u svim statističkim istraživanjima i obvezatan je pri razmjeni podataka sa sudovima, tijelima državne vlasti, jedinicama lokalne i područne (regionalne) samouprave i pravnim osobama koje imaju javne ovlasti.

Poslovni subjekti i njihovi dijelovi razvrstani po djelatnostima prema NKD-u 2002 upisuju se u Registar poslovnih subjekata koji vodi Državni zavod za statistiku.

Registar sadrži podatke s obrazaca RPS-1 i RPS-2 i dokumentaciju koja je uz njih priložena.

Registar se sastoji od jedinstvene baze podataka i kartoteke.

Jedinstvena baza podataka vodi se na računalu za svaki poslovni subjekt i njegove dijelove. U bazi podataka vode se i obilježja potrebna za statističke obrade.

Kartoteka registra sastoji se od dosjea poslovnih subjekata. Dosje svakog poslovnog subjekta sadrži sve zaprimljene prijave za razvrstavanje i svu dokumentaciju u svezi s prijavama i promjenama poslovnog subjekta i njegovih dijelova.

Uz Pravilnik priložena je i Nacionalna klasifikacija djelatnosti – NKD 2002 s objašnjenjima. Nastavno se prikazuje dio klasifikacije koji se odnosi na područje E Opskrba električnom energijom, plinom i vodom:

## E Opskrba električnom energijom, plinom i vodom

Ovo područje pokriva djelatnosti osiguravanja električne struje, prirodnog plina, opskrbe pare i opskrbe vode kroz stalnu infrastrukturu linija, vodova i cijevi. Veličina mreže nije mjerodavna; također uključuje opskrbu električnom energijom, plinom, parom i vodom i slično u industrijskim parkovima, blokovima ili stanovima.

Proizvodnja, menadžment infrastrukture i opskrbljivanja konačnog korisnika može biti vođena od iste ili različite jedinice. Jedinice koje se bave opskrbom električnom energijom i/ili plina i/ili pare i tople vode trebaju biti razvrstane prema njihovoj glavnoj djelatnosti.

### 40 opskrba električnom energijom, plinom, parom i toplom vodom

### 40.1 Proizvodnja i distribucija električne energije

### 40.11 Proizvodnja električne energije

### 40.11.0 Proizvodnja električne energije

Ovaj podrazred uključuje:

- djelovanje kapaciteta koji imaju mogućnost proizvodnje električne energije; uključujući termalne, nuklearne, hidroelektrične, parne turbine, dizelske i obnovljive.

### 40.12 Prijenos električne energije

### 40.12.0 Prijenos električne energije

Ovaj podrazred uključuje:

- djelovanje sustava za prijenos koji dovode električnu energiju od kapaciteta koji ju proizvode do distributivnih sustava.

### 40.13 Distribucija i trgovina električnom energijom

### 40.13.0 Distribucija i trgovina električnom energijom

Ovaj podrazred uključuje:

- djelovanje distributivnih sustava (npr. sastoje se od linija, stupa, brojila, žica) koji dovode električnu energiju koju su primili od kapaciteta koji ju je proizveo ili od sustava za prijenos konačnom potrošaču
- prodaju električne energije korisnicima
- djelatnosti brokera za električnu energiju i agenata koji ugovaraju prodaju električne energije distribucijskim sustavom kojim upravljaju drugi.

### 40.2 Proizvodnja plina, distribucija plinovitih goriva distribucijskom mrežom

### 40.21 Proizvodnja plina

### 40.21.0 Proizvodnja plina

Ovaj podrazred uključuje:

- proizvodnju plina s namjenom opskrbe plinom karbonizacijom ugljena, od nusproizvoda poljoprivrede ili od ostataka
- proizvodnju plinovitih goriva s određenom kaloričnom vrijednosti pročišćavanjem, miješanjem i drugim postupcima od plinova različitih vrsta uključujući prirodni plin.

*Ovaj podrazred isključuje:*

- *djelovanje koksara, vidi 23.10.0*
- *proizvodnju rafiniranih naftnih proizvoda, vidi 23.20.0*
- *proizvodnju industrijskih plinova, vidi 24.11.0*
- *prodaju plinovitih goriva u rinfuzi ili bocama, ili njihovu prodaju u kontejnerima, vidi 51.12.0, 51.51.0, 52.48.6 i 52.6.*

### 40.22 Distribucija i trgovina plinovitim gorivima distribucijskom mrežom

### 40.22.0 Distribucija i trgovina plinovitim gorivima distribucijskom mrežom

Ovaj podrazred uključuje:

- prijevoz, distribuciju i opskrbu plinovitim gorivima svih vrsta distribucijskom mrežom
- prodaju plina korisniku vodom
- djelatnosti brokera za plin i agenata koji ugovaraju prodaju plina distribucijskim sustavom kojim upravljaju drugi.

*Ovaj podrazred isključuje:*

- *prodaju plinovitih goriva u rinfuzi ili bocama, ili njihovu prodaju u kontejnerima, vidi 51.12.0, 51.51.0, 52.48.6 i 52.6.*
- *prijevoz plina cjevovodima (a ne vodovima), vidi 60.30.0.*

### 40.3 Opskrba parom i toplom vodom

### 40.30 Opskrba parom i toplom vodom

### 40.30.0 Opskrba parom i toplom vodom

Ovaj podrazred uključuje:

- proizvodnju, skupljanje i distribuciju pare i tople vode za grijanje, pogonske i ostale svrhe.

SBK

## HE ORLOVAC NAKON 30 GODINA RADA

Hidroelektrana Orlovac nalazi se u selu Rude, sjeveroistočno od Sinja (slika 2). Izgrađena je u sklopu energetskog iskorištenja šireg slijeva rijeke Cetine.

Prema osnovnoj koncepciji energetskog rješenja trebalo je:

- površinske vode kraških polja privesti u akumulaciju Buško blato i
- koristiti ih na raspoloživom padu od oko 400 m do Sinjskog polja, a potom u nizvodnim hidroelektranama do mora
- zaštititi kraška polja od plavljenja
- ponore izolirati tako da mogu biti aktivirani kada je potrebno
- u gornjem toku rijeke Cetine izgraditi akumulaciju Peruča, radi vodnog izravnanja Cetine i korištenja voda u donjem toku, gdje je koncentriran najveći energetski potencijal HE Zakučac.

Tako postavljenja koncepcija najvećim je dijelom i realizirana, pa se raspoloživi hidroenergetski potencijal koristi oko 85 %.

Zbog energetske vrijednosti akumulacije Buško blato, HE Orlovac (slika 3) najznačajnije je postrojenje u cijelom slijevu Cetine. Akumulacija Buško blato puni se vodom vlastitog slijeva i vodom s horizonta Livanjskog polja. Vode se privode u akumulaciju sustavom kanala različitih kapaciteta ukupne dužine preko 80 km. Reverzibilno postrojenje u crpnoj stanici Buško blato, kapaciteta 70 $m^3/s$, prevodi vode iz reverzibilnog kanala u akumulaciju i iz akumulacije u kanal i dalje prema elektrani.

Osnovni podaci o elektrani prikazani su u tablici 1.

Akumulacija Buško blato, maksimalne kote uspora 716,40 m madmorske visine, ima volumen od 8000 $m^3$. Crpna stanica Buško blato smještena je uz branu Podgradina. Pri izboru rada i opreme trebalo je zadovoljiti sljedeće uvjete rada:

- crpljenje vode iz reverzibilnog kanala u akumulaciju
- turbinski pogon pri pražnjenju akumulacije, kada agregati proizvode električnu energiju
- crpljenje vode iz akumulacije kod nižih kota vode u akumulaciji da bi se zadovoljila potrebna količina vode za pogon HE Orlovac.




**Slika 2 – HE Orlovac – Situacija**



**Slika 3 – HE Orlovac**

Postavljene uvjete zadovoljavaju tri crpnoturbinska reverzibilna agregata sljedećih karakteristika:

- crpka: $Q_i$ = 23,3/23,3/8 $m^3/s$, H = 15,6/12,9/3 m
- asinkroni dvobrzinski motorgenerator snage 3,4/1,6 MW.

U crpnoj stanici Buško blato ugrađena su dva trofazna transformatora po 12 MVA , prijenosnog omjera 110/6 kV.

Mjesečna proizvodnja (MWh) HE Orlovac prikazana je u tablici 2. , a prosječna mjesečna proizvodnja za razdoblje od 1973. do 2003. godine dijagramom na slici 4.

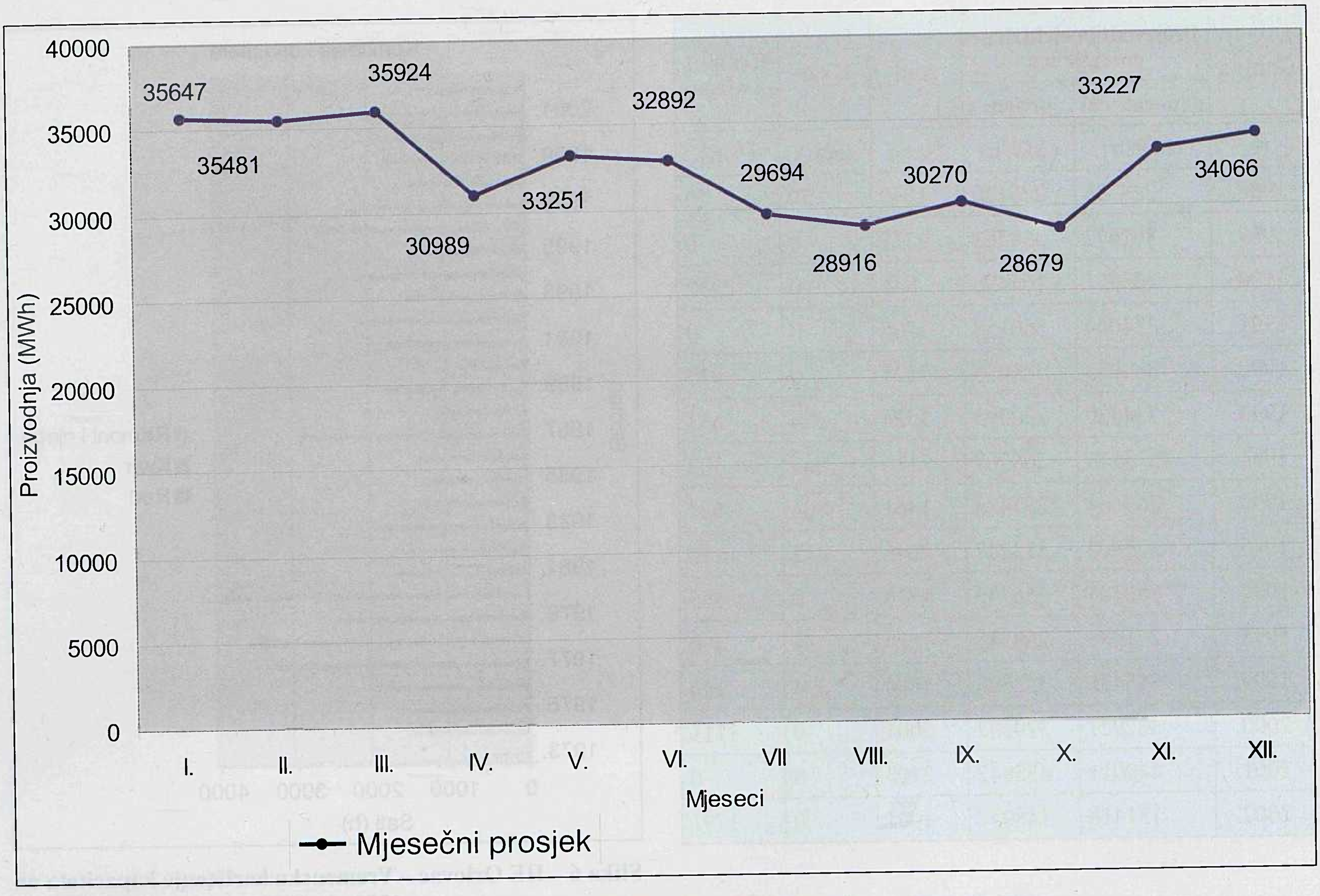
Najveća prosječna mjesečna proizvodnja ostvarena je u mjesecu ožujku u iznosu od 35924 mWh, a najniža u mjesecu listopadu u iznosu od 28679 MWh.

**Talica 1 – HE Orlovac – Osnovni podaci**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Akumulacija Buško blato** | | | |
| Uspor | - maksimalni radni | (m.n. m.) | 716,40 |
| | - minimalni radni | (m.n. m.) | 700,20 |
| Volumen | - maksimalnog uspora | ($hm^3$) | 800 |
| | - minimalnog uspora | ($hm^3$) | 18 |
| | - korisni | ($hm^3$) | 782 |
| | | | |
| **Akumulacija Mandak** | | ($hm^3$) | 3,5 |
| | | | |
| **Kompemzacioni bazen Lipa** | | | |
| Uspor | - maksimalni radni | (m.n. m.) | 703,5 |
| | - maksimalni preljevni | (m.n. m.) | 704,0 |
| | - minimalni radni | (m.n. m.) | 699,5 |
| Volumen | - maksimalnog radnog uspora | ($hm^3$) | 1,60 |
| | - minimalnog radnog uspora | ($hm^3$) | 0,22 |
| | - korisni | ($hm^3$) | 1,38 |
| | | | |
| **Energetska vrijednost** korisnog volumena akumulacija u odnosu na HE Orlovac | | | |
| - Buško blato | | (GWh) | 750 |
| - Lipa | | (GWh) | 1,4 |
| - Mandak | | (GWh) | 3,3 |
| | | | |
| **Hidroelektrana** | | | |
| Bruto pad | | (m) | 403,7 |
| Konstruktivni pad turbine | | (m) | 380 |
| Snaga turbine | | (MW) | 79 |
| Tip i broj | | Kom | Francis, 3 |
| Snaga generatora | | (MVA) | 83 |
| Faktor snage | | (cos φ) | 0,95 |
| Srednji energetski ekvivalent | | ($kWh/m^3$) | 0,94 |
| Instalirana snaga elektrane | | (MW) | 237 |
| Instalirani protok | | ($m^3/s$) | 70 |
| Brzina vrtnje agregata | | ($m^{-1}$) | 500 |
| | | | |
| **Energija** | | | |
| Maksimalna godišnja | | (GWh) | 870 |
| Minimalna godišnja | | (GWh) | 151,4 |
| Prosječna godišnja | | (GWh) | 352,9 |

**Tablica 2 – HE Orlovac – Prosječna mjesečna proizvodnja u razdoblju od 1973. do 2003.**

| Mjeseci | Mjesečna proizvodnja (MWh) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Godina | I. | II. | III. | IV. | V. | VI. | VII | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. |
| 1973. | 0 | 0 | 770 | 12331 | 10277 | 10278 | 10279 | 10280 | 10281 | 10282 | 10283 | 10284 |
| 1974. | 48724 | 27192 | 36067 | 65858 | 10577 | 16268 | 3341 | 32677 | 5432 | 32123 | 29595 | 46551 |
| 1975. | 36754 | 79594 | 12127 | 6122 | 4840 | 4840 | 4840 | 4840 | 4840 | 4840 | 4840 | 4840 |
| 1976. | 71174 | 22385 | 23552 | 22559 | 14467 | 14467 | 14467 | 14467 | 14467 | 14467 | 14467 | 14467 |
| 1977. | 46703 | 87303 | 66566 | 58280 | 56106 | 68368 | 16847 | 48771 | 69556 | 39823 | 47207 | 58396 |
| 1978. | 46874 | 40389 | 12359 | 27779 | 54456 | 104477 | 118176 | 53170 | 94109 | 91994 | 89558 | 18824 |
| 1979. | 31637 | 42777 | 50876 | 35505 | 33058 | 38495 | 19429 | 22031 | 33867 | 35655 | 55361 | 58396 |
| 1980. | 102152 | 99987 | 99084 | 100191 | 90221 | 148355 | 57594 | 5708 | 3385 | 11293 | 46380 | 51466 |
| 1981. | 41240 | 50129 | 42328 | 37030 | 34444 | 21634 | 20671 | 13551 | 11180 | 18340 | 18908 | 24169 |
| 1982. | 48666 | 65102 | 23469 | 29101 | 24387 | 24412 | 12953 | 13119 | 11912 | 5525 | 35002 | 51594 |
| 1983. | 17086 | 36899 | 55451 | 19746 | 54854 | 4456 | 43378 | 45733 | 46916 | 13442 | 14399 | 16318 |
| 1984. | 27503 | 20167 | 44704 | 26903 | 8573 | 11414 | 23453 | 36115 | 7059 | 11603 | 8614 | 47281 |
| 1985. | 43856 | 25286 | 82869 | 24764 | 35382 | 2204 | 0 | 3165 | 1697 | 0 | 26711 | 56391 |
| 1986. | 23842 | 17924 | 8538 | 13457 | 32881 | 2037 | 16989 | 24686 | 19509 | 30942 | 43504 | 38357 |
| 1987. | 39665 | 28055 | 11571 | 15231 | 13027 | 5716 | 6227 | 17094 | 60825 | 22247 | 22180 | 9526 |
| 1988. | 8122 | 17955 | 20843 | 25209 | 21031 | 10379 | 23213 | 23118 | 14094 | 18837 | 30853 | 16155 |
| 1989. | 19372 | 19425 | 89047 | 76322 | 59646 | 59646 | 59646 | 59646 | 59646 | 59646 | 59646 | 59646 |
| 1990. | 6632 | 6400 | 11720 | 40158 | 36500 | 36500 | 36500 | 36500 | 36500 | 36500 | 36500 | 36500 |
| 1991. | 30401 | 26765 | 28996 | 36701 | 28129 | 28129 | 28129 | 28129 | 28129 | 28129 | 28129 | 28129 |
| 1992. | 36442 | 68052 | 43746 | 25576 | 61207 | 61207 | 61207 | 61207 | 61207 | 61207 | 61207 | 61207 |
| 1993. | 72551 | 20930 | 30657 | 10963 | 39454 | 39454 | 39454 | 39454 | 39454 | 39454 | 39454 | 39454 |
| 1994. | 63 | 1092 | 7321 | 8664 | 1129 | 1129 | 1129 | 1129 | 1129 | 1129 | 1129 | 1129 |
| 1995. | 42676 | 22032 | 10584 | 9392 | 5027 | 5027 | 5027 | 5027 | 5027 | 5027 | 5027 | 5027 |
| 1996. | 24631 | 28605 | 63661 | 30839 | 20262 | 20262 | 20262 | 20262 | 20262 | 20262 | 20262 | 20262 |
| 1997. | 22153 | 28789 | 42880 | 52021 | 59036 | 59036 | 59036 | 59036 | 59036 | 59036 | 59036 | 59036 |
| 1998. | 13862 | 19780 | 38289 | 14386 | 12637 | 12637 | 12637 | 12637 | 12637 | 12637 | 12637 | 12637 |
| 1999. | 28831 | 23118 | 14958 | 5301 | 19932 | 19932 | 19932 | 19932 | 19932 | 19932 | 19932 | 19932 |
| 2000. | 76526 | 40787 | 46052 | 29090 | 74664 | 74664 | 74664 | 74664 | 74664 | 74664 | 74664 | 74664 |
| 2001. | 11516 | 49213 | 36660 | 51383 | 73882 | 73882 | 73882 | 73882 | 73882 | 73882 | 73882 | 73882 |
| 2002. | 14114 | 12814 | 21970 | 18798 | 7453 | 7453 | 7453 | 7453 | 7453 | 7453 | 7453 | 7453 |
| **Mjesečni prosjek** | **35647** | **35481** | **35924** | **30989** | **33251** | **32892** | **29694** | **28916** | **30270** | **28679** | **33227** | **34066** |




**Slika 4 – HE Orlovac – Prosječna mjesečna proizvodnja od 1973. do 2003.**

Korištenje kapaciteta u HE Orlovac prikazano je u tablici 3. te dijagramima na slikama 5., 6., 7. i 8.

Prikazana je godišnja proizvodnja na generatoru i pragu, godišnji sati rada elektrane, sati stajanja zbog kvara te vrijeme utrošeno na remont i njegu.

Na slici 5. dijagramom je prikazana godišnja proizvodnja električne energije na generatoru i na pragu te radni sati elektrane.

Najveća proizvodnja električne energije u HE Orlovac ostvarena je 1980. godine u iznosu 817 GWh, dok je najniža ostavrena u 2002. godini u iznosu od 151,4 GWh. Treba napomenuti da je te godine zbog remonta i njege u trajanju od 1791 sat elektrana bila van pogona.

Dijagram na slici 6. prikazuje vremensko korištenje kapaciteta elektrane, odnosno sate rada, stajanje zbog kvara te vrijeme utrošeno na remonte i njegu.

U tridesetogodišnjem razdoblju elektrana je radila ukupno 56853 sata, odnosno prosječno godišnje 1895 sati.

Dijagram na slici 7. prikazuje ukupno godišnje stajanje zbog kvara.

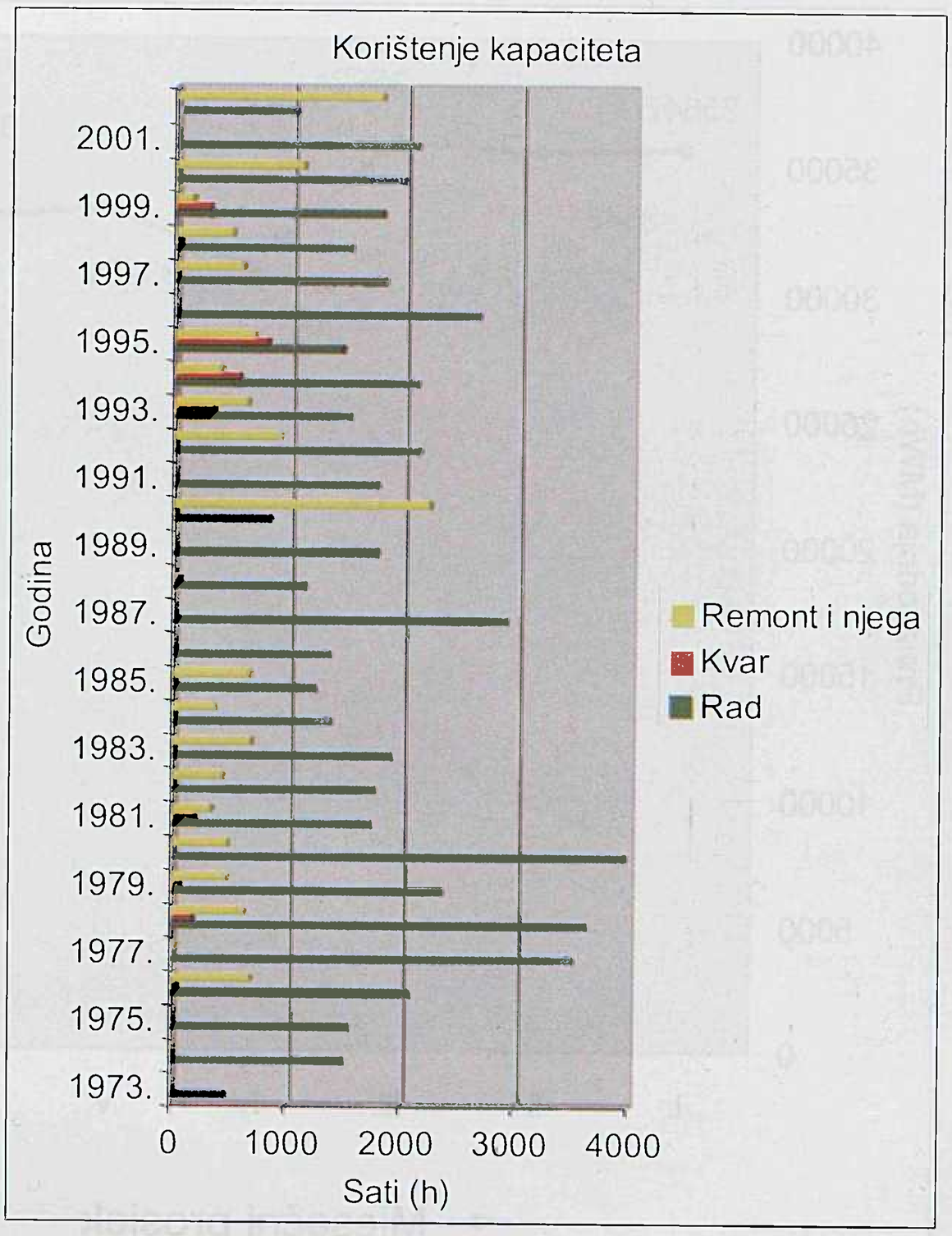
U tridesetogodišnjem razdoblju ukupno stajanje zbog kvara trajalo je 2557 sati. U promatranom razdoblju tijekom 17 godina nije bilo stajanja zbog kvara. U preostalih trinaest godina prosječno godišnje stajanje zbog kvara iznosi 197 sati. Najduži zastoj zbog kvara bio je u 1995. godini u iznosu od 804 sata.

Dijagram na slici 8. prikazuje utrošeno vrijeme na remont i njegu. Kao što je vidljivo najviše vremena je utrošeno u 1990. (2232 sata), 2000. (1111 sati)i 2002. godini (1791 sat).

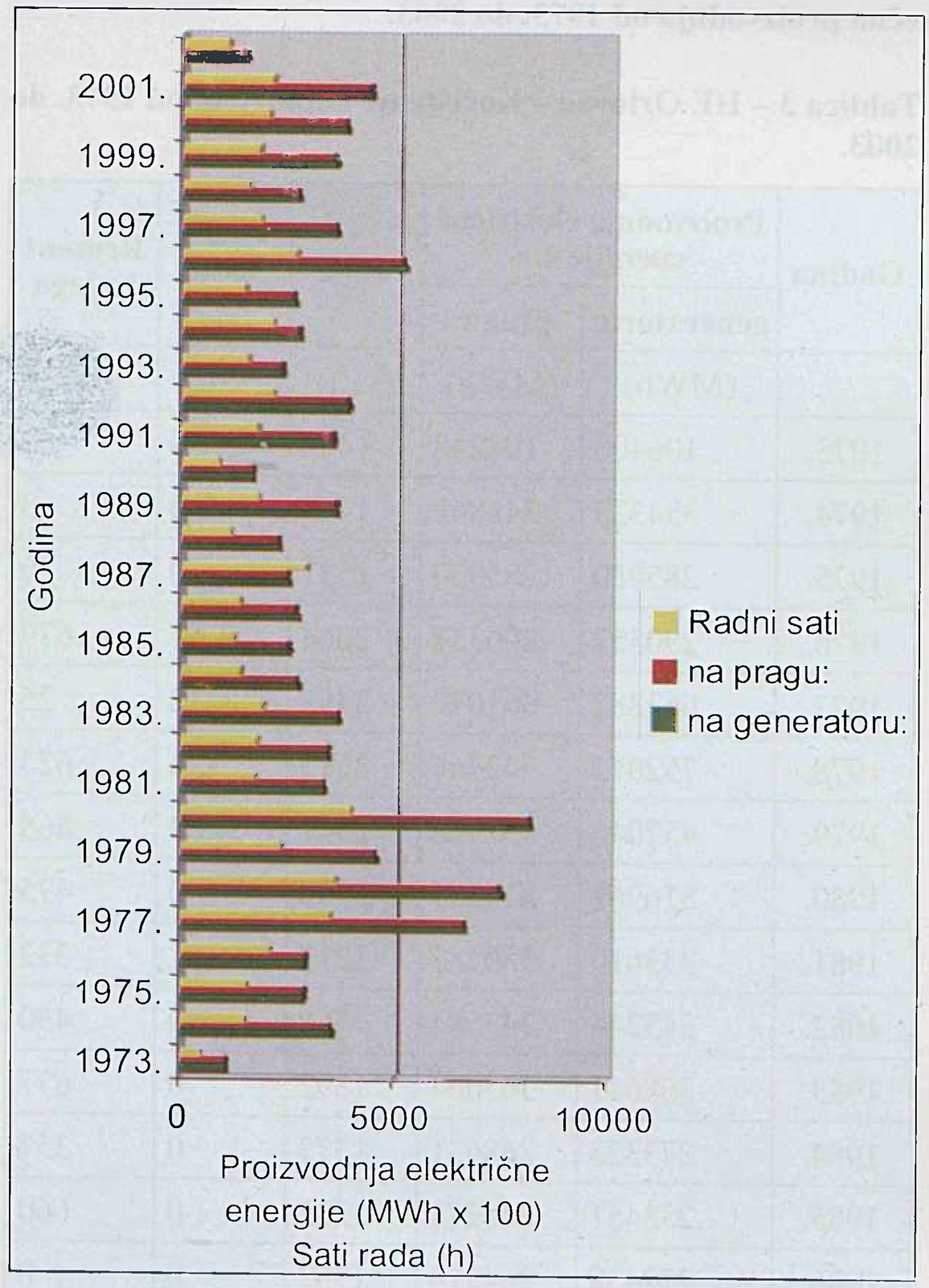
**Tablica 3 – HE Orlovac – Korištenje kapaciteta od 1973. do 2003.**

| Godina | Proizvodnja električne energije na: | | Rad | Kvar | Remont i njega |
|---|---|---|---|---|---|
| | generatoru: | pragu: | | | |
| | (MWh) | (MWh) | (sati) | (sati) | (sati) |
| 1973. | 106408 | 104248 | 454 | 0 | 0 |
| 1974. | 354323 | 348842 | 1485 | 0 | 0 |
| 1975. | 285930 | 285930 | 1531 | 0 | 0 |
| 1976. | 290357 | 290357 | 2064 | 31 | 679 |
| 1977. | 663882 | 661072 | 3492 | 12 | 25 |
| 1978. | 752072 | 742764 | 3613 | 176 | 623 |
| 1979. | 457046 | 451968 | 2347 | 63 | 465 |
| 1980. | 816961 | 814185 | 3950 | 0 | 475 |
| 1981. | 333610 | 330787 | 1717 | 191 | 332 |
| 1982. | 345244 | 343584 | 1760 | 10 | 430 |
| 1983. | 368641 | 365064 | 1892 | 0 | 677 |
| 1984. | 273323 | 268631 | 1373 | 0 | 357 |
| 1985. | 253451 | 248271 | 1232 | 0 | 660 |
| 1986. | 272438 | 264514 | 1352 | 0 | 0 |
| 1987. | 251210 | 245003 | 2905 | 0 | 0 |

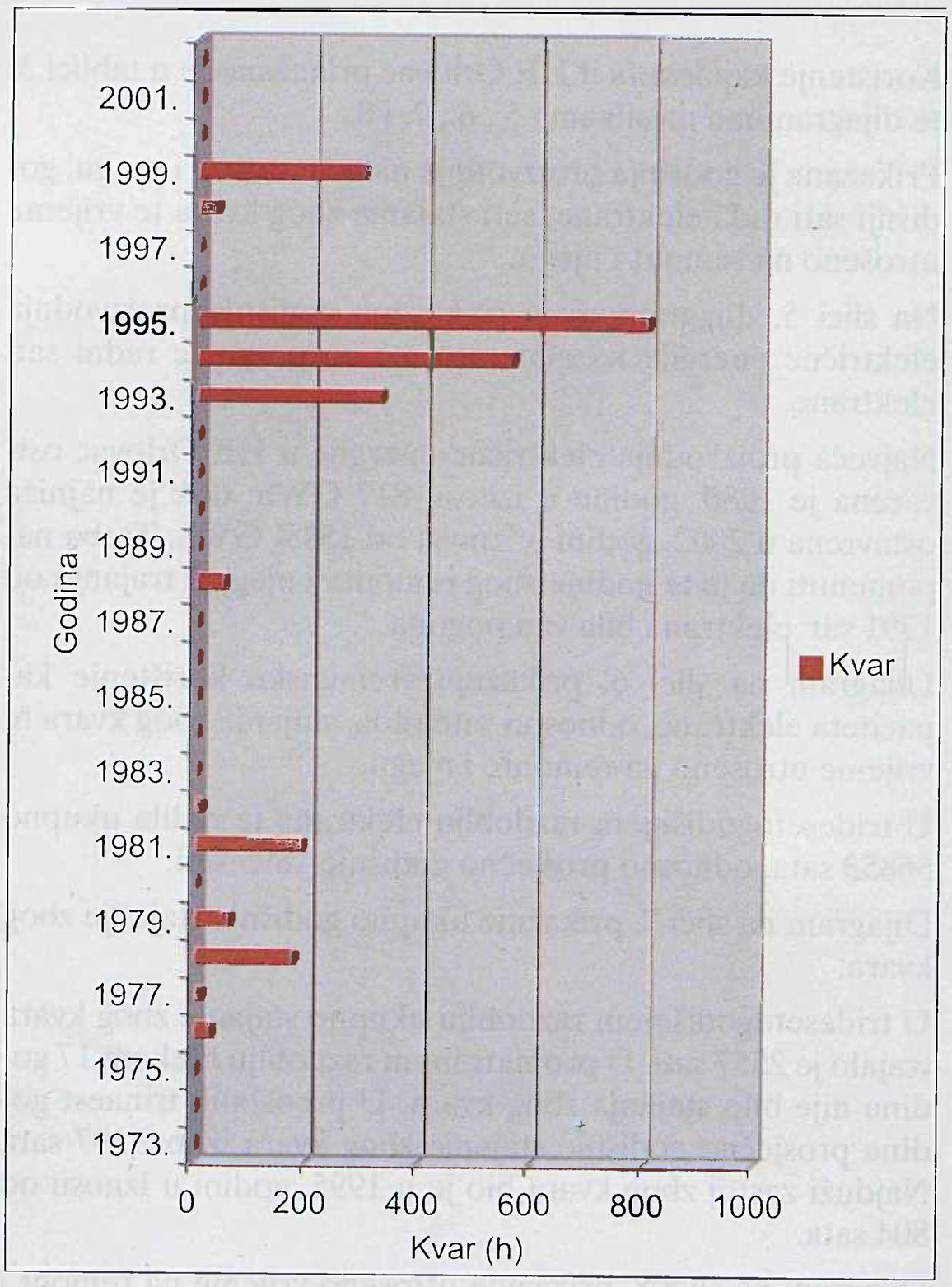
| Godina | Proizvodnja električne energije na: | | Rad | Kvar | Remont i njega |
|---|---|---|---|---|---|
| | generatoru: | pragu: | | | |
| | (MWh) | (MWh) | (sati) | (sati) | (sati) |
| 1988. | 229726 | 225120 | 1140 | 50 | 0 |
| 1989. | 361672 | 358261 | 1773 | 0 | 0 |
| 1990. | 165951 | 164498 | 831 | 0 | 2232 |
| 1991. | 354064 | 350158 | 1765 | 0 | 0 |
| 1992. | 389933 | 385036 | 2127 | 0 | 917 |
| 1993. | 234520 | 230593 | 1524 | 328 | 633 |
| 1994. | 275145 | 268767 | 2116 | 563 | 402 |
| 1995. | 263644 | 257438 | 1461 | 804 | 689 |
| 1996. | 522308 | 513747 | 2648 | 1 | 12 |
| 1997. | 360705 | 356745 | 1816 | 0 | 585 |
| 1998. | 271083 | 268545 | 1526 | 34 | 490 |
| 1999. | 358435 | 352095 | 1804 | 294 | 146 |
| 2000. | 382921 | 379582 | 2001 | 0 | 1111 |
| 2001. | 440011 | 435942 | 2103 | 0 | 0 |
| 2002. | 151418 | 148037 | 1051 | 0 | 1791 |



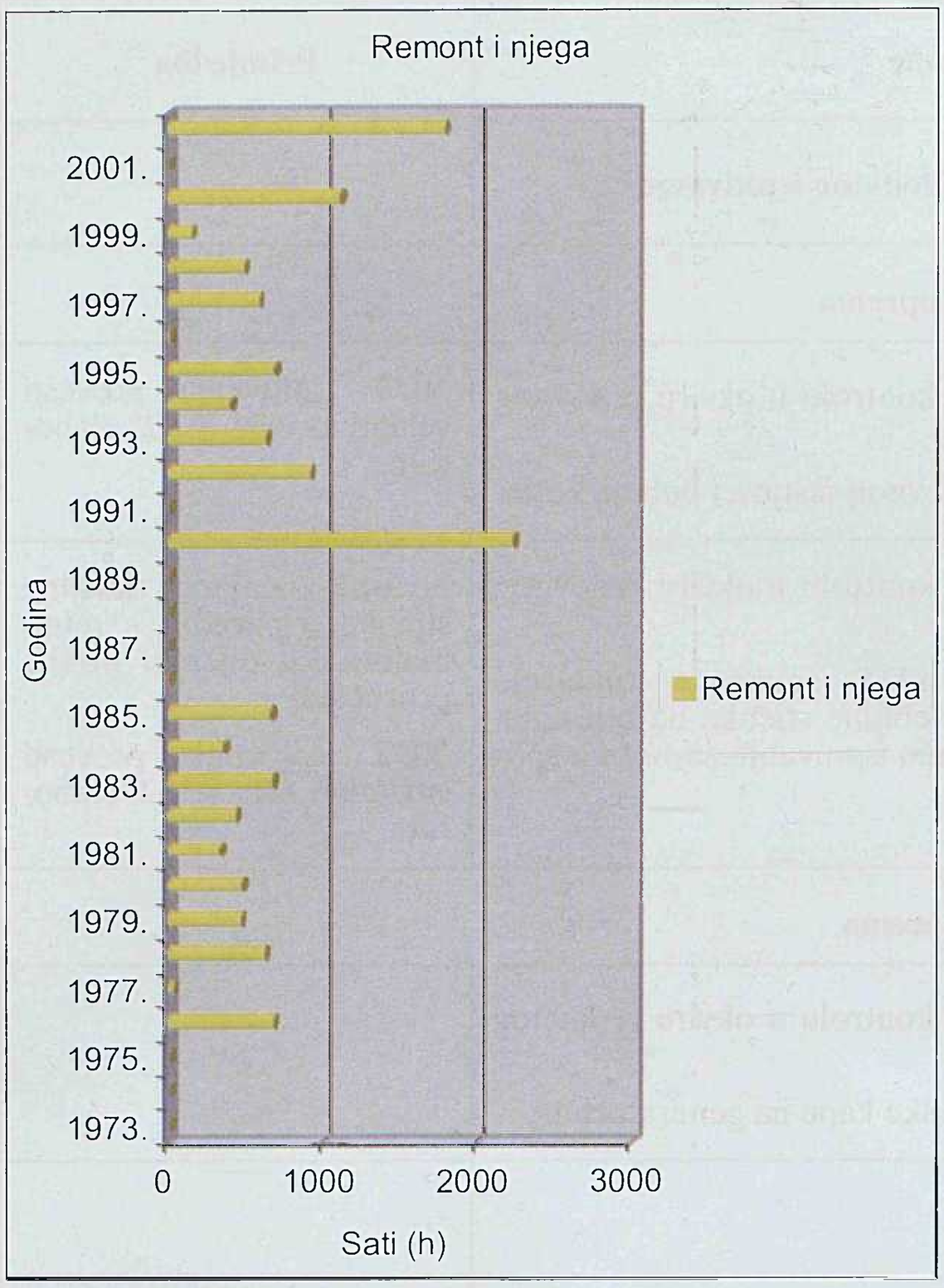

**Slika 6 – HE Orlovac – Vremensko korištenje kapaciteta od 1973. do 2003.**




**Slika 5 – HE Orlovac – Proizvodnja električne energije na generatoru i pragu od 1973. d0 2003.**




**Slika 7 – HE Orlovac – Vrijeme trajanja kvara od 1973. do 2003.**




**Slika 8 – HE Orlovac – Vrijeme utrošeno na remont i njegu od 1973. do 2003.**

SBK

## ANALIZA STANJA I PROCJENA OSTATNOG ŽIVOTNOG VIJEKA VITALNE OPREME POSTROJENJA PTE OSIJEK

Za potrebe Hrvatske elektroprivrede elaborat pod gornjim nazivom načinio je Ekonerg početkom 2003. godine. Elaborat je načinjen prema projektnom zadatku HEP-Sektora za razvoj. Kako je u projektnom zadatku navedeno kod PTE Osijek osnovni se dijelovi opreme nalaze pri kraju životne dobi, pa je zbog toga nužno napraviti analizu stanja i procijeniti ostatni životni vijek vitalnih komponenata strojarske, elektroenergetske i MRU opreme i građevina. Treba načiniti prijedlog što treba poduzeti da bi se životni vijek elektrane kao cjeline produžio.

U elaboratu je priložena i fotodokumentacija iz koje se dobro vide oštećenja na pojedinoj opremi i građevinskim objektima.

U zaključku elaborata dan je pregledan tabelarni prikaz iz kojeg se vidi stanje vitalnih dijelova i mjere za produženje životnog vijeka kao i dodatna ispitivanja, koji se u cijelosti prenosi:

| Dio postrojenja | Ocjena stanja / preporuke | | Primjedba |
|---|---|---|---|
| | Potrebne mjere za produljenje životnog vijeka | Potrebna dodatna ispitivanja | |
| **Strojarska oprema** | | | |
| Plinsko-turbinski agregat PTA1 | Zamjena prvog reda statorskih i rotorskih lopatica svakih 30 tisuća ekvivalentnih sati rada (2500 sati rada godišnje)<br>PTA1 2010. godine | Provoditi redovito održavanje. Nakon pojave tragova oštećenja visokotemperaturno opterećenih dijelova, treba provoditi učestalije preglede radi utvrđivanja brzine napredovanja oštećenja. | U PTA1 ugrađeni su vitalni dijelovi prema tablici 6.1.1.1-1 iz elaborata. Visokotemperaturno opterećenih diejlovi podlžoni su ubrzanom trošenju te se kao takvi periodički zamjenjuju. |
| Plinsko-turbinski agregat PTA2 | Zamjena pumpe goriva kod PTA2 u najkraćem mogućem roku. | Nakon zamjenepotrebno je podešavanje regulacije izgaranja na tekuće gorivo. | Bez zamjene pumpe goriva PTA2 ne može raditi na tekuće gorivo. |
| | Zamjena prvog reda statorskih i rotorskih lopatica svakih 30 tisuća ekvivalentnih sati rada<br>PTA2 2008. godine | Provoditi redovito održavanje. Posebno treba obratiti pozornost na poprećne plamene cijevi koje nisu zamijenjene u remontu 2002. godine, sanirane pukotine na lopaticama 2. stupnja statora i ardijacijske limove komore izgaranja br. 1.<br>Nakon pojave tragova oštećenja visokotemperaturno opterećenih dijelova, treba provoditi učestalije preglede radi utvrđivanja brzine napredovanja oštećenja. | Visokotemperaturno opterećenih diejlovi podložni su ubrzanom trošenju te se kao takvi periodički zamjenjuju. |

| Dio postrojenja | Ocjena stanja / preporuke | | Primjedba |
|---|---|---|---|
| | **Potrebne mjere za produljenje životnog vijeka** | **Potrebna dodatna ispitivanja** | |
| **Strojarska oprema** | | | |
| Kotao na otpadnu toplinu KNOT | Korektivne akcije provesti nakon analize rezultata ispitivanja. | Provoditi nadzor i kontrolu u okviru redovitog održavanja.<br>NDT ispitivanja cijevnog sustava i bubnja kotla. | NDT ispitivanja provesti sukladno očki 8.1.2. elaborata. |
| Parovod svježe pare KNOT - razdjelnik | Korektivne akcije provesti nakon analize rezultata ispitivanja. | Provoditi nadzor i kontrolu u okviru redovitog održavanja.<br>Provesti dodatna nDT ispitivanja unutarnje stjenke, mjerenje debljine stjenke na mjestima korozijskih oštećenja, ispitivanje zavarenih spojeva. | Stvarne izmjere debljine stjenke usporediti s minimalno dozvoljenim prema proračunu.<br>NDT ispitivanja provesti sukladno očki 8.132. elaborata. |
| **Elektrooprema** | | | |
| Električki generator | Mjerenje svih parametara relevantnih za ocjenu starenja ne kasnije od 2003. godine. | Provoditi nadzor i kontrolu u okviru redovitog održavanja.<br>Ispitati stanje rotorske kape na generatorima. | |
| Generatorske zaštite | Zamjena kod PTA1 u 2003. godini, a kod PTA2 do 2012. godine. | | |
| Generatorski uzbudni sustav | Zamijeniti statičkim uzbudnim sustavom kod PTA1 u 2003. godini, a kod PTA2 do 2012. godine. | | |
| Energetski tarnsformatori | Korektivne akcije u slučaju potrebe. | Provoditi nadzor i kontrolu u okviru redovitog održavanja.<br>Ompletirati dokumentaciju o ispitivanju papirnate izolacije. | |
| Rasklopno postrojenje | Zamjena 10 kV prekidača u 2003. godini. | Provoditi nadzor i kontrolu u okviru redovitog održavanja. | |
| **MRU oprema** | | | |
| Plinsko-turbinski agregat PTA1 | Zamijeniti perifernu opremu nadzora i zamijeniti operacijsko računalo upravljačkog sustava Turbocon. | Redovito u okviru remonta izvršiti umjeravanje i kontrolu ispravnosti kompletne opreme, otkloniti grješke.<br>Kontrolirati pojedine sekvence programa.<br>Dnevno kontrolirati ispravnost uređaja. | Uređaje koji češće pokazuju odstupanja od nazivnih parametara zamijeniti.<br>Ugraditi KRD. |
| Plinsko-turbinski agregat PTA2 | Zamijeiti kompletan upravljački sustav Speedtronic sa sustavom Turbocon te zamijeniti perifernu opremu nadzora. | Redovito u okviru remonta izvršiti umjeravanje i kontrolu ispravnosti kompletne opreme, otkloniti grješke.<br>Kontrolirati pojedine sekvence programa.<br>Dnevno kontrolirati ispravnost uređaja. | Uređaje koji češće pokazuju odstupana od nazivnih parametara zamijeniti.<br>Ugraditi KRD. |
| Kotao na otpadnu toplinu KNOT | Potrebna zamjena mjerenja temperatura i prigona. | | |

| Dio postrojenja | Ocjena stanja / preporuke | | Primjedba |
|---|---|---|---|
| | Potrebne mjere za produljenje životnog vijeka | Potrebna dodatna ispitivanja | |
| Građevinski dio | | | |
| Glavni građevinski objekti | Korektivne akcije u slučaju potrebe. | Provoditi nadzor i kontrolu u okviru redovnog održavanja. | |
| Nosive konstrukcije | Korektivne akcije u slučaju potrebe. | | |
| Građevine | | | |



## DEGRADACIJSKI PROCESI NA DEPONIJAMA KAMENOG UGLJENJA I NJIHOV UTJECAJ NA KAKVOĆU OKOLIŠA

Krajem 2002. godine dovršena je studija pod gornjim naslovom. Glavni autori studije su djelatnici Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu. Projektni zadatak je izradio HEP-Sektor za razvoj. Cilj je bio dobivanje uvida u kompleksni proces degradacije kakvoće kamenog ugljena na deponijama termoelektrana te dobivanje osnove za njihovo projektiranje i izgradnju. Također je bilo potrebno sagledati i procijeniti složeni utjecaj deponija kamenog ugljena na okoliš s posebnim osvrtom na deponije uvoznog ugljena za elektranu snage 800 – 1000 MW na ranije nominiranim lokacijama u priobalju i u unutrašnjosti.

Studija se sastoji od desetak dijelova u kojima su razmatrani:

- osobine i svojstva kamenog ugljena
- uvjeti za smještaj kamenog ugljena
- klasifikacija skladišta
- tehnologija skladištenja ugljena
- strojevi za skladištenje
- utjecaji skladišta ugljena na okoliš
- mjere zaštite
- referentna skladišta ugljena.

U dodatku I. razmatrane su mogućnost i granice ekonomičnog korištenja uvoznih ugljena u izgrađenim termoelektranama, a dodatku II. analiza svojstava izgaranja ugljena.

Prema ocjeni povjerenstva za reviziju studije, studija je u pogledu sadržaja u potpunosti odgovorila postavljenom projektnom zadatku. Prema zaključcima:"

- Studija pruža cjelovit i sustavan uvid u mehanizme nastanka procesa oksidacije, samosagorijevanja i samozapaljenja ugljena i utvrdila je degradacijske procese na deponijima kamenog ugljena. Razvidno je ukazala i na utjecaj deponija na okoliš te na preventivne mjere zaštite okoliša. Sadrži dovoljno podloga i podataka te, zbog toga, može poslužiti kao priručnik za projektante, pogonsko osoblje termoelektrane i druge korisnike.
- S obzirom na naslov studije, preopširno su obrađena poglavlja: tehnologija skladištenja, stroj za skladištenje i referentna skladišta. Specificirana poglavlja bi trebalo, kao posebne cjeline, ( u posebnom dodatku), a njihov prikaz (samo bitne činjenice) ostaviti u relevantnim poglavljima Studije. Lokacije Dalj, Turski bok i Zaton su dio Strategije prostornog plana Hrvatske i analizirane su samo kao karakteristične lokacije u svrhu izgradnje deponija ugljena.
- Dodaci **I.** i **II.** Studije imaju posebno značenje jer se u njima sustavno analiziraju karakteristične značajke ugljena i pepela, ne samo na degradacijske procese na deponij i fleksibilnost rada termoenergetskog postrojenja (snaga, raspoloživost, troškovi, granične vrijednosti emisija). Kroz Dodatke **I.** i **II.** autori iniciraju i argumentiraju nužnost specificiranja i analize svih aspekta izbora ugljena, utjecaja na postrojenje, te metodologije i procedure za vrednovanje kvantitativnih i kvalitativnih elemenata i kupnju kamenog ugljena sa svjetskog tržišta.
- Povjerenstvo smatra da je potrebno napraviti sažetak studije (Sažetak) u kojem treba naglasiti bit i složenost degradacijskih procesa na deponijima uvoznog ugljena i objasniti utjecaj na okoliš te naznačiti odgovarajuće mjere zaštite. Opseg i forma trebali bi osigurati operativnu uporabljivost za daljnje aktivnosti usmjerene na organiziranje istih u priobalju.
- U Sažetku treba dati prijedlog programa daljnjih aktivnosti na TE Plomin koji će sadržati definiranje podloga za izradu projektne zadaće rekonstrukcije postojećeg deponija Plomin, organizaciju monitoringa, te analizu svih aspekta izbora uvoznog kamenog tugljena i utjecaja na termoenergetski kompleks na lokaciji Plomin.
- Budući da ne postoji projekt skladištenja ugljena u TE Plomin, preporučuje se da se u nastavku rada, poštujući zahtjeve izložene u Studiji kao i stečena iskustva na lokaciji Plomin, pristupi razradi podloga za prijedlog rekonstrukcije postojećeg skladišta ugljena na lokaciji Plomin, s ciljem saniranja postojećih nedostataka. U sklopu tog zadatka treba dati argumentirani prijedlog granične kvalitete uvoznog kamenog ugljena, poštujući kakakteristike tehnološke opreme na lokaciji.
- Povjerenstvo smatra da Studija po metodološkom pristupu i razini znanstvene obrade odgovara visokim standardima sličnih dokumenata."

SBK

*Energija*

Godište 52 (2003) Br. 3

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

ENERGIJA 1437

UDK 621.316.93:614.8
PRETHODNO PRIOPĆENJE

ENERGIJA 52/2003/3, 175 – 183

## PROCJENA RIZIKA OD PRENAPONA U ELEKTRIČNIM INSTALACIJAMA

*Mr. sc. Ivan Mateković, dipl. ing.*

Elektrokontakt d.d., Radnička cesta b. b., 10000 Zagreb, Hrvatska

Sve veća osjetljivost električnih uređaja na pojavu prenapona te sve veća umreženost električnih instalacija zahtijeva proučavanje vjerojatnosti pojave prenapona u električnim instalacijama te, sukladno tomu, procjenu rizika od prenapona. Da bi se procijenio rizik od prenapona u električnim instalacijama identificirana je opasnost od prenapona, prenaponi su promatrani prema uzrocima nastanka, dani su iznosi i vjerojatnosti pojave prenapona u električnim instalacijama, upozoreno je koje se štete od prenapona u električnim instalacijama mogu očekivati, povezane su vjerojatnosti pojave prenapona s vjerojatnostima nastanka šteta od prenapona te napravljena procjena rizika od prenapona. Na osnovi te procjene zaključeno je da se skoro svaku električnu instalaciju isplati štititi uređajima za zaštitu od prenapona.

(Lit. 15, sl. 2 – original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/3/175-183/2003.

ENERGIJA 1438

UDK 621.515.5:621.3.05
PREGLEDNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/3, 195 – 199

## NAPONSKE PRILIKE UZDUŽ SAMONOSIVOG OPTIČKOG KABELA OVJEŠENOG NA STUPOVE VISOKONAPONSKOG VODA

*Prof. dr. sc. Matislav Majstrović, dipl. ing. - Petar Sarajčev, dipl. ing.*

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b, 21000 Split, Hrvatska

U novije vrijeme došlo je do demonopolizacije u elektroenergetskom i telekomunikacijskom sektoru, što je dodatno otežalo dobivanje novih ili proširenje postojećih koridora. Zbog toga se sve češće optički kabeli postavljaju na stupove visokonaposnkih vodova. Ovi kabeli se nalaze u jakom električnom polju, pa svako onečišćenje njihovog plašta može dovesti do oštećenja istih. U članku se analiziraju naponske i strujne prilike uzduž onečišćenog plašta samonosivog optičkog kabela bez metalnih dijelova, koji je ovješen na čeličnorešetkaste stupove visokonaponskog voda.

(Lit. 6, sl. 9 – original na hrvatskom jeziku)

Autori
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/3/195 – 199/2003.

ENERGIJA 1439

UDK 620.95:621.311.25
PREGLEDNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/3, 207 – 212

## ZELENI CERTIFIKATI: TRŽIŠNI MEHANIZAM POTPORE OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE

*Mr. sc. Maja Božičević Vrhovčak, dipl. ing. – Dražen Jakšić, dipl. ing. – mr. sc. Tea Kovačević, dipl. ing.*

Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska

Navedeni su načini potpore obnovljivim izvorima energije. Detaljno je opisan nov, tržišno orjentiran mehanizam potpore - sustav zelenih certifikata. Opisano je tržište zelenih certifikata te ukazano na moguće zapreke njegovom ispravnom funkcioniranju. Prikazane su mogućnosti i zapreke uspostavi trgovine zelenim certifikatima.

(Lit. 6, sl. 3 – original na hrvatskom jeziku)

Autori
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/3/207 – 212/2003.

ENERGIJA 1439 UDK 620.95:621.311.25

1. Zeleni certifikati: tržišni mehanizam potpore obnovljivim izvorima energije
*I.* *Božičević Vrhovčak, M. – Jakšić, D. – Kovačević, T.*
II. Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Obnovljivi izvori energije*
*Mehanizmi potpore*
*Zeleni certifikati*
*Tržište električne energije*

ENERGIJA 1438 UDK 621.515.5:621.3.05

1. Naponske prilike uzduž samonosivog optičkog kabela ovješenog na stupove visokonaponskog voda
*I.* *Majstrović, M. – Sarajčev, P.*
II. Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Hrvatska

*Dalekovod*
*Optički kabel*
*Napon*
*Suha zona*
*Preskok*

ENERGIJA 1437 UDK 621.316.93:614.8

1. Procjena rizika od prenapona u električnim instalacijama
*I.* *Mateković, I.*
II. Elektrokontakt d.d., Radnička cesta b. b., 10000 Zagreb, Hrvatska

*Prenapon*
*Vjerojatnost pojave prenapona*
*Šteta od prenapona*
*Prenaponska kategorija*
*Vjerojatnost nastanka šteta od prenapona*
*Procjena rizika od prenapona*

*Energija*

Godište 52 (2003) Br. 3

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

ENERGIJA 1440

UDK 658.516:621.391.31
PREGLEDNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/3, 213 – 236

## PRIKAZ NORMIZACIJE I REGULATIVE VEZANE UZ KOMUNICIRANJE ELEKTROENERGETSKIM VODOVIMA, PLC I. DIO: NORMIZACIJA PLC-a

*Mr. sc. Suzana Javornik Vončina, dipl. ing.*
HEP d.d., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

Članak daje pregled normizacije sustava za komuniciranje elektroenergetskim vodovima, od prvobitnih uskopojasnih PLC sustava kod nas poznatih pod nazivom VF veze po VN vodovima, do danas aktualnih širokopojasnih pristupnih PLC sustava kojima se ostvaruju pristupne PLC usluge i energetske PLC usluge, te širokopojasnih PLC sustava kojima se ostvaruje komunikacija informatičkih i ostalih električnih i elektroničkih uređaja unutar zgrade.

(Lit. 33, sl. 5 – original na hrvatskom)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/3/213 - 236/2003.

ENERGIJA 1441

UDK 697.34:338.52:621.3
PRETHODNO PRIOPĆENJE

ENERGIJA 52/2003/3, 201 – 206

## ODREĐIVANJE CIJENE PARE I ELEKTRIČNE ENERGIJE

*Vedran Uran, dipl. ing.*
CASE d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Hrvatska

U radu je opisan način energetskog i eksergetskog vrednovanja pare te iznesene prednosti i nedostaci tih dvaju različitih načina vrednovanja pare. Za određivanje cijene pare i električne energije, i po jedinici energije, i po jedinici eksergije izrađena je bilanca troškova najvažnijih sudionika energetskog sustava. Kao primjer za izračunavanje cijene pare i električne energije uzet je energetski sustav na bazi protutlačnog parnoturbinskog postrojenja.

(Lit. 6, sl. 6 – original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/3/201 – 206/2003.

ENERGIJA 1442

UDK 621.328
STRUČNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/3, 185 – 193

## GIS U JAVNOJ RASVJETI GRADA ZAGREBA

*Ranko Skansi, dipl. ing.*
ELICOM d.o.o., Nova Ves 5, 10000 Zagreb, Hrvatska

U skladu s premisama modernog poslovanja te spoznaje o kvaliteti tehnologija koje su danas dostupne, razvijen je pilot projekt GIS-a iz domene javne rasvjete za područje Sv. Klara kraj Zagreba. Pri tome je korištena ESRI GIS tehnologija na razini ArcView 8 programskog paketa. Od sklopovske tehnologije, korišteno je računalo na bazi Pentium IV (1,6 GHz) procesora te ručni GPS uređaj tvrtke Trimble povezan s ručnim računalom Compaq IPAQ. U svrhu što preglednije i konciznije obrade, razvijena je osnovna baza podataka koja sadrži temeljne geografske podatke kao i temeljne tehnološke atribute. Za prikaz trenutnog stanja, proizveden je multimedijalni film trajanja 7,5 min. Film prikazuje kompoziciju tri kadra. Veći je dio dediciran noćnoj vožnji kroz Sv. Klaru, gornji manji, dnevnoj vožnji istom trasom, te donji dio prikazuje trenutnu poziciju na planu Sv. Klare.

(Lit. 9, sl. 8 – original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/3/185 – 193/2003.

ENERGIJA 1442 UDK 621.328

1. GIS u javnoj rasvjeti grada Zagreba
*I.* *Skansi, R.*
II. ELICOM d.o.o., Nova Ves 5, 10000 Zagreb, Hrvatska

*GIS - Geografski informacijski sustav*
*Podatak*
*Karta*
*Javna rasvjeta*
*GPS – Global Positioning System*
*Sv. Klara*
*ESRI*
*ArcView*
*CompaqIPAQ*
*Trident*
*Parametri*
*Prostorn podaci*
*Atributni podaci*
*Projekt*

ENERGIJA 1441 UDK 697.34:338.52:621.3

1. Određivanje cijene pare i električne energije
*I.* *Uran, V.*
II. CASE d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Hrvatska

*Para*
*Električna energija*
*Jedinica energije*
*Jedinica eksergije*
*Bilanca troškova*
*Energetski sustav*
*Cijena*
*Protutlačno parnoturbinsko postrojenje*

ENERGIJA 1440 UDK 658.516:621.391.31

1. Prikaz normizacije i regulative vezane uz komuniciranje elektroenergetskim vodovima, PLC - I. dio: Normizacija PLC-a
*I.* *Javornik Vončina, S.*
II. HEP d.d., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Normizacija*
*Komuniciranje elektroenergetskim vodovima*
*PLT*
*Elektromagnetska usklađenost*
*Referentni model mrežne arhitekture*
*Kakvoća usluga*

*E n e r g i j a*

Volume 52 (2003) Nº 3

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

ENERGIJA 1437

UDK 621.316.93:614.8
PRELIMINARY REPORT

ENERGIJA 52/2003/3, 175 – 183

## OVERVOLTAGE RISK ASSESSMENT OF ELECTRICAL INSTALLATIONS

*Ivan Mateković, B. Sc.*

Elektrokontakt d.d., Radnička cesta b. b., 10000 Zagreb, Croatia

Growing sensitivity of electrical equipment on overvoltage occurrence and electrical installation network requires probability assessment of overvoltage occurrence in electrical installations as well as risk assessment. In order to evaluate overvoltage risk in electrical installations, the danger of overvoltage is identified, and its causes observed. Values are given as well as probabilities of overvoltage occurrence in electrical installations, including damages caused by overvoltage. Probability of overvoltage is brought into relation with possibility of damage, and risk assessment is done. Based on that evaluation it is concluded that almost all electrical installations could be protected by overvoltage equipment in a cost-effective way.

(No. of References: 15, Fig.: 2 – original in Croatian)

*Author*

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/3/175 – 183/2003.

ENERGIJA 1438

UDK 621.515.5:621.3.05
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/3, 195 – 199

## VOLTAGE CIRCUMSTANCES ACROSS SELF-CARRYING OPTICAL CABLE SUPPORTED ON HIGH-VOLTAGE LINE TOWER

*Matislav Majstrović, Prof. D. Sc. – Petar Sarajčev, B. Sc.*

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Croatia

Recent demonopolisation of electric power and telecommunication systems has lead to additional problems when obtaining new or widening old corridors. Therefore there is a constant increase in putting optical cables on high-voltage line towers. These cables are situated within strong electrical fields and any pollution of their sheath could lead to their damage. The paper analyses voltage and current circumstances across polluted sheath of self-carrying optical cable supported by steel towers of high-voltage lines without metallic parts.

(No. of References: 6, Fig.: 9 – original in Croatian)

*Authors*

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/3/195 – 199/2003.

ENERGIJA 1439

UDK 620.95:621.311.25
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/3, 207 – 212

## GREEN CERTIFICATES – MARKET MECHANISM TO SUPPORT RENEWABLE ENERGY SOURCES

*Maja Božičević Vrhovčak, B. Sc. – Dražen Jakšić, B. Sc. – Tea Kovačević, M. Sc.*

Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia

Different supporting models for renewable energy sources are given. New, market oriented supporting mechanism – green certificates model is described in detail. Green certificates market is also described whereby possible barriers to its correct operation are also given. Possibilities and barriers for green market certificates trading are also stated.

(No. of References: 6, Fig.: 3 – original in Croatian)

*Authors*

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/3/207 – 212/2003.

ENERGIJA 1439 UDK 620.95:621.311.25

1. Green Certificates – Market Mechanism to Support Renewable Energy Sources
*I.* *Božičević Vrhovčak, M. – Jakšić, D. – Kovačević, T.*
II. Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia

*Renewable Energy Sources*
*Supporting Mechanism*
*Green Certificates*
*Electric Energy Market*

ENERGIJA 1438 UDK 621.515.5:621.3.05

1. Voltage Circumstances Across Self-Carrying Optical Cable Supported on High-Voltage Line Tower
*I.* *Majstrović, M. – Sarajčev, I.*
II. Fakultet elektrotehnike, strojarstva I brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Croatia

*Transmission Line*
*Optical Cable*
*Voltage*
*Dry Zone*
*Flashover*

ENERGIJA 1437 UDK 621.316.93:614.8

1. Overvoltage Risk Assessment of Electrical Installations
*I.* *Mateković, I.*
II. Elektrokontakt d.d.,Radnička cesta b. b., 10000 Zagreb, Croatia

*Overvoltage*
*Overvoltage Probability*
*Overvoltage Damage*
*Overvoltage Category*
*Overvoltage Damage Probability*
*Overvoltage Risk Assessment*

*Energija*

Volume 52 (2003) Nº 3

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

ENERGIJA 1440

UDK 658.516:621.391.31
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/3, 213 - 236

## REVIEW ON NORMISATION AND REGULATION CONCERNING COMMUNICATION THROUGH ELECTRIC POWER LINES, PLC – PART I: PLC NORMISATION

*Suzana Javornik Vončina, M. Sc.*

HEP d.d., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia

The paper gives a review on normisation systems for communication through electric power lines, from the first short-range PLC systems known under the name VF connections by VN lines, to today's current wide-range access PLC systems that enable access PLC services and energy PLC services, as well as wide-range PLC systems for communication among information and other electric and electronic appliances in a building.

(No. of References: 33, Fig. 5 – original in Croatian)

*Author*
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/3/213 - 236/2003.

ENERGIJA 1441

UDK 697.34:338.52:621.3
PRELIMINARY REPORT

ENERGIJA 52/2003/3, 201 – 206

## PRICE DETERMINATION FOR STEAM AND ELETRIC ENERGY

*Vedran Uran, B. Sc.*

CASE d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Croatia

The paper describes energy and exergy valorisation of steam as well as advantages and disadvantages of these two different valorisation ways. For price determination of steam and electric energy, by energy unit and by exergy unit, the balance of costs of most important participants in the energy system is done. As an example of cost evaluation of steam and electric energy, the energy system based on back-pressure steam turbine facility is given.

(No. of References: 6, Fig.: 6 – original in Croatian)

*Author*
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/3/201 – 206/2003.

ENERGIJA 1442

UDK 621.328
PROFESSIONAL PAPER

ENERGIJA 52/2003/3, 185 – 193

## GIS IN PUBLIC LIGHTING OF THE CITY OF ZAGREB

*Ranko Skansi, B. Sc.*

ELICOM d.o.o., Nova Ves 5, 10000 Zagreb, Croatia

According to modern management as well as to the knowledge of the quality of today's technology, GIS pilot project for public lighting for the area of Sv. Klara near Zagreb has been developed. ESRI GIS technology on the level of ArcView 8 programming package has been used. As regards hardware Pentium IV (1,6 GHz) based computer has been used as well as GPS handy equipment from Trimble connected to handbook Compaq IPAQ. In order to get good insight and evaluation, basic data base has been developed that consists of fundamental geographic data and technological attributes. To grasp the current state a multimedia film has been developed lasting for 7.5 minutes. The film consists of three scenes. A larger part is devoted to a night drive through Sv.Klara, the upper smaller to a day's drive by the same route while the lower shows the current position on the map of Sv.Klara.

(No. of References: 9, Fig.: 8 – original in Croatian)

*Author*
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/3/185 – 193/2003.

ENERGIJA 1442 UDK 621.328

1. GIS in Public Lighting of the City of Zagreb
*I.* *Skansi, R.*
II. ELICOM d.o.o., Nova Ves 5, 10000 Zagreb, Croatia

*GIS*
*Data*
*Map*
*Public Lighting*
*GPS – Global Positioning System*
*Sv. Klara*
*ESRI*
*ArcView*
*Compaq IPAQ*
*Trident*
*Parameters*
*Spatial Data*
*Attribute Data*
*Project*

ENERGIJA 1441 UDK 697.34:338.52:621.3

1. Price Determination for Steam and Electric Energy
*I.* *Uran, V.*
II. CASE d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Croatia

*Steam*
*Electric Energy*
*Energy Unit*
*Exergy Unit*
*Cost Balance*
*Energy System*
*Price*
*Back-Pressure Steam-Turbine Facility*

ENERGIJA 1440 UDK 658.516:621.391.31

1. Review on Normisation and Regulation Concerning Communication Through Electric Power Lines, PLC - Part I. PLC Normisation
*I.* *Javornik Vončina, S.*
II. HEP d.d., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia

*Normisation*
*Communication using Electric Power Lines – PLC*
*PLT*
*Electromagnetic Harmonisation*
*Reference Model of Network Architecture*
*Service Quality*

UDK 621.31

ENJAAC 52 (4) – (2003) – 249 – 310

ISSN 0013-7448

# ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

# energija

*IZDAVAČ – PUBLISHER*

Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

*ZA IZDAVAČA*

Ivo Čović, dipl. ing.

*POMOĆ U IZDAVANJU*

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

*UREĐIVAČKI SAVJET – THE PUBLISHING COUNCIL*

Mr. sc. Branko *Grgić,* dipl. ing. (predsjednik), HEP Split – Adrijano *Fišer,* dipl. ing., HEP Rijeka – Marijan *Kalea,* dipl. ing., HEP Osijek – Damir *Karavidović,* dipl. ing., HEP Osijek – mr. sc. Mladen *Mandić,* dipl. oec., HEP Zagreb – dr. sc. Vladimir *Mikuličić,* dipl. ing., FER Zagreb – dr. sc. Niko *Malbaša,* dipl. ing., Ekonerg, Zagreb

*UREDNIČKI ODBOR – EDITORIAL BOARD*

Glavni urednik – Editor-in-chief: dr. sc. Zorko *Cvetković,* dipl. inž.
Urednik – Editor: Zdenka *Jelić,* prof.
Lektor: Šime *Čagalj,* prof.

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica grada Vukovara 37

Telefoni 6322-641 i 6322-083, telefax 6170-438

**Godišnje izlazi 6 brojeva.** Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300,00 kn, a za poduzeća i ustanove 480,00 kn (za studente 70,00 kn).

Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00 kn.

Za inozemstvo $ 95 godišnje.

Žiro računi kod ZAP, Zagreb – Hrvatska elektroprivreda (za "Energiju") broj 30101-604-495

Tisak: TIVA – Tiskara Varaždin

Naklada 1000 primjeraka

Godište 52 (2003) Zagreb 2003 Br. 4

**SADRŽAJ**

*Sabolić D.*: Utjecaj kvalitete PLC medija na kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila (Izvorni znanstveni članak) . . . . . 251 – 264

*Dvornik D.*: Razvoj (de)regulacije i preporuke za tranzicijska gospodarstva (Pregledni članak) . . . . . 265 – 274

*Šegon V. – Domac J.*: Biomasa na današnjem tržištu električne energije: prikaz stanja i mogućnosti (Pregledni članak) . . . . . 275 – 283

*Uran V.*: Suizgaranje sekundarnog goriva s fosilnim gorivima radi proizvodnje toplinske i električne energije (Pregledni članak) . . . . . 285 – 294

*Vujević D.*: Superkondenzatori (Pregledni članak). . . . . 295 – 303

**Iz strane stručne literature** . . . . . 305 – 310

Fotografije na omotu:

**DETALJI HIDROELEKTRANA**

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete – Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992.

Redakcija završena 2003 – 05 – 20

# Upute autorima

U "Energiji" smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa "stari" autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo "zaboravljive".

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda "Energiji", više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično "presude" recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica - SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   - **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   - **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
   - **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   - **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.

   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u "Energiji" prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu - svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm - 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članka:

**IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK** (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom svhvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:

- ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor.
- ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

**PRETHODNO PRIOPĆENJE** (prethodno sporočilo, prethodno saopštenje, preliminary communication, Vorlaufige Mitteliung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

**PREGLEDNI ČLANAK** (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

**STRUČNI ČLANAK** (strokovno delo, stručna rabota, professional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođavanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.


# energija

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su:

Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Générale de l'électricité, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

**UREDNIŠTVO**

# UTJECAJ KVALITETE PLC MEDIJA NA KAPACITET SUSTAVA AUTOMATSKOG OČITAVANJA BROJILA

Mr. sc. Dubravko S a b o l i ć, Zagreb

UDK 621.3.083.7:651.398.052
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Daje se analiza utjecaja kvalitete električne distribucijske mreže kao prijenosnog medija za komunikacijske signale (PLC, engl. Power Line Carrier) na kapacitet očitavanja u sustavu automatskog očitavanja brojila (AMR, engl. Automatic Meter Reading). Određuje se faktor vremenskog produljenja jednog prosječnog očitavanja brojila u ovisnosti o vjerojatnosti pogrješke u prijenosu poruke, koja je najlakše mjerljiva veličina za opisivanje prijenosnih karakteristika PLC medija. U posljednjem dijelu članka daje se pregled drugih važnih klasičnih primjena s uskopojasnim komuniciranjem kroz PLC medij.

**Ključne riječi: PLC, kvaliteta prijenosa, komunikacija, kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila.**

## Uvod

U zadnjih nekoliko godina intenzivno se radi na primjeni distribucijske mreže i kućnih električnih instalacija kao infrastrukture za širokopojasne komunikacijske usluge. Međutim, davno prije započela je primjena tih sustava za različite druge komunikacijske svrhe s daleko skromnijim zahtjevima u pogledu širine pojasa, ali s ne manje važnim namjenama. U ovome članku bit će riječi o tim područjima primjene komunikacijskih sustava koji u fizičkom sloju imaju elektroenergetsku razvodnu mrežu, PLC (engl. Power Line Carrier). Čitatelj se o njima, kao i o mnogim drugim aspektima komuniciranja PLC-om, može informirati u literaturi [1 – 17].

Automatsko očitavanje brojila je tehnika koja bi mogla dobiti veliku važnost na liberaliziranim tržištima električne energije. Iskustva u deregulaciji elektroenergetskog sektora govore, kao što se uostalom moglo i očekivati, da nije moguće liberalizirati tržište na veliko, i istodobno potpuno zaštititi male potrošače ograničavanjem cijena na malo [15]. Potrošači bi trebali plaćati cijenu električne energije koja odgovara njenoj trenutnoj tržišnoj vrijednosti, a ne stvarnim troškovima uvećanim za razumnu maržu. Trenutne cijene na kratkoročnim tržištima pokazuju iznimno velike fluktuacije tijekom dana, koje su uvjetovane odnosom trenutne ponude i potražnje. U satima vršnih opterećenja nedovoljne zalihe u proizvodnji mogu prouzročiti vrlo veliki porast cijena. Štoviše, na mnogim liberaliziranim tržištima i dugoročne prosječne cijene porasle su u odnosu na ranije regulirane monopolne cijene, što nije samo posljedica efekata ponude i potražnje, nego i manipulacije tržištem od strane proizvođača električne energije. U situaciji znatnog porasta cijena na veliko i ograničenja cijena na malo, u nekim zemljama došlo je do kolapsa tržišta, jer su prodavači energije na malo dovedeni u propast, budući da su bili prisiljeni kupovati na kratkoročnom tržištu po visokim cijenama, a prodavati potrošačima po ograničenim cijenama. Najpoznatiji primjer dogodio se u Kaliforniji.

Jedan od načina stabilizacije tržišta je izlaganje potrošača tržišnim cijenama. Međutim, to ne može biti pravedno učinjeno ako potrošači nemaju mogućnost reagiranja na cjenovne signale. Ako se cijena mijenja u satnim ili polusatnim intervalima, potrošač mora moći dobiti informaciju o trenutnoj cijeni energije, kako bi, ako to želi, mogao prilagođavati svoju potrošnju. Isto tako, njegova potrošnja mora biti mjerena u realnom vremenu, a to znači barem toliko često, koliko iznosi vremenski interval u kojemu se cijena ne mijenja. Neki autori smatraju da bez mjerenja u realnom vremenu nije moguće ostvariti efikasnu konkurenciju na maloprodajnom nivou [16]. Tu onda dolazimo do potrebe za automatskim očitavanjem brojila, AMR (engl. Automatic Meter Reading). Pitanje je do koje razine će se realizirati automatsko očitavanje. Ono što je zapravo važno je očitavanje čim veće količine isporučenih MWh u realnom vremenu, a ne očitavanje što većeg broja potrošača. Uspostava sustava za automatsko očitavanje brojila na čitavoj populaciji potrošača skup je i dugotrajan proces ulaganja u nadogradnju elektroenergetskog sustava [4]. No, ostaje činjenica da potrošač ne smije biti izložen tržišnim fluktuacijama cijena, ako nema načina reagirati na njih.

Mi ćemo se ovdje baviti jednim tehničkim aspektom velikih sustava za automatsko očitavanje brojila. Za

pretpostaviti je da će budući sustavi koji budu izgrađeni u zadnjem koraku koristiti distribucijsku mrežu kao pristupnu infrastrukturu za ostvarivanje veze s komunikacijskim uređajima pojedinačnih brojila. Prije toga, od centralnog računala do zadnje trafostanice, veza će se vjerojatno ostvarivati drugim telekomunikacijskim sustavima (radio, optika...). Naravno, moguća su odstupanja u ovom ili onom smislu. Premda je problematika kapaciteta očitavanja sustava baziranih upravo na PLC mediju kao zadnjem pristupnom mediju, na kojega je po prirodi stvari vezano svako brojilo, tretirana npr. u [5], tamošnja rasprava je manjkava zbog nedostatka analize utjecaja PLC medija na opće performancije sustava, koje se najbolje očitavaju kroz veličinu sposobnosti očitavanja čim većeg broja brojila u satu, a zbog čega su autori, ustvari, prema vlastitoj konstataciji, dobili "best case" procjenu općeg kapaciteta sustava. Doprinos ovoga rada sastoji se od uračunavanja stvarnog utjecaja transmisijske kvalitete PLC telekomunikacijskog medija i postavljanja fizikalnog ograničenja na opći kapacitet sustava automatskog očitanja brojila.

U zadnjem dijelu članaka daje se pregled ostalih najčešćih tradicionalnih primjena i pratećih tehnologija. Više tehničkih informacija o klasičnim i naprednijim sustavima za komuniciranje PLC medijem čitatelj može pronaći u knjizi [14].

## 1. KAPACITET SUSTAVA AUTOMATSKOG OČITAVANJA BROJILA

Već smo u uvodu napomenuli da provedba koncepta potpuno automatiziranog sustava očitavanja brojila nije jeftina, pogotovu ne ako se ima na umu zahvat do malih pojedinačnih potrošača. Primjerice, elektroenergetsko tržište Velike Britanije bilo je liberalizirano u tri kruga [4]:

- Krug 1: potrošači zahtjeva većeg ili jednakog od 1 MW – 1990.
- Krug 2: potrošači zahtjeva između 100 kW i 1 MW – 1994.
- Krug 3: potrošači zahtjeva manjeg od 100 kW – 1998./99.

Kvalifikacija potrošača u naznačene skupine značila je da oni mogu dobiti status povlaštenog potrošača, tj. da mogu na slobodnom tržištu odabirati dobavljača električne energije. Danas je tržište u Velikoj Britaniji barem teoretski potpuno liberalizirano, a model britanske deregulacije i reregulacije elektroenergetskog sektora preslikavan je s više ili manje varijacija u mnogim zemljama. Ipak, danas se izražavaju sumnje u stvarnu dobrobit od primjene britanskog koncepta [12, 15, 16]. Procjenjuje se da bi trošak po potrošaču iz kategorije drugog kruga u Velikoj Britaniji za uvođenje automatskog očitanja brojila iznosio oko 2,500 Funti, ili oko jedan posto prosječnog godišnjeg računa za električnu energiju potrošača sa zahtjevom od 1 MW [4]. Kod potrošača sa zahtjevom za snagom od 100 kW to onda iznosi 10% godišnjeg računa, a za kategoriju malih potrošača ovaj trošak, kada bi bio prevaljen na potrošača, bio bi definitivno prevelik.

Zbog tih, a i zbog tehnoloških razloga, problemu očitavanja brojila pristupat će se u budućnosti vjerojatno tako da će samo brojilo imati funkcije komunikacijskog uređaja tek utoliko što će imati jedinstvenu adresu, koja će ga označavati pojedinačno, i vezati ga za konkretnog davatelja usluge. S obzirom da je brojilo po prirodi stvari lokalni izolirani uređaj, sve ostale funkcije u komunikacijskoj mreži prebacit će se najvjerojatnije na posebna komunikacijska sučelja, što će cijenu i tehničku kompleksnost brojila održati niskom, dok će komunikicijska sučelja moći biti opremljena većom količinom memorije i računarske moći, kako bi mogla odgovoriti zahtjevima složenijih komunikacijskih protokola.

U nastavku dajemo analizu općeg kapaciteta očitanja velikih sustava za očitavanje brojila, rađenu pretežno na temelju [5], ali s dopunama u analizi koje omogućuju izvođenje općenitog modela i pronalaženje relacije za temeljno ograničenje kapaciteta takvih sustava.

Mak i Radford u [5] vrše analizu sustava u kojemu se veza između računala koje skuplja i obrađuje podatke i svakog pojedinačnog brojila ostvaruje najprije sustavom veza s radijskim repetitorima niske snage emisije, pa prema tomu i malog dometa, a zatim, u zadnjem koraku, PLC medijem. Uočivši jedan pojedinačni spoj između računala i brojila, može se uočiti da se u half-duplex modu dva puta prelazi spojni put koji obuhvaća redom: vezu od računala prema prvom radio repetitoru, eventualno još jednu ili više veza između samih radijskih repetitora, vezu posljednjeg repetitora u nizu i *prijenosnika* (engl. gateway) koji omogućuje komunikaciju preko PLC medija, te vezu prijenosnika i samog brojila, odnosno komunikacijskog sučelja brojila. Čvorovi koji u ovom lancu unose kašnjenja u pravilu znatno veća od same propagacije signala su:

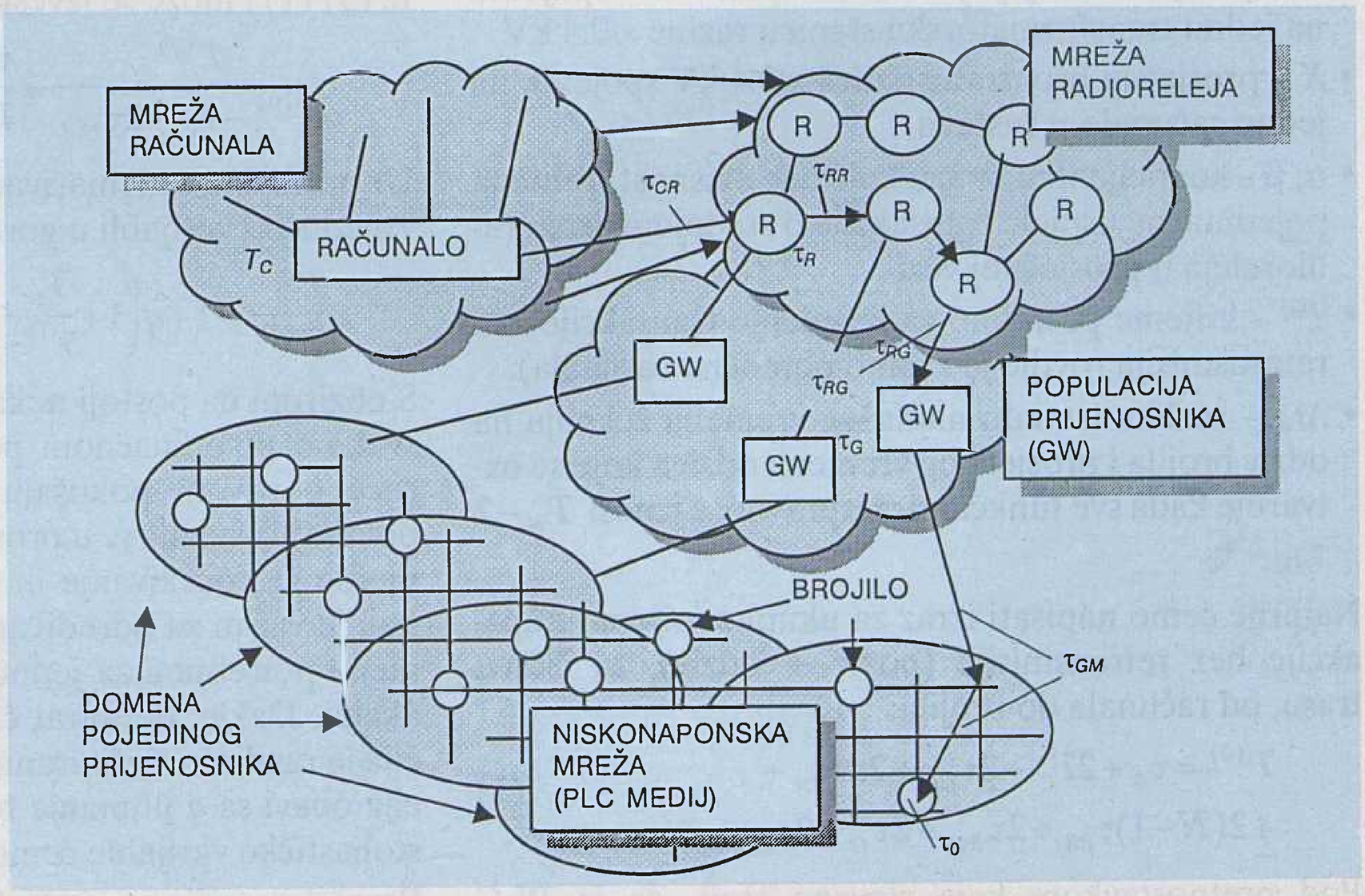
- računalo, kojemu treba određeno vrijeme za dohvat potrebnih podataka iz memorije, njihovo formatiranje i obradu, te po prihvatu odziva, vrijeme za obradu prihvaćenog signala, formatiranje i spremanje u bazu podataka
- radiorelejni čvorovi, kojima, ovisno o primijenjenoj tehnologiji i topologiji, treba izvjesno vrijeme da propuste podatkovni niz
- prijenosnik, čije kašnjenje ovisi među ostalim i od količine "inteligencije" prisutne u njemu, odnosno o kompleksnosti njegovih zadaća, a to znači da kašnjenje prijenosnika ovisi i o primijenjenoj filozofiji ostvarivanja pristupa do pojedinačnih brojila
- brojilo ili njegovo komunikacijsko sučelje, koje mora saslušati dolaznu poruku od prijenosnika i izvršiti instrukciju, tj. pripremiti i poslati odgovarajući podatak.

Sumirana ukupna kašnjenja ovih čvorova i propagacije daju minimalno vrijeme odziva sustava pri pojedinačnom očitanju, i ona su uzeta u obzir u analizi u [5], koja je dakle dala "best case" procjenu općeg kapaciteta. Međutim, stvarna kašnjenja mogu biti u prosjeku mnogo veća zbog potrebe za retransmisijom poruka u slučajevima kada šum i smetnje u komunikacijskom kanalu uzrokuju nekorektan prijam poruke, zbog kojega je potrebno izvršiti njenu retransmisiju, odnosno ponavljanje čitave procedure. Članak [5] zanemaruje utjecaj smetnji čak i u PLC mediju, gdje se on ni u kom slučaju ne smije zaobići [6, 7]. Dapače, u [7] je pokazano da je vjerojatnost potrebe za retransmisijom u distribucijskoj mreži koja je tamo eksperimentalno analizirana, u redu veličine prosječno 15 do 20 postotaka, dočim je u pojedinim slučajevima sustav morao zatražiti retransmisiju i do 70 puta. Razmatranje u ovom članku, koje upravo slijedi, teoretski će obuhvatiti problem utjecaja kvalitete prijenosnog medija na performancije sustava automatskog očitavanja brojila. Analiza utjecaja kvalitete prijenosnog sustava je općenita i neovisna o tome radi li se o radijskom ili PLC mediju, ali je nepobitna činjenica da je radijska mreža u pogledu raspoloživosti mnogo kvalitetnija, tako da će glavni uzrok dodatnog kašnjenja zbog retransmisija biti u smetnjama na PLC mediju, dok se kašnjenje zbog neraspoloživosti radijskog medija sigurno zanemarivo u odnosu na ono nastalu PLC-u.

Analiza u [5] počiva na modelu u kojemu su radioreleji zbog zahtjeva male snage razmješteni u pravokutnoj mreži, svakih 0.7 milja, pri čemu takva mreža releja povezuje jedan broj prijenosnika, u svakom slučaju manji ili jednak broju releja, s računalom koje upravlja procesom očitanja. Rezultati "best case" izračuna pokazuju da se inherentni kapacitet očitavanja kreće u granicama od približno 2,500 do 5,000 brojila po satu i po jednom računalu uz zadane parametre kašnjenja elemenata u procesu i zadane dužine poruka, te sa oko 25 potrošača po distribucijskom transformatoru, zavisno od načina pristupa brojilima. U prvom razmatranom načinu, kojega karakterizira niži kapacitet, računalo upućuje komandu svakom prijenosniku posebno, i očekuje od njega odgovor. U drugome računalo odašilje svima jednu difuznu komandu, nakon čega prijenosnici sukcesivno odgovaraju. U tom primjeru autori rabe nerealnu pretpostavku da svi paketi odgovora od svih prijenosnika stižu jedan za drugim, bez ikakve kolizije, kao i bez mrtvih intervala između paketa, što ni u kom slučaju nije moguće, a ni približna situacija nije sasvim lako ostvariva, s obzirom na neminovnost distribucije vremenske reference kroz takvu kompliciranu mrežu radioreleja i prijenosnika. Ovako, pod usvojenim pretpostavkama lako se dobiva kapacitet dvostruko veći nego u slučaju pojedinačnog poziva releja. U stvarnosti taj rezultat može ispasti značajno lošiji zbog toga što je potrebno koristiti neki od protokola za višestruki pristup, pri čemu barem približno poznavanje redoslijeda odziva može pomoći u smanjenju vjerojatnosti kolizije, s tim da je potrebno ili upotrijebiti protokol koji ne zahtijeva vremensku referenciju, ili pak izvesti distribuciju referencije kroz mrežu, pa upotrijebiti protokol koji treba takvu referencu, a zauzvrat daje veći protok prometa u jedinici vremena uz isti prometni zahtjev. Također, autori u [5] ne spominju mogućnost da pojedini prijenosnici ne uspiju pročitati difuznu poruku, ili da poneki od odgovora prijenosnika ne bude primljen od strane centralnog računala.

U oba spomenuta modela pretpostavlja se da prijenosnici u trenutku prijema zahtjeva za dostavom podataka imaju već pripremljena očitanja svih brojila u njihovoj domeni, tako da su i prijenosnici čitavo vrijeme zaposleni očitavanjem brojila, što potencijalno može implicirati povećano vrijeme odziva prema ostatku mreže, a o toj pojavi u ovome modelu također nema riječi.

U daljnjoj razradi ovoga problema koristit ćemo iste temeljne fizikalne veličine relevantne za temu, a to su mahom vremena kašnjenja na pojedinim dionicama, te ćemo raspravu dopuniti uračunavanjem nesavršenosti prijenosnih medija. Osnovna arhitektura sustava kojega promatramo dana je na slici 1.




**Slika 1. Osnovna arhitektura sustava za automatsko očitavanje brojila s mrežom radijskih repetitora i komunikacijom prijenosnika i brojila preko PLC medija**

Oznake koje ćemo koristiti u daljnjoj razradi, a od kojih se neke mogu vidjeti na slici 1, imaju sljedeća značenja:

- $T_C$ – ukupno vrijeme obrade podatka u računalu, uz pretpostavku da je ono isto, bez obzira na to da li se podatak odašilje ili prima
- $\tau_{CR}$ – srednje vrijeme propagacije od računala do prvog radioreleja + vrijeme trajanja binarne riječi informacije
- $\tau_R$ – vrijeme obrade u radioreleju
- $\tau_{RR}$ – srednje vrijeme propagacije između dva susjedna radioreleja u lancu + vrijeme trajanja binarne riječi informacije
- $\tau_{RG}$ – srednje vrijeme propagacije od zadnjeg releja u lancu do prijenosnikaa + vrijeme trajanja binarne riječi informacije
- $\tau_G$ – vrijeme obrade u prijenosniku
- $\tau_{GM}$ – srednje vrijeme propagacije od prijenosnika do brojila preko PLC medija + vrijeme trajanja binarne riječi informacije
- $\tau_0$ – vrijeme potrebno brojilu da počne odgovarati na primljenu poruku
- $T_W$ – maksimalno vrijeme koje prijenosnik čeka na odziv od prozvanog brojila, prije nego donese odluku o retransmisiji (vrijedi u slučaju ako je ta funkcija pridana prijenosniku)
- $N$ – srednji broj radioreleja potreban za ostvarenje pojedinog spoja
- $p$ – vjerojatnost da će nakon pojedinačnog pokušaja biti potrebna retransmisija
- $q$, $Q$ – broj retransmisija ($q$), odnosno statističko očekivanje ili očekivana (srednja) vrijednost te stohastičke varijable ($Q$)
- $K$ – prosječni broj pojedinačnih potrošača spojenih na jednu transformatorsku stanicu razine x/0.4 kV
- $X$ – prosječan broj trafostanica x/0.4 kV spojenih na jedno računalo u sustavu
- $\alpha$, $\beta$ – koeficijenti u izrazu koji daje ovisnost vremena pojedinačne uspjele transakcije o srednjem broju radioreleja u prosječnoj vezi
- $T^{(i)}$ – vrijeme potrebno za izvođenje transakcije sa $i$ retransmisija (ovdje je $i$ samo pomoćna varijabla)
- $\Delta t_W$ – razlika između najdužeg vremena čekanja na odziv brojila i prosječnog vremena odziva koje se ostvaruje kada sve funkcionira ispravno, a iznosi $T_W - 2\tau_{GM} - \tau_0$.

Najprije ćemo napisati izraz za ukupno vrijeme transakcije bez retransmisije (poziv + odziv), za čitavu trasu, od računala do brojila:

$$T^{(0)} = \tau_0 + 2T_C + 2\tau_{CR} + 2N\tau_R + 2(N-1)\tau_{RR} + 2\tau_{RG} + 2\tau_G + 2\tau_{GM}. \quad (1)$$

Pod pretpostavkom koja sigurno stoji, da je PLC mnogo lošiji medij od radijske mreže, možemo smatrati da će većina prekida u prijenosu poruka nastati upravo u PLC mediju, tako da će vrijeme potrebno za transakciju u slučaju jedne retransmisije biti jednako:

$$T^{(1)} = \tau_0 + 4T_C + 4\tau_{CR} + 4N\tau_R + 4(N-1)\tau_{RR} + 4\tau_{RG} + 4\tau_G + 2\tau_{GM} + T_W. \quad (2)$$

U slučaju dviju retransmisija, ukupno vrijeme transakcije iznosi:

$$T^{(2)} = \tau_0 + 6T_C + 6\tau_{CR} + 6N\tau_R + 6(N-1)\tau_{RR} + 6\tau_{RG} + 6\tau_G + 2\tau_{GM} + 2T_W. \quad (3)$$

Ako je vjerojatnost da će nakon bilo kojeg pokušaja prijenosa doći do potrebe za retransmisijom jednaka $p$, a o toj veličini koja reprenzentira kvalitetu prijenosnog medija ćemo kasnije reći nešto više, zatim ako je ishod svakog pokušaja neovisan o ishodima prethodnih pokušaja, te ako je ovaj proces stacionaran unutar promatranog vremenskog intervala, prosječno vrijeme uspješene transakcije uz uzimanje u obzir efekta produljenja zbog najviše dvije retransmisije jednostavno iznosi:

$$\begin{aligned} T &= (1-p-p^2)T^{(0)} + pT^{(1)} + p^2T^{(2)} = \\ &= (1-p-p^2)T^{(0)} + p(2T^{(0)} - 2\tau_{GM} - \tau_0 + T_W) + \\ &+ p^2(3T^{(0)} - 4\tau_{GM} - 2\tau_0 + 2T_W) = \\ &= (1+p+p^2)T^{(0)} + (p+2p^2)(T_W - 2\tau_{GM} - \tau_0) = \\ &= (1+p+2p^2)T^{(0)} + (p+2p^2)\cdot\Delta t_W. \end{aligned} \quad (4)$$

Ovaj rezultat poslužit će nam samo za usporedbu s općenitim izrazom, kojega ćemo izvesti kasnije. Nastavljajući se na niz jednadžbi od (1) do (3), prijenos sa ukupno $q$ retransmisija trajat će:

$$T^{(q)} = \tau_0 + 2\tau_{GM} + 2(q+1)(T_C + \tau_{CR} + N\tau_R + (N-1)\tau_{RR} + \tau_{RG} + \tau_G) + qT_W. \quad (5)$$

Iz (5) i (1) može se izvesti:

$$\frac{T^{(q)}}{T^{(0)} - \tau_0 - 2\tau_{GM}} = \frac{\tau_0 + 2\tau_{GM} + qT_W}{T^{(0)} - \tau_0 - 2\tau_{GM}} + q + 1. \quad (6)$$

Uz prikladna zanemarivanja opravdana redom veličina vrijednosti varijabli u gornjoj jednadžbi slijedi:

$$\frac{T^{(q)}}{T^{(0)}} \approx 1 + q\left(1 + \frac{T_W}{T^{(0)}}\right) \approx 1 + q. \quad (7)$$

S obzirom da postoji neka vjerojatnost retransmisije u svakom pojedinačnom pokušaju (tj. bez obzira je li riječ o prvom pokušaju, ili bilo kojem ponovnom pokušaju), a koja je u prosjeku jednaka $p$, u korelaciji s njome je i očekivanje ili srednji broj retransmisija $Q$, koji je važan za određivanje ukupnog očekivanog vremena potrebnog za jednu kompletnu uspješnu transakciju. Dakle, definirat ćemo stohastičku varijablu $q$, čija je razdioba definirana vjerojatnošću da se transakcija obavi sa $q$ ili manje retransmisija, a očekivanje te stohastičke varijable ćemo označiti sa $Q$.

Prosječno vrijeme potrebno za obavljanje uspješne transakcije uz uračunavanje efekta do najviše $q$ retransmisija, te uz uvažavanje (7), iznosi:

$$T = T^{(0)}\left(1-\sum_{i=1}^{q} p^i\right)+\sum_{i=1}^{q} p^i T^{(i)} =$$

$$= T^{(0)}\left(1-\sum_{i=1}^{q} p^i\right)+T^{(0)}\sum_{i=1}^{q}(i+1)p^i = \qquad (8)$$

$$= T^{(0)}\left(1+\sum_{i=1}^{q} i\cdot p^i\right).$$

S obzirom da je u (7) pretpostavljeno da je $T_W << T^{(0)}$, što je prihvatljivo, izraz (8) podudara se s jednadžbom (4), gdje je izvedeno vrijeme transmisije s uračunate najviše dvije retransmisije. U (4) se vidi da je ovo zanemarivanje pogotovu opravdano, jer se $t_W$ množi faktorom $(p + 2p^2)$, što je najčešće za red veličine manji faktor od onoga u prvom pribrojniku desne strane (4).

Očekivanje broja retransmisija $Q$ potrebno je izraziti kao funkciju vjerojatnosti $p$. Da bismo to učinili, moramo definirati stohastičku varijablu $q$. S obzirom na to da su svi pokušaji transmisije neovisni i da pretpostavljamo da se događaju s vjerojatnošću $p$, vrijede sljedeće tvrdnje:

- Vjerojatnost da neće biti retransmisije iznosi $1 - p$.
- Tvrdnja da se prijenos ostvario uz jednu retransmisiju ekvivalentna je tvrdnji da je prvi pokušaj bio neuspješan i prva retransmisija uspješna, pa je vjerojatnost takvog događaja jednaka $p\,(1 - p)$.
- Tvrdnja da se prijenos ostvario uz dvije retransmisije ekvivalentna je tvrdnji da je prvi pokušaj bio neuspješan i da je prva retransmisija bila neuspješna i da je druga retransmisija bila uspješna, pa je vjerojatnost takvog događaja jednaka $p^2\,(1 - p)$.
- I tako redom ...

Iz ovoga slijedi:

- Vjerojatnost prijenosa sa 0 retransmisija jednaka je $1 - p$.
- Događaj prijenosa s jednom ili manje retransmisija znači da se dogodio prijenos s nula retransmisija ILI prijenos s jednom retransmisijom, pa je vjerojatnost jednaka $(1 - p) + p\,(1 - p)$.
- Događaj prijenosa s dvije ili manje retransmisija znači da se dogodio prijenos s nula retransmisija ILI prijenos s jednom retransmisijom ILI prijenos s dvije retransmisije, pa je vjerojatnost jednaka $(1 - p) + p\,(1 - p) + p^2\,(1 - p)$.
- I tako redom .....
- Događaj prijenosa sa $q$ ili manje retransmisija znači da se dogodio prijenos s nula retransmisija ILI prijenos s jednom retransmisijom ILI prijenos s dvije retransmisije ..... ILI prijenos s $(q - 1)$ retransmisija ILI prijenos s $q$ retransmisija, pa je vjerojatnost jednaka:

$$v(q) = (1-p)+(1-p)\cdot\sum_{i=1}^{q} p^i = \qquad (9)$$

$$= (1-p)+(1-p)p\frac{p^q-1}{p-1} = 1-p^{q+1}.$$

- Vjerojatnost da će se prijenos dogoditi s beskonačno ili manje retransmisija jednaka je 1.

Dakle, stohastički proces kojega opisujemo stohastičkom varijablom $q$ je "događaj prijenosa sa $q$ ili manje retransmisija". Bez obzira što je riječ o diskretnoj stohastičkoj varijabli, a kako nama ne treba savršeno precizan rezultat, aproksimirat ćemo varijablu $q$ kontinuiranom varijablom, koja za cjelobrojne vrijednosti $q$ poprima vrijednost funkcije razdiobe kao u (9). Iz toga slijedi gustoća razdiobe:

$$w(q) = -p\cdot p^q\cdot \ln p. \qquad (10)$$

Slijedi očekivanje $Q$ prema definiciji:

$$\tilde{Q} = \int_0^\infty q\cdot w(q)\cdot dq = \frac{-p}{\ln p};$$

$$Q = [\tilde{Q}]. \qquad (11)$$

Uglata zagrada [...] označuje operator najbliže cjelobrojne vrijednosti. Kako se iznos $p$ nalazi između 0 i 1, izraz (11) ima uvijek pozitivnu vrijednost. Da bi se izračunala disperzija varijable $q$, odnosno standardna devijacija kao korijen iz disperzije, treba još izračunati moment drugog reda, odnosno:

$$M_q^2 = \int_0^\infty q^2 w(q)\cdot dq = \frac{2p}{\ln^2 p} \qquad (12)$$

Standardna devijacija je tada:

$$\sigma_Q = \sqrt{M_{(q)}^{(2)} - Q^2} = \frac{\sqrt{2p-p^2}}{|\ln p|}. \qquad (13)$$

Poznavanje očekivanja $Q$ omogućuje nam određivanje faktora produljenja prosječnog vremena potrebnog za očitanje pojedinog brojila u velikom sustavu, uvrštenjem $Q$ u (8):

$$\frac{T}{T^{(0)}} = f(p) = 1+\sum_{i=1}^{Q} i\cdot p^i; \qquad (14)$$

gdje je $Q = \left[\frac{-p}{\ln p}\right]$.

U formuli je naznačeno da je omjer $T/T^{(0)}$ funkcija vjerojatnosti $p$, što možda nije na prvi pogled očito iz same formule. Kao što ćemo vidjeti, taj faktor, koji izravno smanjuje opći kapacitet očitavanja sustava, može poprimiti vrijednosti značajno veće od 1, ali isto tako, za $p$ cca. 0.4, zanemarivo utječe na kapacitet.

### 1.1. Utjecaj vjerojatnosti retransmisije na vrijeme očitavanja – primjeri

Ovdje treba ponešto reći o realnom redu veličine vrijednosti $p$ u PLC mrežama. Naglasimo još jednom da je $p$ "prosječna" vjerojatnost pojave potrebe za retransmisijom nakon pojedinačnog pokušaja u zadanoj mreži. Pod "prosječnom" se misli na neku efektivnu vjerojatnost, s obzirom da se velika mreža sastoji od mnogo različitih, boljih ili lošijih dijelova. Ovu prosječnu vrijednost, zbog nelinearnog i diskontinuiranog karaktera (14), ustvari nije baš lako izračunati, ali se može dobiti formula za približnu procjenu, što ćemo

elaborirati malo kasnije, dok se točna vrijednost može tražiti prikladnim numeričkim metodama.

Za našu analizu pretpostavit ćemo da se komunikacija PLC medijem odvija digitalnom brzinom od 19.2 kb/s, što predstavlja razumnu vrijednost glede mogućnosti PLC-a, kao i brzina u radijskom dijelu mreže, uz primjenu tehnologije niske zračene snage i malog kapaciteta.

Chan i Donaldson u [6] daju eksperimentalne rezultate mjerenja svojstava digitalnog prijenosa kroz kućnu PLC mrežu industrijske zgrade pod raznolikim pogonskim uvjetima, upravo pri brzini signaliziranja od 19.2 kb/s, tako da ćemo njihove rezultate upotrijebiti kao podatke iz kojih ćemo izračunati približnu realnu vrijednost $p$ kakva bi bila u toj mreži, premda je u [6] riječ o unutarnjem kanalu. Selander u [7] daje također eksperimentalne rezultate opažanja obavljenih na vanjskoj distribucijskoj mreži jedne niskonaponske trafostanice u Švedskoj, u kojima navodi dragocjene podatke o vjerojatnosti retransmisije u dijelovima te mreže, te o ukupnoj efektivnoj vjerojatnosti retransmisije $p$, a na temelju baze podataka koju generira stvaran živi sustav automatskog očitanja brojila spojenih na tu trafostanicu. Naš teoretski model i vrijednosti vjerojatnosti retransmisije ekstrahirane iz [6] i [7] omogućit će objašnjenje efekata opaženih u [7], a napose disproporcije između pojedinačnih vrijednosti vjerojatnosti retransmisije, i ukupne efektivne vjerojatnosti $p$.

Autori u [6] daju nekoliko snimljenih grafova ovisnosti kumulativne vjerojatnosti pojeve digitalnih intervala bez ijedne pogrješke u prijenosu, odnosno intervala s pogrješkama koji se nalaze između potonjih, u ovisnosti o dužini tih sekvencija izraženoj u bitima, i to sve za nekoliko vrijednosti BER-a (engl. Bit Error Rate). Ispada da je vjerojatnost da je potpuno ispravna sekvencija duga $x$ ili manje bitova, gdje je $x < 100$, u svakom slučaju oko 5%, i da je taj postotak slabo ovisan o BER-u, dokle se on kreće u redu veličine oko 0.001. To znači da je oko 5% od svih odsječaka bez pogrješaka dugačkih stotinjak bita ili manje. Ako prihvatimo pretpostavku korištenu i inače u [5], da jedna poruka između brojila i prijenosnika treba sadržavati ukupno 96 bita, što je korektna veličina, znači da možemo računati upravo s podacima o ispravnim sekvencama dugačkim stotinjak bita. Iz [6] se zaključuje, dakle, da je vjerojatnost pojave ispravne sekvencije dužine 100 bita ili manje jednaka približno 5%. S obzirom da je broj ispravnih i neispravnih sekvenci sigurno jednak, efektivna je vjerojatnost da će se u prijenosu 100 bita pokvariti barem jedan bit minimalno jednaka 10%. U stvarnosti je to veća brojka, ali nas u ovom primjeru ne treba zanimati posve točan iznos. No, to još nije procjena $p$ koja nama treba. Naime, kod procesa prozivanja i odgovora vrše se očito dvije transmisije paketa podataka kroz komunikacijski medij. Ako je vjerojatnost pogrješke pri jednom prijenosu jednaka $p^*$, a to je onih 10%, vjerojatnost da će do pogrješke doći bilo u jednom ili drugom smjeru iznosi $1 - (1-p^*)\,(1-p^*) = 2p^* - p^{*2}$. Ako je $p^*$ maloga iznosa, onda to iznosi približno $2p^*$. To, međutim, u slučaju PLC medija ne mora biti zadovoljeno. Za našu procjenu dovoljno je uzeti da je vjerojatnost $p$ jednaka $2p^*$, tj. cca. 20%. No, ne bi nas trebala čuditi niti dvostruko veća vrijednost u mreži ovakve kvalitete. Dakako, kod vrlo loših dijelova mreže vjerojatnosti retransmisije mogu biti i bitno veće.

To nam potvrđuju i rezultati promatranja živog sustava očitanja u [7]. Selander konstatira da u pojedinačnim dijelovima obuhvaćene mreže koja napaja oko 70 korisnika relativna frekvencija ponovljenih prijenosa, koji su zabilježeni u bazi podataka u računalu koje vodi proces, obično u rangu 15 do 25%, s tim da je ova veličina podložna sezonskim i dnevnim promjenama, te da ovisi o dijelu mreže koji se promatra. Tu prostornu varijaciju autor u [7] zaobilazi aritmetičkim usrednjavanjem $p$ za sva domaćinstva, što ipak, kao što ćemo demonstrirati, može biti vrlo pogrješno. Naime, premda je prosjek pojedinačnih vrijednosti $p$ u spomenutom redu veličine, ukupno izračunat $p$, dobiven dijeljenjem ukupnog broja registriranih retransmisija s ukupnim brojem uspjelih i neuspjelih pokušaja prema svim kućanstvima, ispada oko 70%, što se nikako ne može dobiti jednostavnim aritmetičkim uprosječivanjem. Autor u [7] ne nudi objašnjenje ovog nesuglasja u podacima, već samo konstatira da je bilo slučajeva kada je u lošijim dijelovima mreže za jedan uspješan prijenos učinjeno i do 70 retransmisija.

Naš izračun će pokazati zbog čega nastaju ovakve razlike u statističkim osobinama pojedinačnih dijelova mreže i ukupne mreže.

Sada, kada imamo određeni dojam o realnom redu veličine $p$, možemo načiniti tablicu koja će zorno prikazati o čemu se ovdje radi. U tablici 1 dajemo prikaz ovisnosti veličina $p$, $Q$, $\sigma_Q$, $Q + \sigma_Q$, $Q + 2\sigma_Q$ i faktora definiranog jednadžbom (14).

Iz tablice se vidi da se za $p$ manji od 0.42 utjecaj retransmisija na prosječno vrijeme transakcije može u osnovi zanemariti. Međutim, porastom $p$ ta se situacija dramatično pogoršava. Ako je ukupna efektivna vrijednost $p$ jednaka 0.7, kao npr. u [7], tada je vrijeme potrebno za očitavanje cijele populacije brojila 2.68 puta dulje nego što bi bilo kada ne bi postojale pogrješke u transmisiji. Treba reći da PLC mreža razmatrana u [7] spada u red prosječno kvalitetnih distribucijskih mreža, tako da je ova opća vjerojatnost sasvim realna, dok je u našim domaćim uvjetima sigurno još lošija. Pojava velikog broja retransmisija u pojedinim lošijim dijelovima sustava, poput 70 retransmisija registriranih u [7], može se objasniti činjenicom da standardna devijacija varijable $q$ raste zajedno s njenim očekivanjem $Q$, odnosno, u krajnjoj liniji, sa $p$. Tako je sasvim vjerojatno da ponekad može doći do broja retransmisija nekoliko puta većeg od očekivanja, a u apsolutnom smislu se situacija pogoršava

**Tablica 1. Utjecaj vjerojatnosti pojedinačne retransmisije $p$ na prosječno vrijeme pojedinačne transakcije u velikom sustavu automatskog očitavanja brojila. $Q$ je zaokružen na najbližu cijelu vrijednost, a $Q + \sigma_Q$ i $Q + 2\sigma_Q$ zaokruženi su na prvu višu cjelobrojnu vrijednost.**

| $p$ | .01 | .05 | .1 | .2 | .3 | .42 | .45 | .5 | .6 | .7 | .8 | .9 | .95 | .98 | .99 | .999 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $-p\,/\,(\ln p)$ | .002 | .02 | .04 | .124 | .25 | .48 | .56 | .72 | 1.17 | 1.96 | 3.56 | 8.54 | 18.5 | 48.5 | 98.5 | 998.5 |
| $Q$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 9 | 19 | 49 | 99 | 999 |
| $\sigma_Q$ | .031 | .1 | .19 | .37 | .59 | .94 | 1.05 | 1.25 | 1.79 | 2.67 | 4.4 | 9.4 | 19.5 | 49.5 | 99.5 | 999.5 |
| $Q + \sigma_Q$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 5 | 8 | 18 | 38 | 98 | 198 | 1998 |
| $Q + 2\sigma_Q$ | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 8 | 13 | 28 | 58 | 148 | 298 | 2998 |
| $T/T^{(0)}$ (3.2-15) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.45 | 1.5 | 1.6 | 2.68 | 6.25 | 24.8 | 101.4 | 648 | 2617 | 263978 |

kako $Q$ raste, što se zorno vidi iz gornje tablice. Ipak, u ocjeni performancije sustava mjerodavna je očekivana vrijednost $Q$, jer se podjednako često mogu događati i znatno manji brojevi retransmisija od očekivanja.

S obzirom da se uvjeti na PLC mediju mijenjaju u vremenu, za opći izračun kapaciteta očitavanja potrebno je dobaviti podatak o vrijednosti $p$ u najlošijem satu i najlošijem danu.

### 1.2. Odnos pojedinačnih vjerojatnosti retransmisije i skupne vjerojatnosti

Koje je podrijetlo neusklađenosti parametara $p$ na dijelovima mreže i na čitavoj mreži [7], objasnit ćemo odmah na primjeru:

Pretpostavimo da imamo sustav od 50 brojila, koja se mogu grupirati u 5 grupa s različitim prosječnim vjerojatnostima $p$, i da se unutar svake grupe pojedinačne vjerojatnosti na pojedinačnim kanalima dovoljno malo razlikuju, da ih možemo objediniti kao aritmetičke sredine karakteristične za svaku od tih grupa. Neka te vrijednosti budu:

$$p_1 = 0.1 \quad p_2 = 0.2 \quad p_3 = 0.7 \quad p_4 = 0.9 \quad p_5 = 0.5\,.$$

Kada bismo jednostavno usrednjili ovih pet vrijednosti, dobili bismo da je $p$ za čitavu mrežu jednak 0.48, a to je daleko od istine. Naime, vrijeme potrebno za posluživanje svake pojedine grupe razmjerno je s njenom vrijednošću izračunatom prema (14), pa mi zapravo možemo usrednjiti faktor vremenskog produljenja (14) za ovih pet grupa, s obzirom da smo odabrali jednako brojne grupe, i tek onda iz takvog prosječnog faktora inverznom operacijom od (14) ekstrahirati stvarnu efektivno valjanu vrijednost $p$ za čitavu promatranu mrežu. Slijedi relacija za $p$:

$$1+\sum_{i=1}^{Q} i\cdot p^i = \frac{1}{5}\left[5+\sum_{j=1}^{5}\left(\sum_{k=1}^{Q_i} k\cdot p_i^k\right)\right]=6.2. \qquad (15)$$

Korištenjem (14) u par iteracija izračunavamo da to odgovara vrijednosti $p = 0.797$, a to je 66% lošije od aritmetičke sredine. Definirajmo sada radi lakšeg pisanja varijablu $\gamma_i$ kao:

$$\gamma_i = 1+\sum_{j=1}^{Q_i} j\cdot p_i^j; \qquad i=1,2.....,\Gamma. \qquad (16)$$

Neka je $\Gamma$ ukupan broj grupa s međusobno različitim prosječnim vjerojatnostima $p_i$, pri čemu u svakoj grupi ima $b_i$ brojila. U našem primjeru $\Gamma = 5$. Procijenimo srednju ukupnu vjerojatnost $p$ za čitavu mrežu kao:

$$p \approx \frac{\sum_{i=1}^{\Gamma} b_i\gamma_i p_i}{\sum_{i=1}^{\Gamma} b_i\gamma_i} \qquad (17)$$

Računajući tako dobivamo u gornjem primjeru da je ukupno $p = 0.82$, što je ipak znatno bliže.

Promotrimo sada još drastičniji primjer: Neka je populacija od 50 brojila podijeljena u dvije grupe, od kojih prva ima 45 brojila s $p_1 = 0.1$, a druga sadrži 5 brojila s vjerojatnošću $p_2 = 0.98$. Dakle, prva grupa sadrži 45 brojila koja komuniciraju s računalom preko kanala pristojne kvalitete, a druga sadrži samo 5 brojila koja se koriste izrazito lošim PLC kanalima. Aritmetička srednja vrijednost za $p$ bila bi jednaka (45 x 0.1 + 5 x 0.98)/50 = 0.188, a to je vrijednost koja još uvijek ne izaziva zančajno usporenje procesa očitavanja. No, to nije dobra procjena. Izračunajmo sada sljedeće:

$$1+\sum_{i=1}^{Q} i\cdot p^i = \frac{1}{50}(45\cdot\gamma_1+5\cdot\gamma_2)=65.7 \qquad (18)$$

Ovo je račun po uzoru na (15), koji daje najtočniji rezultat. Prema (14) približna vrijednost za $p$ je oko 0.94. Izračunajmo sada vrijednost prema (17). Ona iznosi: $p = 0.97$, što je dosta dobra procjena u odnosu na najbolju, naime na 0.94. Problem s inverznim korištenjem (14) je taj što funkcija ima mnoge diskontinuitete zbog zaokruživanja $Q$ na cjelobrojne vrijednosti, tako da inverzna funkcija nije definirana na čitavom skupu pozitivnih realnih brojeva većih od 1.

Iz ovih primjera, namjerno odabranih tako da budu drastični, vidi se da oni najnekvalitetniji dijelovi mreže, makar brojčano bili posve u manjini, zapravo degradiraju opću performanciju čitavog sustava. Time je objašnjen neobičan fenomen disproporcije pojedinačnih učestalosti retransmisija i opće učestalosti $p$ na razini čitave mreže promatrane u [7].

### 1.3. Fizikalno ograničenje kapaciteta očitavanja

Sada konačno možemo prijeći na određivanje prirodnog ograničenja na kapacitet velikog sustava za automatsko očitavanje brojila.

Definirajmo u skladu s (1) sljedeće veličine:

$$\begin{aligned}\alpha &= 2\left(\tau_R + \tau_{RR}\right)\\ \beta &= 2T_C + 2\tau_G + \tau_0 + 2\tau_{CR} + \\ &\quad + 2\tau_{RG} + 2\tau_{GM} - 2\tau_{RR}.\end{aligned} \tag{19}$$

Uz takvu notaciju može se napisati:

$$T^{(0)} = \alpha \cdot N + \beta. \tag{20}$$

S obzirom da srednje vrijeme pojedine transakcije ovisi o $T^{(0)}$ i o vjerojatnosti $p$, iz toga proizlazi da je u osnovi srednje vrijeme transakcije linearna funkcija srednjeg broja telekomunikacijskih čvorova, u ovom slučaju radijskih repetitora, u danoj mreži, na putu od računala do brojila. Faktor $\alpha$ daje čisti doprinos kašnjenja koja su u svezi s radijskim relejima, dok faktor $\beta$ predstavlja pretežito fiksna kašnjenja, neovisna o $N$, koja su posljedica zadržavanja u obradi podataka u računalu i prijenosniku, te na dionicama između tih elemenata i njima najbližih radioreleja. Isto tako, ovome broju doprinosi i vrijeme odziva brojila i trajanje transakcije između brojila i prijenosnika. Konkretni iznosi svih vremenskih veličina iz (19) ovise o primijenjenim uređajima, tj. njihovoj tehnologiji, a to pak ovisi o načinu pristupa brojilima, odnosno o konkretnom scenariju sekvencijalnog zahvaćanja podataka pohranjenih u njima.

Očekivana ili srednja vrijednost broja $N$ na putu od računala do PLC prijenosnika ovisi o konkretnoj topološkoj organizaciji radijskog dijela mreže. Važan parametar je očekivana udaljenost između susjednih radioreleja, koja se uz primjenu relativno jeftinih uređaja male snage i u urbanim uvjetima može procijeniti na oko 2 km, ili čak i manje.

Općenita situacija nacrtana je na slici 1. Broj prijenosnika može biti manji od broja releja jer poneki radioreleji mogu imati samo ulogu tranzitiranja podataka, ukoliko na lokaciji gdje su smješteni nema pogodnog mjesta ili potrebe za instaliranje prijenosnika. Pretpostavimo da su radioreleji u osnovi konfigurirani u zvjezdasto - lančastu strukturu, odnosno da se iz jednog centra, u kojemu se nalazi pojedinačno računalo, koje je dio računarske mreže za automatsko očitavanje brojila, zvjezdasto unutar čitave domene toga računala šire lanci radioreleja, na koje su spojeni prijenosnici. To je logično pretpostaviti jer pristupanje svakom pojedinom brojilu nije slučajno, već sekvencijalno, tako da je zadaća relejne mreže samo u osiguravanju dosega do pojedinih prijenosnika koji opslužuju svoje PLC domene. Prema današnjem stanju tehnologije [13], domena PLC medija može se protezati par stotina metara od prijenosnika, tako da njihova gustoća mora biti barem u rangu 500 - 1000 m, ako ne i češće.

Izračunat ćemo očekivani broj radioreleja $N$ za svaki pojedini lanac koji sadrži $M$ radioreleja, i to za četiri različita slučaja:

- kada je na svaki relej spojen jedan prijenosnik
- kada je broj prijenosnika za puta manji od broja radioreleja $M$ i kada su oni jednoliko razmješteni na taj način da ni na koji relej nije spojen više nego li jedan prijenosnik
- najnepovoljniji slučaj razmještaja, ako ni na koji relej nije spojen više nego li jedan prijenosnik
- najnepovoljniji slučaj razmještaja, ako se na svaki radiorelej može spojiti $C$ prijenosnika.

Kada je broj prijenosnika jednak broju releja, imamo trivijalnu situaciju, jer je vjerojatnost da će neki prijenosnik biti prospojen baš kroz $m$-ti radiorelej ($m$ poprima iznose između 1 i $M$) jednaka točno $1/M$, tako da očekivanje diskretne stohastičke varijable $m$ iznosi po definiciji:

$$N = \sum_{i=1}^{M} \frac{m}{M} = \frac{1+M}{2}. \tag{21}$$

Ako se na lanac od $M$ radioreleja spaja ukupno $M$ / prijenosnika, pri čemu je $M$ djeljivo sa , ako je njihov raspored jednolik i ako je na zadnji, $M$-ti relej u nizu uvijek spojen prijenosnik (u protivnom bi taj relej bio nepotreban), tada je vjerojatnost da je neki prijenosnik spojen s računalom preko $m$ radioreleja jednaka:

$$v(m) = \begin{cases} m/M & \text{za } m \text{ djeljivo sa } \zeta \\ (m-1)/M & \text{za } (m-1) \text{ djeljivo sa } \zeta \\ (m-2)/M & \text{za } (m-2) \text{ djeljivo sa } \zeta \\ \vdots & \\ (m-(\zeta-1))/M & \text{za } (m-(\zeta-1)) \text{ djeljivo sa } \zeta \end{cases}. \tag{22}$$

Time je definirana stohastička varijabla $m$. S obzirom da nam nije nužna savršeno točna procjena, možemo ovu diskretnu varijablu zamijeniti kontinuiranom, koja za cjelobrojne vrijednosti varijable poprima vrijednosti razdiobe jednake onima definiranim u gornjoj jednadžbi. Tada je gustoća razdiobe $dv/dm$ u svakom od slučajeva navedenih u (22) evidentno jednaka $1/M$, pa opet izlazi očekivanje identično kao u izrazu (21), što je uostalom i logično.

Najgori slučaj, pod pretpostavkom da ni na koji relej nije spojeno više nego li jedan prijenosnik, nastupa kada su svi prijenosnici grupirani na strani lanca releja suprotnoj strani na kojoj je računalo, i to tako da su svi spojeni na susjedne radioreleje, pa je njihova prosječna udaljenost od računala izražena brojem $N$ sigurno najveća moguća. U ovome primjeru ne trebamo pretpostaviti da je ukupan broj radiorelaja djeljiv s ukupnim brojem prijenosnika u nizu. Ako je ukupni broj prijenosnika jednak $G$, pri čemu je on manji ili jednak od $M$, očekivanje $N$ u najnepovoljnijem slučaju lako se dobiva uporabom gore danih razmatranja, i iznosi:

$$N = (M - G) + 0.5 \cdot (1 + G). \tag{23}$$

Ako se na svaki relej spaja $C$ prijenosnika, očekivanja $N$ za jednolike razdiobe se ne mijenjaju, ali se pogoršava očekivanje u najnepovoljnijem slučaju, koje postaje:

$$N=(M-G/C)+0.5\cdot(1+G/C). \qquad (24)$$

S obzirom na stohastičku raspodjelu uređaja u teritorijalno i brojčano vrlo velikim sustavima, normalno je pretpostaviti da je prostorna razdioba prijenosnika u odnosu na prostornu razdiobu radiorelaja približno jednolika, tako da prosječan broj $N$ na razini sustava biva približno jednak polovici broja releja u prosječno dugom lancu releja, ili preciznije $(1 + M)/2$. Sada je samo problem odrediti koliko ukupno releja ima u prosječnom lancu.

Taj broj se, naravno, ne može odrediti egzaktno, ali se može načiniti realna procjena s obzirom na očekivanu topologiju komunikacijske mreže. Recimo npr. da je prosječna udaljenost između trafostanica 110/x kV oko 10 km, te da se na svakih par trafostanica, a ovisno o gustoći naseljenosti područja to može biti i na svaku trafostanicu, smješta po jedno komunikacijsko računalo, koje opslužuje prijenosnike smještene u niskonaponskim trafostanicama koje su spojene na njih. Neka je mreža organizirana tako da se radio veze šire zrakasto od 110/x kV stanica s računalima. U gradu će radioreleji zbog loših propagacijskih uvjeta morati biti smješteni gušće nego li u ruralnoj sredini, ali će i računala zbog gustoće populacije morati biti smještena gušće, tako da možemo otprilike reći da će između dva susjedna računala biti razmješteno približno jednako radioreleja. Uzmimo gradsku situaciju. Neka je udaljenost između 110/x kV trafostanica prosječno 10 km, i neka je prosječan doseg jedne radio veze npr. 1 km. Računalo u toj trafostanici mora zrakastim nizom releja dosegnuti do polovice udaljenosti prema slijedećoj trafostanici, a to je oko 5 km, ili oko 5 radioreleja. Radi sigurnosti možemo uzeti i dvostruko više, tako da se čini da bi realno očekivani broj releja, $N$, na putu od računala do prijenosnika mogao biti manji ili jednak od 5. S obzirom na kratkoću kašnjenja u relejima, koji u mreži u pravilu ne bi trebali obavljati nikakvu obradu niti komutaciju, to nije preveliki broj, i transmisija kroz radio mrežu u manjoj će mjeri doprinijeti ukupnom vremenu odziva, nego li čvorovi koji vrše zahvate nad podacima i koji operiraju s bazama podataka.

Pretpostavimo da jedno računulo očitava sva brojila spojena na $X$ niskonaponskih trafostanica, od kojih svaka u prosjeku napaja $K$ potrošača. Ako vrijeme transakcije s nula retransmisija pišemo prema (20), onda vrijedi nejednakost:

$$X\cdot(\alpha\cdot N+\beta)\le\frac{\theta}{f\cdot K\cdot\left(1+\sum_{i=1}^{Q} i\cdot p^{i}\right)}. \qquad (25)$$

Od novih veličina, ovdje je $\theta$ interval očitavanja u sekundama, a $f$ je bezdimenzijski faktor koji znači da se računalu ostavlja $\theta/f$ sekundi vremena za dovršenje čitavog ciklusa, jer svako pojedino računalo u sustavu ima i druge zadatke koje treba stići obaviti. Npr, u velikim sustavima radit će paralelno više računala, koja će periodički morati pripremiti ažuriranu bazu podataka i odgovoriti na zahtjev nadređenog računala, te je dostaviti. Nadalje, postoji i potreba za drugim vidovima komunikacije, u okviru "energy management" koncepta. Osim toga, postojanje slobodnog intervala povećava pouzdanost očitanja zbog mogućnosti vremenske diverzifikacije očitanja, te dopušta određenu elastičnost u održavanju. Razumno je tražiti da se čitav postupak dovrši za npr. 1/2 ili 1/3 ciklusa očitanja, pa bi u tim slučajevima broj $f$ iznosio 2 ili 3. Interval očitavanja za pojedinačne potrošače odgovara intervalu u kojemu se mijenja cijena na kratkoročnom tržištu, premda i to može ovisiti o količini inteligencije ugrađene u samo brojilo, odnosno njegovo komunikacijsko sučelje. Uzet ćemo nekakvu razumnu vrijednost od jednoga sata.

Iz prethodne formule vidi se da je umnožak broja trafostanica po jednom računalu $X$ i prosječnog vremena izvođenja jedne transakcije koja uspije od prve ($T^{(0)}$) ograničen odozgo faktorom koji ovisi o odabranim veličinama $\theta$ i $f$, te o prosječnoj vjerojatnosti pojedinačne retransmisije, dakle o kvaliteti prijenosnog medija. Pošto je PLC mnogo lošiji medij od radijskog, upravo njegova kvaliteta, izražena vrijednošću $p$, odlučujuće smanjuje opći kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila. Za sustav je povoljno da jedno računalo može obuhvatiti čim više trafostanica, tj. čim više pojedinačnih korisnika, zbog toga što je onda mreža računala jednostavnija, manja je početna investicija, i manja je cijena najma ili izgradnje telekomunikacijskih kapaciteta koji će povezati mrežu teritorijalno disperziranih računala znatno većim kapacitetom od onoga potrebnog u radiorelejnom sustavu koji opslužuje sama brojila.

Sada ćemo zbog usporedbe razmotriti dva primjera.

*Scenarij A:*

Računalo proziva svako brojilo ponaosob u sekvenciji, pa radioreleji i prijenosnici ne moraju u sebi nositi nikakve kompliciranije funkcije od transparentnog prijenosa podataka, tako da su njihova inherentna kašnjenja vrlo mala. Duljina poruke u oba smjera je jednaka i iznosi 96 bita, a brzina signaliziranja je 19.2 kb/s. Prosječna vjerojatnost pojedinačne retransmisije izračunata u smislu ovoga izlaganja neka je 0.7. Iz tih pretpostavki slijede neke od tipičnih vrijednosti, dok druge dajemo paušalno, u skladu s realno utemeljenim procjenama prema današnjem stanju tehnike:

$T_P = 96/19200 = 5$ ms (trajanje poruke)

$\tau_R = 20$ ms $\quad \tau_{GM} = 5$ ms

$\tau_{RG} = 5$ ms $\quad \tau_{RR} = 5$ ms

$\tau_{CR} = 5$ ms $\quad \tau_0 = 100$ ms

$T_C = 1$ s $\quad \tau_G = 50$ ms.

Slijedi da je $\alpha = 0.05$ s i $\beta = 2.22$ s. Ako je $N = 5$, $\theta = 1$ sat i $f = 3$, ispada da je:

$$X \leq 3600/(3 \cdot 100 \cdot 2.68 \cdot 2.47) = 1.8.$$

To znači da jedno računalo stigne obraditi približno 2 prosječne trafostanice ili 200 potrošača u satu, pri čemu mu tijekom jednog sata ostaje oko 38 slobodnih minuta.

*Scenarij B:*

Računalo proziva jedan po jedan prijenosnik, a svaki prijenosnik ima već spremljene podatke svih svojih brojila, tako da je duljina down-link poruke jednaka 96 bita, a duljina up-link poruke je jednaka 96 + $K$ x 32 bita, ako pretpostavimo da je kao u [5] 32 bita dovoljno za pohranu pojedinačnog podatka iz brojila. Prijenosnik sada sadrži složene funkcije, pa mu je vrijeme odziva veće. Kvaliteta radiomreže je gotovo savršena, pa je $p$ = cca. 0. U računu prema (3.2-25) umjesto $K$ = 100 uvrstit će se broj 1, jer računalo ne pristupa pojedinačno do svih brojila, nego samo do prijenosnika. Važne veličine su:

$T_{Pd}$ = 5 ms (trajanje down-link poruke)
$T_{Pu}$ = cca. 170 ms (trajanje up-link poruke)
$\tau_{Rd}$ = 25 ms (down link)
$\tau_{Ru}$ = 190 ms (up-link)
$\tau_{RR} = {}_{CR}$ = 20 ms (samo vrijeme propagacije)
$\tau_{GG}$ = 0.5 s (čekanje na odziv prijenosnika)
$T_C$ = 1 s
$\tau_{RG}$ = 5 ms.

Sada će izrazi za $\alpha$ i $\beta$ doživjeti malu modifikaciju zbog nepostojanja veličina koje se odnose na vezu prijenosnika i brojila, te zbog nesimetrije up i down linka:

$$\alpha = \tau_{Rd} + \tau_{Ru} + 2\,\tau_{RR} = 0.255 \text{ s}$$
$$\beta = 2\,T_C + \tau_{GG} + 2\,\tau_{CR} + 2\,\tau_{RG} - 2\,\tau_{RR} = 2.51 \text{ s}.$$

Uz $N = 5$ slijedi:

$$X \leq 3600/(3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.3) = 317.$$

Dakle, na ovaj način jedno računalo može stići obraditi 317 prijenosnika s po 100 podređenih brojila, tj. ukupno 31700 brojila svakih sat vremena, s tim da mu u tom intervalu ostaje slobodno 40 minuta. Ispada da je uz ovu strategiju kapacitet očitavanja 150 puta veći, ne računajući ipak ograničenu kvalitetu radijskog sustava, koja taj broj ponešto smanjuje. Čitatelj će primijetiti da uz ovakvu strategiju očitavanja možemo odrediti i faktor za radio mrežu, poznajemo li njezinu vrijednost $p$, i to posve neovisno od određivanja faktora PLC medija. Ukupno vremensko produljenje obrade dobije se umnoškom tako određenih faktora. Jasno, numerički primjer je odabran tako da bude drastičan. U stvarnosti je potrebno uračunavati konkretne poznate podatke o parametrima kašnjenja.

Jedino još treba provjeriti stiže li prijenosnik prikupiti sve podatke za dvadeset minuta. Ako se 100 brojila očitava 20 minuta, znači da je prosječno vrijeme raspoloživo za očitavanje pojedinog brojila 12 s, što je barem 10 do 20 puta više od potrebnoga uz uračunata tipična kašnjenja u PLC mreži, te uz tipično vrijeme odziva brojila i vrijeme obrade u prijenosnika. To znači da sustav može uspješno raditi uz vjerojatnosti pojedinačne retransmisije u PLC mreži do oko $p = 0.9$.

Jasno, ova dva primjera dana su s uračunatim tipičnim rangom fizikalnih veličina koje su u igri, i to samo radi usporedbe dviju mogućih strategija pristupa. Te strategije nisu jedine moguće, a tipična vremena kašnjenja ovise o primijenjenoj tehnologiji, digitalnoj brzini, itd, pa su i ona podložna promjenama. No, iz primjera se vidi koji je glavni pravac djelovanja, odnosno koji su glavni uzroci sporosti sustava. To su vremena obrade u računalu i, u scenariju B, u prijenosniku, odnosno općenito fiksno kašnjenje . Zbog toga kašnjenja u scenariju B je ispalo da nekvaliteta PLC medija ne čini glavni problem, jer i uz visoku vjerojatnost pojedinačne retransmisije prijenosnik stiže kolektirati sve potrebne informacije. Tehnološki napredak dovest će do smanjenja vrijednosti $\beta$, i time do približno proporcionalnog povećanja kapaciteta očitanja po jednom računalu.

### 1.4. Zaključak o analizi utjecaja kvalitete PLC medija na kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila

Iz prethodnih razmatranja zaključujemo sljedeće:

- U općoj analizi prosječnog vremena potrebnog za očitanje jednog brojila u velikom sustavu automatskog očitavanja brojila ne može se zanemariti utjecaj šuma i interferencija na PLC mediju.
- Porastom vjerojatnosti pojedinačne retransmisije drastično se povećava prosječno vrijeme očitanja brojila, ali za $p < 0.42$ utjecaj te vjerojatnosti može se zanemariti.
- Očekivani broj retransmisija i disperzija broja retransmisija rapidno rastu sa $p$, tako da je ponekad u stvarnim PLC mrežama moguće da za dohvat jednog podatka očitanja brojila bude potreban vrlo velik broj retransmisija.
- Najlošiji dijelovi PLC mreže najviše utječu na opću performanciju čitave PLC. Vjerojatnosti pojedinačne retransmisije u dijelovima mreže s različitim kvalitetama ne mogu se linearno usrednjavati, već se mora vrednovati doprinos faktoru svakoga od tih dijelova, a upravo zbog toga najlošiji dijelovi mreže imaju najveći utjecaj na zajednička svojstva.

Kapacitet očitavanja sustava obratno je razmjeran faktoru mreže. Stoga je poželjno načiniti takvu strategiju očitavanja svakog pojedinog brojila koja će minimizirati vremenski udio PLC medija u ukupnom telekomunikacijskom prometu mreže.

## 2. OSTALE KLASIČNE PRIMJENE

Ovdje ćemo se spomenuti i nekih područja u kojima je PLC više ili manje uspješno primjenjivan i kroz protekle godine, premda s relativno ili čak vrlo malim ka-

pacitetima. Naravno da je prijenos informacija distribucijskom energetskom mrežom najprije zaživio u industriji i elektroprivredi. Štoviše, elektroprivreda već preko pola stoljeća koristi i visokonaponske vodove za prijenos u pravilu manjeg broja analognih, ili u novije vrijeme digitalnih, komunikacijskih kanala.

U Europi je CENELEC-ovim standardom EN50065 [9] fiksirano frekvencijsko područje rada namijenjeno PLC komunikacijama, koje ne ostavlja dovoljno prostora za razvoj širokopojasnih komunikacija. Ovom normom dijeli se područje od 3 kHz do 148.5 kHz u nekoliko podpojaseva:

- 3 – 9 kHz – rezervirano za distribuciju
- 9 – 95 kHz – rezervirano za distribuciju i njene licencirane partnere (A band)
- 95 – 125 kHz – rezervirano za korisnike (B band – bez protokola)
- 125 – 140 kHz – rezervirano za korisnike (C band – protokol CSMA, engl. Carrier Sense Multiple Access)
- 140 – 148.5 kHz – rezervirano za korisnike (D band – bez protokola).

Dozvoljene razine emitiranog signala, izražene u dBV, na priključnici specificirane su za područja označena slovima, i iznose:

- A band: linearni pad od 134 dBμV na 9 kHz do 120 dBμV na 95 kHz
- B, C i D band: 122 dBμV.

Dakle, u većem dijelu ovoga područja dozvoljeni napon na stezaljkama emitirajućeg uređaja kreće se oko 1V. Korištenje područja iznad 148.5 kHz zabranjeno je zbog AM radiodifuzije. U Americi i Japanu dopušteno je korištenje spektra do oko 500 kHz, ali se u zadnje vrijeme pojavljuju sumnje, posebice u Kanadi, da emisije na oko 180 kHz mogu ometati zrakoplovne navigacijske sustave, tako da bi i u tim zemljama uskoro moglo doći do reduciranja pojasa slobodnog za PLC sustave.

Postoji nekoliko područja tradicionalne primjene PLC-a, odnosno onih područja koja se tek otvaraju, a u kojima će PLC kao medij sigurno odigrati značajnu ulogu:

- kućna automatizacija i "smart home" koncept
- industrijska automatika i upravljanje procesima
- potrošačka elektronika (npr. baby-alarmi i slični uređaji)
- sigurnosni sustavi, nadzor objekata
- "energy management":
  - AMR – automatsko očitavanje brojila
  - kontrola i upravljanje tarifama za obračun energije
  - daljinsko upravljanje trošilima, "demand side management"
- usluge s dodanom vrijednošću (VAS, engl. Value Added Services) – čitav spektar novih usluga koje distributeri električne energije mogu pružati svojim korisnicima, od nekih navedenih u gornjoj natuknici, pa do – eventualno – usluga koje zahtijevaju širokopojasni prijenos.

Kada je riječ o tradicionalnim primjenama, od kojih su najvažnije industrijske aplikacije i kućna automacija, te o nekima koje će podupirati koncept "energy managementa", korisno je definirati set važnih parametara, na koje si treba odgovoriti svaki planer sustava prije nego li odabere neko rješenje s PLC prijenosom signala, a s obzirom na poznate teškoće vezane za taj medij. Newbury i Morris u [1] daju temeljnu listu takvih parametara i razmatraju ih u slučajevima triju spomenutih vrsta sustava s PLC komunikacijom. Definicije parametara prema [1] su:

- Doseg – fizička veličina površine koju treba pokriti telekomunikacijskim sustavom.
- Vrijeme odziva – kašnjenje prigodom prijenosa informacije između dva komunicirajuća čvora u mreži, koje ovisi o vremenu propagacije, broju međučvorova, primijenjenom protokolu, vrsti komutacije, itd...; a odozgo je ograničeno minimalnim zahtjevom konkretnog sustava.
- Najlošije vrijeme odziva – najveće kašnjenje, za razliku od tipičnog, koje je još podnošljivo u danoj aplikaciji, a može imati podrijetlo u različitim uzrocima, npr. u retransmisijama zbog šuma.
- Posljedice gubitka veze – ponašanje sustava u slučaju prekida komunikacije među čvorovima.
- Posljedice gubitka čvora – ponašanje sustava u slučaju gubitka jednog ili više čvorova.
- Sigurnost podataka – potrebno je znati je li nužno obaviti zaštitu podataka od trećih osoba, i kakve to ima implikacije na dizajn sustava.

Evo sada i okvirne analize triju različitih sustava, također prema [1]:

a. Kućna automatizacija
  - Doseg – unutar kuće ili zgrade.
  - Vrijeme odziva – prihvatljivo do reda veličine sekunde, a neki uređaji toleriraju i znatno više.
  - Najlošije vrijeme odziva – duža vremena odziva mogu biti iritantna za korisnika, ali bi u pravilu bila bez većih posljedica.
  - Posljedice gubitka veze – također neugoda za korisnika, ali bez ozbiljnijih konzekvenci.
  - Posljedice gubitka čvora – isto kao i u slučaju gubitka veze.
  - Sigurnost podataka – potrebna je jedino ako u kući ili zgradi postoji sustav nadzora i osiguranja.

b. Industrijska automatika
  - Doseg – vjerojatno lokalan, unutar jednog pogona u poduzeću, dok se veze između više takvih cjelina u npr. tvorničkom krugu ostvaruju kvalitetnijim telekomunikacijskim medijem, tako da se može

očekivati pokrivanje terena s gabaritima u redu veličine stotinjak metara.

- Vrijeme odziva – zavisi od vrste automatskog pogona koji se upravlja u realnom vremenu; ni u kom slučaju vrijeme odziva iznad 1 sekunde ne bi bilo prihvatljivo.
- Najlošije vrijeme odziva – opet, ovisi o tome kakav proces se vodi automatski, ali je posve neprihvatljivo da bude znatno iznad 1 s.
- Posljedice gubitka veze – u mnogim automatskim procesima mogu biti vrlo ozbiljne, pa je poželjno da postoji neka vrsta linijske zaštite ili diversity-a, što npr. kod PLC-a nije teško postići, te da postoje algoritmi koji u slučaju prekida telekomunikacijskih veza mogu na miran način prekinuti kontrolirani proces.
- Posljedice gubitka čvora – također mogu biti vrlo ozbiljne, tako da je poželjno da se proces u slučaju gubitka čvora može mirno ugasiti. Mreža mora stalno nadzirati stanje ispravnosti čvorova.
- Sigurnost podataka – nije osobito važna, osim ako se računa s mogućnošću sabotaža.

c. Automatsko očitavanje brojila

- Doseg – može biti vrlo velik, ali u kontekstu PLC-a najčešće će se raditi o vezi lokalne trafostanice x/0.4 kV s pojedinačnim brojilima, tako da se radi o populacijama male ili srednje brojnosti (npr. u USA-u tipično 10 do 20 brojila po trafostanici, u Europi dva do tri puta više; hrvatski prosjek: oko 100 korisnika po lokalnoj trafostanici [10]. Takva mala lokalna mreža najčešće biva dijelom mnogo veće strukture, s kojom je povezana drugim telekomunikacijskim medijem, naime optikom ili radio vezom.
- Vrijeme odziva – elektroprivredne tvrtke očitavat će svoja brojila barem jednom u pola sata. Ostale aplikacije tolerirat će ponekad i veće vrijeme odziva.
- Najlošije vrijeme odziva – ovisi o veličini populacije koju obrađuje jedan sustav, tj. jedno računalo. Svejedno, kašnjenje unutar jednog ciklusa očitanja nema nikakvih posljedica, a niti gubitak jednog očitanja za pojedinačno brojilo i potrošača ne može imati teže posljedice.
- Posljedice gubitka veze – ovise o vremenu trajanja prekida, ali u principu ne mogu biti teške iz dva razloga: (a) podaci iz brojila se samo čitaju, odnosno brojilo ne prima nikakve naredbe za izvršenje bilo kakve akcije od sustava za očitavanje; (b) gubitak podataka o potrošnji kroz nekoliko sati, pa i dana, u principu se može nadomjestiti interpolacijom, s obzirom na ujednačeni obrazac ponašanja svakog pojedinog korisnika.
- Posljedice gubitka čvora – isto kao u slučaju gubitka veze.
- Sigurnost podataka – važna zbog toga što su vrijednosti očitavane na brojilima direktno razmjerne novčanim vrijednostima, tako da je u najmanju ruku potrebno spriječiti falsificiranje podataka.

Sada ćemo u najkraćemu spomenuti danas ustaljene standarde koji omogućuju korištenje PLC-a kao prijenosnog komunikacijskog medija. Radi se o tvorničkim standardima koji su komercijalno najbolje uspjeli, tj. koji se najviše koriste.

## 2.1. X-10

Tehnologija X-10 pojavila se tijekom sedamdesetih godina, i danas se može smatrati da je najraširenija PLC tehnologija. Do danas su razvijene stotine uređaja kompatibilnih sa X-10, s milijunima isporučenih sustava.

X-10 u trenucima prolaska mrežnog napona kroz nulu emitira pulseve frekvencije 120 kHz, trajanja 1 ms. Binarni znakovi kodirani su bifazno: ako je na početku periode (pozitivan prolaz kroz nulu) emitiran puls od 120 kHz, a jednu poluperiodu kasnije (negativan prolaz kroz nulu) nije emitirano ništa, odaslan je binarni znak "1". Ako na početku periode nije emitirano ništa, a jednu poluperiodu kasnije bude odaslan 120 kHz puls, radi se o binarnoj nuli. Zbog smanjenja utjecaja šuma svaki binarni simbol, "0" ili "1", odašilje se dvaput uzastopce, u dvije susjedne periode mrežnog napona. To je ujedno i jedina mjera poduzeta protiv utjecaja smetnji, a X-10 protokol uopće ne predviđa potvrdu prijema informacije, tako da je sustav baziran na X-10 zapravo dosta osjetljiv na šum, što mu je najveća mana.

Dakle, za emitiranje informacije od jednog bita potrebne su dvije pune periode mrežnog signala, odnosno 33.33 ms u Americi i Japanu, tj. 40 ms u Europi. U tim slučajevima, maksimalne efektivne brzine signaliziranja su 30 b/s, odnosno 25 b/s.

Temeljna X-10 poruka sadrži 13 signala, a sastoji se od 4 signala preambule, 4 bita kućnog koda, 4 bita koda jedinice/funkcije i jednog bita koji indicira odnose li se prethodna 4 bita na jedinicu ili funkciju. Preambula sadrži tri početna bursta od 120 kHz u tri uzastopne periode i jednu periodu bez ikakve emisije, tako da preambula traje ukupno koliko i dva bita, odnosno osnovna X-10 poruka zapravo traje kao 11 bita, tj. 366.66 ms na mreži 60 Hz, te 440 ms na 50 Hz.

Informacija potrebna za aktiviranje X-10 uređaja sadržana je u dvije 11-bitne poruke, od kojih se svaka emitira dvostruko, zbog daljnjeg povećanja imunosti na šum. S obzirom da prijamnik može reagirati na poruku čim je primi prvi puta, minimalno vrijeme transmisije komande iznosi 22 bita, odnosno 0.73 s na mreži 60 Hz i 0.88 s na 50 Hz.

Adresno polje X-10 sustava omogućuje adresiranje najviše 256 uređaja. Postoje i novije verzije X-10 protokola s većim kapacitetom prijenosa, ali one nisu toliko raširene u uporabi. Unatoč vrlo malom kapacitetu, X-10 je zbog svoje krajnje jednostavnosti našao veliku

primjenu, naročito u Sjedinjenim Američkim Državama, u području upravljanja jednostavnim procesima kakvi se odvijaju u kućama.

X-10 predstavlja minimalni standard komuniciranja uopće, i on sigurno ne eksploatira niti djelić stvarnih mogućnosti PLC medija, makar se radilo i samo o EN 50065 pojasu. U principu, X-10 sustavi kompatibilni su s EN 50065, osim utoliko što je njihov nosioc smješten u C-pojasu, koji je namijenjen za CSMA tehnologiju, ali je načelno moguće bez velikih problema izvršiti korekciju frekvencije nosioca, koja bi trebala biti unutar A-pojasa.

### 2.2. CEBus

CEBus je otvoreni standard usklađen s OSI modelom za sustave kućne automatizacije uveden od strane američke asocijacije EIA (engl. Electronic Industry Association). Zbog slojevitosti i razvijenosti CEBus protokola, kao i zbog mogućnosti decentralizacije inteligentnog dijela sustava, CEBus je našao primjenu i u mnogim drugim poljima, osim onoga kojemu je prvotno bio namijenjen. Kao što ćemo vidjeti, CEBus nije kompatibilan s CENELEC-ovom normom za signaliziranje na niskonaponskim mrežama.

Na sučelju prema prijenosnom mediju CEBus koristi varijantu sporog FH sustava raspršenja spektra (FH, engl. Frequency Hopping), u kojemu se tijekom trajanja jednog simbola frekvencija mijenja kontinuirano od 100 kHz do 400 kHz, ili obratno. Veličina signala je 4 V od vrha do vrha, odnosno 1.41 V efektivno. Osnovna vremenska jedinica je "trajanje jediničnog simbola", a iznosi 114 s u preambuli, odnosno 100 s u podatkovnom paketu. Simbol "1" traje jednu jedinicu, "0" traje dvije jedinice, kraj okvira traje 8 jedinica u preambuli, odnosno 3 u podatkovnom paketu, a kraj podatkovnog paketa traje 4 jedinice. Preambula se kodira i modulira načinom NRZ-ASK (engl. Non Return to Zero – Amplitude Shift Keying), a podatkovni paket se kodira načinom FRK (engl. Frequency Reversing Keying).

CEBus uključuje funkcije detekcije pogrješaka u prijenosu, automatske retransmisije, potvrde ispravnog prijma, odbijanja dvaput pristiglog paketa, autorizacijske procedure za sprječavanje neovlaštenog korištenja, te kriptiranja za zaštitu tajnosti. Maksimalan broj uređaja u jednom sustavu (veličina adresnog polja) je 65536. Razvijena su sučelja za komunikaciju različitim medijima: PLC-om, bakrenim paricama (4 parice), koaksijalnim kabelima (2 kabela), radijskim medijem i infracrvenim zrakama. Razmatra se razvoj sučelja za optička vlakna. Standard je donijela EIA pod imenom IS-60. Više o decentraliziranim sustavima na tragu "smart home" koncepta može se vidjeti u [11].

Time, naravno, nisu iscrpljene sve tehnologije komuniciranja PLC-om koje su danas komercijalno dostupne.

## LITERATURA

[1] J. E. NEWBURY, K. J. MORRIS: "Power Line Carrier Systems For Industrial Control Applications", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 4, Oct. 1999.

[2] J. NEWBURY, W. MILLER: "Potential Communication Services Using Power Line Carriers and Broadband Integrated Services Digital Network", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 4, Oct. 1999.

[3] M. H. SHWEHDI, A. Z. KHAN: "A Power line Data Communication Interface Using Spread Spectrum Technology in Home Automation", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 3, July 1996.

[4] J. NEWBURY, W. MILLER: "Multiprotocol Routing for Automatic Remote Meter Reading Using Power Line Carrier Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 16, No. 1, Jan. 2001.

[5] S. MAK, D. RADFORD: "Design Considerations for Implementation of Large Scale Automatic Meter Reading Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 1, Jan. 1995.

[6] M. H. L. CHAN, R. W. DONALDSON: "Atennuation of Communication Signals on Residential and Commercial Intrabuliding Power-Distribution Circuits", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-28, No.4, Nov. 1986.

[7] L. SELANDER: "Powerline Communications: Channel Properties and Communication Strategies", PhD Thesis, Lund University, Sweden, 1999, http://www.enersearch.se/knowledgebase/publications/thesises/pow-line.html

[8] P. K. van der GRACHT, R. W. DONALDSON: "Communication Using Pseudonoise Modulation on Electric Power Distribution Circuits", IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-33, No. 9, Sept. 1985.

[9] CENELEC, Standard EN50065.

[10] Z. A. BUKHALA et al: "Radio Frequency Signal Transmission on Medium Voltage Power Distribution Lines", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 1, Jan. 1999.

[11] D. RADFORD: "Spread Spectrum Data Leap Through AC Power Wiring", IEEE Spectrum, Vol. 33, No. 11, Nov. 1996.

[12] T. MacGREGOR: "Electricity Restructuring i Britain: Not a Model to Follow", IEEE Spectrum, Vol. 38, No. 6, June 2001.

[13] K. DOSTERT: "High Speed Data Transmission over Power Lines Using", Multi-Carrier (OFDM) Techniques, Frequenz, Vol. 54 (2000), No. 11-12.

[14] K. DOSTERT: "Powerline Communications", Prentice Hall PTR, 2001.

[15] D. SABOLIĆ: "Načela i praksa deregulacije", Energija, br. 5/2002, Zagreb, 2002.

[16] A. E. KAHN: "How to Make Deregulation Work (interwiev, Eds. W. Sweet, E.A. Bretz)", IEEE Spectrum, Jan. 2002.

[17] D. SABOLIĆ: "Influence of the Transmission Medium Quality on the Automatic Meter Reading System Capacity", bit će objavljeno u IEEE Transactions on Power Delivery u 2003. god.

## INFLUENCE OF PLC MEDIA QUALITY ON THE CAPACITY OF AUTOMATIC METER READING SYSTEM

Electric distribution network quality influence as transmission media for communication signals (PLC-Power Line Carrier) on the capacity of automatic meter reading system (AMR – Automatic Meter Reading) is analyzed. The factor of time prolongation for one average meter reading depending on failure probability in transmission message, i.e. the easiest measurable value for transmission characteristics of PLC media, is determined. The final part of the paper brings a review on other important classical examples of narrow-range communication through PLC media.

## EINFLUSS DER QUALITÄT DER STROMVERSORGUNGSNETZE ALS FERNMELDETRÄGER (PLC), AUF DIE AUFNAHMEFÄHIGKEIT DES SYSTEMS DER AUTOMATISCHEN ABLESUNG VON ZÄHLGERÄTEN

Dargestellt ist die Untersuchung des Einflusses der Qualität der Stromversorgungsnetze als Fernmeldeträger (Englisch:PLC=Power Line Carrier) auf die Aufnahmefähigkeit von Daten im System der automatischen Ablesung von Zählgeräten (Englisch: AMR=Automatic Meter Reading). Die Kennzahl der Dauerverlängerung einer durchschnittlichen Zählerablesung wird in Abhängigkeit von der Warscheinlichkeit des Fehlers in der Übertragung der Nachricht bestimmt. Die genannte Kennzahl stellt die leichtest messbare Grösse der Übertragungseigenschaften von PLC dar. Zuletzt wird im Artikel eine Übersicht anderer wichtiger klassischer Beispiele der Schmalbandübertragungen von Meldungen mitels PLC gegeben.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.**
**HEP Prijenos d.o.o.**
**Prijenosno područje Zagreb**
**Ulica grada Vukovara 37**
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2002 –10 – 02.

## ISPRAVAK ČLANKA I PORUKA AUTORIMA

Zbog pogreške u nazivu autora članka "Model i organizacija službe vođenja distribucijske mreže Hrvatske", objavljenog u "Energiji" broj 1 u veljači 2003, molimo vas da uvažite ovaj ispravak:

1. Na stranici 35. piše: Boris Krstulja – Vitomir Komin, Rijeka, a trebalo bi pisati:
   **Boris Krstulja – mr. sc. Vitomir Komen, Rijeka**

2. Na stranici 43. piše:

   Naslov pisaca:
   Boris Krstulja, dipl. ing.
   Viktor Komin, dipl. ing.
   Rukovoditelj odjela za upravljanje
   HEP Distribucija d.o.o.
   Ulica Viktora Cara Emina 2
   51000 Rijeka, Hrvatska

   a trebalo bi pisati:

   Naslov pisaca:
   **Boris Krstulja, dipl. ing.**
   **mr. sc. Vitomir Komen, dipl. ing.**
   **HEP Distribucija d.o.o.**
   **DP Elektroprimorje Rijeka**
   **Ulica Viktora Cara Emina 2**
   **51000 Rijeka, Hrvatska**

*Koristimo se prigodom da autorima skrenemo pozornost na teške uvjete u kojima djeluje naše uredništvo. Kako za tu "boljku" zasad nema lijeka, molimo autore da, prije nego što pošalju članak za tisak, provjere jesu li dali sve potrebne podatke: ime i prezime, adresu, akademsku titulu te položaj u tvrtki u kojoj rade.*

*Dovoljno je uzeti bilo koji primjerak "Energije" i pogledati što piše ispod naslova članka, a što na kraju (naslov pisca).*

*Točnim i pravodobnim podacima pomogli biste nam da izbjegnemo nepotrebne pogreške.*

Urednica

# RAZVOJ (DE)REGULACIJE I PREPORUKE ZA TRANZICIJSKA GOSPODARSTVA

Mr. sc. Darko D v o r n i k, Zagreb

UDK 338.24:620.9
PREGLEDNI ČLANAK

Ne postoje univerzalna pravila za rješavanje problema neefikasne tržišne regulacije. Imajući na umu da primarni cilj regulacije nije regulatorna agencija *per se* već konkurentno tržište, moguće je uz prilagodbu niza elemenata šireg regulatornog okvira ostvariti bolje performanse u sektoru, što je posebice bitno u početnom stadiju djelovanja regulatorne agencije.
U članku se daje povijesni pregled razvoja i (de)regulacije elektroenergetskog i telekomunikacijskog tržišta. Potom se diskutira o ekonomskim aspektima monopolističkog uređivanja u ove dvije industrije, te se obrazlažu razlozi ponovne re-regulacije tržišta ovih industrija. Naposljetku se prikazuju temeljna načela uspješne (de)regulacije i odgovarajući paket preporuka za tranzicijske zemlje.

**Ključne riječi: (de)regulacija, tranzicijska gospodarstva.**

## 1. UVOD

Ne tako davno, postojalo je uvriježeno mišljenje da tržišta javnih usluga (poput elektroenergetskog, telekomunikacijskog, usluge plina, vodovoda i sl.) ne može efikasno posluživati više od jednog poslovnog subjekta jer njihova utrka za maksimalnim profitom ne bi dovela do maksimiranja probitaka za korisnike usluga. U tom smislu, kao korektiv manjkavosti (nesavršenosti) tržišta uvedena je ekonomska regulacija cijena s ciljem da se zadovolji javni interes. Tako su u svijetu do prije nekoliko desetljeća na području pružanja javnih usluga prevladavale takve organizacije u kojima je država bila i vlasnik i operater usluga.

Proces liberalizacije i deregulacije tržišta kojeg su započele mnoge zemlje u svijetu prije otprilike dva desetljeća, omogućio je snižavanje ulaznih barijera i dovođenje privatnog kapitala, s glavnim ciljem stvaranja konkurentnije tržišne okoline. Države su se postupno odmicale od uloge vlasništva i upravljanja, a kretale su se prema kreiranju smjernica politike u sektoru i regulaciji. U samom upravljanju i vođenju ove tranzicije, mnoga novooformljena gospodarstva poput tranzicijskih, nastojala su čim prije uspostaviti efikasnu regulatornu okolinu. Naime, spor i neefikasan razvoj regulatornih agencija mogao bi uzrokovati još veći jaz između njih i razvijenih zemalja. Osim toga, jedna od pretpostavki ulaska u Europsku uniju, sastoji se u implementaciji odgovarajućih smjernica EU-a i, naravno, njihova provedba u praksi.

U tom svjetlu razmatranja, efikasna regulacija u tranzicijskim zemljama u velikoj mjeri ovisi o: suzdržavanju uplitanja državnog aparata u rad regulatorne agencije, o dosljednoj i nepristranoj primjeni zakona, stabilnosti i učinkovitosti pravosudnog sustava, dostatnoj količini administrativnog know-how-a, kvaliteti ljudskih resursa, pouzdanosti i kvaliteti postojećih općih i regulatornih propisa kojima upravlja država itd. U svim ovim aspektima oskudjevaju tranzicijska gospodarstva.

U tranzicijskom procesu pretvorbe monopolnih tržišta u potpuno konkurentna, nužna je "vidljiva ruka" regulatora ovog tržišta. U tom smislu, podsjetimo se djela Adama Smitha iz 18 st. pod naslovom “Bogatstvo naroda” koje je predstavljalo revoluciju ekonomske misli i udarilo temelje moderne mikroekonomike. Naime, Adam Smith je bio žestoki protivnik državnog uplitanja u industrijske i trgovačke poslove, a nadaleko je bila poznata i Smithova glasovita izreka da svakoga pojedinca u promicanju vlastitog interesa "vodi nevidljiva ruka, da promiče cilj koji uopće nije namjeravao postići, a na dobrobit zajednice". Moderna svjetska iskustva i preporuke Svjetske trgovinske organizacije (WTO) nam ukazuju da je neka tržišta potrebno u određenoj mjeri regulirati kako bi osigurali maksimalne efekte tržišne konkurencije.

Iz toga proizlazi i glavna uloga regulatora tržišta, koja se očituje u promicanju interesa krajnjih korisnika usluga, tj. svojih građana.

Cilj ovog članka je objasniti važnost i ulogu efikasne regulacije na tržištima električne energije i telekomunikacija, njen razvoj i trendove, te sistematizirati određena općeprihvaćena i primjenljiva načela, a predstavljaju "najbolja iskustva", koja omogućavaju uspješno uspostavljanje regulatornih okvira koji dovode do maksimalnih probitaka za državu, odnosno krajnje korisnike usluga.

Članak je strukturiran na način kako slijedi: Prvo poglavlje je uvod. U drugom poglavlju prikazan je povi-

jesni razvoj regulacije u oba sektora. Različite tržišne strukture i njihove performanse prikazani su u poglavlju 3. U poglavlju 4 objašnjena je uloga regulacije i standardne strukture nezavisnog regulatora u praksi. Načela efikasnog regulatornog procesa i određene specifičnosti za tranzicijske zemlje prikazani su u 5. poglavlju.

## 2. POVIJESNI PREGLED RAZVOJA REGULACIJE TRŽIŠTA "JAVNIH USLUGA"

### 2.1. Načelo javnog dobra

U mnogim zemljama svijeta prije gotovo jednog stoljeća, pojavila se posebna kategorija subjekata pod nazivom "poslovni subjekti s javnim interesom". Status poslovnih subjekata s javnim interesom predstavlja jednu vrstu kuće u kojoj polovica ima striktno državne funkcije, a drugi dio, privatne funkcije s nejasnom granicom između [1]. Najpoznatije takve industrije su industrije: električne energije, telekomunikacija, plina, vode, te ponekad i usluge javnog transporta.

Posebna klasifikacija takvih industrija je temeljena primarno na ekonomskim i tehnologijskim karakteristikama, premda preciznije značenje treba tražiti u zakonima određene zemlje.

Tamo gdje se potražnja za robom ili uslugama smatra zajedničkom potrebom za većinu javnosti, a uvjeti ponude su takvi da se javnosti ne bi mogao osigurati prihvatljivi nivo usluge po prihvatljivoj cijeni, država to područje regulira kako bi osigurala te uvjete. Premda ponudbeni uvjeti takvih subjekata ne moraju biti monopolno uređeni, povijesno gledano dolazilo je do zlouporabe monopolnog položaja na tržištu, što je ponukalo države da reguliraju ovo područje.

Država regulira pojedine industrije i poslove već od najranijih vremena. Građanski zakoni Engleske i drugih zemalja prepoznati su pod nazivom "common callings" (javno dobro) gdje se zahtijevaju posebne odgovornosti ako se dobavljači ne otvore služenju javnosti. U svojoj raspravi "*De Portibus Maris*" *i* "*De Jure Maris*" oko 1670 g. Lord Matthew Hale je opisao zakonitost posla "od važnosti za javni interes". On je naznačio da kad su kapaciteti poput trajekta, skela, dizalica, zajedničkih prometala i gostionica uslužni javnosti, imali ili ne koncesiju za obavljanje poslova od strane države, oni postaju dodirnuti javnim utjecajem, te prestaju biti isključivo "juris privati" [1].

U djelu "Bogatstvo naroda" i Adam Smith je naslutio da se neke djelatnosti ne mogu razmatrati u okviru *laissez-faire* prijedloga.

Laissez faire [2] je francuski izraz kojim se ističe zahtjev da se iz gospodarskog života ukloni svako miješanje države i prepusti samostalnim ekonomskim subjektima da nesmetano posluju prema svojim nakanama te u skladu s djelovanjem nesputanih ekonomskih zakona, neograničene konkurencije proizvođača i kupaca, privatnog vlasništva i inicijative poduzetnika. Potpuniji naziv je laissez faire - laissez passer, što u slobodnom prijevodu znači: ostavite ljudima da rade što hoće, pustite da stvari teku same od sebe. Približno isti smisao ima i krilatica: le monde va du lui même (svijet se sam snalazi), kojom se katkad gornji izraz proširuje. No, najčešće se, osobito u novije vrijeme, pojavljuje samo skraćeni naziv – laissez faire. Premda je suštinski to načelo zastupao već A. Serra, prvi je krilaticu laissez nous faire upotrijebio francuski trgovac M. Legendre u Lyonu (1680) u svom odgovoru J. B. Colbertu. Autorstvo se ipak najčešće pripisuje francuskom ekonomistu V. Gournayju, preteči fiziokrata, koji je taj izraz prvi uveo u ekonomsku teoriju. Prihvatili su ga zatim fiziokrati, poglavito J. Turgot, kao bojni poklič protiv merkantilističke politike. Doktrinu je najdosljednije i najpotpunije razvio A. Smith u Bogatstvu naroda, premda pritom nije upotrijebio taj izraz. Otada l. f. postaje sinonim dobro organiziranoga kapitalističkoga gospodarstva i najbolje moguće ekonomske politike. Drži se da se tako najbolje usklađuju pojedinačni i opći interesi. Doktrina se u vladajućoj teoriji zastupa i brani uglavnom sve do velike ekonomske krize (1929.–33.), premda se uočava da je u praksi često drugačije i da takvo privređivanje prate povremene ekonomske krize s opasnim poremećajima i žrtvama. Između dva svjetska rata pozornost privlače ekonomisti (E. H. Chamberlin, J. Robinson i dr.) koji ukazuju na monopolističku konkurenciju, a u isto vrijeme stasaju i djeluju pobornici državne intervencije, na čelu s J. M. Keynesom. Poslije II. svj. rata široko je prihvaćena kejnzijanska ekonomija, pa se u gospodarskoj praksi stvara svojevrsno mješovito gospodarstvo, kombinacija djelovanja tržišnih mehanizama i regulative državne ekonomske politike. U novije vrijeme, pod utjecajem informatičke revolucije visokorazvijeni svijet vraća se gospodarstvu potpunijeg laissez faire poslovanja.

U SAD-u su tijekom 19. st. mnoge države regulirale privatno vođene kanale, mostove, željeznice. Pravo države da regulira je po prvi put pravno dokazano na Vrhovnom sudu SAD-a u najpoznatijem slučaju Munn protiv Illinoisa 1877 g. Munn je bio jedan od devetorice vlasnika četrnaest dizala za žito u Čikagu. On nije posjedovao, a ni zahtijevao franšizu za svoj rad. Farmeri sa zapada države koji su transportirali svoje brašno prema Čikagu kako bi ga utovarili na brodove te transportirali na udaljena tržišta morali su koristiti ta dizala. Po dogovoru vlasnici dizala postavili su vrlo visoke cijene. Vlada države je intervenirala i postavila gornju granicu cijene usluga. Naime, Munn je izazvao državu da regulira to područje. U svojoj odluci Vrhovni sud je izrekao da je Munn stajao na samom ulazu gospodarstva te da je naplaćivao namete od svakog tko bi prošao tuda. Kao obrazloženje odluci nabrojeni su Engleski građanski zakon, citiran je Lord Hale, a država je po prvi put utemeljila ono što se prepoznaje kao princip javnog dobra:

"*Kad, dakle, netko posveti svoje imanje korištenju u kojem javnost ima interes, on, u biti, dozvoljava javnosti in-*

*teres u korištenju toga, te se mora podvrći kontroli javnosti za opće dobro, do opsega koristi koje je tako proizveo* " [1].

Vrhovni sud je primijetio da pravo na regulaciju "nije izvedeno iz Ustava Illinoisa ili njegovog Statuta, već je tako po činjenicama" [1].

Amerika devetnaestog stoljeća približila se, kao i bilo koja druga ekonomija, čistom laissez-faire društvu, sustavu koji je britanski povjesničar Thomas Carlyle nazvao "anarhija i policajac". Ta je filozofija omogućila ljudima veliku osobnu slobodu da slijede svoje ekonomske težnje i da ostvare stoljeće brzog materijalnog napretka. No, kritičari su vidjeli mnogo napuklina u laissez-fair idili. Povjesničari su zabilježili periodične krize, ekstreme siromaštva i nejednakosti, duboko ukorijenjenu rasnu diskriminaciju i trovanje vode, zemlje i zraka zagađivanjem.

Početkom 1890-ih SAD su postupno napuštale vjerovanje da ona "država upravlja najbolje koja upravlja najmanje". Ustavne ovlasti široko su tumačene i korištene da se osigura "javni interes" i "politiku" ekonomskog sustava. Godine je 1887. osnovana savezna Međudržavna trgovačka komisija (ICC) da bi se regulirao željeznički promet preko državnih granica. Zatim slijedi Shermanov antitrustovski zakon i ostali zakoni usmjereni protiv monopolističkih kombinacija "ograničavanja trgovine".

Tijekom 1930-ih godina čitav skup industrija došao je pod ekonomsko reguliranje, u skladu s kojim država određuje cijene, uvjete izlaska i ulaska i standarde sigurnosti. U tu skupinu prvenstveno spadaju industrije električne energije, telefoni, plin, cjevovodi, zrakoplovna poduzeća, teglenički i vodni promet, kamionski prijevoz, financijska tržišta te nafta.

Uz reguliranje cijena i standarda poslovanja, država je pokušavala zaštititi zdravlje i sigurnost putem sve jačeg socijalnog osiguranja.

Zadnje je desetljeće posvećivalo veću brigu za osiguranje da probici od reguliranja budu veći od troškova. Povratak laissez-faire eri nije vjerojatan. Ljudi su prihvatili ograničenja država koja su mijenjala istinsku narav kapitalizma.

### 2.2. Povijesni aspekt razvoja regulacije elektroenergetskog i telekomunikacijskog sektora

Države reguliraju određene industrije na različite načine kako bi postigle različite ciljeve. Kao što smo prethodno spomenuli, nekoliko industrija ima poseban tretman zbog njihovog jedinstvenog značenja za društvo. Pojedine države nazivaju te industrije "područjima od javnog (državnog) interesa" [1].

*Telekomunikacije*

Sve donedavno telekomunikacije su u većini zemalja bile tretirane kao usluge od općeg javnog dobra, isključivo upravljane od strane države, tipično kroz PTT organizacije (Pošta, Telegraf, Telefon), tj. državno regulirane monopolne operatore, ili kroz ministarstva nadležna za poštu i telekomunikacije.

Povijesni odnosi vlada nacionalnih država s razvojem telekomunikacijske (tj. telefon i telegraf) industrije dovele su do različitih razvojnih putova koji su rezultirali u većini zemalja u uspostavljanju državnih PTT organizacija.

Neke države su smatrale telegraf i telefon specijalno važnim za sigurnost i obranu zemlje. Neke druge smatrale su je produženom rukom socijalne uloge države. Drugima se činilo najzgodnijim da pripoje telekomunikacijski sustav poštanskom sustavu ili jednostavno da imitiraju ono što su napravile susjedne zemlje.

Tradicionalna ideja koja je prevladavala jest ta da su telekomunikacije *prirodan monopol.* Pokušaji drugih da na bilo koji način pruže bilo kakvu telekomunikacijsku uslugu gotovo uvijek su završavali neuspjehom.

Većina država smatrala je mogućnosti novih telekomunikacijskih usluga primarno kroz socijalnu ulogu države, a ne kao usluge koje bi trebala nuditi privatna poduzeća na konkurentnim tržištima.

U SAD-u su 1844. i 1876. g. izumljeni telegraf i telefon. Razvoj telegrafa i telefona primarno je išao u pravcu zadovoljenja poslovnih i državnih potreba, a ne za širu javnost. No, ubrzo već u samom početku 20 st. telekomunikacijska industrija je prepoznata kao specijalno poslovno područje s javnim interesom i tako postala subjektom državne regulacije.

Kako su telekomunikacijske aktivnosti bivale sve više integrirane u rad kompanija, državnih službi i većine ostalih organizacija, kao i u ekonomsko i socijalno ponašanje pojedinaca, postojala je sve veća spoznaja da produktivnost ukupnog gospodarstva ovisi i o efikasnom telekomunikacijskom sustavu. Telekomunikacije moraju biti prilagodljive i spremne na različite tipove potražnje i nove tehnološke izazove.

Telekomunikacijski sustavi ubrzano postaju elektroničkom infrastrukturom za prijenos svih oblika informacija – glas, grafika, video, muzika. Te informacije su temelji za računalnu, bankarsku, televizijsku i ostale industrije.

Danas se telekomunikacije prepoznaju kao integralni dio gospodarskog i socijalnog razvoja u razvijenim zemljama i zemljama u razvoju. Same po sebi telekomunikacije ne mogu garantirati razvitak. Ali bez njih, razvitak u mnogim drugim područjima bio bi uvelike ograničen, skuplji i u nekim slučajevima nemoguć.

*Elektroenergetski sektor*

Kratki pregled povijesnog razvitka

Elektroenergetski sektor egzistira više od 100 godina. Tijekom jednog stoljeća ovaj sektor je iskusio mnoge

valove promjena i regulatornih pristupa, što je potaknuto tehničko-tehnološkim i gospodarskim razvojem. Ključne evolutivne faze prema [4] su:

1870-ih – 1920-ih:

Karakteristična je fragmentacija industrije i privatni oblik vlasništva. U mnogim dijelovima Europe nije bilo regulacije, a razvoj se usmjeravao na područja s velikom potrošnjom (npr. tvornice automobila).

1920-ih – II. svjetski rat:

Države uviđaju električnu energiju kao potrebu. Javljaju se javne investicije, ali je industrija i dalje fragmentirana.

Drugi svjetski rat – 1960-ih:

Sektor je smatran prirodnim monopolom. Neke države su konsolidirale i nacionalizirale elektroenergetski sektor; neke su primijenile ekonomsku regulaciju.

1970-ih

Naftna kriza. Promjene na svjetskim tržištima nafte dovode do usmjerenja prema nuklearnoj energiji. Identifikacija ekonomija vertikalne integracije između proizvodnje, prijenosa i distribucije.

1980-ih – 1990-ih

Jeftinija koordinacija procesa zbog pada cijena informatičko komunikacijske opreme. Troškovne promjene u proizvodnji električne energije – razvoj kombiniranih plinskih turbina. Proces reformi u sektoru obuhvaćaju razvitak konkurencije u proizvodnji i dobavi.

Regulatorna reforma elektroenergetskog sektora uključuje kompleksno međudjelovanje različitih faktora. Postoji dinamična međuzavisnost između restrukturiranja, promjena u vlasništvu, promjena u regulatornim institucijama i uvođenja konkurencije. Restrukturiranje i promjena vlasništva i regulatorne institucije su preduvjet za uvođenje konkurencije, posebno ako je industrija snažno horizontalno i vertikalno integrirana. Uspješnost reforme uvelike će zavisiti od početnih uvjeta i pozicija.

## 3. MONOPOL (NE)SAVRŠENA KONKURENCIJA

U današnjoj ekonomiji savršeno konkurentna tržišta su vrlo željen i rijetko ostvaren ideal. Podsjetimo se da su savršeno konkuretna tržišta ona na kojem je svako poduzeće odveć malo da bi utjecalo na tržišnu cijenu. Savršeno konkuretna tržišta ne generiraju ni viškove ni manjkove, jer optimalno alociraju resurse.

Vodeći se tom definicijom, lako je spoznati da je danas u svijetu malo tržišta savršeno konkurentno. Još do prije dva desetljeća monopolna tržišna struktura u elektroenergetskoj i telekomunikacijskoj industriji smatrana je optimalnom (savršenom) tržišnom strukturom iz nekoliko razloga [5]:

1. Zbog postojanja proizvodnje velikih razmjera i opadajućih troškova ove industrije imaju vrlo malo prodavatelja tih usluga. U tim uvjetima velika poduzeća imaju ekonomiju obuhvata[1] i ekonomiju opsega[2]. Dakle veća poduzeća imaju troškovnu prednost nad manjim poduzećima.
2. Obje industrije su smatrane vitalnim za nacionalni (sigurnosni) interes, stoga su od država postavljene "zapreke ulasku" novim konkurentima putem zakonskih ograničenja i propisa.

Povijesno gledano, javne usluge, kao što su telefon ili poduzeća za proizvodnju električne energije, gledani su kao prirodni monopol. Dakle, razlozi se očituju u tome

**Tablica 1. Različite vrste nesavršene konkurencije i osnovne osobine različitih tržišnih struktura, [5]**

| Struktura | Broj proizvođača i stupanj diferencijacije proizvoda | Dio ekonomije u kojem prevladava | Stupanj u kojemu poduzeće nadzire cijenu | Metode prodaje |
|---|---|---|---|---|
| **Savršena konkurencija** | Mnogo proizvođača<br>Identični proizvodi | Financijska tržišta i neki poljopr. proizvodi | Nikakav | Tržišna razmjena ili aukcija |
| **Nesavršena konkurencija (Monopolistička konkurencija) (mnogo diferenciranih prodavatelja)** | Mnogo proizvođača:<br>mnogo stvarnih ili prividnih razlika u proizvodu | maloprodaja (benzin, osobna računala) | Neki | Oglašavanje i suparništvo u kvaliteti; upravljane cijene |
| **Oligopol** | Mali broj proizvođača: mala ili nikakva razlika u proizvodu<br>Mali broj proizvođača: određena diferencijacija proizvoda | Čelik, kemikalije<br>Auto, zrakoplov… | | |
| **Monopol** | Samo jedan proizvođač; proizvod bez bliskih supstituta | električna energija, mjesni telefon, plinska infrastruktura ("prirodni monopoli") | Znatan, ali obično reguliran | Oglašavanje i promidžba usluga |

[1] To su ekonomije proizvodnje mnogih dobara ili usluga. Ekonomije obuhvata postoje ako je jeftinije proizvoditi dobra X i Y zajedno nego odvojeno (economies of scope).

[2] Povećanje proizvodnosti ili smanjenja prosječnih troškova proizvodnje, koja proizlaze iz povećanja svih faktora proizvodnje i istoj proporciji (economies of scale).

da su takva poduzeća imala visoke fiksne troškove i relativno niske troškove osiguranja dodatnog telefona ili kilovat sata električne energije. Osim toga, postojanje bi dvostrukih mreža za električnu struju ili telefonskih kabela bilo ekonomski neisplativo. Teško da ima smisla uvoditi dva ista skupa telefonskih žica u kuću.

Osim gore navedenih osnovnih ograničenja ulasku novih konkurenata na tržište monopolist ima prednosti zbog:

- *kontrole esencijalnih resursa (npr. radio frekvencije, pravo prolaza, lokalna petlja... )*
- *koristi od vertikalne ekonomije (npr. proizvodnja, prijenos i distribucija električne energije se odvija u istom poduzeću)*
- *kontrolu nad standardima i razvojem (patenti, intelektualna prava... )*
- *čestih unakrsnih subvencija cijena usluga.*

U današnjem pogledu razmatranja monopola u spomenutim industrijama, monopol je ekstremni oblik nesavršene konkurencije. Nesavršena konkurencija prevladava u industriji kad god pojedinačni prodavatelji imaju određeni nadzor nad cijenom njihova proizvoda.

Kako je praksa u proteklom stoljeću pokazala, monopolna tržišna struktura u industrijama elektroenergetike i telekomunikacija pokazala se štetnom iz više razloga:

- Cijene usluga i proizvoda su visoke
- Ponuda usluga i/ili proizvoda je nedovoljna
- Kvaliteta usluga nije na zadovoljavajućoj razini
- Niža je produktivnost rada zbog prevelikog zapošljavanja radne snage
- Slabija ponuda usluga i/ili proizvoda
- Interna organizacija je neefikasna i niža je ukupna produktivnost poduzeća
- Rente kapitala i rada su precijenjeni
- Profiti su viši negoli u konkuretnom okruženju.

### 3.1. Zašto regulirati ova tržišta?

Tradicionalno je ekonomsko stajalište o reguliranju normativno: regulatorne bi se mjere trebale poduzimati da se isprave glavni nedostaci tržišta. Država bi posebno trebala regulirati industriju u ekstremnom slučaju prirodnog monopola. Ona to čini jer prirodni monopolist koji ima veliku troškovnu prednost ispred svojih potencijalnih konkurenata i neelastičnu potražnju na cijenu, dobiti velike monopolske profite i stvoriti velike ekonomske nejednakosti.

U početku se reguliranje opravdavalo sa sumnjivih stajališta da je ono nužno za sprječavanje nesmiljene konkurencije i državnog interesa. Upravo je konkurencija s povećanom efikasnošću i niskim cijenama točno ono što postiže svaki efikasni tržišni sustav.

Proces re-regulacije ovih tržišta bio je potaknut od mnogobrojnih čimbenika uključujući:

- Povećanu spoznaju i pozitivna iskustva da liberalizirana tržišta imaju više stope rasta, da su inovativnija te bolje poslužuju svoje korisnike,
- Potrebu da se privuče kapital iz privatnog sektora potreban za proširenje i nadogradnju infrastrukture te uvođenje novih i inovativnijih usluga,
- Razvoj međunarodne trgovine uslugama koje se u povećanoj mjeri pružaju od transnacionalnih i globalnih davatelja usluga.

## 4. ULOGA REGULACIJE

U procesu tranzicije tržišta od monopola prema konkuretnim tržišnim strukturama regulacija je nužna da se promovira javni interes iz nekoliko razloga:

- Kontrolirati zlouporabu dominantne tržišne snage
  Posebice kad se radi o "incumbent" operateru, tj. bivšem monopolistu. Korisnici se moraju zaštititi od zlouporabe velike tržišne snage, a ona se tipično reflektira kroz: visoke cijene i insuficijenciji ponude, nisku kvalitetu usluge i pouzdanost, sporije vrijeme popravka kvarova, manjkavost u uvođenju novih usluga, netočnim i nekonzistentnim računima za obavljenu uslugu i sl. Osim korisnika i novi tržišni igrači također moraju biti zaštićeni od ovih operatera.
- Stimulirati tržišnu konkurenciju
  To znači akciju na nekoliko frontova. Prvo, novi igrači trebaju pristup oskudnim resursima koji su inicijalno bili pod kontrolom "incumbent" operatera (npr. pravo prolaza, frekv. spektar, numeracija). Drugo, efikasni razvoj konkurencije dovodi nove igrače u situaciju da usluge ponude i korisnicima "incumbent" operatera, te bi oni trebali imati mogućnost korištenja postojeće infrastrukture po troškovno utemeljenoj cijeni. Tako pitanje interkonekcije (međuspajanja) ima centralnu ulogu u zdravom razvitku konkurencije.
  Treće, potrebna je kontinuirana budnost regulatora nad antikonkurentskim praksama, posebno "incumbent" operatera (npr. uvjeti prodaje, interkonekcija, unakrsne subvencije, unakrsne vlasničke strukture i sl.) ali to vrijedi i za nove igrače.
- Stvoriti povoljnu investicijsku klimu
  Države trebaju pronaći načine da privuku privatne investicije u elektroenergetski i telekomunikacijski sektor radi poboljšanja javnih usluga. Investitori moraju biti sigurni u pravila igre na čemu počivaju njihova ulaganja. Posebice moraju biti osigurani od *de facto* izvlaštenja ili umanjenja zajamčenih prava kroz državne intervencije (npr. nove obveze glede usluga, porezi i sl.).
- Premostiti razvojni jaz
  Dugoročni cilj razvitka ovih djelatnosti treba biti usmjeren ka određenim pokazateljima uspješnih, tj.razvijenih zemalja. To uključuje i osiguranje pristupa usluzi u ruralnim područjima kao i u siro-

mašnim područjima zemlje.Pitanje univerzalne usluge je pitanje u koji se može uključiti i država sa svojim financijskim sredstvima kako bi osigurala određeni oblik usluge svim svojim građanima.

### 4.1. Struktura nezavisnog regulatora

Nezavisan regulator u prvom redu mora biti objektivan i nezavisan čimbenik u primjeni regulacijskih instrumenata i specifične legislative bez pokušaja utjecaja bilo koje zainteresirane strane .

Prema [7] nezavisnost se dodatno može učvrstiti ako je:

- Regulator organizacijski odvojen od Vlade. U pravilu je regulator državno upravno tijelo "sui generis" kojeg imenuje država, te koje u pravilu ima zakonsku autonomiju u donošenju odluka, što dovodi do povećane percepcije neutralnosti s gledišta investitora.
- Članovi regulacijske komisije koji donose odluke su postavljeni od strane parlamenta ili nekog drugog vrhovnog tijela civilne vlasti.
- Regulator upravljan od strane kolegija (tj.komisije) koja broji nekoliko članova, a ne od strane jedne osobe (npr.generalni direktor). Poželjno je da broj članova komisije bude veći tim više ako se radi o manje stabilnim gospodarstvima, kako bi se umanjio utjecaj zainteresiranih strana i ojačalo povjerenje investitora. Osim toga takva praksa potiče načelo demokracije u odlučivanju i podiže kredibilitet takvih odluka.
- Regulator podnosi izvješće tijelu koje ne donosi političke odluke u sektoru.
- Davatelji usluga imaju pravo žalbe ili spora protiv odluke regulatora pred najmanje jednim tijelom, s tim da u zadnjem stupnju to mora biti sud. U Republici Hrvatskoj to je Upravni sud RH. U praksi sud ne ulazi u meritum odluke, već reagira ako je pogrješno primijenjeno materijalno pravo ili kada je povrijeđena procedura upravnog postupka.
- Regulator ima autonomiju u vođenju personalne politike. Time se mogu privući kvalitetni stručnjaci čija primanja nisu u okvirima državnih tijela, te se stimulira njihova nepristranost.
- Način financiranja u potpunosti ili djelomice neovisan je o državnom budžetu (npr. od naknade za licence, godišnjih naknada operatera i sl.). Time se povećava percipirana neutralnost od države (Vlade) što povećava kredibilitet i percipiranu neutralnost u donošenju odluka.

Važno je istaknuti da nije cilj imati nezavisnog regulatora *per se*, već efektivni regulatorni okvir koji će tržište učiniti konkurentnijim, stimulirati tehnološku difuziju i povećati efikasnost, istodobno osiguravajući probitke za korisnike.

Ono što sa sigurnošću možemo zaključiti jest da je nužno osigurati određeni stupanj nezavisnosti koji je potreban da regulatorno tijelo implementira svoju regulatornu snagu bez ikakvih utjecaja sa strane.

U nekim državama, odvajanje operatora od državne administracije stvara oportunitet da se zadrže visokokvalificirani i nekorumpirani zaposlenici s konkurentnim osobnim dohocima. Konačno, mora biti jasno da "nezavisnost" regulatora ne znači nezavisnost od zakona i državne politike. Mandat nezavisnog regulatora mora biti jasno definiran u nacionalnom zakonodavstvu. Regulatori moraju biti odgovorni zakonodavnom tijelu ili nekom drugom državnom tijelu. Takva odgovornost uključuje mehanizme, poput primjerice godišnjih izvješća, u kojima regulator mora na transparentni način demonstrirati svoj mandat.

U zemljama s nestabilnim političkim, pravnim i ekonomskim okruženjem (zemlje u tranziciji) uspostavljanjem nezavisnog regulatora i odvajanjem od državne uprave i operatora postavlja se kao *conditio sine qua non* uspješne regulacije i privlačenja stranih investicija u gospodarstvo.

Takvi regulatori moraju biti pod povećalom javnosti i gotovo dvostruko "nezavisni" kako bi sa svojom strukturom, odlukama i aktivnostima dobili povjerenje javnosti i potencijalnih stranih ulagača.

Razdvajanje regulatora od tržišnih igrača stimulira pouzdanost u tržište i promovira usklađenost s međunarodnim trgovinskim obvezama. Razdvajanje od utjecaja države povećava percipiranu neutralnost i izoliranost od političkih ili operativnih pritisaka.

Hrvatska je u telekomunikacijskom sektoru tek od prije nekoliko godina zakonski oformila regulatora u telekomunikacijama (NN 68/01) – Vijeće za telekomunikacije, te isto i za energetski sektor – Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti (NN 68/01).

## 5. NAČELA REGULATORNOG PROCESA I EFIKASNE REGULACIJE U TRANZICIJSKIM GOSPODARSTVIMA

### 5.1 Regulatorni proces

Ovisno o zakonskim okvirima regulatori koriste razne oblike "regulatornih instrumenata" poput: regulativa, odluka, naredbi, dekreta, pravila, smjernica, rezolucija i obavijesti.

Donošenje regulatornih odluka predstavlja težak zadatak. Zainteresirane strane mogu žestoko lobirati i utjecati na konačni rezultat regulativnih odluka. U većini slučajeva jedna strana će biti zadovoljna s odlukama, dok druga neće. Odlučni regulatori nužno stvaraju pobjednike i gubitnike u pojedinim situacijama. Neodlučni regulatori često da bi izbjegli uvrijediti pojedinu stranu pokušavaju prolongirati odluke ili kreiraju nedjelotvorne kompromise. Takva neodlučnost i kompromisi mogu štetiti razvoju sektora i nacionalnog gospodarstva, a u krajnjem slučaju nikome ne pomažu.

Principi efikasnog regulatornog donošenja odluka prema [10] uključuju:

– Transparentnost
– Profesionalizam
– Efikasnost
– Nezavisnost.

Zakoni pojedinih zemalja postavljaju smjernice i ograničenja na regulatorni proces donošenja odluka. Procedure i pravila variraju od zemlje do zemlje te od zakonodavstva do zakonodavstva. Ali postoje zajednički trendovi. Dva temeljna pravila koji se zapažaju u većini zemalja prema [10] su:

1) Osigurati svim zainteresiranim stranama mogućnost da izlože svoj stav prije donošenja konačne odluke koja može utjecati na njih. Ovo pravilo je ponekad opisano latinskom maksimom "*audi alteram partem*" ili "čuj drugu stranu". Primjena ovog pravila promovira transparentno donošenje odluka.
2) "Nemoj biti sudac u svom slučaju". Ovo pravilo je utemeljeno u drugoj latinskoj maksimi "*nemo judex in sua causa debet esse*". Naime, regulatori bi trebali izbjegavati pristranost u bilo kojem pogledu.

Iako ova pravila ne pokrivaju sve aspekte efikasnog donošenja odluka, ona ipak promoviraju kredibilitet i nepristranost u donošenju odluka.

### 5.2. Elementi uspješnih regulatornih strategija u tranzicijskim ekonomijama

Mjere za ojačavanje regulatorne okoline mogu sadržavati niz aktivnosti poput: etabliranja specijalizirane agencije za regulaciju tržišta, uspostavljanja regulatornog tijela prije procesa privatizacije, osiguranja financijske i administrativne autonomije, zapošljavanja kompetentnog osoblja, uspostavljanja procesa podneska zahtjeva, postavljanja jasnih granica i veza s drugim institucijama, te davanja regulatornoj agenciji autoriteta za provedbu svojih odluka.

U tranzicijskim ekonomijama, pored gore navedenih mjera, bit će potrebno uvesti i neke druge mjere kako bi se čvrsto izgradio robustan regulatorni okvir. Naime, kod zemalja u tranziciji koje u načelu obilježava neefikasna državna uprava, česte promjene vlasti, te veća ili manja korupcija, postoje ograničena administrativna i stručna znanja.

Stoga u takvim zemljama izgradnja robustnog regulatornog okvira mora sadržavati između ostalog i sljedeće:

– *Reduciranje potrebe za odlukama regulatora*
– *Ojačavanje uloge regulatorne agencije kao arbitra*
– *Podizanje kredibiliteta regulatorne agencije*
– *Efikasno korištenje resursa.*

#### 5.2.1. *Reduciranje potrebe za odlukama regulatora*

Želja za provođenjem reformi i operativni planovi očekuju od regulatorne agencije da učini mnogo stvari odjednom. Pragmatični pristup je taj da se reduciraju regulatorna uplitanja u tržište, posebno na početku.

Uspostava regulatornih pravila prije reguliranja

Preporuka je da se prava i obveze individualnih operatera ili grupe operatera propišu kroz licence, ugovore ili zakone. Tako propisana pravila igre su transparentna i ojačavaju povjerenje investitora. Jedan od ograničavajućih faktora u liberalizaciji tržišta vezano je uz efikasno rješavanje pitanja interkonekcije. Dosadašnja praksa u svijetu je pokazala da pitanje interkonekcije ima presudni utjecaj na novog igrača. Preporuka je da se detaljno propišu pravila i okvir efikasnog rješavanja ovog pitanja, po mogućnosti prije liberalizacije tržišta.

Nametnuti razumne obveze operaterima

Nametanje teških i neostvarivih uvjeta operaterima u neku ruku može se smatrati dobrim za državu, ali u praksi dugoročno ne daje dobre rezultate. Primjerice, nametanje vrlo uskih rokova izgradnje i puštanja u rad mreže koja idu ispod komercijalne isplativosti investicija (primjerice kao uvjet za privatizaciju) dovodi do povećanog rizika za te kompanije. U tom slučaju takve kompanije mogu tražiti i specijalne privilegije (npr. produženi eksluzivitet za određene vrste pružanja usluga), što dovodi do kasnijeg mukotrpnog pregovaranja oko promjena tih uvjeta, budući da takve obveze nisu povoljne za razvoj tržišta na dugi rok. Regulator prvenstveno mora djelovati u pravnim okvirima nacionalnog zakonodavstva, tj. tretman svih igrača na tržištu mora biti u skladu s njenim pozitivnim zakonskim propisima

Pojednostavniti proceduru dobivanja licenci

Određene vrste usluga se moraju licencirati, uz prijavu nadležnom tijelu. I zakonodavstvo Europske unije određuje maksimalno pojednostavljenje prilikom dobivanja licenci ili koncesija, posebice ukoliko se ne radi o ograničenim resursima (poput npr. radiofrekvencijskog spektra). Na iznenađenje, mnoge zemlje koje su prihvatile prokonkurentska pravila u svojim zakonodavstvima od početka imaju zahtjev da se licenciraju svi novi igrači. Takva praksa predstavlja pretjerani angažman regulatora i stvaraju se umjetni uvjeti za pritiske, korupciju i ostale zakulisne igre. Nema potrebe ograničavati broj ulagača ukoliko za to ne postoje tehnički opravdani razlozi.

Rano izvršiti rebalans cijena

Ukoliko se zadaća rebalansa ostavi u rukama novoprivatiziranih kompanija, to dovodi do poteškoća za regulatora i razvoj tržišta. Primjer je to Argentine, koja nije uspjela rebalansirati cijene prije privatizacije, što je u kombinaciji sa slabošću institucija rezultiralo šestogodišnjim konfliktom regulatorne agencije, reguliranih kompanija, vlade, opozicije, udruženja potrošača i cijelom plejadom sudskih postupaka. Lekcija je naučena: Novi val privatizacije u elektroenergetskom i plinskom sektoru dogodio se nakon rebalansa cijena.

Uganda je 1998 g. uspješno napravila rebalans cijena u telekomunikacijskom sektoru i liberalizirala je tržište prije uvođenja drugog nacionalnog operatera, što je dovelo do visokog nivoa stranih investicija.

Reducirati regulaciju na konkuretnim tržištima

Jedan od temeljnih rezona regulacije jest taj da treba regulirati one operatere koji bi mogli zbog svoje znatnije tržišne snage blokirati daljnji razvoj tržišta. Međutim, kako tržište postaje kompetitivnije regulatori moraju sukladno tome reducirati uplitanje u tržišne mehanizme, te jednostavno propisati opće uvjete poslovanja i pustiti tržištu da se samoregulira.

Trend promatranja telekomunikacijskih i elektroenergetskih usluga kao usluga s kojima se može trgovati, postala je subjektom komercijalnih i trgovačkih pravila, prvenstveno na regionalnom nivou (EU) i kroz međunarodne dogovore (WTO).

5.2.2. *Ojačati ulogu regulatorne agencije kao arbitra*

Jedno od glavnih zadaća regulatora odnosi se na njegovu poziciju da može efikasno presuditi između dva ili više utjecajnih igrača.

Ubrzati konkurenciju

Brzo otvaranje tržišta, osim što dovodi do ubrzanja svih probitaka od liberalizacijske reforme, olakšava posao i regulatorima. Nije više pitanje da li imati konkurenciju (tradicionalni argumenti za ekskluzivitet, makar i privremeni više ne stoje), već koliko je brzo uvesti na tržište. Otvaranje tržišta za konkurenciju u infrastrukturnoj domeni, dovodi do značajnih poboljšanja performansi postojećih operatera. Više igrača na tržištu osigurava regulatoru alternativne izvore informacija (npr. o troškovima), reducira se rizik da regulator bude u odnosima s jednim operaterom, te se umanjuje korištenje političke i ekonomske snage dominatnog operatera. Otvaranje tržišta najjednostavnije je na početku procesa reformi (npr. prije ili usporedo s privatizacijom), kada velika nezadovoljena potražnja omogućava postojećem i novom igraču da raste i osvaja tržište.

Zaštititi interese potrošača

Širi aspekt djelovanja regulatora jest zaštita interesa potrošača, tj. građana. U razvijenom svijetu regulatorne agencije ne djeluju samo u uskim zakonskim okvirima, već i u adekvatnom političkom okruženju promovirajući udruženja potrošača koja brane interese krajnjih korisnika i promoviraju širi javni interes.

5.2.3. *Ojačati kredibilitet regulatora*

Treći skup elemenata koji doprinosi razvoju robustnog regulatornog okvira u situacijama nestabilnih i nejakih državnih institucija odnosi se na ojačavanje kredibiliteta regulatora. Nekoliko je čimbenika bitno uključujući: odgovarajuće propise u okvirima nadležnosti regulatorne agencije, autonomiju u odlučivanju, pristup informacijama, utvrđene i jasne rokove žalbe, ojačavanje mogućnosti izvršenja odluka, stručnost kadra i nemogućnost smjenjivanja članova, osim zakonski predviđenim razlozima. Uz te, postoje još i dodatne mjere:

Primijeniti transparentan regulatorni proces

Transparentnost u donošenju odluka ojačava kredibilitet agencije i legitimitet odluka. Takav princip dovodi do povećanja povjerenja investitora. Jedan značajan element transparentnosti su javne konzultacije o glavnim regulatornim pitanjima, što pomaže u edukaciji regulatornom tijelu i zaniteresiranim stranama o konkretnim faktima i omogućava sagledavanje alternativnih odluka. Korištenje konzultativnih dokumenata ima prednosti administrativne jednostavnosti, širokog pristupa i brzog prikazivanja odluka.

Iskoristiti javnu potporu

Održivost regulatorne agencije uvelike ovisi o povjerenju javnosti i njenoj potpori. Tako se agencije ne bave samo arbitriranjem između nekih usko specijaliziranih tehničkih pitanja, već i o pitanjima koja se odnose na krajnje korisnike. Kako je to riješeno ovisi od zemlje do zemlje, ali neki primjeri uključuju pitanja: ispravnosti računa i naplate, ponovno razmatranje uvjeta poslovanja operatera, kvalitetu usluge, geografsko pokrivanje, te pristup univerzalnoj usluzi.

Pridržavanje međunarodno potpisanih ugovora

Države mogu poduzeti formalne korake ka dostizanju određenih ciljeva koji su izvan dosega nacionalnog zakonodavstva. Države koje su primjerice potpisale ugovor o pristupanju Svjetskoj trgovinskoj organizaciji (WTO) imaju određene obvezujuće terminske rokove u implementaciji reformskih planova pomoću zajednički dogovorenih regulatornih principa i pravila.

Pozajmice i krediti od multilateralnih organizacija (npr.Svjetska Banka) često uključuju posebne formalne uvjete koje država mora usvojiti kako bi se reducirao regulatorni rizik.

5.2.4. *Efikasno korištenje resursa*

Četvrta razina odnosi se na efikasno korištenje resursa. U tom smislu, potrebne su različite vještine, budući da se fokus regulatornih aktivnosti odnosi na tri polja: odnosi između operatora i države (licenciranje), odnosi među operaterima (interkonekcija) i odnosi između operatora i korisnika (cijene, pritužbe).

Oslanjanje isključivo na unutarnje vještine i znanja s vremenskog aspekta, nije najbolji način dobivanja i raspolaganja širokog spektra potrebitih kompetencija.

Outsorcing nekih regulatornih funkcija

Mogući je outsorcing nekih regulatornih funkcija privremeno ili stalno, dok se ne uspostavi određena kompetencija unutar regulatornog tijela. Neki primjeri

su: odnosi sa pritužbama korisnika (npr. ugovor s udruženjima potrošača), tarifna pravila (npr.ugovor s revizorskim kućama), nadzor nad tehničkom kontrolom ispunjenja uvjeta iz dobivenih licenci i sl. No, konačne odluke su uvijek u rukama regulatora.

Primijeniti alternativne načine rješavanja sporova

Sporovi i konflikti naglo rastu između "incumbent" operatera i novih, između novih operatera, i između operatora i regulatora. Sami resursi regulatora, administracije i sudstva mogu brzo biti prenapučeni kompleksnošću i povećanim brojem slučajeva. Postoji široki niz alternativnih načina da se izbjegnu sporovi što uključuje pregovaranje, posredovanje i arbitražu, što je preporučljivo iskoristiti u ovim slučajevima.

Iskoristiti znanje operatora

U većini zemalja najveća koncentracija znanja iz telekomunikacijske i elektroenergetske industrije nalaze se u samim kompanijama koje pružaju te usluge. Ova informacijska asimetrija dovodi regulatora u lošiju poziciju, ali je preporuka iskoristiti znanja iz industrije u korist regulatora. Primjerice, takve kompanije se mogu obvezati da dostavljaju u određenim vremenskim intervalima detaljne prijedloge revidiranja svojih cijena, ako je to propisano u Zakonu. Regulator proučava prijedlog te uz eventualnu pomoć konzultanata oko nekih specifičnih stvari odobrava ili ne taj prijedlog.

Multisektorske agencije

Mnoge siromašne zemlje si ne mogu priuštiti financijske i ljudske resurse za odvojenu regulatornu agenciju za svaki sektor. Polazeći od toga da regulacija infrastrukturnih gospodarskih djelatnosti (kao npr. električna energija,plin,voda i promet) imaju mnogo toga zajedničkoga (ali i bitnih različitosti) moguće je oformiti jednu multisektoralnu agenciju za sve navedene djelatnosti. Takva agencija može zaposliti kvalitetniji ključni kadar nego li to možda može svaka agencija zasebno. Također, manje je vjerojatno da će takva agencija biti pod utjecajem jednog operatera ili jednog nadležnog Ministarstva.

## 6. ZAKLJUČAK

Unatoč značajnoj društvenoj ulozi regulacije elektroenergetskog i telekomunikacijskog sektora koja se očituje u promoviranju interesa korisnika (potrošača) i poticanju konkurencije na tržištu, praksa je pokazala da se regulatorne agencije često susreću s nedostatkom resursa, te s izazovima raznih interesa u paketu s različitim lobiranjima i širenjem krivih informacija.

Navedeno se posebice odnosi na tranzicijske zemlje. Naime, u tranzicijskom procesu pretvorbe načina funkcioniranja gospodarstva i cjelokupne države, novouspostavljene državne uprave ne obiluju kritičnom masom znanja potrebnim za efikasno "upravljanje" ovim tržištima.

Premda ne postoje univerzalni recepti koji će omogućiti uspješnu primjenu regulatornih pravila, elementi navedeni u ovom članku zasigurno bi trebali povećati *output* regulacije.

Za svaku pojedinu zemlju bilo bi potrebno sistematizirano razložiti svaki element u skladu s njenim specifičnostima.

Pozitivna svjetska iskustva (de)regulacije ovih tržišta, te značajni popratni efekti provedenih reformi poput: povećanja zaposlenosti, produktivnosti, investicija, pada cijena usluga i poboljšanja kvalitete trebali bi postati zamašnjak u efikasnoj regulaciji ovog sektora kao i djelomičnoj nadoknadi propuštenih društveno socijalnih probitaka od relativno kasne liberalizacije ove industrije.

Kako je Hrvatska na samom začetku regulacije obaju tržišta, jednim dijelom je u prednosti jer može naučiti na iskustvima drugih zemalja u svijetu, a istodobno je i pred velikim izazovom i pritiskom, jer je potrebno što prije nadoknaditi propuštene društvene, socijalne i gospodarske probitke.

## LITERATURA


[1] W. H. MELODY: "Telecom reform: Principles, Policies and Regulatory practices", Technical University of Denmark, Lyngby, 1997.

[2] Ekonomski leksikon, LZ "M.Krleža", Masmedia, Zagreb, 1995.

[3] D. DVORNIK: "Efikasno upravljanje regulatornom reformom telekom tržišta", Tržište, Vol. XIII,br.1/2 2001, str.59-68.

[4] OECD "Electricity reform-An IEA Handbook", OECD/IEA, 1999.

[5] P. A. SAMUELSON, W. D. NORDHAUS: "Ekonomija", 15. izdanje, prijevod na hrvatski jezik, naklada Mate, Zagreb, 2000.

[6] D. SABOLIĆ: "Načela i praksa deregulacije", Energija, Vol. 51, No. 5, Zagreb, listopad 2002.

[7] OECD "Telecommunications Regulations: Institutional Structures and Responsibilities", OECD, Paris, 2000.

[8] Zakon o Telekomunikacijama RH, Narodne Novine, br.76/99,128/99,68/01, Zagreb

[9] Zakon o regulaciji energetskih djelatnosti, Narodne Novine, br. 68/2001 i 109/2001, Zagreb

[10] J. OLIVER et al.: "Telecommunications Regulation Handbook", World Bank, USA, 2000.


## (DE)REGULATION DEVELOPMENT AND RECOMMENDATIONS FOR COUNTRIES IN TRANSITION


There are no common rules for resolving problems of inefficient market regulation. Having in mind that the regulation goal is not regulatory agency **per se** but a competitive market, it is possible by adaptation of many elements of the regulatory frame to realize better performances of the sector, which is extremely important at the beginning of the regulatory agency work.

In the paper historical aspect of development and (de)regulation of electric power and telecommunication market is given. Economic aspects of monopoly arrangements in those two industries are discussed and reasons for new market regulation of these industries are given. At the end basic principles of successful (de)regulation are given as well as corresponding recommendation package for transient countries.

## DE)REGULIERUNGSENTWICKLUNG UND VORSCHLÄGE FÜR WIRTSCHAFTEN IN ÜBERGANGSPHASE

Es bestehen keine allgemein gültige Regeln für die Lösung von Fragen einer unwirksamen Marktregelung. Den konkreten Markt -und nicht etwa die regelnde Geschäftstelle an sich- als primäres Ziel im Auge haltend, ist es möglich, unter Anpassung einer Reihe von Grundsätzen des breiteren Regelungsrahmens, bessere Vorstellungen zu schaffen. Das ist in den Tätigkeitanfängen der Regulierungsgeschäftsstelle von besonderer Bedeutung.

Im Artikel wird die Übersicht der geschichtlichen Entwicklung und der (De-)Regulierung des Marktes der Stromversorgung und des Fernmeldewesens dargestellt. Danach setzt man sich mit wirtschaftlichen Sichtpunkten der monopolistischen regelung dieser Wirtschaftszweige auseiander und man erklärt die Gründe derer erneuten Marktregelung. Endlich werden Grundregeln einer erfolgreichen (De-)Regulierung und ein dementschprechender Ratschlägesatz für Länder in Übergangsphase dargelegt.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Darko Dvornik, dipl. ing.**
**Vijeće za telekomunikacije**
**Jurišićeva 13**
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 04 – 17.

# BIOMASA NA DANAŠNJEM TRŽIŠTU ELEKTRIČNE ENERGIJE: PRIKAZ STANJA I MOGUĆNOSTI

Mr. sc. Velimir Š e g o n – mr. sc. Julije D o m a c, Zagreb

UDK 620.95:621.311
PREGLEDNI ČLANAK

U članku su prikazane tehnologije za proizvodnju električne energije iz biomase, udio biomase u proizvodnji električne energije za zemlje OECD-a i Europsku uniju te stanje i mogućnosti korištenja biomase u Hrvatskoj. Dan je pregled projekata rasplinjavanja biomase kao jedne od tehnologija od kojih se u budućnosti najviše očekuje. Zaključeno je da su stvarna uloga biomase i mogućnosti njenog korištenja nedovoljno poznati i često pogrješno interpretirani.

**Ključne riječi: biomasa, električna energija, energetska politika, obnovljivi izvori, tržište.**

## 1. UVOD

Nakon godina korištenja energije fosilnih goriva globalna se slika mijenja, a obnovljivi izvori se sve više smatraju jednim od ključnih čimbenika budućih strategija razvitka. Među ostalim obnovljivim izvorima, u bližoj se budućnosti od biomase očekuje naročito značajan doprinos. U 1995. godini u zemljama Europske unije iz biomase je ukupno proizvedeno više od 1700 PJ energije, odnosno 59,5 % od svih obnovljivih izvora. Službeni izvori Europske unije procjenjuju da će se do 2010. godine ta proizvodnja još povećati za oko 3700 PJ, odnosno ukupno porasti na oko 5500 PJ, čime bi udio biomase u odnosu na ostale obnovljive izvore iznosio čak 73 % [1].

Osim velikih hidroelektrana, obnovljivi izvori nisu u prošlosti igrali značajniju ulogu u proizvodnji električne energije. Bitan doprinos promjeni sadašnjeg stanja, osim problema globalnog zagrijavanja i klimatskih promjena, imat će i razvitak tehnologije. Naprimjer, poboljšanja na avionskim motorima u civilnom i ratnom zrakoplovstvu te razvitak rasplinjavanja ugljena učinili su mogućim ekonomski isplativu proizvodnju električne energije rasplinjavanjem biomase uz korištenje plinskih turbina. Isto tako, gorive ćelije razvijene za programe istraživanja svemira otvorile su vrata korištenju vodika kao nezagađujućeg goriva.

U velikom broju razvijenih zemalja prisutan je, a u nekima je i u velikoj mjeri uznapredovao, trend deregulacije tržišta električne energije i restrukturirajućih promjena u svim dijelovima elektroenergetskog sustava. Sličan je proces započeo i u Hrvatskoj te se procjenjuje da će njegove posljedice imati važan učinak na buduću proizvodnju električne energije iz novih obnovljivih izvora. Razvitkom procesa tranzicije pojačavat će se i potreba za ekonomski konkurentnom, niskom cijenom električne energije, ali i za primjenom ekološki prihvatljivih tehnologija i goriva. Iako su ova dva zahtjeva naizgled u suprotnosti, takav je trend već vidljiv u brojnim zemljama kao što su Nizozemska, Finska, Švedska, Velika Britanija i SAD. Osim strukturnih promjena, ključan utjecaj očekuje se od promjene zakonodavnog okruženja. U Hrvatskoj su ovi zakoni tek doneseni, a podzakonska regulativa je u izradi, ali se posljedice i utjecaj sličnih zakona na elektroprivrede i male proizvođače električne energije u razvijenim zemljama već mogu uočiti. Poznate mjere kao što su "Zelena etiketa" (obveza proizvođača da određenu količinu električne energije proizvede iz obnovljivih izvora, pri čemu potrošači mogu sami izabrati dobavljača), "Fond za javnu dobrobit" (sredstva koja se izdvajaju iz cijene električne energije, a služe za poticanje proizvodnje i izgradnju postrojenja za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora), ali i ekološki porezi (porez na energiju, porez na emisiju $CO_2$, $SO_2$ i $NO_X$) izrazito mijenjaju odnose na tržištu goriva za proizvodnju električne energije i omogućavaju znatno povećanje konkurentnosti svih obnovljivih izvora.

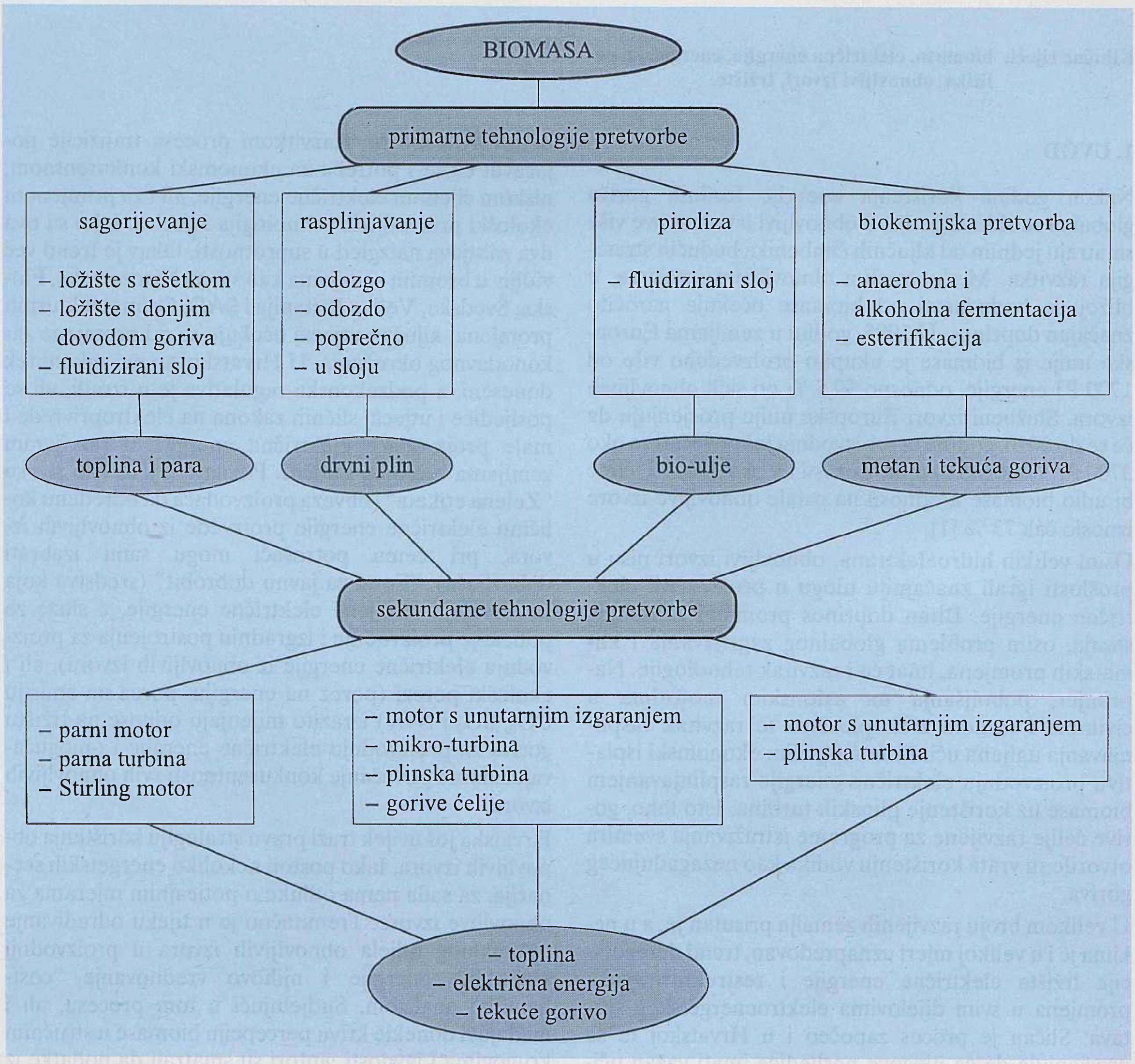
Hrvatska još uvijek traži pravu strategiju korištenja obnovljivih izvora. Iako postoji nekoliko energetskih scenarija, za sada nema odluke o poticajnim mjerama za obnovljive izvore. Trenutačno je u tijeku određivanje optimalnog udjela obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije i njihovo vrednovanje "cost-benefit" analizom. Sudjelujući u tom procesu, ali i uviđajući donekle krivu percepciju biomase u stručnim krugovima i javnosti, autori su smatrali da podatke iz ovog članka vrijedi objaviti.

## 2. TEHNOLOGIJE ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ BIOMASE

Biomasu je moguće pretvoriti u razne oblike korisne energije: toplinu, električnu energiju te tekuća goriva za uporabu u prijevozu (slika 1). Tehnologije pretvorbe biomase mogu se podijeliti na primarne (konačni proizvod je toplina odnosno para te tekuća i plinovita goriva) i sekundarne (konačni proizvod je električna energija, toplina za kućanstva/industriju te goriva za korištenje u prijevozu).

Dokazano komercijalno isplativ i daleko najznačajniji način proizvodnje električne energije iz biomase je pretvorba u kogeneracijskim postrojenjima (istodobna proizvodnja toplinske i električne energije), za što postoji velik broj primjera u raznim zemljama. Kao tipični primjer mogućnosti za uspješnu kogeneraciju na biomasu može se uzeti drvna industrija – drvno-prerađivačka poduzeća imaju potrebu za toplinom (sušenje drva, grijanje prostorija) i električnom energijom, a preradom drva nastaje dovoljna količina drvnog otpada koji služi kao gorivo.

Spaljivanjem biomase (izgaranje na rešetki, različite izvedbe izgaranja u fluidiziranom sloju) dobiva se korisna energija u obliku topline ili pare koja se u parnoj turbini ili motoru može pretvoriti u električnu energiju. Iako se para iz biomase može proizvesti s vrlo visokim stupnjem efikasnosti, pretvorba u električnu energiju je puno manje efikasna. Efikasnost varira od 5 do 10% za postrojenja snage do 1 $MW_e$, 10 do 25% za postrojenja od 1 do 5 $MW_e$ te 15 do 30% za postrojenja snage veće od 5 $MW_e$. Tehnologija parnih turbina se smatra tehnički zrelom i dokazanom, ali i relativno skupom. Povećanjem efikasnosti i smanjenjem investicijskih troškova to bi se moglo i promijeniti, no zbog već postignute tehničke zrelosti zasad se ne vide




**Slika 1. Primarne i sekundarne tehnologije pretvorbe biomase**

značajnije mogućnosti. Iako su takva postrojenja prilično male snage, najčešće ispod 20 $MW_e$ te zahtijevaju relativno visoke investicijske troškove, ipak je moguće proizvesti električnu energiju koja je cijenom konkurentna tamo gdje su na raspolaganju dovoljne količine jeftine biomase. Višu efikasnost i niže investicijske troškove je moguće postići u sustavima koji će koristiti plinske turbine. Trenutačno se najviše razvijaju sustavi integriranog rasplinjavanja biomase i plinske turbine (BIG/GT, engl. *Biomass Integrated Gasifier/Gas Turbine*) [2].

Rasplinjavanje je termokemijski proces pri kojem se sirovina (ugljik) djelomično oksidira zagrijavanjem do temperature od 1200°C kako bi se proizveo stabilni gorivi plin. Postoji nekoliko načina rasplinjavanja, dobiveni gorivi plin sastoji se od ugljičnog monoksida, vodika i metana, a goriva mu je vrijednost relativno niska i iznosi između 4 i 6 $MJ/Nm^3$. Od tehnologije rasplinjavanja za proizvodnju električne energije se dosta očekuje već u skoroj budućnosti te do sada postoje mnogi primjeri istraživačkih i razvojnih projekata rasplinjavanja biomase. Jedina do danas komercijalno prihvaćena tehnologija je rasplinjavanje u cirkulirajućem fluidiziranom sloju (CFB, engl. *Circulating Fluidized Bed*).

Prvo komercijalno postrojenje za rasplinjavanje biomase pušteno je u pogon 1998. godine u Lahti, Finska. Energija se iz dobivenog plina proizvodi u sklopu kogeneracijskog postrojenja ukupne snage 160 $MW_e$ i 250 $MW_{th}$ od čega se rasplinjavanjem pokriva 15%. Drugi značajni primjeri su projekt Zeltweg BioCoComb u Austriji, kapaciteta 10 $MW_{th}$, dovršen 1998. godine te projekt Amergas BV u Nizozemskoj kapaciteta 83 $MW_{th}$, odnosno godišnje proizvodnje električne energije 205 GWh koji kao gorivo koristi otpadno drvo, smanjujući tako godišnju potrošnju ugljena za 70 000 tona uz izbjegnutu emisiju $CO_2$ od 170 000 tona [3].

Integrirano rasplinjavanje u kombiniranom ciklusu (IGCC, engl. *Integrated Gasification Combined Cycles Plants*) predstavlja trenutačno najperspektivniju tehnologiju rasplinjavanja. U Europi su u pogonu tri IGCC postrojenja i to ARBRE kraj Yorka u Sjevernoj Engleskoj, Värnamo u istoimenom gradu u Južnoj Švedskoj te Bioelettrica SpA Energy Farm kraj Pise u Italiji.

Postrojenje u Värnamu je kapaciteta 6 $MW_e$ i 9 $MW_{th}$ i toplinu predaje u gradski sustav područnog grijanja. To je prvo IGCC postrojenje koje koristi biomasu, a razvijeno je u suradnji Sydkraft AB i Foster Wheeler International. Projekt je započeo 1991. godine, u pogonu je od 1996. godine te je do danas stečeno znatno pogonsko iskustvo. Pogonom je pokazano da je pri kapacitetu od 60 $MW_e$ IGCC tehnologija profitabilnija od spaljivanja u cirkulirajućem fluidiziranom sloju i to s prodajnom cijenom električne energije od 0,033 eura/kWh uz cijenu biomase od 6 eura/MWh.

Tablica 1 daje pregled efikasnosti i ukupnih investicijskih troškova za tipične tehnologije pretvorbe biomase u električnu energiju. Potrebno je napomenuti da su navedeni podaci samo orijentacijski te široki raspon investicijskih troškova ukazuje na njihovu nesigurnost. Postoji relativno veliko neslaganje između procijenjenih troškova objavljenih u raznim publikacijama i troškova stvarnih projekata.

**Tablica 1. Pregled tehnologija za proizvodnju električne energije iz biomase [4]**

| Tehnologija | Efikasnost (%) | Investicijski troškovi ($/kW_e$) |
|---|---|---|
| Motor s unutarnjim izgaranjem | 25-30 | 800-1200 |
| Parna turbina | 15-35 | 1700-4800 |
| Plinski motor | 10-25 | 700-2000[1] |
| Stirling motor | 20-30 | 1000-4800 |
| Indirektno pogonjena plinska turbina | 15-24 | 3000-6100 |
| Direktno pogonjena tlačna plinska turbina | 25-30 | 1200-1600 |
| Mikro-turbina | 20-30 | 1000-1300 |

## 3. BIOMASA U SVJETSKOJ PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE

### 3.1. Izvor podataka i metodologija

Izvor podataka prikazanih u ovom poglavlju je publikacija Međunarodne energetske agencije zemalja članica OECD-a (IEA, engl. *International Energy Agency*) *Renewables Information 2002 with 2000 data* te pripadajuća brošura *Renewables in Global Energy Supply, an IEA Fact Sheet*. Podaci su prikupljeni upotrebom standardiziranog upitnika o obnovljivim izvorima energije i otpadu (engl. *Renewables and Waste Questionnaire*) koji je zajednički razvijen i proveden u kolovozu 2000. godine od strane IEA, Eurostat-a, Odjela za statistiku Europske unije te Odjela za statistiku Ekonomske komisije za Europu Ujedinjenih Naroda.

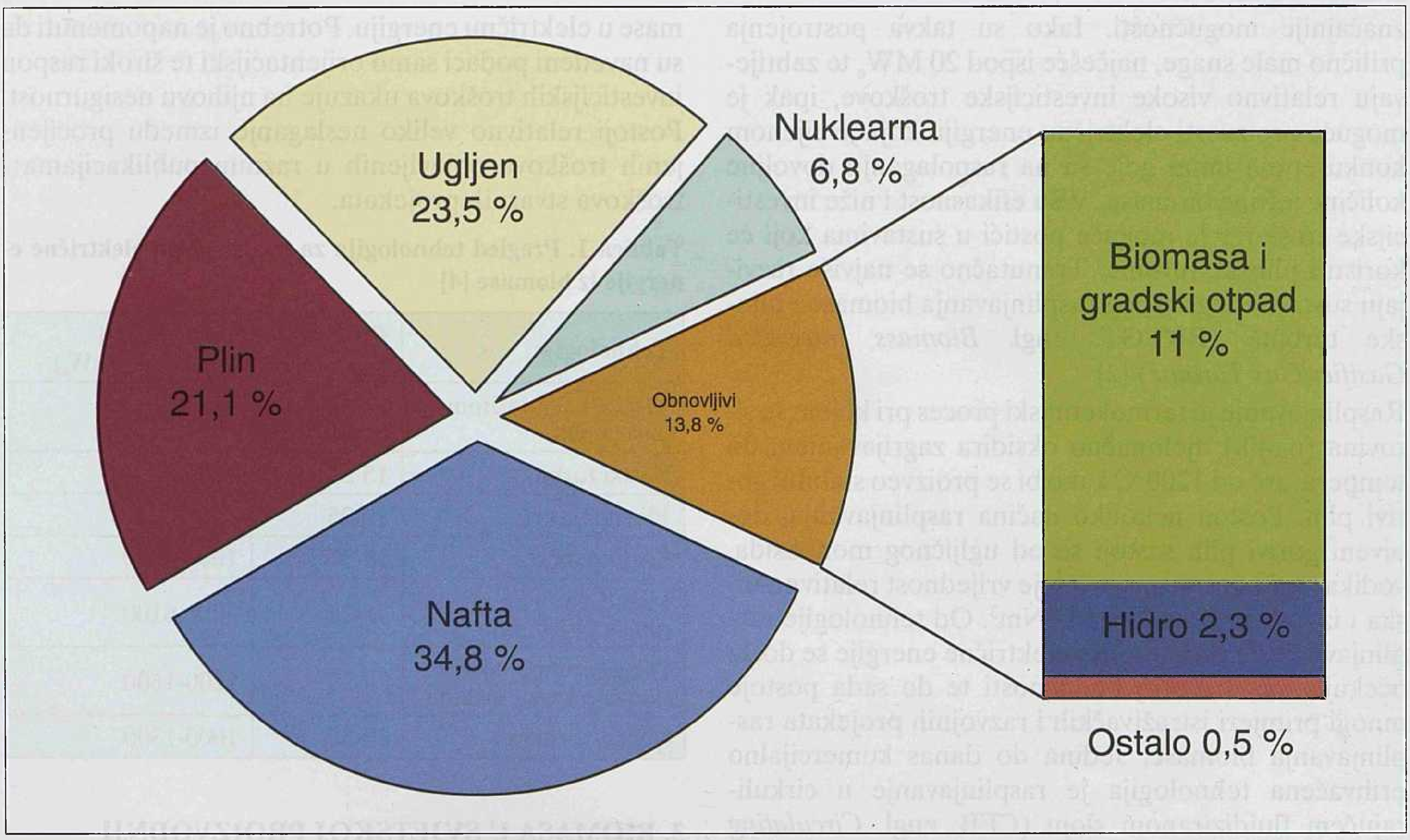
U obnovljive izvore energije, prema IEA, svrstavaju se:

1. obnovljiva goriva i zapaljivi otpad, što uključuje krutu, tekuću i plinovitu biomasu te biorazgradivi dio gradskog otpada
2. vodne snage, uključene su sve hidroelektrane neovisno o veličini
3. geotermalna energija
4. solarna energija
5. energija vjetra
6. energija valova, plime i oseke.

### 3.2. Biomasa u svjetskoj potrošnji energije

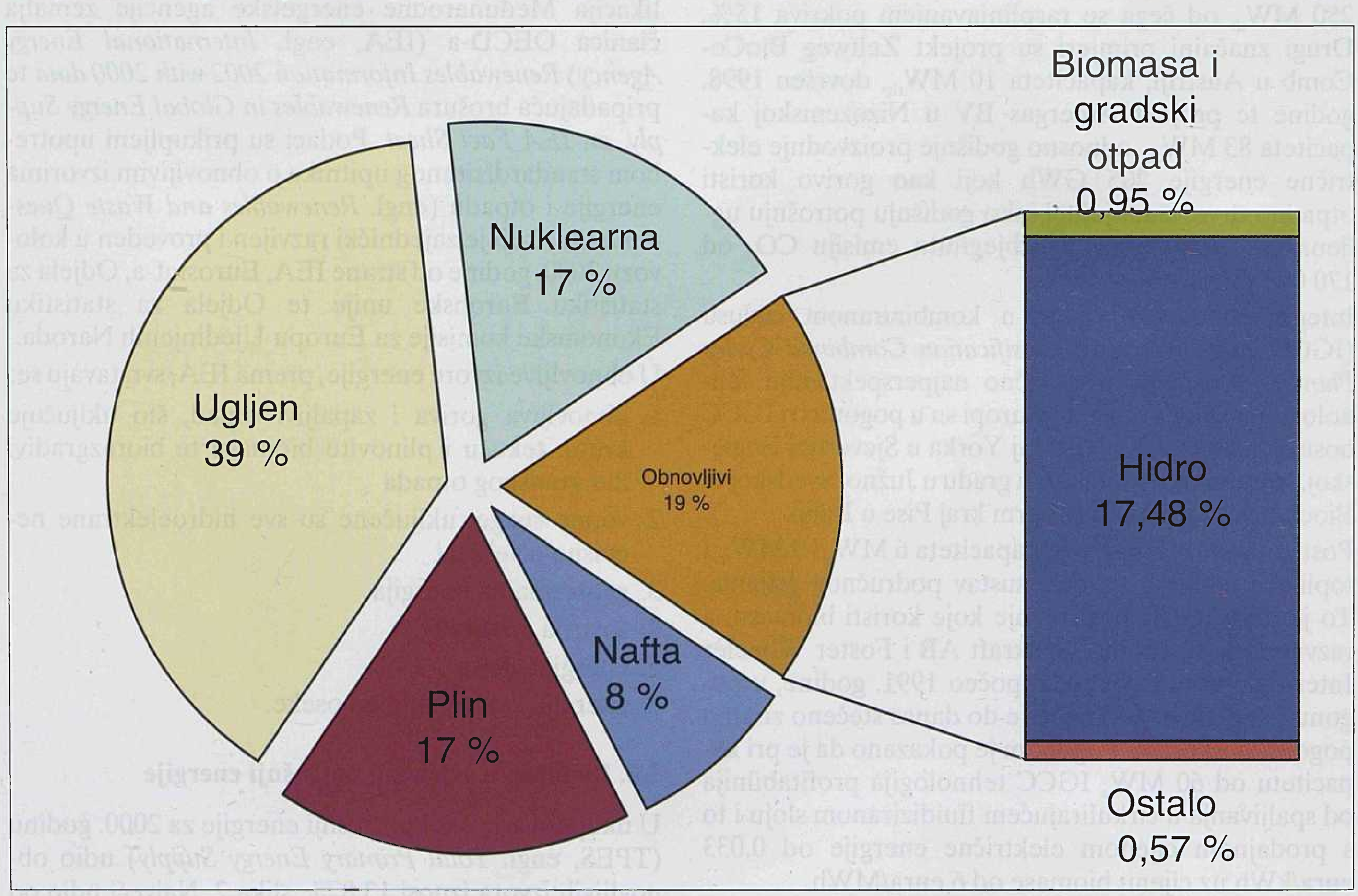
U ukupnoj svjetskoj potrošnji energije za 2000. godinu (TPES, engl. *Total Primary Energy Supply*) udio obnovljivih izvora iznosi 13,8 %, slika 2. Najveći udio od

[1] Investicijski troškovi samo za parni motor




**Slika 2. Udio energenata u ukupnoj svjetskoj potrošnji energije (TPES) za 2000. godinu [5]**

obnovljivih izvora ima biomasa i gradski otpad (11%), vodne snage imaju udio od 2,3%, dok svi ostali obnovljivi izvori zajedno predstavljaju 0,5%. U svjetskoj proizvodnji električne energije za 2000. godinu udio obnovljivih izvora iznosi 19%, slika 3. Najveći udio od obnovljivih izvora imaju hidroelektrane s 17,48% (uk-




**Slika 3. Udio energenata u svjetskoj proizvodnji električne energije za 2000. godinu [5]**

ljučene su i velike hidroelektrane), biomasa i gradski otpad imaju udio od 0,95 %, a svi ostali obnovljivi izvori zajedno imaju udio od 0,57 %.

### 3.3. Udio obnovljivih izvora u zemljama OECD-a

Zemlje OECD-a čine danas skupinu od 30 najrazvijenijih zemalja svijeta[2], a sama organizacija je kroz svoje autonomne agencije na području energetike – IEA (engl. *International Energy Agency*) i NEA (engl. *Nuclear Energy Agency*) aktivno uključena u kreiranje trendova i ukupne promjene na svjetskim energetskim tržištima.

**Tablica 2. Proizvodnja električne energije i udio obnovljivih izvora u zemljama OECD-a [5]**

| | 1990. | 1995. | 1996. | 1997. | 1998. | 1999. | 2000. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ukupna proizvodnja električne energije (TWh)[3] | 7560,0 | 8507,8 | 8744,4 | 8871,0 | 9090,9 | 9310,8 | 9628,3 |
| Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora (TWh)[4] | 1291,8 | 1453,5 | 1494,4 | 1531,2 | 1495,8 | 1493,2 | 1505,7 |
| Udio obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije (%) | 17,1 | 17,1 | 17,1 | 17,3 | 16,5 | 16,0 | 15,6 |

**Tablica 3. Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora u zemljama OECD-a (GWh)[5] [5]**

| | 1990. | 1995. | 1996. | 1997. | 1998. | 1999. | 2000. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hidroelektrane (od kojih akumulacijske) | 1216377 (43280) | 1361583 (58633) | 1402273 (63262) | 1429525 (62291) | 1394878 (64655) | 1380741 (64041) | 1385682 (70332) |
| Geotermalna | 29189 | 29686 | 31530 | 31073 | 32040 | 33018 | 32878 |
| Solarna | 681 | 924 | 1013 | 1024 | 1074 | 1070 | 1128 |
| Valovi, plima i oseka | 597 | 607 | 579 | 602 | 622 | 612 | 605 |
| Vjetar | 3838 | 7353 | 8389 | 10722 | 14442 | 19130 | 28897 |
| Gradski otpad | 0 | 25048 | 27814 | 29652 | 32581 | 31364 | 31554 |
| Biomasa | 66173 | 86948 | 86051 | 90864 | 84771 | 91292 | 95292 |

Tablica 2 navodi ukupnu proizvodnju električne energije u TWh i udio obnovljivih izvora u zemljama OECD-a po godinama. Proizvodnja iz akumulacijskih hidroelektrana nije uključena u bilancu proizvedene energije, a pod obnovljive izvore ne spadaju industrijski otpad i neobnovljivi gradski otpad.

Tablica 3 navodi proizvodnju električne energije u GWh iz obnovljivih izvora. Proizvodnja iz solarnih fotovoltaika i solarnih termalnih postrojenja zbrojena je, gradski otpad uključuje samo obnovljivi, odnosno biorazgradivi dio, a biomasa predstavlja zbroj krute, tekuće i plinovite biomase.

Ako se iz razmatranja isključe hidroelektrane, struktura proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u 2000. godini u zemljama OECDa bila je sljedeća (slika 4):

- biomasa: 50,06 %
- geotermalna: 17,27 %
- gradski otpad: 16,58 %
- vjetar: 15,18 %
- solarna: 0,59 %
- valova, plime i oseke: 0,32 %.

### 3.4. Udio obnovljivih izvora u zemljama Europske unije

Tablica 4 navodi ukupnu proizvodnju električne energije u TWh i udio obnovljivih izvora u zemljama Europske unije po godinama. Proizvodnja iz akumulacijskih hidroelektrana nije uključena u bilancu proizvedene energije, a pod obnovljive izvore ne spadaju industrijski otpad i neobnovljivi gradski otpad.

Tablica 5 navodi proizvodnju električne energije u GWh iz obnovljivih izvora. Proizvodnja iz solarnih fotovoltaika i solarnih termalnih postrojenja zbrojena je, gradski otpad uključuje samo obnovljivi, odnosno biorazgradivi dio, a biomasa predstavlja zbroj krute, tekuće i plinovite biomase.

Ako se iz razmatranja isključe hidroelektrane, struktura proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u 2000. godini u zemljama Europske unije bila je sljedeća (slika 6):

- biomasa: 40,90 %
- vjetar: 35,69 %

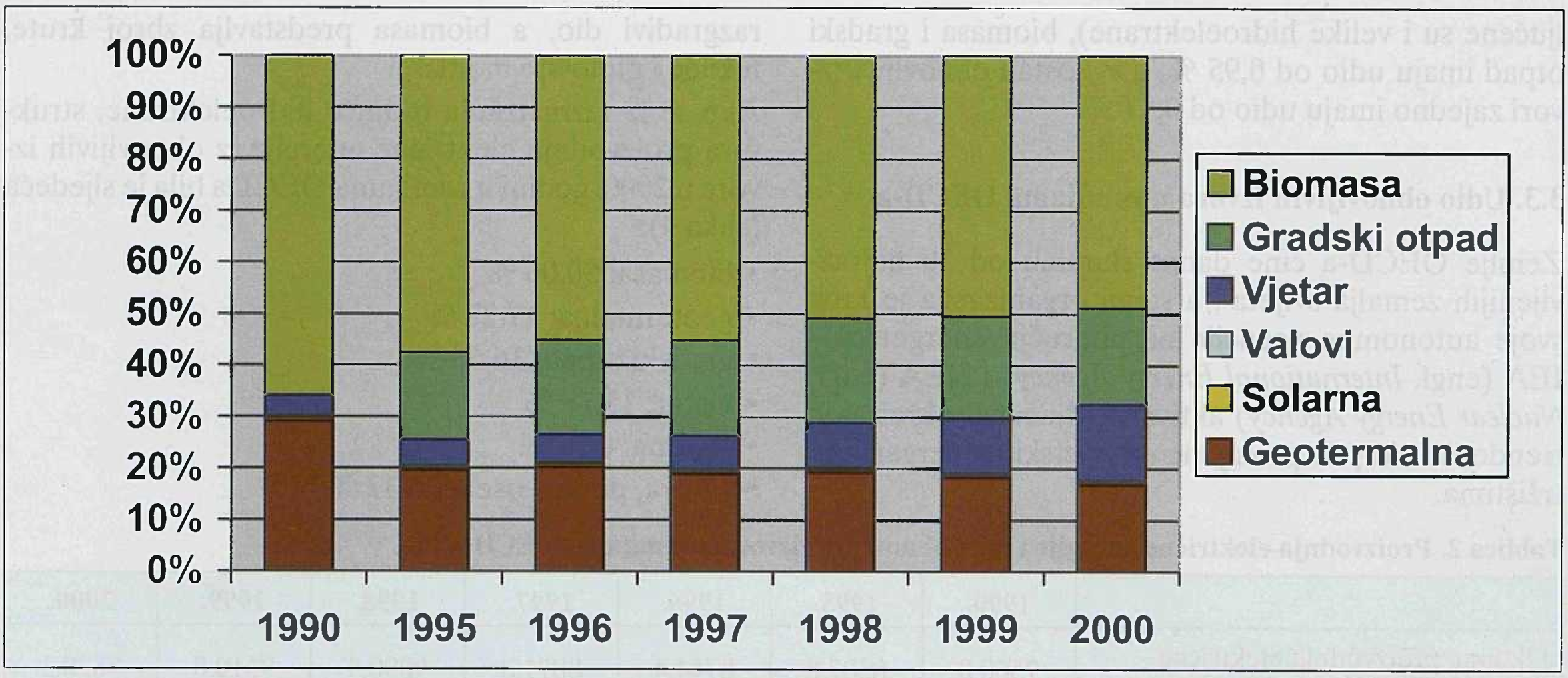
---

[2] Australija, Austrija, Belgija, Češka, Danska, Finska, Francuska, Grčka, Kanada, Irska, Island, Italija, Japan, Koreja, Luksemburg, Mađarska, Meksiko, Nizozemska, Njemačka, Norveška, Novi Zeland, Poljska, Portugal, Slovačka, Španjolska, Švedska, Švicarska, Turska, Velika Britanija, SAD.

[3] Ne uključuje proizvodnju iz akumulacijskih hidroelektrana

[4] Ne uključuje industrijski otpad, neobnovljivi gradski otpad te akumulacijske hidroelektrane

[5] Prikazan je zbroj proizvodnje kogeneracijskih postrojenja i elektrana




**Slika 4. Struktura proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u zemljama OECD-a, uz isključenje hidroelektrana [5]**

**Tablica 4. Proizvodnja električne energije i udio obnovljivih izvora u EU [5]**

| | 1990. | 1995. | 1996. | 1997. | 1998. | 1999. | 2000. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ukupna proizvodnja električne energije (TWh)[6] | 2141,7 | 2313,5 | 2394,0 | 2412,1 | 2473,6 | 2507,9 | 2572,3 |
| Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora (TWh)[7] | 281,26 | 324,93 | 324,48 | 339,32 | 354,57 | 354,73 | 382,07 |
| Udio obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije (%) | 13,1 | 14,0 | 13,6 | 14,1 | 14,3 | 14,1 | 14,9 |

**Tablica 5. Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora u EU (GWh)[8] [5]**

| | 1990. | 1995. | 1996. | 1997. | 1998. | 1999. | 2000. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hidroelektrane (od kojih akumulacijske) | 276067 (16144) | 309983 (18289) | 311496 (21105) | 315772 (18591) | 326766 (21457) | 328027 (24207) | 345543 (26968) |
| Geotermalna | 3226 | 3478 | 3811 | 3956 | 4272 | 4483 | 4785 |
| Solarna | 13 | 38 | 41 | 49 | 72 | 74 | 109 |
| Valovi, plima i oseka | 571 | 568 | 547 | 570 | 590 | 580 | 573 |
| Vjetar | 772 | 4071 | 4884 | 7364 | 11288 | 14209 | 22660 |
| Gradski otpad | 0 | 6483 | 7570 | 8909 | 10561 | 8338 | 9401 |
| Biomasa | 11591 | 18598 | 17234 | 21291 | 22481 | 23230 | 25971 |

- gradski otpad: 14,80 %
- geotermalna: 7,60 %
- solarna: 0,59 %
- valova, plime i oseke: 0,32 %.

## 4. STANJE I MOGUĆNOSTI U HRVATSKOJ

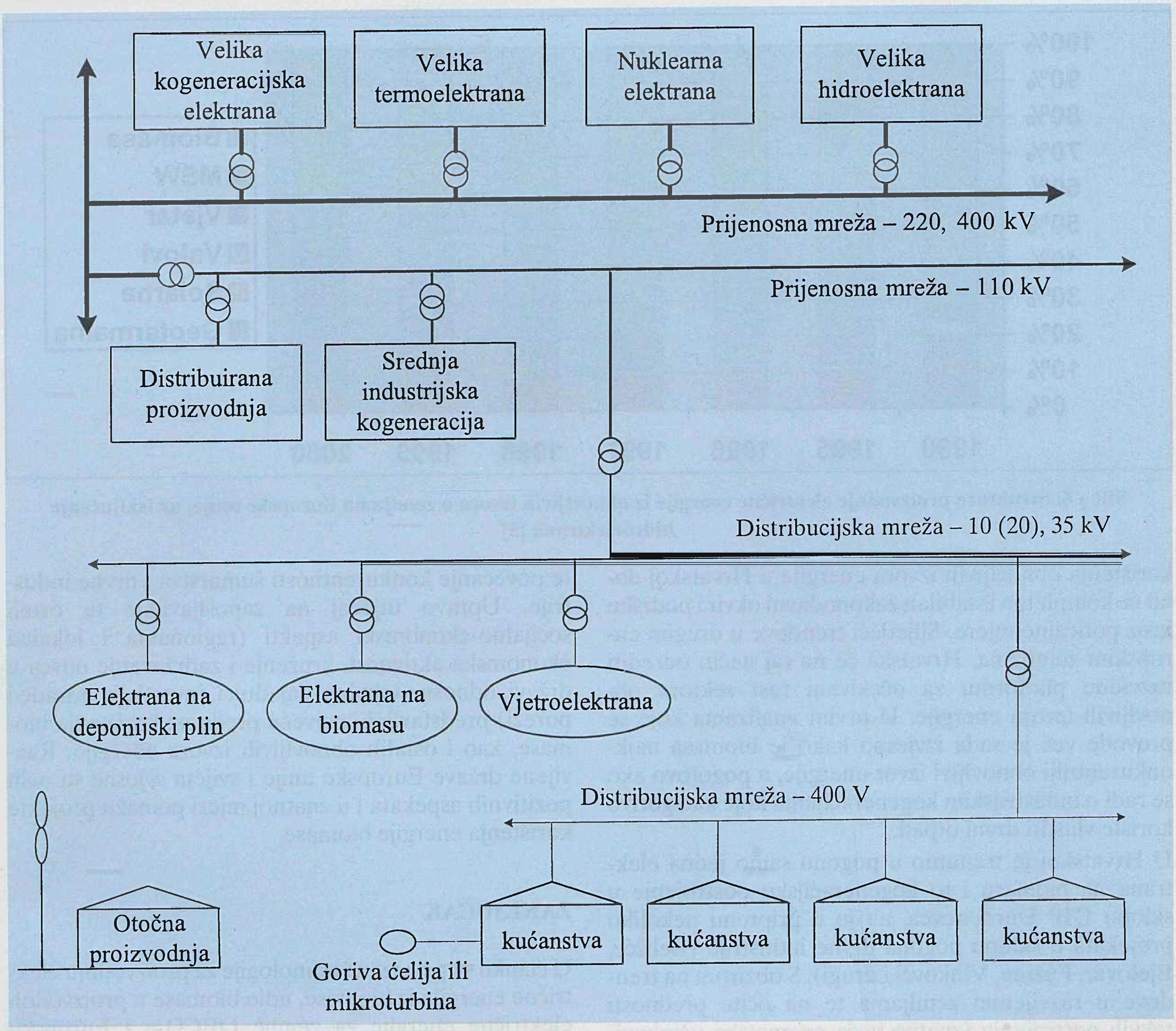
Republika Hrvatska, kao zemlja s velikim šumskim potencijalom (44% kopnenog šumskog teritorija), značajnom ulogom poljoprivrede te brojnim drvno-prerađivačkim pogonima, ima na raspolaganju velike količine biomase različitog podrijetla koje se mogu koristiti za proizvodnju energije. U Hrvatskoj osim toga postoji i duga tradicija korištenja biomase, posebno ogrjevnog drva i ostatka iz drvno-prerađivačke industrije. Prema različitim scenarijima (razvoj poljoprivrede i šumarstva, uvođenje novih tehnologija i mehanizama podrške i sl.) očekuje se da će tehnički potencijal biomase u 2030. godini iznositi između 50 i 80 PJ [6]. Dosad se koristila svega manja količina raspoložive biomase (12,24 PJ u 2001. godini) i to većinom na energetski neefikasan način za grijanje kućanstava, a biomasa nije zauzimala značajnije mjesto u energetskoj politici [7].

Pri razmatranju uloge biomase u energetskom sektoru potrebno je posebno promatrati elektroenergetski i

[6] Ne uključuje proizvodnju iz akumulacijskih hidroelektrana

[7] Ne uključuje industrijski otpad, neobnovljivi gradski otpad te akumulacijske hidroelektrane

[8] Prikazan je zbroj proizvodnje kogeneracijskih postrojenja i elektrana

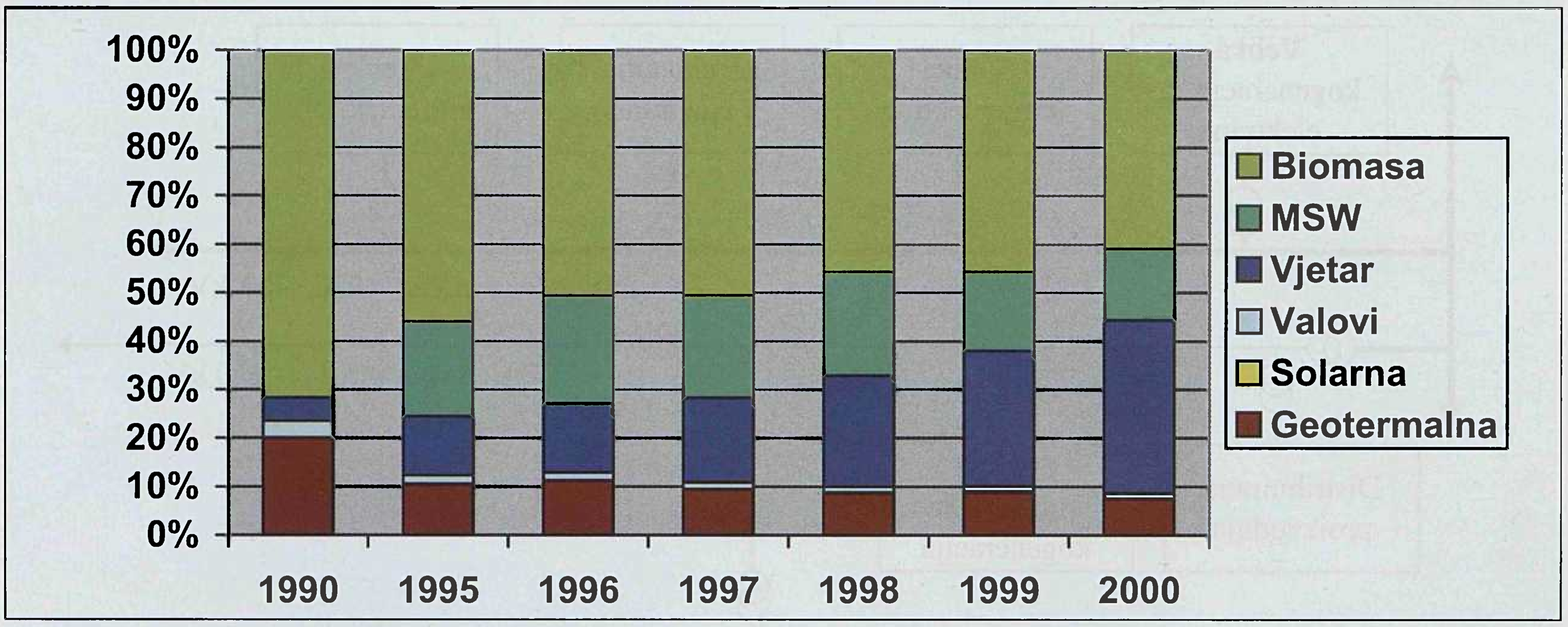



**Slika 5. Prikaz mogućih proizvođača električne energije iz biomase**

sektor tekućih goriva te toplinarstvo. Osnovna uloga elektroenergetskog sustava je neprekidna isporuka potrebnih količina električne energije, određene kvalitete i uz prihvatljive ekonomske uvjete dobave. O radu i razvitku elektroenergetskog sustava ovisi korištenje prirodnih resursa, razvitak gospodarstva te unaprjeđenje životnog standarda ljudi. Kako se u proizvodnji električne energije i općem razvitku mogu iskorištavati različiti primarni izvori energije, planiranje izgradnje elektroenergetskog sustava predstavlja vrlo specifično područje. Za proizvodnju električne energije iz biomase u Hrvatskoj moguće je predvidjeti nekoliko scenarija razvitka. Treba odmah naglasiti da se od biomase ne očekuje presudna ni osobito značajna uloga u hrvatskom elektroenergetskom sustavu, barem ne u bližoj budućnosti. Električnu energiju iz biomase mogu proizvoditi nezavisni proizvođači, podjednako privatni poduzetnici i lokalne zajednice (tzv. autonomna proizvodnja), ali uvođenjem određenih tržišno-zakonskih mehanizama, što je u već u tijeku, i elektrane HEP-a (slika 5).

Sadašnjom energetskom strategijom se predviđa da će tijekom idućih desetljeća znatnije porasti ovisnost Hrvatske o uvozu energije od sadašnjeg uvoza na razini 50% do očekivanog uvoza u 2030. godini od preko 70% [8]. Takva energetska budućnost ne samo što je vrlo nepovoljna sa stanovišta uvozno-izvozne bilance zemlje, već je jednako tako nepovoljna i politički, zbog sve veće ovisnosti o uvozu energije i energenata.

Promjene na tržištima umreženih energetskih sustava u Republici Hrvatskoj, kojima je obuhvaćeno restrukturiranje, privatizacija i promjene u cjelokupnom energetskom sektoru, imaju znatan utjecaj na mogućnosti uvođenja i povećanog korištenja obnovljivih izvora energije. Nakon usvajanja Zakona o energiji i tri zakona o tržištima (električna energija, plin, nafta i naftni derivati) i Zakona o regulaciji energetskih djelatnosti, predstoji zahtjevan posao donošenja brojnih podzakonskih akata koji će precizno urediti sve instrumente državne politike što se tiče obnovljivih izvora energije. Od stupanja na snagu i uz punu primjenu novog zakonodavstva s pratećim podzakonskim aktima projekti




**Slika 6. Struktura proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u zemljama Europske unije, uz isključenje hidroelektrana [5]**

korištenja obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj dobit će kompletan i stabilan zakonodavni okvir i podršku kroz poticajne mjere. Slijedeći trendove u drugim europskim zemljama, Hrvatska će na taj način odrediti razvidnu platformu za očekivani rast sektora obnovljivih izvora energije. U prvim analizama koje se provode već je sada izvjesno kako je biomasa najkonkurentniji obnovljivi izvor energije, a pogotovo ako se radi o industrijskim kogeneracijama koje kao gorivo koriste vlastiti drvni otpad.

U Hrvatskoj je trenutno u pogonu samo jedna elektrana na biomasu i to kogeneracijsko postrojenje u sklopu DIP Đurđenovca, ali je u pripremi nekoliko projekata u sklopu pogona drvne industrije (Belišće, Bjelovar, Fužine, Vinkovci i drugi). S obzirom na trendove u razvijenim zemljama te na očite prednosti takvih postrojenja (znatno veća energetska učinkovitost, manje zagađenje po jedinici proizvedene energije i sl.), od kogeneracijskih se postrojenja očekuje najveći doprinos pri budućoj proizvodnji energije iz biomase u Hrvatskoj. Rezultati provedenih ekonomsko-financijskih analiza ovih projekata pokazuju da je većina projekata prihvatljiva čak i u posve realnom ekonomskom okruženju bez ikakvih značajnijih poticajnih mjera (subvencije, porezi), ali uz osiguran otkup električne energije po prihvatljivim cijenama. Upravo određivanje ove cijene te definiranje uvjeta i načina otkupa jedan je od najvažnijih zadataka u poticanju korištenja energije biomase u Hrvatskoj. Rentabilnost ovih projekata raste s njihovim kapacitetom, odnosno godišnjom proizvodnjom energije, ali je za veće projekte najčešće teško osigurati potrošače toplinske energije, a i opskrba gorivom postaje skuplja i složenija jer se biomasa mora sakupljati i dovoziti s velikog područja.

Smisao projekata korištenja energije biomase je nešto širi od same ekonomske dobiti jer se njima ostvaruju brojni pozitivni učinci kao što su zbrinjavanje otpada, otvaranje novih i zadržavanje postojećih radnih mjesta te povećanje konkurentnosti šumarstva i drvne industrije. Upravo utjecaj na zapošljavanje te ostali socijalno-ekonomski aspekti (regionalna i lokalna ekonomska aktivnost, kruženje i zadržavanje novca u državi, odnosno lokalnoj zajednici, investicije, zarade i porezi) predstavljaju najveću prednost korištenja biomase, kao i ostalih obnovljivih izvora energije. Razvijene države Europske unije i svijeta svjesne su ovih pozitivnih aspekata i u znatnoj mjeri pomažu projekte korištenja energije biomase.

## ZAKLJUČAK

U članku su prikazane tehnologije za proizvodnju električne energije iz biomase, udio biomase u proizvodnji električne energije za zemlje OECD-a i Europsku uniju te stanje i mogućnosti korištenja biomase u Hrvatskoj.

Podaci navedeni u trećem poglavlju jasno pokazuju da u razvijenim zemljama, uz isključenje hidroelektrana, biomasa ima najveći udio u proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora. U 2000. godini u zemljama OECD-a udio biomase (50,06%) je veći od udjela svih ostalih obnovljivih izvora zajedno, dok u Europskoj uniji biomasa (40,90%) i vjetar (35,69%) pokrivaju više od tri četvrtine svih obnovljivih izvora. Potrebno je napomenuti da su zemlje s razvijenim programom vjetroelektrana (Njemačka, Danska,...) najprije razvile program korištenja biomase za proizvodnju električne energije (u 1995. godini u Europskoj uniji biomasa je pokrivala 55,96% obnovljivih izvora, a vjetar 12,25%) što nameće zaključak da bi i Hrvatska trebala krenuti u tom smjeru.

Na temelju dosadašnjih rezultata od pokretanja 1997. godine, program BIOEN je pokazao da bi se proizvodnjom energije iz biomase i gradskog otpada moglo do 2020. godine osigurati znatan dio ukupne potrošnje primarne energije za što Hrvatska ima realne mo-

gućnosti (po uzoru na Austriju, Finsku i Dansku). Taj bi se cilj trebao ostvariti pokretanjem demonstracijskih projekata, stvaranjem tržišta i uvjeta za povećano korištenje energije biomase (zakonodavno okruženje, porezi, tarife, subvencije...), uključivanjem industrije i gospodarstva, obrazovanjem te poticanjem istraživanja i međunarodne suradnje.

Iz svega navedenog može se zaključiti da je biomasa najvažniji obnovljivi izvor u Hrvatskoj, iako je to često nedovoljno poznato i pogrješno interpretirano.

## LITERATURA

[1] EC 1997. White paper for a Community Strategy and Action Plan. Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. Document (95)682. http://europa.eu.int/en/comm/dg17/whitepap.htm

[2] N. EL BASSAM: 1998. "Energy Plant Species". James & James Ltd. London.

[3] A. BAUEN: (2000). "Sustainable heat and electricity supply from gasification based biomass fuel cycles. The case of Sweden and the UK". In: Proceedings of World Renewable Energy Congress VI, Elsevier, London: p. 1381-1384.

[4] R. E. H. SIMS: 2002. "The Brilliance of Bioenergy". James & James, London.

[5] OECD/IEA. 2002. IEA Statistics: Renewables Information 2002 with 2000. data. IEA, Paris.

[6] J. DOMAC et al.: 2001. "BIOEN – Program korištenja energije biomase i otpada: Nove spoznaje i provedba". Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb.

[7] B. VUK et al.: 2002. "Energija u Hrvatskoj 2001. Godišnji energetski pregled". Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb.

[8] G. GRANIĆ, D. PEŠUT, B. JELAVIĆ, N. JANDRILOVIĆ, H. PETRIĆ, J. DOMAC, et al.: 2002. "Hrvatska u 21. stoljeću – energetika". Ured za strategiju razvitka Republike Hrvatske, Zagreb.

## BIOMASS ON TODAYS' ELECTRIC ENERGY MARKET: REVIEW AND POSSIBILITIES

In the paper technologies for electric energy production from biomass are given as well as biomass share in the electric energy production of OECD countries, European Union and possibilities of biomass usage in Croatia. A review on biomass gasification projects as one of the most promising technologies in the future is also given. It is concluded that the role and possibilities of biomass usage are often unknown and wrongly interpreted.

## BIOMASSE AM HEUTIGEN STROMMARKT: LAGE- UND MÖGLICHKEITENBERICHT

Im Artikel sind Verfahren der Stromerzeugung aus Biomasse, Anteil der Biomasse in der Stromerzeugung der OECD und EU Länder, und die Lage der Biomasse in Kroatien dargestellt. Eine Übersicht der Entwurfe der Biomassevergasung, als jenes Verfahren von dem man in der Zukunft am meisten erwartet. Man ist zum Abschluss gekommen, daß die eigentliche Rolle der Biomasse und die Möglichkeiten ihrer Nutzung zu wenig bekannt und des öfteren falsch ausgelegt

Naslov pisaca:

**Mr. sc. Velimir Šegon, dipl. ing.**
**Energetski institut "Hrvoje Požar"**
**Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska**

**mr. sc. Julije Domac, dipl. ing.**
**Energetski institut "Hrvoje Požar"**
**Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 04 – 01.



# SUIZGARANJE SEKUNDARNOG GORIVA S FOSILNIM GORIVIMA RADI PROIZVODNJE TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE

Vedran U r a n, Rijeka

UDK 620.91:622.99
PREGLEDNI ČLANAK

Od pojave naftnih kriza u postojećim se kogeneracijskim sustavima pojedinih industrijski razvijenih zemalja jedna količina fosilnih goriva počela zamjenjivati količinama otpada različitog podrijetla. Pri tome su razvijene različite tehnologije suizgaranja tog otpada ili sekundarnog goriva s fosilnim gorivima. U radu su opisane koncepcije izravnog i neizravnog suizgaranja, njihove prednosti i nedostaci te pregled tehno-ekonomskih i ekoloških karakteristika tih koncepcija. Isto tako su prikazane mogućnosti primjene odabranih koncepcija suizgaranja sekundarnih goriva s fosilnim gorivima u Hrvatskoj.

**Ključne riječi: fosilna goriva, sekundarno gorivo, suizgaranje.**

## 1. UVOD

Naftne krize i sve strože ekološke mjere rezultirale su naglim razvojem tehnologija proizvodnje energije iz sekundarnih goriva u industrijski razvijenim zemljama. U ta se sekundarna goriva ubrajaju biomasa, biootpad te gradski i industrijski otpad. Takva se goriva danas najviše podvrgavaju procesima izgaranja, raspljnjavanja, rastvaranja te procesu pirolize. Tako tretirana sekundarna goriva u postojećim energetskim sustavima na fosilna goriva količinski zamjenjuju jedan dio fosilnih goriva, isključivo ugljena i prirodnog plina. Najvažniji kriteriji za kvalitetno iskorištavanje navedenih tipova sekundarnih goriva u energetske svrhe odnosi se na njihovo pažljivo odabiranje i pripremu za miješanje s fosilnim gorivima te loženje.

Najviše su interesa za korištenje sekundarnih goriva radi suizgaranja s fosilnim gorivima iskazale zemlje čije su energetske politike usmjerene sve manjoj ovisnosti o uvozu fosilnih goriva te sve manjem emitiranju stakleničnih plinova u atmosferu, posebno ugljičnog dioksida ($CO_2$). Te zemlje su Finska, Švedska, Nizozemska, te sve više Austrija i Njemačka. Zemlje u kojima energetski temelj čine isključivo fosilna goriva nešto su slabije zainteresirane za tehnologiju suizgaranja sekundarnih goriva s fosilnim gorivima. No, u svim je zemljama Europske unije težnja sve većeg korištenja sekundarnih goriva, osobito zbrinjavanja otpada različitog podrijetla (industrijski i gradski otpad). Tako su primjerice u Njemačkoj instalirane 42 energane na gradski i industrijski otpad.

Cilj je ovog rada opisati različite tehnologije suizgaranja sekundarnih goriva (biomase/otpada) s fosilnim gorivima (ugljenom, prirodnim plinom) te navesti prednosti i nedostatke korištenja takvih tehnologija. Također će se utvrditi mogućnosti instaliranja energetskih sustava sa suizgaranjem različitih goriva u Republici Hrvatskoj.

## 2. ENERGETSKI SUSTAVI ZA SUIZGARANJE SEKUNDARNIH I FOSILNIH GORIVA

Razvijeno je nekoliko načina suizgaranja sekundarnih goriva s fosilnim gorivima. Ti načini su:

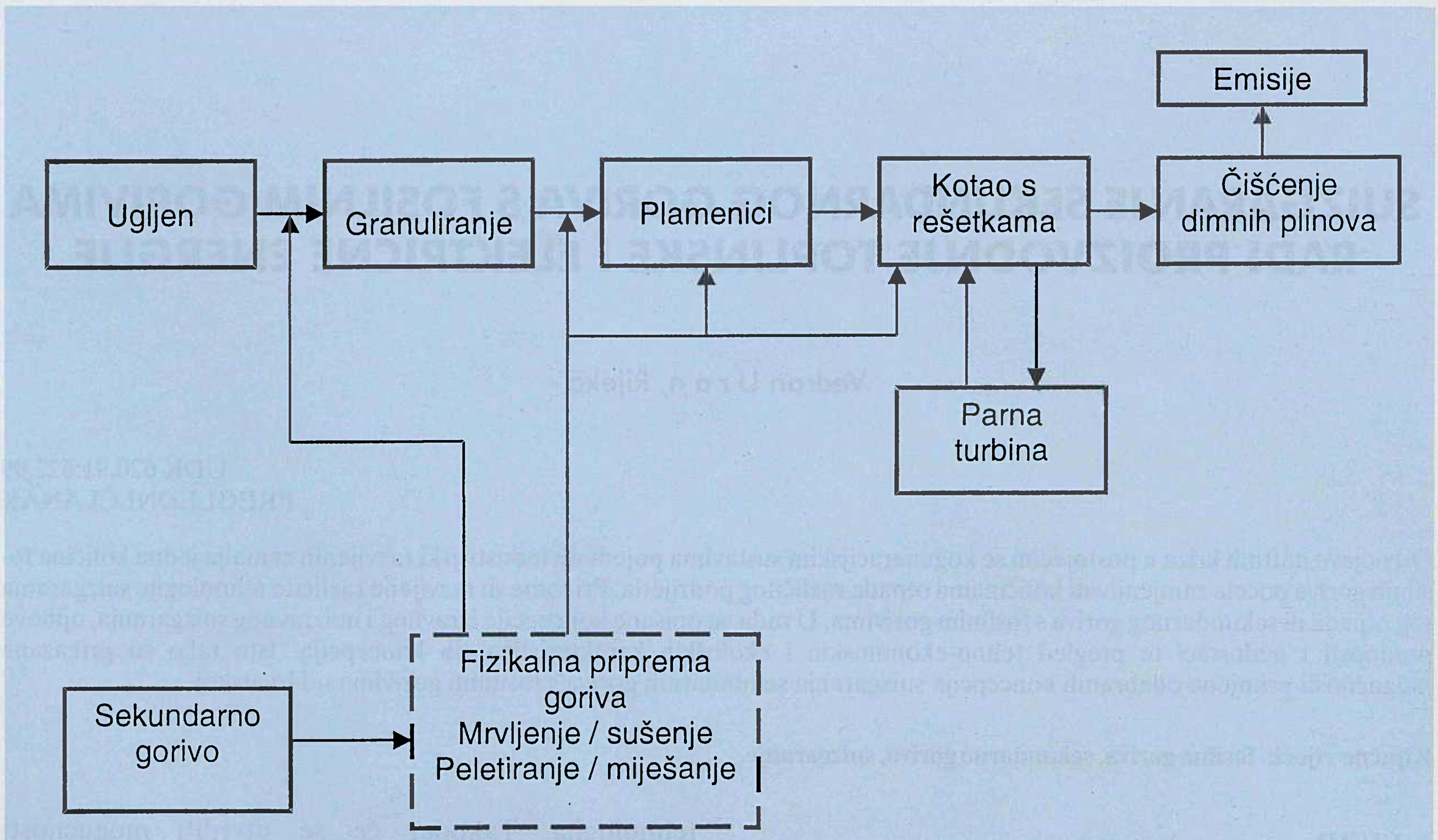
a) izravno suizgaranje sekundarnih goriva s fosilnim gorivima,
b) neizravno suizgaranje sekundarnih goriva s fosilnim gorivima.

Za različite načine suizgaranja sekundarnih i fosilnih goriva razvijeno je niz tipskih sustava za loženje. No, sve ovisi o kvaliteti goriva koji ulaze u sustav za loženje te njegovoj pripremi. Isto tako treba obratiti pozornost na kvalitetu izgaranja te tretiranju pepela i šljake koji nastaju nakon suizgaranja sekundarnih i fosilnih goriva.

### 2.1. Izravno suizgaranje sekundarnog goriva s fosilnim gorivima

Shema energetskog sustava s različitim putovima izravnog suizgaranja sekundarnih goriva i ugljena prikazana je na slici 1 iz koje je vidljivo da se prethodno tretirana sekundarna goriva miješaju s ugljenom:

- prije njihovog zajedničkog granuliranja,
- nakon granuliranja ugljena,
- u plameniku,
- u parnom kotlu s rešetkastim ložištem,
- istodobnim izgaranjem dovodom u plamenik i nabacivanjem na rešetku.




**Slika 1.**

Sekundarna goriva je prije miješanja s ugljenom potrebno usitniti, osušiti, peletirati te u različitim oblicima kvalitetno izmiješati prije nego li dođu u dodir s ugljenom. Važno je odrediti donju ogrjevnu vrijednost sekundarnog goriva koja ne smije biti puno manja od donje ogrjevne vrijednosti smeđeg ugljena kako se ne bi naglo smanjio kapacitet postojećeg energetskog postrojenja. Stoga je procijenjeno da je s ovakvim načinom suizgaranja sekundarnim gorivom moguće zamijeniti do 10% ukupne količine ugljena.

Svojstva ugljena i sekundarnog goriva te proces njihovog izravnog izgaranja utječu na kvalitetu dimnih plinova te rastvaranje pepela, šljake i ostalih nečistoća koje se talože na pojedinim dijelovima sustava za loženje goriva. Razina nečistoća preduvjet su učinkovitosti rada energetskog sustava za suizgaranje ugljena i sekundarnog goriva.

### 2.2. Neizravno suizgaranje sekundarnog goriva s fosilnim gorivima

Razvijena je tehnologija neizravnog suizgaranja sekundarnih goriva, i s ugljenom, i s prirodnim plinom. Prednosti ovakvog načina suizgaranja u odnosu na izravno suizgaranje odnose se na mogućnosti suizgaranja većih količina sekundarnog goriva s fosilnim gorivima. Pri tom spektar sekundarnog goriva za suizgaranje po obliku i kvaliteti može biti širi nego što je to kod izravnog suizgaranja s fosilnim gorivima. Rezultat ovakvog suizgaranja rezultira nastajanju ekološki prihvatljivijih dimnih plinova te kvalitetnijeg pepela.

Nekoliko je koncepcija neizravnog suizgaranja sekundarnog goriva i ugljena.

a) *Odvojeno smanjivanje kontaminenata, sušenje te pohranjivanje (i izgaranje) sekundarnog goriva i ugljena u sustavu za loženje*

Kod ove se koncepcije sekundarno gorivo usitnjava i suši u posebnoj opremi. Tako predtretirano gorivo može biti:

- izmiješano s granuliranim ugljenom nakon čega se dobivena mješavina goriva odvodi u sustav za loženje, ili
- posebno transportirano u plamenike namijenjene za sekundarna goriva.

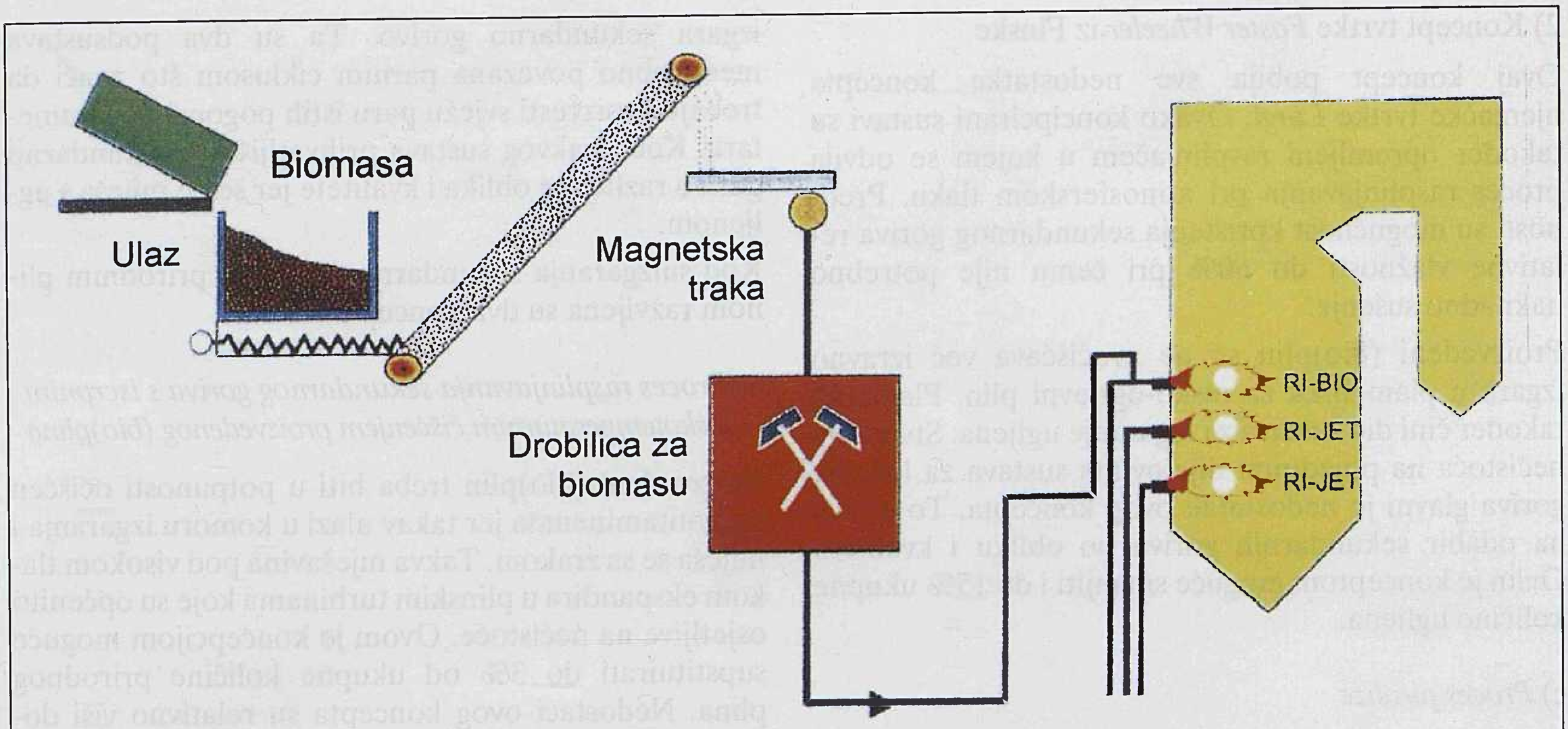
U ovako koncepciranim sustavima uočena je velika osjetljivost na kontaminente sekundarnog goriva što za uzrok ima stvaranje nečistoća na pojedinim dijelovima ložišta i cijevima generatora pare. Finska tvrtka *Fortum* razvila je alternativni koncept po kojem se izbjegavaju navedeni nedostaci (slika 2). S takvim je konceptom sekundarnim gorivom moguće zamijeniti 5-30% ukupne količine ugljena.

b) *Raplinjavanje sekundarnog goriva (sa/bez dodatnog niskotemperaturnog čišćenja proizvedenog bio-plina)*

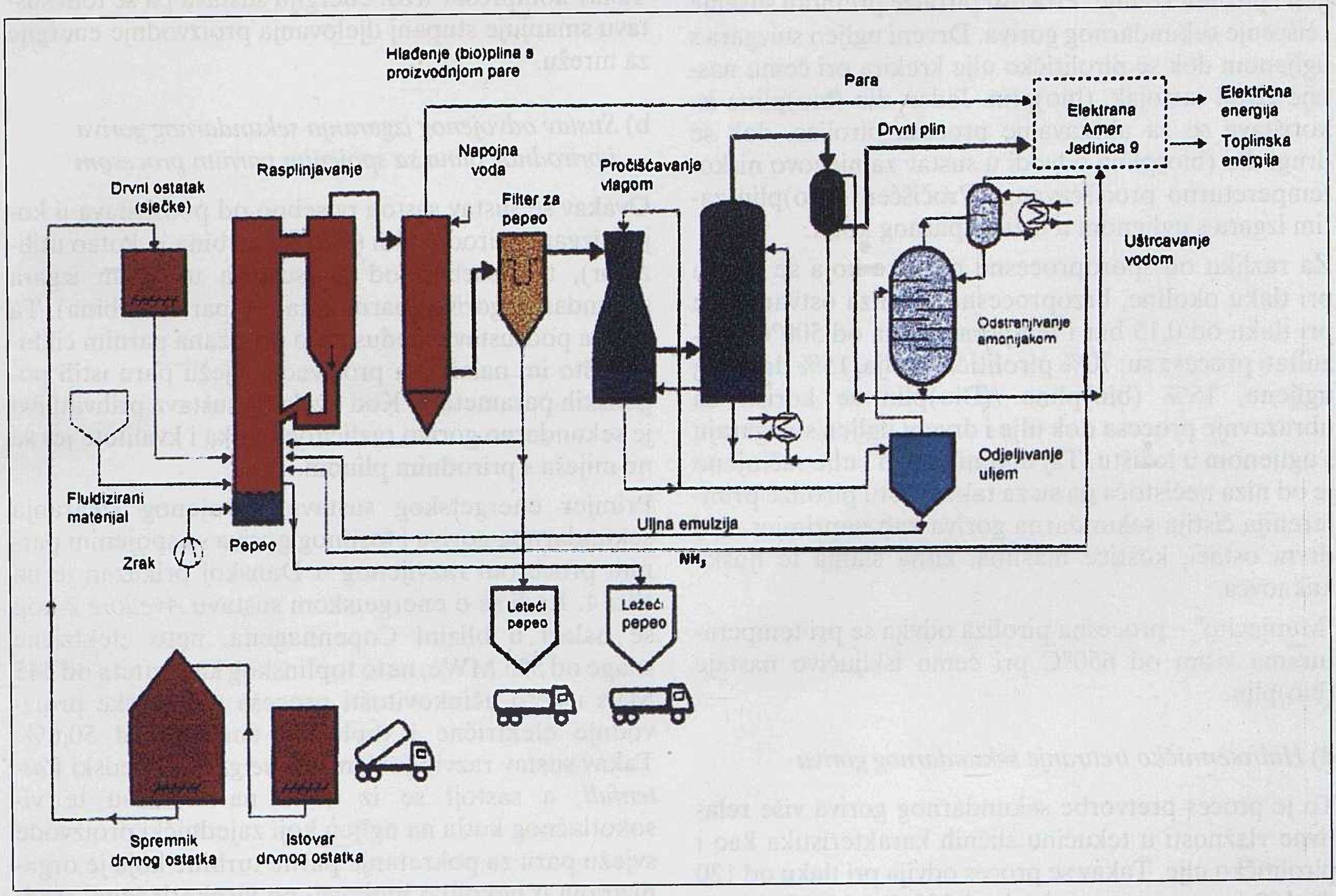
Razvijena su dva koncepta: jedno je tvrtke *Lurgi* iz Njemačke, a drugo tvrtke *Foster Wheeler* iz Finske.

1) Koncept tvrtke *Lurgi* iz Njemačke

Koncept kakav je prikazan na slici 3 funkcionira na osnovi rasplinjavanja sekundarnog goriva pri tlaku oko-




**Slika 2.**




**Slika 3.**

line i temperaturi od 850°C. Prije ulaska u rasplinjač to je gorivo potrebno odstraniti od nečistoća, osušiti ga do 20% relativne vlažnosti, te ga usitniti do mjere koja zadovoljava uvjete rasplinjavanja.

Proizvedeni (bio)plin potrebno je podvrći niskotemperaturnom čišćenju. Onečišćenja se skupljaju i talože u vrećastom filtru i skruberu. Pročišćeni (bio)plin ulazi u posebno oblikovane plamenike koji su dio parnog kotla na ugljen.

Ovakvim se načinom korištenja sekundarnog goriva zamjenjuje do 5% ukupne količine ugljena. Nedostaci ove koncepcije odnose se na relativno visoke specifične dodatne troškove i relativno niski stupanj iskorištenja pretvorbe sekundarnog goriva u korisnu energiju.

2) Koncept tvrtke *Foster Wheeler* iz Finske

Ovaj koncept pobija sve nedostatke koncepta njemačke tvrtke *Lurgi*. Ovako koncipcirani sustavi su također opremljeni rasplinjačem u kojem se odvija proces rasplinjavanja pri atmosferskom tlaku. Prednosti su mogućnost korištenja sekundarnog goriva relativne vlažnosti do 60% pri čemu nije potrebno naknadno sušenje.

Proizvedeni (bio)plin se ne pročišćava već izravno izgara u plameniku za nisko-ogrjevni plin. Plamenik također čini dio sustava za izgaranje ugljena. Stvaranje nečistoća na pojedinim dijelovima sustava za loženje goriva glavni je nedostatak ovog koncepta. To utječe na odabir sekundarnih goriva po obliku i kvaliteti. Ovim je konceptom moguće smanjiti i do 15% ukupne količine ugljena.

c) *Proces pirolize*

Razlikuje se sporo-, brzo- i "munjevito" – procesna piroliza. Proizvodi sporoprocesne pirolize su drveni ugljen i pirolitičko ulje. Procesu pirolize prethodi sušenje i čišćenje sekundarnog goriva. Drveni ugljen suizgara s ugljenom dok se pirolitičko ulje krekira pri čemu nastaje čistiji sastojak, (bio)plin. Jedan dio (bio)plina iskorištava se za ubrzavanje procesa pirolize, dok se drugi dio (bio)plina odvodi u sustav za njegovo niskotempereturno pročišćavanje. Pročišćeni (bio)plin zatim izgara s ugljenom u ložištu parnog kotla.

Za razliku od sporoprocesne pirolize koja se odvija pri tlaku okoline, brzoprocesna piroliza ostvaruje se pri tlaku od 0,15 bar i temperaturama od 500°C. Rezultati procesa su: 70% pirolitičkog ulja, 15% drvenog ugljena, 15% (bio)plina. (Bio)plin se koristi za ubrazavnje procesa dok ulje i drveni ugljen suizgaraju s ugljenom u ložištu. Taj drveni ugljen i ulje sačinjeno je od niza nečistoća pa su za takvu vrstu pirolize primjerenija čistija sekundarna goriva kao naprimjer čisti drvni ostaci, koštice maslina, žitna slama te ljuske kakaovca.

"Munjevito" – procesna piroliza odvija se pri temperaturama višim od 650°C pri čemu isključivo nastaje (bio)plin.

d) *Hidrotermičko tretiranje sekundarnog goriva*

To je proces pretvorbe sekundarnog goriva više relativne vlažnosti u tekućinu sličnih karakteristika kao i pirolitičko ulje. Takav se proces odvija pri tlaku od 120 do 180 bara te temperaturi od 300°C i 350°C. Medij koji se koristi za pretvorbu sekundarnog goriva jest vrela voda. Ovaj proces još nije dovoljno istražen pa i nema širu praktičnu primjenu.

e) *Sustav odvojenog izgaranja sekundarnog goriva i ugljena sa spojenim parnim procesom*

Ovakav se sustav sastoji posebno od podsustava u kojem izgara ugljen, te posebno od podsustava u kojem izgara sekundarno gorivo. Ta su dva podsustava međusobno povezana parnim ciklusom što znači da trebaju proizvesti svježu paru istih pogonskih parametara. Kod ovakvog sustava prihvatljivo je sekundarno gorivo različitog oblika i kvalitete jer se ne miješa s ugljenom.

Kod suizgaranja sekundarnog goriva s prirodnim plinom razvijena su dva koncepta.

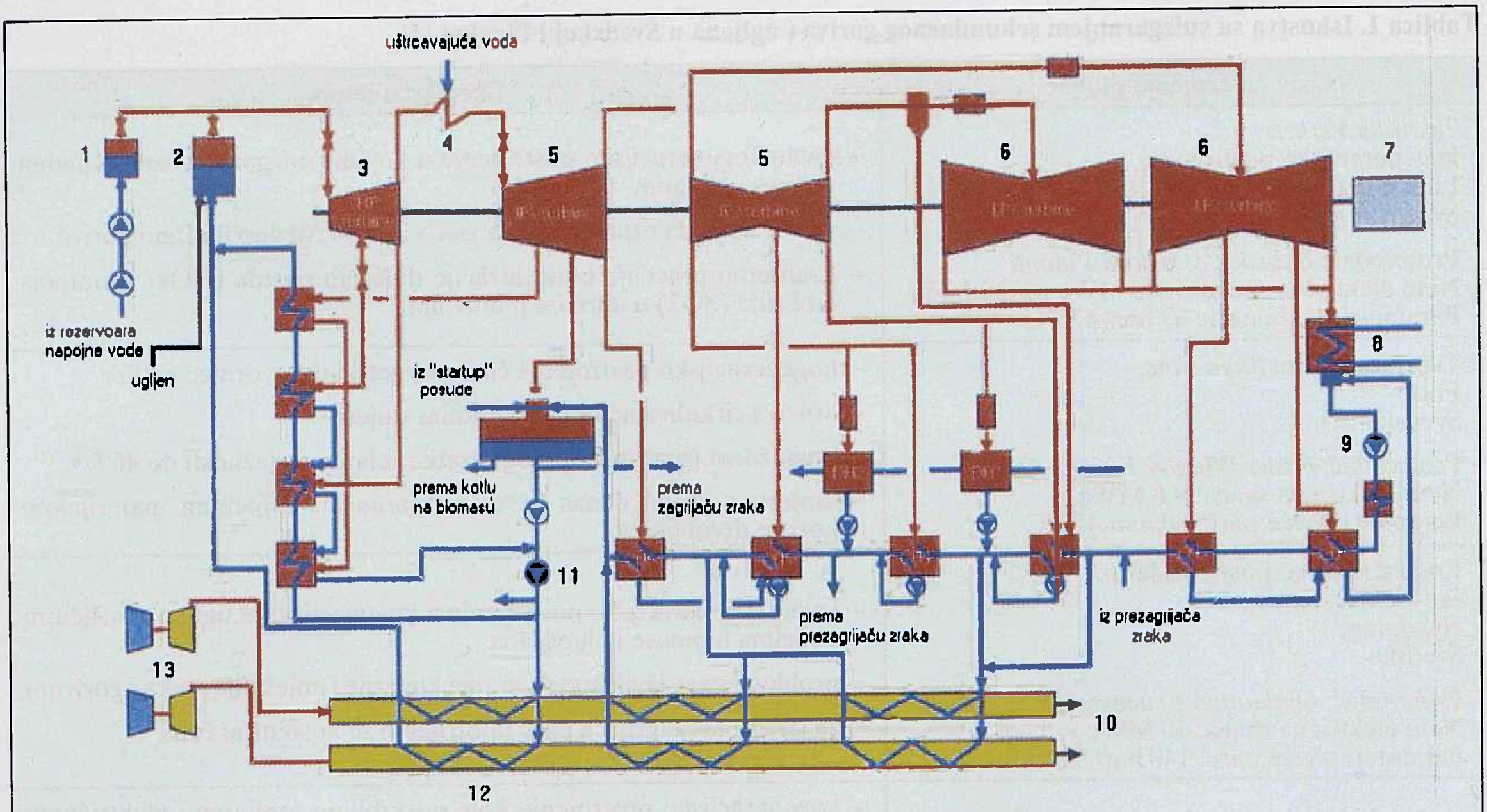
a) *Proces rasplinjavanja sekundarnog goriva s iscrpnim niskotemperaturnim čišćenjem proizvedenog (bio)plina*

Proizvedeni (bio)plin treba biti u potpunosti očišćen od kontaminenata jer takav ulazi u komoru izgaranja i miješa se sa zrakom. Takva mješavina pod visokom tlakom ekspandira u plinskim turbinama koje su općenito osjetljive na nečistoće. Ovom je koncepcijom moguće supstituirati do 3% od ukupne količine prirodnog plina. Nedostaci ovog koncepta su relativno viši dodatni specifični troškovi zbog nadogradnje sustava za čišćenje (bio)plina i kompresora dimnih plinova. Takav kompresor troši energiju sustava pa se tom sustavu smanjuje stupanj djelovanja proizvodnje energije za mrežu.

b) *Sustav odvojenog izgaranja sekundarnog goriva i prirodnog plina sa spojenim parnim procesom*

Ovakav se sustav sastoji posebno od podsustava u kojem izgara prirodni plin (plinska turbina + kotao utilizator), te posebno od podsustava u kojem izgara sekundarno gorivo (parni kotao + parna turbina). Ta su dva podsustava međusobno povezana parnim ciklusom što im nalaže da proizvedu svježu paru istih pogonskih parametara. Kod ovakvog sustava prihvatljivo je sekundarno gorivo različitog oblika i kvalitete jer se ne miješa s prirodnim plinom.

Primjer energetskog sustava odvojenog izgaranja sekundarnog goriva i fosilnog goriva sa spojenim parnim procesom razvijenog u Danskoj prikazan je na slici 4. Radi se o energetskom sustavu *Avedore 2* koji se nalazi u blizini Copenhagena, neto električne snage od 535 MWe, neto toplinskog kapaciteta od 545 MJ/s i neto učinkovitosti procesa zajedničke proizvodnje električne i toplinske energije od 50,6%. Takav sustav razvio je danski *Energi E2* i švedski *Vattenfall*, a sastoji se iz kotla na biomasu te visokotlačnog kotla na ugljen koji zajednički proizvode svježu paru za pokretanje parne turbine koja je organizirana u nekoliko blokova, od visokotlačnog, srednjetlačnog i niskotlačnog dijela. Loženjem ugljena i biomase u odvojenim kotlovima dobiva se ugljeni pepeo kao sirovina u cementarama te pepeo iz biomase za potrebe gnojenja zemlje. Za učinkovitije predzagrijavanje napojne vode u ovaj su se energetski sustav nadogradile dvije plinskoturbinske jedinice s kotlom utilizatorom. Proizvođač tih jedinica je *Rolls Royce* i njihov stupanj iskoristivosti iznosi 42%, najveći na tržištu plinskih turbina [5].




1 kotao na biomasu
2 visokotlačni kotao
3 visokotlačni blok parne turbine
4 prezagrijač pare
5 srednjetlačni blok parne turbine
6 niskotlačni blok parne turbine
7 električni generator
8 kondenzator
9 crpka za ukapljenu paru
10 dimnjaci
11 crpka za napojnu vodu
12 kotao utilizator
13 plinske turbine

**Slika 4.**

U tablici 1. prikazani su primjeri komercijaliziranih postrojenja pogonjenih sekundarnim i fosilnim gorivima u Švedskoj i Finskoj.

## 3. TEHNOEKONOMSKA I EKOLOŠKA POZADINA

U tablici 2. navedeni su podaci o učinkovitosti proizvodnje električne energije u ovisnosti o količinskom udjelu sekundarnog goriva u procesu suizgaranja s ugljenom te podaci o specifičnim troškovima za različite koncepcije suizgaranja. Podaci o učinkovitosti proizvodnje električne energije u ovisnosti o energetskom udjelu sekundarnog goriva u procesu suizgaranja s prirodnim plinom te podaci o specifičnim troškovima za različite koncepcije suizgaranja prikazane su u tablici 3. Usporedbe radi, učinkovitost proizvodnje električne energije u energetskom postrojenju na ugljen neto izlazne električne snage od 600 MWe jednaka 40%. Učinkovitost proizvodnje električne energije u energetskom postrojenju na prirodni plin neto izlazne električne snage 335 MWe jednaka je 55% [3].

Tehnološke prepreke koje se javljaju kod suizgaranja sekundarnih goriva s fosilnim gorivima sljedeće su:

1. Ograničene količine sekundarnih goriva koje zamjenjuju količine fosilnih goriva iz razloga kako se ne bi smanjio kapacitet energetskog postrojenja. Pri tome treba voditi računa o donjoj ogrjevnoj vrijednosti sekundarnih goriva koja bi trebala biti neznatno manja od donje ogrjevne vrijednosti smeđeg ugljena.
2. Ukoliko se radi o biootpadu kao sekundarnom gorivu tada ono treba imati što manju relativnu vlažnost kako bi se mogao kvalitetno usitniti i zatim izmiješati s ugljenom po istoj mjeri granulacije. Biootpad je često mekan i vlaknast, a ugljen tvrd.
3. Sekundarno gorivo s relativno velikom količinom vlage pri izgaranju utječe na umanjivanje učinkovitosti pojedinih dijelova sustava kao što su ventilatori dimnih plinova, mehanizam za odstranjivanje pepela te oprema za pročišćavanje dimnih plinova. Nastale nečistoće iz biootpada negativno djeluju na desumporizaciju dimnih plinova, usporavanju katalitičkih procesa pri izgaranju biootpada, te potiču kondenziranje katrana i stvaranje štetnih emisija teških metala.
4. Razna zaprljanja i nečistoće na dijelovima sustava kao što su plamenici, zidovi peći i prezagrijači nastaju zbog pojave taljenja pepela usred temperatura nižih od 900°C. Tako topljeni pepeo sastoji se od velikog udjela alkaličnih metala, kalcija i željeza.
5. Korozija se na prezagrijačima pojavljuje zbog stvaranja sumpora i klora prilikom izgaranja sekundarnih goriva.
6. Pojava erozije na dijelovima za loženje i izgaranje goriva rezultat je relativnog visokog sadržaja vlage u dimnim plinovima te visokog sadržaja pepela.

**Tablica 1. Iskustva sa suizgaranjem sekundarnog goriva i ugljena u Švedskoj i Finskoj [4]**

| Naziv postrojenja i lokacija | Značajke postrojenja |
|---|---|
| *Tekniska Verken*<br>kogeneracijsko postrojenje,<br>Linköping,<br>Švedska<br><br>Proizvođač: *Babcock & Wilcox Volund*<br>Neto električna snaga: 1x40 MWe i 2x30 MWe<br>Parametri svježe pare: 67 bar/ 475°C | – javno kogeneracijsko postrojenje u kojem suizgara uvozna otpadna guma s ugljenom<br>– utvrđeno je da otpadna guma jest visoko-vrijedno i jeftino gorivo<br>– kvalitetno praćenje koncentracije dušićnih oksida (NOx) i sumpor-dioksida (SO2) u dimnim plinovima |
| Tvornica papira *Stora Fors*,<br>Fors,<br>Švedska<br><br>Proizvođač: *Foster Wheeler Energia Oy*<br>Neto električna snaga: 9,6 MWe<br>Parametri svježe pare: 60 bar/ 475°C | – kogeneracijsko postrojenje čini energetski dio tvornice papire<br>– kotao s cirkulirajućim fluidiziranim slojem<br>– mogućnost izgaranja drvnog ostatka relativne vlažnosti do 46%<br>– umjesto ugljena danas se za suizgaranje s otpadnim materijalom koriste drvni peleti |
| Kogeneracijsko postrojenje<br>*Indbäcksverket*,<br>Nyköping,<br>Švedska<br><br>Proizvođač: *Outkumpo Ecoenergy*<br>Neto električna snaga: 70 MWe<br>Paramteri svježe pare: 140 bar/ 540°C | – javno kogeneracijsko postrojenje u kojem suizgara ugljen s različitim oblicima biomase i biootpada<br>– problemi su se javili kod stvaranja korozije i miješanja zraka s gorivom<br>– za izradu prezagrijača pare upotrijebio se austenitni čelik |
| Tvornica papira *Stora Hylte*,<br>Hyltebruk,<br>Švedska<br><br>Proizvođač: *Foster Wheeler Energia Oy*<br>Neto električna snaga: 30 MWe<br>Parametri svježe pare: 64 bar/ 450°C | – kogeneracijsko postrojenje koje opskrbljuje toplinom i električnom energijom jednu od najvećih tvornica papira u Europi<br>– neobična mješavina goriva iz otpadnog mulja dobivenog pri otklanjanju mastila i čišćenju otpadne vode iz procesa<br>– neka goriva u sebi sadrže više od 55% pepela i 60% vode<br>– kotao s cirkulirajućim fluidiziranim slojem na čijim se cjevovodima svojedobno pojavila erozija |
| Kogeneracijsko postrojenje *Kymijärvi*,<br>Lahti,<br>Finska<br><br>Proizvođač: *Foster Wheeler Energia Oy*<br>Neto električna snaga: 200 MWe | – na postojeće kogeneracijsko postrojenje na ugljen nadogradnja dijela u kojem se proizvodi (bio)plin iz rasplinjača biomase s fluidiziranim slojem<br>– sekundarno gorivo predstavljaju mješavine otpadne plastike, papira, kartona, drva u različitim masenim omjerima vlažnosti do 55%<br>– nadograđena jedinica testirana je te dobiveni rezultati pokazuju da ona funkcionira ispravno |
| Kogeneracijsko postrojenje *Rauhalati*,<br>Jyväsylä,<br>Finska<br>(→ *sliku 5*)<br>Proizvođač: *Kvaerner Pulping Ltd.*<br>Neto električna snaga: 87 MWe<br>Parametri svježe pare: 136 bar/ 533°C | – kogeneracijsko postrojenje proizvodi električnu energiju, toplinu za industriju te za daljinsko grijanje iz treseta, ugljena i drva različitog podrijetla<br>– kotao je ispunjen mjehurićastim fluidiziranim slojem<br>– ovim su postrojenjem postignute niske emisije štetnih plinova, visoka učinkovitost te siguran i pouzdan rad |

**Tablica 2. Učinkovitost proizvodnje električne energije i specifični troškovi u ovisnosti o različitim koncepcijama suizgaranja sekundarnog goriva i ugljena [3]**

| | Učinkovitost proizvodnje električne energije sa sekundarnim gorivom (%) | | Specifični troškovi za dodatnu opremu suizgaranja sekundarnog goriva s ugljenom (Euro/kWe) | |
|---|---|---|---|---|
| Energetski udio sekundarnog goriva u suizgaranju s ugljenom | 10 | 40 | 10 | 40 |
| 1. izravno suizgaranje | 39,5 | 39,5 | 40 | 25 |
| 2. odvojeni sustavi za pripremu goriva | 38 | 38 | 500 | 285 |
| 3. rasplinjavanje sekundarnog goriva | 38 | 38 | 455 | 300 |
| 4. brzi proces pirolize | 36 | 36 | 935 | 935 |
| 5. hidrotermičko tretiranje sekundarnog goriva | 35,5 | 35,5 | 620 | 490 |
| 6. odvojena priprema i izgaranje goriva sa integriranim parnim ciklusom | 38,5 | 38,5 | 940 | 575 |

**Tablica 3. Učinkovitost proizvodnje električne energije i specifični troškovi u ovisnosti o različitim koncepcijama suizgaranja sekundarnog goriva i prirodnog plina [3]**

| | Učinkovitost proizvodnje električne energije sa sekundarnim gorivom (%) | | | Specifični troškovi za dodatnu opremu suizgaranja sekundarnog goriva s prirodnim plinom (Euro/kWe) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Energetski udio sekundarnog goriva u suizgaranju s prirodnim plinom | 5 | 10 | 20 | 5 | 10 | 20 |
| rasplinjavanje sekundarnog goriva | 44,5 | 44,5 | 44,5 | 1 500 | 1 340 | 1 185 |

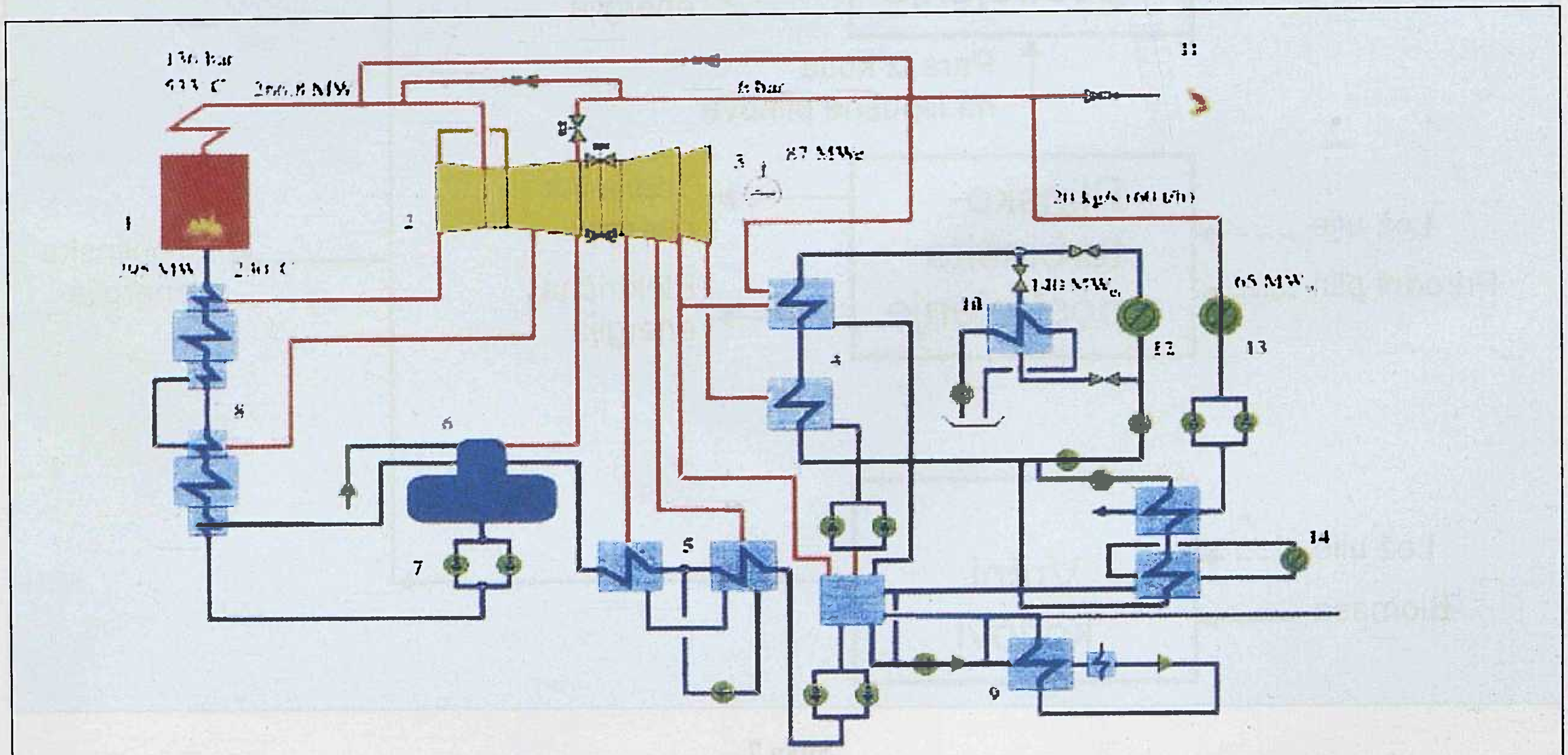
7. (Bio)plin nastao rasplinjavanjem sekundarnog goriva treba biti naknadno pažljivo pročišćen od kontaminenata. To je iz razloga što je plinska turbina općenito jako osjetljiva na kvalitetu plina. Osjetljiva je i komora izgaranja u kojoj je potrebno regulirati emisije dušićnih oksida (NOx) uštrcavanjem vode ili pare.

Kod korištenja sekundarnog goriva važno je odrediti kemijski sastav sekundarnog goriva te njegovo podrijetlo radi utvrđivanja kvalitete popratnih produkata nastalih u procesu suizgaranja, a to su pepeo i gips (nastao odsumporavanjem dimnih plinova). Utvrđivanje kvalitete pepela i gipsa vrlo je bitno jer one predstavljaju sirovinu u industriji cementa i betona. Kvaliteta pepela i gipsa trebala bi biti u skladu s ekološkim normama koje je postavila Europska unija. Tim se normama izjednačava kvaliteta pepela nastalog izgaranjem ugljena s kvalitetom pepela nastalih suizgaranjem sekundarnog goriva i ugljena do 10% ukupne količine zamijenjenog ugljena sekundarnim gorivom [3].

## 4. MOGUĆNOSTI PRIMJENE TEHNOLOGIJE SUIZGARANJA SEKUNDARNIH GORIVA S FOSILNIM GORIVIMA U HRVATSKOJ

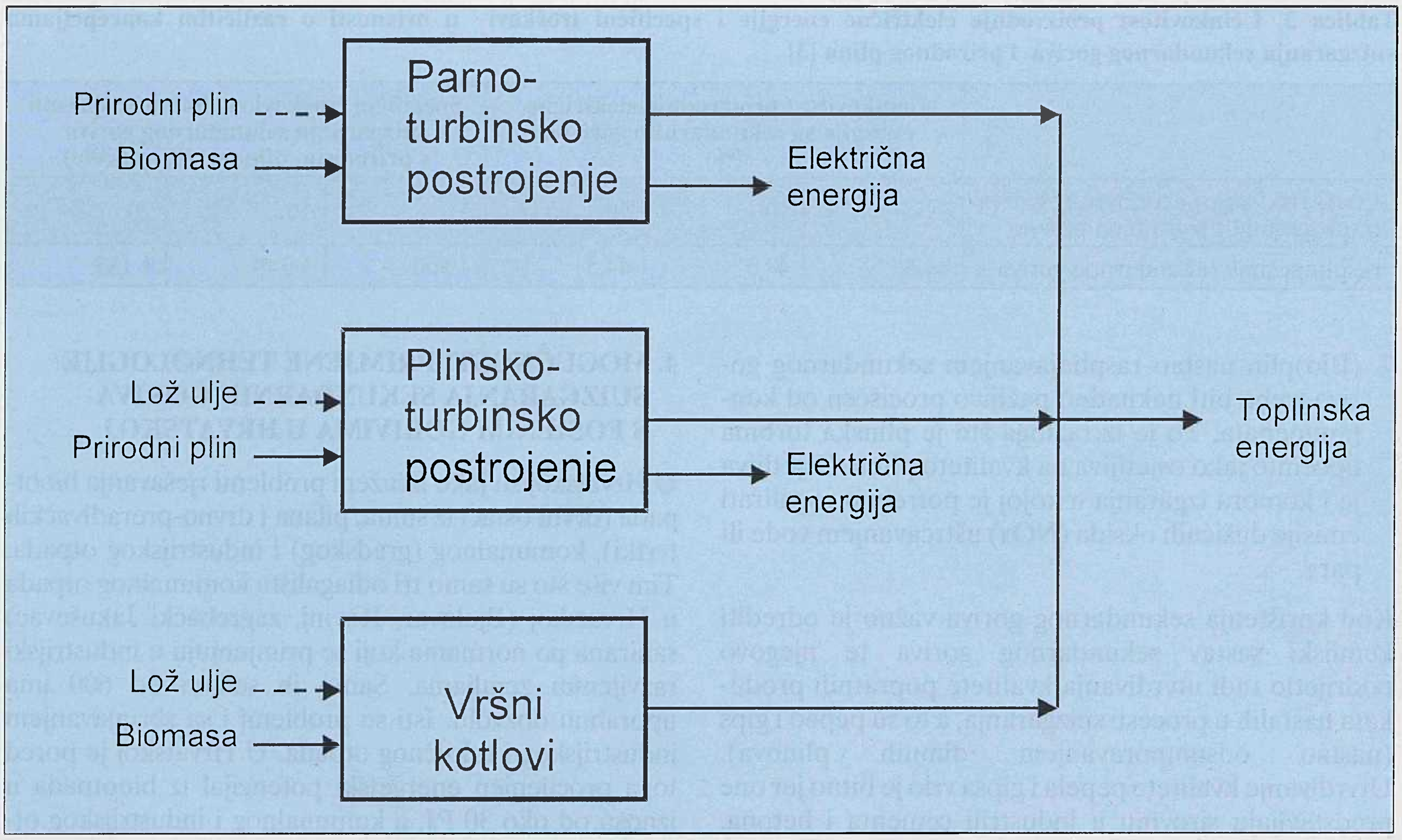
U Hrvatskoj su jako izraženi problemi rješavanja biootpada (drvni ostaci iz šuma, pilana i drvno-prerađivačkih tvrtki), komunalnog (gradskog) i industrijskog otpada. Tim više što su samo tri odlagališta komunalnog otpada u Hrvatskoj (Bjelovar, Rovinj, zagrebački Jakuševac) sanirana po normama koji se primjenjuju u industrijski razvijenim zemljama. Samo ih sedam od 600 ima uporabnu dozvolu. Isti su problemi i sa zbrinjavanjem industrijskog i toksičnog otpada. U Hrvatskoj je pored toga procijenjen energetski potencijal iz biootpada u iznosu od oko 30 PJ, a komunalnog i industrijskog otpada u iznosu od 15 PJ [6].

Za Hrvatsku bi bila jako poželjna izgradnja kogeneracijskih sustava s odvojenom pripremom i izgaranjem tog otpada, ali i biomase s prirodnim plinom budući da je težnja da se veći dio Hrvatske u potpunosti plinoficira) u spojeni parni ciklus za zajedničku proizvodnju električne i toplinske energije. Na slikama 6 – 8 prika-

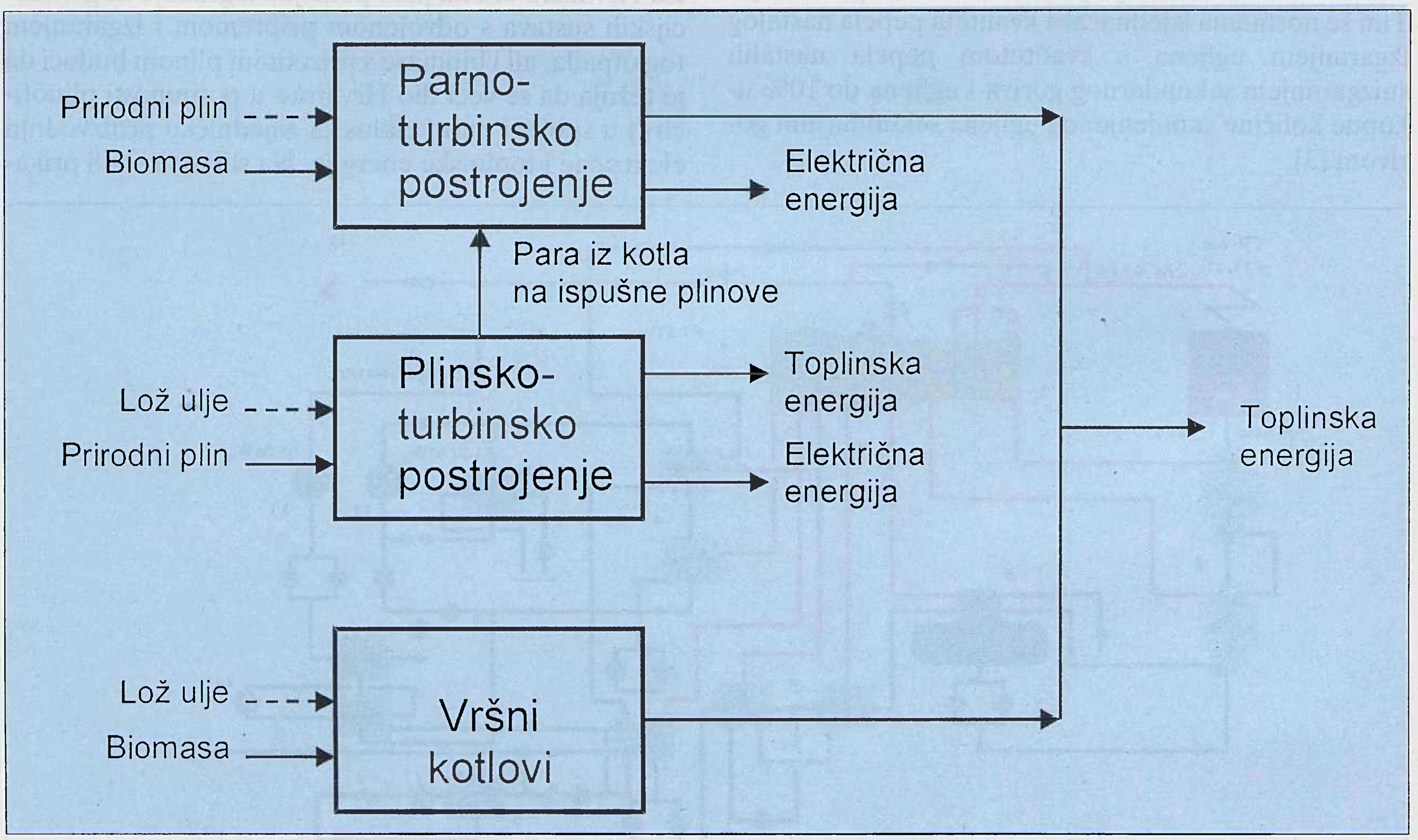


1 Kotao s fluidiziranim slojem
2 Parna turbina
3 Električni generator
4 Zagrijači vode za daljinsko grijanje
5 Niskotlačni izmjenjivači topline
6 Rezervoar napojne vode
7 Crpke napojne vode
8 Visokotlačni izmjenjivači topline
9 Postrojenje za pročišćavanje kondenzata
10 Pomoćni kotao
11 Parni kotao
12 Potrošači topline
13 Potrošač pare
14 Izmjenjivač topline za staklenike

**Slika 5.**



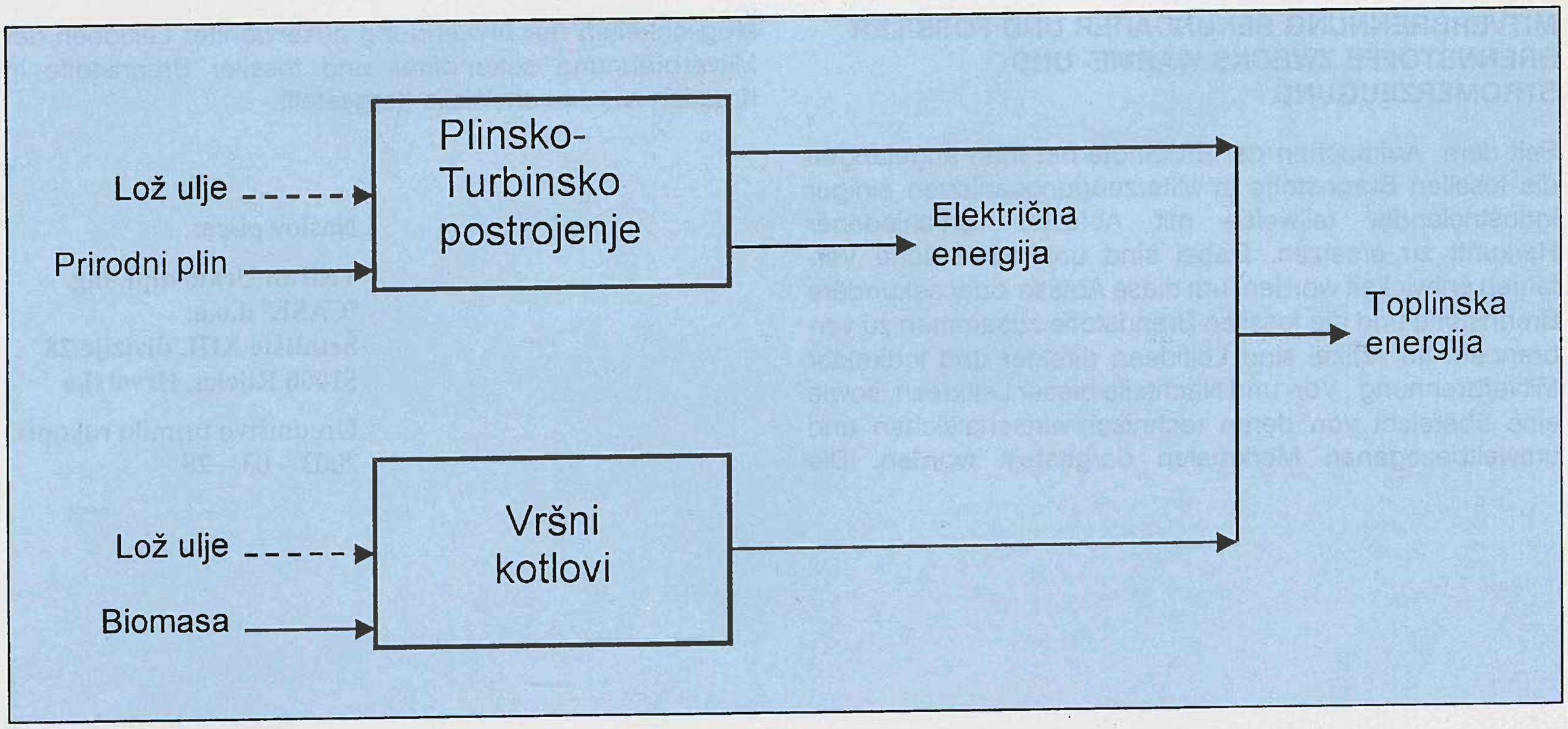

**Slika 6.**




**Slika 7.**

zano je nekoliko varijanti kogeneracijskih sustava sa zajedničkim korištenjem sekundarnog goriva i prirodnog plina.

Premda su izvori bio-, komunalnog i industrijskog otpada po Hrvatskoj raštrkani u manjim količinama, izgradnja kogeneracijskih sustava ili termoelektrana manjih izlaznih snaga izvodljiva bi bila u okolici Zagreba, Ogulina, Koprivnice, Virovitice, Slavonskog Broda, Vinkovaca, Osijeka, Varaždina, Rijeke, Plomina i Delnica. Tome bi prethodile detaljne analize i studije predizvodljivosti takvih energetskih sustava. U slučaju ostvarivanja tih projekata, Hrvatska bi se na




**Slika 8.**

učinkovit način rješavala nagomilanog otpada, bila bi manje ovisna o uvoznim fosilnim gorivima, emisije štetnih plinova bile bi smanjene te bi se više utjecalo na razvoj industrije cementa i betona.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu su prikazane razne tehnologije suizgaranja sekundarnih goriva s fosilnim gorivima. U razvoj tih tehnologija ulažu one zemlje čija se energetska politika temelji na što učinkovitijem rješavanju otpada različitog podrijetla, smanjivanju ovisnosti o uvoznim fosilnim gorivima te smanjenu emisija stakleničnih plinova u atmosferu. Premda te tehnologije imaju nedostatke, ne znači da su i nerješivi. U otklanjaju tih nedostataka sudjeluje niz tvrtki iz različitih industrijski razvijenih zemalja s ciljem razvijanja poboljšanih koncepcija. Ti su nedostaci najviše izraženi kod izgaranja sekundarnih goriva pri čemu bi trebalo smanjiti emisije štetnih plinova te poboljšati kvalitetu pepela i gipsa. Kolika je uspješnost rada sustava u kojima sekundarno gorivo suizgara s fosilnim gorivom vidljivo je na primjerima u Švedskoj i Finskoj.

U slučaju Hrvatske u kojoj su jako izraženi problemi rješavanja otpada različitog podrijetla iz predloženih varijanti energetskih sustava (slike 6 – 8) zaključuje se da bi one mogle biti implementirane u energetski sektor Hrvatske ukoliko se pored novog Zakona o energiji donese i Zakon o reguliranju potreba te pogodnostima spaljivanja otpada u koji spada i biomasa, te Zakon o oporezivanju stakleničnih plinova. Projektiranje izloženih varijanti energetskih sustava bi tad bilo primamljivo u mehanizmima trgovanja energijom (*Emission Trading*) i zajedničkog ulaganja (*Joint Implementation*) između dvaju subjekata, npr. vlada pojedinih zemalja kojima je interes pridonijeti smanjenju ispuštenih štetnih emisija u atmosferu.

## LITERATURA

[1] M. RADETZKI, "The economics of biomass in industrialized countries: an overview", »Energy Policy«, Vol.25, No.6, United Kingdom, 1997., pp. 545-554

[2] V. URAN, "Projekcija razvoja energetskog sektora u svijetu i Hrvatskoj do 2020. godine", Energija 51(2002)1, Hrvatska elektroprivreda, Zagreb, str. 3-8

[3] R. VAN REE, et al., "Operational experiences of (in)direct co-combustion in coal and gas fired power plants in Europe", Power-Gen Europe, Brussels, Belgium 29-31 May, 2001.

[4] "European Co-combustion of Coal, Biomass and Wastes", Final Report – Project DIS-0506-95-UK, European Commission – DGXVII

[5] Internet stranica: www.rolls-royce.com

[6] J. DOMAC, et. al., *BIOEN* – "Program korištenja biomase i otpada, prethodni rezultati i buduće aktivnosti", Energetski institut »Hrvoje Požar«, Zagreb, travanj, 1998.

[7] ...Zakon o energiji, Klasa 310-02/01-01/01, 19. srpnja 2001., Zagreb

## COMBUSTION OF SECODARY AND FOSSIL FUEL FOR THE PRODUCTION OF HEAT AND ELECTRIC ENERGY

After the oil crisis some of the existing cogeneration plants in developed industrial countries changed a certain quantity of fossil fuels for waste from different sources. Thereby different combustion technologies of waste or secondary fuel together with fossil fuels are developed. In the work a concept of direct and indirect combustion is described together with their advantages and disadvantages, as well as a review on technical-economic and ecological characteristics of those concepts. Application possibilities of chosen secondary and fossil fuel combustion concepts for Croatia are also given.

## MITVERBRENNUNG SEKUNDÄRER UND FOSSILER BRENNSTOFFE ZWECKS WÄRME- UND STROMERZEUGUNG

Seit dem Auftauchen der Erdölnöte hat man angefangen die fossilen Brennstoffe in Miterzeugungsanlagen einiger Industrieländer teilweise mit Abfällen verschiedener Herkunft zu ersetzen. Dabei sind unterschiedliche Verfahren entwickelt worden, um diese Abfälle oder sekundäre Brennstoffe und die fossilen Brennstoffe zusammen zu verbrennen. Im Artikel sind Leitideen direkter und indirekter Mitverbrennung , Vor- und Nachteile dieser Leitideen, sowie eine übersicht von deren technisch-wirtschaftlichen und umweltbezogenen Merkmalen dargestellt worden. Die Möglichkeiten der Anwendung auserwählter Leitideen der Mitverbrennung sekundärer und fossiler Brennstoffe in Kroatien wurden ebenfalls dargestellt.

Naslov pisca:

**Vedran Uran, dipl. ing.**
**"CASE" d.o.o.**
**Šetalište XIII. divizije 28**
**51000 Rijeka, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 03 – 28.

# SUPERKONDENZATORI

Dr. sc. Dušan V u j e v i ć, Zagreb

UDK 621.319.5:621.39
PREGLEDNI ČLANAK

Superkondenzatori, ultrakondenzatori ili elektrokemijski kondenzatori su nazivi za kondenzatore čiji kapaciteti dosižu, do sada nezamislivih, stotine pa i tisuće farada. Rabe se u mnogim uređajima i sustavima kao što su: hibridna električna i druga vozila, uređaji za napajanje pri kratkotrajnom nestanku napona električne mreže, dlanovnici (palmtop computor), mobiteli, digitalne kamere itd., za pohranu električne energije.

**Ključne riječi: superkondenzator, ultrakondenzator, elektrokemijski dvoslojni kondenzator, dvoslojni kondenzator.**

## 1. UVOD

Radi uštede i racionalne potrošnje energija se, kad je ima više od trenutačnih potreba, pohranjuje. To se čini i radi napajanja nekih nepokretnih i većine prenosivih električnih uređaja i aparata. Električna energija može se pohraniti: izravno, mehanički, elektrokemijski, termički i termokemijski.

Relativno male količine energije izravno se pohranjuju kondenzatorima, a one veće, čak reda veličine MJ ili deset MJ, superkondenzatorima ili sustavom sa supravodljivim svitkom (SMES- superconducting magnetic energy storage). SMES se rabi kratkotrajno, u slučaju propada napona mreže.

Više se energije već godinama pohranjuje mehanički, reverzibilnim elektranama na vodu ili, nešto rjeđe, na stlačeni zrak. U potonjima se za spremnike zraka rabe i napuštena rudarska okna.

Mehanički se energija sve češće pohranjuje i zamašnjacima, koji se motorgeneratorima zavrte na više tisuća ili desetaka tisuća okretaja u minuti. Ti zamašnjaci zatim mogu davati električnu energiju goneći generator, tijekom nekoliko desetaka sekunda. Sklop sa zamašnjakom naziva se i mehaničkom baterijom te se rabi u satelitima, zrakoplovima, svemirskim vozilima, automobilima itd. (Web stranice NASA-e). Učinkovitost zamašnjaka je višestruko veća od baterija i iznosi oko 80 %, a procjenjuje se na trajnost od približno 15 godina, bez posebnog održavanja. Međutim, cijene sustava sa zamašnjakom su trenutačno, a jamačno bit će i idućih nekoliko godina, višestruko veće od onih baterija.

Suvremeni zamašnjaci nisu čelični, posebice oni za veći broj okretaja u minuti, nego od kompozitnih materijala (grafitna vlakna-epoksidna smola, titan i njegove slitine itd.). U vozilima se, radi sprječavanja giroskopskog efekta, rabi sustav od dva zamašnjaka koji se okreću u suprotnim smjerovima istim brojem okretaja u minuti. Gubici zbog trenja smanjuju se posebnim magnetskim ležajevima, čak i supravodljivim, te stavljanjem sustava zamašnjaka u vakuumiranu komoru.

Razne baterije (akumulatori) su primjer elektrokemijske pohrane energije koji se koriste već desetljećima. U skupinu elektrokemijske pohrane energije spadaju i gorive ćelije (elementi) kojih ima više vrsta. One zapravo stvaraju električnu energiju s učinkovitosti 40 % i toplinu s ukupnom učinkovitosti 80 % bez zagađivanja okoliša. Npr. ako rabe vodik kao gorivo i zrak, nusproizvod je voda.

Pod termičkom pohranom podrazumijevaju se postupci kad se energija pohranjuje grijanjem, taljenjem ili pretvorbom u paru neke tvari. Najčešći je primjer ove pohrane zagrijavanje, npr. vode, električnom energijom, koja se pri hlađenju predaje korisniku. Termokemijska pohrana postiže se reverzibilnim kemijskim procesima koji apsorbiraju, odnosno predaju toplinu.

Od svih navedenih načina pohrane energije ovdje će biti riječi samo o izravnom pohranjivanju električne energije superkondenzatorima. Pritom će težište biti na njihovom ustroju i osnovnim značajkama, bez niza podrobnosti iz prospekata i tehničkih uputa pojedinih proizvođača.

## 2. KONDENZATORI

Kondenzatorom nazivamo sustav od dvije međusobno izolirane metalne elektrodě (obloga), različita oblika. Dielektrik (izolator), koji razdavaja obloge, može biti plinovit, npr. zrak, ili krut (keramika, papir, tinjac itd.). Kapacitet kondenzatora izravno je razmjeran die-

lektričkoj stalnici (permitivnosti) i djelatnoj površini elektroda, a obrnuto razmjeran razmaku među njima. Dakle, što je površina elektroda veća, a razmak između njih manji, kapacitet je, uz zadani dielektrik, veći. Kondenzator služi za pohranu elektriciteta (naboja), odnosno električne energije, kad se oblozi priključe na prikladan izvor. Pohrana naboja ne mijenja strukturu elektroda i dielektrika, pa je životna dob većine kondenzatora jako duga.

Prvi, tzv. elektrostatski, kondenzator jamačno je bila Leidenska boca (1745. god.), sa staklom kao dielektrikom. Kasnije su se proizvodili, i još se proizvode, kondenzatori s različitim vrstama dielektrika, čiji su kapaciteti od reda veličine pikofarada do više stotina mikrofarada. Neke tvrtke zadnjih godina proizvode i kondenzatore kapaciteta reda veličine milifarada. Iz toga se može zaključiti da je *farad* (simbol: F) najveća mjerna jedinica u elektrotehnici, jer se tijekom 250 godina nije uspjelo načiniti kondenzator većeg kapaciteta od prije spomenutih.

Kapacitet od jednog farada može se predočiti npr. pločastim kondenzatorom sa zrakom kao dielektrikom, čiji je razmak između ploča 1 mm, a površina svake od ploča 113 km$^2$. Suvremene izvedbe kondenzatora imaju dielektrike debljine nekoliko mikrometara. Uz debljinu dielektrika od 10 mikrometara i pretpostavljenu relativnu dielektričnu stalnicu 10, kapacitet od 1 F postigao bi se površinom obloga od 0,11 km$^2$. Ako bi njegovi oblozi bili debljine samo 0,1 mm, obujam takovog kondenzatora, uračunavši i izolaciju, bio bi približno 12 m$^3$.

Izboj ili pražnjenje kondenzatora, pri kratkom spoju elektroda, traje vrlo kratko (reda veličine milisekunde ili čak mikrosekunde), ali je snaga impulsa vrlo velika. S druge strane, unatoč velikoj razlici potencijala (napona) između elektroda, pohranjena je energija zbog malog kapaciteta prilično mala. Naime, pohranjena energija je: $W = U^2C/2$, gdje je $U$ napon u voltima, a $C$ kapacitet u faradima.

Posljednih godina više tvrtki nudi kondenzatore čiji su kapaciteti reda veličine deset, stotinu, pa i tisuću farada, a njihove dimenzije su, u usporedbi s klasičnim kondenzatorima višestruko manjeg kapaciteta, vrlo male. Ti se kondenzatori nazivaju: superkondezatorima, ultrakondenzatorima, kondenzatorima snage, zlatnim kondenzatorima ili dvoslojnim kondenzatorima.

Stručni naziv "elektrokemijski dvoslojni kondenzator" (engleski: EDLC- electrochemical double layer capacitor) ili kraće "elektrokemijski kondenzator" (engleski: EC-electrochemical capacitor) najbolje opisuje način pohrane električne energije u njima.

Treba napomenuti da to nisu, već desetljećima poznati, elektrolitski kondenzatori, u kojima se pod utjecajem napona izvora, kemijskom reakcijom, stvara oksidni (npr. $Al_2O_3$) dielektrički sloj debljine reda veličine mikrometra.

Dakle, iz navedenog slijedi da se danas kondenzatori mogu podijeliti na: elektrostatske, elektrolitske i elektrokemijske. Valja spomenuti i posebnu vrstu kondenzatora, tzv. feroelektričke kondenzatore, koji se za sada ograničeno rabe kao pojedinačni elementi, a više kao tzv. FRAM (Ferroelectric RAM) memorije. Oni su naziv dobili po karakteristici (naboj u ovisnosti o električnom polju) dielektrika (keramika) u njima, koja je slična onoj kod feromagnetika, tj. pokazuje histerezu.

## 3. SUPERKONDENZATORI

Razvoj elektrokemijskog dvoslojnog kondenzatora (EDK) počeo je krajem sedamdesetih godina prošlog stoljeća, jamačno, kao što obično biva, u vojne svrhe, npr. za izbacivanje projektila elektromagnetskom energijom [1]. Kasnije je razvoj bio potaknut radom na hibridnom električnom vozilu (HEV). Naime, vozila koje se napajaju električnom energijom samo iz baterija imaju najveći domet od, približno, 160 km između dva nabijanja baterije, a samo nabijanje dugo traje.

HEV uz usavršeni klasični motor s unutarnjim izgaranjem ima električni generator ili motorgenerator, bateriju ili gorivu ćeliju i EDK, a neke izvedbe još i zamašnjak. Cilj je bio smanjiti potrošnju goriva i zagađenje okoliša do 40 % u usporedbi sa sadašnjim vozilima, uz domet od 450 km do 1000 km s jednim spremnikom goriva. U razmatranju su različite inačice HEV-a. Jedna od njih predviđa motor s unutarnjim izgaranjem snage 20 % do 25 % manje od one najveće potrebne za pojedinu vrstu vozila. Razlika u potrebnoj snazi za vožnju s većim opterećenjem, npr. na uzbrdici, dobivala bi se iz baterija, a pri ubrzanju iz EDK-a. Pri jednolikoj vožnji i kočenju nabijali bi se se baterija i EDK, a i toplina u rashladnom sustavu rabila bi se za proizvodnju električne energije. Svim spomenutim sustavima upravlja elektronički sklop.

EDK se, prema pokusima i saznanjima američke svemirske agnecije NASA (Web stranice tvrtke Tavrima) pokazao kao vrlo prikladan za pokretanje (startanje) motora većih vozila (autobusi, teretna vozila, tenkovi, lokomotive itd.) i pri vrlo niskim temperaturama. EDK za te svrhe imaju 50 % manje obujme od uobičajenih baterija (akumulatora).

Osim već spomenutih evo još nekih, od mnogobrojnih značajki i primjena EDK:

**Značajke**

1) električne
   - velika jedinična snaga
   - brzo nabijanje velikim strujama
   - velike struje izbijanja
   - otporan na suprotni polaritet
   - dugačka životna dob

– široki raspon radne temperature (od – 30° C do preko 60° C)

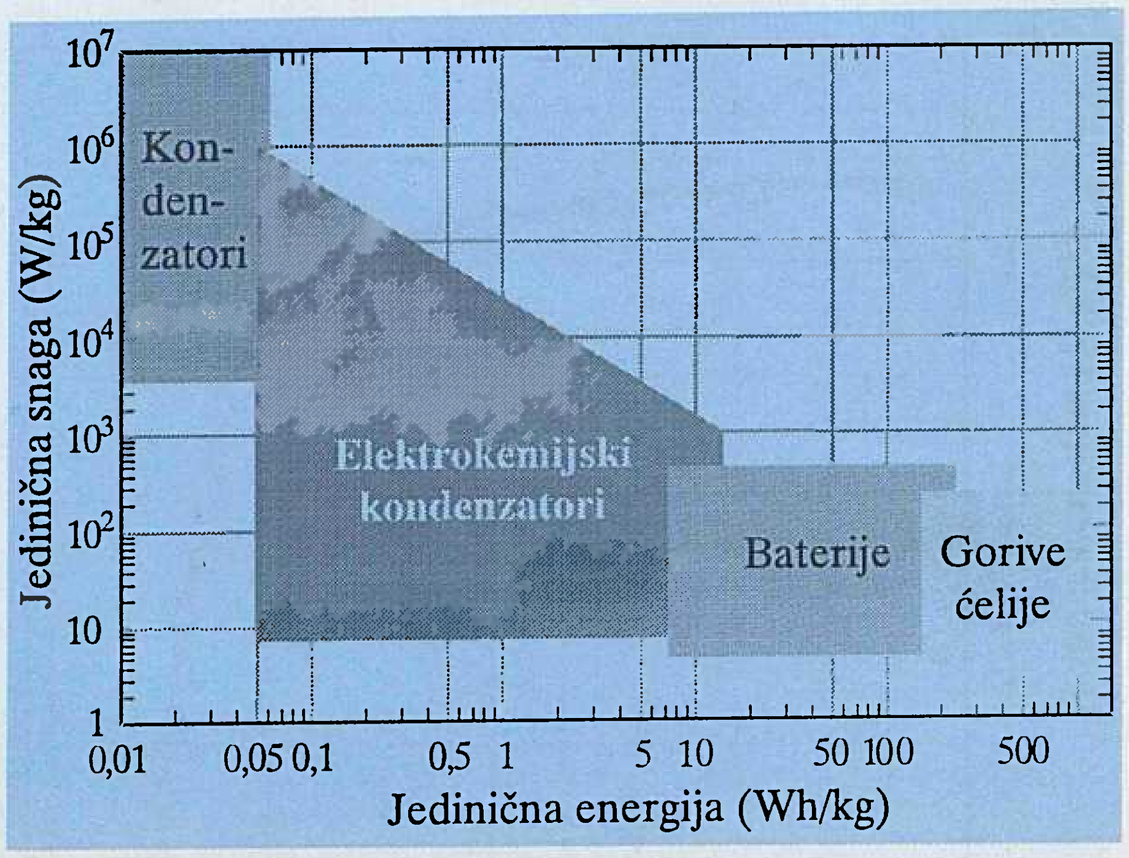
2) fizičke
– mala masa
– ne sadrži teške metale, npr. kadmij, nikal, olovo (stoga manje zagađuje okoliš)
– neosjetljiv na udarce i vibracije
– ne treba održavanje.

**Primjene**

– sustavi za uporabu Sunčeve energije
– vjetroelektrane
– robotika
– medicinska oprema
– telekomunikacije i radiokomunikacije (sklopovi čija je vršna snaga kratkotrajno destak puta veća od prosječne, npr. pri odašiljanju)
– sustavi za kratkotrajno napajanje pri nestanku električne energije iz mreže, tzv. UPS (uninterruptibile power supply)
– sustavi za poboljšanje kakvoće električne energije
– računalna i foto oprema, kao što su memorije, prenosiva računala, digitalne kamere itd. (npr. u digitalnim kamerama sa zumom, kombinacija EDK-baterija tri i više puta produljuje vijek trajanja baterije prosječne kakvoće)
– igračke.

Planira se uporaba EDK i u energetskim postrojenjima. Npr. umjesto sadašnjih načina aktiviranja visokonaponskih i srednjenaponskih prekidača rabio bi se EDK kapaciteta 1 F do 10 F, obujma do 3 litre, napona 50 V do 100V, struje od 100 A do 300 A, trajanje impulsa od 65 ms i pretpostavljene životne dobi do 20 godina. Umjesto glomaznih klasičnih kondenzatora EDK bi se rabio u sklopovima za poravak valnog oblika napona (tzv. DVR-dynamic voltage restorer) u slučaju propada napona u napojnom vodu osjetljivih većih trošila (reda veličine MVA). Također bi se rabio i u sklopovima za kratkotrajno napajanje većih važnih trošila, tzv. DUPS- dynamic uninterrupted power suplies (Web stranica tvrtke ABB i PSI- Paul Scherrer Institut).

Mjesto EDK-a među načinima za pohranu električne energije najbolje se vidi iz tzv. Ragoneovog dijagrama na sl. 1 [2], koji pokazuje međusobnu ovisnost jedinične snage (W/kg) i jedinične energije (Wh/kg odn. J/kg). EDK popunjavaju prilično široki jaz između baterija i klasičnih kondenzatora (elektrostatskih i elektrolitskih), ne samo značajkama nego i izvedbom. U usporedbi s baterijama imaju dulju životnu dob (procjena više od 20 godina), tj. višestruko veći broj ciklusa nabijanja i izbijanja, manju ovisnost o temperaturi, mali nadomjesni serijski otpor, manju cijenu po jedinici kapaciteta, manji obujam i masu, odn. veću jediničnu snagu te mogućnost da se bez posljedica izbiju u vrlo kratkom vremenu. Tako se npr. EDK-om obujma baterije veličine AA može postići strujni impuls od




**Slika 1. Ragoneov dijagram [2]**

35 A, a onim kapaciteta 2 700 F, nazivnog napon 2,3 V strujni impuls od 400 A (Web stranica tvrtke Epcos). Najveći je nedostatak EDK-a desetak puta manja gustoća energije od baterija.

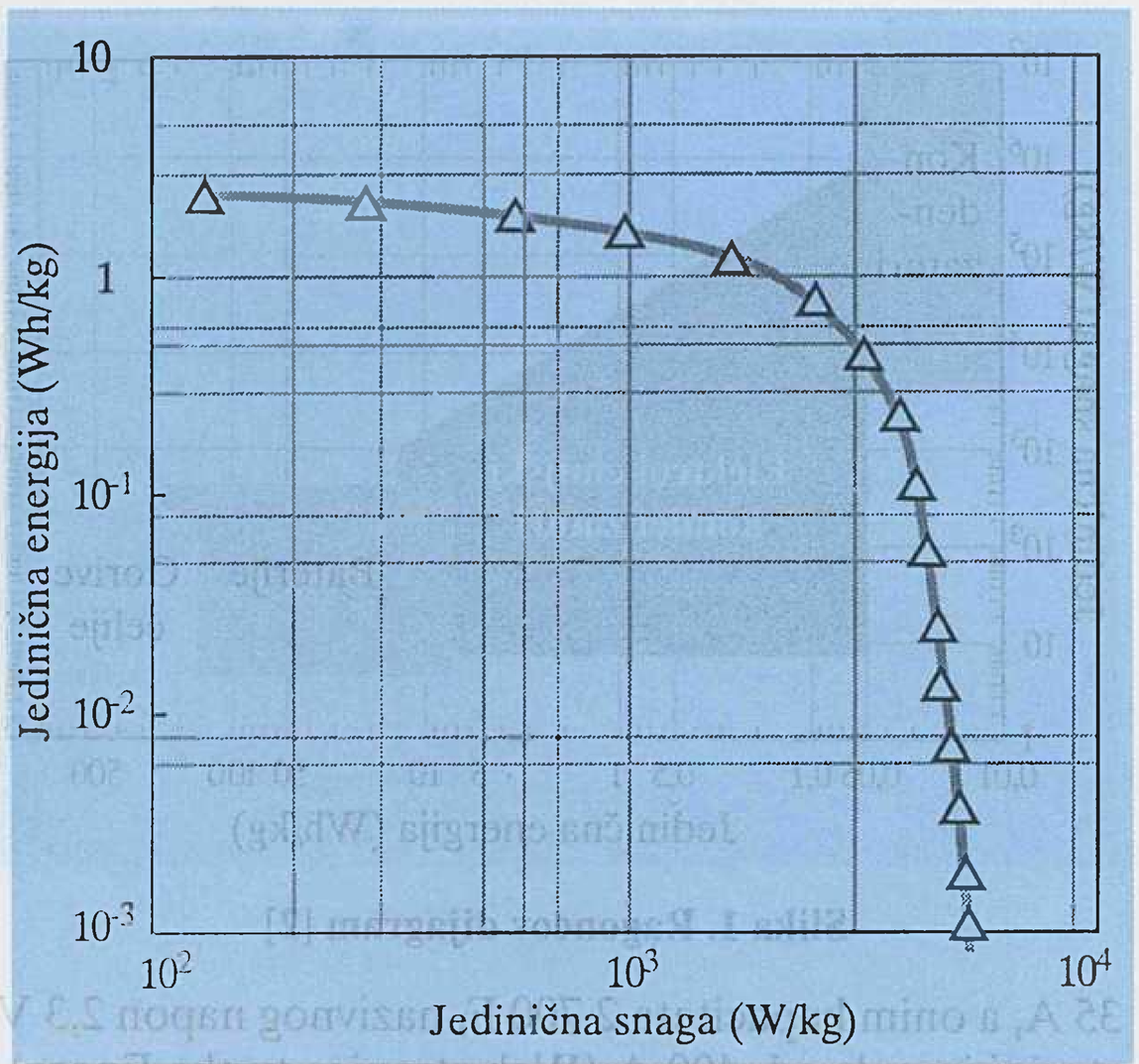
Struja samopražnjenja (leakage current) EDK-a ovisi o izvedbi i, prema dostupnim podacima, reda je veličine od deset mikroampera do miliampera. Napon nabijenog EDK-a ostaje praktički stalan tijekom nekoliko tjedana.

U tablici 1 navedene su usporedbene značajke baterija (olovni akumulator), superkondenzatora i klasičnih kondenzatora, a u tablici 2 neke značajke superkondenzatora (Web stranica tvrtke Siemens Matsushita Components). Na sl. 2 prikazan je Ragoneov dijagram jednog jednoćelijskog EDK-a kapaciteta 800 F, napona 2,5 V najveće jedinične snage 5 kW/kg i jedinične energije 2,5 Wh/kg.

**Tablica 1.**

| Značajke | Baterije | Superkondenzatori | Klasični kondenzatori |
|---|---|---|---|
| Vrijeme nabijanja | 1,5 h | 0,3 s do 30 s | $10^{-3}$ s do $10^{-6}$ s |
| Vrijeme izbijanja | 0,3 s do 3 h | 0,3 s do 30 s | $10^{-3}$ s do $10^{-6}$ s |
| Jedinična energija (Wh/kg) | 10 do 100 | 1 do 10 | < 0,1 |
| Jedinična snaga (W/kg) | < 1000 | < 10 000 | < 100 000 |
| Trajnost (ciklusi nabijanje/ izbijanje) | < 1000 | > 500 000 | > 500 000 |
| Učinkovitost (izbijanje/ nabijanje) | 0,7 do 0,85 | 0,85 do 0,98 | > 0,95 |

Valja spomenuti da se jedinični iznosi snage i energije razlikuju od proizvođača do proizvođača EDK-a, jamačno ovisno o tehnologiji izrade, namjeni i upo-




**Slika 2. Ragoneov dijagram jednog jednoćelijskog suprekondenzatora kapaciteta 800 F [7]**

trijebljenim sirovinama. Najveća je snaga, pri prilagodbi otpora trošila unutarnjem otporu kondenzatora, $P = U^2/4R$.

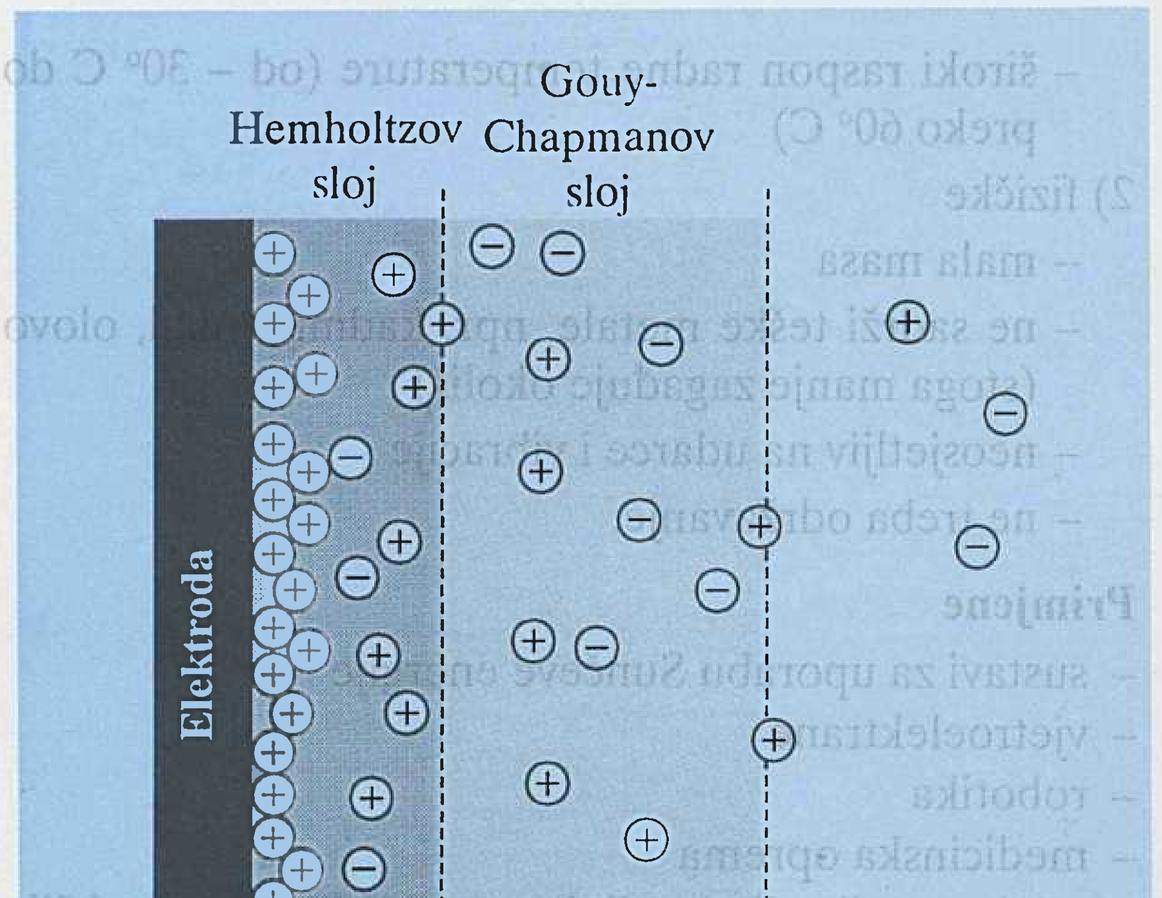
**Tablica 2.**

| Nazivni kapacitet (F) | Nazivni napon (V) | Energija (J) | Jedinična snaga u 6 s (W/kg) | Jedinična snaga u 300 s (W/kg) | Nadomjesni serijski otpor (mΩ) | Dimenzije (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 2,3 | 21 | 347 | 10 | 60 | 29x23,3x 4,2 |
| 100 | 2,3 | 265 | 434 | 13 | 6 | 56,7x33x16 |
| 2700 | 2,3 | 7 142 | 733 | 22 | 0,5 | 164x62x62 |

Prema dostupnim informacijama, trenutačne cijene EDK-a, ovisno o izvedbi, nazivnom kapacitetu i naponu, u rasponu su od 2 US $ do više desetaka US $ po primjerku, za količine veće od 1000 komada.

## 4. USTROJ SUPERKONDENZATORA

U načelu, EDK se sastoji od kućišta u kojem se nalaze dvije metalne elektrode (kolektor) za priključak na vanjski izvor, odnosno trošilo. Elektrode se nalaze u prikladnom elektrolitu i razdvojene su tankim separatorom. Pri priključku na električni izvor naboji na elektrodama privlače iz otopine ione suprotna predznaka, te se stvaraju slojevi iona paralelni elektrodama. Ta kombinacija naziva se elektrokemijskim dvoslojem, ili Helmholtzovim slojem (sl. 3) [2, 3], jer je Helmholtz model dvosloja objavio u drugoj polovici 19 stoljeća.



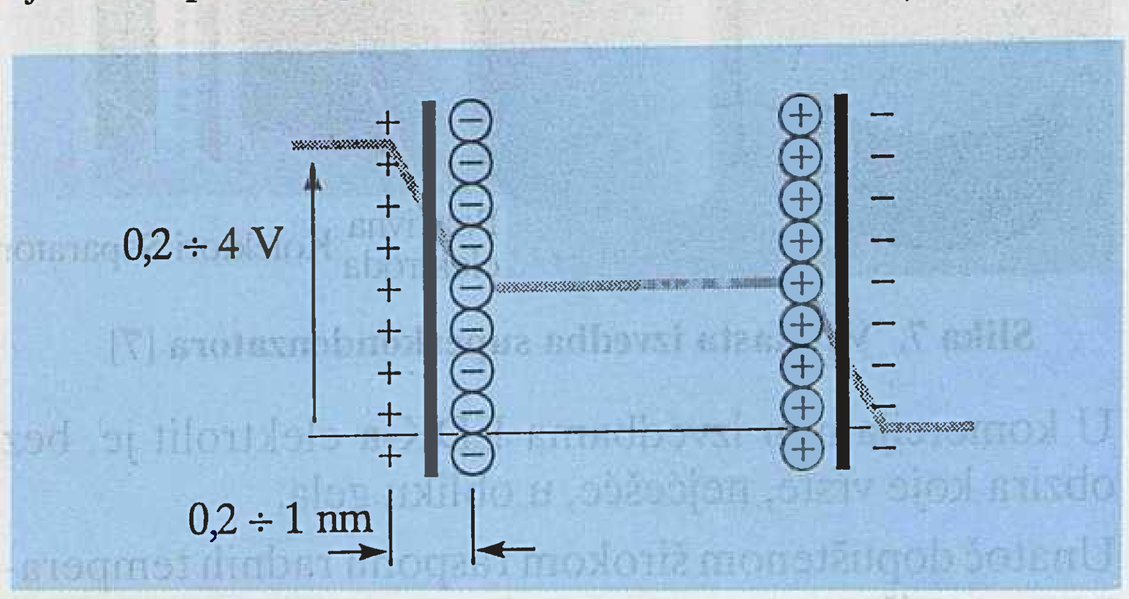

**Slika 3. Model dvosloja s Helmholtzovim i Gouy-Chapmanovim slojevima i odgovarajućim potencijalnim dijagramom [7]**

Gouy, Chapman i Stern su taj model nadopunili početkom dvadesetog stoljeća, jer se teorijska razmatranja i rezultati pokusa nisu podudarala. Naime, naboj iona, koji se mogu približiti elektrodi samo na određenu udaljenost, nije po veličini jednak naboju elektrode, nego manji. Razlika između ta dva naboja prouzročen je njihovim raspršenjem u tzv. Gouy-Chapmanovom području, tako da je ukupni kapacitet dvosloja zapravo kapacitet serijskog spoja Helmholtzova i Gouy - Chapmanova područja [3]. To vrijedi pri niskim koncentracijama elektrolita. Pri većim koncentracijama elektrolita preostaje samo Helmhotzovo područje. Naime, Stern je svojim, poprilično složenim modelom, pokazao da pri većim koncentracijama elektrolita Gouy-Chapmanovo područje praktički nestaje. Na površini elektrode, pojednostavljeno, nalazi se uvijek sloj adsorbiranih dipolnih molekula otapala (vode), zatim sloj molekula vode hidratiranog iona, pa zatim Helmholtzov sloj iona [3].

Debljina pojedinog dvosloja, koji čini kondenzator, ovisno o koncentraciji elektrolita i veličini iona, reda je

veličine nanometra. Dakle, razmak između "elektroda" dvosloja je i do više tisuća puta manji od onih u suvremenim elektrostatskim i elektrolitskim kondenzatorima, pa se time postižu kapaciteti reda veličine 10 $\mu F/cm^2$. Valja spomenuti da jakost električnog polja u dvosloju dosiže red veličine $10^6$ V/cm, odnosno $10^8$ V/m, koliko i u klasičnim kondenzatorima.

Potencijal se u Helmhotzovom modelu dvosloja jedne elektrode linearno mijenja, zatim je u elektrolitu stalan te se ponovo linerno mijenja u dvosloju druge elektrode (sl. 4). Ukupna razlika potencijala dviju elektroda, odnosno napon kondenzatora, ovisno o elektrolitu, može biti od 1 V do 4 V. Jedna kondenzatorska ćelija superkondenzatora sastoji se od *dva serijski spojena dvoslojna kondenzatora*, pa je ukupni njezin kapacitet polovina kapaciteta dvosloja.



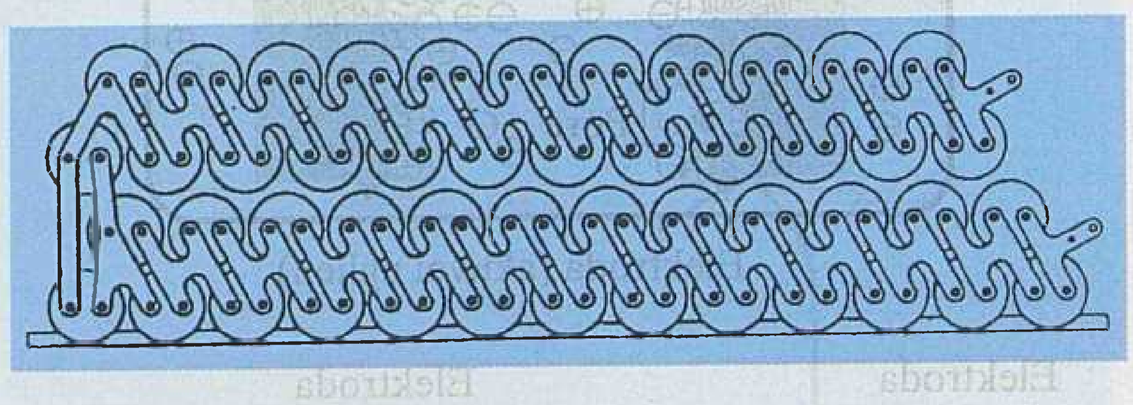

**Slika 4. Potencijalni dijagram spoja dvaju dvoslojeva u kondenzatorskoj ćeliji [2]**

U stvarnosti, radi višestrukog povećanja kapaciteta dvosloja, na elektrode se nanosi tzv. sučelje koje ima *stvarnu* površinu višestruko veću od *geometrijske*.

Nazivni naponi kondenzatorskih ćelija, koji su danas na tržištu, obično su 1 V i 2,3 V, pa se za više napone kondenzatorske ćelije moraju spojiti serijski, što smanjuje ukupni kapacitet razmjerno broju ćelija. Ukupni kapacitet paralelno-serijskog spoja je: $C_u = C\, n_p/n_s$, gdje je $C$ kapacitet pojedine ćelije, $n_p$ broj paralelno, a $n_s$ broj serijski spojenih ćelija. Tako se mogu dobiti EDK različitih kapaciteta, a za napone od 6 V do više stotina volta. Pritom se mora voditi računa o izjednačavanju napona na serijski spojenim kondenzatorima, kako bi se spriječili prenaponi na pojedinim kondenzatorima. To se može postići vrlo malim tolerancijama kapaciteta kondenzatora u serijskom spoju ili, češće, pasivnim ili aktivnim ujednačavanjem napona. Male tolerancije nazivne vrijednosti teško je postići, zbog još uvijek nedovoljne mogućnosti upravljanja veličinama pora sučelja, tako da su tolerancije suvremenih EDK-a približno ± 20 %.

Pasivno izjednačavanje se postiže otpornicima koji se spajaju paralelno ćelijama, kako se to već desetljećima radi pri serijskom spoju elektrolitskih kondenzatora. Elektroničko izjednačavanje se postiže pomoću komparatora, referentnog izvora napona i sklopke (Web stranica tvrtke Epcos). Komparator uspoređuje napone kondenzatorskih ćelija s referentnim naponom. Kada je napon ćelije viši, sklopka se zatvara i kondenzator se prazni preko ugrađenog otpornika.

Pri serijskom i paralelnom spajanju EDK-a, otpori spojnih vodiča, kao i njihov induktivitet, trebaju biti što manji. Na sl. 5 prikazan je jedan od načina pravilnog paralelno-serijskog spajanja više EDK-a. Ukupni je otpor paralelno-serijske kombinacije, bez otpora spojnih elementa, $R_u = R\, n_s/n_p$, gdje je $R$ serijski nadomjesni otpor jedne kndenzatorske ćelije, $n_s$ broj serijski spojenih, a $n_p$ broj paralelno spojenih ćelija.



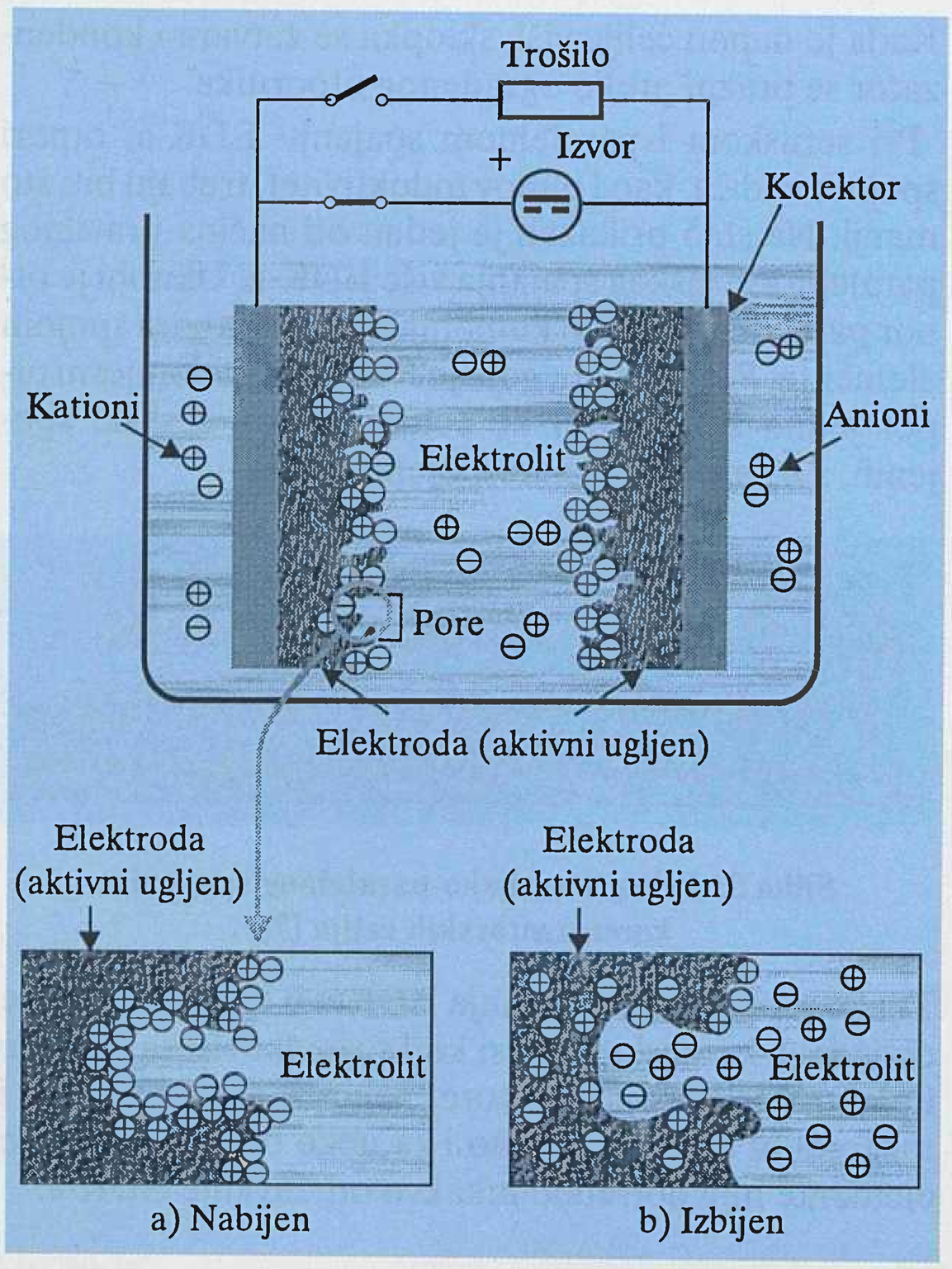
**Slika 5. Primjer serijsko-paralelnog spoja više kondenzatorskih ćelija [7]**

Tijekom nabijanja i izbijanja EDK-a u elektrolitu se ne događaju kemijski procesi koji su znakoviti za baterije i elektrolitske kondenzatore, nego se samo stvaraju i razgrađuju dvoslojevi. Kao i za neke druge električne elemente nije potrebno nikakvo održavanje EDK-a.

### 4.1. Materijali za elektrode

Kapacitet EDK-a ne ovisi samo o razmaku "elektroda" dvosloja nego i o njihovim površinama. Stoga se za sučelje elektroda rabe materijali čija je djelatna površina, zbog pora, višestruko veća od njihove geometrijske površine (sl. 6). Pore, ovisno o namjeni, mogu biti promjera manje od 2 nm, od 2 nm do 50 nm te veće od 50 nm. Broj pora procjenjuje se na $10^{11}/cm^2$ do $10^{13}/cm^2$. Za sučelja su se prvotno rabila vodljiva keramika [1]. Danas se u tu svrhu najčešće rabe *aktivni ugljen* [2, 4, 5] i tzv. glassy carbon koji se dobiva termičkom obradom organskih polimera. Pokusi se obavljaju i s drugim materijalima. Značajke aktivnog ugljena su: raspoloživost sirovina (crnogorično drvo), niska cijena, velika djelatna površina i uhodana tehnologija proizvodnje. Ostali materijali za sučelja su oksidi $RuO_2$ i $IrO_2$ te razni polimeri. Neki od njih su još u postupku ispitivanja. Jedinični kapacitet sučelja s $RuO_2$ je približno 750 F/g, ali mu je cijena mnogo viša nego ona za aktivni ugljen.

Djelatna je površina običnog ugljenog praška reda veličine 100 $m^2/g$, a onog aktivnog, ovisno o tehnologiji proizvodnje, u rasponu je od 1 000 $m^2/g$ do 2 500 $m^2/g$. Zbog toga se aktivni ugljen desetljećima rabi za upijanje tekućina i zadržavanje molekula otrovnih tvari (medicina, razni fitri itd.). Osim u obliku praška, za superkondenzatore izrađuje se u obliku vlakana (carbon nanaotube), pletiva, paste ili tankog filma [5]. Dodaje mu se do 20 % punila (teflon, celuloza itd.) radi lakšeg rada s njime. Debljina sučelja na pojedinoj elektrodi može biti od 10 mikrometara (tanki film) do 100 mik-




**Slika 6. Shematski prikaz pora u sučelju** [4]

rometara (debeli film). Pri tankom filmu unutarnji otpor određen je elektrolitom, a pri debelom filmu ovisi o poroznom sloju. Sučelja se sve češće izrađuju i od ugljene pjene (carbon foam, carbon aerogel).

Uz prije spomenuti kapacitet od 10 $\mu F/cm^2$ i djelatnu površinu, proizlazi da je jedinični kapacitet jednog dvosloja 100 F/g. Kako je ukupni kapacitet ćelije, zbog serijskog spoja dvaju dvoslojeva, polovina kapaciteta jednog dvosloja, proizlazi da je jedinični kapacitet ćelije, uz navedene pretpostavke, jedna četvrtina dvosloja, tj. samo 25 F/g. Volumometrijski kapaciteti su reda veličine stotinu farada po kubičnom centimetru.

### 4.2. Elektrolit

U EDK-u se mogu rabiti vodeni i organski elektroliti. O vrsti elektrolita ovisi nazivni napon kondenzatorske ćelije. S vodenim elektrolitom taj napon je 1 V, a s organskim 2,3 V, ali se čine pokusi i s onima kojima se može doseći i 3,2 V. Pri naponima višim od 1,2 V, odnosno 4 V, počinju kemijski procesi u elektrolitu kao i u baterijama.

Vodeni elektrolit je obično visoko koncentrirana otopina $H_2SO_4$ ili KOH, koje se odlikuju velikom vodljivošću (npr. 0,8 S/cm), malim električkim otporom, visokom dielektričkom stalnicom, nezapaljivošću i niskom cijenom.

Organski elektroliti uz viši napon ćelije imaju višestruko manju vodljivost od vodenih ($1{,}5 \cdot 10^{-2}$ S/cm), dakle i veliki unutarnji otpor, ali širi raspon radne temperature. Radi sprječavanja ulaska vlage, moraju biti hermetički zatvoreni.

S vodenim elektrolitom postiže se prosječna jedinična energija od 3,5 Wh/kg djelatne mase, a s organskim elektrolitom i naponom 2,3 V prosječnu jediničnu energiju od 18 Wh/kg. Te vrijednosti su zamjetno manje od onih u raznim baterijama, ali mnogo veće nego u klasičnim kondenzatorima.




**Slika 7. Valjkasta izvedba superkondenzatora** [7]

U komercijalnim izvedbama EDK-a elektrolit je, bez obzira koje vrste, nejćešće, u obliku gela.

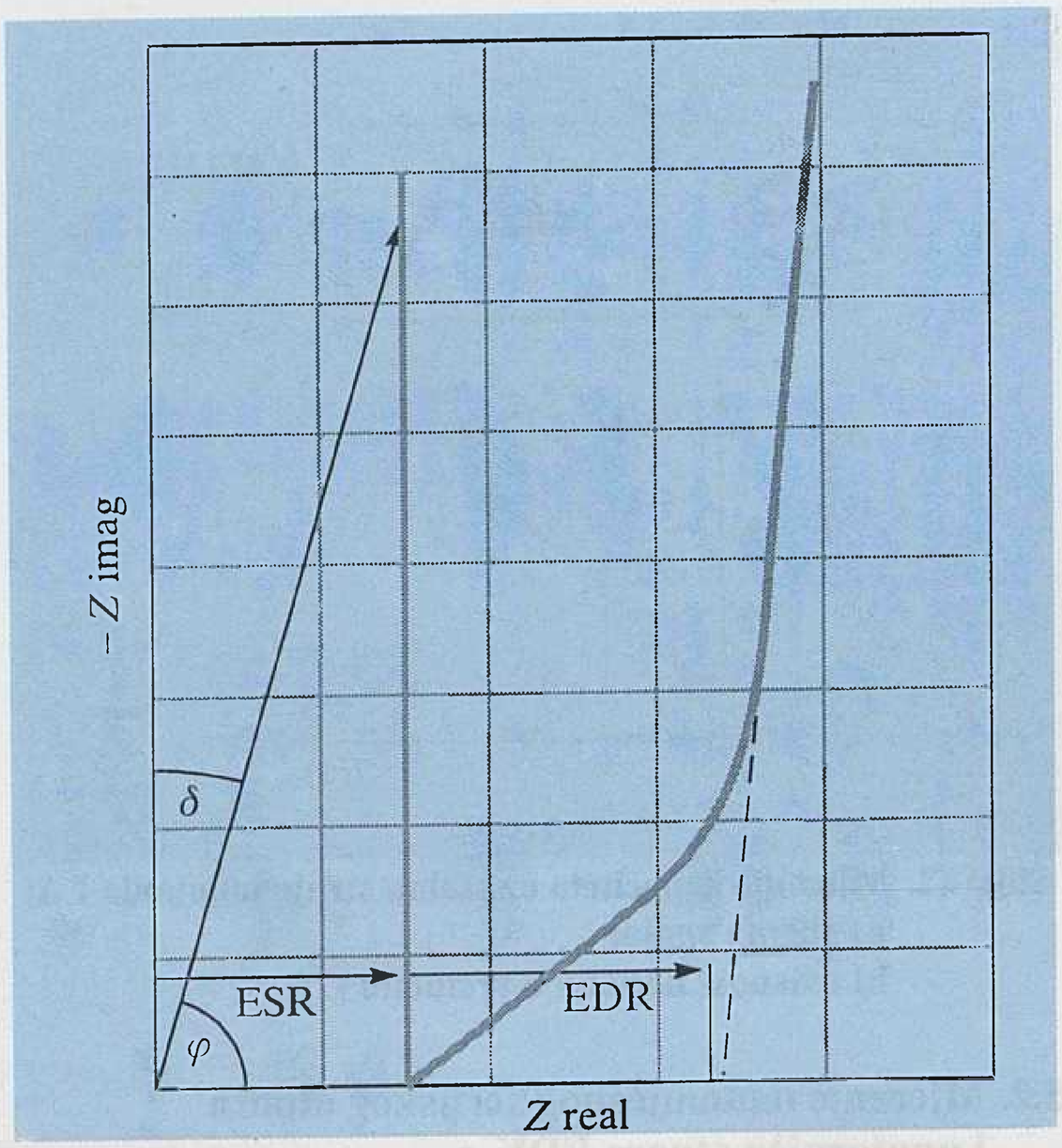
Unatoč dopuštenom širokom rasponu radnih temperatura, povišena temperatura, npr. od 25 °C na 65 °C, može prepoloviti životnu dob superkondenzatora (Web stranice tvrtke Epcos). Osim temperature okoline, na porast temperature utječu i gubici $I^2R$ na serijskom nadomjesnom otporu kondenzatora, posebice pri velikoj učestalosti izbijanja.

### 4.3. Separator

Da bi se spriječio kratki spoj dviju susjednih kondenzatorskih elektroda rabi se tanki (nekoliko desetaka mikrometara), za ione visokoporozni i električki nevodljivi separator, kako bi otpor kondenzatora bio što manji. Međutim, mora se voditi računa i o njegovoj mehaničkoj stabilnosti. Najčešće su načinjeni od celuloze i ojačani polimerskim vlaknima.

### 4.4. Impedancija EDK-a

Pojedine značajke EDK-a razlikuju se od onih u klasičnim kondenzatorima, jer je i njegov ustroj različit. Tako se to može zapaziti u impedanciji kad se nacrta u tzv. Nyquistovom prikazu (kompleksnoj ravnini). Razlika između elektrostatskog i elektrokemijskog kondenzatora istih nadomjesnih serijskih otpora pri 1 kHz, prikazana je na sl. 8 [2]. Dok je kod elektrostatskog kondenzatora pravac okomit na realnu os, kod EDK-a linija impedancije započinje kutom od 45° (tzv. Warburgovo područje) i zatim se približava vertikali. To znači da je on u tom području frekvencijski ovisan. Ta ovisnost posljedica je raspodjele otpora i kapaciteta u sloju s porama. Idealna pora u sučelju može se prika-

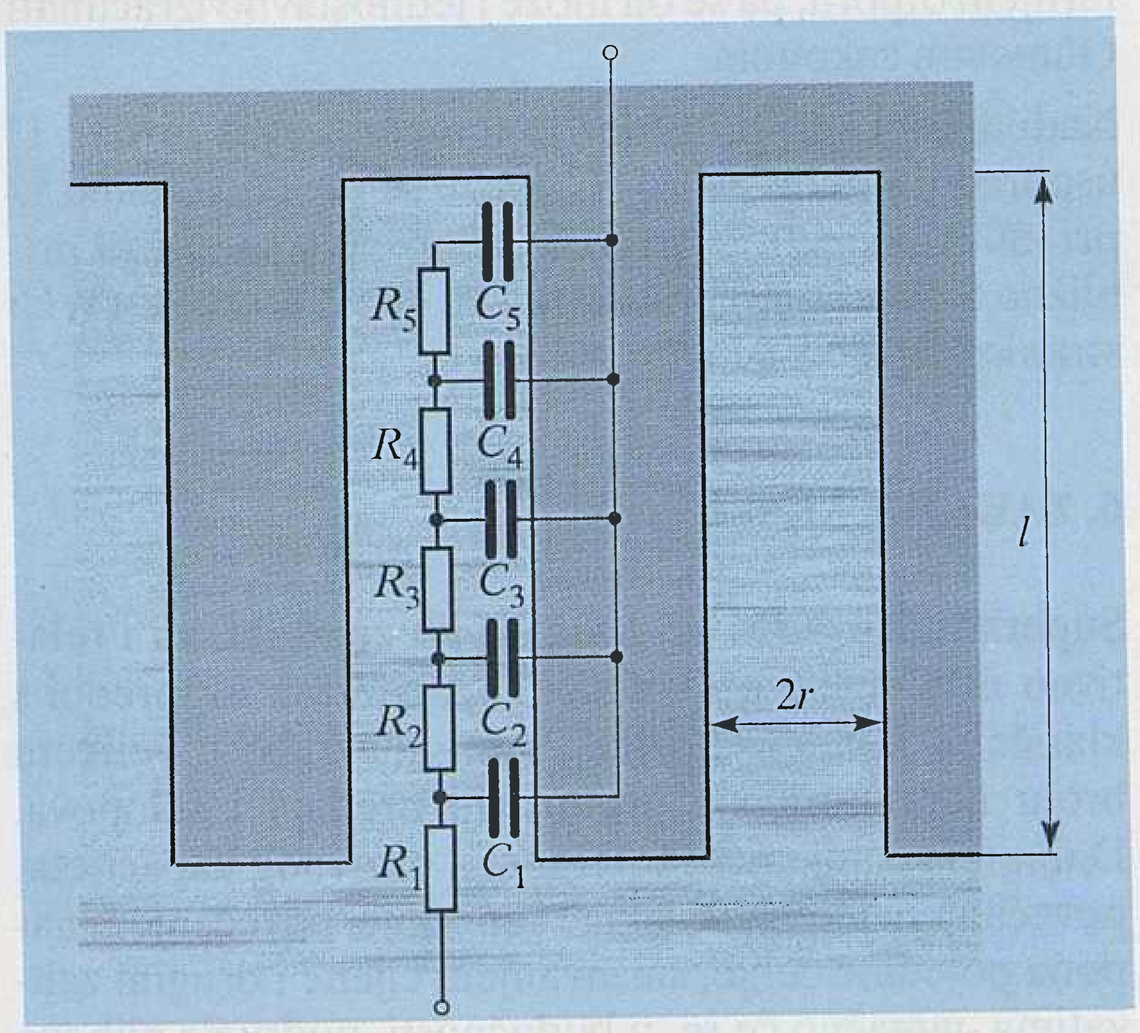



**Slika 8. Nyquistov dijagram impedancija elektrostatskog kondenzatora i superkondenzatora (ESR – serijski nadomjesni otpor; EDR – nadomjesni raspodijeljeni otpor [2]**

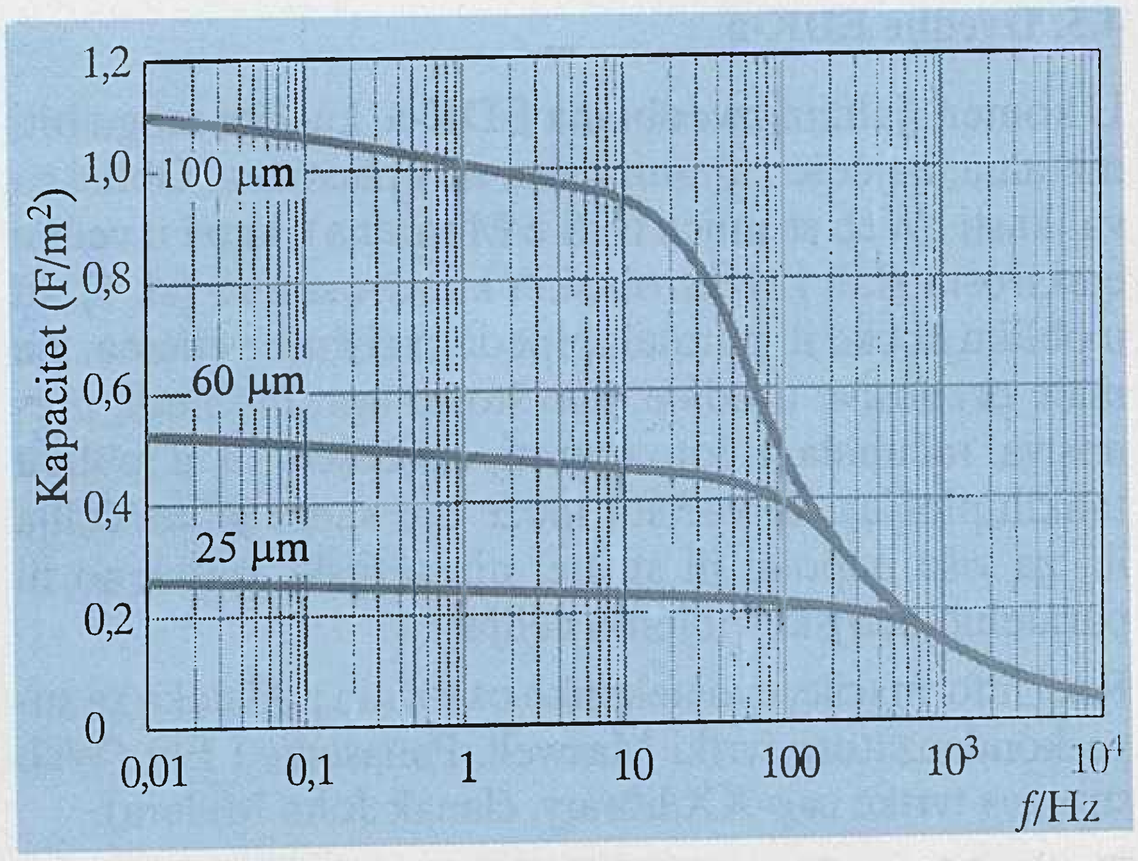
zati kao valjkasta udubina polumjera $r$ i dubine $l$. Otpor elektrolita i dvoslojnog kapaciteta nadomještava se linijom s raspodjeljenim $RC$ elementima., dok se za materijal sučelja pretpostavlja da ima otpor zanemariv prema otporu elektrolita. (sl. 9) [2]. Kod visokih frekvencija struja pretežito teče kroz $R_1$ i $C_1$ u sučelje, pa su otpor i kapacitet dvosloja smanjeni.

Ukupna impedancija zbroj je otpora kontakata, otpora elektrolita i separatora te impedancije elektrode.

Na sl. 10 prikazane su ovisnosti kapaciteta o frekvenciji s debljinom sučelja kao parametrom. Pritom zadana je




**Slika 9. Shematski prikaz idealiziranih pora u sučelju [2]**

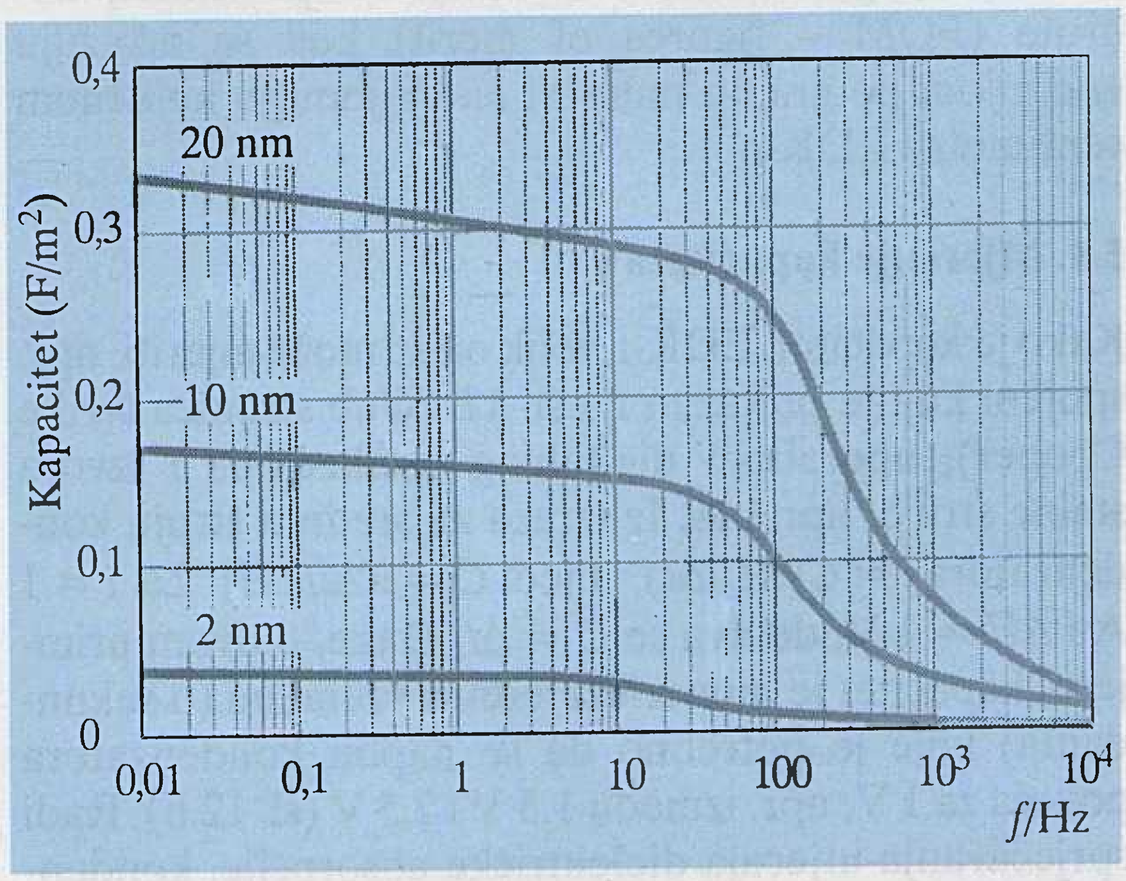



**Slika 10. Ovisnost kapaciteta nekog superkondenzatora o frekvenciji s debljinom sučelja kao parametrom [2]**

vodljivost elektolita, promjer valjkastih pora, poroznost sučelja i broj pora po četvornom centimetru. Većom debljinom sučelja postiže se veći kapacitet pri niskim frekvencijama, ali i porast raspodijeljenog otpora, što povećava $RC$ stalnicu.

Frekvencijska ovisnost kapaciteta o promjeru valjkastih pora kao parametrom za danu debljinu sučelja, kapacitetu dvosloja i broju pora po četvornom centimetru prikazana je na sl. 11.

Tzv. nadomjesni serijski otpor (ESR-equivalent serial resistance) prikazuje sve gubitke u kondenzatoru. U superkondenzatorima je taj otpor, ovisno o iznosima kapaciteta, od reda veličine milioma do reda veličine oma, tako da je vremenska stalnica kondenzatora ($RC$ konstanta) reda veličine sekunde. Obično, superkondenzatori čija je svrha osvježavanje memorija imaju relativno mali kapacitet, npr. 0,3 F i nadomjesni serijski otpor reda veličine oma, jer su struje koje superkondezator daje male. Nadomjesni se otpor redovito iskazuje s ostalim podacima o EDK-u, jer je važan za njegovu uporabu, posebice u impulsnom radu.




**Slika 11. Ovisnost kapaciteta nekog superkondenzatora o frekvenciji s veličinom pora sučelja kao parametrom [2]**

### 4.5. Izvedbe EDK-a

U komercijalnim izvedbama EDK-a, kućišta mogu biti metalna, najčešće aluminijska, ali i plastična. Oblici su valjkasti (Web stranica tvrtke Montena), kao i u većini elektrostatskih i elektrolitskih kondenzatora (sl. 7), ili u obliku kocke ili paralelopipeda različitih veličina. Za male prenosive uređaje, kao što su npr. mobiteli, prenosiva računala i fotoaparati, najčešće su u obliku tankih pločica. U kućištu može biti samo jedna ćelija ili, za više napone ili struje, niz serijski, paraleno ili paralelno-serijski spojenih ćelija.

Radi informacije, evo nekoliko osnovnih podataka za superkondenzatore tvrtki Maxwell, Panasonic i Elit (Web stranica tvrtke cap-XX/library, članak John Millera).

Tvrtka Maxwell: model PC7223, $C = 2\,700$ F, $U = 2{,}3$ V, dimenzije 164 mm x 62 mm x 62 mm, masa 830 g; model PC0323, $C = 100$ F, $U = 2{,}3$ V, dimenzije 33,6 mmm x 17,1 mm x 53 mm, masa 34 g.

Tvrtka Panasonic: $C = 800$ F, $U = 2{,}3$ V, valjksto kućište promjera 55 mm i visine 125 mm, masa 320 g.

Tvrtka Elit: $C = 9{,}4$ F , $U = 15$ V, dimenzije 170 mm x 170 mm x 50 mm, masa 4,8 kg.

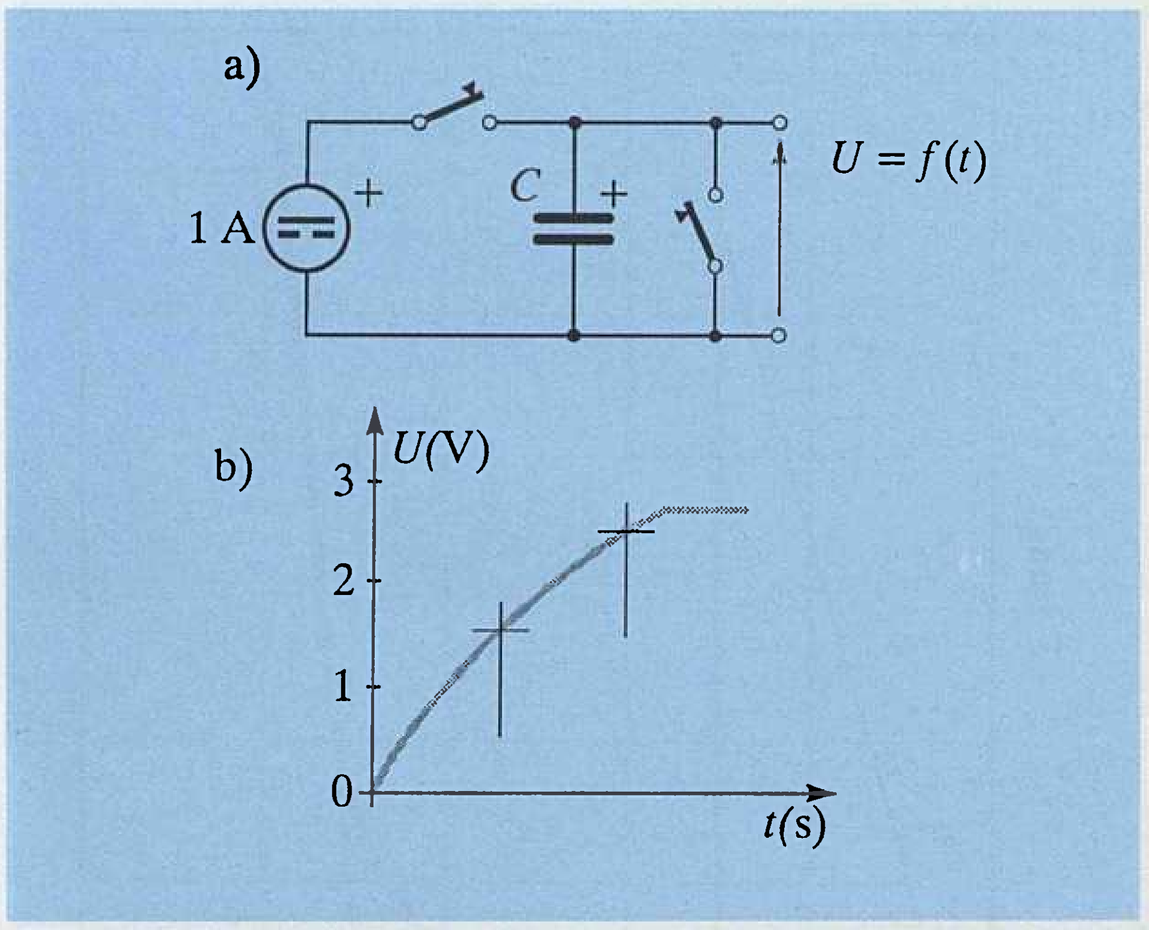
Tvrtka cap-XX: različite vrijednosti kapaciteta u rasponu $C = 0{,}2$ F do $C = 2{,}8$ F, $U = 2{,}25$ V, dimenzije 39 mm x 17 mm x (od 0,9 mm do 1,9mm), masa 0,9 g do 3 g, $I_{max} = 30$ A, ESR od 12 mΩ do 50 mΩ (Web stranica tvrtke cap-XX/products).

## 5. MJERNE METODE

Uobičajene metode za mjerenje značajki klasičnih kondenzatora nisu pogodne za EDK-a, pa se rabe druge, složenije, iz područja elektrokemije. Njih propisuju različite ustanove ovisno o namjeni. U SAD-u, za vojnu namjenu, npr. DOD- Department of Defense - Ministarstvo obrane SAD, a za civilnu, npr. Department of Energy - Ministarstvo za energiju SAD. Radi jednostavnije usporedbe značajki EDK-a različitih izvedbi i proizvođača, definiraju se npr. činitelji dobrote (FOM – figures of merit) koji se iskazuju energijom po gramu mase ili energijom po kubičnom centimetru EDK-a.

### 5.1. Mjerenje kapaciteta

Kako je kapacitet EDK-a velik on se može mjeriti, npr. spojem koji je prikazan na sl. 12 (Web stranica tvrtke Cooper), uporabom digitalnog osciloskopa i izvora stalne struje, npr 1 A. Iz izraza za srednju struju kondenzatora $i = C(\Delta U/\Delta t)$, slijedi $C = i(\Delta t/\Delta U)$. Za $i = 1$ A i $\Delta U = 1$ V, dobiva se $C = \Delta t$. Dake, u ovom primjeru, kapacitet je numerički jednak vremenu (u sekundama) koje je potrebno da se napon kondenzatora poveća za 1 V, npr. između 1,5 V i 2,5 V (sl. 12.b). Radi sprječavanja utjecaja dielektričke absorpcije, kondenzator se prije mjerenja nabije, te mu se zatim stezaljke kratko spoje i tako drže 15 minuta.




**Slika 12. Mjerenje kapaciteta uz stalnu struju nabijanja 1 A:**
**a) shema spoja;**
**b) ovisnost napona o vremenu** [7]

### 5.2. Mjerenje nadomjesnog serijskog otpora i unutarnjeg otpora EDK-a

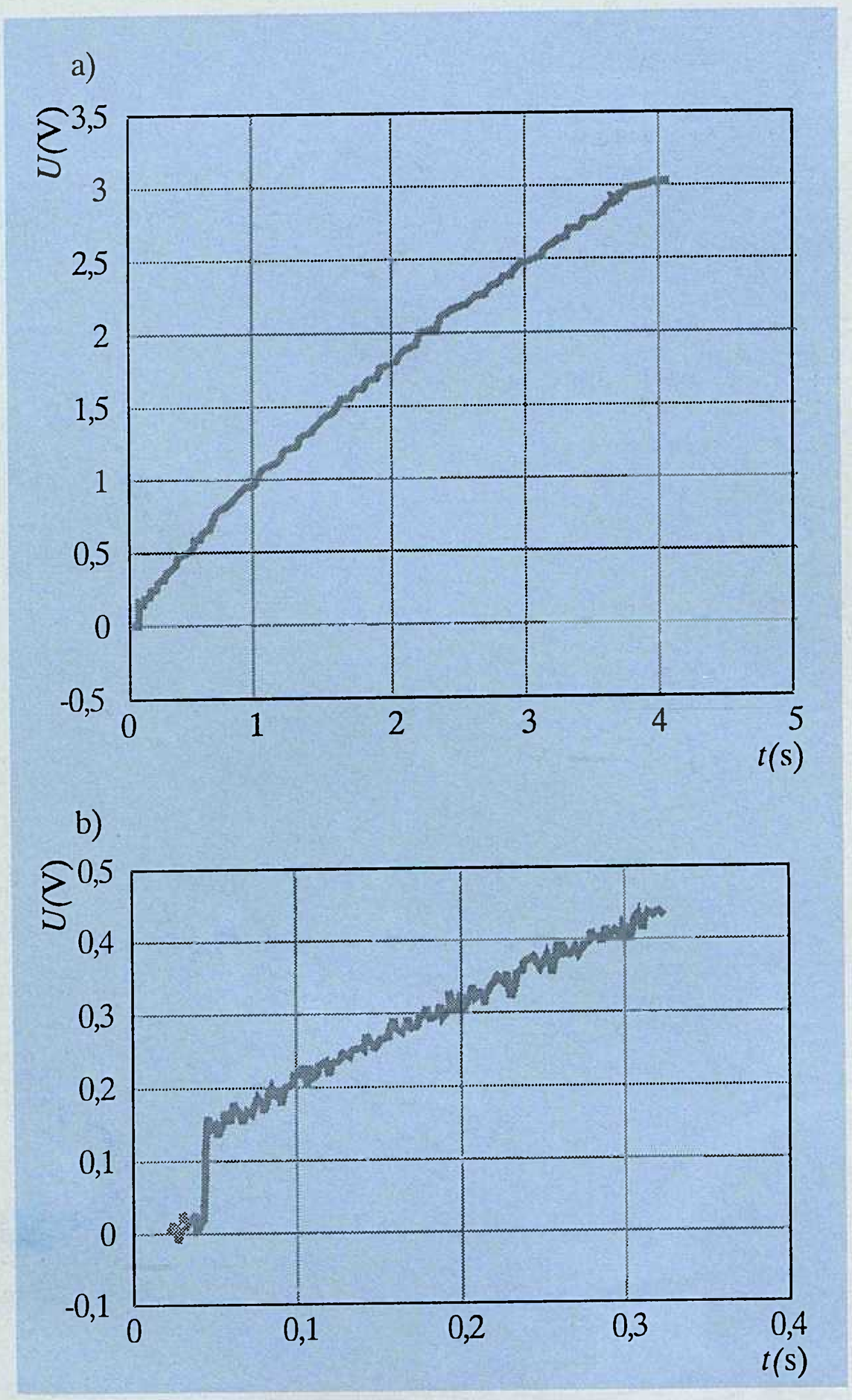
U podacima nekih proizvođača navode se istosmjerni i izmjenični nadomjesni serijski otpor pri frekvenciji 1 kHz. Nadomjesni serijski otpor može se odrediti iz tangesa kuta gubitaka mjerenjem komercijalnim LCR mostovima pri frekvenciji 1 kHz ili UI metodom. Međutim, tzv. unutarnji otpor može se izmjeriti sklopom koji je prikazan na sl. 12.a. Ta metoda nije tako precizna i obnovljiva kao one prije spomenute, ali taj podatak daje informaciju o ponašanju EDK-a pri impulsnim primjenama.

Na sl. 13.a prikazan je oscilogram istovjetan onome na sl. 12.b samo u drugom mjerilu. Na dijagramu se zapaža trenutačni promjena napona kad je potekla struja od 1 A. Ako se početni dio poveća (sl. 13.b) može se kvantitativno odrediti ta promjena napona na unutarnjem otporu, pa se on može i jednostavno izračunati Ohmovim zakonom.

Nadomjesni serijski otpor je temperaturno ovisan. U usporedbi s onim pri 25 °C, može se povećati za 60 % pri -30 °C, za 20 % pri 0 °C, odnosno smanjiti za približno 5 % pri temperaturama od 40 °C do 80 °C (Web stranice tvrtke Epcos).

## 6. ZAKLJUČAK

Superkondenzatori se, zbog svojih značajki, ali i relativno niže cijene po jedinici kapaciteta u usporedbi s klasičnim kondenzatorima, već sada rabe u velikom broju neprenosivih i prenosivih uređaja i sklopova. Daljnjim smanjenjem tolerancija nazivnog kapaciteta, povećanjem jedinične snage i energije, povećanjem napona pojedine ćelije, snižavanjem cijene i drugim zahvatima, jamačno će se, u budućnosti, područje njihove primjene bitno proširiti.




**Slika 13. Mjerenje ESR-a uz stalnu struju nabijanja 1 A:**
**a) ovisnost napona o vremenu;**
**b) detalj ovisnosti napona o vremenu** [7]

**Zahvala**

Zahvaljujem Ivici Kunštu dipl. ing. koji je uložio mnogo truda za izradu slika u ovom članku.

**LITERATURA**

[1] G. L. BULLARD, H. B. SIERRA-ALCAZAR, H. L. LEE, J. L. MORRIS: "Operating Principles of ultracapacitors", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 25, No1, January 1989., str. 102 - 106.

[2] R. KÖTZ, M. CARLEN: "Principles and applications of electrochemical capacitors", Electrochimica Acta 45, 2000., str. 2483-2498

[3] R. PODHORSKY: "Elektrokemija", Tehnička enciklopedija Leksikografskog zavoda, Zagreb, svezak. 4. str. 374-379.

[4] M. ENDO, T. TAKEDA, Y. J. KIM, K. KOSHIBA, K. ISHII: "High power electric double layer capacitor (EDLCs); from operating principle to pore size control in advanced activated carbons", Carbon Science, Vol.1, No. 3&4, January 2001., str. 117-128

[5] A. CHU, P. BRAATZ: "Comparison of commercial supercapacitors and high-power lithium-ion batteries for power-assist applications in hybrid electric vehicles", Journal of Power Sources 112, 2002., str. 238-246.

[6] R. H. BAUGHMAN, A. A. ZAKHIDOV, W. A. HEER: "Carbon nanotubes.The route toward applications", Science, Vol. 297, August 2002., str. 787-792.

[7] Web stranice različitih proizvođača i nepoznatih autora

## SUPERCAPACITORS

Supercapacitors, ultracapacitors or electrical-chemical capacitors are the names for capacitors whose capacity reaches, incredibly, hundreds and even thousands Farads. They are used in many appliances and systems like hybrid electric and other vehicles, supply equipment for short-term voltage interruption in electrical network, palmtop computers, mobiles, digital cameras etc. for electric energy accumulation.

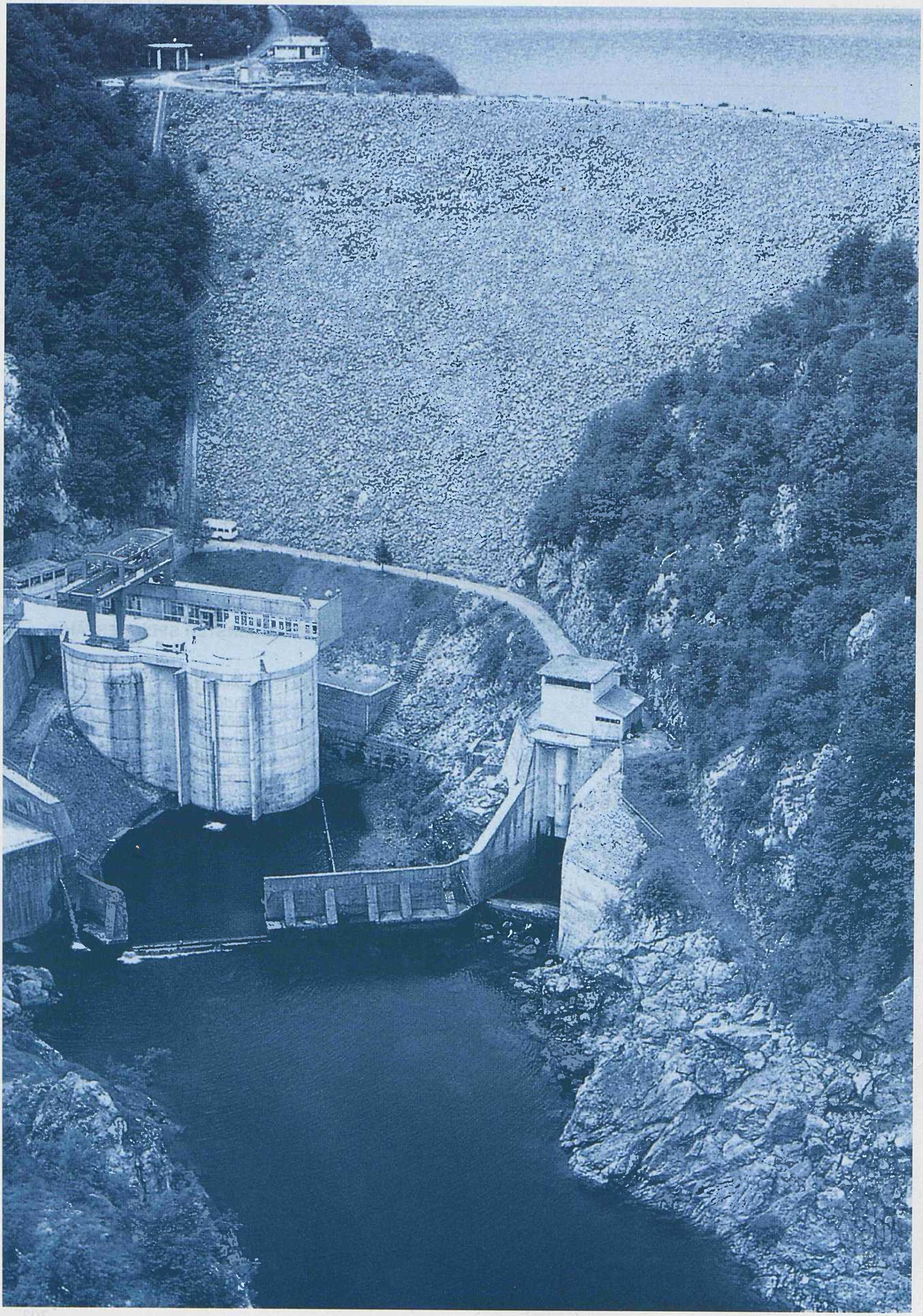
## KONDENSATOREN ÄUSSERSTER SPEICHERFÄHIGKEIT

Kondensatoren, welche bisher undenkbare Kapazitäten von hunderten, sogar tausenden Farad erreichen werden Superkondensatoren, Ultrakondensatoren und elektrochemiche Kondensatoren genannt. Verwendung finden sie zur Energiespeicherung in zahlreichen Einrichtungen und Anlagen z.B.: hybride elektrische und anderwertige Fahrzeuge, Einspeisungsanlagen beim kurzfristigen Stromausfall, Handtellerrechner, Mobitel, Digitalaufnahmegeräte usw.

Naslov pisca:

**Dr. sc. Dušan Vujević, dipl. ing.**
**Cankarova 2 a**
**10000 Zagreb,**
**Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 03 – 23.



# *IZ STRANE STRUČNE LITERATURE*

## PODMORSKA VEZA ITALIJA – GRČKA

U srpnju 2002. godine ugovorena je izgradnja podmorske veze između Italije i Grčke. Radi se o visokonaponskom podmorskom kabelu za istosmjernu struju prijenosa 500 MW (slika 1.). Ne samo da se tom vezom Grčka povezuje s mrežom zemalja Europske unije, već je to podmorski kabel do sada u svijetu najdublje položen. Istosmjerna veza je prva takve vrste povezivanja Grčke sa zapadnom Europom, a gradi se kao dio transeuropske mreže (TEN) iz Programa Europske komisije. Projekt se financira iz pomoći Europske komisije i zajmova Europske investicijske banke (EIB).

Ukupna dužina kabela napona 400 kV, struje 120 A i snage 500 MW iznosi 204 kilometra. Kopnena sekcija u Italiji koja se proteže od Galantina do obale, u dužini od 43,5 km, jedna je od najdužih i ikad položenih kopnenih veza uljnim kabelom visokog napona.

Na većem dijelu trase dužine od 163 km, podmorski kabel leži na dubini od 1000 metara, što predstavlja rekordnu dubinu za energetsku kabelsku vezu. Izlazak na obalu u Grčkoj je pri Aetosu blizu albanske granice. Dalje se nastavlja nadzemnom vezom dužne 110 km do stanice za konverziju u Arachthosu.

Podmorski dio podijeljen je u tri sekcije: plitka voda duljine 28 km, duboka voda 71 km i ponovo plitka voda duljine 61 km. U sekcijama gdje je voda duboka do 150 m kabel je položen na 0,6 do 1 m od dna, dok je pri dubini od 1000 m položen na morsko dno.

Priprema polaganja ovog kabela bila je duga i temeljita. Prijenosna snaga i lokacija trase zahtijevale su adekvatnu konstrukciju kabela, što je za proizvođače kabela bio pravi izazov. Isto tako trebalo je odabrati brod za polaganje kabela, naročito za dio gdje je dubina 1000 m. Trebalo je uzeti u obzir niz ograničenja koja su nametala plovidba i ribolov u Otrantu. Osim toga trebalo je svladati niz poteškoća, što je sve uspješno učinjeno i kabel položen.

*Power Engineering International,* 10/2002.

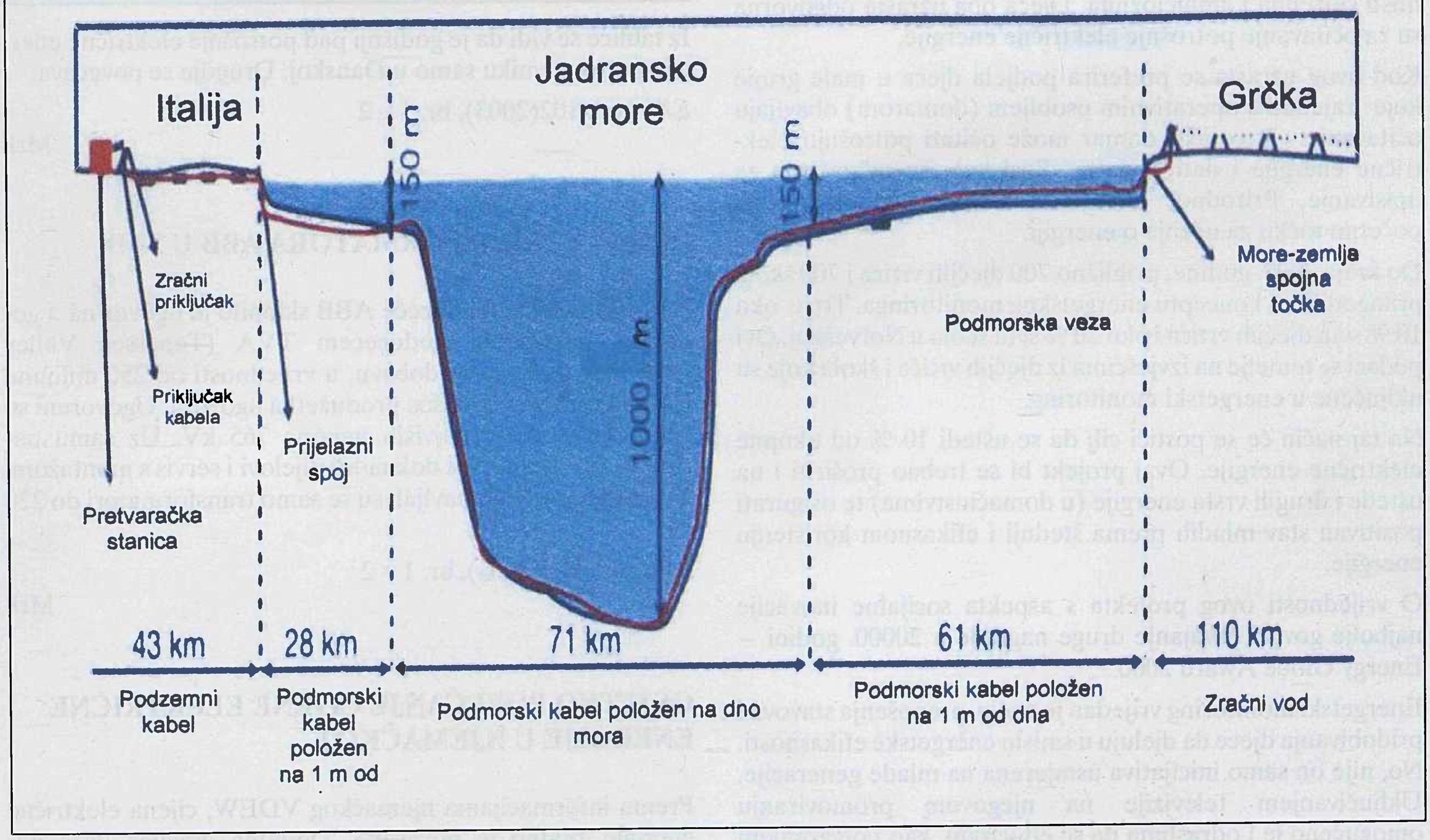
SBK

## ENERGETSKI MONITORING I EDUKACIJA DJECE U VRTIĆIMA I ŠKOLAMA

Najnovija istraživanja u Norveškoj pokazuju da uključivanje djece u energetski monitoring daje dvostruke koristi: štednju energije u školi i kod kuće. Naime, u Norveškoj je dobro poznat projekt energetske efikasnosti koji promatra djecu kao šampione energetske efikasnosti i odgovarajuće uporabe energije. Projekt pokazuje, kako se dobro ponašanje prema uporabi energije može naučiti već u ranom djetinjstvu.

Uključivanje djece u energetski monitoring praktičan je i popularan način njihovog motiviranja. Također je koristan način stjecanja opće predodžbe o energiji i okolišu.

Kroz promatranje uporabe energije i raspravljanje o varijantama koje se pojavljuju, djeca nauče da uporaba energije ovisi od različitih faktora. Ona također nauče da je moguće




**Slika 1 – Shematski profil trase kabela Italija – Grčka**

utjecati na količinu energije koja se koristi. Da bi djeca i prihvatila ove stavove, potrebno ih je poduprijeti i akcijom.

Kroz energetski monitoring, djeca stječu i znanje i pozitivan stav prema efikasnoj uporabi energije. Škole i dječji vrtići, uključeni u ovaj projekt, postigli su stvarnu uštedu energije. Istovremeno djeca i kod kuće primjenjuju nove ideje.

Glavni alat za djelovanje je zidni poster na kojem se prati potrošnja električne energije tijekom godine po vremenskoj jedinici jednog tjedna. Jedanput tjedno u točno određeni dan obavlja se očitanje potrošnje električne energije i upisuje na poster.

Poster je smješten na vidljivom mjestu kako bi energetski problemi bili uočljivi.

Osim postera projekt je razvio i druge alate, kao što su materijali za tečajeve i pomoć osoblju koje obučava, vježbe za djecu školske dobi, stolne energetske igre i priče o vilama za djecu iz vrtića. Brošure o energetskom monitoringu i pripadajuće aktivnosti dostupne su svakom uzrastu.

Programi aktivnosti podijeljeni su prema uzrastu: za djecu iz vrtića i za školsku djecu do 15 godina.

Djeca u vrtićima pomažu očitati brojilo električne energije jedanput tjedno, te zapišu očitanja na poster. Nakon toga se razgovara kako su vrijeme i aktivnosti koje su poduzete prethodnog tjedna utjecale na količinu potrošene električne energije. Ona nauče zašto je energetsku potrošnju potrebno smanjiti i kako ona sama mogu tome doprinijeti svojim ponašanjem u vrtiću i kod kuće.

Uz poster, tu su i knjige s vilinskim pričama o energiji i niz igara nazvanih "stolne energetske igre" koje se koriste kao pomoć pri učenju. Uz to što shvate kako je aktualno smanjenje potrošnje energije u njihovim vrtićima, ona shvate da ona pomažu i zaštiti prirode i kvaliteti života na Zemlji.

Bit koncepta energetskog monitora za osnovne i srednje škole sličan je onom za dječne vrtiće, samo je struktura aktivnosti složenija i ambicioznija. Djeca oba uzrasta odgovorna su za očitavanje potrošnje električne energije.

Kod ovog uzrasta se preferira podjela djece u male grupe koje zajedno s operativnim osobljem (domarom) obavljaju očitavanje. Isto tako domar može očitati potrošnju električne energije i dati podatke djeci koja su odgovorna za upisivanje. Prirodno, energetski monitoring predstavlja početnu točku za učenje o energiji.

Do kraja 2002. godine, približno 700 dječjih vrtića i 700 škola prilagodilo se konceptu energetskog monitoringa. To je oko 10 % svih dječjih vrtića i oko 20 % svih škola u Norveškoj. Ovi podaci se temelje na izvješćima iz dječjih vrtića i škola koje su uključene u energetski monitoring.

Na taj način će se postići cilj da se uštedi 10 % od ukupne električne energije. Ovaj projekt bi se trebao proširiti i na uštede i drugih vrsta energije (u domaćinstvima) te osigurati pozitivan stav mladih prema štednji i efikasnom korištenju energije.

O vrijednosti ovog projekta s aspekta socijalne inovacije najbolje govori osvajanje druge nagrade u 20000. godini – Energy Globe Award 2000.

Energetski monitoring vrijedan je način prenošenja stavova i pridobivanja djece da djeluju u smislu energetske efikasnosti. No, nije on samo inicijativa usmjerena na mlade generacije. Uključivanjem televizije na njegovom promoviranju omogućeno je i odraslima da se educiraju, kao i otvaranjem web stranica.

Prema saznanjima iz praktične primjene ovog projekta u školama, ono što djeca nauče ima dvostruki efekt. Ona su naučila zašto treba reducirati energetsku potrošnju te znaju što se mora učiniti da se to postigne. Još važnije je da djeca znaju da pomažu zaštiti prirode i kvaliteti života na Zemlji. Iz dijagrama u školi djeca nauče razumijevati kako energetska potrošnja varira tijekom godine. Djeca to brzo shvaćaju i kod kuće raspravljaju s roditeljima o problemima prirode i okolišu kao i o budućnosti kao rezultatu štednje energije u domaćinstvima.

*Infopoint Energy Efficiency,* 1/03. March 2003.

SBK

## PORAST POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U SVIM ZEMLJAMA

Godišnja potrošnja kWh po stanovniku i godini:

| Zemlja | Godina 2000. | Godina 2001. |
|---|---|---|
| Norveška | 24860 | 24960 |
| Švedska | 15200 | 15590 |
| Finska | 14600 | 15220 |
| Belgija | 7515 | 7820 |
| Francuska | 6950 | 6970 |
| Austrija | 6470 | 6820 |
| Nizozemska | 6375 | 6480 |
| Danska | 6325 | 6190 |
| Njemačka | 6050 | 6160 |
| V. Britanija | 5690 | 5730 |
| Španjolska | 4945 | 5160 |
| Italija | 4830 | 4950 |
| Portugal | 3770 | 4090 |
| SAD | 12100 | 12220 |

Iz tablice se vidi da je godišnji pad potrošnje električne energije po stanovniku samo u Danskoj. Drugdje se povećava.

*EW,* god. 102(2003), br. 1 – 2

Mrk

## DOBAVA TRANSFORMATORA ABB U SAD

Europsko elektropoduzeće ABB sklopilo je ugovor na 5 godina s američkim poduzećem TVA (Tenessee Valley Authority u SAD) za dobavu, u vrijednosti od 250 milijuna US dolara, s mogućnošću produžetka ugovora. Ugovoreni su transformatori do najviših napona 765 kV. Uz samu narudžbu ugovoreni su i doknadni dijelovi i servis s montažom. Do godine 1999. dobavljali su se samo transformatori do 220 kV.

*EW,* god. 102(2003), br. 1 – 2

Mrk

## OSJETNO POVEĆANJE CIJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE U NJEMAČKOJ

Prema informacijama njemačkog VDEW, cijena električne energije znatno je povećana. Dodatna državna daća potrošača električne energije godine 2003., bez obzira na porez

na dodanu vrijednost, iznosit će 12,6 milijardi eura prema 2,3 miljarde eura u godini 1998., a to znači povećanje oko 5 puta. Najveće su državne daće koje proizlaze iz raznih zaštitnih zakona. Iz priložene tablice može se vidjeti koje će svote država primiti prema kojem od zakona. U usporedbi prema godini 1999. državne su se daće, u svezi s električnom energijom, skoro početverostručile. Izdaci prema zakonu o obnovljivoj energiji povećani su od 0,3 milijarde eura, u godini 1998. na 2,1 miljarde u 2003. godini.

Od države dodatno financijski opterećeni potrošači, po godinama, imaju sve veća davanja. O kojim se vrstama radi, u kojoj se godini radi, može se vidjeti iz priložene tablice. Upada u oči da su ta davanja, u milijardama eura sve veća, što će se naravno, odraziti i na cijenu električne energije.

U tablici su državna davanja (bez poreza na dodanu vrijednost) dana za svaku godinu u milijardama eura.

| | 1998. | 1999. | 2000. | 2001. | 2002. | 2003. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Porez | | 2,9 | 3,48 | 4,21 | 4,95 | 7,05 |
| Koncesije | 2 | 2 | 2,1 | 2,11 | 2,13 | 2,14 |
| Porez po zakonu o energiji | 0,28 | 0,26 | 0,86 | 1,18 | 1,68 | 2,1 |
| Zakon toplina-snaga | | | 0,61 | 0,49 | 0,68 | 0,69 |
| Suma | 2,28 | 5,16 | 7,05 | 8,49 | 9,44 | 12,58 |
| Povećanje u % prema 1998. | | 91 | 209 | 272 | 314 | 452 |

*EW,* god. 102 (2003), br. 3

Mrk

## VJETROELEKTRANE SNAGE IZNAD 3 MW

Prva vjetroelektrana snage od 3,6 MW stavljena je u pogon od tvrtke CE Wind Energy. Postrojenje je izgrađeno u Castilla la Mancha u Španjolskoj, kao prototip.

Nakon niza test pogona, postrojenje je spojeno s javnom električnom mrežom, gdje je uspješno proizvodilo električnu energiju.

Postrojenje nazvano GE-3,6-MW, posebno je građeno za montažu uz morsku obalu. Odabrana je lokacija 230 km jugoistočno od Madrida.

Nivo 3,6 MW postrojenje predstavlja napredak u takvim vjetroelektranama sa svojom već patentiranom regulacijom snage.

Nakon uspješne test faze, proizvođači namjeravaju godine 2004. postrojenje komercijalno koristiti.

*EW,* god.102 (2003), br. 3

Mrk

## GODINA 2002, VRLO DOBRA GODINA ZA BRANŠU VJETROELEKTRANA

Za branšu iz područja vjetroelektrana godina 2002. bila je naročito dobra. Novo je instalirano 2928 postrojenja sa snagom od 3217 MW. Prema prethodnoj godini, to je povećanje od 22 %. Koncem 2002. godine u Njemačkoj je bilo 13759 postrojenja, ukupno instalirane snage od oko 12000 MW.

To je dovelo do povećanja ukupne proizvodnje od 3 % u godini 2000. na 4,1 %.

*EW,* god. 102(2003), br. 4

Mrk

## MANJI GUBICI PRI PRIJENOSU ELEKTRIČNE ENERGIJE

Daje se pregled kretanja postotnih gubitaka u prijenosnoj mreži Njemačke u razdoblju od 1950 – 2000. godine. Ostvareni su gubici u prijenosnoj mreži Njemačke u 2000. godini bili 4,3% od potrošnje električne energije. Time je ostvareno upolovljenje postotnih gubitaka u mreži istočne Njemačke, a u mreži zapadne Njemačke gubici su smanjeni za 0,4 postotna poena u odnosu prema stanju 1990. godine.

K tome, u međuregionalnoj mreži Njemačke (to je pretežni dio njemačke mreže 110 kV; u prijenosnu mrežu se tamo ubraja mreža 400 i 220 kV i manji dio mreže 110 kV) gubici su okruglo 1% od isporuke električne energije, u srednjonaponskoj mreži još otprilike 2% i u lokalnoj distribucijskoj mreži okruglo 5% od potrošnje električne energije.

Učinkovitost njemačkih mreža poboljšavana je (za nas posve nedostupnim) visokim investicijama. Od 1990. godine do 2000. godine ulagano je godišnje od 2,5 do 4 milijarde eura (to je u tih deset godina jedan i pol puta godišnji ukupni bruto domaći proizvod Hrvatske! – *opaska MK*) za dogradnje i rekonstrukcije u mrežama. U tom razdoblju, to je činilo dobru polovinu svih investicija u mreže (66 milijarda eura).

**Udjel gubitaka u prijenosnoj mreži u potrošnji električne energije Njemačke (%)**

| Godina | Zap. Njemačka | Ist. Njemačka | Ukupno Njemačka |
|---|---|---|---|
| 1950. | 14,1 | | |
| 1960. | 8,3 | | |
| 1970. | 6,4 | | |
| 1980. | 5,4 | | |
| 1990. | 4,7 | 8,2 | |
| 2000. | | | 4,3 |

www.strom.de/22. 7. 2002.

MK

## RAST GOSDPODARSTVA I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Rast gospodarstva u Njemačkoj je u razdoblju od 1991. – 2001. godine bio brži od rasta potošnje električne energije. Dok je u tom razdoblju realni bruto domaći proizvod rastao po pros-

ječnoj godišnjoj stopi od 1,5% dotle je potrošnja električne energije rasla po prosječnoj godišnjoj stopi od 0,7%. U pedesetim godinama (1950-1960), omjer je bio obrnut: uz rast bruto domaćeg proizvoda od 8,2% ostvarivan je rast potrošnje električne energije od 10%. Od početka osamdesetih godina, taj se omjer obrnuo.

**Prosječni godišnji rast u Njemačkoj (%)**

| Razdoblje | Rast realnog BDP | Rast potrošnje el. energije |
|---|---|---|
| 1950. – 1960. | +8,2 | +10,0 |
| 1960. – 1970. | +4,4 | +7,4 |
| 1970. – 1980. | +2,7 | +4,1 |
| 1980. – 1990. | +2,3 | +1,8 |
| 1991. – 2001.* | +1,5 | +0,7 |

*Do 1990. godine samo Zapadna Njemačka, od 1991. godine Njemačka.

www.strom.de/5. 8. 2002.

MK

## SVIJET: 17 POSTO ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ HIDROELEKTRANA

U svijetu je 2001. godine udjel električne energije proizvedene u hidroelektranama, te najznačajnije obnovljive energije, bio 17 posto u ukupnoj proizvodnji električne energije. Najveći proizvođač je Kanada s 331 teravatsat električne energije prizvedene u hidroelektranama, slijede Brazil (271) i Kina (257). Najveći udjel hidroelektrana u nacionalnoj proizvodnji električne energije ostvarila je Norveška (99%), slijede Brazil (83%) i Austrija (70%).

**Proizvodnja električne energije u hidroelektranama i udjel u nacionalnoj proizvodnji električne energije u 2001. godini**

| Zemlja | Proizvodnja u HE (TWh) | Udjel (%) |
|---|---|---|
| Norveška | 121 | 99 |
| Brazil | 271 | 83 |
| Austrija | 44 | 70 |
| Kanada | 331 | 57 |
| Švedska | 79 | 49 |
| Rusija | 176 | 20 |
| Kina | 257 | 17 |
| Francuska | 80 | 15 |
| Indija | 71 | 13 |
| Japan | 90 | 8 |
| SAD | 213 | 5 |
| Njemačka | 26 | 5 |
| Svijet | 2627 | 17 |

www.strom.de/24. 3. 2003.

MK

## POVEĆANJE UČINKOVITOSTI ELEKTRANA U NJEMAČKOJ

Elektroprivreda Njemačke kontinuirano povećava učinkovitost svojih elektrana; prosječni stupanj djelovanja današnjih termoelektrana na fosilna goriva narastao je na 36%, dok je 1950. godine bio samo 20%. Moderne elektrane na smeđi ugljen, kameni ugljen ili plinsko-parne elektrane ostvaruju stupanj djelovanja veći od 43%. Mogući je stupanj djelovanja plinsko-parnih elektrana do 60%.

**Prosječni stupanj djelovanja termoelektrana na fosilna goriva u Njemačkoj (%)**

| Godina | Zap. Njemačka | Ist. Njemačka | Ukupno Njemačka |
|---|---|---|---|
| 1950. | 20 | | |
| 1960. | 28 | | |
| 1970. | 33 | | |
| 1980. | 35 | | |
| 1990. | 35 | 30 | 34 |
| 2000. | | | 36 |

www.strom.de/14. 10. 2002.

MK

## DRŽAVA OPTEREĆUJE SVE VIŠE RAČUN ZA ELEKTRIČNU ENERGIJU U NJEMAČKOJ

Prosječni mjesečni račun tijekom 2003. godine za električnu energiju za tročlano kućanstvo koje troši godišnje 3500 kWh, predviđa se, iznosit će okruglo 50 eura. To je spram 2002. godine više za oko 6 posto. U tome, neznatno je povećanje koje će ubrati elektroprivreda (proizvodnja, prijenos i distribucija) a većina povećanja odnosi se na davanja koja svojim propisima određuje država. Ta će opterećenja u 2003. godini narasti na udjel od 41% u računu za električnu energiju spomenutog kućanstva.

**Mjesečni račun za električnu energiju troočlanog kućanstva koje troši 3500 kwh godišnje u Njemačkoj (euro/mjes.)**

| Element računa | 2002. | 2003. |
|---|---|---|
| Proizvodnja, prijenos i distribucija | 28,29 | 29,75 |
| Naknada za koncesiju | 5,22 | 5,22 |
| Zaštita spojenog procesa | 0,76 | 0,91 |
| Poticanje obnovljivih izvora | 1,02 | 1,28 |
| Porez na električnu energiju | 5,22 | 5,97 |
| Porez na dodanu vrijednost (16% na zbroj) | 6,48 | 6,91 |
| **Mjesečni račun, sveukupno** | **46,99** | **50,04** |

www.strom.de/25. 11. 2002.

MK

## TRŽIŠNA UTAKMICA "KOŠTA" RADNIH MJESTA U ELEKTROPRIVREDI NJEMAČKE

Produktivnost njemačke elektroprivrede značajno je povećana, naročito u razdoblju od uvođenja tržišne utakmice. Za gotovo po deset tisuća zaposlenika smanjivao se njihov godišnji broj u njemačkoj elektroprivredi, tako da je produktivnost s oko 2 GWh po zaposleniku godišnje (1991.) porasla na više od 3 GWh po zaposleniku (2001.). Omjer radnika i službenika smanjio se na štetu radnika, dok je početkom devedesetih taj omjer bio 48%:52%, početkom dvijetisućitih taj je omjer 40%:60%.

**Broj zaposlenika i omjer radnici: službenici u elektroprivredi Njemačke**

| Godina | Zaposlenici | Radnici (%) | Službenici (%) |
|---|---|---|---|
| 1993. | 190450 | 48 | 52 |
| 1994. | 185750 | 47 | 53 |
| 1996. | 171900 | 45 | 55 |
| 1997. | 166300 | 45 | 55 |
| 1998. | 157950 | 44 | 56 |
| 1999. | 148750 | 44 | 56 |
| 2000. | 129800 | 43 | 57 |
| 2001. | 130350 | 40 | 60 |

www.strom.de/5. 11. 2002.

MK

*Energija*

Godište 52 (2003) Br. 4

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

ENERGIJA 1442

UDK 620.91:622.99
PREGLEDNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/4, 285 – 294

## SUIZGARANJE SEKUNDARNOG GORIVA S FOSILNIM GORIVIMA RADI PROIZVODNJE TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE

*Vedran Uran, dipl. ing.*
"CASE" d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Hrvatska

Od pojave naftnih kriza u postojećim sc kogeneracijskim sustavima pojedinih industrijski razvijenih zemalja jedna količina fosilnih goriva počela zamjenjivati količinama otpada različitog podrijetla. Pri tome su razvijene različite tehnologije suizgaranja tog otpada ili sekundarnog goriva sa fosilnim gorivima. U radu su opisane koncepcije izravnog i neizravnog suizgaranja, njihove prednosti i nedostaci te pregled tehno-ekonomskih i ekoloških karakteristika tih koncepcija. Isto tako su prikazane mogućnosti primjene odabranih koncepcija suizgaranja sekundarnih goriva sa fosilnim gorivima u Hrvatskoj.

(Lit. 7, sl. 8 – original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/4/285 – 294/2003.

ENERGIJA 1443

UDK 621.319.5:621.39
PREGLEDNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/4, 295 – 303

## SUPERKONDENZATORI

*Dr. sc. Dušan Vujević, dipl. ing.*
Cankarova 2a, 10000 Zagreb, Hrvatska

Superkondenzatori, ultrakondenzatori ili elektrokemijski kondenzatori su nazivi za kondenzatore čiji kapaciteti dosižu, do sada nezamislivih, stotine pa i tisuće farada. Rabe se u mnogim uređajima i sustavima kao što su: hibridna električna i druga vozila, uređaji za napajanje pri kratkotrajnom nestanku napona električne mreže, dlanovnici (palmtop computor), mobiteli, digitalne kamere itd., za pohranu električne energije

(Lit. 7, sl. 13 – original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/4/295 – 303/2003.

ENERGIJA 1444

UDK 620.95:621.311
PREGLEDNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/4, 275 – 283

## BIOMASA NA DANAŠNJEM TRŽIŠTU ELEKTRIČNE ENERGIJE: PRIKAZ STANJA I MOGUĆNOSTI

*Mr. sc. Velimir Šegon, dipl. ing. – mr. sc. Julije Domac, dipl. ing.*
Energetski institut "Hrvoje Požar", Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

U članku su prikazane tehnologije za proizvodnju električne energije iz biomase, udio biomase u proizvodnji električne energije za zemlje OECD-a i Europsku uniju te stanje i mogućnosti korištenja biomase u Hrvatskoj. Dan je pregled projekata rasplinjavanja bimase kao jedne od tehnologija od kojih se u budućnosti najviše očekuje. Zaključeno je da su stvarna uloga biomase i mogućnosti njenog korištenja nedovoljno poznati i često pogrešno interpretirani.

(Lit. 8, sl. 6 – original na hrvatskom jeziku)

Autori
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/4/275 – 283/2003.

ENERGIJA 1444 UDK 620.95:621.311

1. Biomasa na današnjem tržištu električne energije: prikaz stanja i mogućnosti
*I.* *Šegon, V. – Domac, J.*
II. Energetski institut "Hrvoje Požar", Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Biomasa*
*Električna energija*
*Energetska politika*
*Obnovljivi izvori*
*Tržište*

ENERGIJA 1443 UDK 621.319.5:621.39

1. Superkondenzatori
*I.* *Vujević, D.*
II. Cankarova 2a, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Superkondenzator*
*Ultrakondenzator*
*Elektrokemijski dvoslojni kondenzator*
*Dvoslojni kondenzator*

ENERGIJA 1442 UDK 620.91:622.99

1. Suizgaranje sekundarnog goriva s fosilnim gorivima radi proizvodnje toplinske i električne energije
*I.* *Uran, V.*
II. "CASE" d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Hrvatska

*Fosilna goriva*
*Sekundarno gorivo*
*Suizgaranje*

*Energija*

Godište 52 (2003) Br. 4

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

ENERGIJA 1445

UDK 338.24:620.9
PREGLEDNI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/4, 265 – 274

## RAZVOJ (DE)REGULACIJE I PREPORUKE ZA TRANZICIJSKA GOSPODARSTVA

*Mr. sc. Darko Dvornik, dipl. ing.*
Vijeće za telekomunikacije, Jurišićeva 13, 10000 Zagreb, Hrvatska

Ne postoje univerzalna pravila za rješavanje problema neefikasne tržišne regulacije. Imajući na umu da primarni cilj regulacije nije regulatorna agencija ***per se*** već konkurentno tržište, moguće je uz prilagodbu niza elemenata šireg regulatornog okvira ostvariti bolje performanse u sektoru, što je posebice bitno u početnom stadiju djelovanja regulatorne agencije.
U članku se daje povijesni pregled razvoja i (de)regulacije elektroenergetskog i telekomunikacijskog tržišta. Potom se diskutira o ekonomskim aspektima monopolističkog uređivanja u ove dvije industrije, te se obrazlažu razlozi ponovne regulacije tržišta ovih industrija. Naposljetku se prikazuju temeljna načela uspješne (de)regulacije i odgovarajući paket preporuka za tranzicijske zemlje.
(Lit. 10, sl. – – original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/4/265 –274/2003.

ENERGIJA 1446

UDK 621.3.083.7:651.398.052
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

ENERGIJA 52/2003/4, 251 – 264

## UTJECAJ KVALITETE PLC MEDIJA NA KAPACITET SUSTAVA AUTOMATSKOG OČITAVANJA BROJILA

*Mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.*
HEP Prijenos d.o.o., Prijenosno područje Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

Daje se analiza utjecaja kvalitete električne dsitribucijske mreže kao prijenosnog medija za komunikacijske signale (PLC, engl. Power Line Carrier) na kapacitet očitavanja u sustavu automatskog očitavanja brojila (AMR, engl. Automatic Meter Reading). Određuje se faktor vremenskog produljenja jednog prosječnog očitavanja brojila u ovisnosti o vjerojatnosti pogreške u prijenosu poruke, koja je najlakše mjerljiva veličina za opisivanje prijenosnih karakteristika PLC medija. U posljednjem dijelu člaka daje se pregled drugih važnih klasičnih primjena s uskopojasnim komuniciranje kroz PLC medij.
(Lit. 17, sl. 1 – original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/4/251 –264/2003.

ENERGIJA 1446

UDK 621.3.083.7:651.398.052

1. Utjecaj kvalitete PLC medija na kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila

*I.* *Sabolić, D.*.

II. HEP Prijenos d.o.o., Prijenosno područje Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

*PLC*

*Kvaliteta prijenosa*

*Komunikacija*

*Kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila*

ENERGIJA 1445

UDK 338.24:620.9

1. Razvoj (de)regulacije i preporuke za tranzicijska gospodarstva

*I.* *Dvornik, D.*

II. Vijeće za telekomunikacije, Jurišićeva 13, 10000 Zagreb, Hrvatska

*(De)regulacija*

*Tranzicijska gospodarstva*

*Energija*

Volume 52 (2003) Nº 4

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

ENERGIJA 1442

UDK 620.91:622.99
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/4, 285 – 294

## COMBUSTION OF SECODARY AND FOSSIL FUEL FOR THE PRODUCTION OF HEAT AND ELECTRIC ENERGY

*Vedran Uran, B. Sc.*

"CASE" d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Croatia

After the oil crisis some of the existing cogeneration plants in developed industrial countries changed a certain quantity of fossil fuels for waste from different sources. Thereby different combustion technologies of waste or secondary fuel together with fossil fuels are developed. In the work a concept of direct and indirect combustion is described together with their advantages and disadvantages, as well as a review on technical-economic and ecological characteristics of those concepts. Application possibilities of chosen secondary and fossil fuel combustion concepts for Croatia are also given.

(No. of References: 7, Fig.: 8 – original in Croatian)

*Author*

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/4/285 –294/2003.

ENERGIJA 1443

UDK 621.319.5:621.39
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/4, 295 – 303

## SUPERCAPACITORS

*Dušan Vujević, D. Sc.*

Cankarova 2a, 10000 Zagreb, Croatia

Supercapacitors, ultracapacitors or electrical-chemical capacitors are the names for capacitors whose capacity reaches, incredibly, hundreds and even thousands Farads. They are used in many appliances and systems like hybrid electric and other vehicles, supply equipment for short-term voltage interruption in electrical network, palmtop computers, mobiles, digital cameras etc. for electric energy accumulation.

(No. of References: 7, Fig.: 13 – original in Croatian)

*Author*

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/4/295 – 303/2003.

ENERGIJA 1444

UDK 620.95:621.311
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/4, 275 – 283

## BIOMASS ON TODAYS' ELECTRIC ENERGY MARKET: REVIEW AND POSSIBILITIES

*Velimir Šegon, M. Sc. – Julije Domac, M. Sc.*

Energetski institut "Hrvoje Požar", Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Croatia

In the paper technologies for electric energy production from biomass are given as well as biomass share in the electric energy production of OECD countries, European Union and possibilities of biomass usage in Croatia. A review on biomass gasification projects as one of the most promising technologies in the future is also given. It is concluded that the role and possibilities of biomass usage are often unknown and wrongly interpreted.

(No. of References: 8, Fig.: 6 – original in Croatian)

*Authors*

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/4/275 – 283/2003.

ENERGIJA 1444 UDK 620.95:621.311

1. Biomass on Today's Electric Energy Market: Review and Possibilities
*I.* *Šegon, V. – Domac, J.*
II. Energetski institut "Hrvoje Požar", Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Croatia

*Biomass*
*Electric Energy*
*Electric Energy Market*
*Renewable Energy Sources*
*Market*

ENERGIJA 1443 UDK 621.319.5:621.39

1. Supercapacitors
*I.* *Vujević, D.*
II. Cankarova 2a, 10000 Zagreb, Croatia

*Supercapacitor*
*Ultracapacitor*
*Electrical-chemical Double-layer Capacitor*
*Double-layer Capacitor*

ENERGIJA 1442 UDK 620.91:622.99

1. Combustion of Secondary and Fossil Fuel for the Production of Heat and Electric Energy
*I.* *Uran, V.*
II. "CASE" d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Croatia

*Fossil Fuels*
*Secondary Fuel*
*Combustion*

*Energija*

Volume 52 (2003) № 4

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

ENERGIJA 1445

UDK 338.24:620.9
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/4, 265 – 274

## (DE)REGULATION DEVELOPMENT AND RECOMMENDATIONS FOR COUNTRIES IN TRANSITION

*Darko Dvornik, M. Sc.*

Vijeće za telekomunikacije, Jurišićeva 13, 10000 Zagreb, Croatia

There are no common rules for resolving problems of inefficient market regulation. Having in mind that the regulation goal is not regulatory agency **per se** but a competitive market, it is possible by adaptation of many elements of the regulatory frame to realize better performances of the sector, which is extremely important at the beginning of the regulatory agency work.
In the paper historical aspect of development and (de)regulation of electric power and telecommunication market is given. Economic aspects of monopoly arrangements in those two industries are discussed and reasons for new market regulation of these industries are given. At the end basic principles of successful (de)regulation are given as well as corresponding recommendation package for transient countries.

(No. of References: 10, Fig.: – – original in Croatian)

*Author*
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/4/265 – 274/2003.

ENERGIJA 1446

UDK 621.3.083.7:651.398.052
ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER

ENERGIJA 52/2003/4, 251 – 264

## INFLUENCE OF PLC MEDIA QUALITY ON THE CAPACITY OF AUTOMATIC METER READING SYSTEM

*Dubravko Sabolić, M. Sc.*

HEP Prijenos d.o.o., Prijenosno područje Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia

Electric distribution network quality influence as transmission media for communication signals (PLC-Power Line Carrier) on the capacity of automatic meter reading system (AMR – Automatic Meter Reading) is analyzed. The factor of time prolongation for one average meter reading depending on failure probability in transmission message, i.e. the easiest measurable value for transmission characteristics of PLC media, is determined. The final part of the paper brings a review on other important classical examples of narrow-range communication through PLC media.

(No. of References: 17, Fig.: 1 – original in Croatian)

*Author*
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/4/251 – 264/2003.

ENERGIJA 1446 UDK 621.3.083.7:651.398.052

1. Influence of PLC Media Quality On the Automatic Meter Reading System Capacity

*I. Sabolić, D.*

II. HEP Prijenos d.o.o., Prijenosno područje Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia

*PLC*

*Transmission Quality*

*Communication*

*Automatic Meter Reading System Quality*

ENERGIJA 1445 UDK 338.24:620.9

1. (De)Regulation Development and Recommendations for Countries in Transition

*I. Dvornik, D.*

II. Vijeće za telekomunikacije, Jurišićeva 13, 10000 Zagreb, Croatia

*(De)regulation*

*Transition Economies*

UDK 621.31

ENJAAC 52 (5) – (2003) – 311 – 406

ISSN 0013-7448

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

# energija

Godište 52 (2003) Zagreb 2003 Br. 5

*IZDAVAČ – PUBLISHER*

Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

*ZA IZDAVAČA*

Ivo Čović, dipl. ing.

*POMOĆ U IZDAVANJU*

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

*UREĐIVAČKI SAVJET – THE PUBLISHING COUNCIL*

Mr. sc. Branko *Grgić,* dipl. ing. (predsjednik), HEP Split – Adrijano *Fišer,* dipl. ing., HEP Rijeka – Marijan *Kalea,* dipl. ing., HEP Osijek – Damir *Karavidović,* dipl. ing., HEP Osijek – mr. sc. Mladen *Mandić,* dipl. oec., HEP Zagreb – dr. sc. Vladimir *Mikuličić,* dipl. ing., FER Zagreb – dr. sc. Niko *Malbaša,* dipl. ing., Ekonerg, Zagreb

*UREDNIČKI ODBOR – EDITORIAL BOARD*

Glavni urednik – Editor-in-chief: dr. sc. Zorko *Cvetković,* dipl. inž.
Urednik – Editor: Zdenka *Jelić,* prof.
Lektor: Šime *Čagalj,* prof.

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica grada Vukovara 37

Telefoni 6322-641 i 6322-083, telefax 6170-438

**Godišnje izlazi 6 brojeva.** Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300,00 kn, a za poduzeća i ustanove 480,00 kn (za studente 70,00 kn).

Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00 kn.

Za inozemstvo $ 95 godišnje.

Žiro računi kod ZAP, Zagreb – Hrvatska elektroprivreda (za "Energiju") broj 30101-604-495

Tisak: TIVA – Tiskara Varaždin

Naklada 1000 primjeraka

**SADRŽAJ**

*Santica I.*: Deset podmorskih trasa – sto kilometara podmorskog kabela 35 kV – deset godina pogonske eksploatacije podmorskog dijela programa "Jadranski otoci 35 kV"; iskustva i prijedlozi (Stručni članak). . . . 313 – 319

*Dizdarević N. – Majstrović M. – Žutobradić S.*: Distribuirana proizvodnja električne energije (Pregledni članak) . . . 321 – 339

*Kolega V.*: Važnost donošenja standarda energetske efikasnosti radi povećanja nacionalnih energetskih ušteda (Pregledni članak) . . . . . 341 – 351

*Vilenica E.*: Proračun pokazatelja pouzdanosti tehničkih sustava upotrebom Markovljeva procesa (Stručni članak) . . . . . 353 – 362

*Mateković I.*: Primjena uređaja za zaštitu od prenapona u električnim instalacijama (Pregledni rad) . . . . . 363 – 373

*Javornik Vončina S.*: Prikaz stanja normizacije i regulative vezane uz komuniciranje elektroenergetskim vodovima, PLC – II. dio: Regulativa PLC-a (Pregledni članak) . 375 – 392

**Vijesti iz elektroprivrede i okruženja**. . . . . 393 – 401

**Iz strane stručne literature** . . . . . 402 – 405

Fotografije na omotu:

**PANORAMA I DETALJI TE-TO ZAGREB**

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete – Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992.

Redakcija završena 2003 – 09 – 04

# Upute autorima

U "Energiji" smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa "stari" autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo "zaboravljive".

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda "Energiji", više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično "presude" recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica - SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   - **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   - **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
   - **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   - **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.

   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u "Energiji" prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu - svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm - 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članka:

**IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK** (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom svhvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:

- ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor.
- ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

**PRETHODNO PRIOPĆENJE** (prethodno sporočilo, prethodno saopštenje, preliminary communication, Vorlaufige Mitteliung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

**PREGLEDNI ČLANAK** (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

**STRUČNI ČLANAK** (strokovno delo, stručna rabota, professional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođavanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.


# energija

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su:

Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Générale de l'électricité, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

**UREDNIŠTVO**

# DESET PODMORSKIH TRASA – STO KILOMETARA PODMORSKOG KABELA 35 kV – DESET GODINA POGONSKE EKSPLOATACIJE PODMORSKOG DIJELA PROGRAMA "JADRANSKI OTOCI 35 kV"; ISKUSTVA I PRIJEDLOZI

Ivo S a n t i c a, Split

UDK 621.315.2 : 621.395.386
STRUČNI ČLANAK

Skoro deset godina eksploatacije objekata HEP-ovog programa "Jadranski otoci 35 kV" obvezuje na kratak stručni osvrt. Ovim člankom pokušat će se sistematizirati iskustva najspecifičnijeg dijela programa, a to su podmorski kabeli. U ovaj dio uloženo je približno sto milijuna kuna. Sto kilometara podmorskog kabela položeno je na deset različitih dionica od otoka Lošinja do otoka Mljeta. U samo godinu dana napravljeni su pripremno istraživački radovi, ishođene lokacijske i građevinske dozvole, projektirane trase, odabran proizvođač i položeni kabeli. Timski vođena, grupa HEP-ovih specijaliziranih stručnjaka, obavila je ovaj zadatak u zadanom roku.

Koliko vješto i uspješno pokušat će se odgovoriti s ove vremenske distance.

**Ključne riječi: podmorski kabel, priobalna zaštita, znak zabrane sidrenja.**

## 1. UVOD

Programom "Jadranski otoci 35 kV" obuhvaćena je izgradnja niza elektroenergetskih objekata srednjeg napona na prostoru između otoka Lošinja na sjeveru i otoka Mljeta na jugu Hrvatskog priobalja.

Osnova izgradnje je povezivanje novopredviđenih TS 35/10(20) kV na postojeći elektroenergetski sustav, zamjena dotrajalih i oštećenih postojećih podmorskih veza, te djelomična uspostava novih veza unutar postojećeg sustava.

Programom je položeno 100 km podmorskog kabela i 75 km podzemnog kabela (3x1x75 km), izgrađeno je pet TS 35/10(20) kV, tri TS 10(20)/0,4 kV te rekonstruirani pripadajući objekt postojeće mreže za prihvat novih veza.

Jadranski otoci, u teritorijalnom i gospodarskom smislu, značajni su dio Republike Hrvatske. Obala i 1185 otoka daju obalnu crtu od 5000 km (znači svaki stanovnik Hrvatske baštini više od 1 m obale). Međutim teritorijalni doprinos otoka veći je nego demografski, a čemu je djelomično uzrok i nerazvijenost infrastrukture.

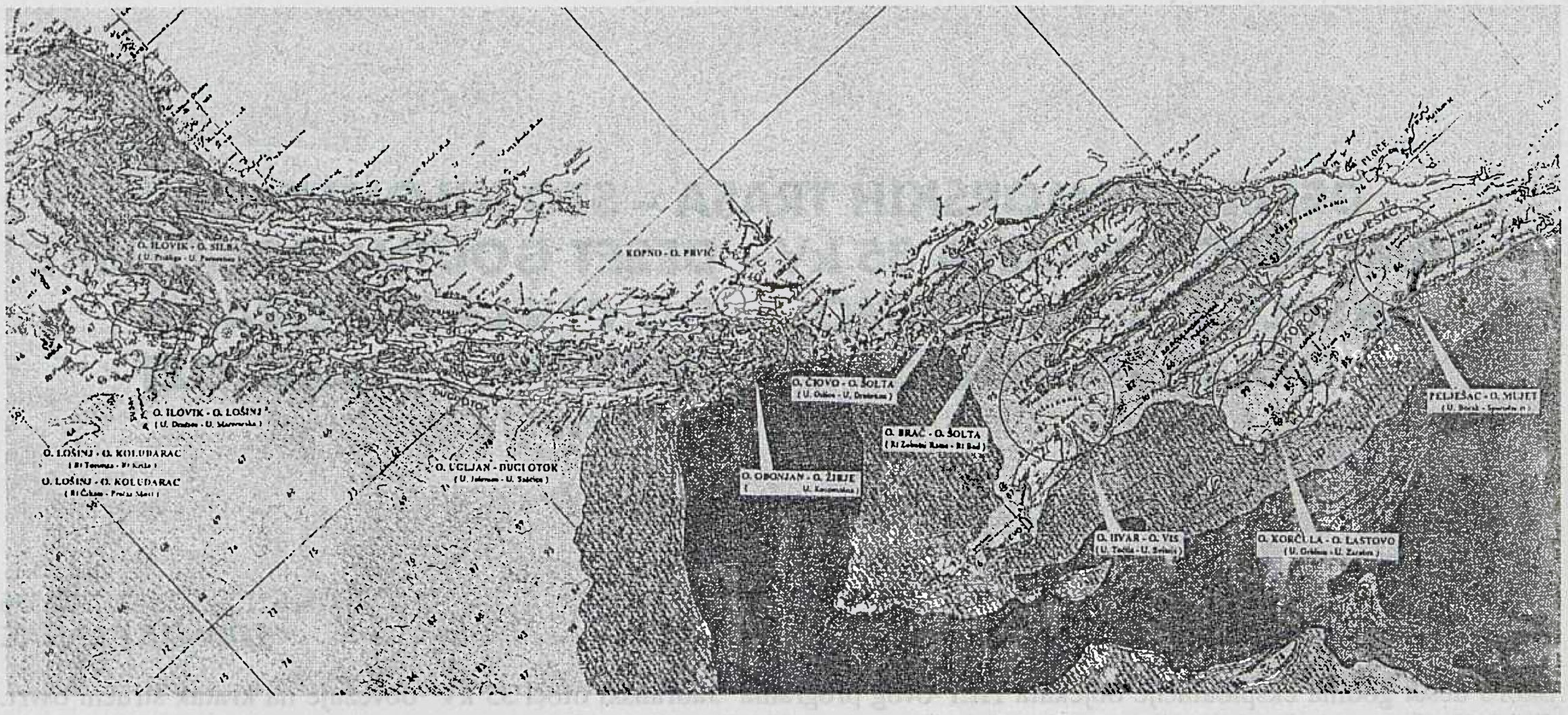
Ovako značajnu lokalnu investiciju jednoglasno je podržala cijela Hrvatska elektroprivreda. Iz tog razloga posebno priznanje pripada kontinentalnom dijelu Hrvatske na svesrdnoj podršci i razumijevanju. Program se počeo ostvarivati 1994. godine, znači još u ratnim godinama. U tom specifičnom vremenu, osim gospodarskih i elektroenergetskih pokazatelja, bilo potrebno jedinstveno mišljenje i moralna podrška.

Stručno vođenje, pripremu, projektiranje, ispomoć na polaganju te ispitivanje kabela, obavili su stručnjaci HEP-a. Kod podmorskih kabelskih dionica kao najdelikatnijeg dijela programa, sve faze uključujući i polaganje kabela, napravljene su u godinu dana. Dugogodišnje stjecano iskustvo i stručnost bili su nužan preduvjet za ostvarenje ovako zahtjevnog programa u veoma kratkom vremenu. Prkos ratnoj agresiji bio je poseban motiv, a vizija obnove života i turizma koji slijedi u poraću, neiscrpno nadahnuće.

## 2. DESET PODMORSKIH TRASA

Nazivi podmorskih trasa obilježeni su imenima otoka, koje povezuju elektroenergetski kabeli:

- pol. Pelješac – o. Mljet
- o. Korčula – o. Lastovo
- o. Hvar – o. Vis
- o. Čiovo – o. Šolta
- o. Šolta – o. Brač
- o. Obonjan – o. Žirje
- o. Ugljan – o. Dugi otok
- o. Ilovik – o. Silba
- o. Ilovik – o. Lošinj
- o. Lošinj – o. Koludarac, o. Koludarac – o. Lošinj.




**Slika 1. "Jadranski otoci 35 kV" – lokacije podmorskih trasa**

## 3. STO KM PODMORSKOG KABELA

### 3.1. Izbor vrste i tipa podmorskog kabela

Presjek kabela bio je neupitan. U energetskom pogledu njegove prijenosne mogućnosti trebale su predstavljati kontinuitet u odnosu na već tipizirane presjeke zračnih i podzemnih vodova 35 kV.

Za neosporno znatno teže uvjete podmorskog polaganja, pogotovo s obzirom na vlačne sile, bakar ima povoljnija mehanička i električna svojstva od aluminija.

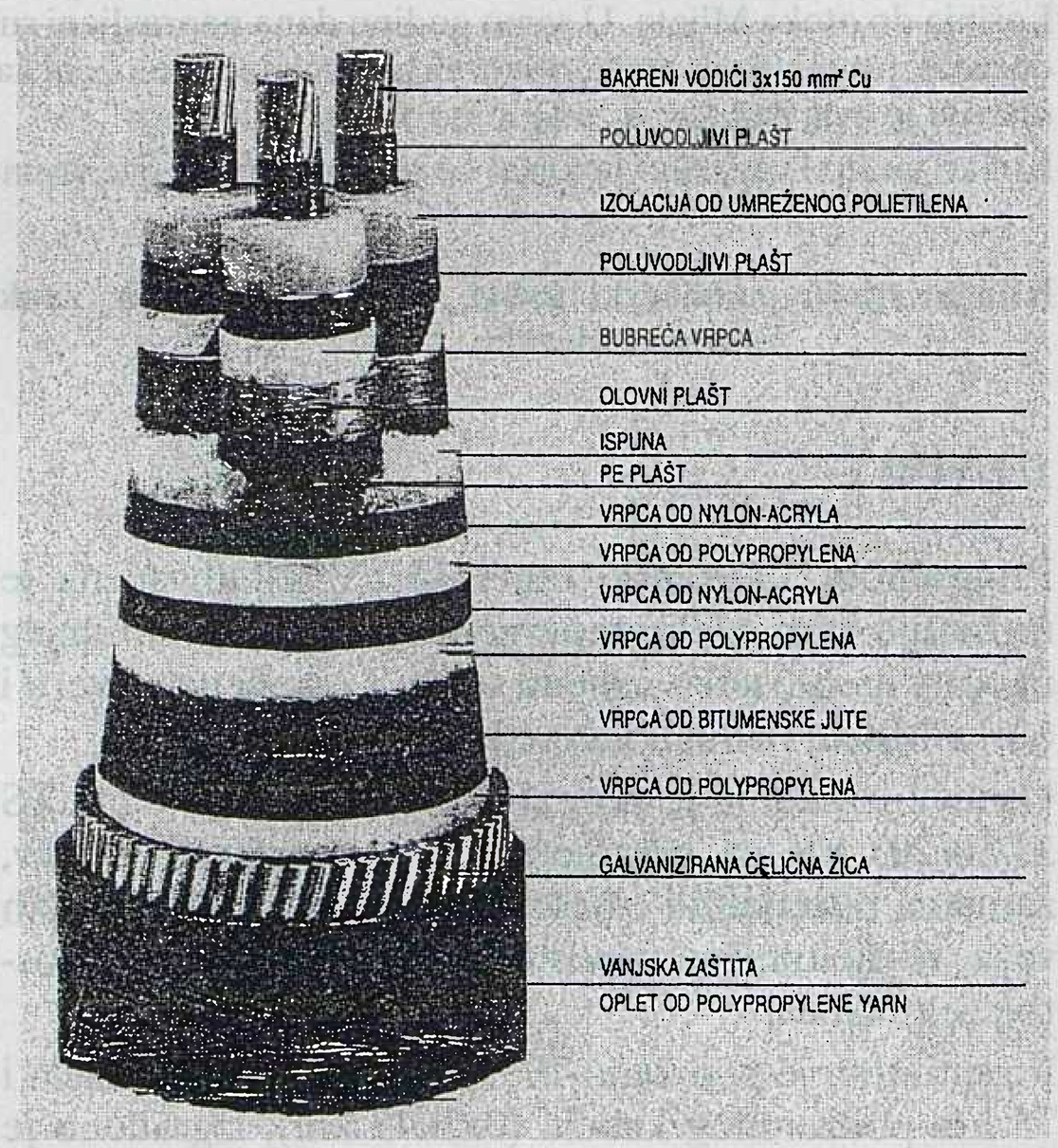
Uz dielektrične i mehaničke uvjete kod svih energetskih kabela, najvažniji zahtjev je dugotrajnost. Izvanredna električna i mehanička svojstva XLPE (umreženi polietilen) čine iznimno pogodnim izolacijskim materijalom.

Trožilna ili jednožilna izvedba? Iskustva na jednoj od posljednjih položenih podmorskih veza 35 kV Podgora – o. Hvar, ostvarenoj s tri jednožilna kabela, prilično su negativna. Česti kvarovi i popravci doveli su u konačnici do napuštanja ove veze. Potrebno je istaknuti da ova veza nikad nije bila podvrgnuta analizi o stvarnim uzrocima kvarova i kvaliteti radova na popravcima.

Potrebna mehanička "robusnost" veze, uži kabelski koridori, a time i manja ugroza podmorskog okoliša te niz drugih razloga, uvjetovali su trožilnu izvedbu.

Zapravo, najveća dilema bila je izbor izvedbe poprečne vodonepropusnosti kabela.

Da li zahtijevati olovni plašt oko svake kabelske žile kao obvezu ili ne? Prevladalo je mišljenje da olovni plašt bude obveza, čime je dana podrška stavu stručnog rukovodstva tima. Olovni plašt ima dvostruku ulogu; elektroekrana i metalnog štita za poprečnu zaštitu od prodora vode. U konkretnom slučaju olovo značajno pridonosi i ukupnoj težini kabela. Ostali slojevi kabelske konstrukcije, uključujući i zaštitu od uzdužnog pro-




**Slika 2. Podmorski kabel tip FXBTV proizvodnje ABB**

dora vode, dio su zahtjeva, a dio propisane i proizvodne klasike.

Odabrani tip kabela je: FXBTV 3 x 150 mm² Cu, proizvodnje ABB.

### 3.2. Izbor tipa priobalne zaštite

Priobalna zaštita je najznačajniji građevinski zahvat na podmorskoj kabelskoj trasi. Poznato je da se kabel slobodno polaže po dnu, a u priobalju se štiti od mehaničkih oštećenja priobalnom zaštitom. Ovo je opravdano uvriježena praksa HEP-a, iako, postoji mogućnost djelomičnog ukopa kabela ili ukopa cijele trase, naravno uz znatno veće troškove.

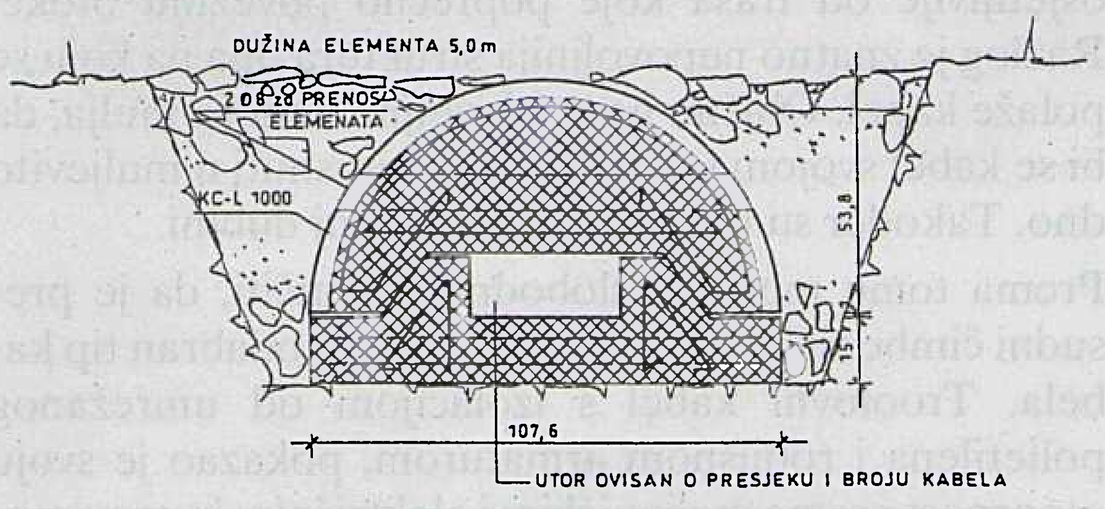
Uzrok mehaničkih oštećenja kabela u priobalju može biti raznolik. Ipak, oštećenja su najčešće posljedica erozivnog i razornog djelovanja morskih valova. Imajući u vidu sve moguće uzroke ošećenja, a i spoznaju da se podmorske instalacije polažu za dugi rok trajanja, običava se izvedbu priobalne zaštite uvjetovati trajnošću od najmanje 50 godina.

Veoma kratki zadani rok za realizaciju podmorskog dijela programa "Jadranski otoci 35 kV", donekle je onemogućio detaljniju analizu, temeljem čega bi se izvršio izbor najprihvatljivijeg tipa priobalne zaštite. Zbog toga je ona odabrana prema spoznajama i iskustvima na već dotad primijenjenim zaštitama. Najprihvatljiviji tip pokazala se izvedba primijenjena kod podmorskog kabela 35 kV "Podgora – o. Hvar". Zaštita je ovdje predviđena s dvodijelnim betonskim elementima, postalvjenim u nizu, međusobno povezanim preklopnim zubom. Donji temeljni element ima utor u koji se polaže kabel, a gornjim pokrovnim elementom prekrivamo kabel. Ovakovim tipom odabrane "dvodijelne zaštite" najmanje se moglo pogriješiti, bez obzira koja će se tehnika kod polaganja primijeniti. U tijeku projektiranja priobalnih zaštita bio je još uvijek nepoznat polagač kabela i tehnologija polaganja. Donji elementi se slažu u nizu. Postavljaju se na građevinski pripremljeno dno, zasipaju betonom i učvršćuju. Tako učvršćeni predstavljaju posteljicu priobalnom dijelu kabela.

Ova faza građevinskih radova pokazala se najupitnijom.

Betonski elementi su tvorničke izvedbe. Uz pedantan transport i postavljanje, s njima nije bilo problema. Međutim, baš podmorski radovi na pripremi (iskopu i poravnanju) podloge, postavljanju donjih elemenata i njihovom učvršćenju zahtijevaju strogu profesionalnost. Izvođač treba posebno uvažiti ćudi mora, njegovati smisao prema struci, ljubav prema okolišu i strogo se pridržavati projektnih rješenja.

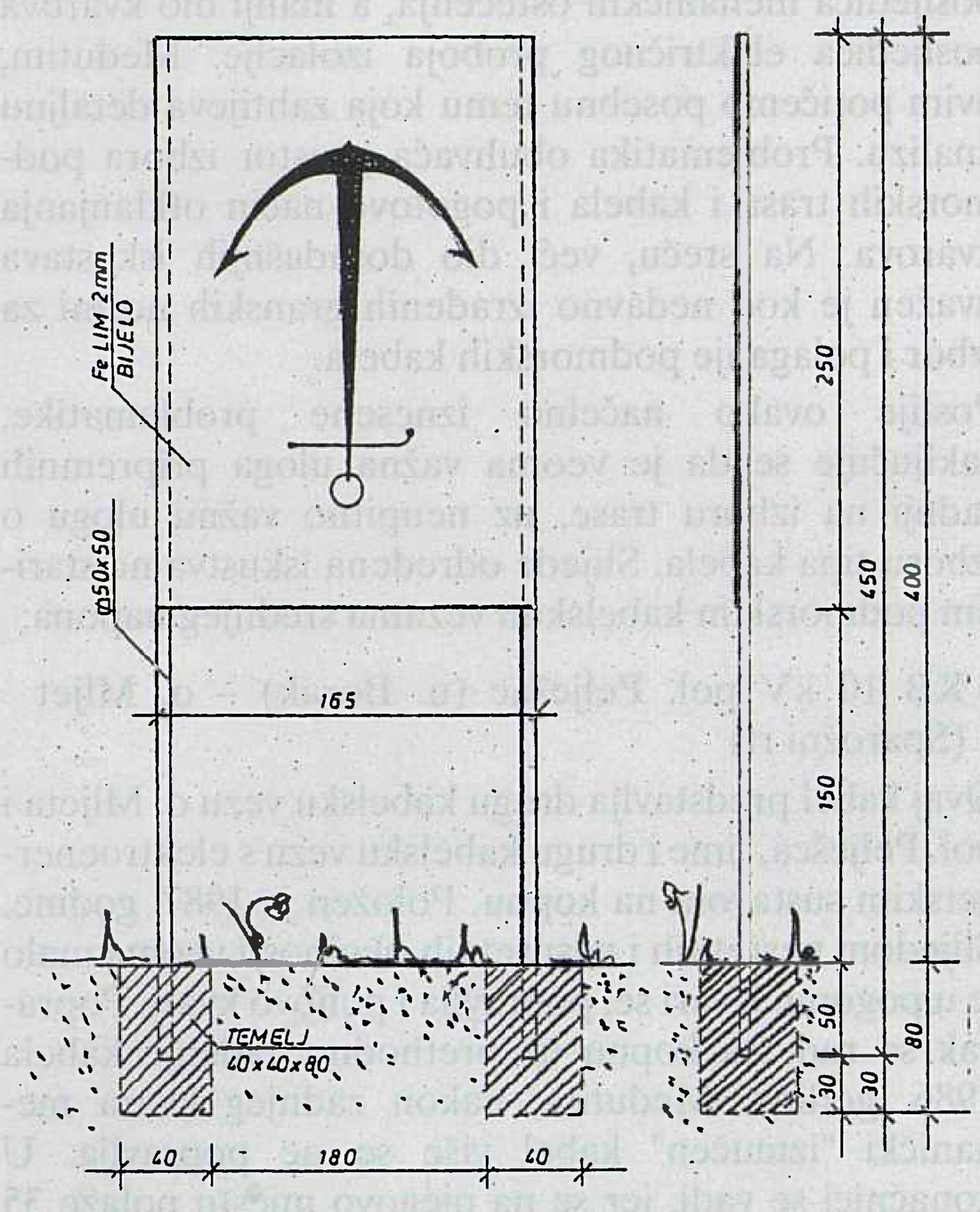
Na potezu od o. Mljeta do o. Lošinja bilo je nekoliko izvođača ove faze građevinskih radova. Birali su ih distribucijska područja na čijem terenu su se radovi izvodili.




**Slika 3. Presjek betonskog elementa priobalne zaštite**

### 3.3. Izbor znakova zabrane sidrenja

Lučke valsti strogo definiraju izgled i veličinu znaka. Materijal od kojeg znak treba izraditi nije preciziran. Znak se postavlja na samoj obali u agresivno zasoljenom ambijentu. Projektirana je izvedba od lima. Cijela konstrukcija se zaštićuje temeljnom bojom i premazom s dva sloja bijele boje. Limena izvedba imala je stanovite prednosti u odnosu na betonsku, jer je radionički, a ne terenski izradak.




**Slika 4. Znak zabrane sidrenja**

## 4. DESET GODINA POGONSKE EKSPLOATACIJE; ISKUSTVA I PRIJEDLOZI

### 4.1. Podmorski kabel

#### 4.1.1. *Dosadašnja iskustva i neki značajni primjeri kvarova i popravaka*

Prije nego što iznesemo iskustva eksploatacije naznačenih kabelskih veza, kratko ćemo se osvrnuti na neke primjere dosadašnjih iskustava sa starijim kabelskim vezama. Razlog je što je dio novih kabela zamjenski, tj. jedan dio je po starim trasama. Trase su prethodno oslobođene instalacija. Postojeći kabeli izvan funkcije izvađeni su iz podmoja. Dakako, govori se o srednjonaponskim podmorskim vezama.

Dosadašnja iskustva na eksploataciji imaju dvije krajnosti. Jedna je krajnost sasvim pozitivna, kada imamo višedesetljetni pogon bez ikakvih kvarova na podmorskoj dionici. Za to je primjer podmorski kabel o. Hvar – o. Vis. Druga je pak krajnost kad položeni kabel nikad nije ni stavljen pod napon, jer je kvar ustanovljen nakon polaganja na morsko dno. Takav je primjer na kabelskoj vezi o. Korčula – o. Lastovo.

Između ove dvije krajnosti ostala iskustva su raznolika. Imamo niz pozitivnih primjera popravaka kabela, ali i negativnih gdje se kvarovi ponavljaju, a u konačnici napuštaju kabelske veze. Pokazatelji su važni jer se zaključci donose na temelju usporedbi.

Jedino još nema dovoljno isksutva na popravcima kvarova na velikim dubinama, tj. na dubinama iznad 50 metara.

Općenito se može reći da je pretežni dio kvarova posljedica mehaničkih oštećenja, a manji dio kvarova posljedica električnog proboja izolacije. Međutim, ovim potičemo posebnu temu koja zahtijeva detaljnu analizu. Problematika obuhvaća prostor izbora podmorskih trasa i kabela i pogotovo način otklanjanja kvarova. Na sreću, veći dio dosadašnjih iskustava uvažen je kod nedavno izrađenih granskih normi za izbor i polaganje podmorskih kabela.

Poslije ovako načelno iznesene problematike, zaključuje se da je veoma važna uloga pripremnih radnji na izboru trase, uz neupitno važnu ulogu o izboru tipa kabela. Slijede određena iskustva na starijim podmorskim kabelskim vezama srednjeg napona:

– KB 10 kV pol. Pelješac (u. Borak) – o. Mljet (Sparožni rt)

Ovaj kabel predstavlja drugu kabelsku vezu o. Mljeta i pol. Pelješca, time i drugu kabelsku vezu s elektroenergetskim sustavom na kopnu. Položen je 1987. godine. Slijedom nesretnih i nespretnih okolnosti veoma malo je u pogonu. Kvari se, popravlja i ponovo kvari. Popravak se radi na kopnu uz prethodno vađenje kabela 1986. godine. Međutim, nakon zadnjeg kvara mehanički "izmučen" kabel više se ne popravlja. U konačnici se vadi, jer se na njegovo mjesto polaže 35 kV kabel iz programa "Jadranski otoci 35 kV".

Sve se ovo događa u vremenu od samo 18 godina. Kabel je praktički samo desetak godina u ispravnom stanju.

– KB 10 kV o. Korčula (u. Grščica) – o. Lastovo (u. Zarebra)

Ovaj kabel također predstavlja drugu kabelsku vezu o. Lastova s elektroenergetskim sustavom na o. Korčuli. Položen je 1987. godine. I opet slijedom nesretnih i nespretnih okolnosti nikad se ne pušta pod napon. U kvaru je od samog polaganja. U konačnici se i on vadi jer se na njegovo mjesto polaže 35 kV kabel iz programa "Jadranski otoci 35 kV".

– KB 10 kV o. Brač (rt Brač) – o. Šolta (rt Livka)

Godine 1957. položen je ovaj podmorski kabel. U pogonu je do 1983. godine kada ga oštećuje brodsko sidro. U blizini se naknadno polaže novi kabel. Stari se također popravlja i ponovno polaže. U tijeku prekida, radi radijalnog napajanja električnom energijom, o. Šolta ostaje nekoliko mjeseci bez normalnog napona.

Programom "Jadranski otoci 35 kV" u blizini se polaže novi 35 kV kabel.

– KB 35 kV Kopno (Podgora) – o. Hvar (u. Mala Pogorila)

Ovaj 35 kV kabel (3x1x50 mm$^2$ Cu) veoma značajan za urednu opskrbu električnom energijom istočnog dijela o. Hvara, položen je 1987. godine.

Kvari se i popravlja prvi put 1992. godine. Kvari se zatim još nekoliko puta i popravlja. Nakon zadnjeg kvara više se ne popravlja. Čak se kraći dio kvarne žile vadi i polaže na drugo mjesto. Nikad nije detaljno analiziran uzrok kvarova, a ni razlog napuštanja veze. Ostaje samo činjenica da je veoma kratko razdoblje bio u pogonu.

Urednu opskrbu istočnog dijela otoka Hvara osiguralo se preko novopoloženog 10(20) kV kabela kopno (Drvenik) – o. Hvar (Sućuraj).

– Podmorski srednjonaponski kabeli Šibenskog arhipelaga

Kvarovi su evidentirani na kabelskim vezama Srima – o. Prvić, o. Zlarin – o. Obonjan kao posljedica koćarenja. Na vezi Tribunj – o. Logorun – Kaprije, uzrok kvara je mehaničko oštećenje nastalo prilikom građevinskih radova u priobalju, itd.

Kao kuriozitet spomenut ćemo kvar uzrokovan ribarskim ostima na kabelskoj vezi preko rijeke Krke. Pretpostavlja se da je vješto oko ribara pogriješilo, pa je umjesto na ugora, osti usmjerilo na energetski kabel.

– Podmorski srednjonaponski kabeli Zadarskog arhipelaga

U ovom akvatoriju također je evidentirano niz kvarova, opet kao posljedica mehaničkih oštećenja zbog koćarenja. Naravno, mehanička oštećenja prethode električnom proboju izolacije.

4.1.2. *Usporedbe i prijedlozi*

Iz gornjeg je vidljivo da kvarovi na podmorskim srednjenaponskim kabelima nisu neuobičajena pojava i da se često javljaju već u prvom desetljeću eksploatacije. Podmorske dionice iz programa "Jadranski otoci 35 kV" (100 km položenog kabela) u svojih prvih 10 godina eksploatacije, nisu imale ni jedan kvar, iako se dio kabela položio po prijašnjim trasama. Programom su realizirane i "osjetljivije" trase u sjevernom dijelu Jadrana.

Ovdje mislimo na trase o. Lošinj – o. Ilovik i o. Ilovik – o. Silba. Trase koje uzdužno povezuju otoke, uvijek su osjetljivije od trasa koje poprečno povezuju otoke. Razlog je znatno nepovoljnija struktura dna na koju se polaže kabel. Obično nema dovoljno nanosa mulja, da bi se kabel svojom težinom mogao utisnuti u muljevito dno. Također su takve trase na manjoj dubini.

Prema tome može se slobodno zaključiti, da je presudni čimbenik kvalitete, veoma dobro odabran tip kabela. Troolovni kabel s izolacijom od umrežanog polietilena i robusnom armaturom, pokazao je svoju otpornost prema mehaničkim i električnim kvarovima.

## 4.2. Priobalna zaštita

4.2.1. *Dosadašnja iskustva*

Svi podmorski energetski srednjonaponski kabeli, već od prvih početaka polaganja, na prijelazu kopno – more, štite se priobalnom zaštitom. Namjena prio-

balne zaštite uvijek je ista: zaštita kabela od mehaničkih oštećenja. Međutim, pristupi ovoj problematici bili su različiti, što je u konačnici rezultiralo potpuno različitim izvedbama. Kao najjednostavnija izvedba primjenjuje se zaštita s vrećama pijeska ili cementa. Koristi se i zaštitni betonski utor, ili pak razne kombinacije betonskih bolokova, ukopanih zaštitnih cijevi i slična rješenja.

Zapravo uvijek su se pokušavala naći najprihvatljivija rješenja imajući u vidu izloženost ulaznog mjesta valovima i tehniku kojom će se kabel polagati. Dovoljno iskustva nije bilo. To su bili počeci povezivanja otoka na elektroenergetski sustav kopna.

Danas, nakon 40 – 50 godina eksploatacije, može se reći da iskustva ima dovoljno za donošenje objektivne ocjene. Nažalost, veoma je malo rješenja za pohvalu. Najbolje su se očuvale priobalne zaštite na mjestima gdje su prirodno zaštićene od razornih valova, a to su uvale i zavjetrišta (ova mjesta baš danas ne preporučivamo iz drugih razloga). Veći dio zaštita često se sanira, popravlja i obnavlja.

4.2.2. *Usporedbe i prijedlozi*

Iz prethodnog je vidljivo da se sanacije i popravci ponavljaju kod većine tipova priobalnih zaštita. Sličnost se javlja i na priobalnim zaštitama realiziranim kroz program "Jadranski otoci 35 kV". Dugogodišnje prethodno iskustvo očito je trebalo značajnije uvažiti.

Deset podmorskih kabelskih dionica ima dvadeset priobalnih zaštita. Svugdje su postavljeni isti betonskih elementi. Međutim, rezultati su različiti. Podmorske radove na pripremi podloge i postavljanje elemenata, izvodili su različiti izvođači. Već prvo nevrijeme na poluotoku Pelješcu, izbacuje jedan pokrovni element iz ležišta i postavlja ga poprijeko na donji element. Slična stvar događa se i na o. Obonjanu gdje se cijela podloga za temeljni dio nanovo radi. Temeljni dio se nanovo učvršćuje i zaštita kompletira uz veliki materijalni trošak.

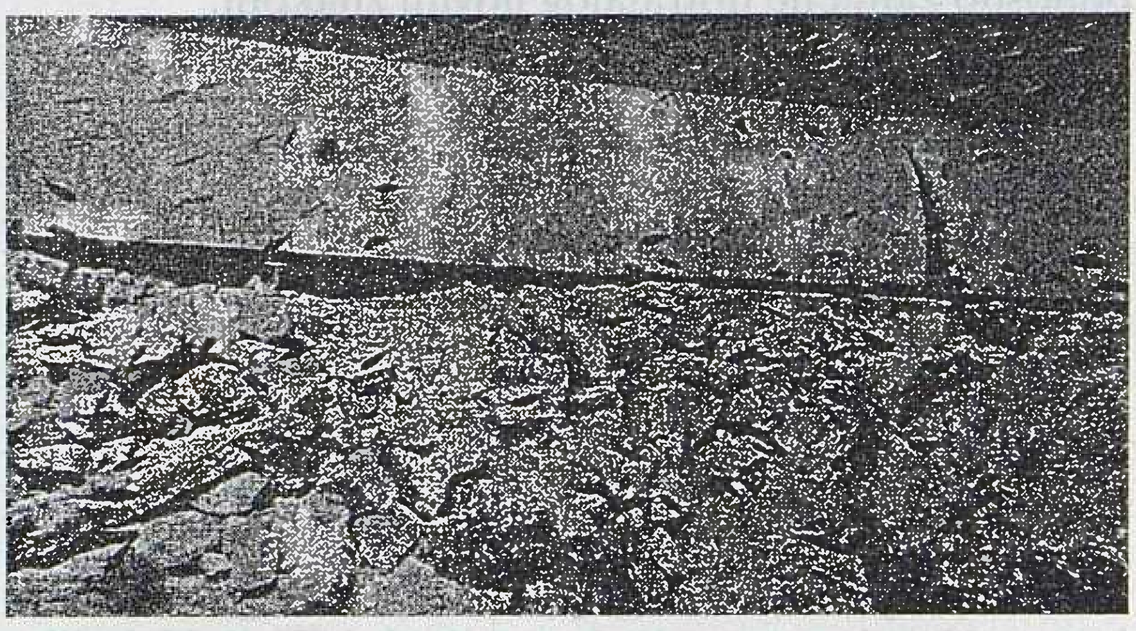
Zatim, prvi pregledi u garanitranom roku utvrđuju stanje i daju naputke za prve sanacije. Daljni pregledi utvrđuju i nova oštećenja. Poslije svega postavlja se pitanje jesu li izvođači pročitali poseban naputak u projektu o potrebnoj trajnosti objekta i kakav je bio nadzor u tijeku izgradnje? U izvedbi nedorađene pukotine, more svojim radom pretvara u rupe, a nevrijeme u oštećenja, opasna za sigurnost podmorskog kabela.

Projekt je korektno napravljen. Korketna je i tvornička izvedba elemenata. Elektromontažni dio programa uključujući i izbor tipa kabela napravljen je profesionalno po svim uzusima struke. Međutim, izvedba podmorskih radova, postavljanje i učvršćenje elemenata, nisu zadovoljili postavljen zahtjev.

Porti (luke i lučice) i svjetionici koje je gradila stara Austrija sa znatno skromnijom tehnikom i materijalima, odolijevaju zubu vremena. I danas predstavljaju uzor struke po kvaliteti izvedbe i trajnosti.

Nakon pedesetogodišnjeg sveukupnog iskustva možemo sa sigurnošću tvrditi da je najkvalitetnija izvedba priobalne zaštite, izvedba strojnim bušenjem priobalja. Ne samo što je to tehnički najkvalitetnije rješenje, nego ovakva izvedba ostavlja djevičanski nedirnutu priobalnu crtu. Također za cijelo vrijeme eksploatacije nije potrebno nikakvo održavanje. Međutim, ova tehnologija primjenjuje se nakon završetka programa "Jadranski otoci 35 kV", što znači, tek odnedavno.

U našoj praksi primijenjena je na kabelskim vezama 10(20) kV o. Hvar – Palmižana i kopno (Drvenik) – o. Hvar (Sućuraj). Vlasnik stroja za bušenje je Hrvatski telekom. Šteta što Hrvatska elektroprivreda nije pokazala više interesa za partnerstvo u vlasništvu. Ovim bi se jednostavnije osigurao rezervni materijal, a time i kontinuirana raspoloživost stroja.



**Slika 5. Oštećenje na novoj priobalnoj zaštiti (o. Obonjan)**

### 4.3. Znakovi zabrane sidrenja

4.3.1. *Dosadašnja iskustva*

Prve kabelske podmorske veze uglavnom su povezivale zračne dalekovode na kopnu i otocima. Prijelaz zračnog voda u kabel i obratno, izvodio se u građevinskim objektima koje nazivamo kabelskim kućicama. Fasada kućice okrenuta prema moru služila je i služi kao podloga na kojoj se iscrtavao znak zabrane sidrenja. Ovaj način se pokazao kao veoma prihvatljiv. Znak se povremeno obnavlja bojenjem. Kada je kabelska kućica bila zaklonjena ili se prijelaz podmorske na kopnenu dionicu ostvarivao spojnicom, zbog prijelaza kabela na kabel, znak zabrane sidrenja izvodio se kao samostojeći element, bilo kao zidana ploča ili limena konstrukcija propisanih dimenzija.

Najlošijom izvedbom se pokazala samostojeća limena izvedba. Izložena je izrazitoj koroziji zbog posolice, a relativno nježna konstrukcija pokazala se nedovoljno stabilnom na velike udare vjetra.

4.3.2. *Usporedbe i prijedlozi*

Povezivanje elektroenergetskih postrojenja u programu "Jadranski otoci 35 kV" izvedeno je isključivo kabelskim vezama. To znači da se svaki podmorski kabel veže na podzemni kabel preko ukopane kabelske

spojnice. Iz tog razloga svi znakovi zabrane sidrenja trebali su biti samostojeći elementi. Nažalost, projektirani su kao limena konstrukcija. S vremenom će ih očito trebati zamijeniti izvedbom od nehrđajućeg materijala ili betona.

Kod zamjena treba obratiti pozornost na novonastale okolnosti. Nastojanja osiguranja čistoće mora na kupalištima, uvjetuju izgradnju kanalizacijskih kolektora i ispusta daleko od naselja. Na mjestima ulaska sabirnih ispusta u more također se postavljaju znakovi zabrane sidrenja. Priobalna zaštita elektroenergetskih kabela vizualno podsjeća na kanalizacijski ispust i može stvarati nelagodu gostima-kupačima na osamljenim mjestima. Već na znaku zabrane sidrenja treba razmišljati o odgovarajućoj jasnoj naznaci o vrsti instalacije. Ovim bi se otklonile moguće nelagode. Poglavito o ovom treba voditi računa kod izmjene znaka, odnosno zamjene dotrajalog novim znakom.

## 5. ODREĐIVANJE TRASE U VIZIJI GOSPODARSKOG RAZVOJA I ZAŠTITA OKOLIŠA

Podmorski kabeli svojim trasama dijelom ugrožavaju priobalni i podmorski okoliš. Kod izbora trase ni u kojem slučaju ne smijemo elektroenergetskim podmorskim vezama limitirati mogućnost slobodnog razvoja turističke djelatnosti, kojoj je elektroenergetika samo imput. Nažalost to se ipak ponekad dogodi. Nekoliko djevičanskih uvala razvojno je ograničeno, primajući u svoj sadržaj ovu vrstu instalacije. Brzina donošenja rješenja radi hitnosti realizaciji objekata, presudi ponekad na upitan način. Svjesni i tada i danas ovih propusta želi ih se ponovno istaknuti da se u budućnosti ne ponovi slično. Formalno pravno za realizaciju objekata svi uvjeti su bili poštivani. Dobivene su lokacijske i građevne dozvole. Objekti su izgrađeni i pušteni pod napon. Ostaje jedina dilema jesu li se izlazne točke na pojedinim trasama mogle izmjestiti nekoliko stotina metara lijevo ili desno u pravcu rtova?

U principu, sve podmorske instalacije treba po mogućnosti grupirati. Ovim se automatski štiti podmorski okoliš. Također je važno da izlazne dionice ne ugrožavaju prirodne uvale i zajvetrišta. Izlazne točke treba locirati na skrovitim ne sadržajnim mjestima. Velika stečena iskustva, suvremena tehnika polaganja, kao i novija tehnologija izrade priobalnih zaštita, to omogućavaju.

## 6. ZAKLJUČAK

Desetogodišnja eksploatacija podmorskih kabelskih veza relativno je kratak rok za donošenje sveobuhvatnog suda o objektu. Međutim, to je sasvim dovoljno razdoblje da se uoče specifični nedostaci, kako se ne bi ponavljala slična loša rješenja na novim objektima. Pripremne radove na određivanju podmorske trase trebaju biti sukus velikog iskustva, kvalitetne vizije i poznavanja najsitnijih tehničkih detalja. Ispravnim pristupom izboru, znatno će se smanjiti rizik od ugrožavanja okoliša.

"Teži" podmorski kabel, robusnije izvedbe, dobar je izbor, poglavito glede sve većeg pomorskog, nautičkog i ribarskih sadržaja i prometa u priobalju.

Izvedbi priobalne zaštite, bez obzira na projektna rješenja, treba posvetiti osobitu pozornost. Stalno treba imati na umu da vijek njena trajanja treba biti najmanje 50 godina.

Najkvalitetniji način izvedbe je strojno bušenje priobalja. Ovu tehnologiju treba preferirati i razvojno podržavati.

Znakove zabrane sidrenja treba raditi od nehrđajućih materijala.

## LITERATURA

[1] I. SANTICA, dipl. ing., M. MIHANOVIĆ, dipl. ing., L. ZLATAR, dipl. ing.: "Glavni projekti elektromontažnog i glavni projekti građevinsko-arhitektonskog dijela kabelskih veza (10 veza, 30 uveza)", 1995. god.

[2] P. ČERINA, dipl. ing.: "Jadranski otoci 35 kV", Energija 3, 1996. god.

## TEN UNDERSEA LINES – HUNDRED KILOMETERS OF 35kV UNDERSEA CABLE - TEN YEARS OF EXPLOITATION OF THE PROGRAMME'S "ADRIATIC ISLANDS 35kV" UNDERSEA PART EXPERIENCES AND SUGGESTIONS

After almost ten years of exploitation of HEP's programme "Adriatic Islands 35kV" there rose a need for a short professional review. This paper is an attempt to present the most specific part of the programme, i.e. undersea cables. About a hundred million Kuna were invested into this part. A hundred kilometers of undersea cable are situated on ten different points from the island of Lošinj to the island of Mljet. In only a year preparatory research work was done, location and construction permits obtained, routes projected, producer selected and cabels laid. A team of HEP's experts completed this project within a given time frame. Following this time period, we will be able to answer how well and successfully.

## ZEHN UNTERSEEKABELBAHNEN - HUNDERT KILOMETER DES 35 kV KABELS - ZEHN JAHRE DES BETRIEBES DES UNTERSEE-TEILES DES PROGRAMMS "ADRIA INSELN 35 kV" ERFAHRUNGEN UND VORSCHLÄGE

Fast 10 Jahre des Betriebes der Anlagen aus dem HEP(HEP=Kroatische Elektrizitätswirtschaft) -Program "Adria Inseln 35 kV" verpflichten zu einem kurzen fachlichen Rückblick. Durch diesen Artikel wird versucht die Erfahrungen mit den Unterseekabeln, dem äusserst spezifischen Teil des Programs, zu systematisieren. In diesen Teil des Programms sind etwa hundert Milionen Kuna (dreizehn Milionen Euro) angelegt. In zehn Teilstrecken sind zwischen den Inseln auf den Meeresboden Hundert Kilometer von

Unterseekabeln gelegt, angefangen mit der Insel Lošinj und beendet mit der Insel Mljet. In nur einem Jahr wurden Vorbereitungs- und Forschungsarbeiten durchgeführt, die Standort- und die Baugenehmigungen erhalten, die Kabelbahnen projektiert der Hersteller bestimmt und die Kabel verlegt.Als Team geführte Gruppe der HEP Spezialisten führte alle diese Aufgaben in so kurz befristeter Zeit durch. Man wird aus jetziger Distanz zu beantworten versuchen, wie gewandt und wie erfolgrech dies vollbracht wurde.

Naslov pisca:

**Ivo Santica, dipl. ing.**
**Hrvatska elektroprivreda d.d.**
**DP Elektrodalmacija, Split**
**Gundulićeva 42, 21000 Split**
**Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2003-05-17.



# DISTRIBUIRANA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Dr. sc. Nijaz Dizdarević – dr. sc. Matislav Majstrović – dr. sc. Srđan Žutobradić, Zagreb

UDK 621.316.1.003
PREGLEDNI ČLANAK

U ovom su radu na općeniti način razmotrena glavna obilježja distribuirane proizvodnje električne energije. Najprije su opisani tehnički utjecaji distribuiranih izvora na sustave proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije. Zatim su predočena neka rješenja tehničkih utjecaja te otvorena pitanja. Proizvodnja električne energije iz malih vjetroelektrana smještena je u kontekst distribuirane proizvodnje. Opisane su vrste proračuna u distribucijskoj mreži koje se koriste u studijskoj analizi priključenja malih disperziranih izvora na distribucijsku mrežu.

**Ključne riječi: distribuirana proizvodnja, disperzirani izvori, vjetroelektrane, distribucijska mreža.**

## 1. DISTRIBUIRANA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Suvremeni elektroenergetski sustavi uglavnom su razvijeni tijekom posljednjih 50 godina. Razvoj je slijedio ideju vodilju prema kojoj su veliki središnji generatori preko transformatora injektirali električnu snagu u visokonaponsku prijenosnu mrežu. Zatim je prijenosni sustav korišten za transport snage, često i na velikim udaljenostima. Na kraju, snaga je iz prijenosnog sustava preko serije distribucijskih transformatora usmjeravana kroz srednjonaponsku i niskonaponsku distribucijsku mrežu prema potrošačima na nižem naponu. Međutim, odnedavna se ponovno pojavilo značajno zanimanje za priključenjem proizvodnih objekata na distribucijsku mrežu. Ova je namjera poznata kao distribuirana proizvodnja električne energije *(engl. distributed or dispersed generation)* [1, 2, 4, 5, 6, 7, 8].

Konvencionalni ustroj suvremenih elektroenergetskih sustava nudi veliki broj prednosti. Veće proizvodne jedinice mogu biti učinkovitije te su u pogonu s relativno manjim brojem pogonskog osoblja. Povezane visokonaponske prijenosne mreže omogućuju minimaliziranje zahtjeva za snagom pričuve generatora. Omogućen je ulazak u pogon najučinkovitijeg proizvodnog objekta u bilo kojem trenutku. Veliki iznosi snage mogu biti prenijeti na velikim udaljenostima uz ograničene gubitke. Distribucijske mreže mogu se u tom slučaju projektirati za jednosmjerne tokove snaga i dimenzionirati samo za potrebe potrošačkih opterećenja. Međutim, u posljednjih nekoliko godina pojavilo se više utjecaja čije je kombiniranje dovelo do povećanog zanimanja za distribuiranu proizvodnju (smanjenje emisije $CO_2$, programi energetske učinkovitosti ili racionalnog korištenja energije, deregulacija i natjecanje, diverzifikacija energetskih izvora, zahtjevi za samoodrživosti nacionalnih energetskih sustava...).

Utjecaj na okoliš jedan je od značajnih faktora u razmatranju priključenja novih proizvodnih objekata na mrežu. Uz zabrinutost o emisiji štetnih plinova iz elektrana na fosilna goriva, obnovljivi izvori dobivaju svoju priliku. Na temelju Kyoto Protokola mnoge zemlje trebaju smanjiti emisiju $CO_2$ kako bi se smanjio utjecaj na klimatske promjene. Stvaraju se programi iskorištavanja obnovljivih izvora koji uključuju vjetroelektrane, male hidroelektrane, fotonaponske izvore, zemni plin, energiju iz otpada te iz biomase. Kogeneracijske CHP sheme koriste otpadnu toplinu termalnih proizvodnih objekata bilo za industrijske procese ili grijanje te su vrlo dobar način povećanja ukupne energetske učinkovitosti. Obnovljivi izvori imaju znatno manju energetsku vrijednost u usporedbi s fosilnim gorivima zbog čega su njihove elektrane manje veličine te geografski široko raspodijeljene. Na primjer, vjetroelektrane treba smjestiti u vjetrovitim područjima, dok su elektrane na biomasu obično skromnog kapaciteta zbog troškova transporta goriva relativno male energetske vrijednosti. Te male elektrane priključuju se uglavnom na distribucijsku mrežu.

Međutim, od tada je distribuirana proizvodnja električne energije postala čestim predmetom polariziranih tehničkih diskusija. S jedne se strane nalaze inženjeri motivirani iskustvenim spoznajama o složenosti pogona ees-a koji iskazuju zabrinutost u pogledu elementarne ostvarivosti masovnog uvođenja nereguliranih i neupravljivih generatora u distribucijsku mrežu. S druge se pak strane nalaze entuzijastični zagovarači izvora obnovljive energije poput vjetroelektrana i kombi-elektrana *(eng. combined heat and power, CHP)* koji vjeruju da takve proizvodne jedinice nužno treba uvoditi u pogon kako bi se ispunili domaći i međunarodni zahtjevi za smanjenjem emisije $CO_2$. Štoviše, obnovljivi izvori povećavaju sa-

moodrživost ees-a u slučajevima eventualne energetske krize u proizvodnji električne energije koja je danas ovisna o isporuci ugljena, plina i nafte.

U svjetlu novih organizacijskih smjernica unutar elektroenergetskog sektora, nije zanemariv ni utjecaj privatnih investitora. Utjecaj je posebice izražen u dijelu ukupne proizvodnje električne energije koji je nazvan distribuiranom proizvodnjom [2]. Inicijative potencijalnih investitora koji dolaze s liberalizacijom tržišta električnom energijom dodatno utječu na potrebu razmatranja tehničkih aspekata priključenja obnovljivih izvora distribuirane naravi osobito na distribucijsku mrežu.

Obzirom na današnje stanje razvoja, distribuirana proizvodnja električne energije obilježena je sljedećim odrednicama:

- postupak planiranja distribuiranih izvora nije centraliziran;
- raspored proizvodnje distribuiranih izvora nije centraliziran;
- distribuirani izvori uobičajeno su priključeni na distribucijsku mrežu;
- veličina izgradnje distribuiranih izvora manja je od 50-100 MW.

Izostanak centraliziranosti pri planiranju i stvaranju rasporeda proizvodnje odnosi se na nemogućnost dispečerskog upravljanja iz hijerarhijski najvišeg središta nad temeljnim vladanjem distribuiranih izvora unutar ees-a. Značajke pogona ees-a određuje postupak uvrštenja proizvodnih jedinica u raspored proizvodnje ili potreba za usklađenom proizvodnjom jalove snage u sustavu. Na taj se način utječe na dvije temeljne varijable ees-a: frekvenciju (globalni pokazatelj) i napon (lokalni pokazatelj). Na osnovi dugotrajnih i kratkotrajnih odziva temeljnih varijabli izvode se procjene kvalitete isporučene električne energije. Trenutno se na distribuirane izvore gleda gotovo isključivo kao na proizvođače energije (kWh) koji ne doprinose ostalim funkcijama elektroenergetskog sustava (regulacija napona, pouzdanost mreže, snaga pričuve...). Iako je to djelomično posljedica tehničkih svojstava distribuiranih izvora, ograničena uloga distribuirane proizvodnje najvećim je dijelom stvorena na temelju administrativnih i komercijalnih uvjeta pod kojima su trenutno u pogonu.

Postoji više razloga koji utječu na povećanje udjela distribuiranih izvora u proizvodnji električne energije. Neki od osnovnih razloga definirani su slijedećim aspektima:

- Distribuirani izvori u današnje su doba dostigli tehnološki zrelu razinu razvoja koja je raspoloživa za veličinu izgradnje između 100 kW i 150 MW.
- Lokacije za manje izvore lakše je pronaći.
- Politički motivirana pravila koja se temelje na sredstvima poput subvencija ili naknada za tehnologije koje su prihvatljive za očuvanje okoliša, te poput javnih obveza preuzetih s ciljem smanjenja emisije $CO_2$, vode prema uvjetima ekonomske favorizacije.
- U nekim se tržišno organiziranim sustavima distribuirani izvori natječu sa cijenom energije u koju nije uključeno pružanje dodatnih usluga u ees-u. Time se stvara prednost na strani distribuiranih izvora u usporedbi s velikim proizvodnim objektima. Za slučaj da je u cijenu energije uključena naknada za prijenos i distribuciju, navedena prednost ovisi o naponskoj razini priključenja i može biti vrlo visoka (mikro-izvori).
- Financijske institucije ulaze u projekte izgradnje distribuiranih izvora zbog solidne isplativosti.
- Deregulirani i tržišno ustrojeni sustavi sa znatnom razinom natjecateljstva stvaraju dodatne prilike industriji i igračima na tržištu za pokretanje poslova proizvodnje električne energije.
- Zahtjevi potrošača za dobavom električne energije iz obnovljivih izvora u stalnom su porastu.
- Proizvodne izvore (poput CHP) smješta se blizu potrošača radi smanjenja troškova prijenosa.
- Za slučaj primjene lokalnih sustava napajanih malim CHP jedinicama smanjuju se zahtjevi za velikim i skupim sustavima opskrbe potrošača toplinskom energijom.
- Korištenje prirodnog plina kao najčešćeg goriva distribuiranih izvora, temelji se na očekivanoj raspoloživosti u većini potrošačkih centara te na očekivanim stabilnim cijenama dobave.
- Plinske jedinice imaju niske kapitalne troškove u usporedbi s velikim proizvodnim objektima.
- Visoka učinkovitost postiže se u konfiguracijama s kogeneracijom te kombiniranim ciklusom što utječe na smanjenje pogonskih troškova.

U zemljama s vrlo izraženim porastom izgradnje distribuiranih izvora često dolazi do grupiranja nekoliko navedenih razloga u jedan zajednički ili do vrlo izražene nadmoći jednog od razloga. Takav se slučaj primjerice javlja u Njemačkoj gdje vrlo visoke naknade uzrokuju snažan porast izgradnje vjetroelektrana. Pregled troškova (tablica 1) ukazuje na razinu natjecateljstva koja se javlja među različitim vrstama distribuiranih izvora [4]. Nužno je naglasiti da su vrijednosti grubo procijenjene. U stvarnosti troškovi mogu odstupiti od navedenih vrijednosti u ovisnosti o pojedinačnim uvjetima primjene. Uvjeti primjene odnose se na naponsku razinu priključenja, troškove priključenja, broj sati pogona, učinkovitost, vlastitu potrošnju... Obzirom na prethodne razloge, pored vjetroelektrana vrlo izraženo mjesto u distribuiranoj proizvodnji električne energije zauzimaju kombi-elektrane (CHP izvori).

U današnje doba postoji više scenarija prema kojima se širom svijeta izvodi razdvajanje različitih sektora elektroenergetskog sustava. Scenariji se nalaze u širokom spektru od vertikalno integriranih struktura do verti-

kalno i horizontalno razdvojenih struktura. Može se reći da u većini zemalja ipak prevladava trend razdvajanja. Istodobno se u većini zemalja uočava snažan porast izgradnje distribuiranih izvora. U nekim se slučajevima razdvajanje unutar strukture ees-a doživljava kao uzrok porasta izgradnje distribuiranih izvora. Porast se prvenstveno javlja obzirom da na taj način nezavisni proizvođači imaju otvoren i slobodan pristup tržištu. S druge pak strane, postoje zemlje poput Norveške gdje nakon otvaranja tržišta udjel distribuiranih izvora nije značajno povećan. Naime, u Norveškoj su ti izvori rijetko kada ekonomičniji od postojećih izvora utemeljenih na jeftinoj energiji iz vodnih resursa.

**Tablica 1. Kapitalni troškovi i troškovi energije za različite distribuirane izvore**

| Tehnologija | Veličina izgradnje | Kapitalni troškovi €/kW | Ukupni troškovi €/kWh |
|---|---|---|---|
| Vjetroelektrane (na kopnu) | 15 MW | 900–1300 | 0.04–0.09 |
| Vjetroelektrane (na površini mora) | 100 MW | 1500–2000 | 0.05–0.12 |
| Kombi-elektrane CHP | 40 MW | 550–850 | 0.04–0.057 |
| Hidroelektrane (mali pad) | 5 MW | 900–1000 | 0.02–0.03 |
| Kogeneracija (turbinski pogon) | 5 MW | 800–850 | 0.053–0.057 |
| Kogeneracija (recipročni pogon) | 5 MW | 500–750 | 0.03–0.045 |
| Fotonaponski sustavi | 5 MW | 6000–10000 | 0.75–1 |
| Gorive stanice | 5 MW | 1100–1600 | 0.08–0.1 |
| Mikro-izvori (recipročni pogon) | 50 kW | 600–1500 | 0.07–0.15 |
| Mikro-izvori (turbinski pogon) | 50 kW | ≈300 | 0.03–0.05 |
| Mikro-izvori (gorive stanice) | 50 kW | ≈900 | 0.09–0.15 |

Uloga distribuiranih izvora u sustavu uvelike ovisi o strukturi tržišta i elektroprivrede, pravilima priključenja na mrežu te subvencijama. Na temelju navedenih odrednica ocjenjuje se mogućnost priključenja distribuiranih izvora na sustav u iole značajnijoj mjeri te mogućnost njihovog uključenja u proces planiranja pogona ees-a.

U većini se zemalja tradicionalna struktura sustava zasniva na velikim vertikalno integriranim elektroprivredama. Takvi sustavi uglavnom već imaju izvjesna iskustva s nezavisnim proizvođačima električne energije (IPP) i industrijskim elektranama. Ovi proizvođači često nisu pod utjecajem dispečera iz hijerarhijski najvišeg upravljačkog centra. Posebice je to slučaj ukoliko su priključeni na distribucijsku mrežu. U mnogim su slučajevima takvi proizvođači uključeni u postupak planiranja sustava na temelju zajedničkih ulaganja ili nekih drugih oblika suradnje s vertikalno integriranom elektroprivredom. Nadalje, ne postoji potreba za definiranjem tarifa za priključenje na sustav, za prijenos i za dodatne usluge. Vertikalno integrirana elektroprivreda odgovorna je za sigurnost opskrbe.

Distributivni izvori, koji za početak nisu dovoljno kompetitivni obzirom na njihove visoke proizvodne troškove, imaju prigodu za probitak samo ukoliko su subvencionirani (primjer obnovljivih izvora). Prema primjeru iz Velike Britanije, subvencije se dodjeljuju samo određenom dijelu proizvodnih kapaciteta. U drugom primjeru (Njemačka), subvencije su definirane u obliku naknadnih tarifa nad izbjegnutim troškovima elektroprivrede na čiju su mrežu izvori priključeni. Posebice za slučaj priključenja vjetroelektrane u području sa slabom mrežom, pravila priključenja na mrežu koja rezultiraju s većim ili manjim investicijskim troškovima imaju značajnu ulogu u odlučivanju o profitabilnosti cijelog projekta.

U slučaju potpuno razdvojene strukture elektroprivrede, vertikalna integracija više ne postoji na način na koji se javljala u prethodnom primjeru. Uočen je trend prema formiranju nezavisnog operatora sustava koji upravlja prijenosom. Prijašnji se sektor proizvodnje sada natječe s nezavisnim proizvođačima iz industrije ili s drugim igračima (operatorima) na tržištu te s distribuiranim izvorima. Eventualnim smanjenjem troškova na strani proizvodnje nakon otvaranja tržišta dodatno se umanjuju izgledi distribuiranih izvora.

S druge strane, postoji mogućnost stvaranja novih tržišta poput 'zelenog' za obnovljive izvore čime se ipak mogu povećati izgledi za njihovu primjenu. Subvencije za posebne vrste distribuiranih izvora ostvarive su također i u okvirima tržišta s otvorenim pristupom. U slučaju da distribuirani izvori nisu upravljani iz hijerarhijski najvišeg centra te da ne sudjeluju u pružanju dodatnih usluga, ali da zbog toga ostvaruju profit, dolazi do neravnoteže na tržištu koja ovisi o njegovoj strukturi.

Nadalje, distribuirani izvori (osim vjetroelektrana) najčešće su priključeni u blizini potrošača u distribucijskoj mreži što u principu pomaže u smanjivanju gubitaka u prijenosnom sustavu. Međutim, gubici u distribucijskoj mreži mogu biti ograničavajući faktor izgradnje vjetroelektrana ukoliko su uz veliku penetraciju locirane u ruralnim područjima niske gustoće opterećenja. Naime, priključenje vjetroelektrana na distribucijsku mrežu može zahtijevati izvođenje dodatnih pojačanja u dijelovima iste mreže čime se povećavaju investicijski troškovi. Tada se javljaju zahtjevi za definiranjem tarifa u prijenosu (i distribuciji).

Zbog promjenjivih uvjeta primjene, različiti su udjeli proizvodnje iz obnovljivih izvora u ukupnoj bilanci (tablica 2) [4]. Prosječni udjel distribuiranih izvora je u analiziranim EU zemljama između 5% i 9%. U Nizozemskoj i Danskoj udjel je dosegnuo iznos od 40% i zahtjeva protumjere u obliku odgovarajućih tarifa, za-

jedničkih ulaganja i rekonstrukcije 150 kV/132 kV mreže. Dugoročno se očekuje znatniji porast udjela, posebice u Španjolskoj čiji je potencijal 9000 MW u vjetroelektranama i 16000 MW u CHP jedinicama. Njemačka, Kanada i Danska očekuju povećanje udjela. EU zemlje imaju vrlo prodoran i ambiciozan plan ohrabrivanja uvođenja novih obnovljivih izvora. Cilj koji je unutar EU postavljen temeljem smanjenja $CO_2$ iznosi 18% proizvodnje iz obnovljivih izvora do 2010. godine uz prepoznati teorijski potencijal u iznosu od 40%.

**Tablica 2. Stupanj penetracije distribuiranih izvora**

| Zemlja | **2000.** | **Potencijal** |
|---|---|---|
| Australija | 3% (2000 MW) | 9% (9000 MW) |
| Belgija | 10% | Do 20% |
| Kanada | 10% (2900 MW) | 75% (22000 MW) |
| Danska | 37% (900 MW vjetar i 1600 MW CHP) | 5000 MW vjetar i 2000 MW CHP |
| Francuska | manje od 5% | EU pravilo: više od 8 MW |
| Njemačka | 2400 MW vjetar, 1260 MW male CHP, 6000 MW CHP | više od 3600 MW vjetar i CHP do 35% |
| Nizozemska | 40% | ? |
| Norveška | 1% (hidro, niska cijena) | ? |
| Španjolska | 300 MW | 9000 MW vjetar i 16000 MW CHP |
| EU cilj | 9% | 18% do 2010, teorijski 40% |

Različite su brzine razvoja različitih oblika distribuirane proizvodnje. Trenutno najveći porast među obnovljivim izvorima imaju vjetroelektrane. Značajan dio očekivanog porasta među vjetroelektranama pripada izgradnji na površini mora [3]. Razlozi koji dovode do povećanja udjela distribuiranih izvora nisu izravno ovisni o strukturi tržišta. U svim zemljama koje nemaju izrazito niske troškove proizvodnje poput Norveške, distribuirani izvori imaju značajnu ulogu u budućim planovima. Uvjeti otvorenog tržišta podržavaju ovakav trend, ali ne čine nužan preduvjet. Ekonomska favoriziranost i politički motivirane subvencije za primjenu tehnologija koje su prijateljske prema okolišu uzrokuju pojavu takvog trenda i unutar tradicionalno ustrojenih, odnosno vertikalno integriranih elektroprivreda. Općenito, povećani udjel distribuiranih izvora uzrokuje pojavu brojnih tehničkih posljedica koje su uočene u različitim zemljama. Posljedice ovise o veličini izgradnje distribuiranih izvora te vrsti korištenih generatora, ali i o strukturi sustava. Na primjer, subvencije za proizvodnju električne energije iz vjetroelektrana u nekim su zemljama uzrokovale povećanje broja instaliranih vjetroturbina te time i pojavu specijalnih problema u standardnim elektroenergetskim sustavima.

Dakle, vrlo značajno mjesto u distribuiranoj proizvodnji električne energije pripada vjetroelektranama. Ekonomska opravdanost projekta izgradnje vjetroelektrane zahtijeva njezin smještaj u području s visokom iskoristivosti vjetra. Područja visoke iskoristivosti vjetra često se nalaze unutar naponski relativno slabih dijelova mreže koji su locirani u ruralnim predjelima. Time se znatnije otežava njihovo učinkovito priključenje na distribucijsku mrežu. U slučaju većeg iznosa veličine izgradnje, priključenje vjetroelektrane izvodi se i na prijenosnu mrežu.

Prema dosadašnjem standardnom promišljanju, uloga distribucijske mreže pasivne je naravi i svodi se na distribuiranje električne energije industrijskim potrošačima i domaćinstvima. U svjetlu novih tendencija koje idu za primjenom distribuirane proizvodnje, javlja se potreba za distribucijskom mrežom aktivne naravi. Aktivna distribucijska mreža treba udovoljiti zahtjevima onih potrošača koji svoju potrošnju mogu namiriti vlastitom lokalnom proizvodnjom te višak plasirati u mrežu. Obzirom da se priključenje vjetroelektrane znatno češće izvodi na distribucijsku mrežu, elektroenergetski sustav se dovodi u izmijenjenu situaciju u odnosu na prvobitno zamišljenu. Pasivnu ulogu distribucijske mreže potrebno je zamijeniti aktivnom. Zamjena uloga često uzrokuje potrebu za primjenom većih investicijskih zahvata u mreži koji bi omogućili veću učinkovitost proizvodnje električne energije iz vjetroelektrana.

## 2. TEHNIČKI UTJECAJI DISTRIBUIRANIH IZVORA NA SUSTAVE PROIZVODNJE I PRIJENOSA

Operator sustava odgovoran je za planiranje proširenja mreže, pogon mreže uključujući upravljanje naponom i jalovom snagom, mjerenje i naplatu, planiranje proširenja proizvodnih kapaciteta i energetsko planiranje (ukoliko je operator sustava ujedno i vlasnik proizvodnih objekata), održavanje sustava pričuve, trgovanje električnom energijom, raspored proizvodnje jedinica i regulaciju frekvencije [4]. Povećana izgradnja distribuiranih izvora utječe na svaku od navedenih zadaća operatora sustava.

Utjecaj na ***planiranje proširenja mreže*** javlja se ukoliko veliki broj distribuiranih izvora može biti priključen samo izravno na prijenosni sustav. U osnovi se radi o suprotnosti s pretpostavkom o maksimalnoj veličini izgradnje od 50 MW do 100 MW. U slučaju da se iskorištava energija vjetra, instalirani kapacitet u vjetroelektranama može relativno brzo dosegnuti vrlo visoke iznose proizvodnje električne energije. U nekim slučajevima (vjetroelektrane na površini mora, Danska), neophodno je vjetroelektrane priključiti izravno na prijenosnu mrežu čime se mijenja topologija sustava. U sustavima s izrazito povećanim brojem neupravljivih i do izvjesne razine nepredvidivih izvora,

slabost prijenosne mreže predstavlja prepreku integraciji većeg broja distribuiranih izvora. Snažna i prilagodljiva prijenosna mreža omogućuje međunarodno trgovanje snagom za regulacije (pomoćne usluge u ees-u). Štoviše, operator sustava treba vrednovati rizik i posljedice ispada velikog broja distribuiranih izvora koji su priključeni na visokonaponsku i srednjenaponsku mrežu. Ispadi vodova i transformatora zbog preopterećenja mogu se javiti kao posljedica velikog povećanja opterećenja. Stoga je neophodno pažljivo razmotriti dinamička svojstva sustava u slučaju da se lokalna podrška distribuiranih izvora koristi kao sredstvo povećanja prijenosne moći. Dinamičko vladanje sustava je također ugroženo i ukoliko kvarovi u mreži mogu uzrokovati ispade velikog broja generatora time bi se pojavio izraziti nedostatak snage proizvodnje. To se osobito javlja u primjeni frekvencijskih releja. Previsoko udešenje u podfrekvencijskoj zaštiti čini ionako ozbiljno stanje nakon ispada snage proizvodnje još težim. Frekvencijski releji isključuju distribuirane izvore i na taj način povećavaju nedostatak snage proizvodnje.

U ***pogonu mreže*** upravljanje naponom jedna je od osnovnih zadaća. Problemi se javljaju ako je veliki dio opterećenja napajan iz distribuiranih izvora na nižim naponskim razinama. U tim stanjima preostali generatori koji su priključeni na prijenosnu mrežu često nisu u mogućnosti upravljati naponom uz dostatnu razinu točnosti. Stoga se može javiti potreba za preispitivanjem prijenosnih omjera transformatora, uključivanjem poprečnih prigušnica ili promjenom topologije mreže putem isključenja vodova. Zbog istih razloga operator sustava treba posvetiti pozornost razini struja kratkog spoja koja može biti značajno izmijenjena u situacijama s malom proizvodnjom na prijenosnom naponu. Ispravnost prorade releja u sustavu tada može postati vrlo upitnom. Eventualni nedostatak poznavanja instaliranog kapaciteta i lokacije distribuiranih izvora izravno utječe na planove ponovnog uspostavljanja stanja nakon ozbiljnih incidenata u sustavu. Stoga se javlja potreba za primjenom komunikacijskih kanala u cilju omogućavanja nadzora operatoru sustava nad najznačajnijim distribuiranim izvorima.

***Planiranje proširenja proizvodnje i energetsko planiranje*** pod utjecajem su distribuiranih izvora zbog neupravljivosti njihove izlazne snage koja je pored toga u brojnim slučajevima još i teško predvidiva. U pogledu dugoročne pričuve u svrhu regulacije glavnih varijabli ees-a, distribuirani izvori neće zamijeniti konvencionalne izvore iste veličine izgradnje zbog njihovih stohastičkih značajki. Zahtjevi obzirom na sastav sustava proizvodnje promjenjivi su u ovisnosti o razlikama u godišnjim i dnevnim krivuljama opterećenja nakon angažiranja distribuiranih izvora i/ili povećanja zahtjeva za sekundarnom pričuvom. U Nizozemskoj je, na primjer, do sada približno 40% ukupno proizvedene električne energije dolazilo iz kogeneracijskih izvora od kojih je 3000 MW bilo centralizirano, a 4000 MW decentralizirano. U kombinaciji sa snažnim jutarnjim povećanjem potražnje za električnom energijom dolazi do problema budući da je brzina promjene opterećenja termoenergetskih izvora ograničena. Pri energetskom planiranju (do 5 godina unaprijed) ponekad je potrebno razmotriti i smanjenje očekivane proizvodnje. Distribuirani izvori zasigurno utječu na godišnju krivulju opterećenja te time i na proizvodnju i trgovanje električnom energijom iz ostalih izvora. Ovaj je utjecaj stohastičke naravi te u slučaju vjetroelektrana i s vrlo velikim neizvjesnostima u predviđanju. Stoga je pored predviđanja potrošnje potrebno provoditi i predviđanje proizvodnje iz distribuiranih izvora.

***Održavanje snage pričuve, trgovanje električnom energijom, raspored proizvodnje i regulacija frekvencije*** također su pod utjecajem distribuiranih izvora uslijed njihove stohastičke naravi. U velikim povezanim sustavima poput UCTE-ovog, primarna pričuva vjerojatno nije upitna obzirom da su čak i velike fluktuacije izlazne snage koje su očekivane kod vjetroelektrana ipak manjeg iznosa od fluktuacija opterećenja. U manjim (otočnim) sustavima taj je aspekt od posebnog značenja. Zahtjevi za sekundarnom pričuvom mogu biti povećani obzirom da se izlazna snaga distribuiranih izvora predviđa samo uz ograničenu točnost. Stoga je fluktuaciju izlazne snage distribuiranih izvora potrebno izbalansirati putem snage razmjene s povezanim partnerima ili unutar nekog od vlastitih podsustava. Zahtjevi za sekundarnom pričuvom mogu doći pod utjecaj rizika od ispada velikog broja distribuiranih izvora priključenih na visokonaponsku i srednjenaponsku mrežu u uvjetima kvarova u mreži. Vjerojatnost u odnosu na druge incidente vrlo je specifična obzirom na zahtjeve sekundarne pričuve i ovisna o sustavu tako da se njezina analiza rijetko provodi. Raspored proizvodnje velikih proizvodnih objekata zasigurno će biti suočen s novim ograničenjima. Deterministički pristup pri optimiranju rasporeda angažiranja proizvodnih jedinica potrebno je preispitati ukoliko bi nakon angažmana distribuiranih izvora preostao vrlo mali iznos tereta i to uz fluktuacije kako tereta tako i distribuiranih izvora. Trgovanje električnom energijom pod sličnim je utjecajem, ali ponekad može predstavljati jedino rješenje. Posebice je to slučaj kada proizvodnja iz distribuiranih izvora nadvisuje iznos koji može biti korišten u ees-u nakon provedenog razmatranja svih ograničenja poput zahtjeva za snagom pričuve i zahtjeva za stabilnim pogonom.

## 3. TEHNIČKI UTJECAJI DISTRIBUIRANIH IZVORA NA DISTRIBUCIJSKI SUSTAV

Distribuirani izvori utječu na kvalitetu napajanja i tehničke aspekte poput snage kratkog spoja ili sustava zaštita [4]. U pogledu kvalitete napajanja najčešće se razmatra jedino kvaliteta napona. Pouzdanost opskrbe uglavnom se ne mijenja zbog integriranja distribuira-

nih izvora koji se nalaze izvan sustava upravljanja iz hijerarhijski najvišeg središta obzirom da izostaje izraženija korelacija s opterećenjem. Neki su utjecaji lokalne naravi i mogu se razriješiti korištenjem lokalnih mjerenja. Ostali aspekti većinom ovise o strukturi mreže, pa se stoga razmatraju u okviru dugoročnog planiranja.

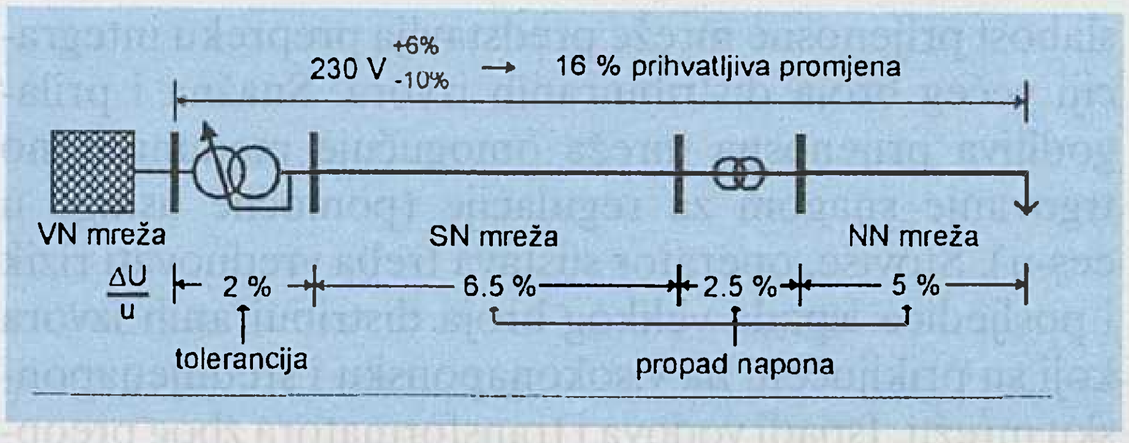
Ovisnost između distribuiranih izvora i pogona mreže razmatra se unutar okvira dvaju aspekata:

- **Mrežna moć.** Ograničena je problemom stabilnosti napona i problemom strujne opteretivosti opreme. Povećanje mrežne moći izvedivo je u određenom rasponu vrijednosti optimiranjem postojećih stupnjeva slobode u pogonu mreže ili investiranjem u novu primarnu opremu.
- **Priključni kriteriji.** Mogu doći pod utjecaj tehnologije distribuiranih izvora i ostalih lokalnih mjera. To se osobito primjenjuje na flikere, najveća odstupanja napona, struje kratkog spoja i selektivnost sustava zaštite.

U visokonaponskim mrežama priključni kriteriji uglavnom predstavljaju manji problem od strujne opteretivosti u normalnom pogonu te pri (n-1) kriteriju. Priključenje distribuiranih izvora na visokonaponsku mrežu u današnje doba ulazi u okvire standardiziranih postupaka planiranja. U srednjenaponskim i niskonaponskim mrežama potrebno je pažljivije razmatrati napone u stacionarnim i prijelaznim stanjima. Osnovno obilježje neupravljivih distribuiranih izvora odnosi se na fluktuaciju izlazne snage koja nije u izravnoj vezi s električnim teretom. Rezultirajuća fluktuacija napona u mreži superponira se na već postojeću fluktuaciju uzrokovanu promjenama električnih tereta. Superponiranje fluktuacija može dovesti do potrebe za proširenjem raspona napona u normalnom pogonu. Eventualnim proširenjem raspona napona troši se pričuva u mreži i povećava neraspoloživost mreže za dodatne potrošače.

Za sve potrošače koji su priključeni na niskonaponsku mrežu ograničenje napona uzima se u rasponu 230 V +6%/-10%. Za potrošače priključene na srednjenaponsku mrežu ograničenje se uzima prema $U_n$±10%. Iz primjera predočenog na slici 1 uočava se da nakon oduzimanja najvećeg očekivanog propada napona u niskonaponskoj mreži (≈5%) i na transformatorima lokalne mreže (≈2.5%) te uključivanjem tolerancije regulatora napona transformatora između visokonaponske (VN) i srednjenaponske (SN) mreže (≈2%), ograničenost raspona napona u srednjenaponskoj mreži može poprimiti iznos ≈6.5%. Manji propad napona u niskonaponskoj mreži povećava moć srednjenaponske mreže i obrnuto. Dodatne komponente namijenjene regulaciji napona koje su instalirane na disperziranim lokacijama u takvim mrežama mogu povećati prijenosnu moć.

Potrebu za proširenjem raspona napona zbog injektiranja snage iz distribuiranih izvora moguće je ublažiti




**Slika 1. Primjer proračuna prihvatljivog propada napona u srednjenaponskoj mreži**

kompenzacijom jalove snage distribuiranih izvora. Na taj bi se način podržala optimizacija tokova jalove snage na višim naponskim razinama. Stoga faktor snage distribuiranih izvora nije nužno postaviti na konstantnu vrijednost (često 1) već dozvoliti određeni stupanj slobode u svrhu zadovoljavanja lokalnih zahtjeva. Ukoliko već nije ograničeno prihvatljivim rasponom napona, priključenje distribuiranih izvora bilo bi ograničeno sa strujnom opteretivosti opreme koja je određena termičkim naprezanjem. U današnje se doba uobičajeno pretpostavlja da termičko ograničenje struje može biti kratkotrajno narušeno, na primjer u uvjetima brzog ponovnog uspostavljanja napajanja nakon kvara.

Vjetroelektrane su posebice podložne stvaranju fluktuacija snage uzrokujući time nagle promjene napona i flikere. Poremećaji koji se na taj način uzrokuju izražavaju se pomoću faktora flikerske poremećenosti. U Njemačkoj, na primjer, u srednjenaponskim mrežama faktor dugotrajne flikerske poremećenosti ne smije prijeći granicu $P_{lt}$=0.67. Zbog stohastičke neovisnosti signala poremećaja iz različitih potrošača te prigušenja uvedenog mrežnom impedancijom među potrošačima koji su razmješteni na većim udaljenostima, pretpostavlja se da je navedeno gornje ograničenje flikera osigurano ukoliko faktor ne prelazi $P_{lt}$=0.37 za pojedinačne potrošače i $P_{lt}$=0.46 za pojedinačne distribuirane izvore. U svrhu ograničavanja utjecaja flikera, brze promjene djelatne i jalove snage potrebno je odgovarajuće umanjiti. Prikladnim izborom tehnologije i veličine izgradnje elektrane moguće je osigurati stanje ees-a u kojem flikeri ne bi postali ograničavajućim faktorom. Najveća dozvoljena amplituda brzih jednokratnih promjena napona u njemačkim je srednjenaponskim mrežama ograničena na 4%. Takve promjene se javljaju samo u primjeni vjetroelektrana te su kao i flikeri ovisne o vrsti generatora.

Priključenje distribuiranih izvora koji imaju izravno spojene sinkrone ili asinkrone generatore može pridonijeti povišenju snage kratkog spoja iznad sposobnosti mrežne opreme. Snaga kratkog spoja je uobičajeno najvećeg iznosa u čvorištu VN/SN transformatora. U ovisnosti o konfiguraciji mreže, snaga kratkog spoja u tom čvorištu može doći na gornju granicu čak i kada u srednjenaponskoj mreži nema dodatnog izvora snage. Sukladno tome, u slučaju integriranja distribuiranih izvora potrebno je provjeriti snagu kratkog

spoja za svaki pojedinačni slučaj priključenja te ukoliko se pokaže neophodnim i zadržati njezin iznos unutar dozvoljenog raspona korištenjem odgovarajućih mjera unutar elektrane (na primjer, konverterskim odvajanjem) ili primjenom ograničivača struje kratkog spoja.

Zaštita proizvodnih jedinica kod distribuiranih izvora ne stvara posebne poteškoće i izvodi se pomoću standardne relejne opreme. Glavni se izazov pronalazi u projektiranju sučelja prema shemi zaštite te njegovoj koordinaciji prema mrežnim relejima i pogonskim uvjetima. Sustavi zaštite u srednjenaponskim mrežama u današnje su doba pretežito zasnovani na radijalnosti pogona. Selektivnost prorade postiže se korištenjem nezavisnih nadstrujnih releja s vremenskim zatezanjem koji su razmješteni bez razmatranja usmjeravanja. U slučaju pojave kvara isključuje se samo relevantna grana tako da preostali dio mreže nastavlja s normalnim pogonom. Ukoliko postoji više disperziranih točaka napajanja, sve grane s priključenim proizvodnim objektima napajaju mjesto kvara. To zapravo znači da ako sustav zaštite ne uspije izolirati distribuirani izvor od mreže dovoljno brzo po otkrivanju podnaponskog stanja, nezavisni nadstrujni releji s vremenskim zatezanjem mogu neselektivno isključivati grane u mreži koje nisu pogođene kvarom. Selektivnost se u okvirima određenih ograničenja u takvim slučajevima postiže povećanjem vremenskog zatezanja nadstrujnih releja, različitim udešavanjem vremenskih zatezanja ili povećanjem zone nedjelovanja sustava podnaponske zaštite. Za povećanje zone nedjelovanja ili odgađanje vremena prorade nezavisnih nadstrujnih releja nije u potpunosti moguće reći da ne stvaraju probleme, posebice obzirom na poželjnost brzog isključenja, izbjegavanje oštećenja opreme i sigurnost pogonskog osoblja. Osim toga, neophodno je omogućiti provođenje pouzdanog otkrivanja kvarova s malim strujama kvara. Posebice ukoliko sustavi imaju veći broj grana, postoji mogućnost nastanka problema vezanih uz koncept sustava zaštita tako da je ponekad potrebno poduzeti i radikalnije mjere (npr. instaliranje jednosmjernih nezavisnih nadstrujnih releja s vremenskim zatezanjem).

U osnovi, pouzdanost napajanja obično ne biva povećana integracijom distribuiranih izvora koji su izvan sustava upravljanja vođenog iz hijerarhijski najvišeg središta. Dapače, pri projektiranju je nužno preventivno djelovati kako distribuirani izvori ne bi utjecali na pouzdanost napajanja. Do toga može doći ukoliko selektivnost sustava zaštita postane ugrožena, učinkovitost automatskog ponovnog uključenja nije više zajamčena ili se javi opasnost preopterećenja kabela nakon privremene promjene konfiguracije mreže. Nadalje, naponi u stacionarnim stanjima ne smiju prijeći prihvatljiva ograničenja pri iznimnim uvjetima napajanja. U takvim slučajevima može biti neophodno izolirati distribuirani izvor od mreže ili opremiti distribuirani izvor automatskim ograničivačima napona.

Promjene tokova snaga praćene su promjenama gubitaka u mreži. Uz mala napajanje, gubici u mreži se smanjuju kako se period korištenja opreme (a time i faktor gubitaka) smanjuje. Gubici u mreži se povećavaju kada distribuirana proizvodnja uvelike premašuje iznos opterećenja. Također, gubici se povećavaju kada je faktor snage u distribuiranoj pojnoj točki potrebno udesiti s izrazitim induktivnim karakterom kako bi se osiguralo postojanje prihvatljivih pogonskih uvjeta u mreži (posebice dozvoljeni raspon napona). U principu, gubici u mreži nisu predmetom pogonskih ograničenja. Ipak, zbog ekonomičnosti potrebno ih je minimizirati.

Neupravljivi distribuirani izvori koji su priključeni na srednjenaponsku ili niskonaponsku mrežu povećavaju neophodne investicije u mreži. Njihova primjena uzrokuje potrebu za proširenjem očekivanih raspona napona čime se smanjuje mrežna moć koja je potrebna za napajanje dodatnih potrošača.

## 4. RJEŠENJA TEHNIČKIH UTJECAJA I OTVORENA PITANJA

U današnje doba postoje dva osnovna pristupa planiranju priključenja distribuiranih izvora na mrežu [4]. Oba pristupa imaju istu pozadinu koja se odnosi na ograničenost kvalitete napajanja potrošača prema europskoj normi EN 50160. Sljedeća dva primjera objašnjavaju različitost u pristupima:

- Samo su zahtjevi potrošača značajni u odlučivanju o mogućnosti priključenja distribuiranih izvora te o tome kako treba izgledati projekt. Operator mreže provjerava mogućnost nastanka interferencije u svakom pojedinačnom slučaju. Ovaj se postupak primjenjuje u Velikoj Britaniji, gdje su pripadni standardi kvalitete definirani na temelju inženjerskih preporuka.
- Kako bi se olakšalo razmatranje priključenja velikog broja distribuiranih izvora, donose se posebna pravila o priključenju čime se cijeli postupak čini praktičnijim. U Njemačkoj su pravila o priključenju izvedena iz odgovarajućih standarda o pogonu mreže i zahtjevima potrošača. Pri tome je pretpostavljeno postojanje tipične srednjenaponske mreže s prosječnim opterećenjima te tipičnim vrstama i duljinama vodova.

Općenito se u drugom pristupu ne jamči kvaliteta napajanja u situacijama s velikom gustoćom distribuiranih izvora. Ipak, česte su situacije u kojima se distribuirani izvori priključuju obzirom na zahtjeve potrošača kada to pojednostavljena pravila o priključenju na mrežu ne dozvoljavaju. U Njemačkoj, Danskoj, Španjolskoj i Nizozemskoj su prihvatljive vrijednosti promjene napona u stacionarnom stanju znatno restriktivnije u usporedbi s vrijednostima definiranim u EN50160 (±10%). Restriktivnost je motivirana pretpostavkom prema kojoj ukupni prihvatljivi raspon sa

stajališta potrošača ne smije biti predviđen samo za jedan distribuirani izvor već treba biti raspodijeljen između potrošača i distribuiranog izvora. U Njemačkoj se isti princip primjenjuje u definiranju kvalitete napona.

Potrošnja jalove snage kao sredstvo smanjenja povišenih iznosa napona u stacionarnom stanju u nekim je zemljama prihvatljiva u određenoj mjeri. U Nizozemskoj se injektiranje jalove snage ne smatra korisnim, dok se u drugim zemljama primjenjuje samo u posebnim slučajevima. Niti u jednoj zemlji nema naplate za potrošnju jalove snage ukoliko je cos $\varphi$=0.9. Ukoliko je cos $\varphi$<0.9, uvode se tarife za naplatu koje se kreću između 0 i 0.015 €/kVAh u Njemačkoj te između 0 i 4% od cijene kWh u Španjolskoj. U Nizozemskoj se primjenjuju različiti dogovori. Samo se u Španjolskoj primjenjuju tarife također i za isporuku jalove snage iz distribuiranih izvora. Tehnički aspekti sinkronizacije i zaštite trebaju ispuniti zahtjeve postavljene tehničkim standardima, a ovisni su o specifičnostima sustava zaštite.

U razmatranju distribuiranih izvora pri planiranju i pogonu elektroenergetskog sustava neophodno je uspostaviti i koristiti nove matematičke modele analize [5]. Zbog stohastičke ovisnosti izlazne snage distribuiranih izvora neophodno je uvesti dodatne elemente vezane uz različite neizvjesnosti. Slijedeći su aspekti neizvjesnosti od posebnog značenja obzirom na primjenu distribuiranih izvora:

- **Predviđanje opterećenja/proizvodnje.** Uvrštenje proizvodnih jedinica u raspored proizvodnje provodi se na temelju prethodno izvedenog predviđanja opterećenja koje u tradicionalnim sustavima sadrži neizvjesnost u rasponu od 3 %. Ova se neizvjesnost neutralizira provođenjem ekonomskog dispečinga u realnom vremenu. Povećanje udjela neupravljivih jedinica koje su obilježene stohastičkim ponašanjem povećava neizvjesnost u skupnim predviđanjima opterećenja i proizvodnje. Stoga je neophodno razviti nove modele za predviđanje proizvodnje i to u ovisnosti o tehnologiji distribuiranih izvora i pridruženoj razini slučajnosti. Prikupljanje i pohranjivanje podataka predstavljaju temeljni aspekt. U Danskoj su sve konvencionalne jedinice iznad 2 MW te gotovo sve veće vjetroelektrane opremljene uređajima za mjerenje u realnom vremenu. Za manje jedinice rješenje je predviđeno u obliku snimača *(eng. recorder)*. Za slučaj primjene većeg broja mikro-proizvodnih jedinica, ovom je aspektu nužno posvetiti veliku pozornost. Potrebno je poduzeti istraživačke aktivnosti koje se odnose na utjecaj koji povećana neizvjesnost ima na uvrštenje proizvodnih jedinica u raspored proizvodnje te na ekonomski dispečing.
- **Prilagodba zahtjeva obzirom na snagu pričuve i instalirani kapacitet.** U današnje su doba zahtjevi obzirom na snagu pričuve (primarnu i sekundarnu) zasnovani na pretpostavkama koje su postavljene za vertikalno integriranu strukturu tradicionalnih elektroenergetskih sustava. Struktura se odnosi na veliki broj klasičnih proizvodnih objekata i manji broj neupravljivih jedinica. Proizvodne jedinice s velikim stohastičkim vladanjem doprinose fluktuacijama proizvodnje. Kvarovi u mreži ponekad uzrokuju ispad većeg broja distribuiranih izvora (Danska). Zbog toga je neophodno provoditi analizu vjerojatnosti ispada određenog iznosa snage proizvodnje. Fluktuacije i ispadi proizvodnih jedinica utječu na neophodni iznos snage pričuve (primarne i sekundarne). Nadalje, ukupni iznos instaliranog kapaciteta potrebno je preispitati obzirom na pouzdanost budući da distribuirani izvori zamjenjuju samo jedan njegov dio. Navedene zahtjeve pričuve potrebno je prilagoditi ovisno o broju i vrsti distribuiranih izvora koji su instalirani u sustavu.
- **Planiranje prijenosne mreže (VN).** Distribuirani izvori mogu imati veliki utjecaj na planiranje visokonaponske prijenosne mreže. U nekim se situacijama mogu javiti kao potencijalno alternativna rješenja standardnom razvoju mreže. U angažmanu IPP jedinica moguće je izbjeći mrežna ograničenja ukoliko jedinice imaju garantirani postotak raspoloživosti (na primjer, 95 % tijekom zimske sezone u standardnim ugovorima za kogeneraciju u Francuskoj). Raspoloživost može biti vremenski ovisna i vezana uz trenutno stanje opterećenja, što je čini predmetom planiranja. Za preostala ograničenja, operator mreže poduzima rješenja u domeni generatora i okolne lokalne mreže (na primjer, za slučaj neraspoloživosti voda) koja predstavljaju alternativu izvedbi pojačanja u mreži. Za EdF je odnedavna uvedena obveza razmatranja takvih rješenja uslijed zahtjeva vezanih uz zaštitu okoliša. Za bilo koji problem razvoja potrebno je razmotriti različita rješenja koja su zasnovana ili na distribuiranim izvorima ili na pojačanjima u mreži. Uz distribuiranu proizvodnju, postotak neraspoloživosti kod distribuiranih jedinica znatno je veći nego kod vodova ($5\cdot10^{-2}$ prema $5\cdot10^{-4}$). Stoga (n-1) pravilo nije dovoljno, pa treba razmotriti i ostale situacije poput (n-2) ili čak i (n-3).
- **Planiranje distribucijske mreže (SN i NN).** Neizvjesnosti u razvoju instaliranog kapaciteta distribuiranih izvora te njihovim lokacijama utječu također i na planiranje distribucijske SN/NN mreže. U novim okolnostima, postojeće mreže je potrebno koristiti znatno učinkovitije i to uz uporabu novih modela u koje su uključeni distribuirani izvori. Potrebno je točnije proračunati njihov utjecaj na tokove snaga u distribucijskim mrežama. Obzirom na iskustva iz Nizozemske i Njemačke, uporabom novih modela moguće je odgoditi ili izbjeći investicije u mreži i na taj način povećati ukupnu ekonomičnost.

Posebna pravila koja su postavljena unutar sustava usluga različita su među različitim zemljama i ovisna o strukturi elektroenergetskog sustava i vrsti deregula-

cije. Usluge je potrebno pružiti korisnicima kako bi se zajamčio dostatan pogon ukupnog ees-a. Usluge pruža operator sustava koji ih dobiva iz proizvodnih objekata i mreže. Koncepcijski se ideja zasniva na sudjelovanju svih generatora (uključujući i distribuirane izvore) u svim vrstama usluga. U protivnom bi generatori koji u tome ne sudjeluju usluge trebali kupiti. Prema drugom konceptu, kupci su obvezni kupiti usluge od bilo kojeg dobavljača (NERC pravila). U nastavku su predočena rješenja u sustavu usluga prema različitim zemljama. U onim zemljama gdje su proizvodnja i distribucija potpuno razdvojene (Velika Britanija i skandinavske zemlje) usluge osigurava prijenosna kompanija. Neke usluge mogu biti natjecateljski ustrojene (rotirajuća pričuva) za što je neophodno uspostaviti tržišni mehanizam. Ostale usluge nisu u sustavu natjecanja (dispečiranje i raspoređivanje jedinica). Usluge se dijele prema slijedećim općim skupinama:

- **Dispečiranje.** Distribuirani izvori obično nisu uključeni u sustav upravljanja iz hijerarhijski najvišeg središta koji izvodi operator sustava. Iskustva iz Nizozemske i Danske pokazuju da pogon s velikim brojem distribuiranih izvora može dovesti do situacija u kojima velike središnje proizvodne jedinice ne mogu slijediti promjene opterećenja. Stoga je uspostavljena vremenski promjenjiva cijena električne energije isporučene iz distribuiranih izvora kako bi se promovirala veća proizvodnja tijekom perioda većeg opterećenja i motivirali distribuirani izvori da slijede krivulju opterećenja. Veće cijene električne energije javljaju se tijekom dnevnih perioda s visokom potrošnjom, a niže cijene tijekom noći.
- **Pričuva.** U svrhu zadovoljavajućeg ispunjavanja zahtjeva obzirom na primarnu pričuvu, statičnost regulatora brzine vrtnje/snage postavlja se između 2 % i 6 % na svim jedinicama koje su u pogonu. U dereguliranim sustavima definiraju se obveze generatora i/ili uspostavlja tržište pomoću kojeg se motivira generatore da doprinose primarnoj pričuvi. U Velikoj Britaniji su generatori plaćeni prema MW/Hz vrijednosti koja je proporcionalna njihovom instaliranom kapacitetu i godišnjem prosjeku (iznad 5 godina) vremena provedenog u pogonu. Plaća se iznos definiran temeljem umnoška ((MW/h) x ugovorena cijena) za sve generatore. Višak primarne pričuve prodaje se na odvojenom tržištu. Proizvođači iskazuju cijenu i veličinu raspoložive primarne pričuve koja nadvisuje obveznu vrijednost, a generatori koji nemaju odgovarajuću vrijednost obvezni su kupiti potrebnu pričuvu od drugih generatora. U takav je sustav moguće uključiti i distribuirane izvore na način sličan onome koji vrijedi za sve ostale generatore. Naravno, samo ukoliko su registrirani kod operatora sustava. U sustavima s prevladavajućom proizvodnjom iz hidroelektrana, sekundarna pričuva je raspoloživa u dostatnom iznosu. Problemi se eventualno mogu javiti u sustavima s pretežnom proizvodnjom iz termoelektrana (slučaj Nizozemske). U slučaju već uspostavljenog tržišta regulacijske snage, moguće su kratkoročne i dugoročne kupoprodaje kapaciteta za sekundarnu pričuvu. Distribuirani izvori mogu sudjelovati u aktivnostima na tom tržištu. U slučaju da u sustavu nema dovoljno raspoložive pričuve (u uvjetima privremenog ili trajnog nedostatka velikih generatora ili ograničene prijenosne moći), izdavanje obveznih naloga može postati neophodnom mjerom osiguravanja normalnog pogona.
- **Regulacija napona.** Kvaliteta napona usko je vezana uz snagu kratkog spoja. Zajamčena je pravilnim projektiranjem sustava te sigurnim dispečiranjem. U svrhu regulacije napona u visokonaponskom prijenosnom sustavu, operator sustava instruira proizvodače kako bi proizvodili jalovu snagu u iznosu dovoljnom za stabilan pogon mreže i minimalne gubitke. Distribuirani izvori općenito ne sudjeluju u regulaciji napona. Međutim, u slučaju da su generatori koji su pod nadzorom operatora sustava obvezni sudjelovati u regulaciji napona bez nadoknade, potrebno je uvesti ekvivalentnu naknadu za distribuirane izvore.
- **Pogon sustava.** Pogon sustava, uklapanje vodova, raspored proizvodnje, planirano održavanje vodova i postrojenja, očitavanje brojila i naplatu izvodi operator sustava. Također, sve tehničke ili organizacijske mjere koje se poduzimaju u svrhu lociranja ispada te prevencije ispada i raspada u nadležnosti su operatora sustava. Generatori trebaju sudjelovati u mjerama ponovnog uspostavljanja stanja nakon eventualnog raspada (sposobnost 'crnog' pokretanja). U tim aktivnostima trebaju sudjelovati i distribuirani izvori.

Razvoj odgovarajućih cijena za sustav usluga u mnogim je zemljama još uvijek u nastajanju. Neke od usluga mogu se naći u uvjetima tržišnog natjecateljstva (rotirajuća pričuva) uz potrebu uspostavljanja tržišnog mehanizma. U tom slučaju distribuirani izvori kao i svi ostali mogu sudjelovati u tržišnom nadmetanju. U slučaju postojanja obveznih odnosa bez odgovarajućeg načina plaćanja, potrebno je uspostaviti ekvivalentnu naknadu za distribuirane izvore kako bi se izbjegla diskriminacija.

Distribuirani izvori se u elektroprivredama doživljavaju kao novo područje aktivnosti. Na primjeru CHP-a već je nekoliko zemalja dokazalo uspješnost u zadovoljavanju potreba onih potrošača kojima se istodobno isporučuje električna energija i toplina. Središnja poslovna orijentacija takvih potrošača uglavnom je različita od dobave energije. Stoga oni u distribuirane izvore investiraju samo ukoliko procijene da postoje uvjeti za ostvarenje značajne ekonomske koristi od takve aktivnosti. Na taj se način otvara niz mogućnosti za zajedničkom suradnjom. Iskustva iz svijeta ukazuju na brzi porast distribuirane proizvodnje koja je promovirana bilo političkim utjecajima (poput subvencije) ili temeljem povećanog natjecateljstva unutar otvorenog tržišta.

Među raspoloživim tehnologijama istaknuto mjesto pripada vjetroelektranama. Uz njih se još razmatraju i kogeneracijske jedinice, male hidro jedinice, fotonaponski sustavi, gorive stanice te mikro-izvori (diesel ili plinski motori, mikro turbine). Plinske turbine zauzimaju sve veći udjel na industrijskom tržištu (iznad 50 MW) te kod IPP proizvođača. Razlog je svakako u njihovim modularnim svojstvima koja značajno skraćuju vrijeme instalacije te time i vrijeme povrata investicije. Zbog velike potražnje, njihova cijena po kW značajno je smanjena. Štoviše, niske cijene plina, subvencije te otvaranje tržišta u gotovo svim zemljama promoviraju instaliranje turbina na lokacijama potrošača. Nedavni razvoj u području mikro-proizvodnje ukazuje na mogućnost da vrlo male turbine s električnom snagom manjom od 50 kW mogu biti korištene za proizvodnju električne energije na lokacijama privatnih potrošača.

Vrsta tržišta, monopolistička ili otvorena struktura, te štoviše razine cijena snage i energije utječu na udjel distribuiranih izvora i brzinu promjene tog udjela. U Njemačkoj je zakonskim rješenjem zajamčena visoka cijena obnovljivim izvorima što je uzrokovalo brzi porast izgradnje vjetroelektrana od približno 0 MW u 1990. godini do više od 2000 MW krajem 1997. godine. Sličan razvoj javlja se u mnogim zemljama. Otvaranje i mijenjanje strukture tržišta vodi prema brzim promjenama strukture proizvodnje. U nekoliko je zemalja uočena tendencija prema zamjeni konvencionalne proizvodnje ukoliko postoji značajan poticaj natjecateljstva ili razlike u cijeni. S druge strane, u zemljama s niskim cijenama energije poput Norveške s velikim hidro kapacitetom, očekivani porast distribuirane proizvodnje vrlo je nizak.

Izgradnja distribuiranih izvora u većem broju zasigurno utječe na gotovo sve dijelove sustava opskrbe električnom energijom. Osnovne karakteristike obilježava neizvjesnost pridružena njihovoj izlaznoj snazi te ponekad čak i nedostatno poznavanje njihovog instaliranog kapaciteta. Stoga se gotovo uvijek javlja zahtjev za izgradnjom snažnih i prilagodljivih mreža u blizini distribuiranih izvora. Ponekad se zahtjevi postavljaju sve do visokonaponske razine ukoliko je povećana potreba za trgovanjem snagom i pričuvom u sustavu. Zamjena električne energije isporučene iz velikih konvencionalnih proizvodnih objekata s energijom iz distribuiranih izvora utječe na pogon mreže, zahtjeve za pričuvom, regulaciju frekvencije, vozni red... U distribucijskim mrežama, izgradnja distribuiranih izvora može povećati potrebu za mrežnom moći i stvoriti dodatne troškove pri planiranju. Ukoliko su uključeni u sustav središnjeg upravljanja, distribuirani izvori mogu imati pozitivan utjecaj na sustav u obliku povećanja pouzdanosti.

Razvoj skupa pravila za priključenje distribuiranih izvora na mrežu pomaže u razmatranju tehničkih aspekata u okolnoj mreži. Dva su osnovna pristupa. Prema prvom se pristupu za svaki pojedinačni slučaj traži suglasnost sa zahtjevima potrošača bilo na temelju analize tehničkih ograničenja ili postavljenog skupa više ili manje pojednostavljenih pravila priključenja na temelju kojih se ocjenjuje mogućnost priključka. Nedostatak ovog pristupa nalazi se u podcijenjenoj mrežnoj moći u nekim slučajevima, a prednost u obliku značajnog smanjenja troškova planiranja. Prema drugom se pristupu razvijaju modeli u svrhu razmatranja distribuiranih izvora u fazama planiranja i pogona. Potreba za novim razvojem prepoznata je u zajedničkom predviđanju opterećenja potrošača i proizvodnje iz distribuiranih izvora, planiranju snage pričuve, planiranju VN mreže te planiranju i pogonu SN/NN mreže. Osim uključivanja u različite faze planiranja, poželjno je uspostaviti natjecateljske uvjete između klasičnih proizvodnih jedinica i distribuiranih izvora na nediskriminirajućoj osnovi. Na taj se način upućuju distribuirani izvori na pružanje usluga u sustavu poput svih ostalih generatora. Nasuprot tome nalazi se samo uspostavljanje ekvivalentnih naknada. Posljednju strategiju predstavlja suradnja s operatorima distribuiranih izvora nuđenjem usluga u okviru planiranja i raspodjele. Time se operatorima sustava olakšava preglednost nad instaliranim kapacitetom distribuiranih izvora. Iako se opisane zadaće možda doimaju kao prepreke kojima se nastoji smanjiti penetraciju, osnovni im je cilj integracija distribuiranih izvora u elektroenergetski sustav na najbolji mogući način i to bez diskriminiranja bilo kojeg od igrača na tržištu.

Mnoga su pitanja još uvijek otvorena. Pravila priključenja na mrežu u mnogim su sustavima još uvijek u fazi razvoja. Modeli za planiranje i pogon koji uključuju distribuirane izvore djelomično postoje, ali ih je daljnjim razvojem potrebno poboljšati i proširiti. Na poslijetku, u mnogim je sustavima strukturu tržišta potrebno prilagoditi rastućem broju distribuiranih izvora. Posebice je to potrebno obzirom na odgovarajuće sudjelovanje u pružanju usluga koje se zahtijevaju od svih generatora u cjelini.

## 5. OPĆI PROBLEMI U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ VJETROELEKTRANA

U svrhu balansiranja polariziranih stavova o izgradnji vjetroelektrana potrebno je razmotriti ekonomske i tehničke aspekte koji su povezani s uvjetima njihovog priključenja na mrežu. Ekonomski se aspekti razmatraju tek odnedavna i čini se da će postati očitima samo u dereguliranim sustavima gdje postoji jasna razlika između proizvodnje kWh i pružanja mrežnih usluga. S promjenom tokova djelatne i jalove snage nakon priključenja vjetroelektrane dolazi do izmjene naravi distribucijske mreže. Mreža poprima aktivnu narav uslijed čega se javljaju značajni tehnički aspekti koje je potrebno razmotriti na odgovarajući način. U većini se zemalja pozornost usmjerava prema stvaranju propisa i pravila pomoću kojih se osigurava kvaliteta napajanja potrošača. Povećano uvođenje obnovljivih izvora elek-

trične energije poput vjetroelektrana stvara komponentu neupravljivosti u ees-u. Na temelju vremenske prognoze moguće je predvidjeti srednju brzinu vjetra u kratkoročnom periodu, ali ne i dinamičke promjene, manje ili veće, koje se događaju oko srednje brzine. Dinamičke promjene brzine vjetra uzrokuju promjenjivost iznosa injektirane snage u mrežu. Time se nadalje uzrokuju poteškoće u regulaciji napona i frekvencije, odnosno u kvaliteti isporučene električne energije.

Tehnički aspekti priključenja vjetroelektrana vezani su uz slijedeće probleme [4, 6, 7, 8]:

- **Regulacija napona i kompenzacija jalove snage.** U svakom distribucijskom sustavu jasno je iskazana obveza napajanja potrošača uz održavanje napona u određenim granicama. Ovaj zahtjev često određuje troškove koji su pridruženi projektiranju i izvedbi distribucijske mreže. Priključenje vjetroelektrane uzrokuje promjenu tokova snaga i naponskog profila u ovisnosti o stanju opterećenja u mreži. Osim distribucijskog transformatora s regulacijom pod opterećenjem, često je potrebno primijeniti i sredstva za kompenzaciju jalove snage kako bi se regulirao napon u čvorištima distribucijske mreže.
- **Regulacija frekvencije i upravljanje snagom.** Problem s frekvencijom javlja se u otočnom režimu rada distribucijske mreže na koji je priključena vjetroelektrana. Ukoliko u mreži nema drugih lokalnih proizvodnih jedinica reguliranog tipa, frekvenciju nije moguće održati obzirom da vjetroelektrana u najčešćoj izvedbi sa stalnom brzinom vrtnje i konstantnom frekvencijom nije u reguliranom pogonu. Do otočnog pogona distribucijske mreže može doći ispadom transformatora koji je lociran u pojnoj točki prema visokonaponskoj mreži.
- **Stabilnost napona i kuta.** Ukoliko se na generatore distribuirane proizvodnje gleda samo kao na proizvođače kWh, razmatranje stabilnosti ne poprima veće značenje. Naime, u slučaju kvara u mreži i ispada distribuiranih generatora, izgubljen je jedino kratki period lokalne proizvodnje koja će nakon toga biti ubrzo ponovno uspostavljena. Nasuprot tome, ukoliko su distribuirani generatori značajni u podršci pogona cijelog elektroenergetskog sustava, prijelazne pojave u problemu stabilnosti poprimaju veliko značenje. U nestabilnom stanju, asinkroni generatori u vjetroelektranama ubrzavaju se i povlače vrlo veliku jalovu snagu iz mreže čime se naponi u mreži nadalje snižavaju.
- **Kvaliteta isporučene električne energije.** Kvaliteta napajanja procjenjuje se obzirom na prijelazne promjene napona te harmoničku izobličenost mrežnog napona. Ovisno o karakteristikama mreže i vjetroelektrane nakon priključenja može doći do narušavanja kvalitete napona kod ostalih korisnika (potrošački tereti) u distribucijskoj mreži. Promjenjivost brzine vjetra uvelike se preslikava na snagu koju vjetroelektrana injektira u mrežu. Brzina i intenzitet tih promjena uvelike utječu na kvalitetu.
- **Zaštita.** Zaštita pasivne distribucijske mreže udešena je obzirom na smjer struje koja dolazi samo iz jednog izvora. Kvar se neutralizira proradom samo jednog zaštitnog uređaja (serijski nadstrujni uređaji). Ukoliko su na distribucijsku mrežu priključene vjetroelektrane, moguće je stvaranje uvjeta pri kojima ne dolazi do prorade zaštitnih uređaja udešenih obzirom na samo jedan smjer napajanja mjesta kvara. Shema automatskog ponovnog uključenja voda pogođenog kvarom od velikog je značenja za neprekidnost opskrbe potrošača električnom energijom. Međutim, ukoliko se takva shema primjenjuje na vodu koji je u bliskom spoju s vjetroelektranom, moguća je pojava znatnih oštećenja zbog loše sinkronizacije.
- **Pouzdanost i raspoloživost.** Pouzdanost povrata investicije predstavlja osnovni motiv investiranja u distribuiranu proizvodnju električne energije. Distribuirani generatori imaju znatno veći utjecaj na pouzdanost opskrbe krajnjeg potrošača nego na pouzdanost elektroprivrede. Međutim, ponekad i elektroprivreda ima koristi od distribuirane proizvodnje. Osobito ukoliko zbog njezine primjene dolazi do odgode investicija u mreži te do ublažavanja vrlo visokih cijena električne energije.

Navedeni općeniti problemi odnose se na tehničke prepreke koje je potrebno premostiti kako bi se povećali izgledi za izgradnju vjetroelektrana. Neke od tehničkih prepreka koje se mogu lokalno javiti unutar navedenih općih problema su: neodgovarajuće termičko dimenzioniranje opreme, previsoka razina struja kratkog spoja, nestabilnost generatora, neodgovarajuće postavke transformatora s promjenjivim prijenosnim omjerom, interakcija s regulacijom napona zasnovanom na kompenzaciji pada napona uzduž voda, izloženost potrošača povećanom iznosu napona u stacionarnom stanju, povećanje gubitaka, narušavanje kvalitete isporučene električne energije, narušavanje reda u sustavu zaštita...

S obzirom na razdjelnu ulogu distribucijskih mreža, značajno je provjeriti tehničke uvjete napajanja ostalih potrošača nakon priključenja predmetnih vjetroelektrana. U većini slučajeva distribucijska mreža nije projektirana za smještaj generatora. Štoviše, distribucijska mreža je mogla biti u pogonu i napajati potrošače tijekom većeg broja godina prije samog priključenja. Ukoliko veličina izgradnje vjetroelektrane predstavlja značajan dio mrežne moći, njezino priključenje ima značajan utjecaj na karakteristike mreže. Mreža može ozbiljno ograničiti evakuaciju snage iz vjetroelektrane. Vjetroelektranu je stoga potrebno analizirati kao komponentu sustava. Neophodno je provesti studijsku analizu kako bi se procijenila potreba za eventualnim izvođenjem pojačanja u mreži nakon priključenja vjetroelektrane. U nekim slučajevima studijske analize mogu ukazati i na to da, obzirom na ukupne troškove,

ograničenje pogona vjetroelektrane predstavlja bolje rješenje u usporedbi s izvođenjem pojačanja u mreži.

Projektiranje distribucijskih mreža slijedi dvije temeljne ideje: isporuka električne energije potrošačima uz prihvatljivu kvalitetu napajanja u normalnim uvjetima pogona te zaštita integriteta sustava u slučaju da je dio mreže u stanju kvara. Studijska analiza oslanja se na proračun tokova snaga, proračun kratkog spoja i proračun stabilnosti. Navedeni proračuni izvode se korištenjem stvarnih parametara ugrađene opreme u vjetroelektranama, te relevantnih elemenata distribucijskih mreža.

Dijelovi električnih naprava koje potrošači priključuju na mrežu (posebice elektronički uređaji) namijenjeni su pogonu unutar relativno uskih granica napona oko nazivne vrijednosti. Stoga napon u svim čvorištima distribucijske mreže treba održavati unutar dozvoljenog raspona u svim očekivanim stanjima opterećenja. Proračun tokova snaga koristi se u svrhu provjere normalnih pogonskih stanja elektroenergetske mreže. Uz zadane snage proizvodnje i opterećenja u sustavu, proračun tokova snaga rezultira s naponima u svim čvorištima sustava. Uz poznate napone po iznosu i kutu, računaju se tokovi snaga kroz sve elemente mreže. Proračun tokova snaga zapravo se koristi u svrhu određivanja stanja u mreži pri različitim iznosima snage opterećenja te različitim angažmanima proizvodnih jedinica. Prikupljanje parametara mreže često je vremenski vrlo zahtjevna zadaća. Impedancije vodova i kabela potrebno je preračunati u matematički iskoristiv oblik na osnovi podataka proizvođača.

Brojni faktori mogu utjecati na pojavu oštećenja u distribucijskoj mreži. Vodiči u distribucijskoj mreži odvojeni su od zemlje te međusobno razmaknuti korištenjem različitih izolacijskih materijala (zrak, papir ili polimer). Ponekad može doći do nepredvidivih puknuća unutar izolacije i stvaranja kratkog spoja između vodiča ili između vodiča i zemlje. Ova se nenormalna putanja vođenja struje naziva kvarom. Kvarovi u obliku kratkih spojeva ne ugrožavaju samo sigurnost pogonskog osoblja već mogu značajno oštetiti opremu ukoliko se pojave visoki iznosi struje na mjestu kratkog spoja. Također, moguće je da struja poprimi iznos veći od iznosa nazivnog dimenzioniranja prekidača koji je upravo namijenjen njezinom prekidanju. Proračun kratkog spoja koristi se u svrhu prepoznavanja iznosa struje kvara pri različitim konfiguracijama mreže i mjestima kvara. Rezultati se ne koriste samo u svrhu provjere razine struje kvara te dostatne dimenzioniranosti komponenti mreže kroz koje struja prolazi. Potrebno je štoviše potvrditi da je struja kvara dovoljno velikog iznosa kako bi sustav zaštite uopće mogao prepoznati da se radi o stanju kvara. Projektirati sustav zaštite na način da je moguće prepoznati i izdvojiti stanja sustava s velikim strujama opterećenja u normalnom pogonu te stanja sustava s malim strujama u uvjetima kvara u mreži vrlo je teška zadaća. Obzirom da pogreške pri otkrivanju kvara čine neprihvatljiv sigurnosni rizik, distribucijski sustav potrebno je projektirati tako da je struja kvara dovoljno velikog iznosa te da može biti prepoznata u svim uvjetima pogona. Potrebno je učiniti razliku između simetričnih i nesimetričnih kratkih spojeva. Simetrični kratki spojevi obuhvaćaju sve tri faze na sličan način tako da u njima ne dolazi do izmjene simetrije između napona i struja. U proračunu tih kvarova dovoljno je koristiti jednofazni model mreže. Nesimetrični kratki spojevi uzrokuju nesimetričnost u mreži i zahtjevaju znatno složeniju analizu.

Tokovi snaga i struje kvarova proračunavaju se uz pretpostavku da se sustav prethdono nalazio u točki ravnoteže stacionarnog stanja. U točki ravnoteže, napon po iznosu i kutu u svim je čvorištima takav da snaga teče od čvorišta s viškom proizvodnje nad potrošnjom do čvorišta s potrošnjom većom od proizvodnje. U svakom čvorištu postoji ravnoteža između snage proizvodnje, snage potrošnje i snage prijenosa prema drugim čvorištima. Ravnoteža se primjenjuje i na proizvodne jedinice. Mehanička snaga pogonskog stroja jednaka je električnoj snazi koju proizvodi generator uz zanemarene gubitke. U mehaničkom pogledu, moment ubrzanja na osnovi pogonskog stroja jednak je momentu usporenja uzrokovanog proizvodnjom električne snage iz generatora. Obzirom da je ukupni moment jednak nuli, osovina se vrti konstantnom brzinom. Kutna pozicija rotora mjeri se u odnosu na referentni sustav koji rotira sinkronom brzinom i naziva kutem rotora. U točki ravnoteže, kut rotora čini mjeru iznosa snaga koju generator injektira u mrežu. Kvarovi uzrokuju promjenu ravnotežnog stanja zbog čega pretpostavka o stacionarnom stanju sustava više nije upotrebljiva. Elektroenergetski sustav je tada potrebno tretirati kao dinamički sustav. Proračun stabilnosti dinamičkog sustava oslanja se na diferencijalne jednadžbe, a ne samo na algebarske kao u stacionarnom stanju. Diferencijalne se jednadžbe koriste u svrhu provjere sinkronosti pogona rotirajućih strojeva nakon poremećaja. Ukoliko je sinkronizam održan, sustav se smatra stabilnim. U protivnom, sustav je nestabilan. Svrha proračuna stabilnosti nalazi se u procjeni sposobnosti sustava da izdrži najteže poremećaje. Koristi se i pri određivanju ograničenja pogona ees-a.

Ako je potrebno analizirati brze prijelazne pojave te vladanje naprava zasnovanih na energetskoj elektronici, prethodne tri vrste proračuna mogu se pokazati neodgovarajućima. Naime, ti su proračuni zasnovani na pretpostavci da su valni oblici napona i struje sinusoidalni zbog čega se ukupni sustav modelira korištenjem fazora u domeni elektromehaničkih prijelaznih pojava. U slučaju da ta pretpostavka više nije prihvatljiva, sustav je potrebno analizirati unutar znatno kraće vremenske skale korištenjem elektromagnetskih prijelaznih modela. U tim modelima nema pretpostavke o sinusoidalnosti valnih oblika. Valni oblici proračunavaju se korak-po-korak korištenjem detaljnog sustava diferencijalnih jednadžbi koji obuhvaća sve kompo-

nente sustava. Ovakvim se pristupom vladanje sustava obuhvaća na vrlo precizan i detaljan način.

Navedene vrste proračuna koriste se za procjenu ozbiljnosti tehničkih problema koji se mogu javiti nakon priključenja vjetroelektrane na mrežu. U nastavu su opisani problemi promjenjivosti napona u mreži, povećanja razine struja kratkog spoja, kvalitete isporučene električne energije, zaštite, stabilnosti, pogona mreže i ekonomičnosti.

**Promjenjivost napona u mreži.** U svakom distribucijskom sustavu jasno je iskazana obveza napajanja potrošača uz održavanje napona unutar dozvoljenih granica. Ovaj zahtjev često određuje troškove i način projektiranja distribucijske mreže. Tijekom dugog niza godina razvijana je metodologija maksimalnog iskorištenja elemenata distribucijske mreže kako bi potrošači bili napajani uz zadovoljavajući napon. Razine distribucijskog napona različito su definirane u različitim zemljama, ali se u osnovi vode principom pogona radijalnog napajanja. Prijenosni omjer distribucijskog transformatora promjenjiv je u skladu s postavljenim kriterijem regulacije napona. Na taj se način u stanju maksimalnog opterećenja osigurava napajanje i najudaljenijih potrošača uz prihvatljiv napon. U stanju minimalnog opterećenja, napon kod svih potrošača nalazi se naposredno ispod najviše dozvoljene vrijednosti. Ukoliko se na kraj radijalnog kraka priključi generator dolazi do promjene tokova snaga i naponskog profila. Najteža situacija uglavnom se javlja kada je snaga opterećenja najmanja, a izlazna snaga lokalnog generatora teče unatrag prema pojnoj točki distribucijskog sustava. Aproksimativni izraz za povišenje iznosa napona u slabo opterećenoj mreži zbog priključenja generatora glasi (u per unit vrijednostima)

$$\Delta V = (PR + XQ)/V , \qquad (1)$$

pri čemu $P$ i $Q$ označavaju izlaznu djelatnu i jalovu snagu generatora, $R$ i $X$ djelatni otpor i induktivnu reaktanciju spojnog elementa te **V** nazivni napon voda. U nekim slučajevima povišenje napona moguće je ograničiti reverziranjem toka jalove snage ($Q$) bilo korištenjem asinkronog generatora ili poduzbuđenog sinkronog generatora u kapacitivnom pogonu. Asinkroni generator najčešći je izbor u vjetroelektranama. Njegovo korištenje može biti učinkovit način ograničavanja povišenja napona u srednjenaponskim mrežama koje uglavnom imaju viši $X/R$ omjer. Kod kabela u niskonaponskoj distribucijskoj mreži dominira utjecaj djelatne snage ($P$) i djelatnog otpora ($R$) tako da se općenito uzevši samo vrlo mali generatori priključuju na niskonaponsku mrežu. Točka priključenja većih generatora treba biti bilo na NN sabirnicama SN/NN transformatora ili za veće elektrane izravno u SN ili VN mreži. U nekim se zemljama koriste vrlo jednostavna pravila predviđanja maksimalne veličine izgradnje generatora koji mogu biti priključeni na različitim mjestima u distribucijskom sustavu. Alternativni pristup određivanju mogućnosti priključenja generatora koristi snagu kratkog spoja. Zahtijeva se da razina trofaznog kratkog spoja (razina kvara) u točki priključenja generatora poprimi minimalni iznos množitelja nazivne dimenzioniranosti generatora. Za vjetroelektrane množitelji mogu iznositi i do 20–25, ali i nadalje predstavljaju vrlo pojednostavljeno pravilo. Velike vjetroelektrane uspješno su u pogonu distribucijske mreže i uz niže omjere (6) razine kvara i nazivne dimenzioniranosti i to bez bilo kakvih poteškoća. Ukoliko se studijske analize poduzimaju u cilju istraživanja utjecaja lokalnog generatora na napon u distribucijskoj mreži, tada se u osnovi razmatra bilo napon u čvorištu krajnjeg potrošača ili napon na nekoj srednjoj sekciji distribucijske mreže. Razmatranje utjecaja generatora na napon srednje sekcije distribucijske mreže relativno je jednostavnije provesti, ali pruža nešto restriktivnije rezultate. U nekim se distribucijskim sustavima koriste transformatori s regulacijom prijenosnog omjera pod opterećenjem.

Prijenosni omjer se mijenja u svrhu održavanja napona unutar predviđenih granica. Često se povratna veza formira u kompaundiranom obliku napona i struje opterećenja izlaznog voda. Kompenzacija pada napona na izlaznom vodu jedna je od tehnika kompaundacije koja je zasnovana na pretpostavljenom faktoru snage tereta. Stoga priključenje lokalnog generatora i posljedična promjena faktora snage može dovesti do nekorektnog pogona ukoliko je generator znatno veći u usporedbi s teretom potrošača.

**Povećanje razine kvara u mreži.** U vjetroelektranama se za proizvodnju električne energije koriste rotirajući strojevi koji doprinose razini kvara u mreži. Asinkroni i sinkroni generatori povećavaju razinu kvara u distribucijskom sustavu iako je tijekom kvara njihovo vladanje međusobno različito. U urbanim područjima gdje se postojeća razina kvara približava nazivnoj dimenzioniranosti rasklopne opreme, povećanje razine kvara može ugroziti priključenje novih generatora. Povećanje nazivne dimenzioniranosti rasklopne opreme može se pokazati vrlo skupim rješenjem, a ponegdje kao u Velikoj Britaniji očekuje se da novi proizvodni objekti snose nove troškove. Doprinos novog generatora razini kvara smanjuje se uvođenjem impedancije između generatora i mreže. Impedanciju čini transformator ili prigušnica, ali se njihovim instaliranjem stvara trošak zbog povećanih gubitaka. Također, povećavaju se i promjene napona generatora. Koriste se osigurači za ograničavanje doprinosa generatora razini kvara.

**Kvaliteta napajanja.** Dva aspekta kvalitete napajanja smatraju se značajnima pri isporuci električne energije: prijelazne promjene napona i harmonička izobličenost mrežnog napona. U ovisnosti o određenim okolnostima, vjetroelektrana može smanjiti kvalitetu napona kod ostalih korisnika distribucijske mreže. Vjetroelektrana uzrokuje prijelazne promjene napona u mreži tijekom normalnog pogona te ukoliko dođe do pojave relativno velikih promjena iznosa struje

prilikom uklapanja i isklapanja. Iznos struje u prijelaznim stanjima ograničava se pažljivim projektiranjem vjetroelektrane. Ukoliko se na slabu mrežu priključuje samo jedan generator, umjesto povišenja napona u stacionarnom stanju ograničavajućim faktorom postaju prijelazne promjene napona. Sinkroni generatori mogu se uključiti u pogon uz zanemarivo remećenje okolne mreže ako se sinkronizacija izvodi korektno. Tiristorski upuštavači u antiparalelnom spoju za meki start proizvodnih jedinica koriste se za ograničavanje početne struje magnetiziranja asinkronih generatora na vrijednosti koje su manje čak i od nazivne struje. Međutim, isključenje nazivno opterećenog generatora iz pogona može dovesti do značajnih propada napona. Kod vjetroelektrana u izvedbi sa stalnom brzinom vrtnje javljaju se cikličke promjene izlazne struje generatora koje stvaraju flikere ako generatori nisu odgovarajuće regulirani. Nasuprot tome, uvođenjem lokalne proizvodnje nekog drugog oblika podiže se razina kvara u mreži. Nakon što su generatori priključeni na mrežu poremećaji koje stvaraju potrošači ili udaljeni kvarovi stvaraju manje promjene napona i na taj način poboljšavaju kvalitetu napajanja. Jedan od konvencionalnih pristupa poboljšanju kvalitete napajanja osjetljivih industrijskih potrošača visoke vrijednosti upravo se sastoji u instaliranju lokalne proizvodnje. Nekvalitetnim projektiranjem elektroničkog sučelja vjetroelektrane prema mreži dolazi do injektiranja harmoničkih struja koje mogu uzrokovati neprihvatljivu izobličenost napona u mreži. Izravno priključeni generatori mogu sniziti harmoničku impedanciju distribucijske mreže te time smanjiti harmonički napon na račun povećanja harmoničke struje u elektrani. Na taj se način smanjuje mogućnost nastanka problema vezanih uz harmoničku rezonanciju. To je posebice značajno ako se poprečne kondenzatorske baterije koriste za popravljanje faktora snage i kompenzaciju jalove snage asinkronog generatora u vjetroelektrani. Sličan utjecaj javlja se pri simetriranju napona u ruralnim srednjenaponskim sustavima koje se izvodi korištenjem asinkronog generatora. Ti su naponi često nesimetrični uslijed priključenja jednofaznih tereta. Asinkroni generator ima vrlo nisku impedanciju obzirom na nesimetrične napone i nastoji povući iz mreže velike nesimetrične struje. Time se simetriraju naponi u mreži na račun povećanih struja u generatoru uz posljedicu povećanog zagrijavanja.

**Zaštita.** Postoji više aspekata zaštite generatora priključenog na distribucijsku mrežu:

- Zaštita opreme od unutarnjih kvarova.
- Zaštita distribucijske mreže koja je u kvaru od struje kvara koja dolazi iz generatora.
- Zaštita od gubitka pojne točke, odnosno od otočnog pogona.
- Utjecaj generatora na postojeću zaštitu u distribucijskom sustavu.

Zaštita generatora od unutarnjih kvarova dobro je poznata. Struja kvara koja teče iz distribucijske mreže koristi se za otkrivanje kvara. Metodologija koja se koristi u zaštiti bilo kojeg velikog motora prihvatljiva je i u ovom slučaju. U ruralnim područjima, opći problem predstavlja osiguranje dovoljnog iznosa struje kvara iz mreže koji je potreban za brzu proradu releja ili osigurača. Zaštita distribucijske mreže koja je u stanju kvara od struje kvara koja dolazi iz generatora često predstavlja znatno težu zadaću. Asinkroni generatori ne mogu napajati mjesto trofaznog kratkog spoja održivom strujom kvara. Njihov održivi doprinos nesimetričnim kvarovima je ograničen. Mali sinkroni generatori zahtijevaju sofisticirane uzbudne sustave s mogućnošću forsiranja stropnim naponom tijekom kvara ukoliko se od njih očekuje napajanje mjesta kvara održivom strujom kvara koja je znatno veća od struje pri punom opterećenju. Stoga je ponekad neophodno osloniti se na distribucijsku zaštitu pri otklanjanju kvara na elementima distribucijske mreže i izolirati elektranu. U elektrani tada dolazi do prorade nadnaponske ili podnaponske zaštite, nadfrekvencijske ili podfrekvencijske zaštite ili zaštite od gubitka pojne točke/otočnog pogona. Ova tehnika sekvencijalne prorade nije uobičajena, ali je neophodna ako generatori nisu u mogućnosti osigurati odgovarajuću struju kvara za primjenu neke od konvencionalnih zaštita. Zaštita od gubitka pojne točke ili otočnog pogona često se primjenjuje u sustavima gdje se koristi automatsko ponovno uključenje elemenata distribucijske mreže. Zbog niza tehničkih i administrativnih razloga, otočni pogon vjetroelektrane u dijelu distribucijskog sustava odvojenog od glavnog sustava općenito se smatra neprihvatljivim. Zato se po otkrivanju uvjeta otočnog pogona generatora i okolne mreže inicira isključenje generatora. Prorada tog releja treba se dogoditi unutar mrtvog vremena APU-a distribucijskog elementa ukoliko se želi izbjeći protufazno ponovno uključenje. Iako se koristi veći broj suvremenih tehnika poput ROCOF frekvencijskih releja *(eng. rate of change of frequency)* i pomaka vektora napona, ova je zaštita podložna krivoj proradi. Do krive prorade posebice dolazi ukoliko su postavne vrijednosti udešene vrlo osjetljivo kako bi se što ranije otkrili uvjeti otočnog pogona. Uzemljenje zvjezdišta generatora predstavlja aspekt koji je povezan s pogonom distribucijskog sustava. U nekim se zemljama smatra neprihvatljivim voditi pogon neuzemljenog sustava. Stoga je potrebna posebna pozornost u slučajevima kada je zvjezdište postignuto i uzemljeno. Konačno, generator može utjecati na pogon postojeće distribucijske mreže uzrokujući tokove struje kvara koji nisu očekivani u vrijeme izvornog projektiranja zaštite. Doprinos generatora u periodu kvara može podržati napon u mreži i dovesti do izostanka prorade releja.

**Stabilnost.** Ukoliko se od obnovljivih izvora očekuje samo proizvodnja kWh tada razmatranja stabilnosti generatora nisu od velikog značenja. Ukoliko se kvar

pojavi negdje u distribucijskoj mreži i uzrokuje propad napona zbog kojeg dođe do isključenja generatora, tada sve što je izgubljeno jest samo kratki period proizvodnje. Generator se ubrzava i biva isključen proradom unutarnje zaštite. Sustav nadzora pogona generatora nakon toga čeka ponovno uspostavljanje normalnih uvjeta u mreži i automatski ponovno pokreće generator. Ako je tromost generatora niska, a vrijeme prorade zaštite u distribucijskoj mreži veliko, osiguranje stabilnog pogona postaje otežano za sve kvarove u mreži. Nasuprot tome, ako je generator značajan u pružanju podrške sustavu tada stabilnost poprima povećano značenje. Stabilnost napona i kuta može biti značajan problem u okviru određenih okolnosti. Osobiti problem u nekim zemljama predstavlja prorada ROCOF releja koji su vrlo osjetljivo udešeni za otkrivanje uvjeta otočnog pogona. U slučaju velikih poremećaja u sustavu (gubitak velikog središnjeg generatora) moguća je njihova kriva prorada i isključenje većeg broja lokalnih generatora. Time se naravno frekvencija u sustavu dodatno snižava. Ponovno uspostavljanje stanja nakon ispada u sekciji distribucijske mreže s većim brojem generatora također zahtijeva dodatnu pozornost. Naime, nakon ponovnog uključenja elementa mreže, moguć je nastanak situacije u kojoj tereti zahtijevaju napajanje prije nego što su generatori ponovno uključeni. S tim se problemom najviše suočavaju operatori sustava proizvodnje i prijenosa, a u sustavu distribucije do sada nije bio uobičajen. Tijekom prijelazne nestabilnosti dolazi do klizanja polova kod sinkronih generatora. Kod asinkronih generatora dolazi do ubrzavanja uz povlačenje velikog iznosa jalove struje čime se nadalje snižava napon u mreži i kreće prema nestabilnosti napona. Granica stabilnosti asinkronog generatora u stacionarnom stanju također može postati ograničavajući faktor njegove primjene u vrlo slabim distribucijskim mrežama. Naime, vrlo velika impedancija izvora ili niska razina kvara u mreži može smanjiti vršni moment asinkronog generatora na tako nisku vrijednost da nije moguće ostvariti nazivni pogon.

**Pogon mreže.** Značajna posljedica pogona generatora unutar distribucijske mreže jest da su elementi mreže sada napajani iz većeg broja točaka. Javlja se potreba za sigurnosnim izoliranjem i uzemljivanjem prije poduzimanja bilo kakvih djelatnosti na opremi. Također, moguća je pojava poteškoća prilikom pribavljanja odobrenja za isključenje elemenata mreže u svrhu redovitog održavanja. Time se smanjuje prilagodljivost pri izvođenju radova u distribucijskoj mreži na koju je priključen generator.

**Ekonomičnost.** Aspekti tehničkog utjecaja lokalnih generatora na distribucijski sustav dobro su poznati, a proračuni i tehnike projektiranja kvalitetno postavljeni. Jedini novi aspekt koji se pri tome javlja vezan je uz ukupni stupanj penetracije te priključenje velikih vjetroelektrana na vrlo slabu mrežu. Nasuprot, ekonomski utjecaj generatora na distribucijsku mrežu tek se odnedavna ozbiljnije razmatra. Generator stvara promjenu tokova snaga u distribucijskoj mreži te time uzrokuje promjenu gubitaka u mreži. Ukoliko je mali generator smješten u blizini velikog tereta tada će gubici u mreži biti smanjeni obzirom da teret može biti napajan djelatnom i jalovom snagom iz obližnjeg generatora. Ukoliko je veliki generator smješten daleko od tereta tada je vjerojatnija pojava povećanja gubitaka u distribucijskoj mreži. Daljnje komplikacije javljaju se zbog promjene iznosa električne energije s povećanjem opterećenja u mreži. Općenito, postoji povezanost između velikog opterećenja u distribucijskoj mreži i korištenja skupih proizvodnih izvora. Stoga bilo koji lokalni generator koji može biti u pogonu tijekom tog perioda i smanjiti gubitke u distribucijskoj mreži značajno utječe na troškove pogona. U današnje doba, distribuirana proizvodnja ne sudjeluje u regulaciji napona u distribucijskoj mreži. Na primjer, u Velikoj Britaniji lokalni generatori uglavnom su u pogonu uz jedinični faktor snage. Time minimiziraju vlastite električne gubitke i izbjegavaju naplatu zbog utroška jalove snage neovisno o potrebama distribucijske mreže. U Danskoj je postignut napredak u korištenju lokalnih generatora (većinom vrijedi za CHP izvore) pri tri različite vrijednosti faktora snage u ovisnosti o dobi dana. Tijekom vršnih opterećenja jalova se snaga injektira u mrežu dok su u periodu slabog opterećenja generatori u pogonu s jediničnim faktorom snage. Distribuirana proizvodnja može također biti korištena kao nadomjestak za izgrađenost distribucijske mreže. Pri tome treba imati na umu da generatori ne mogu nadomjestiti radijalne pojne vodove, da otočni pogon općenito nije prihvatljiv, te da proširenje mreže može biti zahtijevano ukoliko je potrebno prikupiti snagu iz izoliranih obnovljivih izvora. Ipak, većina je distribucijskih elemenata već udvostručena ili uzamčena pa distribuirana proizvodnja ponekad može umanjiti zahtjeve za planiranom izgradnjom. Trenutačno, koncept prema kojem distribuirana proizvodnja može nadomjestiti izgrađenost distribucijske mreže ipak nije široko prihvaćen u distribucijskim sustavima.

## 6. ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada ukazano je na metode i tehnike povećanja sigurnosti i stabilnosti pogona distribucijskog sustava s uključenim obnovljivim izvorima. Rezultati su korisni sa stajališta prepoznavanja, smanjivanja ili uklanjanja prepreka koje mogu ograničiti veće uključivanje obnovljivih izvora u distribucijski sustav. Nastavak rada u ovom području bio bi zanimljiv i obzirom na smjernice energetskog planiranja u zemljama Europske unije koje se zasnivaju na Kyoto protokolu. Smjernice se odnose na smanjenje emisije štetnih stakleničkih plinova te na sigurnost i diverzifikaciju izvora energije. Posebice se istraživanje

u području izvora energije usmjerava prema obnovljivim izvorima za koje se u dugoročnom periodu očekuje značajno povećanje udjela. U zemljama Europske unije, do 2010. godine potrebno je povećati udjel obnovljivih izvora u dobavi ukupne energije sa sadašnjih 6% na 12%. Stoga je u buduće potrebno uskladiti osnovne smjerice stručnog i istraživačkog rada s tim planom kako bi se uklonile prepreke poput visokih troškova koje stoje na putu uvođenju obnovljivih izvora te proširile mogućnosti primjene rješavanjem posljedica intermitentne naravi mnogih obnovljivih izvora.

Od nedavno je jasno uočljiv trend prema decentraliziranoj proizvodnji i dobavi energije. Povećanje decentralizirane proizvodnje energije dovest će do stanja u kojem će veći broj malih i srednjih proizvođača biti priključen na elektroenergetske mreže koje su izvorno projektirane za monopolistička tržišta. Stoga će se zasigurno pojaviti i mnogi novi problemi vezani uz upravljanje i pogon u sektorima prijenosa i distribucije električne energije u mrežama u kojima je potrebno učinkovito razmjestiti obnovljive izvore. Ovaj članak predstavlja jedan od ranijih radova u Republici Hrvatskoj na temu priključenja obnovljivih izvora na elektroenergetsku mrežu. U skladu je s općim EU smjernicama koje idu za uspostavljanjem unutarnjeg tržišta električnom energijom, proizvodnjom električne energije iz obnovljivih izvora te s ostalim akcijama i mjerama koje se poduzimaju u liberalizaciji tržišta energijom.

U nekim zemljama i regijama (Danska, sjeverni dio Njemačke, neke regije Španjolske), energija vjetra već doseže razinu penetracije na kojoj se javljaju ozbiljni pogonski problemi. Penetracija energije vjetra u iznosu od 30–40% već postoji u Danskoj i sjevernom dijelu Njemačke. U Velikoj Britaniji, operatori distribucijske mreže očekuju znatno umanjene mogućnosti prihvata distribuirane proizvodnje u odnosu na nedavna predviđanja. Razlozi leže u nepostojanju sustava komercijalnih tržišnih usluga te u neraspoloživosti ekonomski poticajnih mjera koje bi se primijenile u rješavanju mnogih izazova. Regulacija napona, stabilnost napona, regulacija frekvencije i stabilnost kuta smo su neki od izazova koje postavlja distribuirana proizvodnja. U EU zemljama tek sada je jasno da navedeni problemi koji se javljaju pri povišenoj penetraciji obnovljivih izvora mogu postati preprekom za buduće korištenje energije vjetra od koje se očekuje značajan doprinos u proizvodnji električne energije. To će zasigurno uzrokovati veliki pritisak pri ispunjavanju zacrtanog EU cilja o 12% energije iz obnovljivih izvora do 2010. godine.

Regulacija, planiranje, pogon i upravljanje budućim distribucijskim sustavima s uključenim distribuiranim izvorima električne energije, a napose obnovljivima, predstavljat će jedan od najvećih izazova stručnoj i istraživačkoj javnosti. Odgovor na pitanje kako uključiti značajan broj obnovljivih izvora u postojeći sustav dobave energije imat će jedno od središnjih mjesta. Uspješna integracija obnovljivih i distribuiranih izvora električne energije u postojeće mreže na različitim naponskim razinama ključni je aspekt pri ispunjavanju EU cilja o povećanju udjela obnovljivih izvora.

U današnje je doba u većini EU zemalja očito da postoji jasan nedostatak u slijedećim aspektima:

- Pravila tržišta i pravila mrežnog poslovanja.
- Standardi priključenja.
- Kriteriji planiranja i pogona te poslovni postupci operatora distribucijskih sustava.
- Sredstva vođenja, mjerni uređaji te sustavi upravljanja i zaštite.

Navedeni aspekti uvelike određuju stajališta koja se formiraju unutar nacionalnih tržišta električnom energijom i distribucijskih sustava od kojih se očekuje omogućavanje integracije obnovljivih izvora kao distribuirane proizvodnje obzirom na uvjete njihovog priključenja, vođenje njihovog pogona te njihovo tržišno poslovanje. Razvidno je da na razini zemalja Europske unije postoji nedostatak harmonizacije pravila i smjernica koje imaju za cilj dozvoljavanje i promicanje većeg pristupa distribuirane proizvodnje prijenosnim i distribucijskim mrežama. U zemljama Europske unije već se radi na udruživanju i koordiniranju napora koji se ulažu u prikupljanje relevantnih iskustava kako bi se na europskoj razini stvorile preporuke za slijedeće elemente organizacijske naravi:

- Harmonizacija tržišnih pravila i pravila vođenja pogona sustava.
- Širenje pozitivnih iskustava integracije distribuirane proizvodnje.
- Standardizacija sučelja prema mreži i ostale opreme u obnovljivim izvorima sa svrhom podrške industrijskim proizvođačima.

Unutar navedenih organizacijskih elemenata potrebno je usmjeriti stručnu i istraživačku javnost prema slijedećim aspektima koji su od značenja za rad na široj integraciji distribuirane proizvodnje:

- Regulacija distribucijskih sustava i tržišta električnom energijom obzirom na integraciju distribuirane proizvodnje (uključujući i obnovljive izvore).
  - Zakonodavni okvir distribucijskih sustava: prihodi i tarife.
  - Zakonodavni okvir obnovljivih i/ili distribuiranih izvora: pristup mreži, uvjeti priključenja, naplata pristupanja i korištenja sustava, utjecaj na prihod distribucije.
  - Regulatorni tretman proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u okviru tržišta električnom energijom: dnevna tržišta, ugovori, tržište snagom regulacije, pomoćne usluge, doprinos sigurnosti sustava ili naplata kapaciteta.
  - Dodatna tržišna vrijednost stvorena uskladištenjem energije u svrhu pružanja usluga na tržištu. Određivanje cijena i povrat investicije.

  - Kriteriji planiranja i određivanja pouzdanosti pogona te upravljanje kvalitetom isporučene električne energije. Mrežna pravila za distribuciju.
  - Definiranje funkcija i odgovornosti operatora distribucijskih sustava obzirom na distribuiranu proizvodnju i tržišne usluge.
- Integrirano planiranje distribucijskih mreža s vrlo visokom razinom penetracije distribuirane proizvodnje te cjenovni odziv na upravljanje potražnjom.
  - Tehnike predviđanja opterećenja i proizvodnje uz razmatranje lokalnih razlika u penetraciji obnovljivih izvora i cjenovnom odzivu na upravljanje potražnjom.
  - Kriteriji planiranja: novi kriteriji uz razmatranje neizvjesnosti obzirom na lokaciju i veličinu izgradnje distribuiranih izvora te odziva potražnje. Korištenje GIS-a i višekriterijskih tehnika odlučivanja (investicije, troškovi pogona, pouzdanost i utjecaj na okoliš).
- Upravljanje distribucijskim sustavom s visokom razinom sigurnosti dobave energije i lokalne autonomije omogućene priključenjem distribuirane proizvodnje.
  - Sigurnost dobave energije unutar elektroenergetskih sustava s visokom razinom integriranosti distribuirane proizvodnje.
  - Kriteriji pogona koji omogućavaju upravljanje sustavom s visokom razinom distribuirane proizvodnje i upravljanja potražnjom.
  - Novi postupci upravljanja mrežom i potražnjom energije obzirom na ulogu operatora.
  - Upravljanje tokovima snage i iznosima napona u čvorištima.
  - Procjena utjecaja distribuirane proizvodnje na gubitke u mreži, odgoda investicija u infrastrukturu mreže, pokazatelji pouzdanosti i kvaliteta napona.
- Kvaliteta isporučene električne energije, brojila, sustavi upravljanja i zaštite u distribucijskim sustavima s visokom razinom integriranosti distribuirane proizvodnje.
  - Zahtjevi na sustave upravljanja/zaštite u točkama priključenja distribuiranih izvora.
  - Harmonizacija standarda priključenja na razini zemalja Europske unije.
  - Brojila i standardiziranost.
  - Inteligentni sustavi zaštite zasnovani na pristupima samostalnih agenata.
  - Uključenje zaštite unutar distribuirane proizvodnje u svrhu postizanja visokog stupnja lokalne autonomije i sigurnosti napajanja.

Intenzivan rad unutar prethodnih aspekata doprinijet će boljem razumijevanju potencijalnih problema i razvoju rješenja sa strane distribuirane proizvodnje u postojećim elektroenergetskim sustavima. Također, daljnja istraživanja doprinijet će izvođenju budućih projekata u skladu s inovativnim tehničkim pristupima u integraciji distribuirane proizvodnje električne energije na različitim naponskim razinama uz programe upravljanja potražnjom (unutar tržišta električnom energijom veliki i srednji potrošači imat će osjetljivi cjenovni odziv), tehnike upravljanja lokalnim energetskim potrebama te koordiniranost u stvaranju održivog energetskog sustava s velikim stupnjem lokalne autonomije i sigurnosti dobave. Također, pridonijet će postizanju inovativnih socio-ekonomskih pristupa integralnom energetskom planiranju koji idu za lokalnim smjernicama, pravilima i regulacijama.

U skladu s općim EU smjernicama, potrebno je i nadalje istraživati temeljne tehničke aspekte:

- Razvoj naprednih metoda regulacije frekvencije i napona u budućim distribucijskim sustavima s distribuiranom proizvodnjom uključujući obnovljive izvore. Problemi regulacije bit će vrlo vjerojatno kratkoročne prepreke većoj penetraciji obnovljivih izvora u mrežama.
- Razvoj naprednih metoda upravljanja vezanih uz stabilnost napona i kuta u budućim distribucijskim sustavima s distribuiranom proizvodnjom. Problemi stabilnosti vjerojatno su dugoročne prepreke većoj penetraciji obnovljivih izvora u mrežama.
- Pronalaženje inovativnih rješenja problema kvalitete isporučene električne energije i poboljšanje pouzdanosti distribucijskih sustava korištenjem transformatora s promjenjivim prijenosnim omjerom pod opterećenjem, multifunkcijskih upravljačkih naprava zasnovanih na energetskoj elektronici i novih upravljačkih metoda. Rješenja su od velikog značenja u dugoročnom osiguranju kvalitete napajanja.
- Planiranje dugoročnih investicija u distribucijama uz neizvjesnosti potražnje i proizvodnje.
- Uloga operatora distribucijskog sustava i stvaranje okvira za tržišni pogon i upravljanje sustavom uz određenu prilagodljivost korištenjem resursa poput transformatora s promjenjivim prijenosnim omjerom pod opterećenjem, multifunkcijskih upravljačkih naprava zasnovanih na energetskoj elektronici, uređaja za uskladištenje energije...

Nastavak ovih istraživanja u skladu je sa suvremenim izazovima. Rezultati istraživanja bit će od velikog značenja u poboljšanju prihvatljivosti obnovljivih izvora, povećanju kompetitivnosti i omogućavanju prilagodljivosti u pristupanju različitim razinama distribucijskog sustava.

Ovaj članak daje samo djelomičan osvrt na ključne aspekte distribuirane proizvodnje kao 'novog rastućeg tržišta'. Među njima središnje mjesto zauzimaju regulacija napona i kompenzacija jalove snage, regulacija frekvencije i stabilnost. U tradicionalnim distribucijskim sustavima ne javljaju se problemi koji su vezani uz regulaciju frekvencije i stabilnost. S uključivanjem distribuirane proizvodnje u distribucijske sustave navedeni će se aspekti, koji tradicionalno pripadaju prijenosnim sustavima, u novim okolnostima pojaviti i u

distribucijskim sustavima. Međutim, njihovo pojavljivanje u distribucijskim sustavima bit će različito od pojavljivanja u prijenosnim sustavima u nekoliko bitnih elemenata:

- U distribucijske sustave bit će uključeni resursi distribuirane proizvodnje koji imaju značajno različite statičke i dinamičke karakteristike. Matematičko modeliranje i analiza takvih distribuiranih resursa do sada je imala vrlo ograničeni karakter, posebice u usporedbi sa centraliziranom proizvodnjom priključenom na prijenosne sustave.
- Pogon i upravljanje distribuiranim izvorima različiti su od onih kod centralizirane proizvodnje. Za centraliziranu proizvodnju u komercijalnom su obliku već razvijene sofisticirane metode upravljanja koje su i praktično primijenjene. Pričuvna djelatna snaga i regulacija frekvencije te regulacija napona i kompenzacija jalove snage samo su neki od tih primjera primjene.
- Sustav telekomunikacija između operatora prijenosnog sustava i proizvodnih objekata vrlo je dobro razvijen i služi upravljanju i vođenju pogona centaliziranih proizvodnih objekata. Međutim, u distribucijskim sustavima postoji relativno ograničeni sustav komunikacijskih veza između operatora distribucijskog sustava i distribuiranih proizvodnih objekata.
- Prethodni elementi čine pogon i upravljanje distribucijskim sustavom značajno različitima od onih kod prijenosnih sustava. Upravljanje i pogon distribucijskih sustava s većim brojem distribuiranih izvora činit će znatno složeniju zadaću u usporedbi s prijenosnim sustavima.

Modeliranje, analiza, vođenje pogona, upravljanje, planiranje i komercijalne usluge u takvim će sustavima i nadalje zahtijevati pozornost kako bi kratkoročni i dugoročni interesi društva bili zadovoljeni. U ovom su radu ukratko predočene poteškoće koje se mogu javiti kao prepreke uključivanju obnovljivih izvora u distribucijske sustave. I nadalje je potrebno pronalaziti rješenja za poboljšanje kvalitete isporučene energije, povećanje pouzdanosti i uvođenje prilagodljivosti u buduće distribucijske sustave. Štoviše, potrebno je otvoriti i nova područja istraživanja poput nadzora, vođenja pogona, upravljanja i telekomunikacijskih tehnika. Također, metode određivanja cijena u budućim distribucijskim sustavima doprinose njihovom komercijalnom razvoju u tržišnim okvirima. Takve će aktivnosti biti od značenja i pri ostvarivanju zacrtanih EU ciljeva koji su vezani uz obnovljive izvore.

Pored tehničkih aspekata, neophodno je razmotriti ekonomske i regulatorne aspekte koji su također značajni za sigurnost i stabilnost budućih distribucijskih sustava. Budući distribucijski sustavi bit će znatno složeniji nego što se danas smatra. Oni će biti znatno teži za pogon, upravljanje i planiranje u usporedbi s prijenosnim sustavima i tradicionalnim distribucijskim sustavima. Štoviše, buduće distribucijske sustave s uključenim obnovljivim izvorima potrebno je razviti na temelju ekonomičnosti i tržišnih principa. Time će se zasigurno pojaviti i nova područja istraživanja u energetskom sektoru u svim zemljama koje žele pratiti smjernice Europske unije. Aspekti pomoćnih usluga činit će novo područje koje će biti od praktičnog interesa distribucijskim kompanijama i distribuiranim generatorima.

## LITERATURA


[1] T. ACKERMANN, et al.: "Distributed generation: a definition", *Electric Power Systems Research,* vol. 57, 2001, pp. 195-204

[2] T. ACKERMANN, et al.: "Distributed power generation in a deregulated market environment – A Working Paper", Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2003

[3] P. CHRISTIANSEN, et al.: "Grid connection and remote control for the Horns Rev 150 MW offshore wind farm in Denmark", *Proceedings of the 2nd International Workshop on Transmission Networks for Offshore Wind Farms,* Stockholm, Sweden, March 29-30, 2001

[4] CIGRE: "Impact of increasing contribution of dispersed generation on the power system", WG 37.23, Feb. 1999

[5] CIGRE: "Modelling new forms of generation and storage", WG 38.01, Nov. 2000

[6] N. HATZIARGYRIOU, et al.: "Distributed energy sources: Technical challenges", *IEEE paper,* No. 0-7803-7322-7, 2002

[7] N. JENKINS, et al.: *Embedded generation, IEE* Power and Energy Series 31, ISBN 0 85296 774 8, London, UK, 2000

[8] J. LOPES, et al.: "Integration of dispersed generation on distribution networks – Impact studies", *IEEE paper,* No. 0-7803-7322-7, 2002


## DISTRIBUTED GENERATION OF ELECTRIC ENERGY


The paper discusses in a general way the main characteristics of distributed electric energy generation. First, technical influence of distributed resources on production, transmission and distribution systems of electric energy are given. Some technical solutions and open questions are quoted. Electric energy generation from small wind power plants is given as a distributed generation. Calculation methods applied in distribution network are described, which are used in the study analysis of resource connection to the distribution grid.


## VERSTREUTE ENERGIEERZEUGUNG

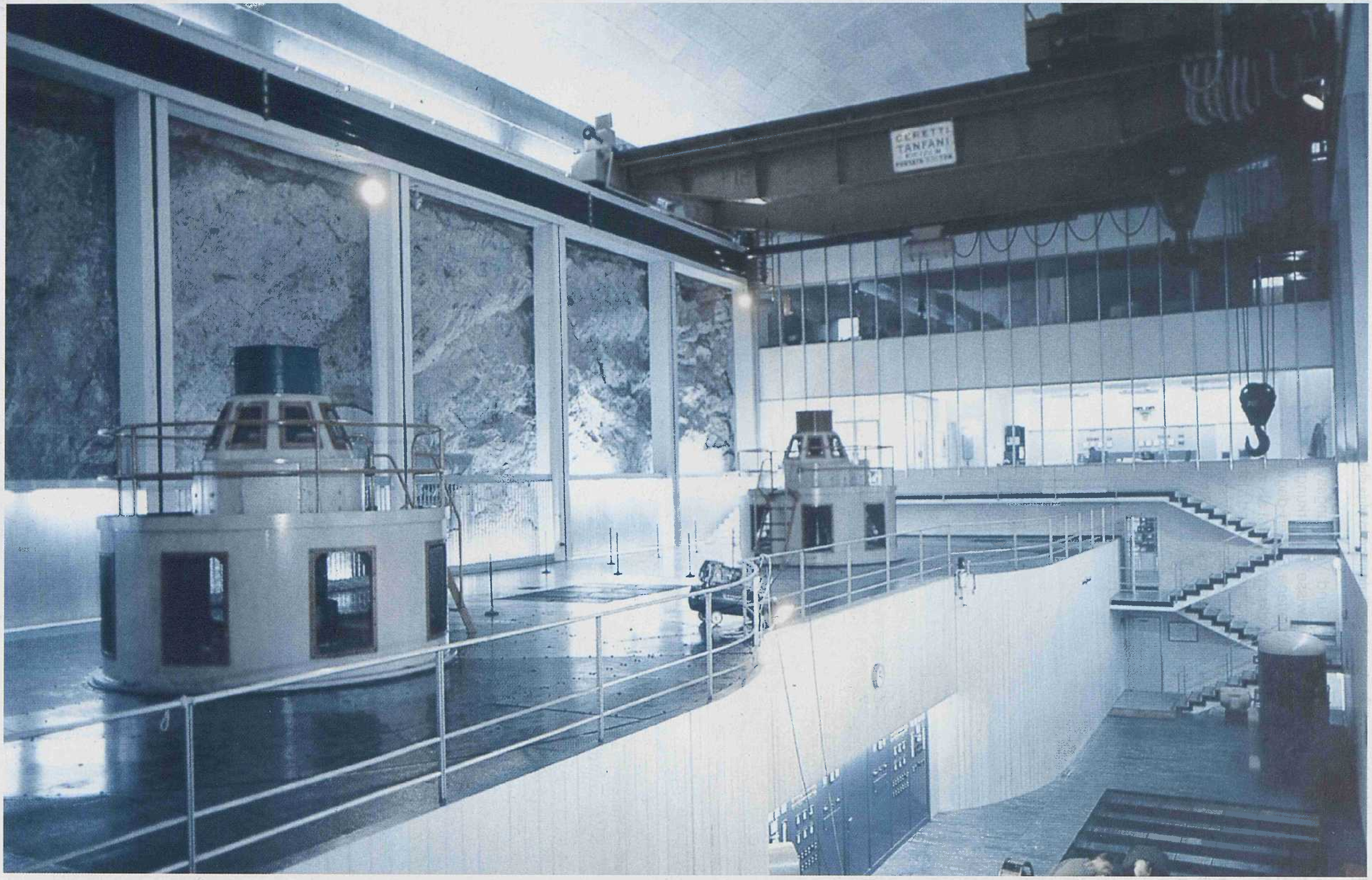

In dieser Arbeit sind Hauptmerkmale distribuirter (=verstreuter) Stromerzeugung allgemein betrachtet. Vorerst sind technische Einflüsse der verstreuten Stromerzeugung

auf die Erzeugungs-, Übertragung- und Verteilungssysteme beschrieben. Danach sind gewisse Auswirkungen technischer Lösungen, sowie noch offene Fragen dagestellt. Die Stromerzeugung kleiner Windkraftwerke ist als verstreute Erzeugung betrachtet. Beschrieben sind jene Berechnungsarten der Verteilungsnetze, welche in wissenschaftlicher Betrachtung des Anschliessens von Stromquellen an das Verteilungsnetz benutzt werden.

Naslov pisaca:

**Dr. sc. Nijaz Dizdarević, dipl. ing.**
**prof. dr. sc. Matislav Majstrović, dipl. ing.**
**dr. sc. Srđan Žutobradić, dipl. ing.**
**Energetski institut "Hrvoje Požar"**
**Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2003-03-6.


CERETTI
TANFANI

# VAŽNOST DONOŠENJA STANDARDA ENERGETSKE EFIKASNOSTI RADI POVEĆANJA NACIONALNIH ENERGETSKIH UŠTEDA

Mr. sc. Vesna K o l e g a, Zagreb

UDK 620.9.351.64
PREGLEDNI ČLANAK

U članku su prikazana svjetska iskustva kao potvrda važnosti uvođenja standarda energetske efikasnosti kućanskih uređaja i uredske opreme radi smanjenja energetske potrošnje u stambenom i javnom sektoru zgrada na nacionalnom nivou, s posebnim osvrtom na važnost provođenja međunarodne i regionalne harmonizacije standarda energetske efikasnosti, energetskih oznaka i test procedura. Nadalje, opisana su dva osnovna pristupa etabliranju standarda energetske efikasnosti: statistički i inženjersko-ekonomski.

**Ključne riječi: standardi energetske efikasnosti, test procedure, međunarodna harmonizacija, statistički pristup, inženjersko-ekonomski pristup.**

## 1. UVODNA RAZMATRANJA

Standarde energetske efikasnosti kućanskih uređaja i uredske opreme čini niz procedura i propisa koji definiraju radne karakteristike (radni učinak) proizvedenog uređaja s obzirom na energiju koju troši. Uređaji koji su energetski neefikasniji od nekog minimuma propisanog standardom moraju biti povučeni s tržišta do određenog datuma.

U većini razvijenih zemalja svijeta standardi energetske efikasnosti su neizostavni dio nacionalne energetske politike s ciljem smanjenja energetske potrošnje i emisije štetnih tvari.

Preliminarna je faza u postupku donošenja standarda energetske efikasnosti provesti sve potrebne analize koje će dati zadovoljavajuće odgovore na četiri ključna pitanja:

1. Koje su posljedice uvođenja standarda energetske efikasnosti na raspoloživost i kvalitetu energetskih uređaja?
2. Kakav je ekonomski utjecaj (analize troškova i koristi, eng. cost-benefit analysis) standarda na potrošače, proizvođače, nacionalno gospodarstvo i zaštitu okoliša?
3. Pod kojim je uvjetima i u kolikoj mjeri potrebna intervencija Vlade na tržištu energetskih uređaja?
4. Kako upravljati procesom donošenja i provedbe standarda energetske efikasnosti?

Strana iskustva pokazuju da se 3. pitanje pokazalo vrlo spornim i da je još uvijek bez pravog odgovora. Dok zagovornici smatraju da se intervencijom Vlade jednostavno modificiraju pravila na slobodnom tržištu u korist sviju, oponenti tvrde da uplitanje Vlade negira slobodu i konkurentnost tržišta.

## 2. PODJELA STANDARDA ENERGETSKE EFIKASNOSTI

Prema načinu donošenja i provedbe standardi energetske efikasnosti se dijele u dvije osnovne grupe:

1. nametnuti od strane relevantnih državnih institucija – mandatni standardi (eng. mandatory standards);
2. standardi doneseni konsenzusom između zainteresiranih strana (udruga potrošača, proizvođača i Vladinih institucija) – dobrovoljni standardi (eng. voluntary standards).

Podjela prema formi standarda je na dva glavna tipa:

1. standarde koji uvjetuju radni učinak uređaja (performanse uređaja) (engl. performance energy efficiency standards);
2. standarde koji zahtijevaju određeno svojstvo (opciju) uređaja (npr. standardom je propisano da perilice rublja moraju imati opciju hladnog ispiranja) ili uklanjanje opcije uređaja (npr. u plinskim sušilicama rublja ne smiju biti nikakva kontrolna svjetla) (engl. prescriptive energy efficiency standards).

Zahtijevani radni učinak energetskog uređaja može biti definiran kao:

1. minimalna dozvoljena energetska efikasnost uređaja;
2. maksimalna dozvoljena energetska potrošnja uređaja.

Zahtijevane veličine se određuju test procedurama u ispitnim laboratorijima. Test procedure su niz precizno definiranih protokola koji rangiraju energetske radne karakteristike proizvedenih uređaja zabranjujući izlaz na tržište uređajima koji su energetski neefikasniji od nekog zadanog minimuma.

## 3. STRANA ISKUSTVA U DONOŠENJU I PROVEDBI STANDARDA ENERGETSKE EFIKASNOSTI

### 3.1. Povijest donošenja standarda energetske efikasnosti

Prvi standardi energetske efikasnosti na području Europe datiraju iz šezdesetih godina. Najraniji standardi za čitav niz električnih uređaja doneseni su u Poljskoj 1962., ali nikad nisu implementirani u praksu. Francuska je još 1966. donijela prvi mandatni standard energetske efikasnosti za hladnjake, koga je slijedio standard za zamrzivače donesen 1978. godine. Niti jedan od njih nije zaživio u praksi.

Generalni zaključak o prvoj legislativi ovog područja na europskom tlu je da je bila nezadovoljavajuća, nedjelotvorna i nije se implementirala u praksu.

U Sjedinjenim Američkim Državama, prvi standardi energetske efikasnosti doneseni su u Kaliforniji, 1978. godine, a u sljedećim godinama standarde donose i ostale američke države. Godine 1987. američki je Kongres usuglašene standarde svih država objedinio u Nacionalni dokument o energetskoj efikasnosti uređaja (Nacional Appliance Energy Conversation Act, NAECA) kao jedinstveni federalni standard. Harmonizaciju standarda su potaknuli proizvođači energetskih uređaja kojima je bilo puno jednostavnije i isplativije poštovati jedan jedinstveni nego četrdesetak različitih standarda.

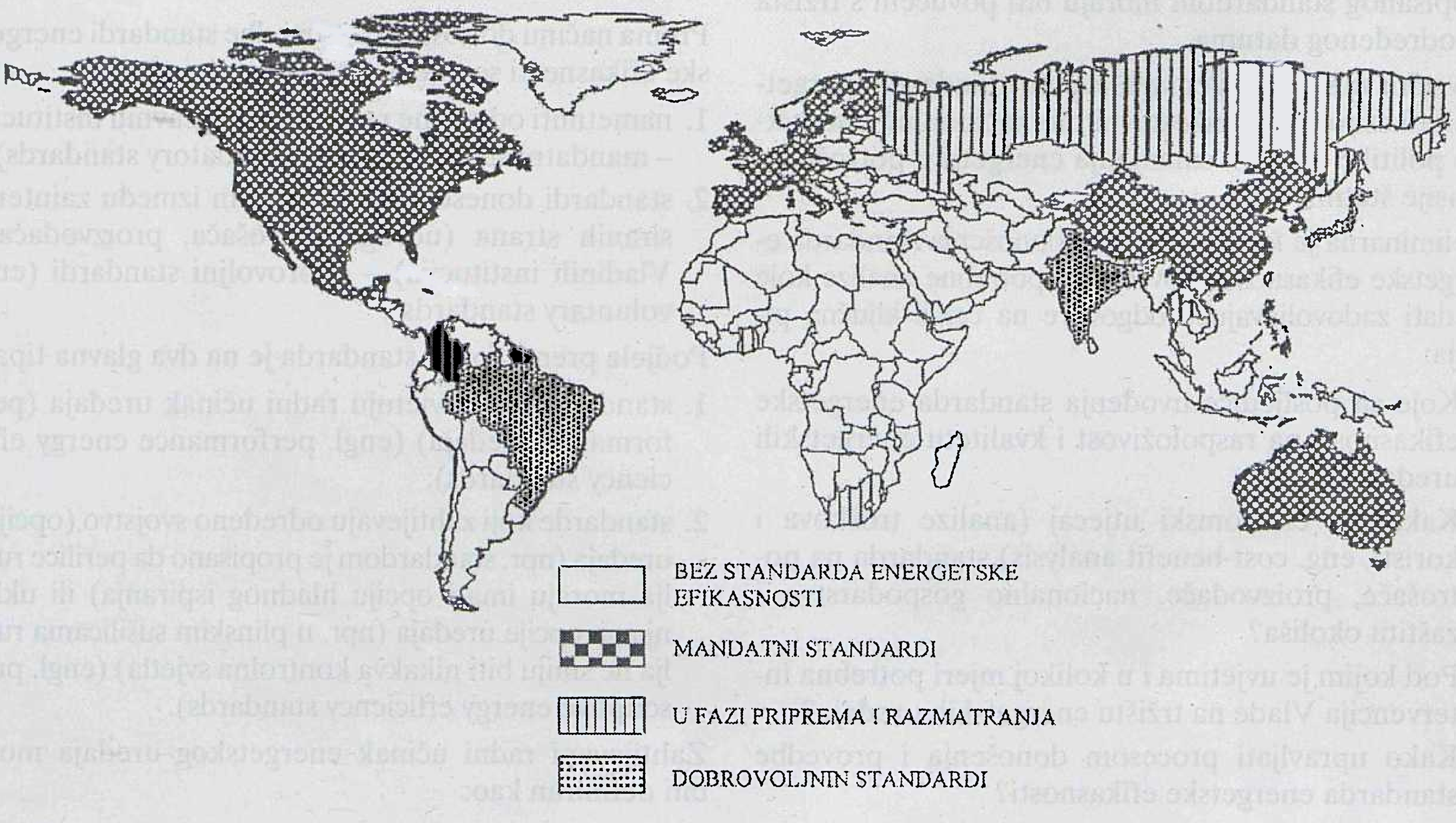
Prvi doneseni standardi u sklopu NAECA bili su oni za hladnjake, zamrzivače, grijalice vode i klimatizacijske uređaje [1].

### 3.2. Globalni pregled

U 90-tim godinama 20. stoljeća, užurbano se donose prvi ili modificiraju postojeći standardi energetske efikasnosti kućanskih uređaja i uredske opreme. U svijetu su, u ovom trenutku, najrasprostranjeniji mandatni standardi energetske efikasnosti (sl. 1. i tabl. 1).

Posljednjih su nekoliko godina provedene brojne analize i procjene globalnog energetskog potencijala koje pokazuju da su moguće uštede uvođenjem standarda energetske efikasnosti u kućanstvima i uslužnom sektoru vrlo velike (tabl. 2) [2]. U studiji nije analizirana individualna potrošnja neke zemlje, već prognoza ukupne globalne potrošnje u stambenom i uslužnom sektoru, koja uzima u obzir tehnološka dostignuća, razne programe poticanja i promocije energetske efikasnosti i upravljanja potrošnjom, uvođenje označavanja i standarda energetske efikasnosti za građevinske materijale i elemente, te cjelokupnu energetsku opremu unutar zgrade.

Analiza energetskog potencijala stambenog i uslužnog sektora pokazuje da 1990. godine 41% ukupne svjetske potrošnje električne energije otpada na spomenute sektore.




**Slika 1. Globalni prikaz zastupljenosti standarda energetske efikasnosti za kućanske uređaje**

**Tablica 1. Status standarda energetske efikasnosti kućanskih uređaja prema regijama i državama**

| Država/regija | Mandatni /dobrovoljni | Uređaji* | Komentar |
|---|---|---|---|
| Australija | M | H/Z, GV | na snazi od 1999. |
| Brazil | D | H/Z | |
| Kanada | M | svi | slični SAD-ovim standardima |
| Kina | M | H, PR, SKU | potrebna revizija |
| Europska unija | M | H/Z | na snazi od 1999. |
| Indija | D | H, SKU, CKU | potrebna revizija |
| Japan | D | CKU | |
| Koreja | M | H, CKU | |
| Meksiko | M | H/Z, SKU | slični SAD-ovim standardima |
| Filipini | M | CKU | |
| SAD | M | svi | |

* Uređaji su: hladnjaci (H), zamrzivači (Z), kombinirani hladnjaci (H/Z), perilice rublja (PR), perilice posuđa (PP), sušilice rublja (SR), grijalice vode (GV), štednjaci (Š), sobni klima uređaji (SKU), centralizirani klima uređaji (CKU)

**Tablica 2. Globalna potrošnja u 1990. godini i prognoza energetskih ušteda u zgradama (stambeni + uslužni sektor) (EJ)**

| (EJ) | 1990. | 2010. | 2020. | 2050. |
|---|---|---|---|---|
| Električna energija | 51 | 69 | 79 | 109 |
| Ostali energenti | 62 | 83 | 95 | 152 |
| Ukupna potrošnja bez standarda i oznaka | 112 | 151 | 174 | 261 |
| Ukupna potrošnja sa standardima i oznakama | 112 | 128 | 138 | 137 |

U prognozi za 2050. pretpostavljena su značajna tehnološka dostignuća u odnosu na 2020. godinu.

U razdoblju između 1995. – 2010. godine očekuje se rapidni porast potrošnje električne energije u tranzicijskim zemljama zbog korištenja sve većeg broja energetskih uređaja u zgradama, koji će zahtijevati prosječne godišnje investicije u nove proizvodne i distribucijske kapacitete u iznosu od cca 97 milijardi USD [3].

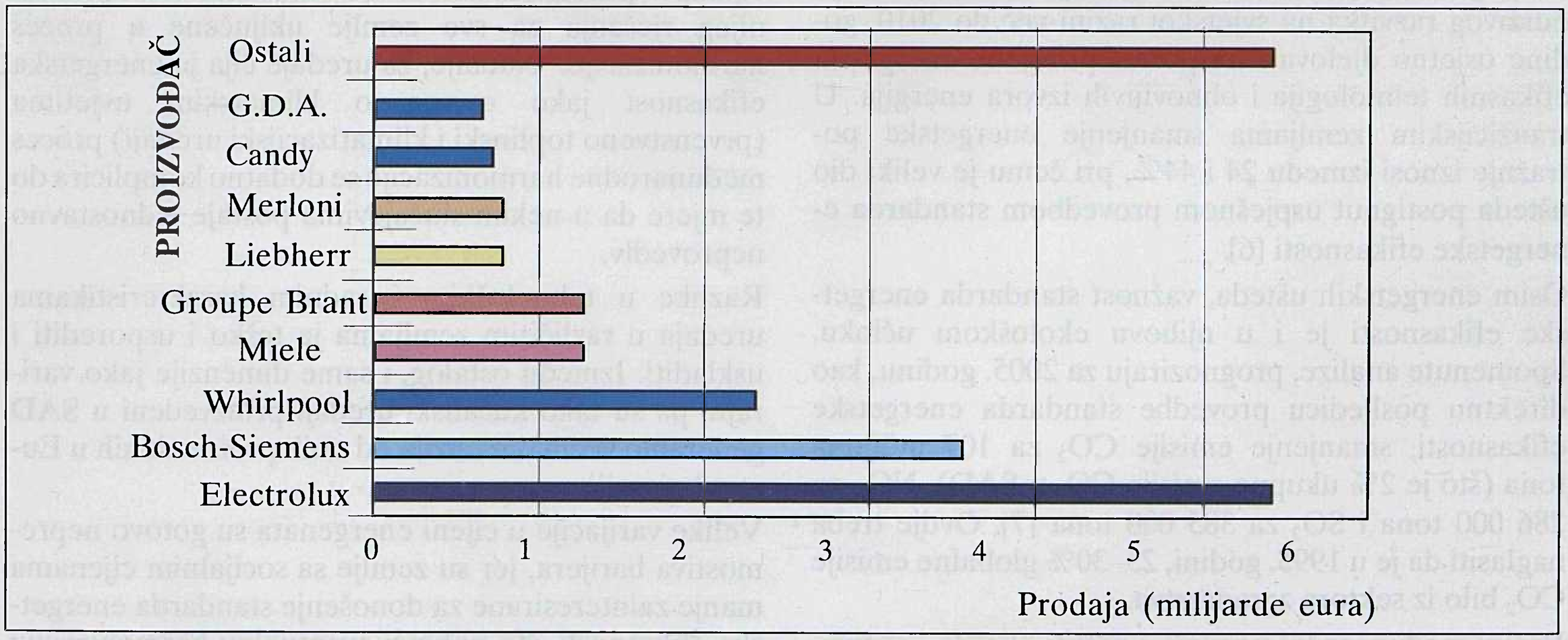
Koliko je to značajan iznos, najbolje je vidljivo iz činjenice da je 1992. godine na svjetskom tržištu, na kućanske uređaje (hladnjake, zamrzivače, perilice rublja, perilice posuđa i mikrovalne pećnice) potrošeno ukupno 67 milijardi USD. Realno je za očekivati da će do 2005. godine taj iznos porasti na više od 85 milijardi USD [4]. Procjenjuje se da će svjetsko tržište hladnjaka i klimatizacijskih uređaja, koje je 1997. godine iznosilo 40-45 milijardi USD, do 2005. porasti na preko 50 milijardi USD [5].

Na slici 2. prikazana je ukupna dobit velikih europskih proizvođača od prodaje bijele tehnike u 1994. godini.

U tablici 3. dana je prognoza udjela kućanskih uređaja (hladnjaci, zamrzivači, perilice rublja, perilice posuđa, sušilice rublja, razne vrste štednjaka uključujući i mikrovalne pećnice) po svjetskim regijama [4].

**Tablica 3. Prognoza udjela pojedine regije na svjetskom tržištu bijele tehnike (%)**

| Regija | 1992. | 2005. |
|---|---|---|
| Zapadna Europa | 39,9 | 38,4 |
| Sjeverna Amerika | 25,0 | 21,1 |
| Jugoistočna Azija | 20,2 | 23,6 |
| Istočna Europa | 6,8 | 7,2 |
| Južna Amerika | 1,8 | 2,6 |
| Srednji Istok | 1,9 | 2,5 |
| Australija i Pacifik | 1,6 | 1,6 |
| Ostalo | 2,8 | 3,0 |




**Slika 2. Ukupna dobit velikih europskih proizvođača od prodaje bijele tehnike**

Iz tablice 3 je vidljivo da 1992. godine 85% svjetskog tržišta bijele tehnike čine tri velike svjetske regije: Zapadna Europa, Sjeverna Amerika i Jugoistočna Azija.

U periodu do 2005. godine udjeli spomenutih regija na svjetskom tržištu bijele tehnike će stagnirati ili blago padati, dok se porast očekuje u Južnoj Americi, Srednjem Istoku, Jugoistočnoj Aziji i Istočnoj Europi (tim redoslijedom).

U tablici 4. prikazana je prognoza porasta prodaje pojedinog kućanskog uređaja izražena u USD prema maloprodajnoj cijeni uređaja iz 1992. godine [4].

**Tablica 4. Prognoza porasta prodaje pojedinog kućanskog uređaja na svjetskom tržištu (u milijunima USD)**

| Uređaji | 1992. | 2005. | Porast (%) |
|---|---|---|---|
| Hladnjaci | 26 738 | 32 208 | 20,5 |
| Perilice i sušilice rublja | 18 592 | 20 623 | 10,9 |
| Štednjaci | 11 154 | 12 116 | 8,6 |
| Mikrovalne pećnice | 6 817 | 7 353 | 7,9 |
| Perilice posuđa | 3 826 | 4 671 | 22,1 |
| Ukupno | 67 127 | 76 971 | 14,7 |

Najveći porast prodaje očekuje se za perilice posuđa (u 1992. godini ih je bilo brojčano znatno manje nego ostalih uređaja) i hladnjake (svi tipovi hladnjaka i zamrzivača, kombinirani hladnjaci i dr.).

Globalna analiza provedena 1996. godine za Svjetski energetski kongres (World Energy Congress, WEC) pokazala je da izrazito ekološki scenarij u odnosu na konzervativni (eng. buisiness as usual scenario) smanjuje potražnju za energijom za 6-16% u zemljama članicama Organizacije za ekonomsku kooperaciju i razvitak (OECD), kojoj pripadaju Europska unija, Australija, Japan, Koreja, Meksiko, Novi Zeland i SAD. Izrazito ekološki scenarij polazi od pretpostavke da će globalni problem stakleničkog efekta i koncept održivog razvitka na svjetskoj razini već do 2010. godine osjetno djelovati na porast primjene energetski efikasnih tehnologija i obnovljivih izvora energije. U tranzicijskim zemljama smanjenje energetske potražnje iznosi između 24 i 44%, pri čemu je veliki dio ušteda postignut uspješnom provedbom standarda energetske efikasnosti [6].

Osim energetskih ušteda, važnost standarda energetske efikasnosti je i u njihovu ekološkom učinku. Spomenute analize, prognoziraju za 2005. godinu, kao direktnu posljedicu provedbe standarda energetske efikasnosti, smanjenje emisije $CO_2$ za 107 milijuna tona (što je 2% ukupne emisije $CO_2$ u SAD), $NO_X$ za 286 000 tona i $SO_2$ za 385 000 tona [7]. Ovdje treba naglasiti da je u 1995. godini, 25–30% globalne emisije $CO_2$ bilo iz sektora zgradarstva.

Brojni međunarodni ugovori o zaštiti okoliša i reduciranju emisija $CO_2$ inzistiraju na uvođenju energetskih oznaka, standarda energetske efikasnosti, te njihovoj međunarodnoj i regionalnoj harmonizaciji kao dokazano djelotvornim mjerama zaštite okoliša.

## 4. MEĐUNARODNA I REGIONALNA HARMONIZACIJA STANDARDA ENERGETSKE EFIKASNOSTI, ENERGETSKIH OZNAKA I TEST PROCEDURA

Činjenica da energetski uređaji proizvedeni prema vrijedećim standardima jedne zemlje, nisu kompatibilni sa standardima drugih zemalja ograničava potencijalno zajedničko tržište državnim granicama.

Proizvođači energetske opreme, iz potpuno razumljivih razloga, poduzimaju brojne aktivnosti radi usklađivanja standarda energetske efikasnosti, test protokola i energetskih oznaka, koje bi rezultiralo liberalizacijom tržišta.

Proces harmonizacije standarda energetske efikasnosti, energetskih oznaka i test procedura na regionalnoj osnovi, u velikom je zamahu u Europskoj uniji, Sjevernoj Americi i Australiji/Novom Zelandu.

Međunarodna harmonizacija je teže provediva od regionalne zbog daleko većih klimatskih, kulturoloških i brojnih drugih razlika između zemalja sudionica.

Neke od glavnih barijera procesu harmonizacije su:

- teško usuglašavanje test procedura;
- klimatske razlike;
- razlike u tehnološkim i radnim karakteristikama energetskih uređaja;
- velike varijacije u cijeni energenata;
- kulturološke razlike;
- razlike u snazi i profilu proizvođača u raznim zemljama.

Definiranje test procedura je vrlo složen i skup proces. Test procedure jako variraju od države do države što rezultira potrebom za opširnim i značajnim modifikacijama i prilagodbama radi iznalaženja što optimalnijeg rješenja za sve zemlje uključene u proces harmonizacije. Nadalje, za uređaje čija je energetska efikasnost jako ovisna o klimatskim uvjetima (prvenstveno toplinski i klimatizacijski uređaji) proces međunarodne harmonizacije se dodatno komplicira do te mjere da u nekim slučajevima postaje jednostavno neprovediv.

Razlike u tehnološkim i radnim karakteristikama uređaja u različitim zemljama je teško i usporediti i uskladiti. Između ostalog, i same dimenzije jako variraju, pa su tako kućanski uređaji proizvedeni u SAD generalno većih dimenzija od onih proizvedenih u Europskoj uniji.

Velike varijacije u cijeni energenata su gotovo nepremostiva barijera, jer su zemlje sa socijalnim cijenama manje zainteresirane za donošenje standarda energetske efikasnosti, što njihovu eventualnu harmonizaciju čini bespredmetnom. Može se zaključiti da ekonomska

opravdanost uvođenja standarda energetske efikasnosti u velikoj mjeri ovisi o cijeni energenata u nekoj zemlji.

Kulturološke razlike širom svijeta su tolike da je između nekih zemalja i regija, zbog brojnih razloga, jednostavno nemoguće provesti harmonizaciju.

Međunarodna i regionalna harmonizacija je, u posljednjih desetak godina, glavna tema brojnih konferencija, seminara i sastanaka širom svijeta.

Sredinom 1995. godine, u organizaciji Međunarodne energetske agencije (International Energy Agency, IEA) održan je jedan od važnijih sastanaka stručnjaka na temu harmonizacije test procedura i standarda energetske efikasnosti.

Okosnicu sastanka činila su izlaganja sljedećih referata:

- Generalni pregled standarda energetske efikasnosti u svijetu [8];
- Standardi energetske efikasnosti za hladnjake i zamrzivače [9];
- Standardi energetske efikasnosti uredske opreme [10].

Nakon izlaganja sudionici su podijeljeni u dvije radne grupe:

- za kućanske uređaje;
- za uredsku opremu.

Osnovni ciljevi sastanka bili su:

- istražiti i analizirati zatečeno stanje;
- okupiti jezgru stručnjaka za pripremu radnog plana harmonizacije u budućem razdoblju;
- identificirati kategorije uređaja za koje je internacionalna harmonizacija tehnički izvediva i ekonomski isplativa;
- odrediti ulogu Međunarodne energetske agencije u procesu internacionalne harmonizacije.

Glavni zaključci Radne grupe za kućanske uređaje bili su sljedeći:

- nakon detaljne analize kućanskih uređaja (hladnjaci, zamrzivači, perilice rublja, perilice posuđa, sušilice rublja, grijalice vode i mikrovalne pećnice) kao najbolji kandidati za prvu fazu provedbe harmonizacije odabrani su hladnjaci/zamrzivači i mikrovalne pećnice;
- iako su mikrovalne pećnice manja trošila od drugih kućanskih uređaja, bile bi idealan pilot uređaj jer već imaju internacionalno prihvaćen test protokol, a njihove tehnološke i radne karakteristike su vrlo slične širom svijeta;
- energetski potencijal harmonizacije hladnjaka i zamrzivača je vrlo velik, ali su barijere velika raznolikost test protokola, brojne razlike u tehnološkim i radnim karakteristikama i dr.;
- proces harmonizacije između zemalja Europske unije i Sjeverne Amerike procijenjen je veoma kompliciranim, što će rezultirati autonomnošću tržišta (zajedničko će tržište i dalje ostati minimalno);
- veliki energetski potencijal se očekuje u Jugoistočnoj Aziji, gdje treba pokrenuti brojne programe poticanja i promocije energetske efikasnosti;
- sobni klimatizacijski uređaji su sljedeći na listi potencijalnih kandidata, jer se unatoč velikoj ovisnosti o klimatskim karakteristikama internacionalno koriste ISO standardi, a tehnološke i radne karakteristike su slične širom svijeta;
- perilice rublja i posuđa, kao i sušilice rublja nisu dobri kandidati jer energetska potrošnja strogo ovisi o ponašanju i navikama korisnika, a test protokoli su bitno drugačiji u raznim dijelovima svijeta;
- prije konačne odluke o tome koji uređaji trebaju ući u prvi krug internacionalne harmonizacije, nužna je provedba opsežnih analiza energetskog potencijala za sve kućanske uređaje;
- zadatak Međunarodne energetske agencije je prikupljati i distribuirati relevantne podatke svim zainteresiranim stranama.

Uz brojne pozitivne strane harmonizacije, osnovni je nedostatak da usuglašeni standardi neće biti optimalni za svaku pojedinu zemlju već će se morati prihvatiti i određeni kompromisi. Nadalje, za dogovore o zajedničkim standardima, test procedurama i energetskim oznakama trebat će jako puno vremena i dobre volje svih zainteresiranih strana.

## 5. METODOLOŠKE PODLOGE STANDARDA ENERGETSKE EFIKASNOSTI

### 5.1. Pristupi etabliranju standarda

Pod pojmom metodoloških podloga za izradu standarda energetske efikasnosti podrazumijevaju se dva osnovna pristupa etabliranju standarda:

- statistički;
- inženjersko-ekonomski.

Osim navedenih pristupa, poznat je i tzv. hibridni pristup donošenju standarda energetske efikasnosti, u kojemu se standardi postavljaju konsenzusom zainteresiranih strana.

*Primjer 1*

Američki standard za hladnjake iz 1998. godinu nije baziran na statističkim analizama, jer je predložena maksimalna dozvoljena energetska potrošnja 515 litarskog kombiniranog hladnjaka s automatskim odleđivanjem iznosila 500 kWh/god., a u vrijeme provođenja analiza na tržištu nije bilo modela s tako malom potrošnjom. Iz tog je razloga Američki federalni odjel za energiju (US Department of Energy, DOE) proveo inženjersko-ekonomske analize koje su predstavljale bazu za diskusiju u pregovaračkoj grupi sastavljenoj od predstavnika proizvođača, elektroprivrednih i plinskih kompanija, udruga potrošača i resornih ministarstava. Na taj je način

standard energetske efikasnosti za hladnjake, ustvari, etabliran konsenzusom pregovaračke grupe [11].

Prije konačnog odabira pristupa (statistički ili inženjersko-ekonomski) potrebno je provesti veliki broj predradnji. Učestala je praksa podijeliti neku vrstu proizvoda (npr. hladnjake, perilice rublja i dr.) u nekoliko kategorija (poznate pod nazivom klasa proizvoda) prema raznim pogodnostima koje pružaju korisnicima. Glavni razlog podjele u klase proizvoda je omogućiti što pravednije određivanje deklarirane energetske potrošnje uređaja.

*Primjer 2*

Stariji modeli hladnjaka s ručnim odleđivanjem troše manje energije od modernijih modela s automatskim odleđivanjem. U slučaju da hladnjaci nisu podijeljeni prema klasama, tehnološki naprednijim modelima s različitim dodatnim opcijama koji troše više energije, bilo bi teže postići vrijednost propisanu standardom. Na taj bi način, standardi energetske efikasnosti bili svojevrsna kočnica tehnološkog napretka.

U Europskoj se uniji hladnjaci dijele na nekoliko klasa, ovisno o sposobnosti postizanja specifične temperature u zamrzivaču.

Sljedeće ključno pitanje je da li bazirati standarde na kapacitetu ili volumenu (zapremnini) uređaja. Praksa je u zemljama koje imaju razvijene standarde energetske efikasnosti za hladnjake i zamrzivače, da su postavljeni kao linearna funkcija podešenog volumena (eng. adjusted volume). Podešeni volumen je izvedena veličina u ovisnosti o volumenu rashladnog dijela, volumenu zamrzivača i postignutih temperatura. Razlog baziranja standarda na podešenom volumenu je taj što bi u slučaju da maksimalna dozvoljena energetska potrošnja nije funkcija podešenog volumena (već je jednaka za sve kapacitete), modeli većih dimenzija teže zadovoljavali standarde što bi obeshrabrivalo proizvođače u njihovoj proizvodnji.

Važan korak u donošenju standarda za određenu klasu proizvoda je odrediti kako se mijenja energetska potrošnja u ovisnosti o podešenom volumenu. Jedna od najčešće korištenih metoda je provođenjem simulacija za nekoliko modela različitih volumena i što sličnijih tehnoloških i radnih karakteristika. Spomenute simulacije za svaki model uređaja daju krivulju regresije za pojedinu razinu energetskih ušteda. Nakon definiranja željene razine energetskih ušteda, odabire se jednostavna linearna jednadžba za energetsku potrošnju kao funkciju podešenog volumena.

Kriteriji podjele uređaja prema klasama su mnogoznačni i često sporni, ali su iznimno važan čimbenik u smanjenju energetske potrošnje, što je u konačnici i primarni cilj donošenja standarda energetske efikasnosti.

### 5.2. Statistički pristup

Jedna od osnovnih razlika između statističkog i inženjersko-ekonomskog pristupa je u tome što statistički pristup zahtijeva manje analiza i zasniva se na, generalno gledano, lakše dostupnim podacima od inženjersko-ekonomskog pristupa. Potrebni podaci se odnose na karakterizaciju tekućeg tržišta za promatrani uređaj, a cilj je što preciznije odrediti zastupljenost pojedinog modela nekog uređaja na tržištu prema klasi energetske efikasnosti. Nakon provedene analize, određuje se potencijalna razina energetske potrošnje koju će standard postaviti, iznalaženjem kompromisa između željenih energetskih ušteda i prihvatljivog broja modela koje zbog prevelike energetske potrošnje treba eliminirati s tržišta. Važna je prednost statističkog pristupa da stvarni troškovi poboljšanja energetskih karakteristika uređaja ne trebaju biti eksplicitno određeni, jer je prikupljanje pouzdanih podataka o troškovima od proizvođača i dobavljača energetskih uređaja izuzetno težak, a u brojnim slučajevima i neizvediv zadatak.

Statistički pristup, kao metodološka podloga donošenja standarda energetske efikasnosti provodi se u zemljama Europske unije i Australiji.

Detaljne statističke analize kao podlogu donošenja internacionalnog standarda energetske efikasnosti za hladnjake na nivou zemalja Europske unije provela je Grupa za energetsku efikasnost (Group for Energy Efficiency, GEA), koju čine Danska energetska agencija (DEA), Nizozemska agencija za energiju i zaštitu okoliša (NOVEM) i Francuska agencija za zaštitu okoliša i upravljanje energijom (ADEME).

Slične statističke analize provedene su posljednjih godina i u Australiji.

*Primjer 3*

Kao dobar primjer statističkog pristupa, opisana je analiza provedena od strane Grupe za energetsku efikasnost za kombinirani hladnjak s tri zvjezdice.

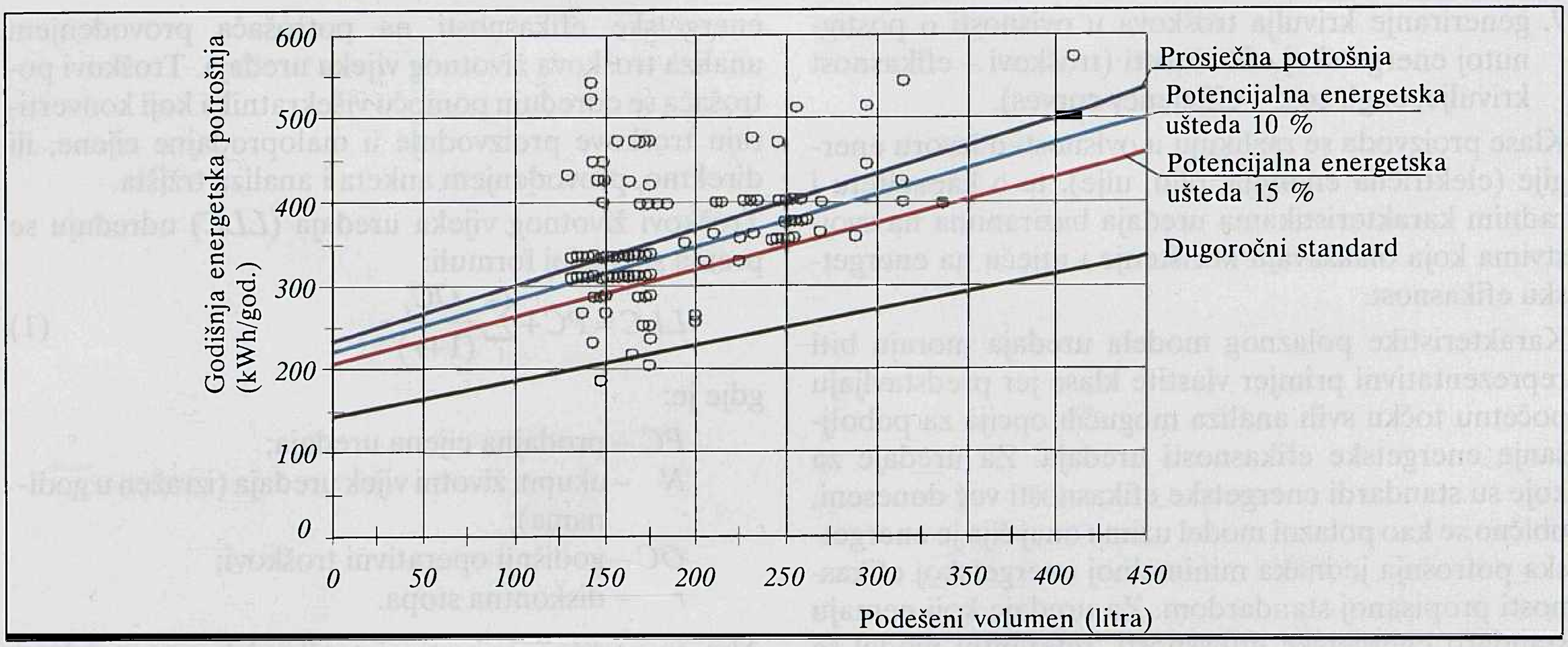
Na slici 3. prikazani su podaci o godišnjoj energetskoj potrošnji kombiniranih hladnjaka s tri zvjezdice za modele dostupne na europskom tržištu u 1992. godini. Energetska potrošnja svakog modela hladnjaka ucrtana je u graf kao funkcija podešenog volumena.

Za klasu proizvoda kombinirani hladnjak s tri zvjezdice prema vrijedećoj test proceduri Europske unije, EN 153 podešeni volumen (AV) se određuje prema sljedećoj formuli:

AV (litra) = volumen rashladnog dijela + 2,5 • volumen zamrzivača

Četiri pravca na slici 3. predstavljaju:

1. prosječnu energetsku potrošnju za 1992. godinu dobivenu metodom regresije svih pojedinačnih potrošnji (referentni pravac);
2. 10% godišnju uštedu energije;
3. 15% godišnju uštedu energije;
4. dugoročnu uštedu energije kao rezultat implementacije standarda energetske efikasnosti.




**Slika 3. Godišnja energetska potrošnja za kombinirane hladnjake s tri zvjezdice kao funkcija podešenog volumena**

Metoda kojom su dobivena prva tri pravca bazirana je na statističkom pristupu, dok je za četvrti pravac potrebno provesti inženjersko-ekonomske analize objašnjene u sljedećem poglavlju.

Prvi je korak statističkog pristupa na pravcu regresije pronaći model koji troši najviše energije i zamijeniti ga s modelom veće energetske efikasnosti, pri čemu broj modela (veličina uzorka) ostaje nepromijenjen. Sljedeći je korak proračun energetskih ušteda novouvedenog modela, tako da se energetske uštede zbrajaju dok ne dosegnu neku ciljanu vrijednost (10%, 15% ili dr.). Pravac minimalne efikasnosti je definiran kao pravac maksimalnog indeksa efikasnosti, pri čemu se pod pojmom indeksa energetske efikasnosti nekog modela uređaja podrazumijeva postotak za koji je njegova energetska potrošnja ispod ili iznad referentnog pravca.

Načini na koje se najmanje efikasni modeli zamjenjuju efikasnijima su brojni, a GEA je u svojoj studiji obuhvatila četiri najčešće korištena.

Energetski najneefikasniji model može se zamijeniti:

1. fiktivnom jedinicom sličnog podešenog volumena i najbližeg indeksa energetske efikasnosti;
2. postojećom jedinicom najbližeg podešenog volumena i indeksa energetske efikasnosti;
3. fiktivnom jedinicom s podešenim volumenom i indeksom energetske efikasnosti koji su prosječne vrijednosti ostalih jedinica unutar istog raspona volumena;
4. fiktivnom jedinicom sličnog podešenog volumena i indeksa energetske efikasnosti koji je prosječna vrijednost ostalih jedinica unutar istog raspona volumena.

Promatrani raspon volumena je proizvoljan, ali ne bi smio biti prevelik. Većina analiza provedena od strane GEA-e bazira se na četvrtom načinu zamjene, jer se smatra da je to način na koji sami proizvođači, u velikoj većini slučajeva, provode zamjene vlastitih nedovoljno energetski efikasnih uređaja.

### 5.3. Inženjersko-ekonomski pristup

Za razliku od statističkog pristupa izradi standarda energetske efikasnosti, za inženjersko-ekonomski pristup nužni su podaci o stvarnim troškovima poboljšanja energetske efikasnosti nekog uređaja. Oni se određuju brojnim ekonomskim analizama od kojih su najvažnije analize troškova životnog vijeka uređaja (eng. life cycle cost analysis) i proračuni perioda povrata investicija (engl. payback period analysis). Ovaj pristup može obuhvatiti utjecaj na nacionalnu ili regionalnu potrošnju energije, utjecaj na proizvođače, isporučitelje električne energije i plina, te utjecaj na okoliš.

Prednost inženjersko-ekonomskog pristupa pred statističkim je u tome što on uzima u razmatranje tehnološke inovacije koje rezultiraju poboljšanjem energetske efikasnosti uređaja. Međutim, vrlo je teško procijeniti troškove tehnoloških inovacija i njihov utjecaj na krajnju cijenu uređaja.

Inženjersko-ekonomski pristup u izradi standarda energetske efikasnosti koristi Američki federalni odjel za energiju, a sve potrebne analize se provode u Nacionalnom laboratoriju Lawrence Berkeley, Sveučilišta u Kaliforniji (National Laboratory Lawrence Berkeley, LBNL). U Europskoj uniji, ovaj se pristup koristi kao podloga prijedloga dugoročnog standarda za hladnjake.

Koraci u provođenju inženjerskih analiza u okviru inženjersko-ekonomskog pristupa su sljedeći:

1. određivanje klase proizvoda;
2. definiranje polaznog (referentnog) modela uređaja;
3. odabir tehnoloških karakteristika uređaja (konstrukcijske opcije) za pojedinu klasu;
4. proračun povećanja energetske efikasnosti za svaku konstrukcijsku opciju;
5. proračun povećanja energetske efikasnosti za razne kombinacije konstrukcijskih opcija;
6. procjena troškova (uključeno instaliranje i održavanje) za svaku konstrukcijsku opciju;

7. generiranje krivulja troškova u ovisnosti o postignutoj energetskoj efikasnosti (troškovi – efikasnost krivulje, engl. cost – efficiency curves).

Klase proizvoda se razlikuju u ovisnosti o izvoru energije (električna energija, plin, ulje), te o kapacitetu i radnim karakteristikama uređaja baziranima na svojstvima koja olakšavaju korištenje i utječu na energetsku efikasnost.

Karakteristike polaznog modela uređaja moraju biti reprezentativni primjer vlastite klase jer predstavljaju početnu točku svih analiza mogućih opcija za poboljšanje energetske efikasnosti uređaja. Za uređaje za koje su standardi energetske efikasnosti već doneseni, obično se kao polazni model uzima onaj čija je energetska potrošnja jednaka minimalnoj energetskoj efikasnosti propisanoj standardom. Za uređaje koji nemaju standard energetske efikasnosti, referentni model se može odabrati na gore opisani način ili kao model čija je energetska potrošnja jednaka prosječnoj vrijednosti energetskih potrošnji postojećih modela. Odabir energetski najneefikasnijeg modela za polazni model preporučljivo je iz tog razloga što je time omogućeno provođenje analiza za pokusne standarde na svim mogućim razinama energetske efikasnosti, startajući s eliminiranjem energetski najlošijeg modela.

Konstrukcijske opcije predstavljaju promjene u konstrukciji polaznog modela koje rezultiraju poboljšanjem energetske efikasnosti, a razmatraju se odvojeno ili u raznim kombinacijama.

Za svaku konstrukcijsku opciju ili kombinaciju opcija, određena je energetska potrošnja mjerenjem ili proračunima u okviru test procedure. Proračuni se većinom provode raznim simulacijskim ili jednostavnim tabličnim modelima (engl. spread sheet models) koji obuhvaćaju razne parametre energetske potrošnje uređaja.

U proračune moraju biti uključeni očekivani troškovi proizvodnje, instaliranja i održavanja svake konstrukcijske preinake uređaja, pri čemu je uobičajeno da potrebne podatke daju proizvođači uređaja i dijelova koji se mijenjaju (npr. kompresora, motora i dr.).

Podaci o troškovima i energetskoj efikasnosti se kombiniraju i prikazuju u tabličnoj ili grafičkoj formi (generiranje troškovi – efikasnost krivulja). U slučajevima kad proizvođači ne žele ili ne mogu dati potrebne podatke, koriste se maloprodajne cijene (izvedivo jedino u slučaju kad su sve razmatrane konstrukcijske opcije već dostupne na tržištu što je u praksi izuzetno rijedak slučaj). Prikupljanje prosječnih maloprodajnih cijena je posao koji se može pokazati vrlo teškim jer su razlike u cijenama često značajne. Osim toga teško je naći dva modela uređaja koji se razlikuju samo u točno određenom konstrukcijskom svojstvu (sve ostale karakteristike moraju biti iste).

A) *Analiza troškova životnog vijeka uređaja*

Nakon provođenja inženjerskih analiza, uobičajeno je analizirati ekonomski utjecaj potencijalnih poboljšanja energetske efikasnosti na potrošača provođenjem analiza troškova životnog vijeka uređaja. Troškovi potrošača se određuju pomoću višekratnika koji konvertiraju troškove proizvodnje u maloprodajne cijene, ili direktno, provođenjem anketa i analiza tržišta.

Troškovi životnog vijeka uređaja ($LLC$) određuju se prema sljedećoj formuli:

$$LLC = PC + \sum_{1}^{N} \frac{OC_t}{(1+r)^t} \qquad (1)$$

gdje je:

$PC$ – prodajna cijena uređaja;
$N$ – ukupni životni vijek uređaja (izražen u godinama);
$OC$ – godišnji operativni troškovi;
$r$ – diskontna stopa.

Ako su godišnji operativni troškovi konstantni kroz čitav životni vijek uređaja formula (1) prelazi u formulu (2):

$$LLC = PC + (PWF) \cdot OC \qquad (2)$$

gdje je $PWF$ – faktor sadašnje vrijednosti, a računa se na sljedeći način:

$$PWF = \sum_{1}^{N} \frac{1}{(1+r)^t} = \frac{1}{r}\left[1 - \frac{1}{(1+r)^N}\right] \qquad (3)$$

Troškovi životnog vijeka uređaja uvijek se određuju za godinu u kojoj standard stupa na snagu. Troškovi instalacije i održavanja su, također, uključeni u troškove životnog vijeka, na taj način da se troškovi instalacije direktno dodaju prodajnoj cijeni, a troškovi održavanja se zbrajaju na operativne troškove i diskontiraju zajedno s troškovima energije.

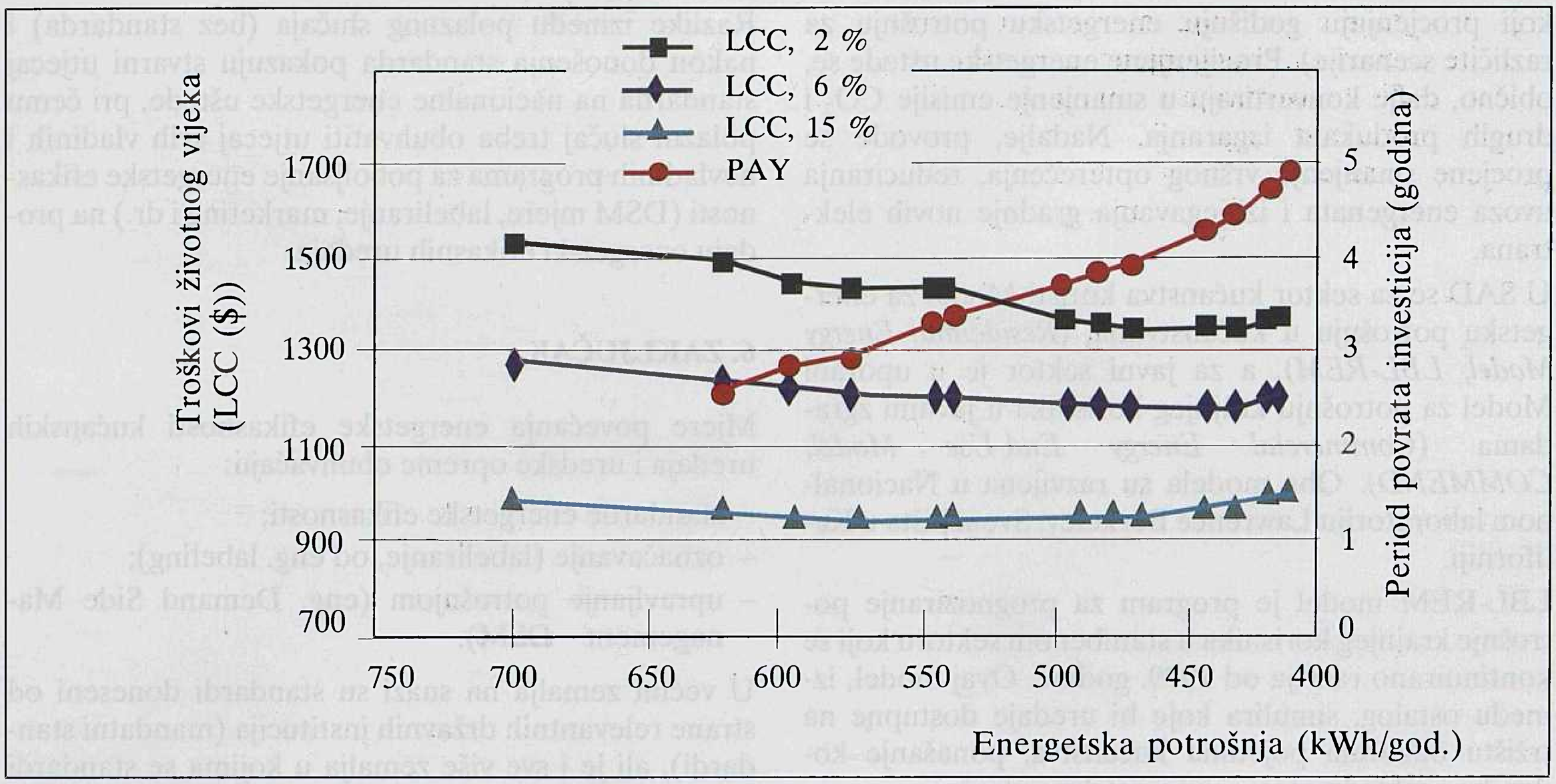
Za uređaje koji u svom radu koriste vodu (npr. perilice rublja i posuđa) treba uzeti u razmatranje i cijenu $m^3$ vode, kao i cijene sredstava za pranje dostupnih na tržištu.

Teškoća koja se javlja pri određivanju troškova životnog vijeka uređaja je pravilan odabir diskontne stope, $r$.

*Primjer 4*

Zbog brojnih polemika o odabiru diskontne stope, u analizi Američkog federalnog odjela za energiju kao podlozi standardu energetske efikasnosti za kombinirane hladnjake s automatskim odleđivanjem, iz 1998. godine, troškovi životnog vijeka su određeni za tri različite diskontne stope (2%, 6% i 15%) (slika 4.).

Za diskontnu stopu od 6%, minimalni troškovi životnog vijeka uređaja bit će postignuti za ukupnu godišnju energetsku potrošnju od cca 450 kWh/god. Za nižu diskontnu stopu (2%), minimalni troškovi se pomiču prema nižim energetskim potrošnjama, dok se za diskontnu stopu od 15% minimalni troškovi pomiču prema višim energetskim potrošnjama. Za ovaj konkretni primjer je energetska potrošnja ispod 470 kWh/god. proglašena neprihvatljivom, jer se sve zainteresirane strane slažu da bi dodatnih 2,54 cm izolacijskog sloja sa svih strana hladnjaka radi smanjenja energetske po-




**Slika 4. Rezultati analize perioda povrata investicija i troškova životnog vijeka kombiniranog hladnjaka s automatskim odleđivanjem za tri različite diskontne stope**

trošnje onemogućilo uklapanje uređaja u prostore već postojećih kuhinja. Pretpostavka je bila da unutarnja zapremnina ostane ista uz povećanje izolacijskog sloja.

Za postizanje maksimalne energetske uštede, potrebno je izabrati standard koji propisuje maksimalnu dozvoljenu potrošnju iznad minimalnih troškova životnog vijeka sve dok postoji smanjenje troškova životnog vijeka u odnosu na polazni model uređaja.

B) *Analize perioda povrata investicija*

Period povrata investicija (eng. payback period, *PAY*) je razdoblje u kojem će se kroz smanjene operativne troškove kao posljedicu povećanja energetske efikasnosti vratiti dodatne investicije uložene u povećanje energetske efikasnosti (*PC*).

Period povrata investicija određuje se iz sljedeće jednakosti:

$$\Delta PC + \sum_{1}^{PAY} \Delta OC_t = 0 \qquad (4)$$

gdje su:

*PC* – dodatne investicije uložene u povećanje energetske efikasnosti;

*OC* – operativni troškovi.

Općenito se može reći da se period povrata investicija određuje interpoliranjem između one dvije godine u kojima je gornji izraz promijenio predznak.

Ako se operativni troškovi mogu uzeti konstantnima izraz (4) prelazi u jednostavnu formulu:

$$PAY = -\frac{\Delta PC}{\Delta OC} \qquad (5)$$

U tom se slučaju period povrata investicija može definirati kao omjer porasta prodajne cijene i troškova instalacije (od polaznog slučaja do uvođenja standarda) i smanjenja godišnjih operativnih troškova (uključujući održavanje).

Ako je period povrata investicija (*PAY*) veći od životnog vijeka uređaja znači da povećana prodajna cijena nije pokrivena smanjenim operativnim troškovima.

Generalno se period povrata investicija može odrediti na dva osnovna načina:

1. iz inženjerskih analiza gdje se računa kumulativni period povrata investicija za svaki model uređaja u odnosu na polazni model;
2. klasifikacijom raznih modela (različitih konstrukcijskih opcija) u odnosu na polazni slučaj bez standarda.

Drugi način daje nešto duži period povrata investicija od prvog, jer su radi što boljeg odabira minimalne energetske efikasnosti koja će biti propisana standardom potencijalne razine standarda razmatrani samo oni modeli uređaja koji bi zbog prevelike energetske potrošnje bili eliminirani postavljanjem predložene razine standarda.

Pretpostavlja se da će potrošač čiji je prvi odabir modela uređaja eliminiran standardom, kupiti onaj model koji je najviše u skladu s predloženim standardom.

### 5.4. Nacionalne energetske uštede

Karakteristično je za Vladine institucije da prije donošenja standarda energetske efikasnosti žele biti upoznate s potencijalnim energetskim uštedama predloženih standarda na nacionalnoj ili regionalnoj razini. Očekivana nacionalna energetska ušteda se određuje korištenjem raznih modela za planiranje potrošnje (mogu se koristiti i jednostavni tablični modeli

koji procjenjuju godišnju energetsku potrošnju za različite scenarije). Procijenjene energetske uštede se, obično, dalje konvertiraju u smanjenje emisije $CO_2$ i drugih produkata izgaranja. Nadalje, provode se procjene smanjenja vršnog opterećenja, reduciranja uvoza energenata i izbjegavanja gradnje novih elektrana.

U SAD se za sektor kućanstva koristi Model za energetsku potrošnju u kućanstvima, (*Residential Energy Model, LBL-REM)*, a za javni sektor je u uporabi Model za potrošnju krajnjeg korisnika u javnim zgradama (*Commercial Energy End-Use Model, COMMEND).* Oba modela su razvijena u Nacionalnom laboratoriju Lawrence Berkeley, Sveučilišta u Kaliforniji.

LBL-REM model je program za prognoziranje potrošnje krajnjeg korisnika u stambenom sektoru koji se kontinuirano razvija od 1979. godine. Ovaj model, između ostalog, simulira koje bi uređaje dostupne na tržištu odabrala pojedina kućanstva, ponašanje korisnika i sukladno tome, energetsku potrošnju.

Ulazni podaci obuhvaćaju:

- tehničke karakteristike uređaja i zgrada;
- ekonomske karakteristike (cijena energije, prihodi kućanstva, maloprodajna cijena uređaja, troškovi instalacije i održavanja, modeli odabira goriva i tehnologije i dr.);
- demografske karakteristike (broj postojećih i novih kućanstava prema tipu i uređajima koje posjeduju).

Model simulira pet tipova aktivnosti:

- odabir tehnologija i/ili goriva prilikom kupnje uređaja;
- odabir toplinske izolacije prilikom izgradnje ili rekonstrukcije stambenih zgrada i obiteljskih kuća;
- odabir energetske efikasnosti uređaja;
- ponašanje i navike korisnika uređaja;
- ekonomski parametri zgrade i uređaja.

Ukupna godišnja energetska potrošnja prema tipu energenta i kućanstva, na nacionalnoj, regionalnoj i drugim razinama određuje se u ovisnosti o 5 glavnih parametara:

- ukupnom broju kućanstava;
- udjelu kućanstava koji posjeduju promatrani uređaj u ukupnom broju kućanstava;
- energetskoj potrošnji uređaja;
- ponašanju i navikama korisnika;
- utjecaju toplinske izolacije stambene jedinice.

Posljednja dva parametra se primarno odnose na grijanje i hlađenje prostora.

Izlazni podaci obuhvaćaju nacionalnu energetsku potrošnju prema krajnjem korisniku, tipu kućanstva (jedna obitelj, više obitelji i dr.), tipu energenta i prema godini (1980. – 2030.).

Ekonomski izlazni podaci obuhvaćaju godišnje izdatke za kupovinu uređaja i troškove za energiju.

Razlike između polaznog slučaja (bez standarda) i nakon donošenja standarda pokazuju stvarni utjecaj standarda na nacionalne energetske uštede, pri čemu polazni slučaj treba obuhvatiti utjecaj svih vladinih i nevladinih programa za poboljšanje energetske efikasnosti (DSM mjere, labeliranje, marketing i dr.) na prodaju energetski efikasnih uređaja.

## 6. ZAKLJUČAK

Mjere povećanja energetske efikasnosti kućanskih uređaja i uredske opreme obuhvaćaju:

- standarde energetske efikasnosti;
- označavanje (labeliranje, od eng. labeling);
- upravljanje potrošnjom (eng. Demand Side Management – DSM).

U većini zemalja na snazi su standardi doneseni od strane relevantnih državnih institucija (mandatni standardi), ali je i sve više zemalja u kojima se standardi postavljaju konsenzusom zainteresiranih strana, a na poticaj proizvođača (Japan, Švicarska, Švedska i dr.) (sl. 1).

Generalni je zaključak da etabliranje i provedba standarda energetske efikasnosti u velikoj mjeri ovisi o snazi, razvijenosti i profilu domaćih proizvođača energetske opreme.

Iskustva u zemljama koje imaju standarde energetske efikasnosti pokazuju da njihovo donošenje i provedba imaju veliki ekonomski utjecaj, i to direktan na proizvođače uređaja i široku populaciju korisnika, a indirektan na proizvođače energije. Standardi energetske efikasnosti obvezuju proizvođače na usavršavanje energetskih uređaja, što rezultira smanjenjem potrošnje energije, reduciranjem emisija štetnih tvari, poboljšanjem radnih karakteristika uređaja, a u konačnici smanjuje potrebu za izgradnjom novih energetskih kapaciteta.

Jedan od bitnih preduvjeta organizacije hrvatskog energetskog sektora u skladu sa Zakonom o energiji je definiranje standarda energetske efikasnosti kućanskih i uredskih uređaja po uzoru na ISO i IEC standarde, usklađene s relevantnom regulativom Europske unije. Stavak 1., članka 13. Zakona o energiji obvezuje proizvođače i uvoznike energetske opreme da u tehničkoj specifikaciji proizvoda navedu potrebnu energiju za standardne uvjete rada. Nadalje, u stavku 2., definirana je obveza označavanja opreme energetskim oznakama čiji oblik i sadržaj, ovisno o vrsti proizvoda, energetskim zahtjevima i dr. propisuje Ministarstvo gospodarstva.

Definiranjem standarda energetske efikasnosti opreme postavljaju se jasni zahtjevi pred proizvođača, ali i uvoznike i prodavače opreme, koji svjesni relativno niskog životnog standarda prosječnog potrošača, pretvaraju Hrvatsku u veliko tržište neefikasne energetske opreme. Nadalje, donošenje standarda energetske efi-

kasnosti osigurava konkretnu financijsku pomoć Svjetske banke, Europske banke za obnovu i razvitak, Europske investicijske banke, Međunarodne banke za obnovu i razvitak, Međunarodnog udruženja za razvoj, Međunarodne financijske korporacije, Organizacije za razvoj i ekonomsku suradnju i Programa za okoliš Ujedinjenih naroda.

Iz brojnih se pokazatelja može zaključiti da je preuzimanje smjernica Europskog parlamenta o standardima energetske efikasnosti, energetskom označavanju i dr. jedan od važnijih koraka radi bržeg uključivanja Hrvatske u jedinstveno europsko tržište energetske opreme.

## LITERATURA


[1] National Appliance Energy Conservation Act, Public Low 100-12, March 17, 1987.

[2] Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Technical Paper on Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change, IPCC, Geneva, 1996.

[3] Resource Dynamics Corporation, Vienna, VA, USA, Financing worldwide electric power: can capital markets do the job? Final Report, April 1996.

[4] The World Market for White Goods, Euromonitor, London, UK, 1998

[5] Timothy Somheil, An atmosphere of growth, Appliance, November, 1996.

[6] M. D. LEVINE, L. PRICE, N. MARTIN, "Energy and energy efficiency in buildings: a global analysis", Proc. 1996 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings Proceedings, Vol. 9, Energy and Environmental Policy

[7] S. WEIL, N. MARTIN, M. D. LEVINE, "The role of building energy efficiency in managing atmospheric carbon dioxide", Proc. 1996 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings Proceedings, Vol. 9, Energy and Environmental Policy

[8] I. TURIEL, J. KOLLAR, J. McMAHON, "Overview of International Energy Efficiency Standards for Appliances", Rep. to IEA, IEA, Paris, France, April, 1995.

[9] B. LEBOT, P. WAIDE, "Refrigerators and freezers: market characteristics, energy use and standards harmonization", Rep. to IEA, Paris, France, April, 1995.

[10] J. McMAHON, J. KOLLAR, M. PIETTE, "Office equipment: market characteristics, energy use and standards harmonization", Rep. to IEA, Paris, France, April, 1995.

[11] I. TURIEL, S. HAKIM, "Consensus efficiency standards for refrigerators nd freezers – providing engineering – economic analyses to aid the process", Proc. ACEEE Conference, Pacific Grove, CA, August, 1996.


## IMPORTANCE OF ENERGY EFFICIENCY STANDARDS TO INCREASE NATIONAL ENERGY SAVINGS


In the paper experiences are shown as a verification of importance of appliances' and office equipment's energy efficiency standardisation in order to decrease energy consumption in apartments and public buildings on the national level. There is a special review of the importance of international and regional harmonisation of energy efficiency standards, energy labeling and test procedures. Furthermore, two basic approaches to energy efficiency standardisation are described: the statistical and the engineering-economic.


## DIE BEDEUTUNG DER NORMIERUNG ENERGETISCHER WIRKSAMKEIT ZWECKS GRÖSSERER ENERGETISCHER EINSPARUNGEN AUF DER STAATSEBENE


Im Artikel sind Erfahrungen anderer, als Beweis der Bedeutung der Einführung von Normen energetischer Wirksamkeit der Haushaltsgeräte und der Büro-Ausstattung, zwecks Einschränkung des Energieverbrauchs in Wohn- und Bürogebäuden auf der Staatsebene, dargestellt. Gegeben ist ein besonderer Rückblick auf die Wichtigkeit der Durchführung gegenseitlicher Anpassung der Normen energetischer Wirksamkeit, energetischer Symbole und Prüfferfahren auf internationaler und regionaler Ebene. Beschrieben sind weiters zwei Grundsätze der Einführung der Normen energetischer Wirksamkeit: Der statistische und der technisch-wirtschaftliche.

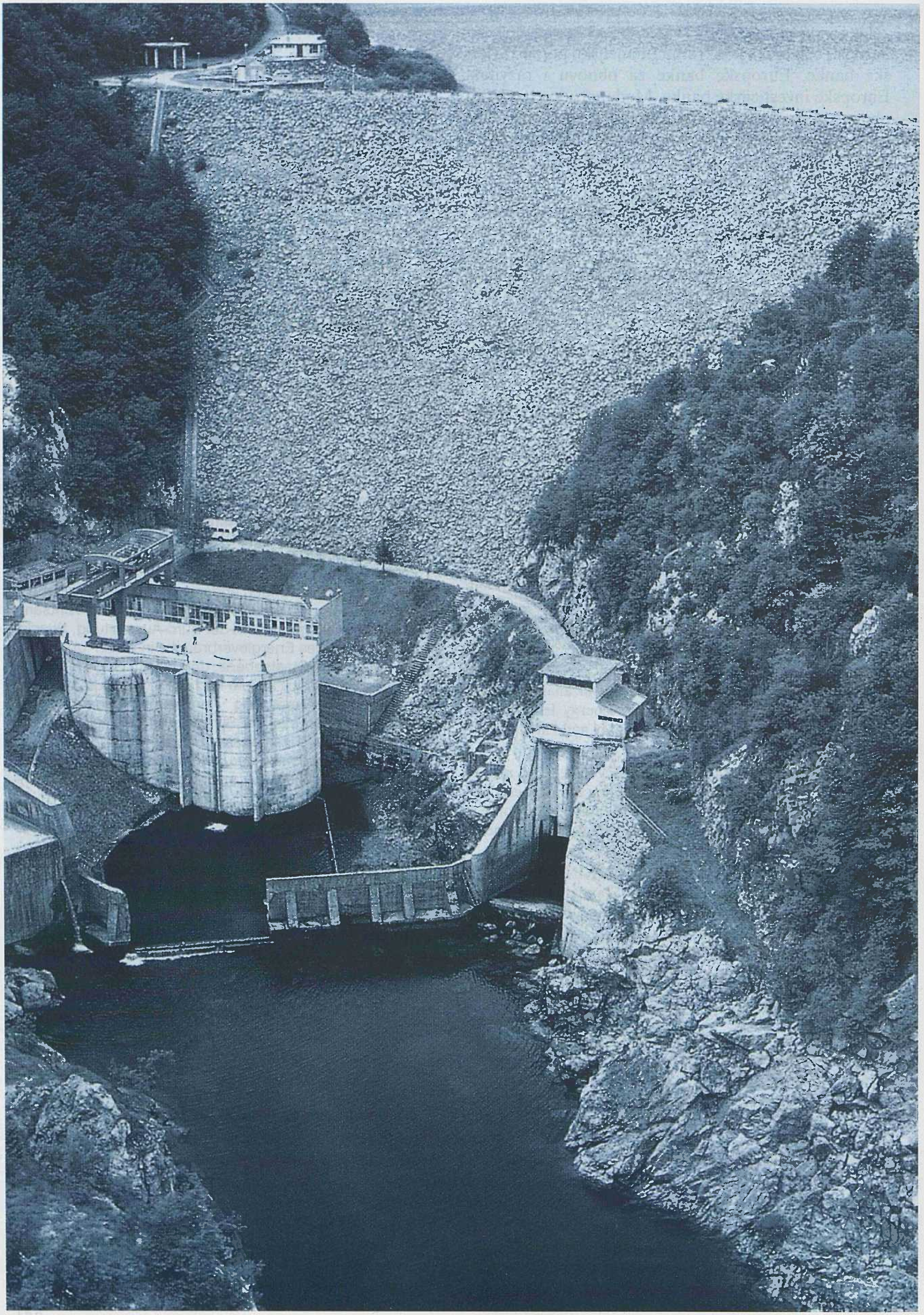


Naslov pisca:

**Mr. sc. Vesna Kolega, dipl. ing.**
**Energetski institut "Hrvoje Požar"**
**Savska 163**
**10000 Zagreb, Hrvatska**



Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 04 – 24.



# PRORAČUN POKAZATELJA POUZDANOSTI TEHNIČKIH SUSTAVA UPOTREBOM MARKOVLJEVA PROCESA

Emil V i l e n i c a, Zagreb

UDK 621.31:519
STRUČNI ČLANAK

Uporaba metoda Markovljeva procesa koristi se za proračun pokazatelja pouzdanosti tehničkih sustava. Pokazatelji pouzdanosti tehničkih sustava su vjerojatnosti stanja u kojima se sustav može nalaziti, srednja vremena boravka sustava u tim stanjima i učestalost nastupanja tih stanja. U članku su objašnjene temeljne metode i postupci proračuna pokazatelja pouzdanosti tehničkih sustava uporabom Markovljeva procesa.

**Ključne riječi: Markovljev proces, vjerojatnost stanja sustava, srednje vrijeme boravka u stanju sustava, učestalost nastupanja stanja sustava.**

## 1. UVOD

Prilikom razmatranja tehničkih sustava često se javlja potreba za proračunom pokazatelja njihove pouzdanosti.

Iako ih postoji popriličan broj, jedna od učestalijih metoda koja se upotrebljava za proračun pokazatelja pouzdanosti je primjena Markovljeva procesa. Cilj ovoga članka je opisati Markovljev proces, te objasniti temeljne metode i postupke proračuna pokazatelja pouzdanosti tehničkih sustava njegovom uporabom. Članak se sastoji od tri poglavlja poredana tako da predstavljaju faze uporabe Markovljeva procesa, od uvodnih postavki do izračunavanja pokazatelja pouzdanosti.

## 2. DIJAGRAM PROSTORA STANJA SUSTAVA

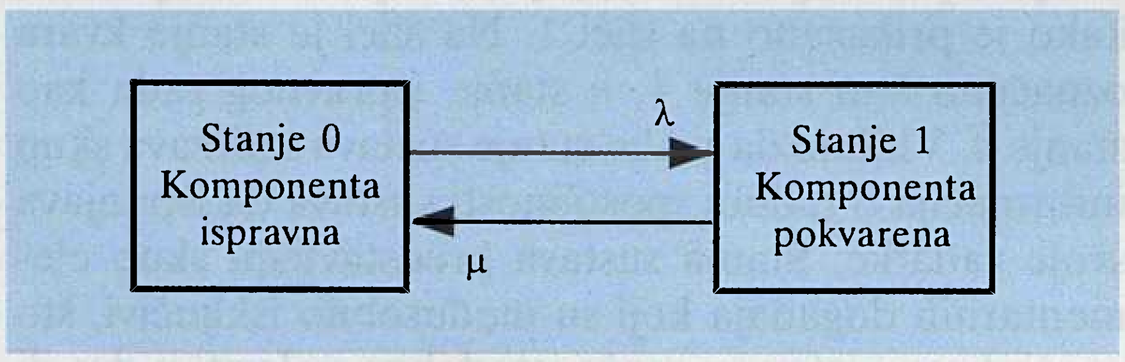
Kvarovi u tehničkim sustavima su slučajni, odnosno stohastički događaji koji se mogu opisati Markovljevim procesima. Slikovni prikaz Markovljeva procesa, odnosno stohastičkih događaja koji se odvijaju u sustavu predstavljen je dijagramom prostora stanja sustava. Dijagram prostora stanja sustava sastoji se od stanja sustava i prijelaza među njima.

Prva faza crtanja dijagrama prostora stanja sustava je određivanje svih stanja sustava, odnosno svih stanja u kojima se sustav može nalaziti. Pritom stanje sustava predstavlja situaciju u kojoj se sustav može naći s obzirom na status raspoloživosti svojih komponenata. Jednostavnije rečeno, svako od stanja sustava predstavlja određenu situaciju u kojoj sustav možemo zateći s obzirom na pokvarenost i ispravnost njegovih komponenata. Na primjer, za sustav koji se sastoji od samo jedne komponente, stanja u kojima se takav sustav može nalaziti su stanje kvara kada je komponenta pokvarena i stanje ispravnog rada kada je komponenta ispravna, kako je prikazano na slici 1. Na slici je stanje kvara označeno kao stanje 1, a stanje ispravnog rada kao stanje 0. Vidimo da svako stanje sustava sadržava skup informacija o radnoj sposobnosti sustava da ispunjava svoje zadatke. Stanja sustava predstavljaju skup elementarnih događaja koji su međusobno isključivi, što znači da se sustav ne može istodobno nalaziti u dva ili više stanja. U prikazanom slučaju sustava od jedne komponente, to znači da sustav ne može istodobno biti ispravan i pokvaren, što je i logično.

Drugi je korak u crtanju dijagrama prostora stanja crtanje prijelaza između pojedinih stanja. Logično je da sustav tijekom svog životnog vijeka neće uvijek boraviti u jednom te istom stanju, nego će pod utjecajem slučajnih događaja kvara i popravka mijenjati svoja stanja, odnosno prelaziti iz jednih stanja u druga. Prema tome, sustav se u nekom stanju zadržava onoliko dugo dok ga slučajan događaj kvara ili popravka ne prevede u drugo stanje, odnosno dok mu slučajan događaj ne promijeni osobine na taj način da prijeđe u drugo stanje. Zbog toga se može kazati da prijelazi između stanja predstavljaju putove, odnosno načine na koje sustav može prelaziti iz pojedinih stanja u neka druga. Drugačije rečeno, prijelazi između stanja povezuju pojedina stanja ukazujući time u koja stanja sustav može prijeći iz nekog stanja, odnosno iz kojih stanja sustav može dospjeti u neko stanje. U prikazanom primjeru sustava od jedne komponente zna se da se ona može pokvariti, odnosno prijeći iz stanja ispravnog rada 0 u stanje kvara 1. Taj je prijelaz prikazan strelicom iz stanja 0 u stanje 1 kako je prikazano na slici 1. Ukoliko se komponenta može popravljati, tada

nakon popravka pokvarene komponente sustav prelazi iz stanja 1 u stanje 0, a taj je prijelaz na slici 1 prikazan strelicom iz stanja 1 u stanje 0.

Iz života je poznato da se različite komponente različito brzo kvare, odnosno da se neke komponente kvare brže od drugih. Zbog toga nam je za cjelovit opis prijelaza potrebna veličina koja će biti mjera brzine kvara dotične komponente. Kao prikladna veličina koja opisuje brzinu kvara neke komponente uzeta je učestalost kvara. Ona predstavlja relativan broj kvarova, s obzirom na broj ispravnih komponenata, po vremenskom intervalu, pa po svojoj definiciji i nije ništa drugo nego brzina kvara. Kao mjera koja karakterizira brzinu kvara dotične komponente, na slici 1 je iznad strelice prijelaza iz stanja 0 u stanje 1 upisana vrijednost. Slično razmatranje može se provesti i za brzinu popravka dotične komponente, odnosno učestalost popravka. Ta veličina također predstavlja relativan broj popravaka, s obzirom na broj pokvarenih komponenata, po intervalu vremena. Na slici 1 ona je upisana kraj strelice prijelaza iz stanja 1 u stanje 0 kao veličina brzine popravka dotične komponente. Učestalost kvara komponente i učestalost popravka komponente nazivaju se zajedničkim imenom učestalosti prijelaza između pojedinih stanja sustava ili jednostavno učestalosti prijelaza.




**Slika 1. Dijagram prostora stanja sustava od jedne popravljive komponente**

Prema tome, kako bi se postigla bolja preglednost problema i jednostavan ispis sustava jednadžbi Markovljevog procesa poželjno je prvo nacrtati odgovarajući dijagram prostora stanja sustava i unijeti pripadajuće učestalosti prijelaza. U takav dijagram trebaju biti uključena sva odgovarajuća stanja u kojima se sustav može nalaziti, odnosno boraviti i svi mogući prijelazi između pojedinih stanja. Broj stanja i prijelaza ovisi o konkretnom sustavu, odnosno problemu koji se razmatra.

Iz svega navedenog slijedi da je izrada dijagrama prostora stanja sustava najvažnija faza rješavanja problema jer predstavlja slikovni prikaz problema, odnosno prevodi inženjersko znanje o radu sustava u matematički model na koji se zatim primjenjuju matematičke metode rješavanja Markovljevih procesa.

Prilikom izrade dijagrama prostora stanja sustava potrebno je vršiti inženjerske prosudbe, a za to je nužno potpuno i iscrpno razumijevanje fizikalnog ponašanja i logičkih operacija sustava, jer ne postoje nikakvi matematički modeli, pravila ili sheme koje bi to nadomjestile ili eliminirale. U ovom su članku predstavljene metode, odnosno matematički alati koji primijenjeni na dijagram prostora stanja sustava omogućuju proračun osnovnih stohastičkih veličina sustava.

Treba naglasiti da se skup svih stanja u kojima sustav ispravno radi naziva stanje ispravnog rada sustava, a skup svih stanja u kojima je sustav pokvaren naziva se stanje kvara sustava. Stanje ispravnog rada sustava i stanje kvara sustava zajedničkim se imenom nazivaju opća stanja sustava. Za razliku od njih pojedinačna stanja sustava su ona koja tvore dijagram prostora stanja i u daljnjem se tekstu nazivaju jednostavno stanja sustava. Prema tome, može se reći da opće stanje sustava predstavlja skup takvih pojedinačnih stanja koja izazivaju jednake posljedice na sposobnost rada sustava.

Već ranije je spomenuto da svako od stanja sustava predstavlja određenu situaciju u kojoj se sustav može zateći. S obzirom da su stanja sustava, odnosno situacije u kojima se sustav može naći stohastički događaji, oni imaju određenu vjerojatnost. Stanja sustava su i međusobno isključivi događaji, pa je zbog toga vjerojatnost općeg stanja sustava jednaka zbroju vjerojatnosti pojedinačnih stanja koja ga sačinjavaju. Prema tome, vjerojatnost ispravnog rada sustava dobiva se zbrajanjem vjerojatnosti svih pojedinačnih stanja sustava u kojima sustav ispravno radi. Na istom se principu dobiva vjerojatnost kvara sustava.

Jasno je da, ovisno o mrežnoj strukturi sustava, postoji značajna razlika kako u izgledu dijagrama prostora stanja sustava, tako i u tome koja stanja predstavljaju ispravan rad, odnosno kvar sustava. Pod mrežnom strukturom sustava podrazumijeva se način spoja komponenata koje sačinjavaju sustav.

Broj stanja u dijagramu prostora stanja sustava raste s porastom broja komponenata sustava i porastom broja stanja u kojima pojedina komponenta sustava može boraviti. Za sustav od n paralelno spojenih komponenata od kojih svaka može poprimiti jedno od 2 moguća stanja, stanje ispravnog rada i stanje kvara komponente, dobiva se dijagram prostora stanja sustava u kojem broj stanja iznosi $2^n$.

Očito je da veliki broj komponenata u sustavu, uzrokuje golem broj stanja u dijagramu prostora stanja sustava. Zbog toga je s dijagramom prostora stanja takvog sustava vrlo teško upravljati.

Dva su rješenja kojima se služimo u takvim slučajevima. Prvo se svodi na smanjenje broja stanja. Ovaj pristup se zasniva na upotrebi inženjerskih prosudbi temeljenih na iskustvu, kako bi se smanjio broj mogućih stanja sustava zanemarivanjem onih stanja koja imaju vrlo malu vjerojatnost događanja. Drugo rješenje svodi se na cijepanje sustava na dijelove, odnosno podsustave, koji se zatim analiziraju kao zasebne cjeline, odnosno sustavi. Nakon izračunavanja pokazatelja pouzdanosti podsustava crta se dijagram prostora stanja cijelog sustava u kojem se svaki podsustav predstavlja kao jedna komponenta. Pritom treba naglasiti da oba navedena principa spadaju u aproksimativne metode rješavanja.

## 3. VJEROJATNOSTI STANJA SUSTAVA

### 3.1. Opći pojmovi

U prethodnom odjeljku objašnjen je dijagram prostora stanja sustava koji predstavlja slikovni prikaz stohastičkog procesa koji se odvija u sustavu. Pri tome je spomenuto da svako stanje iz dijagrama prostora stanja ima pripadajuću vjerojatnost nastupanja, odnosno događanja. Drugim riječima, za svako stanje sustava postoji određena vjerojatnost da se sustav zatekne u njemu. Jedan od temeljnih pokazatelja pouzdanosti sustava upravo su vjerojatnosti nastupanja pojedinih stanja sustava. Zbog toga će se u ovom poglavlju prikazati metode izračunavanja vjerojatnosti stanja sustava.

S obzirom da će se stohastički proces unutar sustava, odnosno stohastičko ponašanje sustava opisivati Markovljevim procesom, prije svega je potrebno objasniti temeljne osobine Markovljeva procesa. Pritom je potrebno naglasiti da će se opisati samo najnužniji pojmovi i osobine Markovljevog procesa koji su prijeko potrebni za razumijevanje i uporabu istog.

Markovljev proces pripada stohastičkim procesima koji se mogu opisati dvjema slučajnim veličinama. To su, kako se i ranije moglo naslutiti, stanje sustava i vrijeme promatranja sustava. Svaka od spomenutih slučajnih veličina može biti diskretna ili kontinuirana. U slučaju Markovljeva procesa radi se o stohastičkom procesu kod kojeg su stanja sustava diskretna, a vrijeme promatranja kontinuirano.

Općenito za stohastičke procese vrijedi da vjerojatnost boravka sustava u danom trenutku u nekom od svojih stanja ovisi o povijesti procesa, odnosno o ponašanju sustava od početka procesa pa do promatranog trenutka.

Jedna od najbitnijih osobina Markovljevog procesa, koja ga izdvaja od ostalih stohastičkih procesa, jest ta da vjerojatnost boravka sustava $X$ u nekom stanju $j$ u trenutku $t+\Delta t$ ovisi samo o stanju $i$ u kojem je sustav boravio u trenutku $t$, a ne ovisi o tome u kojim je stanjima sustav boravio prije trenutka $t$.

Zbog te osobine Markovljevih procesa od goleme važnosti postaje prijelazna vjerojatnost $p_{ij}$. To je vjerojatnost da će sustav $X$ koji je u trenutku $t$ boravio u stanju $i$, u trenutku $t+\Delta t$ boraviti u stanju $j$, odnosno može se pisati

$$P(X(t+\Delta t)=j/X(t)=i)=p_{ij} \qquad (1)$$

U daljnjem će se radu s Markovljevim procesima smatrati da se sve komponente sustava nalaze unutar korisnog životnog perioda, odnosno unutar faze normalnog rada. U tom dijelu životnog vijeka komponente učestalosti kvara i popravka komponenata su konstantni, odnosno vjerojatnosti kvara i popravka komponente predstavljene su eksponencijalnom razdiobom. To znači da je funkcija gustoće razdiobe vjerojatnosti kvara komponente

$$f(t)=\lambda e^{-\lambda t} \qquad (2)$$

a funkcija razdiobe vjerojatnosti kvara komponente

$$Q(t)=1-e^{-\lambda t} \qquad (3)$$

Ako je komponenta s eksponencijalnom razdiobom kvara ispravno radila do trenutka $t$, može se pokazati da vjerojatnost da će se komponenta pokvariti u idućem intervalu $\Delta t$ iznosi

$$Q(\Delta t)=1-e^{-\lambda\Delta t}=1-\left[1-\lambda\Delta t+\frac{(\lambda\Delta t)^2}{2!}-\frac{(\lambda\Delta t)^3}{3!}+\ldots\right] \qquad (4)$$

Slučajni događaj popravka komponente također je opisan eksponencijalnom razdiobom, pa se odgovarajuće funkcije popravka komponente dobivaju tako da se u jednadžbama 2, 3 i 4 učestalost kvara $\lambda$ zamijeni s učestalošću popravka $\mu$.

Prema tome, odabirom dovoljno malenog intervala $\Delta t$, viši članovi reda u jednadžbi 4 mogu se zanemariti, pa veličina $\lambda\Delta t$ predstavlja vjerojatnost kvara komponente unutar intervala $(t, t+\Delta t)$ uz uvjet da je do trenutka $t$ komponenta radila ispravno.

Ako sa $\lambda_{ij}$ označimo učestalost prijelaza iz stanja $i$ u stanje $j$, prijelazna vjerojatnost $p_{ij}$ može se pisati kao

$$P(X(t+\Delta t)=j/X(t)=i)=\lambda_{ij}\Delta t=p_{ij}(\Delta t) \qquad (5)$$

Vidi se da za sustave čije komponente imaju konstantne učestalosti kvara i popravka, uz odabir dovoljno malenog intervala $\Delta t$ dobivamo prijelaznu vjerojatnost koja ne ovisi o trenutku promatranja $t$ nego samo o duljini vremenskog intervala $\Delta t$.

Markovljevi procesi kod kojih prijelazne vjerojatnosti ne ovise trenutku promatranja $t$, nego samo o duljini vremenskog intervala $\Delta t$ između dvaju trenutaka, nazivaju se homogeni Markovljevi procesi. Ta se homogenost Markovljeva procesa postigla uz pretpostavku konstantnih učestalosti kvara i popravka komponenata i odabir dovoljno malenog intervala $\Delta t$. Stoga to treba imati na umu, s obzirom da će se u daljnjim razmatranjima za opis stohastičkih procesa u sustavima koristiti upravo homogeni Markovljevi procesi.

Postoji još jedna bitna pretpostavka koja će se upotrebljavati pri izvodu, odnosno raspisivanju jednadžbi Markovljeva procesa. Ona je već ranije spominjana, a i u skladu je s prethodnim pretpostavkama. Ta pretpostavka podrazumijeva da je vremenski interval $\Delta t$ uzet dovoljno malen, odnosno toliko malen da je za vrijeme njegova trajanja vjerojatnost događanja dvaju ili više prijelaza jednaka nuli.

Takva se pretpostavka može i matematički opravdati s obzirom da se za prijelaznu vjerojatnost događanja dvaju prijelaza unutar intervala $\Delta t$ dobiva umnožak $\lambda\Delta t\cdot\lambda\Delta t=\lambda^2(\Delta t)^2$. Taj umnožak predstavlja infinitezimalnu veličinu drugog reda koja se može zanemariti.

Ta pretpostavka ne znači da se ne može zbiti događaj koji za posljedicu ima isključenje dvaju ili više komponenata sustava. Drugim riječima, zanemarivanje događanja dvaju događaja unutar intervala $\Delta t$, nema nikakve veze s kvarom više komponenata uslijed jednog događaja, odnosno zajedničkog uzroka.

### 3.2. Izračunavanje vremenski ovisnih vjerojatnosti stanja sustava

Za sustav od jedne popravljive komponente dijagram prostora stanja prikazan je na slici 1. Neka za spomenuti sustav vrijede sljedeće oznake:

$P_0(t)$ – vjerojatnost da je u trenutku $t$ komponenta ispravna

$P_1(t)$ – vjerojatnost da je u trenutku $t$ komponenta pokvarena

$t$ – interval vremena dovoljno malen da se unutar njega ne mogu dogoditi dva ili više prijelaza.

Postoje dva moguća načina da se komponenta u trenutku $t+\Delta t$ zatekne u ispravnom stanju. Prvi način pretpostavlja da je u trenutku $t$ komponenta bila ispravna i da se tijekom intervala $\Delta t$ nije pokvarila. Drugi pak način pretpostavlja da je u trenutku $t$ komponenta bila pokvarena i da je završetak njenog popravka nastao unutar intervala $\Delta t$. Dva spomenuta načina zatjecanja sustava u ispravnom stanju u trenutku $t+\Delta t$ predstavljaju dva međusobno isključiva događaja.

Zbog toga se vjerojatnost zatjecanja sustava u ispravnom stanju u trenutku $t+\Delta t$ dobiva zbrajanjem vjerojatnosti događanja dvaju spomenutih načina, odnosno

[Vjerojatnost boravka komponente u ispravnom stanju u trenutku $t+\Delta t$] =

[Vjerojatnost da je komponenta bila ispravna u trenutku $t$ i nije se pokvarila unutar intervala $\Delta t$] + [Vjerojatnost da je komponenta bila pokvarena u trenutku $t$ i da je završetak popravka nastao unutar intervala $\Delta t$]

S obzirom na prikazani dijagram prostora stanja sustava na slici 1 i uvođenjem pojmova opisanih u prethodnom odjeljku, gore navedena jednadžba može se prikazati u sljedećem matematičkom obliku

$$P_0(t+\Delta t) = P_0(t)(1-\lambda\Delta t)+P_1(t)(\mu\Delta t) \qquad (6a)$$

Na istom principu može se napisati jednadžba za vjerojatnost boravka komponente u pokvarenom stanju u trenutku $t+\Delta t$

$$P_1(t+\Delta t) = P_1(t)(1-\mu\Delta t)+P_0(t)(\lambda\Delta t) \qquad (6b)$$

Ako jednadžbe 6 razmatranog sustava od jedne popravljive komponente prikažemo u matričnoj formi dobiva se

$$\left[P_0(t+\Delta t)\;\; P_1(t+\Delta t)\right] = \left[P_0(t)\;\; P_1(t)\right]\begin{bmatrix} 1-\lambda\Delta t & \lambda\Delta t \\ \mu\Delta t & 1-\mu\Delta t \end{bmatrix} \qquad (7)$$

Korištenjem simbola matrični se izraz može zapisati još kraće, odnosno

$$\boldsymbol{P}(t+\Delta t)=\boldsymbol{P}(t)\times\boldsymbol{P}_{ij}(\Delta t) \qquad (8)$$

Pri tome $\boldsymbol{P}(t+\Delta t)$ označava vektor vremenski ovisnih vjerojatnosti stanja u trenutku $t+\Delta t$, a $\boldsymbol{P}(t)$ označava vektor vremenski ovisnih vjerojatnosti stanja u trenutku $t$. Elementi matrice $\boldsymbol{P}_{ij}(\Delta t)$ predstavljaju vjerojatnosti prijelaza sustava iz stanja $i$ u stanje $j$ unutar intervala $t$. Zbog toga se matrica $\boldsymbol{P}_{ij}(\Delta t)$ naziva stohastička matrica prijelaznih vjerojatnosti. Dijagonalni elementi matrice također se nazivaju prijelaznim vjerojatnostima iako predstavljaju vjerojatnost ostanka sustava u stanju $i$ unutar intervala $t$. Za stohastičku matricu prijelaznih vjerojatnosti je karakteristično da joj je suma svih elemenata bilo kojeg retka jednaka jedan. Drugim riječima, suma svih vjerojatnosti prijelaza iz nekog stanja sustava, uključujući i vjerojatnost ostanka sustava u tom stanju, jednaka je jedan zbog toga što sustav unutar intervala $t$ mora ili napustiti promatrano stanje ili ostati u njemu.

Ako se sa $\lambda_{ij}$ označi učestalost prijelaza iz stanja $i$ u stanje $j$, tada se za stohastičku matricu prijelaznih vjerojatnosti sustava od $n$ stanja općenito može pisati da je

$$\boldsymbol{P}_{ij}(\Delta t) = \begin{bmatrix} 1-\sum_{j=2}^{n}\lambda_{1j}\Delta t & \cdots & \lambda_{1i}\Delta t & \cdots & \lambda_{1n}\Delta t \\ \vdots & \ddots & \vdots & \iddots & \vdots \\ \lambda_{i1}\Delta t & \cdots & 1-\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{n}\lambda_{ij}\Delta t & \cdots & \lambda_{in}\Delta t \\ \vdots & \iddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_{n1}\Delta t & \cdots & \lambda_{ni}\Delta t & \cdots & 1-\sum_{j=1}^{n-1}\lambda_{nj}\Delta t \end{bmatrix} \qquad (9)$$

Dijeljenjem jednadžbe 6a sa $\Delta t$ i sređivanjem izraza dobiva se

$$\frac{P_0(t+\Delta t)-P_0(t)}{\Delta t} = -\lambda P_0(t)+\mu P_1(t) \qquad (10)$$

Neka se uzme da je interval $\Delta t$ infinitezimalno mali, odnosno neka se pusti da interval $\Delta t\to 0$. Tada granična vrijednost, odnosno limes lijeve strane jednadžbe postaje prva derivacija vjerojatnosti stanja 0 u trenutku $t$.

$$\lim_{\Delta t\to 0}\frac{P_0(t+\Delta t)-P_0(t)}{\Delta t} = \frac{dP_0(t)}{dt} = P_0'(t) \qquad (11)$$

Uzevši to u obzir sada se može jednadžba 6a napisati u sljedećem obliku

$$P_0'(t) = -\lambda P_0(t)+\mu P_1(t) \qquad (12a)$$

Po istom principu za jednadžbu 6b dobiva se sljedeći izraz

$$P_1'(t) = -\lambda P_0(t)+\mu P_1(t) \qquad (12b)$$

Osim stohastičke matrice prijelaznih vjerojatnosti, javlja se još jedna matrica bitna za Markovljeve procese. Ta se matrica dobiva ispisivanjem diferencijalnih jednadžbi Markovljeva procesa u matričnom obliku.

Ako diferencijalne jednadžbe 12 razmatranog sustava od jedne popravljive komponente prikažemo u matričnoj formi dobiva se

$$\left[P_0'(t)\quad P_1'(t)\right]\left[P_0'(t)\quad P_1(t)\right]\begin{bmatrix} -\lambda & \lambda \\ \mu & -\mu \end{bmatrix} \qquad (13)$$

Korištenjem simbola matrični se izraz može zapisati još kraće, odnosno

$$\boldsymbol{P}'(t)=\boldsymbol{P}(t)\times\Lambda_{ij} \qquad (14)$$

Pri tome $\boldsymbol{P}'(t)$ označava vektor prve derivacije vremenski ovisnih vjerojatnosti stanja u trenutku $t$, a $\boldsymbol{P}(t)$ označava vektor vremenski ovisnih vjerojatnosti stanja

u trenutku $t$. Izvandijagonalni elementi matrice $\Lambda_{ij}$ predstavljaju učestalosti prijelaza sustava iz stanja $i$ u stanje $j$. Zbog toga se matrica $\Lambda_{ij}$ naziva matrica učestalosti prijelaza. Dijagonalni element matrice $\Lambda_{ij}$ u nekom retku predstavlja negativnu sumu svih učestalosti prijelaza u tom retku.

Za matricu učestalosti prijelaza je karakteristično da joj je suma svih elemenata bilo kojeg retka jednaka nuli.

Ako se sa $\Lambda_{ij}$ označi učestalost prijelaza iz stanja $i$ u stanje $j$, tada se za matricu učestalosti prijelaza sustava od $n$ stanja općenito može pisati da je

$$\ddot{E}_{ij} = \begin{bmatrix} -\sum_{j=2}^{n}\lambda_{1j} & \cdots & \lambda_{1i} & \cdots & \lambda_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \iddots & \vdots \\ \lambda_{i1} & \cdots & -\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n}\lambda_{ij} & \cdots & \lambda_{in} \\ \vdots & \iddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_{n1} & \cdots & \lambda_{ni} & \cdots & -\sum_{j=1}^{n-1}\lambda_{nj} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Jednadžbe 12 su linearne diferencijalne jednadžbe s konstantnim koeficijentima. Postoje brojni načini pomoću kojih se takve jednadžbe mogu riješiti, ali jedna od najlakših i najčešće korištenih metoda je Laplaceova transformacija.

U svakom slučaju za vremenski ovisne vjerojatnosti stanja sustava dobivaju se sljedeći izrazi

$$P_0(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu}\left[P_0(0)+P_1(0)\right] + \frac{e^{-(\lambda+\mu)t}}{\lambda+\mu}\left[\lambda P_0(0) - \mu P_1(0)\right] \quad (16a)$$

$$P_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda+\mu}\left[P_0(0)+P_1(0)\right] + \frac{e^{-(\lambda+\mu)t}}{\lambda+\mu}\left[\mu P_1(0) - \lambda P_0(0)\right] \quad (16b)$$

Pri tom $P_0(0)$ i $P_1(0)$ označavaju početne vjerojatnosti stanja, odnosno vjerojatnosti stanja u trenutku $t=0$.

### 3.3. Izračunavanje stacionarnih vjerojatnosti stanja sustava

U prethodnom odjeljku izračunate su vremenski ovisne vjerojatnosti stanja sustava. Može se primijetiti da su vremenski ovisne vjerojatnosti stanja sačinjene od konstantnog (vremenski neovisnog) člana i vremenski ovisnog člana. Vremenski ovisni član je eksponencijalna funkcija vremena i njegova vrijednost opada s porastom vremena. Drugim riječima, vremenski ovisni član iščezava kada vrijeme $t$ teži u beskonačnost. Zbog toga vjerojatnost stanja s porastom vremena $t$ teži konstantnoj vrijednosti. Granična vrijednost, odnosno limes vjerojatnosti stanja kada vrijeme teži u beskonačnost, naziva se stacionarna vjerojatnost stanja. Ili drugačije rečeno, stacionarna vjerojatnost stanja je vjerojatnost stanja u trenutku $t=\infty$. Općenito vrijedi da vrijednosti stacionarnih vjerojatnosti stanja sustava ne ovise o početnim uvjetima procesa, odnosno o vjerojatnostima stanja sustava u početnom trenutku.

Velika većina procesa, kao što su procesi u elektroenergetskim sustavima, odvijaju se „dovoljno dugo" tako da vremenski ovisna vjerojatnost stanja za „relativno kratko vrijeme" doseže takvu vrijednost da razlika između nje i vrijednosti stacionarne vjerojatnosti stanja postaje praktično zanemariva. Prema tome, ako se izuzme kratak početni period trajanja prijelaznih pojava, tada se može u gotovo cijelom vremenskom području promatranja sustava vremenski ovisna vjerojatnost stanja gotovo potpuno točno aproksimirati vrijednošću stacionarne vjerojatnosti stanja. Općenito je duljina trajanja početnog perioda prijelaznih pojava kraća za veće vrijednosti intenziteta prijelaza.

Za ergodične sustave s konačnim učestalostima prijelaza stacionarne vjerojatnosti svih stanja su različite od nule.

Sustav je ergodičan ukoliko postoje takvi prijelazi između pojedinih stanja sustava koji omogućavaju da sustav iz svakog svog stanja može doći u svako od preostalih stanja sustava, bilo direktnim prijelazom, bilo indirektno, odnosno prijelazima preko drugih stanja. Ergodičnost sustava se može definirati i kao karakteristika sustava da unutar njegova dijagrama prostora stanja ne postoji stanje ili skup stanja koji se ne mogu napustiti nakon što sustav u njih dospije. Takvo stanje sustava, koje se ne može napustiti naziva se apsorpcijsko stanje. Može se reći i obratno, da nakon ulaska u apsorpcijsko stanje sustav u njemu ostaje boraviti cijelo vrijeme.

Postoji više metoda izračunavanja stacionarnih vjerojatnosti stanja. Jedna je od njih ta da se prvo izračunaju vremenski ovisne vjerojatnosti stanja, a zatim se traži granična vrijednost, odnosno limes tih vjerojatnosti kada vrijeme $t$ teži u beskonačnost.

Druga, još jednostavnija metoda izračunavanja stacionarnih vjerojatnosti stanja zasniva se na uporabi matrice učestalosti prijelaza, odnosno jednadžbe 14. Za izračunavanje stacionarnih vjerojatnosti stanja sustava na ovaj način nije potrebno prethodno izračunavanje vremenski ovisnih vjerojatnosti stanja. Ako se pusti da vrijeme $t$ teži u beskonačnost tada vremenski ovisne vjerojatnosti stanja asimptotski teže konstantnim vrijednostima, odnosno stacionarnim vjerojatnostima stanja. Zbog toga prve derivacije vremenski ovisnih vjerojatnosti stanja teže nuli. Primjenom tog zaključka na jednadžbu 14 dobiva se sljedeći izraz

$$\mathbf{0} = \boldsymbol{P} \times \Lambda_{ij} \quad (17)$$

Stacionarne vjerojatnosti stanja sustava mogu se dobiti i sljedećim razmatranjem. S obzirom da stacionarne vjerojatnosti stanja sustava imaju konstantne vrijednosti, one ne ovise o promjeni vremena $t$. To znači da vektor stacionarnih vjerojatnosti stanja ostaje nepromijenjen kada se množi sa stohastičkom matricom prijelaznih vjerojatnosti. Ako se s $\boldsymbol{P}$ označi vektor sta-

cionarnih vjerojatnosti stanja sustava, tada se jednadžba 8 može napisati kao

$$\boldsymbol{P} = \boldsymbol{P} \times \boldsymbol{P}_{ij}(\Delta t) \tag{18}$$

Raspisivanjem jednadžbi 18 u eksplicitnom obliku, i njihovim sređivanjem dobivaju se jednadžbe 17, pa se prema tome spomenuto razmatranje opet svodi na prethodnu metodu.

Prema tome, korištenjem matrice učestalosti prijelaza direktno se dobiva sustav jednadžbi za izračunavanje stacionarnih vjerojatnosti stanja. Sustav jednadžbi 17 predstavlja sustav od $n$ linearnih jednadžbi s $n$ nepoznanica. Međutim, svih $n$ jednadžbi nije međusobno linearno nevisno, nego je samo $n$-$1$ jednadžba linearno nevisna. Drugim riječima, nedostaje jedna jednadžba da bi se izračunale stacionarne vjerojatnosti stanja.

S obzirom da se sustav u svakom trenutku mora nalaziti u jednom od svojih stanja slijedi da u svakom trenutku, pa i u trenutku $t=\infty$, zbroj vjerojatnosti svih stanja sustava mora biti jednak jedan. To znači da za sustav od $n$ stanja, za bilo koji odabrani trenutak $t$, vrijedi da je

$$\sum_{i=1}^{n} P_i(t) = 1 \tag{19}$$

Ako se za trenutak promatranja uzme $t=\infty$, vjerojatnosti stanja su stacionarne, pa slijedi da zbroj stacionarnih vjerojatnosti svih stanja mora biti jednak jedinici. Prema tome, općenito se za sustav od $n$ stanja može pisati da je

$$\sum_{i=1}^{n} P_i = 1 \tag{20}$$

Ta je jednadžba linearno neovisna sa svim ostalim jednadžbama. Zbog toga treba bilo koju jednadžbu sustava 17 zamijeniti s jednadžbom koja izražava da je zbroj stacionarnih vjerojatnosti svih stanja jednak jedan. Drugim riječima, bilo koji stupac matrice prijelaznih intenziteta treba zamijeniti s jediničnim stupcem, odnosno stupcem u kojemu svi elementi imaju vrijednost jedan, a nulu njemu odgovarajućeg stupca u vektoru s lijeve strane treba također zamijeniti s jedinicom. Ubacivanjem spomenute jednadžbe umjesto bilo koje od $n$ linearnih jednadžbi iz sustava 17, dobiva se sustav od $n$ linearno neovisnih jednadžbi s $n$ nepoznanica, čije se rješavanje može provesti jednom od mnogobrojnih matematičkih metoda.

Bez obzira na metodu rješavanja, za stacionarne vjerojatnosti stanja sustava od jedne popravljive komponente dobiva se

$$P_0 = P_0(\infty) = \lim_{t\to\infty} P_0(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} \tag{21a}$$

$$P_1 = P_1(\infty) = \lim_{t\to\infty} P_1(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} \tag{21b}$$

Spomenuto je da će se pri opisu Markovljeva procesa razmatrati sustavi čije komponente imaju konstantne učestalosti prijelaza. Drugim riječima, za sve komponente sustava vrijede eksponencijalne razdiobe kvara i popravka. Može se pokazati da je za komponentu s eksponencijalnom razdiobom kvara očekivano, odnosno srednje vrijeme do kvara komponente inverzna vrijednost učestalosti kvara.

$$E(T) = \int_t tf(t)dt = \int_0^{\infty} t\lambda e^{-\lambda t}\, dt = 1/\lambda \tag{22}$$

Isto tako vrijedi da komponenta s eksponencijalnom razdiobom popravka ima očekivano, odnosno srednje vrijeme do popravka jednako inverznoj vrijednosti učestalosti popravka. Ako s $MTTF$ i $m$ označimo srednje vrijeme do kvara, a sa $MTTR$ i $r$ srednje vrijeme do popravka komponente, za komponente sustava slijedi da je

$$MTTF = m = 1/\lambda \tag{23a}$$

$$MTTR = r = 1/\mu \tag{23b}$$

Supstitucijom jednadžbi 23 u jednadžbe 21 za stacionarne vjerojatnosti stanja sustava od jedne popravljive komponente dobiva se da je

$$P_0 = \frac{m}{m+r} \tag{24a}$$

$$P_1 = \frac{r}{m+r} \tag{24b}$$

Vidi se, a to vrijedi i općenito da stacionarna vjerojatnost stanja predstavlja omjer srednjeg vremena boravka u dotičnom stanju i zbroja srednjeg vremena boravka u dotičnom stanju i srednjeg vremena boravka izvan njega.

U slučaju sustava od jedne popravljive komponente, srednje vrijeme do kvara komponente predstavlja i srednje vrijeme boravka sustava u ispravnom stanju, a srednje vrijeme do popravka komponente ujedno je i srednje vrijeme boravka sustava u stanju kvara. Zbog toga su stacionarne vjerojatnosti stanja sustava od jedne popravljive komponente izražene pomoću srednjih vremena do kvara i popravka komponente. Međutim, općenito ne vrijedi da je srednje vrijeme boravka sustava u nekom od svojih stanja jednako srednjem vremenu do kvara ili do popravka komponente. Računanje srednjih vremena boravka u stanjima sustava detaljnije će biti opisano u kasnijim odjeljcima.

Općenito se može reći da je pouzdanost komponente (ili sustava) matematička vjerojatnost da će komponenta (ili sustav) zadovoljavajuće, odnosno ispravno raditi tijekom predviđenog vremenskog razdoblja uz definirane radne uvijete. Jednostavnije rečeno, pouzdanost komponente (ili sustava) je vjerojatnost ispravnog rada komponente (ili sustava) tijekom vremena $t$ uz uvjet da je komponenta (ili sustav) u trenutku $t=0$ započela rad u ispravnom stanju.

Za razliku od pouzdanosti, raspoloživost komponente (ili sustava) predstavlja vjerojatnost ispravnog rada komponente (ili sustava) u trenutku $t$, odnosno to je vremenski ovisna vjerojatnost stanja ispravnog rada komponente (ili sustava). Općenito se može kazati da

raspoloživost predstavlja matematičku vjerojatnost da će komponenata (ili sustav) zadovoljavajuće, odnosno ispravno raditi u trenutku promatranja $t$.

Granična vrijednost raspoloživosti kada vrijeme $t$ teži u beskonačnost naziva se stacionarna ili granična raspoloživost.

Dakle, očita je razlika između pojmova pouzdanosti i raspoloživosti. Raspoloživost predstavlja vjerojatnost ispravnog rada u promatranom trenutku $t$, dok pouzdanost predstavlja vjerojatnost ispravnog rada tijekom vremenskog intervala $t$.

Slična se pojmovna veza može povući između nepouzdanosti i neraspoloživosti.

### 3.4. Numerička metoda izračunavanja vremenski ovisnih vjerojatnosti stanja

Ova metoda služi za izračunavanje vremenski ovisnih vjerojatnosti stanja, a temelji se na primjeni jednadžbe 8. Princip izrade stohastičke matrice prijelaznih vjerojatnosti prikazan je izrazom 9.

Pri tom se za veličinu intervala vremena $\Delta t$ treba izabrati takva vrijednost da je vjerojatnost događanja dvaju ili više prijelaza između stanja sustava tijekom vremenskog intervala $\Delta t$ zanemariva. Naravno da izbor vrijednosti $\Delta t$ zahtijeva temeljito poznavanje sustava koji se analizira, odnosno poznavanje učestalosti prijelaza u njemu. Zbog toga je i logično da nema nekih općih pravila pri izboru vrijednosti $\Delta t$, a koja su primjenjiva na sve sustave.

Nakon što se u stohastičku matricu prijelaznih vjerojatnosti uvrste numeričke vrijednosti intervala vremena $\Delta t$ i učestalosti prijelaza, vremenski ovisne vjerojatnosti stanja u trenutku $t$ dobiju se množenjem vektora vjerojatnosti stanja u trenutku $t=0$ sa stohastičkom matricom prijelaznih vjerojatnosti dignutom na $n$-tu potenciju, gdje $n$ predstavlja višekratnik intervala vremena $\Delta t$ u promatranom vremenu $t$, odnosno $n=\Delta t/t$. Dakle, vremenski ovisne vjerojatnosti stanja sustava u trenutku $t$ dobivaju se upotrebom jednadžbe

$$\boldsymbol{P}(t+\Delta t)=\boldsymbol{P}(t)\times\boldsymbol{P}_{ij}(\Delta t)=\boldsymbol{P}(0)\times\boldsymbol{P}_{ij}^{n+1}(\Delta t) \qquad (25)$$

gdje je $n=\Delta t/t$.

S obzirom da za proračun vremenski ovisnih vjerojatnosti matricu prijelaznih vjerojatnosti treba samu sa sobom pomnožiti $n$ puta, slijedi da broj matematičkih operacija postaje to veći što je izabrana vrijednost intervala $\Delta t$ manja u odnosu na period $t$ u kojem se promatra sustav. Međutim, za manju vrijednost intervala $\Delta t$ točnost dobivenih rezultata je veća.

Ako se za određeni razmatrani sustav pojavi nesigurnost pri izboru vrijednosti $\Delta t$, preporuča se napraviti prvu procjenu $\Delta t$ i izračunati vremenski ovisne vjerojatnosti stanja za tu odabranu vrijednost $\Delta t$. Zatim se uzima manja vrijednost $\Delta t$ i vrši se novi proračun vremenski ovisnih vjerojatnosti stanja sustava. Nakon toga obavlja se usporedba vremenski ovisnih vjerojatnosti stanja dobivenih prvom i drugom procjenom. Ukoliko su odstupanja između dobivenih rezultata unutar zadovoljavajuće tolerancije, vrijednost intervala $t$ je pravilno izabrana i proces se prekida, a rezultati dobiveni drugom procjenom, odnosno onom sa smanjenom vrijednošću intervala $\Delta t$ uzimaju se kao konačni rezultati.

Ako su odstupanja između prve i druge procjene vrijednosti intervala $\Delta t$ veća od zadovoljavajuće tolerancije obavlja se treća procjena intervala $\Delta t$ i to na taj način da se za vrijednost $\Delta t$ izabere još manja vrijednost od prethodne druge procjene. Zatim se uspoređuju rezultati dobiveni drugom i trećom procjenom intervala $\Delta t$. Postupak je iterativan i nastavlja se smanjivanjem vrijednosti $\Delta t$ sve dok odstupanja rezultata dobivenih za dvije susjedne procjene intervala ne budu unutar zadovoljavajuće tolerancije. S obzirom da su rezultati točniji što je izabrani interval $\Delta t$ manji, uvijek se nakon završetka iteracije kao konačni rezultati uzimaju oni dobiveni s najmanjom vrijednošću intervala $\Delta t$.

Svaka iduća procjena intervala $\Delta t$ mora biti značajno smanjena u odnosu na prethodnu kako bi se osjetila eventualna odstupanja vremenski ovisnih vjerojatnosti zbog prevelike vrijednosti $\Delta t$. Naravno da je za očekivati ako se vrijednost $\Delta t$ beznačajno smanji da će i odstupanja između rezultata biti malena. Isto tako bitno je napomenuti da izbor veličine odstupanja, odnosno zadovoljavajuće tolerancije, nakon koje se prekida iterativni postupak ovisi o željenoj preciznosti koja se namjerava postići.

S obzirom da velik broj matematičkih operacija za današnja računala ne predstavlja osobit problem, ova je metoda postala izrazito brza i mnogo jednostavnija nego metoda rješavanja diferencijalnih jednadžbi Laplaceovom transformacijom, posebice za složenije sustave. Prema tome, korištenjem ove metode i digitalnog računala, uz razuman izbor vrijednosti intervala $\Delta t$, dobivaju se rezultati sa savršeno prihvatljivom preciznošću za sve praktične primjene.

### 3.5. Proračun pouzdanosti sustava s popravljivim komponentama

Kao što je već rečeno, pouzdanost sustava predstavlja vjerojatnost boravka sustava u stanjima ispravnog rada sustava tijekom cijelog vremenskog intervala $t$. Drugim riječima, pouzdanost sustava je vjerojatnost da sustav neće ući u niti jedno stanje kvara sustava tijekom vremenskog intervala $t$. Za razliku od pouzdanosti sustava, zbroj vremenski ovisnih vjerojatnosti stanja ispravnog rada sustava predstavlja vjerojatnost ispravnog rada sustava u trenutku $t$. Zbog toga se vremenski ovisne vjerojatnosti stanja sustava ne mogu iskoristiti za proračun pouzdanosti sustava.

Da bi se izračunala pouzdanost sustava postojeći sustav je potrebno modificirati na taj način da se stohas-

tički proces u sustavu prekine, odnosno zaustavi u trenutku ulaska sustava u bilo koje njegovo stanje kvara. To se postiže tako da se iz sustava odstrane svi prijelazi koji vode iz stanja kvara sustava, odnosno da se učestalosti tih prijelaza izjednače s nulom. Na taj je način postignuto da su stanja kvara sustava postala apsorpcijska stanja sustava. Prema tome, nakon što sustav uđe u bilo koje stanje kvara sustava, ne može više izaći iz njega i stohastički proces u sustavu se zaustavlja. Zbroj vremenski ovisnih vjerojatnosti stanja ispravnog rada tako modificiranog sustava predstavlja pouzdanost sustava.

Vremenski ovisne vjerojatnosti stanja tako modificiranog sustava računaju se korištenjem jednadžbe 14, s tim da se matrica učestalosti prijelaza mora modificirati u skladu s gore navedenim. To znači da se u matrici učestalosti prijelaza redak svakog stanja kvara sustava mora zamijeniti nul-retkom, odnosno retkom čiji su svi elementi nule.

Vrlo je teško izvesti opće jednadžbe pouzdanosti za složenije sustave koji sadrže popravljive komponente. Tada se pouzdanosti mogu dobiti rješavanjem diferencijalnih jednadžbi s numeričkim vrijednostima ili korištenjem metode množenja matrice prijelaznih vjerojatnosti kako je opisano u prethodnom odjeljku.

Prilikom korištenja metode množenja matrice prijelaznih vjerojatnosti zbog gore navedenih razloga matricu prijelaznih vjerojatnosti treba modificirati odbacivanjem učestalosti prijelaza iz stanja kvara sustava čime se postiže da stanja kvara sustava postaju apsorpcijska stanja sustava. Drugim riječima, u matrici prijelaznih vjerojatnosti redak svakog stanja kvara sustava mora se zamijeniti odgovarajućim retkom jedinične matrice, čiji je dijagonalni element iznosi jedan, a svi ostali elementi jednaki su nuli. Nakon toga, uz odabir odgovarajućeg vremenskog intervala $\Delta t$, vremenski ovisne vjerojatnosti ispravnih stanja sustava računaju se po principu prikazanom u prethodnom odjeljku. Zbroj tako dobivenih vremenski ovisnih vjerojatnosti stanja predstavlja pouzdanost sustava.

Metode opisane u ovom odjeljku ne moraju se ograničiti samo na proračun pouzdanosti sustava. Umjesto stanja ispravnog rada sustava može se izabrati bilo koji skup stanja sustava. Tada se primjenom opisane metode dobiva vjerojatnost boravka sustava unutar izabranog skupa stanja tijekom cijelog vremena $t$. Jednostavnije rečeno, dobiva se vjerojatnost da sustav nije napustio izabrani skup stanja tijekom vremena $t$.

## 4. SREDNJA VREMENA BORAVKA I UČESTALOSTI NASTUPANJA STANJA SUSTAVA

### 4.1. Uvod

Poznavanje vjerojatnosti stanja sustava nije dovoljno da bi se u potpunosti shvatilo, odnosno prikazalo ponašanje sustava. Za sustav od jedne popravljive komponente koji ima učestalost kvara $2\lambda$ i učestalost popravka $2\mu$, dobivamo jednake stacionarne vjerojatnosti stanja kao i kod sustava sa slike 1. Međutim, sustav s dva puta većim učestalostima prijelaza se dva puta češće (brže) kvari, ali i dva puta češće (brže) popravlja, što ima golem utjecaj na poimanje načina rada i ekonomičnost sustava.

Prema tome, za potpuno razumijevanje ponašanja sustava potrebno je proračunati dodatne pokazatelje pouzdanosti sustava. Dodatni su pokazatelji pouzdanosti sustava učestalosti nastupanja pojedinih stanja sustava i srednja vremena boravka u stanjima sustava.

### 4.2. Srednja vremena boravka u stanjima sustava

Srednje vrijeme do kvara sustava (*MTTF*) predstavlja srednje, odnosno očekivano vrijeme boravka sustava u stanjima ispravnog rada prije nego što prijeđe u neko od stanja kvara sustava. S obzirom da je pouzdanost vjerojatnost da će sustav tijekom cijelog intervala vremena $t$ boraviti u stanjima ispravnog rada, srednje vrijeme do kvara sustava (*MTTF*) je dakle očekivana vrijednost upravo tog vremenskog intervala $t$.

Prema tome, jedan od načina izračunavanja srednjeg vremena do kvara je računanje očekivane vrijednosti funkcije pouzdanosti sustava. Ako se s $R(t)$ označi funkcija pouzdanosti sustava tada se srednje vrijeme do kvara sustava može dobiti integriranjem, odnosno

$$MTTF = \int_0^\infty R(t)dt \qquad (26)$$

Za upotrebu jednadžbe 26 potrebno je poznavati opći izraz za pouzdanost sustava $R(t)$. Opći izraz za pouzdanost sustava dobiva se rješavanjem diferencijalnih jednadžbi kako je opisano u prethodnom poglavlju. Međutim, dobivanje općih izraza vremenski ovisnih vjerojatnosti stanja putem rješavanja diferencijalnih jednadžbi vrlo je teško za složenije sustave.

Zbog toga se za izračunavanje srednjeg vremena do kvara češće upotrebljava druga metoda koja se temelji na modificiranju matrice učestalosti prijelaza. Matricu učestalosti prijelaza treba modificirati na taj način da se iz nje odstrane svi redci i stupci koji pripadaju stanjima kvara sustava. Ako se s $\Lambda'_{ij}$ označi tako modificirana matrica učestalosti prijelaza tada se temeljna matrica $\boldsymbol{M}$ dobiva kao

$$\boldsymbol{M} = \left[-1 \cdot \Lambda'_{ij}\right]^{-1} \qquad (27)$$

Element $m_{ij}$ matrice $\boldsymbol{M}$ predstavlja srednje vrijeme provedeno u stanju $j$, uz uvjet da je proces započeo u stanju $i$, prije nego što je dospio u stanje kvara. Ako je sustav u trenutku $t=0$ započeo s radom u stanju $i$, srednje vrijeme boravka sustava u ispravnim stanjima, odnosno srednje vrijeme do kvara sustava dobiva se zbrojem svih elemenata $i$-tog retka.

Međutim, opisana metoda ne mora se ograničiti samo na proračun srednjeg vremena do kvara sustava.

Umjesto stanja ispravnog rada sustava može se izabrati bilo koji skup stanja sustava. Tada se primjenom opisane metode dobiva srednje, odnosno očekivano vrijeme boravka sustava unutar izabranog skupa stanja. Jednostavnije rečeno, dobiva se srednje vrijeme unutar kojeg sustav neće napustiti izabrani skup stanja.

Po istom principu, srednje vrijeme boravka u nekom stanju sustava dobiva se tako da sva ostala stanja sustava smatramo apsorpcijskim stanjima. Ako se traži srednje vrijeme boravka u $i$-tom stanju sustava tada nakon reduciranja matrice $\Lambda_{ij}$ u njoj ostaje samo dijagonalni element $i$-tog retka. Zbog toga slijedi da je srednje vrijeme boravka sustava u $i$-tom stanju sustava

$$m_i = m_{ii} = \frac{1}{\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} \lambda_{ij}} \tag{28}$$

Drugim riječima, srednje vrijeme boravka sustava u nekom stanju jednako je inverznoj vrijednosti zbroja svih učestalosti prijelaza napuštanja toga stanja.

### 4.3. Učestalost nastupanja stanja sustava

Zbroj srednjeg vremena boravka unutar nekog skupa stanja i srednjeg vremena boravka izvan tog skupa stanja predstavlja period, odnosno ciklus tog skupa stanja. Prema tome, period pojavljivanja nekog skupa stanja predstavlja srednje vrijeme između dva uzastopna ulaska u razmatrani skup stanja, odnosno srednje vrijeme između dva uzastopna napuštanja razmatranog skupa stanja.

Iz jednadžbi 24 za sustav od jedne popravljive komponente vidljivo je da stacionarne vjerojatnosti stanja predstavljaju omjer srednjeg vremena boravka u tom stanju i perioda tog stanja. Općenito vrijedi da je stacionarna vjerojatnost boravka sustava u nekom skupu stanja jednaka omjeru srednjeg vremena boravka sustava u tom skupu stanja i perioda tog skupa stanja. Ako se s $P(S)$ označi stacionarna vjerojatnost skupa stanja $S$, s $m(S)$ srednje vrijeme boravka sustava u skupu stanja $S$ i s $T(S)$ period skupa stanja $S$, može se pisati da je

$$P(S) = \frac{m(S)}{T(S)} \tag{29}$$

Vidljivo je da se sva razmatranja u ovom odjeljku vežu uz stacionarne vjerojatnosti stanja, odnosno uz stacionarno područje Markovljeva procesa. U slučaju neergodičnih sustava, odnosno sustava s apsorpcijskim stanjima, znamo da su stacionarne vjerojatnosti neapsorpcijskih stanja jednake nuli, pa navedena razmatranja nemaju značajnije primjene. Zbog toga će se i u daljnjem tekstu podrazumijevati da se radi o ergodičnim sustavima u stacionarnom području Markovljeva procesa.

S obzirom da period skupa stanja predstavlja srednje vrijeme između dva uzastopna ulaska u taj skup stanja, odnosno srednje vrijeme između dva uzastopna napuštanja tog skupa stanja, može se definirati učestalost (frekvencija) nastupanja tog skupa stanja kao recipročna vrijednost spomenutog perioda. Ako se s $T(S)$ označi period skupa stanja $S$, a s $f(S)$ učestalost nastupanja skupa stanja $S$, tada vrijedi da je

$$T(S) = 1/f(S) \tag{30}$$

Treba napomenuti da samo kod ergodičnih sustava u stacionarnom području Markovljeva procesa vrijedi da je učestalost ulaska u bilo koji skup stanja sustava jednaka učestalosti izlaska iz tog skupa stanja. Zbog toga se u daljnjem tekstu neće praviti razlika među tim učestalostima nego će ih se zajedničkim imenom nazivati – učestalost nastupanja skupa stanja sustava.

Supstitucijom jednadžbe 30 u jednadžbu 29 dobiva se jednadžba koja povezuje stacionarnu vjerojatnost, srednje vrijeme boravka, period i učestalost nastupanja, odnosno

$$P(S) = \frac{m(S)}{T(S)} = m(S) \cdot f(S) \tag{31}$$

Međutim, učestalost nastupanja pojedinog stanja sustava može se izračunati i na drugi način, kao umnožak stacionarne vjerojatnosti stanja sustava i zbroja svih učestalosti prijelaza napuštanja tog stanja. Prema tome, za učestalost nastupanja $i$-tog stanja sustava može se pisati da je

$$f_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} P_i \lambda_{ij} = P_i \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} \lambda_{ij} \tag{32}$$

Jednadžba 32 predstavlja učestalost napuštanja $i$-tog stanja sustava. Ako se jednadžbe 17 za izračunavanje stacionarnih vjerojatnosti stanja raspišu u eksplicitnom obliku pokazuje se da vrijedi

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} P_j \lambda_{ji} = P_i \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} \lambda_{ij} = f_i \tag{33}$$

Drugim riječima, u stacionarnom području Markovljeva procesa ergodičnih sustava vrijedi da je učestalost napuštanja $i$-tog stanja sustava jednaka zbroju učestalosti ulaska iz svih ostalih stanja sustava u $i$-to stanje.

Općenito, ako sa $S$ označimo skup stanja sustava, tada se za učestalost nastupanja promatranog skupa stanja sustava može pisati da je

$$f(S) = \sum_{i\in S}\left(P_i \cdot \sum_{j\notin S} \lambda_{ij}\right) = \sum_{j\notin S}\left(P_j \cdot \sum_{i\in S} \lambda_{ji}\right) \tag{34}$$

Supstitucijom jednadžbe 32 u jednadžbu 31 dobiva se srednje vrijeme boravka u $i$-tom stanju sustava, odnosno

$$m_i = \frac{P}{f_i} = \frac{1}{\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} \lambda_{ij}} \tag{35}$$

Dobiveni je izraz jednak jednadžbi 28 do koje se došlo primjenom modificirane matrice učestalosti prijelaza

kako je opisano u odjeljku 4.2. Uvrštavanjem jednadžbe 34 u jednadžbu 31 dobiva se srednje vrijeme boravka sustava unutar skupa stanja $S$, odnosno

$$m(S) = \frac{P(S)}{f(S)} = \frac{1}{\sum_{\substack{i=S \\ j \neq S}} \lambda_{ij}} \qquad (36)$$

Prema tome, srednje vrijeme boravka sustava u skupu stanja $S$, jednako je recipročnoj vrijednosti zbroja učestalosti prijelaza napuštanja skupa stanja.

## 5. ZAKLJUČAK

Markovljeve metode proračunavanja imaju značajnu ulogu u proračunu pouzdanosti sustava. U slučaju kontinuiranih procesa vremenski ovisne vjerojatnosti stanja sustava opisane su skupom diferencijalnih jednadžbi što predstavlja značajnu poteškoću kod primjene na složene sustave. Korištenjem stohastičke matrice prijelaznih vjerojatnosti i digitalnog računala može se značajno olakšati računanje ne samo stacionarnih nego i vremenski ovisnih vjerojatnosti. Uvođenjem pojmova učestalosti i srednjeg vremena boravka opisanih dodatno se obogaćuje proračun i prikaz pokazatelja pouzdanosti sustava. Time je omogućeno, sa stajališta pouzdanosti, potpunije shvaćanje samog sustava, odnosno bolja ocjena njegovih osobina. Markovljev proces se zasniva na konstantnim učestalostima prijelaza i zbog toga je primjenjiv samo na sustave koji sadržavaju isključivo komponente s eksponencijalnim razdiobama kvara i popravka. Prema tome, opisane metode ne mogu se koristiti za proračun vremenski ovisnih vjerojatnosti, ukoliko za komponente sustava ne vrijede eksponencijalne razdiobe kvara i popravka.

## LITERATURA


[1] Ž. PAUŠE: "Vjerojatnost: informacija, stohastički procesi", Školska knjiga, Zagreb, 1988.

[2] R. BILLINTON, R. ALLAN: "Reliability Evaluation of Engineering Systems", Pitman Publishing Inc., 1983

[3] N. SARAPA: "Teorija vjerojatnosti", Školska knjiga, Zagreb, 1987.

[4] V. VRANIĆ: "Vjerojatnost i statistika", Tehnička knjiga, Zagreb, 1971.

[5] C. SINGH, R. BILLINTON: "System Reliability Modelling and Evaluation", Hutchinson & Co. Ltd, 1977

[6] S. NIKOLOVSKI: "Osnove analize pouzdanosti elektroenergetskog sustava", Sveučilište J. J. Strossmayera, Elektrotehnički fakultet, Osijek, 1995.


## RELIABILITY PARAMETER CALCULATION OF TECHNICAL SYSTEMS USING MARKOVLJEV'S PROCESS


Markovljev's process method is suitable for calculation of technical systems' reliability parameters. Reliability parameters of technical systems are probability states in which the systems can be found, mean time of their duration and their frequency. In the paper basic methods and procedures of calculating reliability parameters of technical systems using Markovljev's process are evaluated.


## DIE BERECHNUNG VON VERHÄLTNISSZAHLEN DER ZUVERLÄSSIGKEIT TECHNISCHER SYSTEME DURCH ANWENDUNG DES MARKOV-SCHEN PROZESSES


Die Methoden des Markov-schen Prozesses werden für die Berechnung von Verhältnisszahlen der Zuverlässigkeit technischer Systeme verwendet. Die Verhältnisszahlen der Zuverlässigkeit technischer Systeme sind Wahrscheinlichkeiten der Zustände welche ein System einnehmen kann, mittlere Dauer des Verweilens der Systeme in diesen Zuständen und die Häufigkeit des Vorkomens dieser Zustände. Im Artikel werden Grundmethoden und Berechningsverfahren von Verhältnisszahlen der Zuverlässigkeit technischer Systeme mittels Methoden des Markovschen Prozesses erläutert.



Naslov pisca:

**Emil Vilenica, dipl. ing.**
**EKONERG – Institut za energetiku i zaštitu okoliša,**
**Koranska 5, 10000 Zagreb**
**Hrvatska**



Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 05 – 22.

# PRIMJENA UREĐAJA ZA ZAŠTITU OD PRENAPONA U ELEKTRIČNIM INSTALACIJAMA

Mr. sc. Ivan M a t e k o v i ć, Zagreb

UDK 621.316.91
PREGLEDNI ČLANAK

Električna oprema i uređaji su s obzirom na udarne napone svrstani u četiri prenaponske kategorije. Za svaku od tih prenaponskih kategorija je dan podnosivi udarni napon (kao tjemeni iznos oblika 1,2/50 μs) koji oprema, odnosno uređaj mora izdržati. Procijeni li se da je rizik od prenapona veći od troškova ugradnje uređaja za zaštitu od prenapona u električnu instalaciju pristupa se projektiranju zaštite. Zaštitu od prenapona treba projektirati uvažavajući neke datosti kao što su korišteni sustav električne razdjelbe, karakteristike uređaja za zaštitu od prenapona, zahtjevi za nesmanjenom djelotvornošću uređaja za zaštitu od kratkog spoja i preopterećenja te zaštitnih strujnih sklopki i zahtjevi elektrodistributivnog poduzeća. Pravilno projektirana i izvedena zaštita od prenapona povećava raspoloživost električne instalacije.

**Ključne riječi:** **prenapon, zaštita od prenapona, prenaponska kategorija, uređaj za zaštitu od prenapona, udarna odvodna struja, napon prorade, zaštitni nivo.**

## 1. UVOD

Prenapon se najčešće definira kao "kratkotrajno nastupajući napon između dva vodiča ili vodiča i zemlje koji prekoračuje najviši dozvoljeni iznos pogonskog napona". Negativni utjecaji prenapona očituju se u naprezanju izolacije električne opreme i uređaja priključenih na električnu instalaciju, zbog čega dolazi ili do proboja izolacije ili do preskoka u zraku ili do kliznog proboja preko površine izolacije. Iako je samo razaranje uređaja odnosno opreme dojmljivo, neusporedivo veće štete nastaju zbog dugotrajnih prekida u proizvodnji ili u poslovanju. Nema više izmjene podataka u poduzeću jer nema adresa kupaca, nema pripreme proizvodnih procesa, nema naručivanja materijala, nema vođenja i nadziranja proizvodnje, nema CAD-crteža, nema isporuka, nema plaćanja, nema informacija. Štete se mjere u milijardama bilo koje novčane jedinice.

Kako je pokazano u [1] procijenjeni rizik od prenapona u električnim instalacijama je puno veći od troškova ugradnje zaštite od prenapona. Tako je, naprimjer, procijenjeni rizik od prenapona za poslovne prostore jednog srednje velikog prodavatelja automobila 224 318 EUR-a/god., dok su troškovi ugradnje zaštite od prenapona procijenjeni na 13 000 EUR-a. Također je dan primjer jedne srednje velike obiteljske kuće za koju je procijenjen rizik od prenapona iznosa 11 199 EUR-a/god., dok su procijenjeni troškovi ugradnje zaštite od prenapona 1 400 EUR-a. Prema tome, nije sporno da li treba u električnu instalaciju ugraditi uređaje za zaštitu od prenapona, već je pitanje koje i kakve uređaje ugraditi.

## 2. ELEKTRIČNA OPREMA I UREĐAJI S OBZIROM NA PRENAPONSKE KATEGORIJE

Električnu instalaciju je potrebno promatrati kao cjelovit sustav koji treba zaštititi od prenapona. Da bi se odredio stupanj raspoloživosti električne opreme i uređaja s obzirom na otpornost na udarne napone oni se projektiraju, izrađuju i ispituju prema prenaponskim kategorijama. Postoje četiri prenaponske kategorije; za svaki projektirani napon električne opreme i uređaja definira se za određenu prenaponsku kategoriju podnosivi udarni napon (oblika 1,2/50 μs) koji ta oprema odnosno uredaj mora izdržati. U tablici 1 prema [2] dan je pregled prenaponskih kategorija za slučaj niskonaponskih postrojenja u koje spadaju i električne instalacije.

**Tablica 1. Otpornost električne izolacije električnih pogonskih sredstava na podnosivi udarni napon oblika 1,2/50 μs**

| Projektirani pogonski napon prema zemlji (V) | Prenaponska kategorija | | | |
|---|---|---|---|---|
| | I. | II. | III. | IV. |
| | Podnosivi udarni napon (V) | | | |
| 230/400 i 277/480 | 1500 | 2500 | 4000 | 6000 |
| 400/690 | 2500 | 4000 | 6000 | 8000 |
| 1000 | Vrijednosti određuje projektant električne instalacije | | | |

Za slučaj električne instalacije 230/400 V vrijedi:

- Električna oprema prenaponske kategorije IV je predviđena za primjenu na ili u blizini točke priključka električne instalacije (prije glavnog razdjelnika). Primjeri takve opreme su električno brojilo, glavni osigurač, rastavna sklopka, stezaljke, ...
- Električna oprema prenaponske kategorije III je predviđena za ugradnju tako da čini sastavni dio stalno položene električne instalacije. Primjeri takve opreme su razdjelnik, automatski prekidač, kabel i instalacijski vod, instalacijska kutija, sklopka, utičnica, odnosno električni uređaji koji su fiksno priključeni na električnu instalaciju.
- Električni uređaji prenaponske kategorije II su predviđeni za priključak na električnu instalaciju preko utičnica (kućanski uređaji, prenosivi alati i slična pogonska sredstva).
- Električni uređaji prenaponske kategorije I imaju relativno malu otpornost na udarne napone. Da bi se zaštitili od prenapona u njih ili neposredno ispred njih se ugrađuju posebno izvedeni uređaji za zaštitu od prenapona.

Pravilnim izborom prenaponske kategorije električnog uređaja ili opreme postiže se koordinacija izolacije cjelokupnog postrojenja električne instalacije i to je osnova zaštite od prenapona.

## 3. UREĐAJI ZA ZAŠTITU OD PRENAPONA U ELEKTRIČNIM INSTALACIJAMA

Da bi se od prenapona dodatno zaštitila električna instalacija, oprema ugrađena u nju kao i električni uređaji priključeni na nju, u električnu instalaciju se ugrađuju uređaji za zaštitu od prenapona (u daljnjem tekstu UZP). S obzirom na mjesto postavljanja u električnoj instalaciji UZP se dijele na tipove uz koje se vežu Ispitne klase [3]. Moguće ih je povezati s prenaponskim kategorijama kako slijedi:

- UZP-Tip 1 Ispitne klase I je određen za zaštitu električne instalacije i ugrađene opreme u području prenaponske kategorije IV. To znači da je predviđen za odvod struje munje kod direktnog udara munje. Sukladno tim zahtjevima mora biti njegov zaštitni nivo i njegova maksimalna udarna odvodna struja. Ugrađuje se na mjestu uvoda električne instalacije u zgradu između kućnog priključka i električnog brojila.
- UZP-Tip 2 Ispitne klase II je određen za zaštitu električne instalacije i ugrađene opreme u području prenaponske kategorije III. U tom području se pojavljuje prenapon koji je ušao u električnu instalaciju usprkos ugrađenog UZP-Tip 1 (kao njegov zaostali napon), prenapon nastao induktivnom, konduktivnom ili kapacitivnom vezom zbog bliskog udara munje te prenapon nastao u električnoj instalaciji zbog sklopnih procesa ugrađene opreme odnosno električnih uređaja. Prenaponskoj kategoriji III moraju biti prilagođeni zaštitni nivo i udarna odvodna struja UZP-a. UZP se ugrađuje u razdjelnike zgrade.
- UZP-Tip 3 Ispitne klase III je određen za zaštitu električne instalacije, ugrađene opreme i električnih uređaja u području prenaponske kategorije II; sukladno tome moraju biti prilagođeni zaštitni nivo i udarna odvodna struja. Ugrađuje se u fiksno postavljene utičnice ili u prenosive utičnice.

Vrijedeća podjela UZP-a prema [3] na Tipove 1, 2, 3 odgovara prijašnjoj podjeli Odvodnika prenapona prema [7] na Klase zahtjeva B, C, D tako da približno vrijedi:

- UZP-Tip 1 Ispitna klasa I odgovara Odvodniku prenapona Klase zahtjeva B,
- UZP-Tip 2 Ispitna klasa II odgovara Odvodniku prenapona Klase zahtjeva C,
- UZP-Tip 3 Ispitna klasa III odgovara Odvodniku prenapona Klase zahtjeva D.

S obzirom na prenaponske kategorije u električnu instalaciju ugrađene opreme, odnosno priključenih električnih uređaja, najbolje je zaštitu od prenapona u električnim instalacijama provesti stupnjevano ugrađujući UZP-e sva tri tipa. Kod toga trebaju biti sva tri UZP-a istog projektiranog napona $U_c$, mogu se razlikovati u sposobnosti odvođenja udarne struje, a moraju se razlikovati u zaštitnom nivou. Uvijek kada se primjenjuje više UZP-a za zaštitu opreme ili uređaja potrebno je preispitati da li su zaštitni nivo UZP-a i mjesto ugradnje UZP-a prikladni štićenom uređaju. Cilj je ograničiti prodiranje prenapona pomoću UZP-a na iznos manji od otpornosti štićenog uređaja na prenapon.

Izvedba UZP-a se može zasnivati na različitim komponentama ili kombinacijama komponenata (iskrište, plinski odvodnik prenapona, varistor, tunel–dioda, tiristor, ...). U području električnih instalacija se najčešće koriste izvedbe UZP-a s komponentama koje ograničavaju napon (varistori) ili s komponentama koje sklapaju napon (zračna iskrišta, plinski odvodnici prenapona) ili s kombinacijom obje vrste komponenata u različitim spojevima. Dodatno su prema potrebi u UZP ugrađeni osigurači, temperaturni ograničivači, zavojnice, kondenzatori i slične komponente čiji osnovni zadatak nije ograničenje prenapona već imaju posebne uloge u smislu dojave i signalizacije ponašanja UZP-a.

Najjednostavnija izvedba iskrišta je u obliku dvije elektrode na određenom razmaku sa zrakom između njih kao izolatorom. Nakon prorade iskrišta pad napona na njemu je određen naponom gorenja električnog luka koji iznosi od 10 do 30 V. Visina slijedne struje je ovisna o impedanciji električne mreže te je kod niskoomskih električnih mreža potrebno ugraditi predosigurače kako bi se osiguralo njezino sigurno prekidanje. Da bi se poboljšale karakteristike iskrišta (naročito iznos udarne odvodne struje i gašenje elek-

tričnog luka) rade se posebne konstrukcije iskrišta kojima se to omogućava. U području električnih instalacija izvedbe UZP-a s iskrištima se koriste kod UZP-Tip 1.

Plinski odvodnik prenapona se sastoji od elektroda smještenih u keramičkom ili staklenom kućištu na određenom razmaku. Između elektroda se nalazi plemeniti plin (argon ili neon). Isti je problem s gašenjem slijedne struje kao i kod iskrišta. To se rješava posebnim spojevima plinskih odvodnika prenapona i varistora, a takve izvedbe se koriste kod UZP-Tipa 3.

Varistor je poluvodički naponski ovisan otpornik koji omogućuje relativno veliku udarnu odvodnu struju s malim zaostalim naponima. Koristi se kod UZP-Tip 2 i u spoju s plinskim odvodnikom prenapona kod UZP-Tip 3.

## 3.1. Električne karakteristike UZP-a bitne za korištenje u električnim instalacijama

### 3.1.1. *Projektirani napon UZP-a*

Projektirani napon UZP-a prema [4] (odnosno najviši trajni napon $U_c$ UZP-a prema [3]) je najviša efektivna vrijednost izmjeničnog napona koji može biti trajno priključen na UZP a da se njegova pogonska svojstva ne promijene. Kod ovog napona mora UZP podnijeti sva opterećenja koja mogu nastupiti a da ne dođe do njegova oštećenja. Projektirani napon UZP-a ne smije biti manji od efektivne vrijednosti najvišeg očekivanog pogonskog napona električne instalacije. Za različite sustave električnog razdjela projektirani napon UZP-a se određuje različito [4]:

- kod TN sustava električnog razdjela zbog kruto uzemljenog zvjezdišta transformatora može doći do ograničenog privremenog povećanja napona. Potrebno je uzeti da je $U_c > ( 1{,}1 * 230 )$ V.
- kod TT sustava električnog razdjela je zvjezdište transformatora, također, kruto uzemljeno te može doći samo do ograničenog povećanja napona tako da bi na toj osnovi bilo dovoljno uzeti da je $U_c > ( 1{,}1 * 230 )$ V. No, kod tog sustava može doći u jednom posebnom slučaju do greške kratkog spoja između vodiča i neutralnog vodiča [5] koja dovodi do povećanja napona između vodiča i neutralnog vodiča odnosno vodiča i zemlje na iznos 1,45*230 V. Taj povećani napon može trajati do 5 sekundi. To znači da u električnu instalaciju ugrađeni UZP-i ne smiju proraditi kod tog iznosa napona.
- kod IT sustava električnog razdjela su zahtjevi s obzirom na izoliranost zvjezdišta transformatora mnogostruko veći. Uzimajući u obzir moguće greške u mreži sa stanovišta naprezanja UZP-a najnepovoljniji je jednopolni zemljospoj. Napon između vodiča koji nije u kvaru i zemlje može se povećati na iznos jednak linijskom naponu mreže. I u tom slučaju ne smije doći do prorade UZP-a te stoga mora vrijediti $U_c > (1{,}1 * 400)$ V.

### 3.1.2. *Udarna odvodna struja*

Udarna odvodna struja predstavlja tjemeni iznos udarne struje koju UZP nakon prorade može sigurno odvesti u zemlju. Vezano uz taj pojam postoji nekoliko veličina kojima se definiraju neki specifični zahtjevi na UZP.

- Nazivna udarna odvodna struja $I_n$ predstavlja tjemeni iznos udarne struje oblika 8/20 s koju UZP-Tip 2 i UZP-Tip 3 mora odvesti u zemlju određeni broj puta bez oštećenja.
  Kod UZP–Tip 3 nazivna udarna odvodna struja mora biti veća od 1,25 kA bez obzira na sustav električnog razdjela u kojoj se UZP misli koristiti [4].
  Kod UZP-Tip 2 se nazivna udarna odvodna struja određuje prema korištenom sustavu električnog razdjela [4]. Kod UZP-Tip 2 predviđenog za ugradnju u TN- odn. IT- sustave nazivna udarna odvodna struja po vodiču mora biti veća od 20 kA/m gdje je m broj vodiča (kod TN-sustava je m = 5 , a kod IT-sustava je m = 4). Kod UZP-Tip 2 predviđenog za ugradnju u TT-sustav nazivna udarna odvodna struja između faznog i neutralnog vodiča mora biti veća od 20 kA/m (m = 4) odnosno veća od 20 kA između neutralnog vodiča i vodiča zaštitnog uzemljenja.
- Udarna struja munje $I_{imp}$ je udarna struja oblika 10/350 s koju mora UZP-Tip 1 više puta odvesti u zemlju. Prema [4] ta se struja određuje s obzirom na korišteni sustav električnog razdjela. Kod UZP-Tip 1 predviđenog za ugradnju u TN- odn. IT-sustave udarna struja munje po vodiču mora biti veća od 100 kA/m gdje je m broj vodiča (kod TN-sustava je m = 5, a kod IT-sustava je m = 4). Kod UZP-Tip 1 predviđenog za ugradnju u TT-sustav električnog razdjela udarna struja munje između faznog i neutralnog vodiča mora biti veća od 100 kA/m (m = 4) odnosno veća od 100 kA između neutralnog vodiča i vodiča zaštitnog uzemljenja.

### 3.1.3. *Prorada UZP-a*

Prorada UZP-a je definirana ili dostizanjem trenutne vrijednosti omske komponente struje kroz UZP iznosa 5 mA ili naponskim probojem i narastanjem struje kroz UZP na iznos od 5 mA.

- Napon prorade je definiran kao napon dostignut neposredno prije prorade UZP-a na koji je narinut udarni napon oblika 1,2/50 μs.
- Vrijeme prorade je definirano kao vrijeme proteklo od trenutka pojave prenapona do trenutka prorade UZP-a. Ono je ovisno o komponentama ugrađenim u UZP, ali i o brzini narastanja prenapona, odnosno struje.
- Zaostali napon $U_{res}$ je definiran kao napon na stezaljkama UZP-a kad kroz njega protječe nazivna udarna odvodna struja.
- Zaštitni nivo $U_p$ je najveća trenutna vrijednost napona na stezaljkama UZP-a za vrijeme postojanja

prenapona. Zaštitni nivo karakterizira sposobnost UZP-a da ograniči prenapon na određeni iznos.

Kod UZP-Tip 1 i UZP-Tip 2 zaštitni nivo je određen kao veća vrijednost između iznosa napona prorade UZP-a i iznosa zaostalog napona UZP-a.

Kod UZP-Tip 3 zaštitni nivo je najveća vrijednost napona određena pomoću tzv. hibridnog generatora koji proizvodi udarni napon oblika 1,2/50 s i udarnu struju (nakon prorade UZP-a ) oblika 8/20 μs.

## 3.2. Ostale karakteristike UZP-a bitne za korištenje u električnim instalacijama

### 3.2.1. *Ponašanje UZP-a kod oštećenja*

Ponašanje UZP-a kod njegovog otkazivanja mora biti takvo da ne dođe do ugroze rada električne instalacije. Najbolji UZP je takav koji pod normalnim pogonskim uvjetima ne utječe na pogonske karakteristike sustava u koji je ugrađen. Pod nenormalnim uvjetima (pojava prenapona) takav UZP reagira na prenapon tako da se njegova impedancija smanji, da UZP odvede udarnu struju u zemlju, a iznos prenapona se smanji na zaštitni nivo UZP-a. Nakon povrata normalnih pogonskih uvjeta impedancija takvog UZP-a se poveća na početnu vrijednost, a UZP i dalje nema utjecaja na pogonsko stanje. Kao i svaki uređaj tako i UZP može otkazati ili može biti razoren zbog opterećenja udarnom strujom većom od njegove maksimalne moguće udarne odvodne struje. Ponašanje oštećenog UZP-a može slično ponašanju u stanju praznog hoda ili ponašanju u stanju kratkog spoja.

U slučaju takvog oštećenja UZP-a da se ponaša kao da je ostao u praznom hodu, električna instalacija više nije zaštićena od prenapona. Je li UZP oštećen ili nije, prepoznavanje je u tom slučaju dosta teško, jer UZP ne utječe na električnu instalaciju. Za razliku od njega UZP koji je oštećen tako da se ponaša kao u stanju kratkog spoja ima jaki utjecaj na električnu instalaciju. Stvarno, impedancija nije iznosa jednakog nuli, već ona ima nekakvu ali vrlo malu vrijednost. Promatrani UZP može imati još dovoljnu impedanciju koja može ograničiti struju na takav iznos da uređaj za zaštitu od preopterećenja ili kratkog spoja (osigurač ili automatski prekidač) ne proradi ili može dovesti do prorade tog uređaja nakon vremena duljeg od onog koje je propisano. U tim slučajevima dolazi do stvaranja tolike toplinske energije u UZP-u da ona može dovesti do pojave požara. Da se to onemogući UZP mora imati u sebi ugrađen prikladni uređaj za odvajanje od mreže, a ako ga nema tada ga je potrebno predvidjeti i ugraditi u električnu instalaciju. UZP u koji je ugrađen varistor treba obvezno imati u sebi ugrađen uređaj za termičko odvajanje od električne mreže te uređaj koji pokazuje neispravnost UZP-a. Uređaj za termičko odvajanje od mreže reagira najčešće na toplinu razvijenu u preopterećenom varistoru te kod neke određene temperature odvoji UZP od mreže tako da ne može doći do zapaljenja.

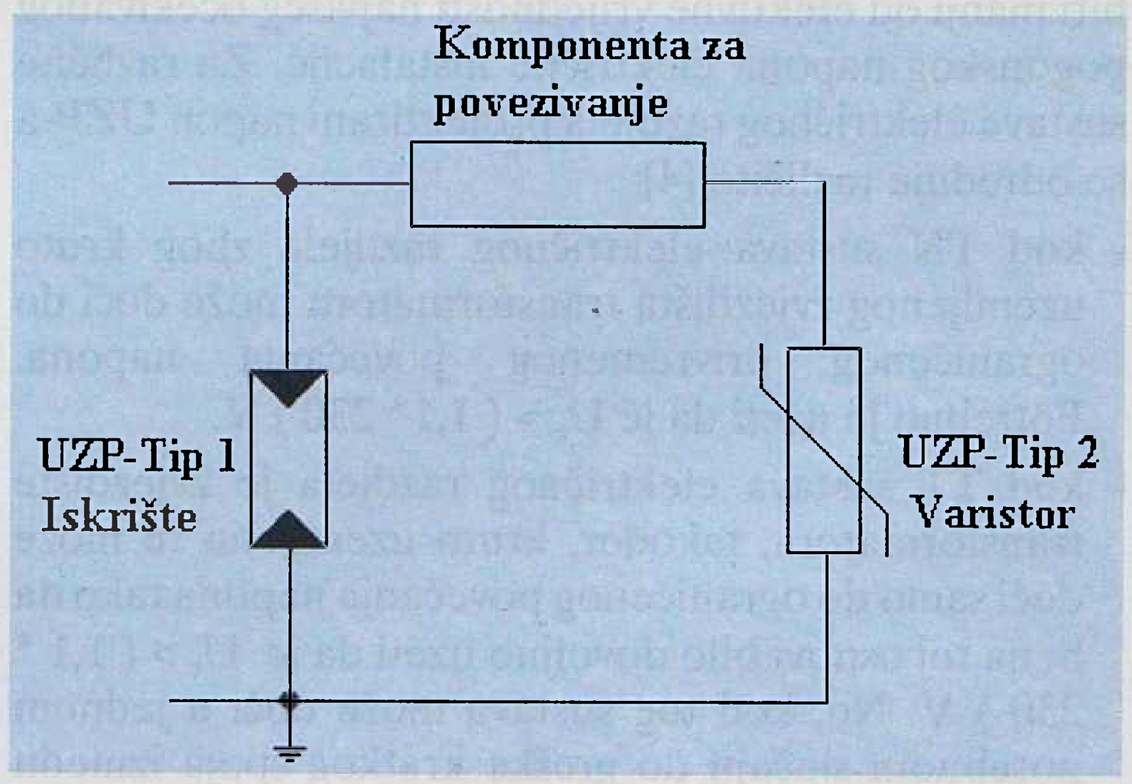
### 3.2.2. *Koordinacija između više UZP-a*

Ako su dva ili više UZP-a ugrađena u električnu instalaciju između njih dolazi do međudjelovanja. Ako nisu ispravno izabrani (međusobno koordirani) postoji opasnost da se jedan od njih preoptereti. Osnovni zahtjev koordinacije se može sažeti u sljedećem: dva UZP-a koja su priključena na električnu mrežu su energetski koordinirana ako je za svaki promatrani iznos udarne struje i za svaki promatrani oblik udarne struje energetski dio koji se odvodi kroz UZP koji prvi proradi manji ili jednak maksimalnoj energetskoj sposobnosti odvođenja tog UZP-a. Usklađivanje između UZP-a Tipa 1, Tipa 2 i Tipa 3 treba provesti tako da prije dostizanja granične odvodne sposobnosti UZP-Tip 3 odvođenje energije prenapona preuzme UZP-Tip 2, a prije dostizanja granične odvodne sposobnosti UZP-Tip 2 odvođenje preuzima UZP-Tip 1.

S vremenom su se iskristalizirala dva osnovna principa za provedbu koordinacije između više UZP-a:

- koordinacija bez dodatnih komponenata za povezivanje UZP-a kod kojeg se kao komponente za povezivanje koriste vodovi električne instalacije,
- koordinacija primjenom dodatnih komponenata za povezivanje UZP-a u vidu zavojnice (uglavnom kod elektroenergetskih instalacija).

Provjera koordinacije između dva UZP-a prikazana je na primjeru iskrišta (UZP-Tip 1) i varistora (UZP-Tip 2), a shema njihove međusobne veze je dana u slici 1.




**Slika 1. Shema spoja dva UZP-a za provjeru koordinacije**

Potrebno je napomenuti da se vrijeme prorade iskrišta mjeri u mikrosekundama, dok se vrijeme prorade varistora mjeri u nanosekundama. U ovom slučaju koordinacija će biti postignuta ako dođe do prorade iskrišta prije nego što je došlo do preopterećenja varistora. Prije prorade iskrišta napon na priključcima iskrišta je:

$$U_1 = U_{res2}(i) + L^*( di/dt ) \qquad (1)$$

gdje je :

- $U_{res2}(i)$ zaostali napon na varistoru kod protjecanja struje $i$,
- $L^*(di/dt)$ pad napona na komponenti za povezivanje dva UZP-a.

Èim napon na iskrištu $U_1$ prekorači dinamièki proradni napon iskrišta $U_{din}$ koordinacija je osigurana jer su od tog trenutka oba UZP-a opterećena:

$$U_{res2}(i) + L^*( di/dt )\ U_{din} \qquad (2)$$

Ovo se događa ili ne događa ovisno o karakteristikama varistora, dinamičkom proradnom naponu iskrišta, brzini porasta udarne struje, tjemenoj vrijednosti udarne struje te o impedanciji komponente za povezivanje.

Da bi se napravio izračun potrebnog induktiviteta $L$ komponente za povezivanje iskrišta i varistora uzet će se da je:

- Varistor izrađen kao UZP–Tip 2 izvedbe V 20-C/1-385 prema [6] sa sljedećim podacima:
  - zaštitni nivo je manji ili jednak 1,5 kV kod udarne struje 5 kA, 8/20 μs,
  - vrijeme prorade je manje od 25 ns,
  - nazivna udarna odvodna struja je 20 kA, 8/20 s,
  - maksimalna udarna odvodna struja je 40 kA, 8/20 s.
- Iskrište izrađeno kao UZP-Tip 1 izvedbe MC 50-B VDE prema [6] sa sljedećim podacima:
  - zaštitni nivo (koji je jednak dinamičkom naponu prorade) je manji ili jednak 2 kV kod udarne odvodne struje 50 kA, 10/350 s,
  - vrijeme prorade je manje od 100 ns,
  - udarna struja munje je 50 kA, 10/350 s.
- Brzina narastanja udarne struje tjemene vrijednosti 5 kA oblika 8/20 s je približno 0,5 kA/s.

Uz ove pretpostavke dobiva se da će doći do sigurne prorade iskrišta (t.j. neće doći do toga da ukupna struja teče samo kroz varistor što se prema [5] naziva »blind-spot«) ako je induktivitet komponente za povezivanje veći od 1H. Kod ovog primjera može se osigurati koordinacija djelovanja oba UZP-a i varistor će biti dobro dimenzioniran s obzirom na mogućnost disipacije snage. Traženi induktivitet se može dobiti ili koncentriranom impedancijom (izvedenom kao zavojnica) ili s dovoljno dugim instalacijskim vodom (za ovaj slučaj se može uzeti da je induktivitet voda 1 μH/m).

U [5] je dano opće pravilo da će koordinacija kod UZP-Tip 1 izvedenog kao iskrište i UZP-Tip 2 izvedenog kao varistor biti postignuta ako vrijedi:

$$U_{din} < U_{res}( I_n ) + L^*0{,}1 \qquad (3)$$

Kod toga treba uzeti $U_{din}$ i $U_{res}( I_n )$ u kV da bi se induktivitet $L$ dobio u μH.

### 3.2.3. *Koordinacija između UZP-a i ostalih zaštitnih ureðaja u električnoj instalaciji*

Na UZP se postavljaju specifični zahtjevi s obzirom na usklađivanje između UZP-a i ureðaja za konvencionalnu zaštitu ugrađenu u električnu instalaciju (osigurači, automatski prekidači, zaštitna strujna sklopka itd.). Različiti zaštitni ureðaji imaju svoje specifične funkcije u električnoj instalaciji, te funkcije su važne i potrebno ih je i nakon ugradnje UZP-a zadržati. Usklađivanje između UZP-a i ostalih ureðaja za zaštitu u električnim instalacijama razmatrat će se u sljedećoj točki, jer djelovanje pojedinih ureðaja ovisi o korištenom sustavu električnog razdjela.

## 4. UGRADNJA UZP-a U ELEKTRIČNE INSTALACIJE

Kod opremanja električne instalacije UZP-ima potrebno je voditi računa o korištenom sustavu električnog razdjela, jer je to jedan od odlučujućih parametara ispravne zaštite od prenapona. Opremanje električnih instalacija ureðajima za zaštitu od prenapona u različitim sustavima električnih razdjela prikazano je u slikama od 2 do 5 prema [4].

Kako se UZP-Tip 1 ugrađuje u dio električne instalacije između priključka na zgradu i električnog brojila koje je pod nadzorom i odgovornošću elektrodistributivnog poduzeća to je potrebno uzeti u obzir da može postojati sukob interesa. S jedne strane elektrodistributivno poduzeće ima sasvim legitiman interes da se u to područje koje je pod njegovim nadzorom ugradi što manje električne opreme kako bi imalo što manje radova na održavanju iste. S druge strane interes je korisnika električne instalacije da se iz niskonaponske mreže u instalaciju ne prošire prenaponi iznosa takvih da mogu oštetiti opremu, ureðaje i pogonska sredstva. Zato elektrodistributivna poduzeća moraju uvažiti zahtjev korisnika, ali istodobno postavljaju posebne zahtjeve kod projektiranja i ugradnje UZP-Tip 1.

Ispravna ugradnja UZP-a pretpostavlja, zatim, ispravnu izvedbu izjednačenja potencijala zbog udara munje. Pod pojmom »izjednačenje potencijala zbog udara munje« podrazumijeva se povezivanje gromobranske instalacije zgrade s metalnim dijelovima ostalih instalacija (plinske-, vodovodne-, instalacije grijanja, …) i uzemljenih dijelova električne instalacije. Osnovna razlika između »glavnog izjednačenja potencijala« (koje se izvodi zbog potrebe za smanjenjem opasnog napona dodira u slučaju greške) i »izjednačenja potencijala zbog udara munje« se sastoji u tome što se ovo drugo izjednačenje potencijala izvodi zbog potrebe za kontroliranjem proboja, odnosno preskoka zbog pojave prenapona nastalog djelovanjem struje munje. Ispravnom primjenom izjednačenja potencijala zbog djelovanja munje osiguravaju se, kod pojave prenapona, kontrolirani preskoci u UZP Tip 1.

U okviru tog izjednačenja potencijala izvodi se povezivanje s munjovodom gromobranske instalacije:

- faznih vodiča električne instalacije preko UZP Tip1,
- metalnih dijelova instalacija zgrade i njihovo međusobno povezivanje,
- vodiča zaštitnog uzemljenja kod primjene zaštitnih mjera od opasnog napona dodira u TN- , TT- i IT-sustavima električnog razdjela,
- neutralnog vodiča u TT- i IT- sustavima električnog razdjela isključivo preko UZP Tip 1.

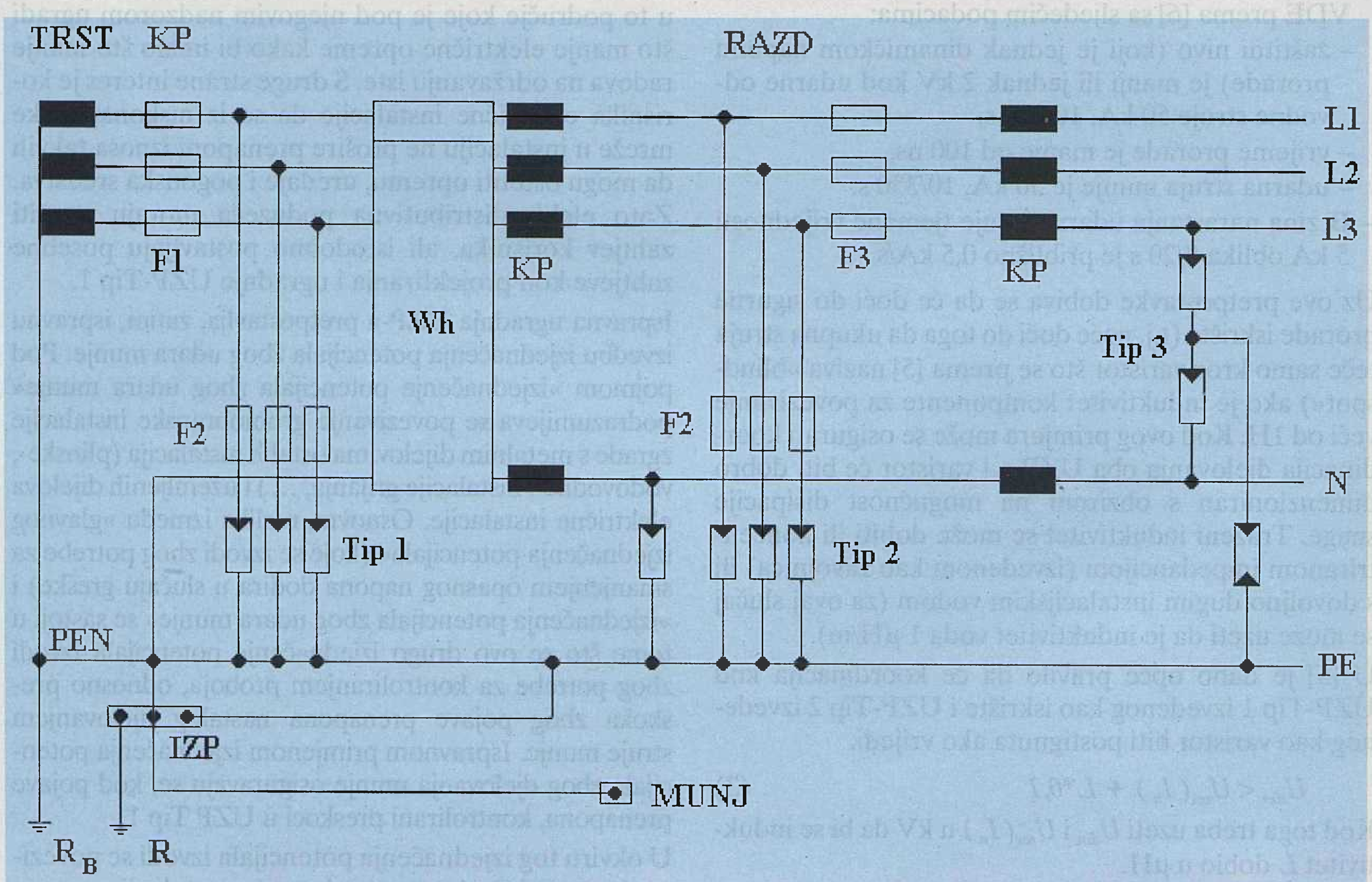
Gore navedena međusobna povezivanja izvode se preko stezaljke za izjednačenje potencijala.

### 4.1. TN-C-S sustav električnog razdjela

TN-C-S sustav električnog razdjela je karakteriziran time da je napajanje u jednoj točki direktno spojeno sa zemljom, a kućišta opreme spojena su s ovom točkom pomoću neutralnog vodiča sa zaštitnom funkcijom (PEN-vodiča). Neutralna i zaštitna funkcija su objedinjene u jednom vodiču samo u jednom dijelu sustava, dok su u ostalom dijelu odvojene.

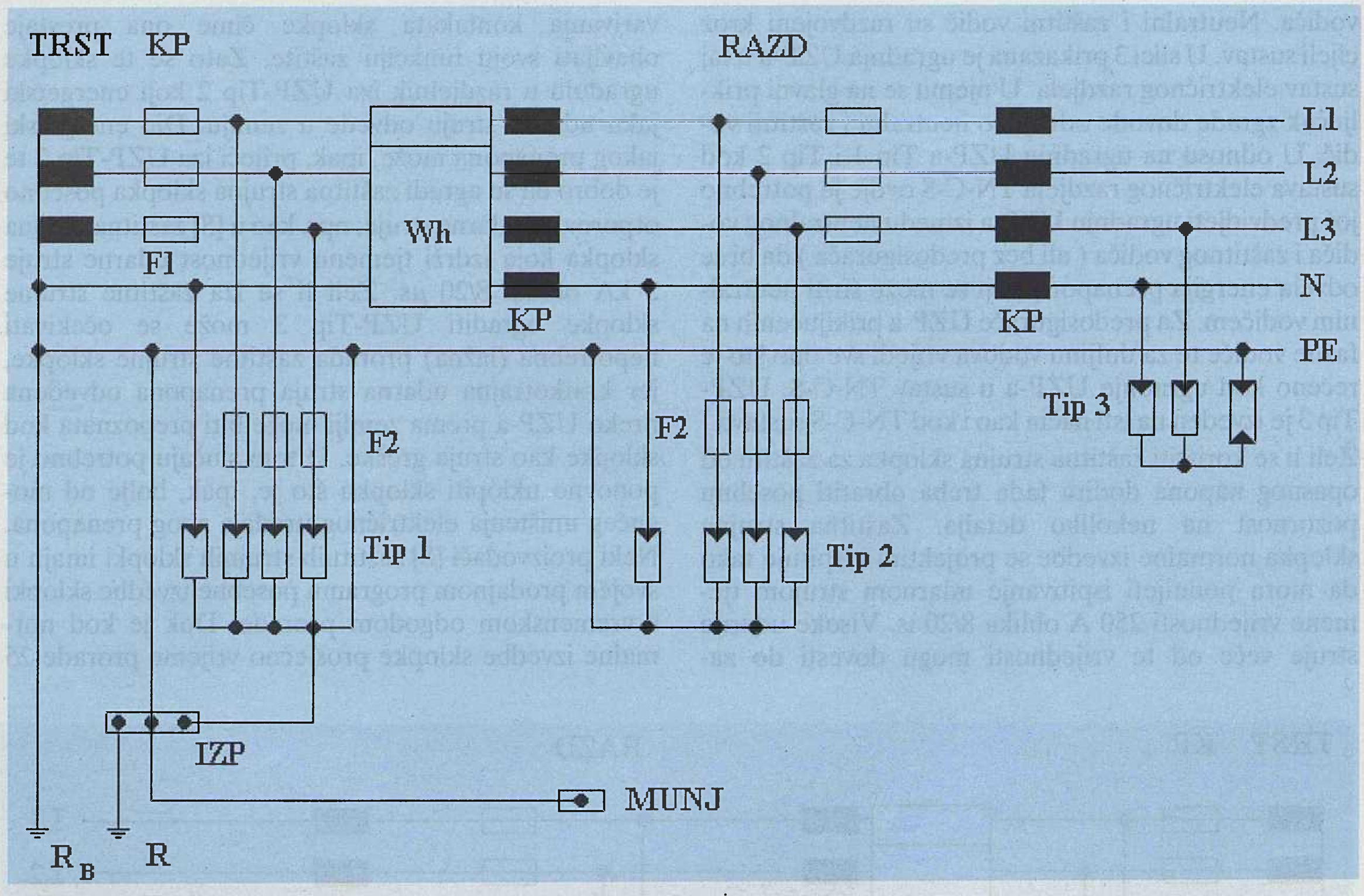
Ugradnja UZP-a u TN-C-S sustav prikazana je u slici 2. UZP-i se na električnu instalaciju spajaju paralelno, a izjednačenje potencijala zbog udara munje se koristi kao sredstvo za odvođenje energije prenapona u zemlju.

Elektrodistributivno poduzeće postavlja zahtjeve kojima se osigurava nesmetan rad električne instalacije. Prvi zahtjev je ispravan odabir predosigurača UZP-a. Taj zahtjev slijedi zbog načina rada UZP-Tip1, koji ograničava iznos prenapona na taj način da kod njegovog nailaska kratkotrajno izjednači napone između svih aktivnih vodiča i zemlje. Time se, ustvari, uspostavlja kratki spoj sa zemljom. Većina UZP-Tip 1 izvedena je s iskrištima, a kod njih postoji mogućnost da slijedna struja ( koja je jednaka iznosu struje tropolnog kratkog spoja i koja ovisi o parametrima mreže) neće biti prekinuta. Proizvođači UZP-Tip 1 daju za svoje proizvode iznose slijednih struja koje oni sigurno prekidaju [6] i to može biti orijentir kod odabira UZP Tip 1. Ako je očekivana struja tropolnog kratkog spoja veća od te vrijednosti tada se obvezno mora između faznog vodiča i ulazne stezaljke UZP-a ugraditi predosigurač. Kod njegovog izbora potrebno je paziti na veličinu njegove nazivne struje. Izabere li se predosigurač premale nazivne struje tada postoji mogućnost da on prerano proradi, a time će funkcija UZP-a biti slabo iskorištena. Izabere li se, naprotiv, predosigurač prevelike nazivne struje tada može doći do preopterećenja UZP-a i njegovog razaranja. Sljedeće na što treba paziti je selektivnost predosigurača s obzirom na osigurač glavnog napajanja. Ne smije se dozvoliti da prije proradi osigurač glavnog napajanja od predosigurača




| | | | |
|---|---|---|---|
| TRST | transformatorska stanica | PE | vodič zaštitnog uzemljenja |
| KP | kućni priključak | PEN | N vodič sa zaštitnom funkcijom |
| RAZD | razdjelnik | IZP | stezaljka izjednačenja potencijala zbog udara munje |
| MUNJ | munjovod | | |
| Wh | električno brojilo | F1 | glavni osigurači |
| Tip 1 | UZP-Tip 1 | F2 | predosigurači UZP-a |
| Tip 2 | UZP-Tip 2 | F3 | osigurači strujnih krugova |
| Tip 3 | UZP-Tip 3 | KP | komponenta za povezivanje |
| L1,L2,L3 | fazni vodiči | $R_B$ | pogonsko uzemljenje |
| N | neutralni vodič | R | uzemljenje munjovoda |

**Slika 2. Ugradnja UZP-a u TN-S-C sustav električnog razdjela**




| | | | |
|---|---|---|---|
| TRST | transformatorska stanica | PE | vodič zaštitnog uzemljenja |
| KP | kućni priključak | IZP | stezaljka izjednačenja potencijala zbog udara munje |
| MUNJ | munjovod | | |
| RAZD | razdjelnik | F1 | glavni osigurači |
| Wh | električno brojilo | F2 | predosigurači UZP-a |
| Tip 1 | UZP-Tip 1 | F3 | osigurači strujnih krugova |
| Tip 2 | UZP-Tip 2 | KP | komponenta za povezivanje |
| Tip 3 | UZP-Tip 3 | $R_B$ | pogonsko uzemljenje |
| L1,L2,L3 | fazni vodiči | R | uzemljenje |
| N | neutralni vodič | | |

**Slika 3. Ugradnja UZP-a u TN-S sustav električnog razdjela**

UZP-a, jer bi se time cjelokupna električna instalacija odspojila s mreže.

Drugi zahtjev koji se postavlja od strane elektrodistributivnog poduzeća je da duljina vodova između UZP-Tip 1 i faznih vodiča te između UZP-Tip 1 i stezaljke za izjednačenje potencijala zbog udara munje nije veća od 0,5 metara [4]. Ako se to ne uzme u obzir može doći do induciranja visokog napona u tim vodovima (iznosa do nekoliko kV) i njegovog prijenosa u električnu instalaciju.

U području razdjelnika se, također, UZP-Tip 2 paralelno priključuje na fazne vodiče preko što je moguće kraćih vodova. Izlazne stezaljke UZP-a se direktno spajaju na vodič zaštitnog uzemljenja (PE). Za predosigurače, ako su potrebni, vrijedi sve ono što je rečeno kod ugradnje UZP-Tip 1. U faznim vodičima i neutralnom vodiču između mjesta ugradnje UZP-Tip 1 i mjesta ugradnje UZP-Tip 2 potrebno je osigurati komponentu za povezivanje (ili pomoću određene duljine vodova ili pomoću koncentrirane impedancije).

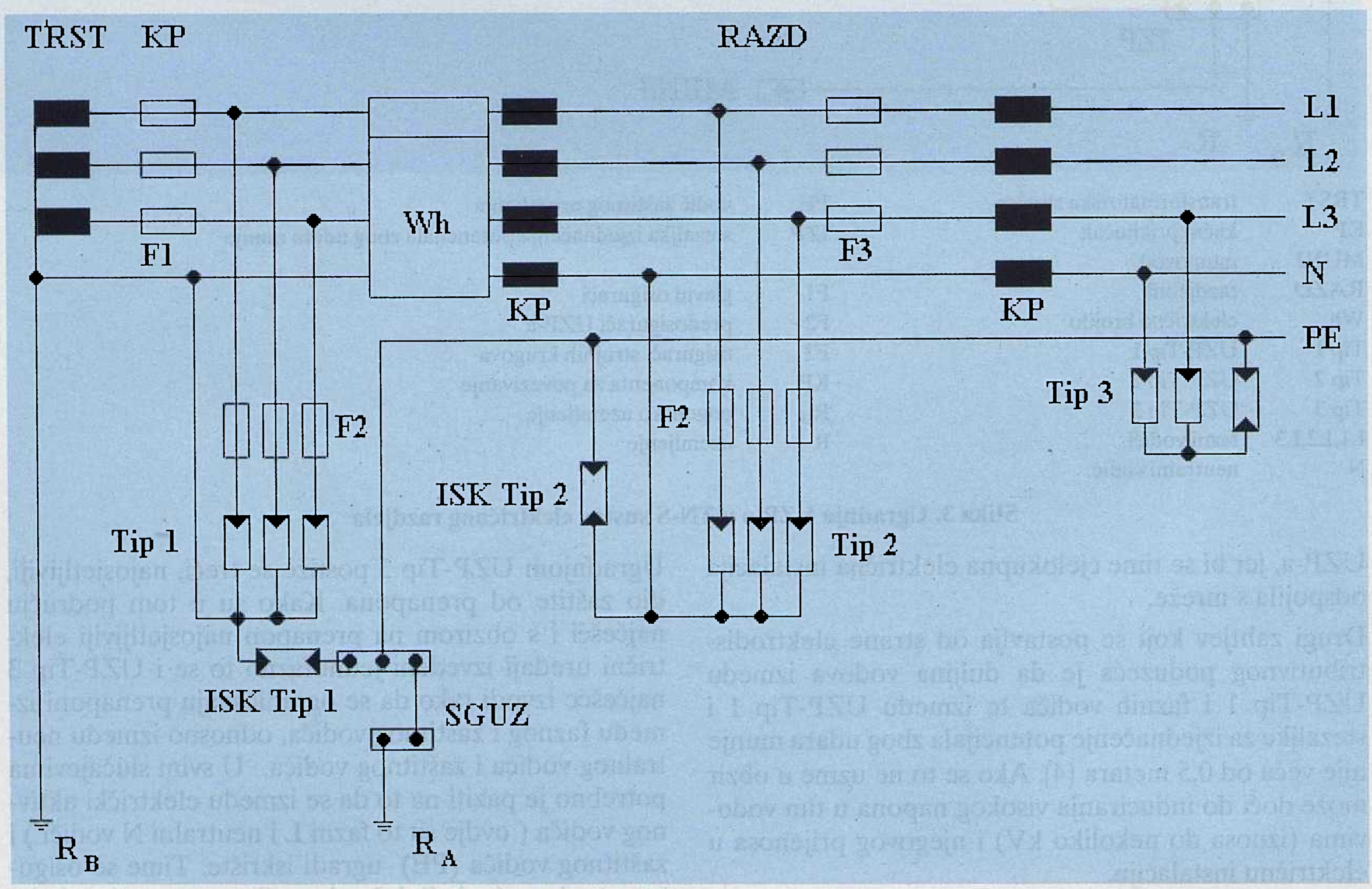
Ugradnjom UZP-Tip 3 postiže se treći, najosjetljiviji, dio zaštite od prenapona. Kako su u tom području najčešći i s obzirom na prenapon najosjetljiviji električni uređaji izvedeni jednofazno to se i UZP-Tip 3 najčešće izvodi tako da se ograničavaju prenaponi između faznog i zaštitnog vodiča, odnosno između neutralnog vodiča i zaštitnog vodiča. U svim slučajevima potrebno je paziti na to da se između električki aktivnog vodiča ( ovdje su to fazni L i neutralni N vodiči ) i zaštitnog vodiča (PE) ugradi iskrište. Time se osigurava to da neće doći do nedozvoljenog povezivanja između neutralnog i zaštitnog vodiča. Između UZP Tip 2 i UZP Tip 3 potrebno je osigurati komponentu za povezivanje zbog istih razloga kao što je prije spomenuto.

### 4.2. TN-S sustav električnog razdjela

TN-S sustav električnog razdjela ima napajanje u jednoj točki direktno spojeno sa zemljom, a kućišta opreme spojena su s ovom točkom pomoću zaštitnih

vodiča. Neutralni i zaštitni vodič su razdvojeni kroz cijeli sustav. U slici 3 prikazana je ugradnja UZP-a u taj sustav električnog razdjela. U njemu se na glavni priključak zgrade dovode odvojeno neutralni i zaštitni vodič. U odnosu na ugradnju UZP-a Tip 1 i Tip 2 kod sustava električnog razdjela TN-C-S ovdje je potrebno još predvidjeti ugradnju UZP-a između neutralnog vodiča i zaštitnog vodiča ( ali bez predosigurača ) da bi se odvela energija prenapona koji se može širiti neutralnim vodičem. Za predosigurače UZP-a priključenih na fazne vodiče te za duljinu vodova vrijedi sve ono što je rečeno kod ugradnje UZP-a u sustav TN-C-S. UZP-Tip 3 je izveden na isti način kao i kod TN-C-S sustava.

Želi li se koristiti zaštitna strujna sklopka za zaštitu od opasnog napona dodira tada treba obratiti posebnu pozornost na nekoliko detalja. Zaštitna strujna sklopka normalne izvedbe se projektira i ispituje tako da mora podnijeti ispitivanje udarnom strujom tjemene vrijednosti 250 A oblika 8/20 ìs. Visoke udarne struje veće od te vrijednosti mogu dovesti do zavarivanja kontakata sklopke čime ona prestaje obavljati svoju funkciju zaštite. Zato se te sklopke ugrađuju u razdjelnik iza UZP-Tip 2 koji energetski jaku udarnu struju odvede u zemlju. Dio energetski jakog prenapona može, ipak, prijeći iza UZP-Tip 2 te je dobro da se ugradi zaštitna strujna sklopka posebno otporna na udarne struje; npr. kao u [8] zaštitna strujna sklopka koja izdrži tjemenu vrijednost udarne struje 3 kA oblika 8/20 $\mu$s. Želi li se iza zaštitne strujne sklopke ugraditi UZP-Tip 3 može se očekivati nepotrebna (lažna) prorada zaštitne strujne sklopke, jer kratkotrajna udarna struja prenapona odvedena preko UZP-a prema zemlji može biti prepoznata kod sklopke kao struja greške. U tom slučaju potrebno je ponovno uklopiti sklopku što je, ipak, bolje od mogućeg uništenja električnog uređaja zbog prenapona. Neki proizvođači [8] zaštitnih strujnih sklopki imaju u svojem prodajnom programu posebne izvedbe sklopki s vremenskom odgodom prorade. Dok je kod normalne izvedbe sklopke prosječno vrijeme prorade 25




| | | | |
|---|---|---|---|
| TRST | transformatorska stanica | PE | vodič zaštitnog uzemljenja |
| KP | kućni priključak | N | neutralni vodič |
| RAZD | razdjelnik | KP | komponenta za povezivanje |
| Wh | električno brojilo | SGUZ | stezaljka glavnog uzemljenja |
| Tip 1 | UZP-Tip 1 | F1 | glavni osigurači |
| Tip 2 | UZP-Tip 2 | F2 | predosigurači UZP-a |
| Tip 3 | UZP-Tip 3 | F3 | osigurači strujnih krugova |
| ISK Tip 1 | iskrište Tip 1 | $R_B$ | pogonsko uzemljenje |
| ISK Tip 2 | iskrište Tip 2 | $R_A$ | uzemljenje el. instalacije |
| L1,L2,L3 | fazni vodiči | | |

**Slika 4. Ugradnja UZP-a u TT sustav električnog razdjela**

ms (kod struje greške jednake nazivnoj) kod posebne izvedbe sklopke je vrijeme prorade 130 ms. Time se dobiva mogućnost da prenaponski udar koji je prijelaznog karaktera ne stigne biti prepoznat u zaštitnoj strujnoj sklopki kao struja greške.

### 4.3. TT sustav električnog razdjela

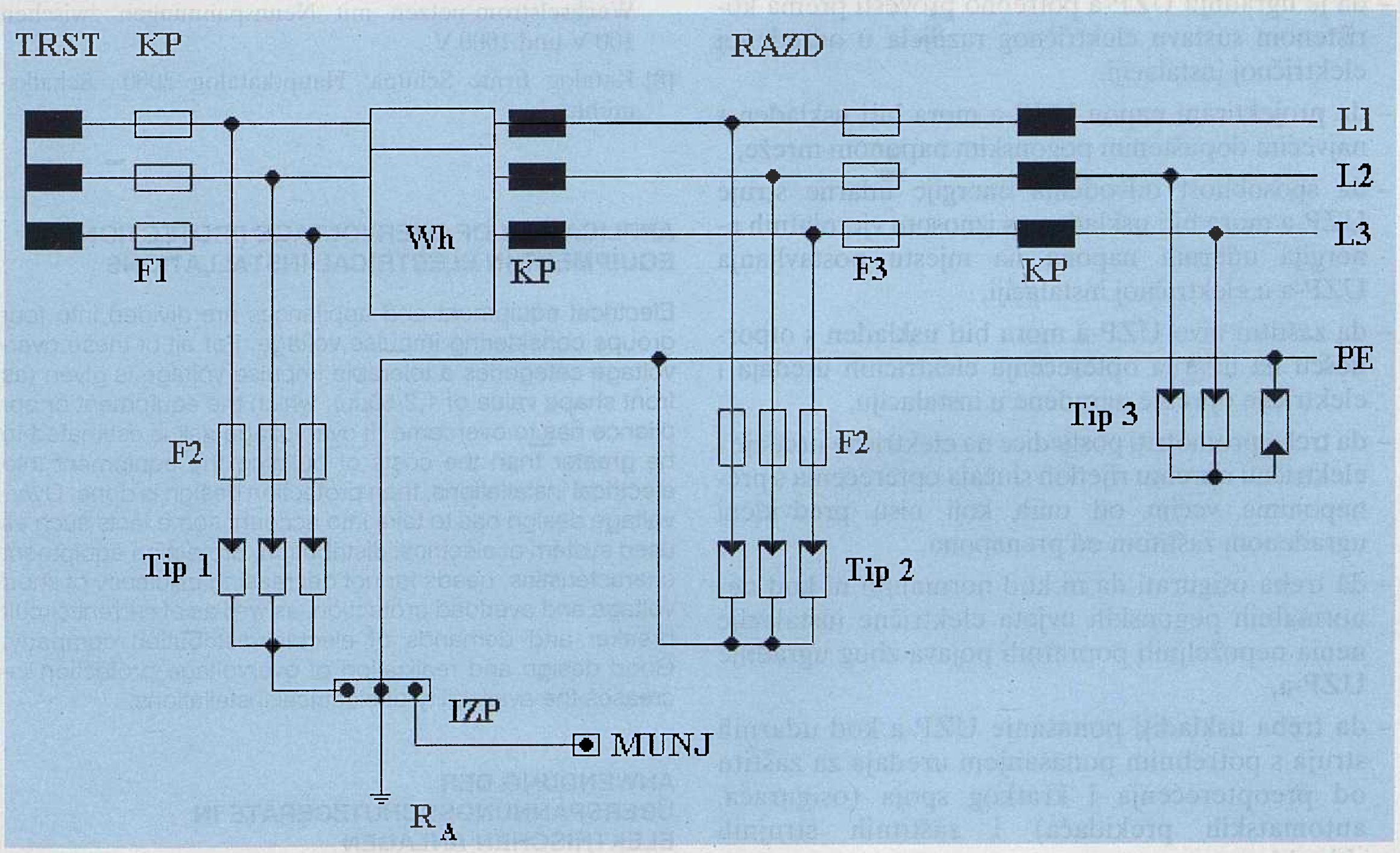
TT sustav električnog razdjela karakteriziran je time da ima napajanje u jednoj točki direktno spojeno sa zemljom, a kućišta opreme su spojena sa zemljom preko posebnog uzemljenja. Ugradnja UZP-a u taj sustav prikazana je na slici 4.

UZP-i nisu kao kod TN-C-S ili kao kod TN-S sustava električnog razdjela ugrađeni između faznih vodiča i zemlje, već između faznih vodiča i neutralnog vodiča. Zašto? U rasporedu u kojem je UZP priključen između faznog vodiča i zaštitnog vodiča postoji mogućnost da na kraju trajnosti UZP nije sposoban prekinuti slijednu struju te bi se u tom slučaju uspostavio kratki spoj između faznog vodiča i zaštitnog vodiča. Tada bi tekla struja greške preko otpora uzemljenja $R_A$ u sustavu električnog razdjela natrag prema uzemljenom zvjezdištu transformatora preko $R_B$. Zbog relativno velikog otpora petlje ne bi došlo pravodobno do prorade osigurača. To bi moglo dovesti do povišenja potencijala zaštitnog vodiča te time do pojave opasnih napona dodira. Ugradi li se UZP između neutralnog vodiča i zaštitnog vodiča tada se petlja zatvara preko neutralnog vodiča, otpor petlje je u tom slučaju pod nadzorom te se struja greške može trenutačno prekinuti. Kako između neutralnog vodiča i zaštitnog vodiča ne postoji opasnost pojave slijedne struje to se taj UZP može izvesti u obliku iskrišta. Takav spoj UZP-a Tip 1 i iskrišta Tip 1 naziva se »3+1« spoj. Isto takav spoj se izvede i u razdjelniku kod ugradnje UZP-Tip 2. Za zaštitu osjetljivih električnih uređaja koriste se isti UZP-Tip 3 . Za dužinu vodova i dimenzioniranje nazivne struje osigurača vrijedi sve ono što je već prije rečeno.

Postoji li na objektu izvedena zaštita od udara munje tada se na stezaljku glavnog uzemljenja spoji i munjovod.

### 4.4. IT sustav električnog razdjela

IT sustav električnog razdjela nema napajanje spojeno sa zemljom (ili je ono spojeno preko velike impedan-




| | | | |
|---|---|---|---|
| TRST | transformatorska stanica | PE | vodič zaštitnog uzemljenja |
| KP | kućni priključak | KP | komponenta za povezivanje |
| RAZD | razdjelnik | $R_A$ | uzemljenje el. instalacije |
| Wh | električno brojilo | IZP | stezaljka izjednačenja potencijala zbog udara munje |
| MUNJ | munjovod | | |
| Tip 1 | UZP-Tip 1 | F1 | glavni osigurači |
| Tip 2 | UZP-Tip 2 | F2 | predosigurači UZP-a |
| Tip 3 | UZP-Tip 3 | F3 | osigurači strujnih krugova |
| L1,L2,L3 | fazni vodiči | | |

**Slika 5. Ugradnja UZP-a u IT sustav električnog razdjela**

cije), a kućišta opreme su uzemljena. Ugradnja UZP-a u taj sustav prikazana je u slici 5. UZP-Tip 1 se priključi između faznih vodiča i sustava za izjednačenje potencijala. Za duljinu vodova i nazivne struje osigurača vrijedi sve ono što je rečeno prije. Slično se ugrađuju i UZP-Tip 2 . Za osjetljive električne uređaje mogu se koristiti isti UZP-Tip 3 kao i prije.

## 5. ZAKLJUČAK

Izbor odgovarajuće zaštite od prenapona u električnim instalacijama treba provesti prema odgovarajućim načelima uvažavajući:

- da je mjesto ugradnje UZP-Tip 1 u električnu instalaciju 1 pod nadzorom elektrodistributivnog poduzeća te se ugradnja može izvesti samo uz suglasnost tog poduzeća,
- da je iz zahtjeva na sigurnost od opasnog napona dodira potrebno naročito pažljivo izvesti izjednačenje potencijala te to povezati sa zaštitom od direktnog udara munje i u skladu s tim izvesti ugradnju UZP-a,
- da je ugradnju UZP-a potrebno provesti prema korištenom sustavu električnog razdjela u određenoj električnoj instalaciji,
- da projektirani napon UZP-a mora biti usklađen s najvećim dopuštenim pogonskim naponom mreže,
- da sposobnost odvođenja energije udarne struje UZP-a mora biti usklađena s iznosom vjerojatnih energija udarnih napona na mjestu postavljanja UZP-a u električnoj instalaciji,
- da zaštitni nivo UZP-a mora biti usklađen s otpornošću na udarna opterećenja električnih uređaja i električne opreme ugrađene u instalaciju,
- da treba promotriti posljedice na električne uređaje i električnu opremu rijetkih slučaja opterećenja s prenaponima većim od onih koji nisu predviđeni ugrađenom zaštitom od prenapona,
- da treba osigurati da ni kod normalnih ni kod nenormalnih pogonskih uvjeta električne instalacije nema nepoželjnih popratnih pojava zbog ugradnje UZP-a,
- da treba uskladiti ponašanje UZP-a kod udarnih struja s potrebnim ponašanjem uređaja za zaštitu od preopterećenja i kratkog spoja (osigurača, automatskih prekidača) i zaštitnih strujnih sklopki,
- da treba uskladiti međusobno ponašanje ugrađenih UZP-a u električnu instalaciju (tzv. koordinacija UZP-a).

Tek na taj način projektirana i izvedena električna instalacija bit će svrshishodno zaštićena od prenapona, a ugrađeni uređaji za zaštitu od prenapona povećat će raspoloživost električnih uređaja i ugrađene električne opreme.

## LITERATURA


[1] Mr. I. MATEKOVIĆ, dipl. ing.: "Procjena rizika od prenapona u električnim instalacijama", Energija br. /2003.

[2] DIN VDE 0100-443/2002-01: Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 4: Schutzmaßnahmen – Kapitel 44 : Schutz bei Überspannungen – Hauptabschnitt 443: Schutz bei Überspannungen infolge atmosphärischer Einflüsse oder von Schaltvorgängen

[3] DIN EN 61643-11/2002-12: Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung Teil 11: Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Niederspannungsanlagen – Anforderungen und Prüfungen

[4] DINV VDE V 0100-534/1999-04: Elektrische Anlagen von Gebäuden Teil 534: Aushwahl und Errichtung von Betriebsmitteln Überspannungs-Schutzeinrichtungen

[5] E Beiblatt1 zu DIN VDE 0100-534/07.1999: Elektrische Anlagen von Gebäuden, Allgemeine Grundinformationen zu Überspannungen und Schutz bei Überspannungen in Niederspannungs-Starkstromanlagen mit Wechselspannungen

[6] Katalog firme OBO Betermann: Überspannungsschutz-Systeme, Menden 2002.

[7] E DIN VDE 0675 Teil 6/1989-11, A1/1996-03, A2/1996-10: Überspannungsableiter zur Verwendung in Wechselstrom-netzen mit Nennspannungen zwischen 100 V und 1000 V

[8] Katalog firme Schupa: Hauptkatalog 2000., Schalksmühle


## APPLICATION OF OVERVOLTAGE PROTECTION EQUIPMENT IN ELECTRICAL INSTALLATIONS


Electrical equipment and appliances are divided into four groups considering impulse voltage. For all of these overvoltage categories a tolerable impulse voltage is given (as front shape value of 1,2/50$\mu$s), which the equipment or appliance has to overcome. If overvoltage risk is estimated to be greater than the costs of building the equipment into electrical installations, then protection design is done. Overvoltage design has to take into account some facts such as used system of electrical distribution, protection equipment characteristics, needs for not decreasing efficiency of short voltage and overload protection, as well as of current circuit breaker and demands of electric distribution company. Good design and realization of overvoltage protection increases the availability of electrical installations.


## ANWENDUNG DER ÜBERSPANNUNGSSCHUTZGERÄTE IN ELEKTRISCHEN ANLAGEN


Bezüglich der Stoßspannungen sind elektrische Ausrüstung und Einrichtungen in vier Bewertungsstufen eingeordnet. Jede dieser Bewertungsstufen ist durch jene Stehspannung (als Scheitelspannung der Form 1,2/50 ìs) bestimmt, welcher die Einrichtung standhalten muss. Man schreitet zum Entwerfen eines Uberspannungsschutzes zu, sollte beurteilt werden, daß das Überspannungsrisiko größer ist als Einbaukosten einer entsprechenden Schutzeinrichtung. Den Überspannungsschutz einer Stromversorgung soll man entwerfen unter Beachtung einiger

Gegebenheiten z.B. des Stromverteilungssystems, der Eigenschaften der Überspannungsschutzeinrichtung, der Verlangen nach dem unbeanträchtigten Kurzschluß- und Überlastungsschutz, sowie nach den Stromschutzschaltern, als auch den Verlangen der Stromversorgungsunternehmen. Sachgemäß entworfener und durchgeführter Überspannungsschutz vergrössert die Verfügbarkeit einer Elektroinstalation.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Ivan Matekoviċ, dipl. ing.**
**Elektrokontakt d.d.**
**Radnička cesta b.b.**
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 04 – 05.



# PRIKAZ STANJA NORMIZACIJE I REGULATIVE VEZANE UZ KOMUNICIRANJE ELEKTROENERGETSKIM VODOVIMA, PLC
## II. dio: Regulativa PLC-a

Mr. sc. Suzana J a v o r n i k  V o n č i n a, Zagreb

UDK 621.395:658.516
PREGLEDNI ČLANAK

Članak daje pregled pokušaja reguliranja uporabe PLC-a i ostalih širokopojasnih kabelskih transmisijskih mreža, uključujući prikaz principa međunarodnog reguliranja uporabe radijskih frekvencija, europskog okvira reguliranja elektromagnetske kompatibilnosti i uporabe radijskih frekvencija, te hrvatskih okvira unutar kojih će trebati dorada vezana uz reguliranje uporabe širokopojasnog PLC-a i ostalih širokopojasnih kabelskih transmisijskih mreža.

**Ključne riječi: normizacija, regulativa, PLC, PLT, elektromagnetska kompatibilnost, xDSL.**

### Uvod

U prvom dijelu serije o stanju normizacije i regulative vezane uz PLC [1] opisano je normizacijsko područje razvoja PLC-a. Dok je uskopojasni PLC zadovoljavajuće normiziran, s danas interesantnijim širokopojasnim PLC-om situacija nije takva.

Tijekom zadnjih godina razvoj digitalnih telekomunikacijskih mreža stvorio je tržište svjetskih razmjera i pokrenuo nadmetanje davatelja mrežnih usluga. Potrebe za brzinom podatkovnog komuniciranja rastu. Danas postoji jak interes da se osigura širokopojasnu komunikacijsku infrastrukturu na što brži i jeftiniji način. Između ostalog, ispituju se mogućnosti komuniciranja putem najrasprostranjenije bakrene mreže, elektroenergetske mreže. Za razliku od dugogodišnje prakse dodavanja signala frekvencije reda veličine kHz na elektroenergetske vodove koji prenose struju frekvencijom 50 Hz, danas se razmatra prenošenje širokopojasnih digitalnih signala. Dodatno korištenje već postojeće infrastrukture, kakva je npr. elektroenergetska mreža, za ostvarenje željene širokopojasne komunikacije je politički i ekonomski veoma privlačno. Ne zahtijeva polaganje novih kabela, omogućuje brži put do nuđenja usluge, a elektroprivredama osigurava dodatni prihod za infrastrukturu čiju cijenu već plaća elektroenergetska djelatnost. Nažalost, s razvojem širokopojasnog PLC-a povezane su i značajne teškoće. Postojeća elektroenergetska mreža nije osmišljena za širokopojasnu komunikaciju, što s jedne strane predstavlja značajan izazov pri razvoju tehnologije širokopojasnog PLC-a, a s druge strane unosi problem zračenja instalacije širokopojasnog PLC-a.

U rješavanju prvog problema uključen je niz proizvođača koji razvijaju vlastita rješenja za širokopojasni PLC, te niz normizacijskih organizacija čiji je rad opisan u [1]. Na normizaciji širokopojasnog PLC-a angažirane su organizacija: ETSI, CENELEC, CISPR, PLCforum i HomePLUG. Najznačajniji doprinos očekuju se od ETSI-a i CENELEC-a čiji je rad započet 2000. godine, ali se, ukupno gledano, nije odvijao prema planu te još nisu postignuti zadovoljavajući rezultati.

U područje regulative spada rješavanje drugog problema, problema zračenja instalacije širokopojasnog PLC-a. Kada se HF signali prenose električnim vodičem, stvara se elektromagnetsko polje koje može ometati radijske službe i druge komunikacijske sustave u svom okruženju. Zračenje se može ograničiti na dva načina:

- oklapanjem vodiča i
- simetričnošću vodiča.

U praksi, zbog loše izvedenog oklapanja, loše prilagodbe impedancija ili nesimetričnosti ipak dolazi do zračenja. Među danas razmatranim načinima za ostvarenje širokopojasne komunikacije uporabom postojeće kabelske infrastrukture (xDSL, CableTV, PLC), u pogledu zračenja PLC je najlošiji slučaj:

- elektroenergetski vodovi nisu oklopljeni,
- elektroenergetski vodovi nisu simetrični vodovi i
- opterećenje elektroenergetskog voda neprestano se mijenja zavisno o krajnjim uređajima priključenim na elektroenergetsku mrežu.

Zračenje sustava širokopojasnog PLC-a predstavlja najveću prijetnju normalnom funkcioniranju radijskih službi koje rade na frekvencijama do 30 MHz. Suštin-

ski, svrha reguliranja elektromagnetske kompatibilnosti je osigurati nesmetan rad telekomunikacijske i radijske opreme i drugih električnih naprava u skladu s njihovom namjenom. Elektromagnetska kompatibilnost ili snošljivost, EMC, je mogućnost naprave, uređaja ili sustava da djeluje zadovoljavajuće u svom elektromagnetskom okruženju, bez unošenja nesnošljivih elektromagnetskih smetnji na bilo što u tom okruženju. Regulativa EMC-a temelji se na normama za EMC.

Pitanje elektromagnetske kompatibilnosti instalacije širokopojasnog PLC-a pokazalo se vrlo opsežnim zadatkom, koji uz to i nadilazi pitanje samog PLC-a. Općenito, dosadašnji rad na normizaciji EMC-a nije sveobuhvatan zbog neprestanog razvoja novih elektroničkih sustava i poboljšanja performansi postojećih sustava. Dva su osnovna područja zbog kojih dolazi do novih problema vezanih uz EMC. Prvo područje je smjer razvoja tehnologija, posebice povećanje brzine takta koje povlači povećanje brzine podatkovne sabirnice i stvaranje smetnji na sve višim frekvencijama. Situaciju otežava što je istodobno prisutan trend smanjivanja napona napajanja uređaja čime oni postaju osjetljiviji na vanjske smetnje. Drugo područje razvoja koje donosi probleme vezane uz EMC je razvoj informacijskih sustava temeljenih na digitalnim prijenosnim sustavima. Komunikacijski sustavi su sve složeniji: digitalni su, radijski sustavi se osim za odašiljanje i celularne sustave koriste i za lokalno umrežavanje i osobne mreže, a razvijaju se i različiti širokopojasni kabelski sustavi, među kojima je i PLC.

Problemi vezani uz EMC do kojih dolazi pri implementaciji PLC-a srodni su problemima do kojih dolazi i kod implementacije ostalih širokopojasnih kabelskih komunikacijskih sustava, npr. xDSL-a ili kabelske televizije, čiji se rad temelji na prijenosu radijskih frekvencija žičanim medijem. Dosadašnje norme za EMC usredotočene su na EMC uređaje, a ne uzimaju u obzir način povezivanja uređaja i performanse kabela kojima su uređaji povezani, što značajno utječe na cjelokupnu zračenu emisiju u danom okruženju. Vezano uz EMC, kod PLC-a je problem dvojak: potrebno je ograničiti razinu vođenih smetnji u mreži prisutnih na ulazima uređaja, kao i ograničiti smetnje koje zrači instalacija širokopojasnog PLC-a.

Europska komisija je polovinom 2002. godine izdala Mandat 313 [2] i inicirala izradu harmoniziranih normi za emisiju i otpornost kabelskih telekomunikacijskih mreža općenito. Kao prvi korak rada po tom mandatu, zajednička radna grupa ETSI-a i CENELEC-a započela je rad na izradi općenite norme za emisiju kabelskih telekomunikacijskih mreža i općenite norme za otpornost na smetnje. U rujnu 2002. godine osnovana je grupa za specijalistički zadatak broj 222 (STF 222, Specialist Task Force 222) za podršku rada na ETSI-jevom projektu PLT [3]. S obzirom na preuzet mandat, kao i rad Grupe za specijalistički zadatak broj 222, za očekivati je da će u 2003. godini rezultati rada na normizaciji PLC-a biti daleko značajniji od dosadašnjih.

Predmet ovog članka je prikaz regulative vezane uz PLC.

Kao što je već rečeno, uporaba postojećih elektroenergetskih kabela za prijenos podataka može rezultirati neželjenim zračenjem, budući da elektroenergetski vodovi nisu ni oklopljeni ni simetrični. Neželjeno elektromagnetsko zračenje vodova korištenih za PLC može uzrokovati smetnje drugim komunikacijskim sustavima koji rade na istim frekvencijama. Problem je posebice izražen kod širokopojasnog PLC-a koji radi uz uporabu frekvencija koje koriste različite radijske službe. Postojeća regulativa ne definira dozvoljenu emisiju kabelskih sustava u frekvencijskom području od 1,6 MHz do 30 MHz koje je optimalno za rad širokopojasnog PLC-a, niti predviđa dodjelu frekvencijskih pojaseva kabelskim sustavima. Kako ove frekvencije upotrebljavaju značajni korisnici spektra, od vojske i kontrole leta, preko služba sigurnosti, do radijskog razažiljanja (engl.: *broadcasting*) i radijskih amatera, preduvjet za rad PLC-a je poštivanje regulative koja osigurava rad tih radijskih službi. Međutim, zbog specifičnosti PLC-a postojeća regulativa nije primjenjiva, te je u tijeku njena dorada.

Osim ovih pitanja regulative vezanih uz samu tehniku rada, regulativa PLC-a obuhvaća i poslovnu, tj. elektroprivrednu regulativu (pitanja načina i uvjeta spajanja na transformatorsku stanicu, korištenja prava prolaza, vlasništva nad korištenom infrastrukturom, procjene vrijednosti korištene infrastrukture, dodjeljivanja troškova i obveza i sl.) kao i zakonodavnu regulativu (pitanja vezana uz usluge koje se namjeravaju nuditi PLC-om). Međutim, članak se bavi samo regulativom vezanom uz tehniku rada PLC-a.

U nastavku je u 1. poglavlju dan prikaz principa međunarodnog reguliranja uporabe radijskih frekvencija.

U 2. poglavlju dan je prikaz europske regulative koja se odnosi na PLC. U 3. poglavlju prikazan je njemački i europski pristup reguliranju PLC-a i sličnih širokopojasnih kabelskih sustava. U 4. poglavlju dan je prikaz regulatornih okvira u Republici Hrvatskoj, unutar kojih će trebati uklopiti regulativu vezanu uz PLC i slične širokopojasne kabelske sustave. U 5. poglavlju objašnjene su sve kratice upotrijebljene u članku. Slijede zaključak, te literatura navedena redoslijedom spominjanja u članku.

## 1. MEĐUNARODNO REGULIRANJE UPORABE RADIJSKIH FREKVENCIJA

Kako je radiofrekvencijski spektar ograničeni resurs, njegova uporaba treba biti racionalna, učinkovita i ekonomična. Upravljanje radiofrekvencijskim spektrom obuhvaća različite administrativne i tehničke postupke čiji je cilj da radijske postaje različitih radijskih službi rade bez uzrokovanja ili primanja štetnih elektromagnetskih smetnji.

Međunarodna telekomunikacijska udruga, ITU, bavi se određivanjem međunarodne namjene i uvjeta uporabe radijskog spektra, te tako daje međunarodnu osnovu svake regulative vezane uz radijske frekvencije. Dio ITU-a koji regulira radijske komunikacije je ITU-R. Osnovni dokument ITU-R-a koji uređuje međunarodnu uporabu radijskih frekvencija su *Radijska pravila* [4], svojevrstan međunarodni ugovor o radiokomunikacijama. *Radijska pravila* definiraju osnovne uvjete međunarodnog uređenja radijskih frekvencija, od kojih su neki definirani općenito (npr. međunarodna tablica namjene frekvencija), a neki detaljnije (npr. postupci obvezne koordinacije, obavješćivanja i bilježenja dodijeljenih frekvencija). Preostali uvjeti (npr. postupci izdavanja dozvola, raspoloživost frekvencijskog područja za određene primjene,...) definiraju se na nacionalnim razinama. Osim uvjeta uporabe radijskog spektra, *Radijska pravila* definiraju i prava i obveze koji proizlaze iz te uporabe.

Kako su *Radijska pravila* aneks ITU-ove *Konvencije*, to su sve zemlje članice ITU-a, tj. potpisnice *Konvencije*, obvezne primjenjivati odredbe *Radijskih pravila*. Vlade zemalja članica ITU-a dužne su organizirati nacionalnu upravu (vladino ministarstvo ili služba odgovorna za provedbu obveza preuzetih *Ustavom, Konvencijom i Radijskim pravilima* ITU-a) koja treba provoditi odredbe ITU-a u svojim zemljama, kao i donositi odgovarajuće nacionalno zakonodavstvo. Kao što je navedeno u prvom dijelu ove serije [1], Republika Hrvatska članica je ITU-a od 3.6.1992. godine. Uprava za provođenje odredbi ITU-a u Republici Hrvatskoj je Ministarstvo pomorstva, prometa i veza. Osim tog ministarstva, Hrvatsku u ITU-u zastupaju i Hrvatski zavod za telekomunikacije, te Vijeće za telekomunikacije.

Dvije osnovne koncepcije na kojima se temelje međunarodna *Radijska pravila* su:

- koncepcija dodjeljivanja blokova frekvencija određenoj radijskoj službi.
- koncepcija obveznih ili neobveznih regulatornih postupaka koordiniranja, obavješćivanja i bilježenja.

Primjenom koncepcije dodjeljivanja blokova frekvencija određenoj radijskoj službi najčešće se osigurava zajednička namjena frekvencija za uzajamno kompatibilne radijske službe koje rade uz slične tehničke karakteristike u određenom dijelu spektra. Time se nacionalnim upravama, proizvođačima opreme i korisnicima osigurava stabilno okruženje za planiranje. U skladu s koncepcijom dodjeljivanja blokova frekvencija *Radijska pravila* u poglavlju S5 sadrže međunarodnu *Tablicu namjene frekvencijskih područja* (engl.: *Table of Frequency Allocation*) koja frekvencijski raspon od 9 kHz do 400 GHz dijeli na uža područja namijenjena za uporabu u 37 radijskih službi.

Razlikuju se dvije vrste namjene frekvencijskih područja:

- isključiva namjena, kad je frekvencijsko područje namijenjeno pojedinačnoj radijskoj komunikaciji, i
- zajednička namjena, kad je frekvencijsko područje namijenjeno dvjema ili većem broju radijskih službi.

U svim dokumentima ITU-a pojmovi namjena, raspodjela i dodjela u svezi s upravljanjem frekvencijskim spektrom imaju sljedeća značenja:

- Namjena frekvencijskog pojasa (engl.: *allocation*) je unos frekvencijskog područja u *Tablicu namjene frekvencijskih područja* radi uporabe u jednoj ili više zemaljskih ili svemirskih radijskih službi ili u radioastronomiji uz točno utvrđene uvjete;
- Raspodjela radijske frekvencije ili radiokanala (engl.: *allotment*) je unos označenog frekvencijskog kanala u usklađeni plan, koji je usvojila mjerodavna konferencija, za uporabu kod jedne ili više nacionalnih uprava u zemaljskoj ili svemirskoj radijskoj službi, u jednoj ili više zemalja ili zemljopisnih područja uz točno utvrđene uvjete;
- Dodjela radijske frekvencije ili radiokanala (engl.: *assignment*) je izdavanje dozvole određenoj radijskoj postaji za uporabu radijske frekvencije ili radiokanala uz točno utvrđene uvjete.

Prema tome, frekvencije su namijenjene radijskim službama (engl.: *allocation*), dodjeljuju se radijskim postajama (engl.: *assignment*), a raspodjeljuju se zemljopisnim područjima ili državama (engl.: *allotment*).

Zbog mogućnosti uporabe frekvencijskog područja u više radijskih službi, razlikuju se primarne (unos velikim tiskanim slovima) i sekundarne (unos malim tiskanim slovima) radijske službe.

Primarna radijska služba je ona čije radijske postaje mogu zahtijevati zaštitu od smetnji radijskih postaja sekundarnih radijskih službi, čak i kad su sekundarnoj službi frekvencije već dodijeljene. Zaštitu od smetnji radijskih postaja iste ili neke druge primarne radijske službe može zahtijevati samo radijska postaja kojoj su frekvencije ranije dodijeljene.

Sekundarna radijska služba je ona čije radijske postaje ne smiju prouzrokovati smetnje primarnoj radijskoj službi niti mogu zahtijevati zaštitu od smetnji primarne radijske službe nezavisno o tome kada je primarnoj radijskoj službi dodijeljeno frekvencijsko područje. Jedina zaštita koju sekundarna radijska služba može zahtijevati je zaštita od smetnji koje prouzrokuju radijske postaje iste ili druge sekundarne radijske službe kojoj su frekvencije kasnije dodijeljene.

Namjena frekvencijskih područja može biti svjetska ili regionalna. Radi određivanja namjene frekvencijskih područja svijet je podijeljen u tri regije: Regija 1 (Europa, Afrika, sjeverni dio Azije ), Regija 2 (Amerika) i Regija 3 (Australija, južni dio Azije, Japan).

Uz svaku namjenu moguće je vezivanje s numeriranim napomenama o uporabi navedenim na dnu tablice (fusnote) koje detaljnije specificiraju način određi-

vanja namjene ili uporabe frekvencija. Napomene se mogu odnositi na cijelo frekvencijsko područje ili samo na pojedinu radijsku službu.

Napomene o uporabi mogu sadržavati:

- namjenu frekvencijskog područja za uporabu u dijelovima radijske službe,
- utvrđivanje načina radijske primjene za neku radijsku službu uključivo obavijesti tehničke i uporabne prirode,
- dopune utvrđivanju civilne ili vojne uporabe,
- utvrđivanje uporabe frekvencija unutar i uzduž vodiča,
- utvrđivanje drugih primjena elektromagnetskih valova i sl.

Nakon određivanja namjene pojedinih frekvencijskih područja, moguće je izvršiti raspodjelu frekvencija ili frekvencijskih kanala, tj. dodijeliti pojedine frekvencije ili frekvencijske kanale iz frekvencijskog područja određenim radijskim službama. Konačno, pojedinoj radijskoj postaji izdaje se dozvolu za uporabu određene frekvencije ili frekvencijskog kanala.

Planiranje frekvencijskih područja putem planova raspodjele frekvencija i dodjele frekvencija predstavlja ključni mehanizam očuvanja jednakog prava pristupa ograničenim radijskim resursima svim zemljama članicama ITU-a.

Za regulativu PLC-a od suštinskog je značenja članak S15.12 *Radijskih pravila* koji propisuje sljedeće: "uprave trebaju poduzeti sve prikladne i nužne korake kako bi osigurale da rad električnih uređaja ili instalacija bilo koje vrste, uključivo energetske i telekomunikacijske distribucijske mreže, ne uzrokuje štetne smetnje radiokomunikacijskim službama, posebice službama radijske navigacije i službama sigurnosti koje se obavljaju u skladu s odredbama *Radijskih pravila*". (engl.: "*Administrations shall take all practicable and necessary steps to ensure that the operation of electrical apparatus or installations of any kind, including power and telecommunication distribution networks ... does not cause harmful interference to a radiocommunication service and, in particular, to the radionavigation or any other safety service operating with the provisions of these Regulations*")

Na ovaj se članak redovito pozivaju predstavnici radijskih službi kad lobiraju protiv PLC-a, npr. engleski BBC [5] i Međunarodna udruga radioamatera, IARU, [6].

*Radijska pravila* revidiraju se odlukom članica ITU-a na *Svjetskim konferencijama o radijskim komunikacijama,* WRC, koje se održavaju svake druge ili treće godine (posljednja je održana 2000. godine u Istanbulu, WRC-00, a sljedeća će se održati 2003. godine).

*Svjetska konferencija o radijskim komunikacijama* može:

- revidirati *Radijska pravila* i pripadne planove namjene frekvencijskih područja i raspodjele frekvencija,
- pokrenuti razmatranje bilo kojeg radiokomunikacijskog pitanja svjetskog razmjera,
- dati direktive tijelima ITU-R-a i revidirati njihove aktivnosti, te
- odrediti sadržaj budućih konferencija o radijskim komunikacijama.

Europske pripreme za WRC, koje rezultiraju zajedničkim europskim prijedlozima, koordinira *Europska konferencija pošta i telekomunikacija*, CEPT.

U sklopu ITU-R-a djeluju studijske grupe, među kojima je i studijska grupa 1 (SG 1) koja se bavi upravljanjem spektrom. Unutar nje djeluju radne grupe za tehniku (WP 1A), metodologiju (WP 1B) i praćenje spektra (WP 1C).

## 2. EUROPSKA REGULATIVA VEZANA UZ PLC

Europska zajednica započela je 1985. godine strategiju tehničkog usklađivanja na području Zajednice nazvanu "politika novog pristupa". Strategija uključuje uporabu tehničkih pravila i normi kao metode za uklanjanje barijera trgovanju unutar Zajednice. Barijere trgovanju većinom se odnose na sigurnost ljudi i proizvoda koje upotrebljavaju.

Suštinski zahtjevi koje proizvodi trebaju zadovoljiti kako bi njihova uporaba bila sigurna definiraju se u vidu direktiva obvezujućih za sve zemlje članice Europske zajednice glede rezultata koje treba postići. Direktive u pravilu donosi Europski parlament na prijedlog Europske komisije. Zemlje članice ostvaruju ciljeve definirane direktivama donoseći odgovarajuće nacionalno zakonodavstvo. Time je zakonodavstvo ograničeno na utvrđivanje suštinskih sigurnosnih zahtjeva koje trebaju zadovoljavati proizvodi u Europskoj uniji.

Dok direktive definiraju suštinske zahtjeve u kvalitativnom smislu, normizacijskim tijelima ostavljen je posao njihova kvantitativnog određivanja odgovarajućim harmoniziranim normama. Europska komisija daje mandat za izradu harmoniziranih normi europskim normizacijskim organizacijama, a to su CEN, CENELEC i ETSI. Mandat je referentni dokument za normizacijsku aktivnost kojim javni autoritet traži europsku normizacijsku organizaciju da izradi tehničku specifikaciju. Članice Europske zajednice obvezne su implementirati europske norme kao nacionalne norme i odbaciti sve nacionalne norme koje su u suprotnosti s europskim normama. Usklađenost sa suštinskim zahtjevima direktiva može se postići poštivanjem odgovarajućih harmoniziranih normi. Time je normama pridana veća važnost, te postaju temeljni faktor osiguravanja jedinstvenog europskog tržišta. Proizvođačima je olakšan pristup tržištu, jer ukoliko proizvode u skladu s harmoniziranim normama, zajamčena im je usklađenost s direktivama, a samim time i pristup

europskom tržištu. Ukoliko proizvođač proizvede proizvod u skladu s harmoniziranim normama, zemlje članice EU-a dužne su smatrati da taj proizvod zadovoljava zahtjeve zakona. Uporaba harmoniziranih normi nije obvezujuća; proizvođači mogu demonstrirati usklađenost sa zahtjevima direktive i alternativnim metodama. Međutim, obveza je proizvođača koji namjerava prodavati na europskom tržištu prepoznati koje se sve direktive odnose na njegov proizvod, te iskazati usklađenost proizvoda s tim direktivama označavanjem proizvoda oznakom CE. Slobodno kolanje proizvoda unutar Europske zajednice zajamčeno je ukoliko proizvod udovoljava zahtjevima odgovarajućih direktiva, na što ukazuje oznaka CE na proizvodu.

Pri razvoju PLC-a potrebno je voditi računa o usklađenosti uređaja sa zahtjevima Direktive o EMC-u [7], te Direktive o radijskim uređajima i telekomunikacijskim krajnjim uređajima, R&TTE, [8] koju je na prijedlog Europske komisije donio Europski parlament. Obje ove direktive pripadaju smjernicama "novog pristupa".

Donošenjem direktiva Europska komisija i Europski parlament utvrđuje regulatorne okvire za Europsku uniju.

S druge strane, tradicionalna regulatorna organizacija za područje telekomunikacija i radiokomunikacija za Europu je CEPT.

U nastavku je dan pregled direktiva Europske komisije i Europskog parlamenta koje su od važnosti za PLC, te pregled rada CEPT-a vezan uz donošenje regulative za PLC.

### 2.1. Direktiva o EMC-u

Direktiva o EMC-u [7] zahtijeva da električni proizvodi ne proizvode elektromagnetske smetnje, kao i da zbog elektromagnetskih smetnji ne dolazi do umanjivanja njihovih nazivnih značajki. Prvenstveni cilj direktive je osigurati slobodno kolanje električnih uređaja unutar Europske zajednice i osigurati prihvatljivo elektromagnetsko okruženje na europskom ekonomskom području (EU, Lihtenštajn, Island i Norveška). Direktiva se, između ostalog, odnosi na telekomunikacijske krajnje uređaje, na uređaje informatičke tehnologije i na sustave (više sprava zajedno koje čine cjelinu za ispunjavanje određene funkcije namijenjenu stavljanju na tržište kao jedna funkcijska jedinica), a ne odnosi se na instalacije (više sprava ili sustava združenih zajedno na određenom prostoru radi ispunjavanja određene funkcije, koje, međutim, nisu namijenjene stavljanju na tržište kao jedinstvene cjeline). Premda se Direktiva o EMC-u ne odnosi na instalaciju, sprave i sustavi koji čine instalaciju podliježu njenim odredbama. Amandmane za Direktivu o EMC-u sadrže tri direktive: direktiva 91/63/EEC, direktiva 92/31/EEC, te direktiva 93/68/EEC.

Europska komisija je CENELEC-u dodijelila mandat za izradu harmoniziranih normi o EMC-u za telekomunikacijske krajnje uređaje, a ETSI-u mandat za izradu harmoniziranih normi o EMC-u za telekomunikacijske mrežne uređaje, te za radijske uređaje i sustave. Prema tome, u EU-u su ograničenja vezana uz elektromagnetsku kompatibilnost definirana normama. Na temelju preuzetih mandata, organizacije ETSI i CENELEC izradile su niz harmoniziranih normi vezanih uz EMC, koje često pokrivaju samo određeni vid EMC-a, npr. samo otpornost na smetnje, samo emisiju na niskim frekvencijama i slično. Zbog toga je za udovoljavanje suštinskim zahtjevima Direktive o EMC-u često potrebna usklađenost s nizom normi.

1998. godine je Direktiva o EMC-u uključena u fazu III programa pojednostavljivanja zakonodavstva za jedinstveno europsko tržište, te je 1999. godine formirana radna grupa za isto [9]. Rezultat rada ove radne grupe je nekoliko nacrta buduće direktive koji još uvijek imaju status radnih dokumenata. Jedna od važnijih promjena je definiranje režima za fiksne instalacije, što uključuje definiranje zasebnih odrednica i suštinskih zahtjeva za fiksne instalacije koje mogu uzrokovati elektromagnetske smetnje ili mogu biti podložne elektromagnetskim smetnjama.

Zadnjih godina razvijaju se tehnologije uporabe kabelskih mreža za širokopojasne komunikacije, te se postavlja pitanje EMC-a takvih fiksnih instalacija. Europska komisija je zbog razmatranja tog problema tijekom 2000. godine i 2001. godine organizirala niz radnih sastanaka. Najznačajniji je održan 5. ožujka 2001. godine u Bruxellesu i na tom su sastanku sudjelovali predstavnici nekoliko nacionalnih regulatora, predstavnici NATO-a, BBC-a, Deutsche Telekoma, policije, te radijskih amatera. Istaknuto je da PLC nije radijska usluga te ne povlači pitanje reguliranja uporabe spektra, kao i da je u Europskoj zajednici pitanje definiranja ograničenja vezanih uz EMC povjereno normizacijskim tijelima. Ukoliko normizacijski mehanizmi ne djeluju, Europska komisija može dodijeliti poseban mandat kako bi pokušala riješiti problem.

Nakon sagledavanja problema, Europska komisija je u listopadu 2001. godine CENELEC-u i ETSI-u proslijedila Mandat 313 za izradu i usvajanje harmoniziranih normi koje će definirati zahtjeve za EMC telekomunikacijskih mreža (emisija i otpornost na smetnje) ostvarenih energetskim kabelima, koaksijalnim kabelima i telefonskim paricama [2]. Zajednička radna grupa CENELEC-a i ETSI-a osnovana u siječnju 2000. godine za rad na ETSI-jevom projektu o PLC-u već se bavila ovom problematikom, te je imenovana kao zajednička radna grupa za EMC vodljivih prijenosnih mreža (JWG on EMC of Conducted Transmission Networks) i određena za izradu jedinstvene europske harmonizirane norme o EMC-u kabelskih mreža u skladu sa zahtjevima iz Mandata 313. Kako se ova harmonizirana norma treba odnositi samo na mreže (i to na mreže svih informatičkih i komunikacijskih tehnologija), a ne i na proizvode, ta norma neće biti os-

nova za stavljanje oznake CE na proizvode koji se spajaju na mreže. Norma treba definirati ograničenja emisije i načine ispitivanja za utvrđivanje zadovoljavanja suštinskih zahtjeva iz Direktive o EMC-u. Mandat traži uvažavanje postojećih tehničkih specifikacija, uključivo i međunarodne specifikacije, gdje god bude moguće, kao i uvažavanje postojećih harmoniziranih normi za proizvode ukoliko će se ti proizvodi spajati na mrežu, te naglašava potrebu zaštite frekvencija koje koriste službe sigurnosti i službe žurnosti. Rezultat rada treba biti sveobuhvatan, tehnološki neutralan skup normi koji osigurava koherentno rješenje. Krajem 2001. godine zagovornici PLC-a su se zalagali za prihvaćanje američkog ograničenja emisije [10], koje ima 10 dB do 20 dB više granice, predstavnici bivših telekomunikacijskih monopolista za prihvaćanje njemačkog ograničenja ili 10 dB viših vrijednosti, dok su se predstavnici radijskih službi zalagali za ograničenja barem 20 dB niža od njemačkih.

Nacrt norme o EMC-u kabelskih mreža očekivao se u jesen 2002. Međutim, zajednička radna grupa nije uspjela doći do konsenzusa među različitim gledištima vezanim uz ograničenje emisije, pa tako predmetna harmonizirana norma za mreže nije napravljena do planiranog roka. Među predstavnicima radioamatera smatra se da je Europska komisija vrlo sklona PLC-u kao perspektivnom načinu ostvarivanja tržišnog nadmetanja, dok su joj radijske službe za kratkovalno razašiljanje (engl.: *broadcasting*)i radioamateri koji koriste kratkovalni dio frekvencijskog spektra manje značajni [11], te da se zalaže za prihvaćanje viših ograničenja kakva su prihvatljivija prestavnicima PLC-industrije. U prilog tome, na sastanku Europske komisije u siječnju 2003. vezano uz PLC istaknuto je da nacionalne uprave nisu primile službene prigovore na rad širokopojasnog PLC-a, premda je u tijeku čitav niz probnih instalacija u većini europskih zemalja [11].

Nakon izrade nacrta harmonizirane europske norme za EMC telekomunikacijskih mreža, namjerava se obraditi moguće posebne vidove emisije za neke vrste obuhvaćenih mreža (npr. već postoji norma za mreže kabelske televizije), te pitanje otpornosti na smetnje [2].

Svrha normi koje će se definirati po Mandatu 313 je prvenstveno uporaba u slučaju prigovora (engl.: *enforcement standards*). U roku od šest mjeseci od prihvaćanja europskih normi za ograničavanje emisije telekomunikacijskih mreža napravljenih pod mandatom 313, zemlje članice EU-a trebat će odbaciti i ukinuti sve nacionalne norme koje će biti u suprotnost i s tim normama [2].

### 2.2. Direktiva o radijskim uređajima i krajnjim telekomunikacijskim uređajima

Direktiva o radijskim uređajima i krajnjim telekomunikacijskim uređajima, R&TTE [8], definira uvjete za stavljanje radijskih i krajnjih telekomunikacijskih uređaja na europsko tržište, kao i za njihovo slobodno kolanje i instaliranje unutar EU. Stupila je na snagu u travnju 2000. godine i zamijenila dotadašnji sustav osiguravanja kakvoće ispitivanjem treće strane ili oslanjanjem na proizvođačev sustav osiguravanja kakvoće. Prije ove direktive se za svaku zemlju u kojoj se određeni radijski uređaj namjeravao upotrebljavati prethodno moralo ishoditi tipsko odobrenje. Ovom su direktivom uklonjeni svi postojeći nacionalni postupci odobravanja radijske opreme, definirani su općeniti zahtjevi za sve uređaje i posebni zahtjevi zavisni o prirodi uređaja, te navedeni svi bitni zahtjevi u pogledu zdravlja i sigurnosti iz Direktive o niskom naponu koji se odnose na radijske uređaje i krajnje telekomunikacijske uređaje, kao i zahtjevi u svezi sa zaštitom iz Direktive o EMC-u.

Usklađenost s ovom direktivom moguće je postići pridržavanjem odredbi iz pripadnih harmoniziranih normi, koje definiraju tehnička svojstva potrebna za postizanje suštinskih zahtjeva iz direktive. Europska komisija zadužila je Europski institut za telekomunikacijske norme, ETSI, da izradi harmonizirane norme za ovu direktivu.

Uporaba radijskih uređaja i krajnjih telekomunikacijskih uređaja podložna je licenciranju ili nekom drugom načinu ograničavanja jedino kad je u pitanju uporaba frekvencija, rizik interferencije ili zdravlje građana.

Direktiva proizvođačima pojednostavljuje pristup tržištu, veći naglasak stavlja na nadzor tržišta i odgovornost proizvođača, te ima značajan utjecaj na zemlje članice EU-a, kao i na sadašnji i budući način uređivanja radijske regulative unutar CEPT-a. Preduvjet da sve prednosti Direktive dođu do izražaja je harmonizacija uporabe frekvencijskog spektra, te uspostava primjerenog nadzora tržišta.

### 2.3. Doprinos CEPT-a u donošenju regulative vezane uz PLC

Europska konferencija Uprava pošta i telekomunikacija, CEPT, utemeljena je 1959. godine kao organizacija tradicionalnih monopolističkih poduzeća za poštu i telekomunikacije. 1988. godine su aktivnosti na normizaciji telekomunikacija preseljene u ETSI. Danas je CEPT organizacija s regulatornom funkcijom u kojoj djeluju administracijske organizacije iz 44 zemlje. Hrvatsku u CEPT-u zastupa Zavod za telekomunikacije.

Pitanjima vezanim uz reguliranje radiokomunikacija i telekomunikacija bavi se CEPT-ov odbor ECC, nastao u rujnu 2001. godine spajanjem prijašnjih odbora ERC i ETC.

Unutar ECC-a djeluje radna grupa za inženjering frekvencijskog spektra, SE, koja donosi tehničke upute vezane uz učinkovitu uporabu radijskog spektra i definira kriterije uporabe istog frekvencijskog pojasa za potrebe različitih radiokomunikacijskih sustava.

CEPT-ova uloga u pogledu PLT-a je dvojaka: na međunarodnoj sceni usklađuje stajalište glede PLC-a s

ITU-om, a na europskoj u tom smislu surađuje s ETSI-em i CENELEC-om.

CEPT razmatra problematiku PLT-a od 1999. godine, kad je britanska uprava radnoj grupi SE prezentirala rad vezan uz probnu instalaciju PLC-a u području Manchestera u kojem upozorava na moguće ometanje radijskih službi [12]. U svibnju iste godine CEPT je nacionalnim upravama razaslao upitnik o PLT-u kojim se traži i prijedlog načina regulacije PLC-a, te prijedlog aktivnosti CEPT-a glede PLT-a. Dobiveno je 9 odgovora (Mađarska, Velika Britanija, Švicarska, Norveška,...) s različitim stajalištima: donositi harmonizirane norme prema EMC smjernici, definirati posebna ograničenja na nacionalnoj ili CEPT razini ili primijeniti neki treći način [13]. Zajednički stav administratora bio je da u okviru CEPT-a treba izraditi studiju o usklađenosti PLT-a i radijskih službi, te definirati zajedničko, CEPT-ovo, gledište na PLT. Uočeno je da i ostali kabelski komunikacijski sustavi, kao što su xDSL i kabelska televizija, mogu ometati radijske službe.

Krajem 1999. godine CEPT se opredijelio [14] za postavljanje općenitog ograničenja za cijeli razmatrani frekvencijski pojas, a protiv tzv. koncepcije "dimnjaka" koja zagovara značajno višu granicu dozvoljenog zračenja u nekoliko uskih frekvencijskih pojaseva, kakvu je, između ostalih, zagovarala tvrtka Siemens.

Kako bi se mogle odrediti granice zračenja za PLT i slične kabelske komunikacijske sustave dostatne za zaštitu radijskih službi koje koriste HF pojas, potrebno je poznavati potrebe tih službi. S obzirom da je zadaća CEPT-a informirati normizacijska tijela o potrebnom načinu zaštite radijskih službi, početkom 2000. godine CEPT-ova radna grupa za upravljanje frekvencijama, WG FM (Frequency Management), zadužena je za izradu izvješća o uporabi HF frekvencijskog pojasa u zemljama CEPT-a [14].

Izvješće [15] je napravljeno prema odgovorima dobivenim na temelju upitnika razaslanog nacionalnim upravama i zainteresiranim stranama (i prihvaćen nešto prije svibnja 2001. godine). Radijske službe koje rade na tim frekvencijama danas uglavnom upotrebljavaju analognu tehnologiju i njihova je uporaba u laganom opadanju. Očekuje se uvođenje digitalne tehnologije i značajan porast uporabe. Istaknuto je da dio službi koje upotrebljavaju razmatrani frekvencijski pojas sadrži elemente zaštite sigurnosti ljudskih života, a dio upotrebljava policija, zbog čega je obvezna njihova zaštita od interferencije s drugim službama ili tehnologijama koje rade na istim frekvencijama. Zaključeno je da s obzirom na opseg uporabe ovih frekvencijskih pojaseva, nema mogućnosti za dodjelu određenih frekvencija neradijskim prijenosnim komunikacijskim sustavima, kakav je PLC.

Uz to, radna grupa FM ističe da prema regulativi na snazi nema mogućnosti za dodjelu frekvencijskog spektra PLT-u budući da se PLT aplikacije ne mogu smatrati radijskim službama. Međutim, napominju kako postoji mogućnost promjene regulative na sljedećem WRC-u kako bi se riješio problem reguliranja PLT-a i kabelskih komunikacijskih sustava općenito [13].

Slično stajalište je zauzela i Europska komisija koja smatra da PLT nije radijska komunikacija te ne spada pod odredbe Direktive o R&TTE, već pod odredbe Direktive o EMC-u [15]. Dio CEPT-ovih članica (npr. britanska) nije podržao takvo gledište na PLT.

Zbog važnosti problematike PLT-a, predloženo je i prihvaćeno osnivanje projektne grupe za PLT i kabelske komunikacijske sustave općenito, te je u veljači 2000. godine osnovana projektna grupa SE35 pod nazivom "Power Line Telecommunications (PLT) and cable transmission in general" [15]. Za aktivno sudjelovanje u radu grupe SE35 prijavile su se uprave 10 zemalja, među kojima i Hrvatska.

Zadaci radne grupe SE35 su:

- prikupiti podatke o stajalištu korisnika spektra s jedne strane, te zagovornika PLT-a i kabelskih komunikacijskih sustava općenito s druge,
- prepoznati frekvencijski pojas prikladan za sadašnji i budući rad PLT-a,
- prepoznati službe na koje bi mogao utjecati rad PLT-a i kabelskih komunikacijskih sustava općenito, te procijeniti stupanj zaštite potreban za te službe,
- istražiti načine mjerenja zračenja uzrokovanog radom PLT sustava i kabelskih komunikacijskih sustava općenito,
- procijeniti koje su granične vrijednosti zračenja PLT sustava i kabelskih komunikacijskih sustava općenito dostatne za prihvatljivu razinu zaštite primarnih radijskih službi,
- predložiti harmonizirani europski pristup vezano uz PLT sustave i kabelske komunikacijske sustave općenito,
- izraditi izvješće koje će obuhvatiti različite vidove problematike PLT-a i biti osnova za utemeljene rasprave na europskoj razini,
- usko surađivati s odgovarajućim normizacijskim tijelima nadležnim za EMC, te s ITU-R radnim grupama WP 1A (ograničenja) i WP 1C (mjerenja).

U proljeće 2000. godine grupa SE 35 započela je izradu izvješća o PLT-u i kabelskim komunikacijskim sustavima, općenito vezano uz interferenciju s radijskim službama (engl.: *PLT, cable transmission in general, and their effect on radiocommunication services*) [16]. Rezultati rada CEPT-a tijekom 2000. uključuju elaboriranje postupaka mjerenja zračenja temeljenih na britanskom i njemačkom prijedlogu, izradu teoretskih proračuna za združeno djelovanje velikih PLT ili kabelskih komunikacijskih instalacija, prikupljanje i ana-

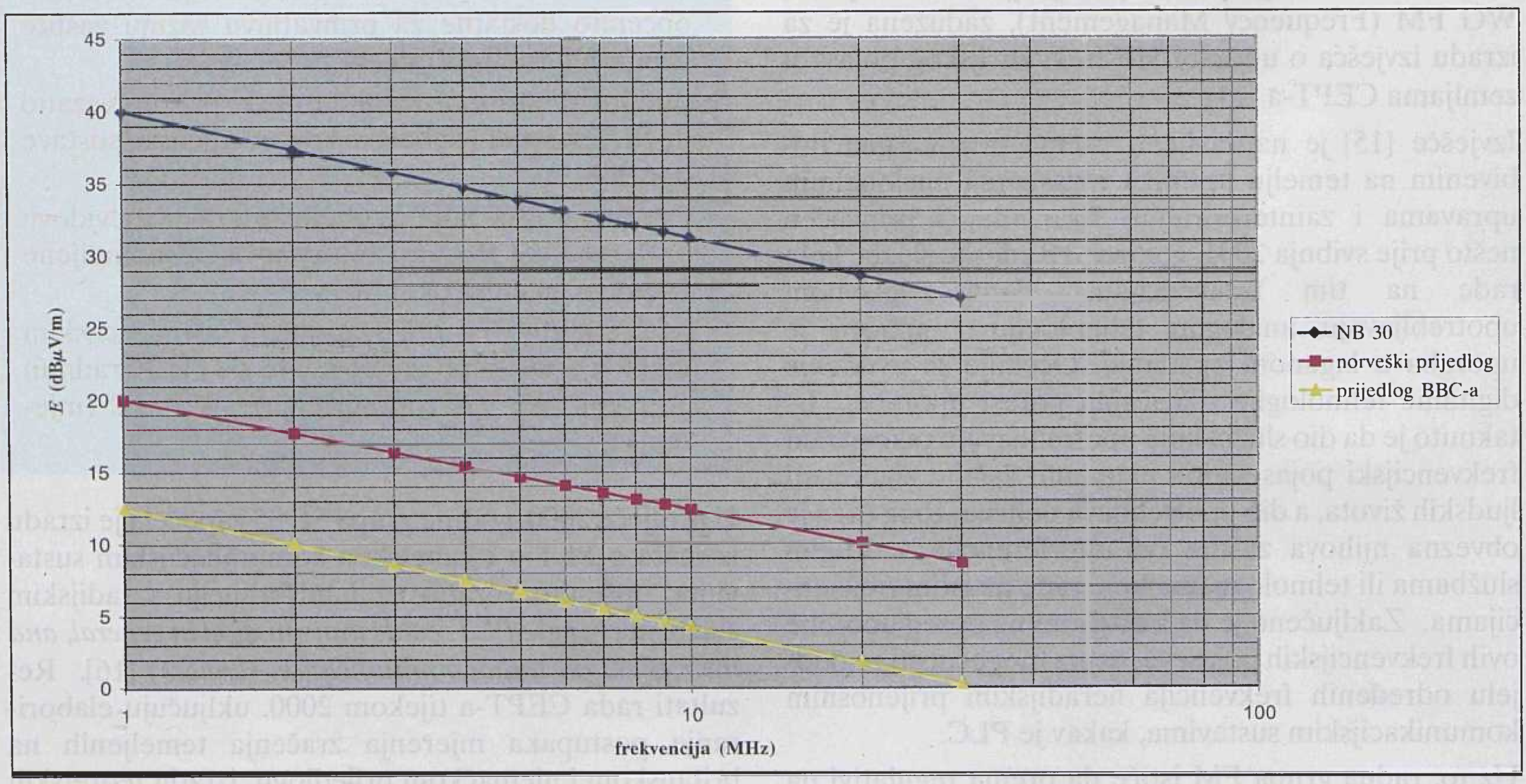
lizu rezultata opsežne studije provedene u Švicarskoj koja je uključivala i mjerenja i proračune vezano uz ponašanje električnih linija na udaljenom kraju, te razmatranja vrijednosti za parametar K (omjer unesene snage i rezultirajućeg polja na određenoj udaljenosti) temeljena na mjerenjima provedenim na velikom broju PLT instalacija.

Početkom 2001. godine CEPT se opredijelio za izradu preporuke o ograničavanju zračenja kabelskih prijenosnih mreža (engl.: *Recommendation on radiation limits for cable transmission networks*), kao načina reguliranja dozvoljenog zračenja kabelskih komunikacijskih sustava (a ne odluke, jer bi donošenje odluke moglo izazvati kontradikcije s europskim direktivama) [17]. U preporuci će se pozvati ETSI i CENELEC da predložena ograničenja preuzmu u odgovarajućim normama za EMC, te ovu preporuku treba shvatiti kao općeniti vodič nacionalnim upravama pri razvoju normi unutar ETSI-a i/ili CENELEC-a. Preporuka bi trebala definirati općenito ograničenje za cijeli frekvencijski pojas, bilo konstantno, bilo ovisno o frekvenciji, s tim da se nacionalnim upravama dozvoli stanoviti stupanj prilagođavanja nacionalnoj situaciji. Istaknuta je važnost definiranja razumnih ograničenja koja će omogućiti rad PLC-a i drugih kabelskih širokopojasnih mreža, ali i odgovarajuće zaštititi korisnike frekvencijskog spektra, kao i definiranja načina mjerenja, gdje se većina nacionalnih uprava priklanja njemačkom prijedlogu. Preporuku će trebati proslijediti radnoj grupi SE, a nastavno zajedničkoj radnoj grupi ETSI-a i CENELEC-a.

Krajem 2001. godine zaključeno je da za neke službe (radi se o ograničenom broju službi sigurnosti i zaštite ljudskih života) treba osigurati veću zaštitu, što je moguće s obzirom da uređaji za kabelske komunikacijske sustave mogu smanjiti zračenje u određenim frekvencijskim pojasevima, ali da nije prikladno zbog takvih službi postaviti strože zahtjeve na cjelokupni razmatrani spektar [18]. Ograničenja zračena definirana su u Dodatku 1 preporuke, s tim da je dano nekoliko opcija ograničenja.

Njemačka, Norveška, Velika Britanija i Finska i dalje inzistiraju na važnosti donošenja jedinstvene preporuke za sve mreže, s tim da naglašavaju posebnu hitnost donošenja regulative za PLT i DSL, kao i poteškoće u definiranju regulative za kabelsku televiziju [19]. S obzirom na to i vrlo neusklađenu regulativnu situaciju na europskoj razini za frekvencije iznad 30 MHz, odlučeno je da se radi hitnosti u prvoj verziji CEPT-ove preporuke definiraju ograničenja za frekvencije ispod 30 MHz i to bez obuhvaćanja ograničenja za kabelsku televiziju. Uz takav opseg, većina uprava podržava njemački prijedlog ograničenja zračenja, ali zaključeno je da je potrebno daljnje razmatranje problematike [19].

Početkom 2002. godine radna grupa SE35 predala je SE-u nacrt preporuke ograničen na frekvencije do 30 MHz [20]. Nakon razmatranja predloženih opcija za ograničenje emisije danih u dodatku 1 preporuke (vidi sliku 1), SE nije mogao donijeti odluku koju opciju izabrati, te je zatražio SE35 da nastavi rad, a ETSI ERM i JWG ETSI/CENELEC obavijestio o tijeku rada na izradi preporuke, te razmatranim gornjim i donjim vrijednostima ograničenja dozvoljenog zračenja [20]. Sredinom 2002. godine, grupa SE35 je razmatrala zadnji nacrt preporuke koji sadrži njemački i norveški (zalaže se za 20 dB niže ograničenje emisije od njemačkog prijedloga) prijedlog ograničenja




**Slika 1. Prijedlozi ograničenja emisije u frekvensijskom području od 1 MHz do 30 MHz prema Dodatku 1 Nacrta CEPT-ove preporuke o ograničavanju zračenja kabelskih prijenosnih mreža s početka 2002. godine**

emisije. Unatoč dugoj raspravi, usklađivanje stajališta glede ograničenja emisije nije uspjelo, te je od ECC-a zatraženo posredovanje glede daljnjeg postupka [21]. Zaključeno je da bez obzira na to kakvu će odluku ECC donijeti, SE35 više neće raspravljati o ograničenju emisije [22]. Nakon razmatranja nacrta harmonizirane norme koji je izradila zajednička radna grupa ETSI-a i CENELEC-a po Mandatu 313, odlučeno je da CEPT izloži svoje viđenje problematike kroz nacionalne odbore CENELEC-a i ETSI-a [21]. Također, sredinom 2002. godine grupa SE35 zatražila je radnu grupu za praćenje spektra unutar CEPT-ove grupe FM, FM PT 22, da prati kampanje mjerenja praga smetnji za frekvencije niže od 30 MHz, započete radi provjere vrijednosti sadržanih u preporuci ITU-R Rec. P. 372-7 iz 70-tih godina prošlog stoljeća [22]. FM 22 je u studenom 2002. godine organizirala jednodnevno mjerenje, o kojem se izvješće očekuje sredinom 2003. godine [23]. U veljači 2003. godine unutar CEPT WG SE prihvaćeno je izvješće o PLT-u i kabelskim komunikacijskim sustavima općenito vezano uz interferenciju s radijskim službama, te je poslano na daljni postupak [23].

Vezano uz aktivnosti u CISPR glede PLC-a, grupa SE35 ističe potrebu usklađivanja ograničenja zračenja za mreže kao cjeline (u području rada JWG ETSI/CENELEC) s ograničenjem zračenja za uređaje (u području rada CISPR-a).

## 3. NACIONALNA REGULATIVA VEZANA UZ PLC

Od europskih zemalja na području reguliranja uporabe radijskih frekvencija u telekomunikacijskim kabelskim sustavima kakav je PLC najaktivnije su Njemačka i Velika Britanija. Te su zemlje odlučile nacionalnim zakonodavstvom definirati ograničenja zračene emisije širokopojasnih telekomunikacijskih kabelskih sustava radi njihovog što ranijeg uvođenja.

U Njemačkoj su propisi o ograničenji emisije telekomunikacijskih uređaja i mreža doneseni u ožujku 2001., a već u srpnju iste godine je tvrtka RWE Powerline komercijalno ponudila PLC usluge. Infrastrukturu su izgradili opremom proizvođača Ascom Powerline. U međuvremenu su se obje tvrtke povukle iz PLC-a.

### 3.1. Njemačka regulativa vezana uz PLC

U Njemačkoj je Parlament 30. ožujka 2001. godine odobrio tri propisa kojima se regulira uporaba frekvencija:

- FreqBZPV – Frequenzbereichszuweisungsplanverordnung,
  Propis o planu namjene frekvencijskih područja,
- FreqNPAV – Frequenznutzungsplanaufstellungsverordnung,
  Propis o planu raspodjele frekvencija, te
- FreqZutV – Frequenzzuteilungsverordnung,
  Propis o dodjeli frekvencija.

Uvid u tekst ovih propisa moguć je na Internet-stranici njemačkog Ministarstva za privredu i ekonomiju (njem.: *Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie*), www.bmwi.de, preko stranice njemačkog nezavisnog regulatornog tijela za telekomunikacije i poštu (RegTP), http://www.regtp.de/tech_reg_tele/start/fs_06.html.

Ovi propisi daju korisnicima frekvencija i nadležnim upravama nužnu pravnu sigurnost pri planiranju rada.

Propis o planu namjene frekvencijskih područja regulira namjenu frekvencijskih područja za uporabu u pojedinačnim radijskim službama kao i za uporabu u drugim primjenama elektromagnetskih valova unutar Savezne Republike Njemačke. Detaljnije je opisan u točki 3.1.1. Propis regulira uporabu frekvencija unutar i uzduž vodiča čime pruža sigurnu osnovu za razvoj inovativnih širokopojasnih pristupnih telekomunikacijskih tehnologija, kakva je PLC, što je detaljnije opisano u točki 3.1.2.

Plan namjene frekvencijskih područja detaljnije se razrađuje Planom raspodjele frekvencija, dok se konkretna uporaba frekvencija, kao i uvjeti uporabe, utvrđuje dodjelom frekvencija prema Propisu o dodjeli frekvencija.

Ova tri nova propisa omogućuju da se na međunarodno i nacionalno dodijeljenim frekvencijama mogu ponuditi ne samo radijski programi, već i medijske i telekomunikacijske usluge, čime je njemačko zakonodavstvo učinilo značajan korak prema informacijskom društvu.

Zadatak je regulatornih tijela na osnovi zakonski utvrđenih postupaka omogućiti uporabu frekvencija u skladu s ovim trima propisima.

#### 3.1.1. *Propis o planu namjene frekvencijskih područja*

Na temelju ITU-ovog međunarodnog Plana namjene frekvencijskih područja napravljen je propis o njemačkom nacionalnom Planu namjene frekvencijskih područja, kojim se međunarodne pretpostavke uporabe frekvencijskih područja prilagođavaju stanju na njemačkoj nacionalnoj sceni. Plan namjene frekvencijskih područja ne postavlja samo parametre i detalje uporabe frekvencija u slobodnom prostoru, već regulira i uporabu frekvencija unutar i uzduž vodiča.

Privitak Propisu je Plan namjene frekvencijskih područja. Plan obuhvaća frekvencijski spektar od 9 kHz do 275 GHz i namjenu frekvencijskih područja za uporabu u 37 radijskih službi.

Plan je napravljen u obliku tablice s četiri stupca: prvi sadrži numeraciju unosa, drugi pojedinačno frekvencijsko područje, treći radijsku službu kojoj je frekvencijsko područje namijenjeno, a četvrti oznaku odnosi li se namjena frekvencijskog područja na civilnu (ziv) ili vojnu (mil) uporabu, ili oboje (ziv, mil). Tablični oblik preuzet je iz međunarodnog Plana raspodjele frekvencijskih područja.

Drugi i treći stupac može se dopuniti pozivanjem na napomene o uporabi navedene na kraju tablice. Napomene o uporabi mogu se odnositi na cijelo frekvencijsko područje ili samo na pojedinu radijsku službu koja upotrebljava frekvencijsko područje.

Napomene o uporabi spadaju u dvije kategorije: prvu i drugu. Prva kategorija napomena o uporabi (D56 do D560) temelji se na odgovarajućim napomenama iz međunarodnog Plana namjene frekvencijskih područja (S5.56 do S5.560). Budući da sve međunarodne napomene nisu relevantne za nacionalnu razinu, neke nisu preslikane te su pripadni Dxx brojevi ostali neupotrijebljeni. Druga kategorija napomena (1 do 30) je čisto nacionalnog podrijetla; u ovu kategoriju između ostalih spada i napomena o uporabi frekvencija unutar i uzduž vodiča, NB 30, koja je detaljnije objašnjena u poglavlju 3.1.2.

Propis o planu namjene frekvencijskih područja sadrži i definicije pojmova upotrijebljenih u planu, koje su također preuzete iz međunarodnog plana uz izvjesnu prilagodbu nacionalnim uvjetima.

Za službu radija, kao i službu radija putem satelita izabrana je otvorena definicija, jer je uzeta u obzir predstojeća digitalizacija prijenosa za ove obje službe. Međunarodne definicije tih službi ostavljene su pod slovom "a", dok se pod slovom "b" definiraju kao radijske službe čija uporaba radijskih frekvencija ima ista tehnička obilježja kao i uporaba definirana pod slovom "a", kojoj se daje prioritet. Na taj način otvorena je mogućnost uporabe stalnih frekvencija i za druge elektroničke ponude s tim da je ostavljen prioritet potrebama za frekvencijama vezanim uz radijske programe. Prema tome, na frekvencijama upotrijebljenim za službu radija sad je moguća ponuda interaktivnih višemedijskih primjena, kao i pokretnog i nepokretnog pristupa Internetu.

### 3.1.2. *Njemačka napomena o uporabi broj 30, NB 30 (Nutzungsbestimmung 30)*

Njemački Zakon o telekomunikacijama [24] određuje da Plan namjene frekvencijskih područja treba sadržavati i odrednice o uporabi frekvencija unutar i uzduž vodiča, ukoliko je to potrebno radi osiguravanja učinkovite i neometajuće uporabe frekvencija. Za pripadna frekvencijska područja treba zadovoljiti prostorne, vremenske i ostale odrednice čije je pridržavanje preduvjet nesmetanosti uporabe frekvencija unutar i uzduž vodiča.

Nesmetanost uporabe znači da u pojedinačnom slučaju uz pridržavanje propisanih odrednica nije potrebna nikakva druga regulativa. Ukoliko ipak dođe do elektromagnetskih smetnji, potrebno je postupiti prema odredbama zakona o elektromagnetskoj usklađenosti uređaja.

Potreba reguliranja uporabe frekvencija unutar i uzduž kabela proizlazi iz nepostojanja ili ograničenosti zaštitnog djelovanja kabela koje rezultira neželjenim zračenjem dijela energije prenošene sustavom, te nastavno ometanjem radijskih sustava koji rade na istoj frekvenciji. Danas je regulacija uporabe frekvencija unutar i uzduž vodiča posebice potrebna, jer su u razvoju postupci primjene neoklopljenih kabela za telekomunikacijski prijenos širokopojasnih digitalnih podatkovnih tokova, kakve koriste PLC i xDSL tehnike.

Napomena o uporabi NB 30 odnosi se na frekvencijski spektar od 9 kHz do 3100 MHz.

Nesmetana uporaba frekvencija od 9 kHz do 3100 MHz unutar i uzduž kabela dozvoljena je ukoliko su zadovoljena sljedeća dva uvjeta:

- upotrebljavaju se frekvencije iz frekvencijskih područja koja ne upotrebljava nijedna služba sigurnosti (služba sigurnosti je svaka radijska služba namijenjena stalnoj ili povremenoj zaštiti ljudi i imovine),
- na mjestu uporabe, kao i uzduž duljine kabela na udaljenosti do 3 metra od telekomunikacijskih uređaja ili mreže, vršna snaga smetajuće emisije zbog uporabe frekvencija unutar i uzduž vodiča ne smije prijeći definirane vrijednosti (vidi tablicu 1); s tim da se mjerenje jakosti smetajućeg polja obavlja u skladu s njemačkim propisom o mjerenju [25] napravljenim prema važećim EMC-normama.

**Tablica 1. Ograničenja emisije telekomunikacijskih uređaja i telekomunikacijskih mreža prema njemačkoj napomeni NB 30**

| Frekvencija u MHz | Granična vrijednost jakosti polja smetnje na udaljenosti 3 metra u dBμV/m |
|---|---|
| 0,009 do 1 | 40-20*log(f [MHz]) |
| iznad 1 pa do 30 | 40-8,8*log(f [MHz]) |
| iznad 30 pa do 1000 | 27 |
| iznad 1000 pa do 3000 | 40 |

Ograničenje emisije definirano je frekvencijski zavisno radi prilagođavanja karakteristikama smetnji prisutnih u okruženju.

Odrednice o graničnim vrijednostima snage smetajućeg zračenja sprečavaju nedopušteno visoku razinu smetnji za velik broj radijskih primjena, ali ne i za primjene kojima je zbog njihove posebne svrhe i posebnih uvjeta uporabe potrebna posebna zaštita (sve radijske službe sigurnosti, kao i određene primjene u pomorskoj pokretnoj službi i pomorskoj radionavigacijskoj službi). Zbog toga su frekvencijska područja kojima se upotrebljavaju takve službe izuzeta iz odredbe o nesmetanoj uporabi (npr. frekvencijsko područje za uporabu u zrakoplovnoj radionavigacijskoj službi: 74,8 MHz - 75,2 MHz, ili frekvencijsko područje za uporabu u zrakoplovnoj radijskoj službi: 117,975 MHz - 137 MHz).

Odluku za koje će sve radijske službe vrijediti posebne zaštitne odredbe u smislu prvog uvjeta za nesmetanu

uporabu frekvencija unutar i uzduž vodiča donosi regulacijsko tijelo za telekomunikacije i poštu uz sudjelovanje zainteresiranih predstavnika radijskih službi u okviru Plana raspodjele frekvencija ili dodjele frekvencija.

Granične vrijednosti jakosti polja smetnji iz tablice 1 su, barem za frekvencijsko područje ispod 30 MHz, privremene. Odabrane su tako da se zbog uporabe frekvencija u kabelskim sustavima uz normalne uvjete rada onemogući neprimjereno ometanje radijskih primjena, a da se istodobno novim telekomunikacijskim kabelskim tehnologijama u samom početku omogući razvoj. Promatranjem praktičnih rezultata uporabe frekvencija unutar i uzduž kabela i postupaka mjerenja, odredit će se mogu li se ograničenja promijeniti (ukoliko nema ometanja, može se možda dozvoliti viša razina smetnji zbog uporabe frekvencija unutar i uzduž kabela), odnosno moraju li se promijeniti (ukoliko će unatoč poštivanja ograničenja doći do neprihvatljivog ometanja radijskih službi, potrebno je pooštriti ograničenja).

Frekvencijsko područje iznad 3 GHz nije obuhvaćeno definicijom nesmetane uporabe, jer nije bilo moguće odrediti granične vrijednosti polja smetnji za te frekvencije, budući se još ne upotrebljavaju u kabelskim sustavima.

Pridržavanje uvjeta iz ove napomene trebalo bi onemogućiti ometanje radijske službe zbog uporabe frekvencija unutar i uzduž vodiča.

U interesu novih tehnologija koje upotrebljavaju frekvencije ispod 30 MHz od sušinskog je značenja da im regulatorni okvir što je moguće ranije pruži pravnu i plansku sigurnost. Zbog toga su ograničenja za primjene na frekvencijama ispod 30 MHz stupila na snagu 1. srpnja 2001. godine, dok za frekvencije iznad 30 MHz stupaju na snagu 1. srpnja 2003. godine.

Sustavi koji upotrebljavaju frekvencije iznad 30 MHz i čiji uređaji ne zadovoljavaju ograničenja iz napomene dana u tablici 1, morat će iste poboljšati ili zamijeniti najkasnije do 1. srpnja 2003. U prijelaznom razdoblju do tada smetnje izazvane takvim uređajima izbjegavat će se privremenom promjenom frekvencije rada službe sigurnosti za čiji rad postoji rizik ometanja.

U napomeni o uporabi broj 30 posebno je naglašeno da nesmetanost uporabe frekvencija u kabelskim sustavima uz zadovoljavanje navedena dva uvjeta ne podrazumijeva nikakvu zaštitu od smetnji zbog emisije radijskih odašiljača. S ekstremne točke gledišta, korisnik kabelskih sustava načelno ima mogućnost zaštititi se od neželjeno visokih zračenja radijskih odašiljača; isto treba uzeti u obzir prilikom razvoja kabelskih sustava. Ukoliko ipak dođe do elektromagnetske nekompatibinosti, potrebno je postupiti prema odredbama zakona o elektromagnetskoj kompatibilnosti uređaja.

Ukoliko nisu zadovoljena dva navedena uvjeta za nesmetanost uporabe, regulacijsko tijelo za telekomunikacije i poštu može za svaki pojedini slučaj postaviti prostorne, vremenske i ostale odrednice čijim je ispunjavanjem dozvoljena uporaba frekvencija unutar i uzduž vodiča. Pri tom treba voditi računa o načelu proporcionalnosti i saslušati strane zainteresirane bilo za plan raspodjele frekvencija bilo za dodjelu frekvencija. Posebice treba uzeti u obzir u kolikoj je mjeri moguće ugrožavanje sigurnosti ukoliko postoji mogućnost ometanja radijske službe sigurnosti.

Prema tome, izostanak dozvole za nesmetanu uporabu frekvencija prema navedena dva uvjeta ni u kom slučaju ne znači da je kabelska primjena sama po sebi isključena. Bolje rečeno, za svaki pojedinačni slučaj koji ne zadovoljava uvjete za nesmetanu uporabu, regulacijsko tijelo mora ispitati pod kojim uvjetima je uporaba frekvencija unutar i uzduž kabela moguća, a da se istodobno može jamčiti neometajuća radijska uporaba u istom frekvencijskom području.

### 3.2. Britanska regulativa vezana uz PLC

Regulator za telekomunikacije u Velikoj Britaniji je Oftel (adresa na Internetu: www.oftel.gov.uk), a agencija odgovorna za određivanje namjene i nadgledanje radijskog spektra u civilnoj uporabi je Radiocommunications Agency, RA (adresa Agencije na Internetu: www.radio.gov.uk).

Nakon što je u Manchesteru na sjeverozapadu Velike Britanije tvrtka Nor.Web izvodila prve probne instalacije širokopojasnog PLC-a, agencija RA je u okviru projekta AY 3062 od tvrtke The Smith Group Limited naručila izvješće o svojstvima zračenja širokopojasnih prijenosnih tehnologija PLC i xDSL i riziku ometanja drugih radijskih službi zbog zračenja tih prijenosnih sustava. U okviru izvješća trebalo je preporučiti granicu dozvoljene snage polja smetnji. Tvrtka The Smith Group Limited je u studenom 1998. godine završila predmetno izvješće [26] u kojem zaključuje da PLC sustavi izazivaju značajnu razinu smetnji radijskim službama, te preporučaju strogu granicu dozvoljenog zračenja od 5 dBìV mjereno na udaljenosti od 10 metara za širinu pojasa 10 kHz iz frekvencijskog područja od 0,5 MHz do 30 MHz. U područjima gdje ima HF zemaljskih postaja, preporučuju 10 dB nižu granicu, a za frekvencije na kojima se upotrebljava radijska služba sigurnosti preporučuju zabranu uporabe PLC sustava.

Na izvješće tvrtke Smith reagirala je u listopadu 1999. godine međunarodna udruga IPCF (danas Powerline World) [27], smatrajući da izvješće ima značajnih nedostataka zbog čega ne pruža ispravnu sliku. Dva područja koja prema IPCF-u nisu zadovoljavajuće obrađena su:

- modeliranje stupova ulične svjetiljke ne odgovara stvarnoj situaciji, i
- obrada prostiranja ionosferom, koju ne smatraju zadovoljavajućom.

U reakciji na ograničenja predložena izvješćem tvrtke Smith, IPCF se poziva na usporedbu s ograničenjima za slična okruženja:

- US FCC Part 15 [10] za ADSL sustave definira granicu 30 ìV/m na udaljenosti od 30 metara, što je ekvivalentno 48,6 dBìV/m na udaljenosti od 10 metara;
- u Njemačkoj se predlaže ograničenje definirano krivuljom koja se proteže od 30 dBìV/m na 1 MHz do 20 dBìV/m na 10 MHz;
- ograničenje za smetnje kabelske televizije u Velikoj Britaniji je 20 dBìV/m na udaljenosti od 10 metara.

Nešto prije toga, kao odgovor na zahtjeve korisnika za podatkovnim uslugama, radi ubrzavanja uvođenja naprednih širokopojasnih tehnologija u Velikoj Britaniji izrađen je i u srpnju 1999. godine dan na konzultaciju dokument "Access to Bandwidth". U tom se dokumentu predlažu različite opcije uvođenja širokopojasnih tehnologija, od kojih niti jedna ne uključuje primjenu PLC-a. U rujnu 1999. godine odgovor [27] na taj dokument dala je i organizacija IPCF (danas Powerline World). U svom odgovoru IPCF ističe upotrebljivost PLC-a za širokopojasne pristupne mreže i naglašava njegovu osnovnu prednost: posvudašnja prisutnost elektroenergetske mreže znači povezanost s potrošačima, tj. riješen problem zadnje milje bez potrebe izgradnje nove infrastrukture.

Specifikaciju ograničenja i mjerenja zračenja za kabelske sustave u Velikoj Britaniji definiraju norme serije MPT 1500. Krajem 1999. godine i početkom 2000. intenzivno je razmatran nacrt norme MPT 1570 koja definira ograničenja zračenja i pripadne mjerne postupke za telekomunikacijske sustave realizirane putem materijalnih supstanci (optički kabeli, bakreni kabeli, ...). U domeni te norme su između ostalih i PLC sustavi. Nacrt norme iz veljače 2000. godine razmatrao je sustave koji rade u frekvencijskom pojasu od 9 kHz do 300 MHz. U studenom 2000. godine ministrica za mala poduzeća i elektroničko trgovanje (engl.: *e-commerce*), Patricia Hewitt, najavila je usvajanje norme MPT 1570 prema nacrtu norme iz veljače (www.radio.gov.uk/topics/interference/consult/asl-adsl/letter.htm). Taj je nacrt norme sadržavao četiri dijela za četiri frekvencijska područja: A (9 kHz do 150 kHz), B (150 kHz do 1,6 MHz), C (1,6 MHz do 30 MHz) i D (30 MHz do 300 MHz). Za dio D još je razmatrana metoda mjerenja i ograničenja. Ograničenje snage magnetskog polja izraženo snagom ekvivalentnog električnog polja definirano je za područja A, B i C formulama navedenim u tablici 2.

Međutim, u kolovozu 2001. godine donesena je norma [28] koja definira ograničenja zračenja i pripadne mjerne postupke za telekomunikacijske sustave realizirane putem materijalnih supstanci (optički kabeli, bakreni kabeli, ...) koji rade u frekvencijskom pojasu od 9 kHz do 1,6 MHz. Ove se frekvencije uglavnom upotrebljavaju za radijsko emitiranje, obranu, civilnu avijaciju, standardno vrijeme, a upotrebljavaju ga i radioamateri. Mjerenje se obavlja kružnom antenom (engl.: *loop antenna*) promjera 0,6 m, udaljenom 1 m od kabela s detektorom vršne vrijednosti (engl.: *peak detector*). Razmatranje ograničenja za HF područje je u tijeku i postoje poteškoće u usvajanju kompromisnog rješenja radijskih i kabelskih regulatora.

S obzirom da je njemačko ograničenje definirano za udaljenost od 3 m, te da se može pretpostaviti opadanje polja obrnuto proporcionalno s udaljenošću, za usporedbu njemačkog i britanskog ograničenja potrebna je korekcija od 20 $\log_{10}(3)$, što iznosi otprilike 9,54 dB.

Normom MPT 1570 Velika Britanija namjerava se osigurati zadovoljavajuću razinu zaštite postojećim i budućim korisnicima radijskog spektra, a istodobno omogućiti razvoj novih tehnologija bez prekomjernih ograničenja.

Uporabu radijskog spektra u Velikoj Britaniji uređuje Zakon o bežičnoj telegrafiji (engl.: *Wireless Telegraphy Act*) iz 1949. godine. Kako telekomunikacijski kabelski sustavi koji mogu zračiti energiju na radijskim frekvencijama nisu bežični telegrafski sustavi, ne može ih se licencirati prema tom Zakonu. Međutim, Zakon u članku 10. sadrži odredbu o nadzoru smetnji zbog rada telekomunikacijskih kabelskih sustava, čime je ostavljena mogućnost donošenja odgovarajućeg pravilnika (engl.: *regulation*). Zbog toga je britanska vlada na temelju članka 10. Zakona o bežičnoj telegrafiji donijela pravilnik [24] kojim se implementira normu

**Tablica 2. Granične vrijednosti polja smetnji prema nacrtu norme MPT 1570* iz veljače 2000. godine**

| Frekvencija u MHz | Granična vrijednost jakosti magnetskog polja smetnje na udaljenosti 1 metar u dBmA/m | Granična vrijednost jakosti ekvivalentnog električnog polja smetnje na udaljenosti 1 metar u dBμV/m |
|---|---|---|
| 0,009 do 0,150 | 42-20*log(f [kHz]) | 93,5-20*log(f [kHz]) |
| 0,150 do 1,6 | -1,5-20*log(f [MHz]) | 50-20*log(f [MHz]) |
| 1,6 do 30 | -31,5-7,7*log(f [MHz]) | 20,5-7,7*log(f [MHz]) |
| 30 do 300 | razmatra se | razmatra se |

* – MPT 1570 Radiation Limits and Measurement Standard
Electromagnetic radiation from telecommunications systems operating over material substances in the frequency range 9 kHz to 300 MHz [February 2000]
www.radio.gov.uk/publication/ra_info/ra107.htm

MPT 1570 za nadzor smetnji radijskim sustavima zbog rada telekomunikacijskih kabelskih sustava.

Ukoliko će biti potrebno prisilno provođenje ograničenja smetnji, članak 11. Zakona o bežičnoj telegrafiji iz 1949. godine predviđa sljedeće:

- ukoliko se ometa radijska služba sigurnosti, odnosno ukoliko sigurnost bilo koje osobe, plovnog objekta, letjelice ili vozila ovisi o predmetnoj uporabi radijskih frekvencija, izdaje se nalog za trenutni prestanak rada sustava koji uzrokuje neprihvatljive smetnje;
- ukoliko dolazi do neprihvatljivih smetnji radijskoj službi, a na strani prijamnika su poduzete sve razumne mjere za smanjivanje smetnji, određuje se razdoblje od najmanje 28 dana tijekom kojeg se ometajući sustav ne upotrebljava ili se upotrebljava pod određenim uvjetima.

Dođe li do smetnji, nastavak rada je moguć ukoliko se smetnje svedu ispod razine definirane normom MPT 1570. U suprotnom, oprema koja je uzrokovala smetnje veće od onih dozvoljenih treba prekinuti s radom.

U pravilniku je naglašeno pitanje usklađenosti pravilnika s direktivama o EMC-u [7] i R&TTE-u [8].

Direktive se odnose na uređaje i sustave iz područja koja pokrivaju pojedine direktive i to u trenutku njihovog stavljanja u uporabu. Kabeli ne podliježu odredbama direktiva. S druge strane, pravilnik se primjenjuje u slučaju smetnji proizišlih od kabelskih sustava tijekom prenošenja telekomunikacijskih signala. Uređaji koji se pritom spajaju na te kabelske sustave podliježu odredbama Direktive o EMC-u [7] ili Direktive o R&TTE-u [8] u smislu njihovog stavljanja na tržište ili u uporabu, te prema tome sami po sebi ne podliježu ograničenjima zračenja propisanim pravilnikom.

## 4. HRVATSKA REGULATIVA

Zastupnički dom Hrvatskoga državnog Sabora je 1999. godine donio Zakon o telekomunikacijama [31] kojim se uređuju telekomunikacije, radio, televizija i kabelska televizija, kao i odnosi između davatelja i korisnika telekomunikacijskih usluga, te izgradnja, održavanje i uporaba telekomunikacijskih objekata i opreme i radijskih postaja. Ovo je drugi Zakon o telekomunikacijama u Republici Hrvatskoj, a u tijeku je izrada trećeg.

Zakonom o telekomunikacijama osnovano je nacionalno regulativno tijelo za telekomunikacije, Vijeće za telekomunikacije, te servis nacionalnih regulatora, Hrvatski zavod za telekomunikacije.

Prema članku 6. stavku 1. Zakona o telekomunikacijama, objekti, tehnička oprema i instalacije telekomunikacija i radijskih komunikacija i terminalna oprema namijenjeni za uporabu u Republici Hrvatskoj moraju se projektirati, proizvoditi, graditi, održavati i upotrebljavati prema hrvatskim normama, tehničkim uvjetima i uvjetima uporabe, preuzetim normama Europskog instituta za telekomunikacijske norme (ETSI), te pravilnicima, odlukama i preporukama Međunarodne telekomunikacijske udruge (ITU) i Europske konferencije poštanskih i telekomunikacijskih uprava (CEPT). Prema članku 6. stavku 3. ta se tehnička oprema i instalacije može uvesti, prodavati, iznajmljivati, upotrebljavati, ili ugraditi ili priključiti na telekomunikacijske kapacitete, ako je njihova kakvoća dokazana potvrdom (certifikatom) Zavoda za telekomunikacije ili izjavom o usklađenosti proizvođača opreme, koja se prijavljuje Zavodu i ako je označena propisanom oznakom.

Tehničke uvjete i uvjete uporabe, te pravilnik o načinu i postupku provedbe mjerenja i ispitivanja radi izdavanja potvrde o kakvoći (certifikata) i označavanju opreme i instalacija, te radi izdavanja potvrde (certifikata) ili izjave o usklađenosti i radi označavanja električne i druge opreme o elektromagnetskoj kompatibilnosti (EMC) donosi ministar mjerodavnog ministarstva za telekomunikacije, a to je Ministarstvo pomorstva, prometa i veza.

Hrvatski članovi ETSI-a su nacionalna uprava, Ministarstvo pomorstva, prometa i veza, te mrežni operator VIP-NET GSM d.o.o. Uprava za provođenje odredbi ITU-a u Republici Hrvatskoj je Ministarstvo pomorstva, prometa i veza. Između ostalog, ovo ministarstvo daje prijedloge za utvrđivanje ograničenja u uporabi radijskih frekvencija. Osim Ministarstva pomorstva, prometa i veza, Republiku Hrvatsku u ITU-u zastupaju i Hrvatski zavod za telekomunikacije, te Vijeće za telekomunikacije. Hrvatsku u CEPT-u zastupa Hrvatski zavod za telekomunikacije. Hrvatski zavod za telekomunikacije, između ostalog, usklađuje uporabu radijskih frekvencija na domaćoj i međunarodnoj razini, te pronalazi uzroke smetnji u radijskim komunikacijama i poduzima mjere za njihovo uklanjanje.

### 4.1. Dodjela i uporaba radijskih frekvencija u Hrvatskoj

Ministar pomorstva, prometa i veza Republike Hrvatske donio je Pravilnik o namjeni radiofrekvencijskog spektra i dodjeli radijskih frekvencija [32].

Prema članku 54. stavku 1. Zakona o telekomunikacijama [31], dodjela i uporaba radijske frekvencije usklađuje se na međunarodnoj razini, a temelji se na Pravilniku o namjeni radiofrekvencijskog spektra i dodjeli radijskih frekvencija, kojim se utvrđuju načela za namjenu radiofrekvencijskog spektra i dodjelu radijskih frekvencija, kao ograničenog prirodnog dobra, u skladu s međunarodnim propisima o radijskim komunikacijama i međunarodnim sporazumima koji obvezuju Republiku Hrvatsku. Za potrebe usklađivanja uporabe radijskih frekvencija na domaćoj i međunarodnoj razini, radi obavljanja nadzora, kontrole i mjerenja u radiofrekvencijskom spektru te radi

poduzimanja propisanih mjera za zaštitu od smetnji, Zavod ustrojava sustav kontrolno-mjernih središta i kontrolno-mjernih postaja s potrebnom mjernom, računalnom i komunikacijskom opremom te terenskim mjernim vozilima.

Načela za namjenu radio-frekvencijskog spektra određena su Planom namjene radiofrekvencijskog spektra koji je sastavni dio Pravilnika o namjeni radiofrekvencijskog spektra i dodjeli radijskih frekvencija [32]. Plan namjene radiofrekvencijskog spektra temelji se na međunarodnoj *Tablici namjene frekvencijskih područja* i na međunarodnim promjenama te tablice.

Od napomena iz međunarodnih Radijskih pravila, Hrvatska je preuzela njih 179. Također, definirano je 29 hrvatskih napomena, među kojima je i napomena broj 28:

"U frekvencijskim područjima 20 - 526 kHz HEP ima uređaje koji omogućuju govornu komunikaciju, mjerenja i upravljanja na daljinu prijenosnom frekvencijom nositelja po visokonaponskm vodovima. Ne upotrebljavati ovakav prijenos u frekvencijskim područjima namijenjenim zrakoplovnoj radio-navigaciji".

Ovaj Plan namjene radio-frekvencijskog spektra treba osigurati optimalne sigurnosne, gospodarske i kulturne uvjete u Hrvatskoj.

### 4.2. Mjere za zaštitu od smetnji

Prema članku 67. stavku 1. Zakona o telekomunikacijama [31], telekomunikacijski objekti, instalacije i oprema moraju se postaviti, upotrebljavati i održavati na način da njihov rad ne prouzroči smetnje u radu i uporabi telekomunikacija, iznad razine dopuštene hrvatskim normama, tehničkim uvjetima i uvjetima uporabe, preuzetim normama Europskog instituta za telekomunikacijske norme (ETSI), te pravilnicima, odlukama i preporukama Međunarodne telekomunikacijske udruge (ITU) i Europske konferencije poštanskih i telekomunikacijskih uprava (CEPT)

Prema članku 69. stavku 1. Zakona o telekomunikacijama [31], električna i druga tehnička oprema ne smije stvarati elektromagnetske smetnje u funkcioniranju telekomunikacija ili radijske postaje ni u prijamu radijskih i televizijskih emisija.

Na temelju odredbi Zakona o telekomunikacijama, ravnatelj Hrvatskog zavoda za telekomunikacije donio je 2000. godine Pravilnik o elektromagnetskoj kompatibilnosti [33]. Tim se Pravilnikom propisuju uvjeti i upućuje se na norme i zahtjeve koje mora ispunjavati električna i druga tehnička oprema, koja se proizvodi, uvozi i stavlja u promet u Republici Hrvatskoj, tako da ta oprema nesmetano funkcionira, a pri tome ne proizvodi elektromagnetske smetnje iznad dopuštene razine, što omogućuje da telekomunikacijska i radijska oprema i drugi uređaji rade u skladu s njihovom namjenom.

Pravilnik je usklađen s europskom direktivom [7] o približavanju zakonskih propisa koji se tiču elektromagnetske kompatibilnosti u državama članicama EU. Za proizvode koji su napravljeni u skladu s normama s popisa sadržanog u Pravilniku smatra se da ispunjavaju zahtjeve Pravilnika. U tablici 3 dan je popis normi iz područja EMC-a navedenih u Pravilniku koje su od važnosti za PLC.

**Tablica 3. Norme o elektromagnetskoj kompatibilnosti iz Dodatka IV Pravilnika o elektromagnetskoj kompatibilnosti [33] koje su od značaja za PLC**

| R. br. | Oznaka Hrvatske norme | Predmet |
|---|---|---|
| 1.1 | HRN EN 50065-1:1997 | Signalizacija na niskonaponskim električnim instalacijama u području frekvencija 3 kHz do 148,5 kHz - 1. dio: Opći zahtjevi, frekvencijska područja i elektromagnetske smetnje |
| 1.2 | HRN EN 50065-1/A1:1997 | Dodatak A1 |
| 1.3 | HRN EN 50065-1/A2:1997 | Dodatak A2 |
| 1.4 | HRN EN 50065-1/A3:1997 | Dodatak A3 |
| 1.5 | HRN EN 50081-1:1997 | EMC - Izvorna norma za emisiju - 1. dio: Stambena i poslovna područja i područja lake industrije |
| 1.6 | HRN EN 50081-2:1997 | EMC - Izvorna norma za emisiju - 2. dio: Industrijsko okruženje |
| 1.7 | HRN EN 50082-1:1997 | EMC - Izvorna norma za otpornost - 1. dio: Stambena i poslovna područja i područja lake industrije |
| 1.8 | HRN EN 50082-2:1997 | EMC - Izvorna norma za otpornost - 2. dio: Industrijsko okruženje |
| 2. | *Norme za određene proizvode* | |
| 2.31 | HRN EN 55022:1997 | Granice i metode mjerenja značajki radijskih smetnji opreme informacijske tehnologije |
| 2.32 | HRN EN 55022/A1:1997 | Dodatak A1 uz EN 55022 |
| 2.33 | HRN CISPR 24:1997 | Oprema informacijske tehnologije - Značajke otpornosti - Granice i metode mjerenja |
| 2.49 | | EMC zahtjevi za opremu telekomunikacijske mreže |

Pravilnik se primjenjuje na sve električne proizvode koji mogu prouzročiti elektromagnetske smetnje i/ili na koje takve smetnje mogu utjecati umanjujući njihove nazivne djelatne značajke (izuzetak su električne mreže za prozvodnju, prijenos i distribuciju električne energije).

Proizvođač, njegov ovlašćeni zastupnik, uvoznik ili neka druga fizička ili pravna osoba koja preuzima odgovornost dobavljanja i stavljanja u promet električnog proizvoda na tržište u Republici Hrvatskoj (jednom riječju: dobavljač) smije staviti u promet električne proizvode pod sljedećim uvjetima:

- da su ti proizvodi sukladni sa zahtjevima iz Pravilnika,
- da sukladnost sa zahtjevima o EMC-u dobavljač potvrđuje svjedodžbom "Izjava o sukladnosti" koja služi za nadzor uporabne vrijednosti tog proizvoda na tržištu, i
- da su proizvod, njegovo pakiranje i propisani prateći dokumenti označeni propisanom oznakom CE.

Za proizvode za koje se proizvođač koristio normama samo djelomično ili nikako, ili za takve proizvode ne postoje norme, proizvođač je dužan pribaviti tehničku dokumentaciju, opis proizvoda, postupak udovoljavanja zahtjevima elektromagnetske kompatibilnosti, izvješće o ispitivanju ili certifikat kojim se potvrđuje ispunjenje zahtjeva iz Pravilnika.

## 5. SKRAĆENICE

| Skraćenica | Značenje na engleskom | Značenje na hrvatskom |
|---|---|---|
| BBC | British Broadcasting Corporation | Britanska tvrtka koja se bavi radiotelevizijskim razašiljanjem |
| CCIR | Comité Consultatif International des Radiocommunications | Međunarodni savjetodavni odbor za radijske komunikacije |
| CEN | Comité Européen de Normalisation; European Committee for Standardization | Europski odbor za normizaciju |
| CENELEC | European Committee for Electrotechnical Standardization, Comité Européen de Normalisation Electrotechnique | Europski odbor za normizaciju elektrotehnike |
| CEPT | Conference Européenne des Postes et des Télécommunications; European Conference of Postal and Telecommunications Administrations | Europska konferencija Uprava pošta i telekomunikacija |
| CERP | Conféderation Européenne des Relations Publiques, Confederation of European Public Relations Professionals | Europski odbor za regulaciju pošte |
| CIGRE | Conference internationale des grands reseaux elektriques a haute tension | Međunarodna konferencija za velike električne sustave |
| CISPR | Comité International Spécial des Perturbations Radioéléctrique. International Special Committee on Radio Interference | Međunarodni odbor za radijske smetnje |
| DSL | Digital Subscriber Line | tehnologija, digitalna korisnička linija |
| EBU | European Broadcasting Union | Europska udruga radiotelevizijskog emitiranja |
| EC | European Commission | Europska komisija |
| EMC | Electromagnetic Compatibility | elektromagnetska kompatibilnost ili snošljivost |
| EN | European Standard | europska norma |
| ECC | Electronic Communications Committee | Odbor za elektroničke komunikacije |
| ERC | European Radiocommunications Committee | Europski radiokomunikacijski odbor (unutar CEPT-a) |
| ETC | European Telecommunications Committee | Europski telekomunikacijski odbor (unutar CEPT-a) |
| EU | European Union | Europska unija |
| ETSI | European Telecommunications Standards Institute | Europski institut za telekomunikacijske norme |
| HF | High Frequency | dio frekvencijskog spektra od 3 MHz do 30 MHz |
| IARU | International Amateur Radio Union | Međunarodna udruga radioamatera |
| IFRB | International Frequency Registration Board | Međunarodna uprava za upis frekvencija |
| IPCF | International Powerline Communications Forum | Međunarodni forum za PLC |
| ITU | International Telecommunication Union | Međunarodna telekomunikacijska udruga |
| JWG | Joint Working Group | zajednička radna grupa |
| MIFR | Master International Frequency Register | Glavni međunarodni frekvencijski upisnik |
| NB 30 | Nutzungsbestimmung 30 | napomena o uporabi broj 30 |
| PLC | PowerLine Communications | komuniciranje elektroenergetskim vodovima |

| Skraćenica | Značenje na engleskom | Značenje na hrvatskom |
|---|---|---|
| PLT | Powerline telecommunications | telekomunikacije putem elektroenergetskih vodova |
| PTF | Powerline Telecommunications Forum | Forum za PLT |
| RegTP | Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post | njemačko regulatorno tijelo za telekomunikacije i poštu |
| R&TTE Directive | Radio Equipment and Telecommunications Terminal Equipment Directive | Direktiva o radijskim uređajima i krajnjim telekomunikacijskim uređajima |
| WRC | World Radiocommunications Conference | Svjetska konferencija o radijskim komunikacijama |

## 6. ZAKLJUČAK

Razvoj digitalnih telekomunikacijskih mreža i potrebe tržišta za širokopojasnim komunikacijskim sustavima rezultirali su pokušajima ostvarivanja širokopojasne komunikacije putem postojećih infrastruktura: elektroenergetske mreže, telefonskih parica i koaksijalnih kabela kabelske televizije. Budući da ova infrastruktura nije osmišljena za takvu vrstu komunikacije, takvo njeno korištenje predstavlja izazov, kako u smislu samog razvoja tehnologije, tako i o problemu regulative zbog neminovih elektromagnetskih smetnji koje ovakvo korištenje izaziva. Od svih kabelskih sustava korištenih za širokopojasnu komunikaciju, najveće zračenje u HF području frekvencija uzrokuje PLC. Uz to, kako signali PLC-a putuju svim elektroenergetskim vodovima spojenim na transformatorsku stanicu u kojoj je središnji PLC-uređaj, zračenje PLC-a je geografski vrlo rašireno i utječe na cjelokupno područje tog dijela elektroenergetske mreže, kako na korisnike usluga omogućenih PLC-om, tako i na ostale kupce električne energije spojene na istu EE mrežu. Dodatno, kako iste frekvencije koristi čitav niz radijskih službi, od vojske i kontrole leta, preko služba sigurnosti, do radiotelevizijskog odašiljanja i radijskih amatera, pitanje regulative se pokazalo vrlo složenim zadatkom.

U početku se razmatralo dodjeljivanje frekvencijskih područja za širokopojasne kabelske sustave, pa i PLC. Međutim, kako se ne radi o radijskim službama, jer se komunikacija ostvaruje korištenjem kabelskih mreža, a ne bežičnim putem, nema uporišta za dodjeljivanje frekvencija sustavima kakav je PLC.

Uporaba radijskih frekvencija regulirana je ITU-R-ovim Radijskim pravilima, koja imaju status ugovora između država članica ITU-a. Davatelji radijskih usluga obvezuju se da ne uzrokuju smetnje jedni drugima. Radijska pravila se ne ograničavaju samo na reguliranje smetnji uzrokovanih radijskim službama, već se člankom 15.12 od nacionalnih uprava zahtijeva i da "rad električnih naprava i instalacija bilo koje vrste, uključivo energetske i telekomunikacijske mreže, ... ne uzrokuje smetnje radiokomunikacijskim službama". Moguć način definiranja regulative za korištenje PLC-a je donošenje napomena o uporabi unutar Tablica namjene frekvencijskih područja. Za ovakav pristup se opredijelila Njemačka.

S druge strane, elektromagnetske smetnje telekomunikacijskih krajnjih uređaja i uređaja informatičke tehnologije na europskoj razini regulira Direktiva o elektromagnetskoj kompatibilnosti, a na svjetskoj razini IEC, posebice njegov odbor CISPR. Ograničenja vezana uz elektromagnetsku kompatibilnost definirana su normama o elektromagnetskoj kompatibilnosti. Međutim, dosadašnje norme za elektromagnetsku kompatibilnost usredotočene su na uređaje, a ne uzimaju u obzir način povezivanja uređaja i performanse kabela kojima su uređaji povezani, koji značajno utječu na cjelokupno zračenje u danom okruženju, tj. na elektromagnetsku kompatibilnost cjelokupne mreže. Moguć način definiranja regulative za korištenje PLC-a je donošenje normi o elektromagnetskoj kompatibilnosti telekomunikacijskih mreža.

U situaciji nepostojanja odgovarajućih međunarodnih ili europskih normi s jedne strane, te razvoja novih tehnologija sa značajnim zračenjem u frekvencijskom području predviđenom za radijske službe, došlo je do nacionalnih rješavanja situacije. Njemačka i Velika Britanija usvojile su nacionalnu regulativu glede dozvoljenog zračenja telekomunikacijskih mreža vezano uz svoje nacionalno zakonodavstvo izvan granica EMC-regulative za uređaje.

Na globalnom tržištu kakvo imamo danas, nacionalna rješavanja ovako važnih pitanja treba izbjegavati. Uz to, komunikacija u HF-frekvencijskom pojasu se ne može smatrati nacionalnim pitanjem, jer su svojstva prostiranja u tom pojasu takva da zračenje u jednoj zemlji može rezultirati povećanjem razine smetnje u drugoj zemlji. Europska komisija prepoznala je smjer rješavanja pitanja zračenja širokopojasnih kabelskih mreža na nacionalnoj razini kao pogrješku u reguliranju EMC-a, te je izdala Mandat 313 za izradu i usvajanje harmoniziranih normi koje će definirati zahtjeve za EMC telekomunikacijskih mreža (emisija i otpornost na smetnje) ostvarenih energetskim kabelima, koaksijalnim kabelima i telefonskim paricama. Donošenje europskih harmoniziranih normi prema Mandatu 313 može se smatrati korakom prema zajedničkom europskom stajalištu u smislu zračenja kabelskih sustava korištenih za širokopojasne komunikacije, jer će rezultirati odbacivanjem nacionalnih zahtjeva. Uz to, mandat zahtijeva usklađenost novih harmoniziranih normi za mreže s postojećim harmoniziranim normama, kako bi se izbjegla situacija da se proizvodima koji udovoljavaju harmoniziranim normama za proizvode ne mogu ostvariti mreže koje zadovoljavaju zahtjeve harmoniziranih normi za mreže. Mandat su preuzele europske normizacijske organizacije ETSI i CENELEC.

Osim njih, u rješavanju problema neželjenog zračenja PLT sustava na europskoj razini aktivna je i Europska konferencija Uprava pošta i telekomunikacija, CEPT, čija je radna grupa SE35 izradila ERC preporuku i izvješće na temu reguliranja neželjenog zračenja PLT sustava i kabelskih komunikacijskih sustava općenito.

## LITERATURA


[1] S. JAVORNIK VONČINA: "Prikaz stanja normizacije i regulative vezane uz komuniciranje elektroenergetskim vodovima, PLC - I dio: regulativa vezana uz PLC", Energija 4/2000.

[2] Mandate 313 EN: "Standardisation Mandate addressed to CEN, CENELEC and ETSI concerning Electromagnetic Compatibility (EMC) - Telecommunications Networks", European Commission, Brussels, 7 August 2001, www.etsi.org/public-interest/mandate/M313.pdf

[3] ETSI PLT: "Terms od Reference for Specialist Task Force 222 V1.5 (MB), EP PLT to undertake a European-wide measurement and analysis review to ensure correct representation of the situation in member states with respect to PLT standards and to ensure coexistence between PLT systems from different vendors", September 2002, portal.etsi.org/stfs/ToR/ToR222v15: PLT.doc

[4] Radio regulations, ITU, Geneva, 1998

[5] J. H. STOTT: "Do EMC Limits Protect Broadcasting as Intended?", BBC Research & Development White Paper WHP 055055, Record of the 15th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, February 18-20 2003

[6] H. J. BRANDT, DARC Standards Group: "PLC and xDSL Situation in Germany (with a look over the border)", November 30, 2001, amended June 24, 2002

[7] "Council Directive 89/336/EEC of 3 May 1999 on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility", Official Journal L 139, 23/05/1989

[8] "Directive 1999/5/EC of the European Parliament and of the Council of 9 March 1999 on radio equipment and telecommunications terminal equipment and the mutual recognition of their conformity", Official Journal L 091, 07/04/1999 p. 0010 - 0028

[9] The review of the EMC Directive (The EMC SLIM process) europa.eu.int/comm/ enterprise/electr_equipment/emc/slim/review.htm

[10] Part 15 of theTitle 47 of the Code of Federal Regulations - Radio Frequency Devices, Federal Communications Commission (FCC), Office of Engineering and Technology (OET), March 13, 2003

[11] G. BERTELS, International Amateur Radio Union - Region 1: "Power Line Technology: HF bands under fire", EUROCOM Newsletter, 02.02.2003

12] B: DESPRES: "CEPT ERC SE35 activities on compatibility between radio services and PLT (Power Line Telecommunications)", Dubrovnik, 6-7 March 2001

[13] Summary Report from the 24th WG SE meeting, Luxemburg, 20-24 September 1999

[14] Summary Report from the Working Group Spectrum Engineering meeting, Naples, 14-18 February 2000

[15] ERC Report 107 "Current and Future Use of Frequencies in the LF, MF and HF Bands", Interlaken, February 2001

[16] Summary Report from the Working Group Spectrum Engineering meeting, Vilnius, 12-16 June 2000

[17] Summary Report from the Working Group Spectrum Engineering meeting, Wengen, 5-9 February 2001

[18] Summary Report from the Working Group Spectrum Engineering meeting, Regensburg, 28 May - 1 June 2001

[19] Summary Report from the 30th Working Group Spectrum Engineering meeting, Bunratty, 1-5 October 2001

[20] Summary Report from the 31st meeting of WG SE, Beaune, 2-8 February 2002

[21] Summary Report from the 32nd meeting of WG SE, Baden, 10-14 June 2002

[22] IARU Reg 1 EMC WG: "Status on EMC requirements for PLC equipment and networks", Friedrichshafen, June 2002

[23] Summary Report from the WG Spectrum Engineering meeting, Molde, 3-7 February 2003

[24] Telekommunikationsgesetz BGBl. I 1996, S. 1120, 25. Juli 1996

[25] RegTP 322 MV 05: "Messung von Stoerfeldern an Anlagen und Leitungen der Telekommunikation im Frequenzbereich 9 kHz bis 3 GHz"

[26] The Smith Group Limited HA134D009-1.1: "Final report on a study to investigate PLT radiation" 20 November 1998

[27] International Powerline Communications Forum: "Observations of the IPCF on the Smith Report", October, 1999

[27] "Access to bandwidth: Response of the International Powerline Communications Forum", September 1999, www.oftel.gov.uk/ispo/a2bresp2.htm

[28] MPT 1570: "Radiation Limits and Measurement Specification", August 2001

[29] The Wireless Telegraphy Act, 1949(Control of Interference from Material Substances Forming Part of Telecommunication Systems) Regulations 2001

[30] The Wireless Telegraphy (Control of Interference from Material Substances Forming Part of Telecommunication Systems) Regulations 2001

[31] Zakon o telekomunikacijama, "Narodne novine", br. 76/99, br. 128/99, br. 68/01 i 109/01

[32] Pravilnik o namjeni radio-frekvencijskog spektra i dodjeli radijskih frekvencija, "Narodne novine", br. 14/95 i br. 20/01

[33] Pravilnik o elektromagnetskoj kompatibilnosti (EMC), "Narodne novine", br. 34/00 i br. 128/99


## STATE REVIEW OF NORMISATION AND REGULATION CONNECTED TO ELECTRIC ENERGY LINE COMMUNICATION, PLC PART II: PLC REGULATION

The paper gives a review of PLC usage regulation attempts and other wide range cable transmission networks including a review of international regulating principle of radio frequencies, European framework of regulating electromagnetic compatibility and radio frequencies usage, as well as the Croatian framework for the elaboration of regulation connected to widerange PLC usage and other widerange cable transmission networks.

## DARSTELLUNG DES ZUSTANDES IM NORMUNGS- UND VERORDNUDSWESEN IM BEREICH DES NACHRICHTENAUSTAUSCHES ÜBER STROMLEITUNGEN ALS FERNMELDETRÄGER, PLC
## 2. TEIL: DAS VERORDNUNGWESEN

Der Artikel gibt eine Übersicht der Bestrebungen einer Verordnung der PLC und anderer breitbandiger Kabel-Übertragungsnetze. Mit eingeschlossen ist die Darstellung der Grundsätze allweltlicher Festlegung der Verwendung von Rundfunkfrequenzen, die Darstellung der Festlegung elektromagnetischer Kompatibilität und der Verwendung von Runfunkfrequenzen im europäischen und im kroatischen Rahmen. Innerhalb dieser Rahmen wird eine Nachbearbeitung bezüglich der Festlegung der Nutzung des breitbandigen PLC-s, sowie anderer breitbändiger Kabel-Übertragungsnetze notwendig sein.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Suzana Javornik Vončina, dipl. ing.**
**Hrvatska elektroprivreda**
**Sektor za poslovnu informatiku**
**Ulica grada Vukovara 37**
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 04 – 25.

# *VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE I OKRUŽENJA*

## IZ ZAKONSKE REGULATIVE

U prethodna tri mjeseca Hrvatski sabor donio je niz zakona koji većinom znače gospodarske prilagodbe i usklađivanje zakonodavstva Republike Hrvatske sa zakonodavstvom Europske unije (Nacionalni program Republike Hrvatske za pridruživanje Europskoj uniji – 2003. godina, NN 30/2003.). Ovdje se daje pregled donesenih zakona koji su interesantni uglavnom za tehničku struku. To su:

- Pravilnik o podacima koje su energetski subjekti dužni dostaviti Vijeću za regulaciju energetskih djelatnosti
- Zakon o službenoj statistici (NN 103/2003.)
- Program statističkih istraživanja RH za 2003. godinu (NN 105/2003.)
- Zakon o fondu za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost (NN 107/2003.)
- Zakon o zaštiti tržišnog natjecanja (NN 122/2003.)
- Metodologija za statističku primjenu Nacionalne klasifikacije djelatnosti – NKD 2002 (NN 123/2003.)

Nastavno se ukratko daje prikaz pojedinog zakona.

SBK

## PRAVILNIK O PODACIMA KOJE SU ENERGETSKI SUBJEKTI DUŽNI DOSTAVITI VIJEĆU ZA REGULACIJU ENERGETSKIH DJELATNOSTI

Pravilnik je objavljen u Narodnim novinama broj 97 od11. lipnja 2003. godine. Kao što mu i samo ime kaže, njime se određuje obveza energetskih subjekata da dostavljaju Vijeću za regulaciju energetskih djelatnosti podatke koji su utvrđeni u ovom Pravilniku. Također su utvrđeni i rokovi za dostavljanje podataka u procesu redovitog prikupljanja te u slučaju kada je to potrebno hitno načiniti.

U člancima 8. do 28. utvrđeni su podaci, izvješća i drugi dokumenti koji su nužni za poslovanje Vijeća za regulaciju.

Prema članku 8. energetski subjekti su dužni dostaviti Vijeću za regulaciju sljedeće:

- bilance
- račun prihoda i rashoda
- bilješke u svezi s rezultatima poslovanja u prethodnom razdoblju
- financijske planove (plan prihoda i plan rashoda)
- ostale plansko-analitičke materijale u svezi s poslovanjem.

Prema članku 9. energetski subjekt je dužan dostaviti Vijeću za regulaciju od revizora ovjereni završni račun, koji služi kao osnovica za utvrđivanje iznosa za financiranje Vijeća za regulaciju.

Vijeće za regulaciju vodi Registar dozvola, te je prema članku 10. svaki energetski subjekt dok ima koncesiju dužan pismeno dostavljati sve promjene podataka koji se upisuju u Registar (naziv, sjedište, adresa, matični broj).

Članci 11. i 12. odnose se na energetske subjekte koji su nositelji obveze javne usluge te se utvrđuje obveza dostavljanja podataka vezanih uz tarife.

Prema članku 13. energetski subjekti dužni su dostavljati Vijeću za regulaciju pregledni prikaz realizacije Trogodišnjg plana izgradnje, održavanja i korištenja energetskih objektata, dok je Operator sustava u suradnji s energetskim subjektom za prijenos električne energije dužan dostaviti pregledni prikaz realizacije Plana razvoja i izgradnje prijenosne mreže za razdoblje od tri godine. Distribucija također dostavlja Vijeću za regulaciju pregledni prikaz realizacije Plana razvoja i izgradnje distribucijske mreže.

U članku 14. utvrđene su obveze za Opskrbu električnom energijom i Operatora tržišta. Opskrba treba dostavljati detaljan pregled povlaštenih kupaca koji kod njega kupuju energiju te ugovore s povlaštenim kupcima, prijenosom i distribucijom. Operator tržišta treba dostavljati podatke o povlaštenim kupcima te ugovore s povlaštenim kupcima, prijenosom i distribucijom..

Člankom 15. utvrđene su obveze dobavljača prirodnog plina.

Članci 16., 17. i 18. odnose se na proizvođače električne energije i operatore sustava, koji dostavljaju podatke o budućim potrebama za električnom energijom i izgradnjom mreže.

Članci 19. do 26. odnose se na energetske subjekte koji se bave transportom nafte, dobavom i distribucijom plina.

Također su propisne i kaznene odredbe u slučajevima kada energetski subjekt ne ispunjava obveze iz ovog Pravilnika.

Tumačenje ovog Pravilnika daje Vijeće za regulaciju energetskih djelatnosti.

SBK

## ZAKON O SLUŽBENOJ STATISTICI

Novi zakon o službenoj statistici objavljen je u Narodnim novinama br. 103, od 26. lipnja 2003. godine. Danom stupanja na snagu ovoga Zakona prestaje vrijediti Zakon o državnoj statistici (Narodne novine, br. 52/94.).

Ovim se Zakonom uređuju temeljna načela službene statistike, organizacija, položaj, poslovi i koordinacija sustava službene statistike, Strategija razvitka službene statistike Republike Hrvatske, Program statističkih aktivnosti Republike Hrvatske, prikupljanje, obrada i čuvanje statističkog gradiva, statistički registri, diseminacija i korištenje statističkih podataka, povjerljivost i zaštita statističkih podataka, međunarodna statistička suradnja i ostala pitanja od važnosti za službenu statistiku.

U općim odredbama ovog zakona, u člancima 2. i 3. utvrđeno je na što se odnosi ovaj zakon kao i što je svrha službene statistike.

U članku 4. utvrđeno je značenje izraza koji se koriste u službenoj statistici kao što su: aktivnosti i nositelji službene statistike, strategija razvitka, program i godišnji plan provedbe statističkih aktivnosti, što je to statističko istraživanje i prikupljanje podataka, što su izvještajne i statističke jedinice te identifikator, što je rezultat službene statistike, službeni statistički podatak, što se podrazumijeva pod desiminacijom, tko je korisnik podataka, što su to statistički registri, statističko gradivo i administrativni izvori podataka.

U drugom poglavlju, u člancima 5. i 6. utvrđena su temeljna načela službene statistike ( relevantnost, nepristranost, pouzdanost, transparentnost, pravodobnost, stručna neovisnost, racionalnost, dosljednost, javnost, statistička povjerljivost, korištenje individualnih podataka te javna odgovornost).

U člancima 7. do 23. , poglavlje treće, definirana je organizacija, položaj, poslovi i koordinacija sustava službene statistike. Prema članku 7. poslove službene statistike obavljaju sljedeći nositelji službene statistike:

1. Državni zavod za statistiku kao središnje tijelo,
2. uredi državne uprave u županijama i upravno tijelo Grada Zagreba nadležni za poslove službene statistike,
3. Hrvatska narodna banka,
4. druga ovlaštena tijela službene statistike određena Programom (u daljnjem tekstu: ovlaštena tijela).

U članku 8. utvrđeno je da je Državni zavod za statistiku državna upravna organizacija koja samostalno obavlja svoje poslove sukladno zakonu te da je on glavni nositelj, diseminator i koordinator sustava službene statistike Republike Hrvatske.

U člancima 9. do 12. utvrđuju se nadležnosti Državnog zavoda za statistiku, prava ravnatelja te način osiguranja financiranja rada. U člancima 13. do 15. utvrđene su obveze i nadležnost Ureda državne uprave u županijama i upravnog tijela Grada Zagreba, poslovi koje obavlja Hrvatska narodna banka te ovlaštena tijela službene statistike određena Programom.

Prema članku 16. i 23. osniva se Statistički savjet Republike Hrvatske kao savjetodavno i stručno tijelo za strategijska pitanja službene statistike s ciljem osiguranja utjecaja korisnika, znanosti i šire javnosti na Program te utvrđuju njegovi zadaci, broj članova, način predlaganja i biranja članova i predsjednika, mandat Savjeta te način financiranja njegovog rada.

Strategija razvitka službene statistike Republike Hrvatske i program statističkih aktivnosti Republike Hrvatske utvrđeni su u člancima 24. do 35.

Prema članku 29. Program sadrži:

- pregled razvojnih ciljeva službene statistike prema Strategiji razvitka službene statistike Republike Hrvatske,
- pregled glavnih rezultata službene statistike koje treba proizvesti i diseminirati u svakom području, usklađenih s međunarodnim obvezama i standardima,
- naziv odgovornih nositelja službene statistike,
- razinu diseminacije rezultata,
- pregled najvažnijih infrastrukturnih i razvojnih aktivnosti, kao što su popisi i istraživanja s velikim opsegom, koje će se provesti ili će biti započete u razdoblju na koje se odnosi Program.

Programom se određuje i pregled ukupno potrebnih resursa iz državnog proračuna Republike Hrvatske.

Članak 30. i 31. utvrđuju donošenje Godišnjeg provedbenog plana za svaku godinu radi izvršavanja Programa te rokove izrade. Donosi ga Sabor.

Prema članku 32. Godišnjim provedbenim planom određuju se:

**1. za statistička istraživanja:**

a) nositelj službene statistike
b) naziv statističkog istraživanja
c) periodičnost istraživanja
d) izvještajne jedinice
e) načini prikupljanja podataka
f) rokovi prikupljanja podataka
g) obvezatnost davanja podataka
h) veza s rezultatima ili aktivnostima u Programu
i) rokovi i razina objave rezultata
j) relevantni međunarodni standardi

**2. za druge načine prikupljanja podataka:**

a) nositelj službene statistike
b) posjednik administrativnih izvora podataka ili podataka dobivenih metodom promatranja i praćenja
c) naziv skupa ili niza administrativnih izvora podataka ili podataka prikupljenih metodom promatranja i praćenja
d) statističke jedinice i njihovo razgraničenje (za koje korišteni izvori sadrže podatke)
e) periodičnost i rokovi za prijenos podataka
f) format (papir, elektronička potpora, on-line pristup)
g) popis identifikatora ukoliko su uključeni u prijenos
h) klasifikacije/definicije kojih se treba pridržavati posjednik kada su podaci pripravljeni za prijenos do nositelja službene statistike
i) pozivanje na rezultate navedene u Programu
j) obvezatnost davanja podataka
k) veza s rezultatima ili aktivnostima u Programu
l) rokovi i razina objave rezultata
m) relevantni međunarodni standardi

**3. za razvoj i infrastrukturne aktivnosti, popise i druga opsežnija statistička istraživanja:**

a) nositelj službene statistike
b) naziv aktivnosti
c) ciljevi koje treba ostvariti tijekom godine.

Godišnjim provedbenim planom određuje se i pregled ukupno potrebnih resursa iz Državnog proračuna Republike Hrvatske.

U člancima 36. do 45. utvrđen je sadržaj i način prikupljanja podataka te obveze davanja podataka kao i odgovornost za točnost podataka i pravovremeno dostavljanje. U člancima 46. do 50. utvrđena je obrada i čuvanje statističkog gradiva.

Članci 51. do 53. utvrđuje statističke registre i zabranu davanja podataka korisnicima u obliku i na način koji omogućuje prepoznavanje jedinice na koju se podaci odnose.

Desiminacija i korištenje statističkih podataka utvrđeni su u člancima 54. do 58. Podaci prikupljeni u skladu s Programom i Godišnjim provedbenim planom smiju se koristiti isključivo u statističke svrhe.

U člancima 59. do 66. utvrđena je povjerljivost i zaštita statističkih podataka.Zaštita statističkih podataka prikupljenih u skladu s Programom i Godišnjim provedbenim planom obuhvaća postupke tehničke i organizacijske prirode, kao i druge odgovarajuće logičnotehničke postupke kojima se osiguravaju prostorije i informatička oprema, diseminacija statističkih podataka te naknadno utvrđivanje načina, vremena i svrhe obrade.

Međunarodna statistička suradnja utvrđena je u člancima 67. i 68. Prema tome u izvršavanju međunarodnih obveza nositelji službene statistike moraju ostvariti usporedivost s ostalim europskim zemljama, poštivati i primjenjivati međunarodne standarde te aktivno sudjelovati u razvoju službene statistike na međunarodnoj razini.

Prema članku 68. Državni zavod za statistiku organizira razmjenu rezultata i metodoloških osnova službene statistike s drugim zemljama i međunarodnim organizacijama, osim ako u pojedinim slučajevima za to ne ovlasti drugog nositelja službene statistike, odnosno ako posebim zakonom nije drugačije određeno. Statistički ured i statistička služba međunarodne organizacije koja traži statističke podatke mora dati pisanu izjavu u kojoj potvrđuje da će se na takve statističke podatke primijeniti odredbe o statističkoj povjerljivosti i da će se koristiti isključivo u statističke svrhe.

U člancima 69. do 71. utvrđuju se kaznene odredbe za nepoštivanje ovog zakona.

SBK

## PROGRAM STATISTIČKIH ISTRAŽIVANJA RH ZA 2003. GODINU

U lipnju ove godine Hrvatski sabor donio je Program statističkih istraživanja RH za 2003. godinu, koji je objavljen u Narodnim novinama broj 105 od 1. srpnja 2003. godine. Program sadrži:

1. Demografiju i socijalne statistike
   - *1.1. Statistika stanovništva*
   - **1.2. Statistika tržišta rada**
   - **1.3. Statistika obrazovanja, sporta, kulture i znanosti**
   - *1.4. Statistika životnog standarda*
   - *1.5. Statistika zdravstva*
   - *1.6. Ostale socijalne statistike*
2. Poslovne statistike
   - **2.1. Ekonomske statistike poslovnih subjekata**
   - **2.2. Statistika industrije i energije**
   - **2.3. Statistika građevinarstva**
   - **2.4. Statistika distributivne trgovine, ugostiteljstva i turizma**
   - **2.5. Statistika transporta i komunikacija**
3. Statistiku poljoprivrede, šumarstva, ribarstva i zaštite okoliša
   - *3.1. Statistika poljoprivrede, šumarstva i ribarstva*
   - **3.2. Statistika zaštite okoliša**
4. Makroekonomske statistike
   - *4.1. Godišnji ekonomski računi*
   - *4.2. Tromjesečni i regionalni računi*
   - **4.3. Statistika cijena**
   - *4.4. Statistika javnih financija*
   - *4.5. Monetarne statistike i statistike bilance plaćanja; robna razmjena s inozemstvom*
5. Statističke infrastrukture
   - **5.1. Klasifikacije i registri**
   - *5.2.Informatička infrastruktura.*

Nastavno je dan sažeti pregled onih dijelova programa koji se odnose na poslovne subjekte, odnosno trgovačko društvo HEP d.d. te druga trgovačka društva HEP Grupe s ograničenom odgovornošću (HEP-Proizvodnja d.o.o., HEP-Prijenos d.o.o., HEP-Distribucija d.o.o., HEP-Toplinarstvo d.o.o., HEP-Plin d.o.o. i druga).

### *Statistika tržišta rada*

Državni zavod za statistiku kao nositelj istraživanja prikuplja podatke putem izvješća na obrascima:

- **RAD – 1:** Mjesečno istraživanje o zaposlenima i plaći
- **RAD – 1G:** Godišnje istraživanje o zaposlenima i plaći.

Svrha prikupljanja podataka između ostalog je da se dobiju osnovni pokazatelji za analizu hrvatskog gospodarstva na dugi i kratki rok, broj zaposlenih, realni indeksi bruto i neto plaća kao i informacije o tržištu rada, te kvantitativni indikatori važni u procesu tranzicije.

Ova istraživanja djelomično su usklađena s relevantnim smjernicama i regulativama Europske unije (NACE Rev 1).

### *Statistika obrazovanja, sporta, kulture i znanosti*

Istraživanje provodi Nacionalna i sveučilišna knjižnica putem izvješća na obrascima nastavno prikazanim i dostavlja ih Državnom zavodu za statistiku:

- **NKL-1:** Godišnje izvješće o knjigama i brošurama
- **NKL-2:** Godišnje izvješće o novinama
- **NKL-3:** Godišnje izvješće o časopisima.

Praćenje kulturnog aspekta izdavačke djelatnosti za potrebe Ministarstva kulture i drugih korisnika; publikacije i studije UNESCO-a.

Ova istraživanja potpuno su usklađena s relevantnim međunarodnim standardima (Universal decimal classification konzorcija u Haagu – Federation for Information and Documentation /FID/; Revised Recommendation concernig tje International Standarisation of Statistics on the Production and Distribution of Books, Newspapers and Periodicals (/General Conference UNESCO, 1985).

- **NSDK:** Trogodišnje izvješće o obrazovanju odraslih i ostalo obrazovanje.

Svrha prikupljanja ovih podataka je praćenje rada i aktivnosti za potrebe Ministarstva sukladno s relevantnim nacionalnim standardima (Zakon o pučkim otvorenim učilištima (NN 54/97, 5/98/; Zakon o ustanovama /NN76/93, 29/97).

Što se tiče relevantnih međunarodnih standarda iz ovog područja u tijeku je proučavanje metodologije i utvrđivanje potrebnih usklađivanja s tim standardima (International Standard Classification of Education – ISCED 97 UOE Data Collection: Definition, Explantions and Instructions OECD, Paris 2002, 2002 Data Collection on Education Systems OECD, Paris 2002).

### *Ekonomske statistike poslovnih subjekata*

Nositelj istraživanja je Državni zavod za statistiku, koji prikuplja podatke putem izvješća na obrascima:

- **INV – P:** Godišnje izvješće o investicijama u dugotrajnu imovinu pravnih osoba
- **Probni statistički obrazac:** Godišnje istraživanje o dugotrajnoj imovini u tekućim cijenama.

Svrha prikupljanja ovih podataka je promatranje ekonomskog razvoja te utvrđivanje vrijednosti dugotrajne imovine u tekućim cijenama.

Ova istraživanja djelomično su usklađena s relevantnim međunarodnim standardima (NACE Rev 1, Uredbom Europske unije o strukturnoj poslovnoj statistici br. 21286/93 te Europskim sustavom nacionalnih računa ESA).

Nositelj sljedećeg istraživanja je Financijska agencija koja prikuplja podatke na obrascima kako slijedi:

- **SPL:** Statistička izvješća o isplatama plaća

- **TMP:** Izvješće o isplatama naknada materijalnih prava radnika.

Svrha prikupljanja podataka je praćenje razine plaća i naknada materijalnih prava zaposlenika i ostvarivanje politike plaća.

Istraživanje je djelomično usklađeno s relevantnim međunarodnim standardom NACE Rev 1, Pregled strukture zarada, Regulativa Vijeća EU broj 27744/95, Statistika o razini i strukturi cijene radne snage, Regulativa EU broj 23/97, Javna statistika o razini strukture cijene radne snage.

### *Statistika industrije i energije*

Nositelj prikupljanja i obrada podataka iz statistike industrije i energije je Državni zavod za statistiku. Podaci se prikupljaju putem izvješća na obrascima:

- **IND-1A:** Mjesečno izvješće industrije o proizvodnji i zaposlenima
- **IND-1K:** Tromjesečno izvješće o reprodukcijskim materijalima
- **IND-21/PRODCOM:** PRODCOM istraživanje o industrijskoj proizvodnji
- **IND-21/PSi:** Poslovno-strukturno istraživanje industrije.

Svrha prikupljanja podataka putem izvješća na obrascima IND-1A je za izradu dinamičkih pokazatelja (indeksa) o industrijskoj proizvodnji, zalihama, zaposlenicima i proizvodnosti rada, podrška tekućoj ekonomskoj politici, kao i ispunjavanje obveza RH iz međunarodne izmjene podataka s Eurostat-om (SDDS standardi). Ovo istraživanje potpuno je usklađeno s relevantnim međunarodnim standardima (NACE Rev 1, CPA 1996, Short term statistics Council Regulation /EC/ No. 1165/98 te Methodology of shortterm statistics /STS/ EUROSTAT 1998).

Tromjesečno izvješće industrije o reprodukcijskim materijalima (IND-1K) služi za izradu kratkoročnih pokazatelja inputa u industrijsku proizvodnju (sirovina i repromaterijala) te pokazatelje finalne potrošnje energije za ukupnu industriju i do razine odjeljaka industrijskih djelatnosti prema Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti (NKD). Istraživanje je djelomično usklađeno s relevantnim standardima Europske unije (NACE Rev 1, CPA 1996, RAW material and recivery of raw materiala, cat. No. CA-57-89-451-31, Series C Eurostat, Energy statistics methodology 2000; Eurostat 4).

Kroz PRODCOM istraživanje o industrijskoj proizvodnji (IND-21/PRODCOM) osiguravaju se temeljni pokazatelji o količinama i vrijednostima industrijske proizvodnje po pojedinačnim proizvodima PRODCOM nomenklature usklađene s EU nomenklaturom proizvoda i roba u vanjsko trgovinskom prometu, a radi utvrđivanja konkurentnosti proizvoda RH sa svjetskim i Europskim tržištima te ispunjavanja obveza RH iz međunarodne razmjene podataka s Eurostatom.

Ovo istraživanje potpuno je usklađeno s relevantnim međunarodnim standardima (NACE Rev 1, CPA 1996, Community survey of industrial production /PRODCOM)/, Council Regulation No. 3924/91 PRODCOM List 2002, Eurostat D3, Luxembourg 2002).

Poslovno-strukturno istraživanje industrije (IND-2PSi) služi za osiguranje temeljnih strateških pokazatelja o strukturi industrijske proizvodje po načelu čistih djelatnosti na razini skupina djelatnosti NKD, radi podrške makroekonomskim analizama, te nacionalne i regionalne politike za sektor industrije RH, te ispunjavanja obveza RH iz međunarodne razmjene podataka s Eurostat-om.

### *Statistika građevinarstva*

Nositelj istraživanja Državni je zavod za statistiku koji prikuplja podatke putem izvješća na obrascima:

- **GRAĐ-21/M:** Mjesečno izvješće građevinarstva
- **GRAĐ-21/3M:** Tromjesečno izvješće građevinarstva
- **GRAĐ-11:** Godišnje izvješće o građevinskim radovima
- **GRAĐ-12: Godišnje izvješće o građevinskim radovima – kontrolnik.**

Svrha ovih istraživanja je dobivanje kratkoročnih pokazatelja kretanja u građevinarstvu te pokazatelja za kompilaciju nacionalnih računa kao i praćenje vrsta građevina i radova.

Usklađenost ovih istraživanja s relevantnim međunarodnim standardima je djelomična (NACE Rev 1 /EC/OJ L 76/93/ Classification of Types of Construction – CC, final version/97 EU Council Regulation concerning short term statistics 7831/98, Methodology of short-term industrial statistics /ISBN 92-828-2879-4, Eurostat 1998),

Recommendations for the 2000 Censuses of population and Housting in the ECE Region Statistical standards and studies No. 49, UN/Eurostat, 1998).

### *Statistika distributivne trgovine, ugostiteljstva i turizma*

Državni zavod za statistiku prikuplja podatke putem izvješća na obrascima:

- **UG-11:** Tromjesečno izvješće ugostiteljstva za pravne osobe – poduzeća/trgovačka društva.

Svrha prikupljanja podataka je između ostalog i utvrđivanje kratkoročnih pokazatelja ekonomskog razvoja zemlje, a služit će i kao element za kreiranje politike razvoja turizma u zemlji.

Istraživanje je djelomično usklađeno s relevantnim međunarodnim standardom (Recommendation on Tourism Statistics /UN-WTO, New York, 1994/; Applying the Eurostat Methodological Guidelines in Basic Tourism and Travel Statistics, A Practical Manual, Eurostat, 1996; Council Regulation /EC/ concerning Short-Term Statistica, 1165/98, Eurostat NACE ev 1).

### *Statistika transporta i komunikacija*

Ovo istraživanje obhvaća prikupljanje podataka koji se dostavljaju Državnom zavodu za statistiku na obrascima:

- **PA/M-11:** Tromjesečno izvješće cestovnom prijevozu putnika
- **PA/T-11:** Statističko istraživanje o cestovnom prijevozu robe (tjedno izvješće)
- **MV/M-11:** Registrirana cestovna motorna i priključna vozila
- **P-TK/T-11:** Tromjesečno izvješće o telekomunikacijskim uslugama
- **PA/G-11:** Godišnje izvješće o cestovnom prijevozu putnika
- **MV/G-11:** Registrirana cestovna motorna i priključna vozila (godišnje izvješće)
- **TK/G-11:** Godišnje izvješće o telekomunikacijskim sredstvima, mreži i prihodima
- **P-TK/G-18:** Godišnje izvješće o telekomunikacijskoj opremi i uslugama.

S međunarodnim standardima djelomično su usklađena izvješća PA/T-11 te P-TK/T-11 (Glossary for Transport Statistics, Eurostat; Statistical returns in respect of goods by roud, Eurostat; Draft Methodological manual for telecommunications statistics).

### *Statistika zaštite okoliša*

Nositelj istraživanja je Državni zavod za statistiku koji prikuplja podatke putem izvještaja na obrascima:

- **VOD-1:** Godišnje izvješće o korištenju i zaštiti voda od zagađivanja u opskrbi električnom energijom, plinom i vodom
- **ZRAK-1:** Godišnje izvješće bilance onečišćujućih tvari u zrak
- **-:** Godišnje izvješće o katastru individualnih izvora emisija u okoliš
- **OTP-SKO:** Spaljivanje, kompostiranje i odlaganje otpada – godišnje izvješće
- **OTP-1:** Trogodišnje izvješće o proizvodnji i uporabi otpada

Ova istraživanja potpuno su usklađena s međunarodnim standardima osim Godišnjeg izvješća o katastru individualnih izvora emisija u okoliš (ECE Standard Classification of Water Statistics in the ECE Region /ECE/Water/43; Long Range Transboudary Air Pollution Convention /LRTAP/, Geneve, 1979; Council Regulation on Waste Management Statistics, Eurostat; The European Waste Catalogue /EWC/).

### *Statistika cijena*

Podaci o cijenama proizvođača industrijskih proizvoda prikupljaju se na obrascima i dostavljaju Državnom zavodu za statistiku:

- C-41: Cijena proizvođača industrijskih proizvoda.

Svrha prikupljanja podataka je vođenje makroekonomske politike bruto domaćeg proizvoda, za uspoređivanje cijena materijalnih troškova, za deflacioniranje vrijednosti zaliha i materijalne imovine (trajna dobra).

Istraživanje je djelomično usklađeno s međunarodnim standardima (CPA 1996, PRODCOM Survey/List; Propisi EU o kratkoročnim pokazateljima).

### *Klasifikacije i registri*

Podaci se dobiju iz informacija prikupljenih u procesu registracije Poslovnog subjekta. Svi poslovni subjekti moraju se registrirati u Državnom zavodu za statistiku. Svi poslovni subjekti obvezni su prijaviti Registru svaku svoju promjenu podataka u pisanom obliku.

SBK

## ZAKON O FONDU ZA ZAŠTITU OKOLIŠA I ENERGETSKU UČINKOVITOST

U lipnju 2003. godine Hrvatski sabor je donio **Zakon o fondu za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost,** koji je objavljen u Narodnim novinama broj 107 od 4. srpnja 2003. godine. Zakonom su utvrđeni:

- ustrojstvo i djelatnost fonda
- tijela fonda i upravljanje fondom
- ostvarivanje prihoda fonda
- imovina i financijsko poslovanje fonda
- obračun i naplata naknada i posebne naknade
- javnost rada fonda
- upravni i inspekcijski nadzor
- kaznene i završne odredbe.

Fond je osnovan radi financiranja pripreme, provedbe i razvoja programa, projekata i sličnih aktivnosti u području:

- očuvanja, održivog korištenja, zaštite i unaprjeđivanja okoliša te
- energetske učinkovitosti i korištenja obnovljivih izvora energije.

U člancima 4. do 7. utvrđeni su ustrojstvo i djelatnost Fonda. Prema članku 7. prioritena djelatnost Fonda jest:

- obavljanje poslova u svezi s pribavljanjem, upravljanjem i korištenjem sredstava
- posredovanje u svezi s financiranjem zaštite okoliša i energetske učinkovitosti iz inozemnih i domaćih izvora sredstava
- vođeje baze podataka
- suradnja s domaćim i inozemnim institucijama u svezi s financiranjem.

Fond ima javne ovlasti u obavljanju poslova iz svoje djelatnosti.

U člancima 8. do 11. utvrđena su tijela i upravljanje Fondom. Fond ima Upravni odbor, direktora i zamjenika, nadzorna, stručna i savjetodavna tijela.

Ostvarivanje prihoda fonda utvrđeno je u člancima 12. do 20. Tu su utvrđeni izvori sredstava, određivanje naknada, posebne naknade te obveznici plaćanja, očevidnik obveznika plaćanja i korištenje sredstava Fonda.

Prema članku 12. financijska sredstva osiguravaju se između ostalog od:

- naknada onečišćivača okoliša ($CO_2$, $SO_2$, $NO_2$)
- nakade korisnika okoliša (naknada za građevine ili građevne cjeline za koje je propisana obveza provođenja postupka procjene utjecaja na okoliš)
- naknada za opterećivanje okoliša otpadom (naknada za komunalni otpad i neopasni tehnološki otpad, naknada za opasni otpad)
- posebne naknade za okoliš na vozila na motorni pogon (vlasnici svih motorni vozila).

Što čini imovinu Fonda i način financijskog poslovanja utvrđeni su u člancima 21. do 25. Obračun i naplata naknada utvrđeni su u člancima 26. do 28. Prema članku 29. rad Fonda je javan, što znači da je Fond dužan javnosti i sredstvima javnog priopćavanja davati informacije o obavljanju poslova svoje djelatnosti te omogućiti uvid u svoju dokumentaciju, osim ako nije službena tajna. U članku 30. utvrđen je način obvaljanja upravnog i inspekcijskog nadzora.

Za nepoštivanje ovog zakona utvrđene su kaznene odredbe u člancima 31. do 39.

Prema prijelaznim i završnim odredbama, članak 44., ovaj Zakon stupa na snagu 1. siječnja 2004. godine.

SBK

## ZAKON O ZAŠTITI TRŽIŠNOG NATJECANJA

Ovim zakonom utvrđuju se pravila i sustav mjera za zaštitu tržišnog natjecanja kao i ovlasti i zadaci te ustrojstvo tijela za zaštitu tržišnog natjecanja. Zakon o zaštiti tržišnog natjecanja objavljen je u Narodnim novinama broj 122. od 30. srpnja 2003. godine. Prestaje vrijediti Zakon koji je objavljen u Narodnim novinama broj 48/95, 52/97 i 89/98.

Zakonom su utvrđeni:

- dozvoljeni sporazumi između poduzetnika
- vladajući položaj i ograničavajuća djelovanja

- koncentracije
- stručna mišljenja agencije
- agencija za zaštitu tržišnog natjecanja
- postupak donošenja odluka pred agencijom
- kaznene i završne odredbe.

U općim odredbama, u člancima 1. do 8., utvrđen je predmet i primjena ovog Zakona, poduzetnici pod kontrolom drugog poduzetnika, pravni odnosi i poduzetnici na koje se Zakon primjenjuje, mjerodavno tržište te tijelo ovlašteno za provedbu Zakona. Prema članku 8. stručne poslove u svezi sa zaštitom tržišnog nadmetanja obavlja **Agencija za zaštitu tržišnog nadmetanja.**

U člancima 9. do 14., u dijelu o sporazumima utvrđeno je koji su sporazumi zabranjeni, skupna i pojedinačna izuzeća, sporazumi male vrijednosti, poništavanje, ukidanje i izmjena rješenja. Prema članku 9. zabranjeni su takvi sporazumi kojima se:

- utvrđuju kupovne ili prodajne cijene, odnosno drugi trgovinski uvjeti
- ograničava ili nadzire proizvodnja, tržišta, tehnološki razvoj i ulaganje
- dijele tržišta ili izvori nabave
- primjenjuju nejednaki uvjeti za istovrsne poslove
- uvjetuje sklapanje ugovora prihvaćanjem od drugih ugovornih starnaka dodatnih obveza.

Uvjeti, odnosno vrste sporazuma kada su dozvoljena skupna i pojedinačna izuzeća utvrđeni su u člancima 11. i 12.

Što su sporazumi male vrijednosti utvrđeno je u članku 13. Smatra se da je male vrijednosti onaj sporazum u kojem je zajednički tržišni udio sudionika sporazuma i poduzetnika pod njihovom kontrolom neznatan, pod uvjetom da ne sadrži odredbe koje unatoč neznatnom tržišnom udjelu dovode do sprječavanja, ogarničavanja ili narušavanja tržišnog natjecanja.

U članku 14. utvrđeni su uvjeti kada dolazi do poništavanja, ukidanja i izmjena rješenja o izuzeću koja izdaje Agencija.

Vladajući položaj i ograničavajuća djelovanja utvrđeni su u člancima 15. do 17. Poduzetnik ima vladajući položaj na tržištu, ako nema konkurencije. Taj se položaj može i zlouporabiti, što se zabranjuje ovim Zakonom. Agencija za zaštitu tržišnog natjecanja sprječava zlouporabe donošenjem potrebnih mjera kojima osigurava tržišno natjecanje.

U člancima 18. do 28. utvrđen je pojam koncentracije i što treba poduzimati da ne dođe do neželjenih koncentracija.

Prema članku 19. koncentracija poduzetnika nastaje pripajanjem ili spajanjem poduzetnika, stjecajem kontrole ili prevladajućeg utjecaja jednog ili više poduzetnika nad drugim poduzetnicima. To se postiže stjecajem većine dionica ili udjela, stjecajem većine prava glasa.

Prema članku 22. namjeravanu koncentraciju sudionici su koncentracije obvezni prijaviti Agenciji za zaštitu tržišnog natjecanja na ocjenu, koja izdaje rješenje.

Agencija će provesti postupak ispitivanja prijave koncentracije i dati ocjenu na temelju kriterija propisanih u članku 25. da li je koncentracija dopuštena ili ne i o tome izdati rješenje.

U članku 28. utvrđene su mjere nakon provedbe nedopuštene koncentracije.

Ustrojstvo Agencije za zaštitu tržišnog natjecanja (pravna osoba, sjedište, Vijeće, uvjeti za imenovanje, način donošenja odluka, djelokrug Vijeća, stručna služba Agencije, glasnik, sukob interesa zaposlenika) utvrđeno je u člancima 29. do 38.

Postupak donošenja odluka pred Agencijom utvrđena je u člancima 31. do 59.

U člancima 60. do 65. u kaznenim odredbama utvrđena je obveza pokretanja prekršajnog postupka protiv poduzetnika kod suda kao i zastara.

Ovaj Zakon se primjenjuje od 1. listopada 2003. godine.

SBK

## METODOLOGIJA ZA STATISTIČKU PRIMJENU NACIONALNE KLASIFIKACIJE DJELATNOSTI

Na temelju članka 43. Zakona o službenoj statistici (»Narodne novine«, br. 103/03.) Državni zavod za statistiku određuje **Metodologiju za statističku primjenu nacionalne klasifikacije djelatnosti – NKD 2002.** Metodologija je objavljena u Narodnim novinama broj 123. od 31. srpnja 2003. godine.

Stupanjem na snagu ove Metodologije za statističku primjenu Nacionalne klasifikacije djelatnosti – NKD 2002. prestaju vrijediti Metodološke osnove za Nacionalnu klasifikaciju djelatnosti – NKD, objavljene u Narodnim novinama broj 12. od 5. veljače 1997. godine.

Nastavno je ukratko komentiran sadržaj Metodologije.

S obzirom na to da je NKD preuzeta klasifikacija NACE-a Rev. 1 EU-a, a preuzeta je zbog osiguravanja usporedivosti statističkih standarda RH s EU-om (preko toga i s UN-om), stupanjem na snagu revidirane verzije NACE-a Rev. 1.1 imalo je neposredan utjecaj i na odluku Državnog zavoda za statistiku (DZS) da već 2002. počne s pripremom izrade prijedloga revidirane verzije NKD-a. Osim toga, potpisivanjem Sporazuma o stabilizaciji i pridruživanju (SSP) između Republike Hrvatske (RH) i Europske unije (EU) i donesenim Mjerama Vlade RH u okviru Plana provedbe SSP-a za razdoblje od 2001. do kraja 2006. usklađivanje službene statistike RH sa statistikom EU-a postaje obveza DZS-a.

Ovom metodologijom utvrđeni su:

- **pojam i klasifikacija djelatnosti**
- **pregled razvoja klasifikacije djelatnosti u RH**
- **struktura i sustav označavanja NKD-a 2002**
- **pravila korištena u oblikovanju NKD-a 2020**
- **oblik vlasništva, tržišne i netržišne djelatnosti**
- **djelatnosti opisane proizvodima**
- **definicije djelatnosti**
- **statističke jedinice za promatranje i analizu proizvodnog sustava – pojam statističkih jedinica**
- **pravila za razvrstavanje statističkih jedinica prema NKD-u 2002.**

**Klasifikacija djelatnosti** jedan je od osnovnih statističkih normativa koji se koristi pri evidentiranju, prikupljanju, obradi, analizi, diseminaciji i prikazivanju podataka važnih za stanje određenog gospodarstva te za analizu i usmjeravanje društvenog i gospodarskog razvoja i njegovih strukturnih promjena. Prema klasifikaciji djelatnosti razvrstavaju se poslovni subjekti (pravne i fizičke osobe) po djelatnostima koje obavljaju u skladu s propisima.

Pod djelatnošću se podrazumijeva kombinacija resursa kao što su oprema, rad, tehnika proizvodnje, informativne mreže ili proizvodi čiji je rezultat određena roba ili usluge. Djelatnost je određena inputom proizvoda (dobara ili usluga), proizvodnim procesom i outputom proizvoda.

Nastavno se daje kronološki prikaz **razvoja klasifikacije** djelatnosti u RH:

- Prva Privremena klasifikacija djelatnosti u Republici Hrvatskoj prihvaćena je 1947. i koristila se do 1962. godine.
- Od 1962. godine kao sastavni dio Pravilnika o razvrstavanju korisnika društvene imovine prema njihovim djelatnostima upotrebljava se Nomenklatura za razvrstavanje gospodarskih i drugih organizacija te državnih organa prema djelatnostima. Koristila se i bila je na snazi uz određene manje promjene i dopune do 1976. godine.
- Jedinstvena klasifikacija djelatnosti – JKD stupila je na snagu i primjenjivala se od 1. siječnja 1977. do 31. prosinca 1995. godine, a za statističke i analitičke potrebe primjenjivala se do 31. prosinca 1996. godine.
- Nacionalna klasifikacija djelatnosti – NKD stupila je na snagu i primjenjuje se od 1. siječnja 1995. do 31. prosinca 2002. godine, a za statističke i analitičke potrebe primjenjivat će se do 31. prosinca 2003. godine.
- Nacionalna klasifikacija djelatnosti – NKD 2002. obvezatno će se primjenjivati od 1. siječnja 2004. godine u svim statističkim istraživanjima i poslovnim registrima, a predviđen je i krajnji rok do 31. prosinca 2006. godine.
- Sljedeća revizija i stupanje na snagu revidiranog NKD-a 2007. planirano je 1. siječnja 2007. godine, u skladu s rokovnikom stupanja na snagu revidiranih svjetskih i europskih statističkih klasifikacija djelatnosti, koje već pripremaju međunarodna statistička tijela pod radnim nazivom »Operacija 2007.«.

**Nacionalna klasifikacija djelatnosti** – NKD 2002. ima 17 područja, 31 potpodručje, 62 odjeljka, 224 skupine, 514 razreda i 585 podrazreda.

Šifarski sustav NKD-a 2002. obuhvaća:

- *prvu razinu* – područje *(section)*, označenu jednoslovnom abecednom šifrom (A – Q)
- *međurazinu* – potpodručje *(subsection)*, označenu dvoslovnom abecednom šifrom (CA – DN)
- *drugu razinu* – odjeljak *(division)*, označenu dvoznamenkastom brojčanom šifrom (01 – 99)
- *treću razinu* – skupinu *(group)*, označenu troznamenkastom brojčanom šifrom (01.1 – 99.0)
- *četvrtu razinu* – razred *(class)*, označenu četveroznamenkastom brojčanom šifrom (01.11 – 99.00)
- *petu razinu* – podrazred *(subclass)*, označenu peteroznamenkastom brojčanom šifrom (01.11.1 – 99.00.0).

U donjoj tablici prikazan je broj naslova unutar svake od hijerarhijskih razina NKD-a 2002. po pojedinačnim područjima NKD 2002., sve do najniže nacionalne razine podrazreda (585), označenih s peteroznamenkastom brojčanom oznakom.

| Oznake i nazivi područja NKD-a 2002. | | Broj hijerarhijskih razina NKD-a 2002. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | potpodručja | odjeljci | skupine | razredi | podrazredi |
| UKUPNO (A – Q) | | 31 | 62 | 224 | 514 | 585 |
| A | Poljoprivreda, lov i šumarstvo | 1 | 2 | 6 | 14 | 19 |
| B | Ribarstvo | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 |
| C | Rudarstvo i vađenje | 2 | 5 | 13 | 16 | 16 |
| D | Prerađivačka industrija | 14 | 23 | 103 | 242 | 255 |
| E | Opskrba električnom energijom, plinom i vodom | 1 | 2 | 4 | 7 | 7 |
| F | Građevinarstvo | 1 | 1 | 5 | 17 | 19 |
| G | Trgovina na veliko i na malo; popravak motornih vozila i motocikla te predmeta za osobnu uporabu i kućanstvo | 1 | 3 | 19 | 79 | 98 |
| H | Hoteli i restorani | 1 | 1 | 5 | 8 | 11 |
| I | Prijevoz, skladištenje i veze | 1 | 5 | 14 | 21 | 31 |
| J | Financijsko posredovanje | 1 | 3 | 5 | 12 | 13 |
| K | Poslovanje nekretninama, iznajmljivanje i poslovne usluge | 1 | 5 | 23 | 39 | 44 |
| L | Javna uprava i obrana; obvezno socijalno osiguranje | 1 | 1 | 3 | 10 | 15 |
| M | Obrazovanje | 1 | 1 | 4 | 6 | 7 |
| N | Zdravstvena zaštita i socijalna skrb | 1 | 1 | 3 | 7 | 8 |
| O | Ostale društvene, socijalne i osobne uslužne djelatnosti | 1 | 4 | 12 | 30 | 34 |
| P | Djelatnosti kućanstava | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Q | Izvanteritorijalne organizacije i tijela | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

S obzirom na to da je NKD 2002. izveden iz NACE-a Rev. 1.1, s njim je i potpuno sukladan do uključujući razine razreda (514), a sa ISIC-om Rev. 3.1 (isto kao i NACE) do uključujući razine odjeljka.

Što se tiče **koncepta i definicije** NKD-a 2002., sustav klasifikacije djelatnosti ovisi o primjeni propisanih opisa djelatnosti i statističkih jedinica koje se razvrstavaju u tu djelatnost. Svi koncepti i definicije koji se koriste u ovom poglavlju preuzeti su iz koncepta i definicija NACE-a Rev. 1.1 jer je NKD 2002. preuzeo strukturu i opise izvornika NACE-a Rev. 1.1 u cjelini, pa tako i izvorne koncepte i definicije, dok je samo za nacionalno uvedenu kategoriju podrazreda korišten nacionalni koncept.

**Glavni kriteriji** korišteni u određivanju odjeljaka i skupina (dvoznamenkaste i troznamenkaste kategorije) NKD-a 2002. odnose se na osobine djelatnosti proizvodnih jedinica koje su strateški važne u određivanju stupnja sličnosti u strukturi jedinica i stanovite veze u gospodarstvu. Glavni aspekti djelatnosti su: osobine proizvedenih roba i usluga, namjene proizvoda i usluga i inputi, proces, tehnologija proizvodnje.

**Kriteriji u svezi s načinom** na koji su djelatnosti povezane unutar i raspoređene između poduzeća zauzimaju središnje mjesto u definiciji razreda (četveroznamenkaste kategorije). Njihova je namjena da u većini slučajeva osiguraju primjenu razreda NKD-a 2002. pri razvrstavanju jedinica prema vrsti djelatnosti (JVD) ili poduzeća i da jedinice koje pripadaju pojedinom razredu budu što je više moguće slične prema vrstama djelatnosti koje obavljaju.

Razredi NKD-a 2002. definirani su tako da što je više moguće budu zadovoljena sljedeća dva uvjeta: da proizvodnja određenih kategorija roba ili usluga koje obilježavaju dani razred odgovara outputu jedinica razvrstanih u taj razred i da razred obuhvaća jedinice koje proizvode većinu kategorija roba ili usluga koje ga obilježavaju.

Podrazredi NKD-a 2002. raščlanjeni su tako da što je više moguće budu zadovoljena sljedeća tri uvjeta: da je proizvodnja određenih kategorija roba ili usluga koje obilježavaju dani podrazred nacionalno homogena i ekonomski važna; da je proizvodnja određenih kategorija roba ili usluga koje obilježavaju dani podrazred nacionalno specifična, a u suprotnom ne bi bila vidljiva (ili je predviđen brz razvoj); da se osigura nacionalna usporedivost podataka o proizvodnji određenih kategorija roba ili usluga koje obilježavaju dani podrazred s povijesnim podacima o proizvodnji određenih kategorija roba ili usluga (prikupljenih na temelju »središnje« klasifikacije).

NKD 2002. ne razlikuje **oblik vlasništva**, vrstu pravne organizacije ili način poslovanja jer ti kriteriji nisu povezani s karakteristikama same djelatnosti.

Nadalje u strukturi NKD-a 2002. razlika između tržišnih i netržišnih djelatnosti nije uzeta u obzir.

U svakodnevnoj statističkoj praksi treba koristiti Klasifikacijom proizvoda po djelatnostima – KPD 2002., koja određuje karakteristične proizvode pojedinačnih djelatnosti. Klasifikacija proizvoda po djelatnostima – KPD 2002. usklađena je sa Statističkom klasifikacijom proizvoda po djelatnostima u Europskoj ekonomskoj zajednici – CPA 2002 *(Statistical Classification of Product by Activity in the European Economic Community, 2002 version),* koja je u primjeni u zemljama članicama Europske unije od 1. siječnja 2003.

**Djelatnost** *(activity)* je kombinacija resursa kao što su oprema, rad, tehnike proizvodnje, informacijske mreže ili kombinacija proizvoda kojoj je rezultat stvaranje specifičnih roba ili usluga. Djelatnost određuju input proizvoda (roba ili usluga), proizvodni proces i output proizvoda.

U praksi većina proizvodnih jedinica obavlja nekoliko različitih djelatnosti, stoga je potrebno odrediti glavnu, sporednu i pomoćnu djelatnost.

Glavna djelatnost *(principal activity)* određuje se metodom *top down* (vidi primjer uz poglavlje V.) kao djelatnost koja najviše pridonosi cjelokupnoj dodanoj vrijednosti jedinice promatranja. Pri tako određenoj glavnoj djelatnosti nije nužno da ima udjel 50% i veći u ukupnoj dodanoj vrijednosti te jedinice.

Sporedna djelatnost *(secondary activity*) je svaka druga djelatnost neke jedinice kojom se proizvode robe ili usluge.

Glavne i sporedne djelatnosti obično se obavljaju uz potporu brojnih pomoćnih djelatnosti (*ancillary activities*) kao što su računovodstvo, prijevoz, skladištenje, nabava, promidžba prodaje, popravak i održavanje itd. Stoga su pomoćne djelatnosti one koje postoje isključivo da bi pružale potporu glavnim proizvodnim djelatnostima neke jednice osiguravajući netrajnu (*non-durable*) robu ili usluge za potrebe te jedinice.

Što se tiče **statističkih jedinica za promatranje i analizu proizvodnog sustava** iz četvrtog dijela, ovom metodologijom utvrđuje se popis statističkih jedinica zajedno s kriterijima za uporabu, definicijama jedinica i objašnjenjima, koje je potrebno ugraditi u statistički sustav zajedno s njihovom primjenom u statističkim istraživanjima i statističkim registrima.

Statističke jedinice definiraju se na temelju triju kriterija čija važnost ovisi o vrsti jedinice na koju se odnose.

- pravni, računovodstveni i ustrojstveni kriterij
- zemljopisni kriterij
- kriterij djelatnosti.

Definirane su i vrste statističkih jedinica:

- Poduzeće (Enterprise)
- Institucijska jedinica (Institutional unit)
- Skupina poduzeća (Enterprise group)
- Jedinica prema vrsti djelatnosti – JVD (Kind-of-activity unit – KAU)
- Jedinica homogene proizvodnje – JHP (Unit of homogeneous production – UHP)
- Lokalna jedinica (Local unit)
- Lokalna jedinica prema vrsti djelatnosti – lokalni JVD (Local kind-of-activity unit – local KAU)
- Lokalna jedinica homogene proizvodnje – lokalni JHP (Local unit of homogenous production – local UHP)
- Upravna i neprofitna tijela (Government and non-profit bodies)
- Pomoćne djelatnosti (Ancillary activities).

U petom dijelu dana su pravila za razvrstavanje statističkih jedinica prema NKD-u 2002. Detaljno su opisana temeljna pravila razvrstavanja i popraćena primjerom.

Dodana vrijednost je temeljni koncept kojim se određuje razvrstavanje jedinice prema ekonomskim djelatnostima. Budući da postoji razlika između outputa (proizvodnje) i intermedijarne potrošnje, dodana vrijednost je dodatna mjera udjela svake ekonomske jedinice u bruto domaćem proizvodu (BDP). Važan koncept vrednovanja je bruto dodana vrijednost po bazičnim cijenama. Bruto dodana vrijednost po bazičnim cijenama definira se kao razlika između outputa (proizvodnje) vrednovanog po bazičnim cijenama i intermedijarne potrošnje vrednovane po kupovnim cijenama. Stoga se dodana vrijednost po bazičnim cijenama sastoji od ostalih

poreza na proizvodnju, neto dobiti, naknade zaposlenicima, potrošnje fiksnog kapitala i izravnavajuće stavke poslovnog viška (profita).

Jedinice se razvrstavaju prema svojoj glavnoj djelatnosti. Glavna je djelatnost ona u kojoj je ostvaren najveći udjel u dodanoj vrijednosti jedinice po bazičnim cijenama.

U mnogo složenijem slučaju kada jedinica obavlja više od dvije djelatnosti koje pripadaju više od dvjema različitim pozicijama u NKD-u 2002., a nijedna od njih nema udjel veći od 50% dodane vrijednosti, razvrstavanje jedinice po djelatnosti mora se odrediti uporabom metode *top down.*

Metoda *top down* slijedi hijerarhijsko pravilo prema kojem razvrstavanje jedinice na nižoj razini klasifikacije mora biti u skladu s razvrstavanjem jedinice na višim razinama. Da bi taj uvjet bio zadovoljen, proces počinje identifikacijom važnih pozicija na višoj razini i napreduje prema nižim razinama klasifikacije na sljedeći način:

1. Odredi se područje NKD-a 2002. koje ima relativno najveći udjel u dodanoj vrijednosti.
2. Unutar tog područja odredi se odjeljak NKD-a 2002. koji ima relativno najveći udjel u dodanoj vrijednosti unutar tog područja.
3. Unutar tog odjeljka odredi se skupina NKD-a 2002. koja ima relativno najveći udjel u dodanoj vrijednosti unutar tog odjeljka.
4. Unutar te skupine odredi se razred NKD-a 2002. koji ima relativno najveći udjel u dodanoj vrijednosti unutar te skupine.
5. Unutar tog razreda odredi se podrazred NKD-a 2002. koji ima relativno najveći udjel u dodanoj vrijednosti tog razreda. Taj podrazred određuje glavnu djelatnost.

Postoje određeni gospodarski procesi i pojave koje treba jasno definirati ukoliko sa statističkim jedinicama želimo postupati na jedinstven način te su zato utvrđena i posebna pravila koja se odnose na određena područja NKD-a 2002.

Posebna pravila s aspekta ustrojstva i specifičnih procesa u gospodarstvu odnose se na:

- vertikalnu integraciju
- horizontalnu integraciju
- djelatnosti koje se obavljaju uz naplatu ili po ugovoru
- konvertere
- instaliranje i montažu na licu mjesta
- popravak i održavanje.

Jedinice mogu mijenjati svoju glavnu djelatnost bilo odjednom bilo postupno tijekom određenoga vremenskog razdoblja. Glavna djelatnost može se promijeniti unutar godine od jednoga statističkog razdoblja do sljedećega zbog sezonskih čimbenika ili zbog odluke poslovodstva da promijeni proizvodnju.

Nadalje u šestom dijelu, u Pojmovniku, detaljnije se opisuju pojmovi koji se koriste u ovom slučaju i ne vrijede izvan Metodologije. Naime, Pojmovnik predstavlja samo jedan dopunski alat korisnicima za ispravnu interpretaciju NKD-a 2002. Pojmovnikom su obuhvaćeni pojmovi:

- Dodana vrijednost (Value added)
- Finalni proizvod (Finished product)
- Industrijski proces (Industrial process)
- Kapitalna dobra (Capital goods)
- Nusproizvodi (By-products)
- Obrada (Treatment)
- Poluproizvod (Semi-finished product)
- Proizvod (Product)
- Proizvodnja (Production)
- Prerađivačka industrija (Manufacturing industry)
- Pretvorba (Transformation)
- Roba (Commodity)
- Strojevi: industrijski (Machinery: industrial)
- Strojevi: za osobnu uporabu ili kućanstvo (Machinery: domestic or household).

U sedmom dijelu u završnim odredbama utvrđeno je da stupanjem na snagu ove Metodologije za statističku primjenu Nacionalne klasifikacije djelatnosti – NKD 2002. prestaju vrijediti Metodološke osnove za Nacionalnu klasifikaciju djelatnosti – NKD, objavljene u »Narodnim novinama« br. 12/97. od 5. veljače 1997.

SBK

## NOVE GRANSKE NORME HEP-a

HEP Distribucija d.o.o. utvrdila je **I. Izmjene i dopune** granske norme **Tehnički uvjeti i upute za izgradnju niskonaponske mreže sa samonosivim kabelskim snopom** od 10. kolovoza 1993. godine koje su bile objavljene u Biltenu HEP-a broj 31. Objavljivanjem I. imjena i dopuna prestaje vrijediti navedena norma iz 1993. godine. I. izmjene i dopune predstavljaju novu normu koja je objavljena u Biltenu HEP-a broj 118. od 9. lipnja 2003. godine.

Svrha donošenja ove granske norme je da se na jedinstveni način izvode niskonaponske mreže sa samonosivim kabelskim snopom te korištenje tipskih presjeka kabelskog snopa i ostale pripadne opreme.

Ovom granskom normom utvrđuju se uvjeti i tehničke preporuke za izgradnju izolirane nadzemne niskinaponske električne mreže i to:

- u gradskim i prigradskim područjima
- u selima
- odvojnih vodova s kabelske i nadzemne mreže
- odvojnih vodova za napajanje udaljenih objekata
- rekonstrukciju i pojačanja postojećih mjesnih mreža.

U drugom dijelu definirane su tehničke značajke samonosivog kabelskog snopa, odnosno podloge za projektiranje:

- označavanje i obilježavanje žila
- konstrukcija snopa
- izbor tipskog samonosivog kabelskog snopa.

Upute za izgradnju niskonaponske mreže sa samonosivim kabelskim snopom iz trećeg dijela obuhvaćaju:

- sigurnosne udaljenosti i visine
- izvedbu niskonaponske mreže sa samonosivim kabelskim snopom na stupovima
- montažu samonosivog kabelskog snopa po fasadi zgrade sa zatezanjem nosivog neutralnog vodiča
- montažu samonosivog kabelskog snopa po fasadi zgrade kada se zateže kompletan snop
- nadzemne kućne priključke
- spajanje samonosivog kabelskog snopa i izrada izolacije
- zaštita niskonaponske mreže i kućnih priključaka.

Uvjeti osiguranja kvalitete iz četvrtog dijela kontroliraju se kroz:

- ispitivanje samonosivog kabelskog snopa (tipsko i na uzorku)
- ispitivanje ovjesnog i spojnog materijala
- ispitivanje nakon izvedene montaže.

U petom dijelu grafički i tabelarno iskazani su podaci o vlačnoj sili i provjesu ovisno o temperaturi, uz maksimalno radno i iznimno naprezanje za razne slučajeve.

Također su crtežom prikazana zavješenja i ovješenja za razne izvedbe zavješenja, ovješenja i spajanja samonosivog kabelskog snopa.

SBK

# *IZ STRANE STRUČNE LITERATURE*

## GRADNJA HIDROELEKTRANE THREE GORGES (TRI KLISURE) IDE PO PLANU

HE Three Gorges najveća je hidroelektrana u svjetskim razmjerima (Vidjeti: Energija, god. 47/1998/1). Ukupno instalirana snaga, kad bude dovršena, iznosit će 18.200 MW (26 jedinica snage 700 MW svaka), a proizvodit će godišnje oko 85 milijuna kWh. Investicijski troškovi procjenjuju se na oko 24 milijarde američkih dolara. Brana, visine 175 metara, tvorit će akumulaciju dugu 600 kilometara (sve do grada Chongqinga), kapaciteta oko 15 milijardi $m^3$ vode u prvoj fazi. Iz slike 1. vidljivo je koliku površinu zauzima akumulacija (crveno) u odnosu na površinu cijele Kine. Raseljeno je oko 700.000 ljudi, dok će u konačnoj fazi to iznositi prema nekim procjenama čak 1, 9 milijuna ljudi.

Gradnja je počela 1993. godine i odvija se u fazama. Planirano je da prva faza bude dovršena 2003. godine, a kompletna elektrana do 2010. godine. Dosada su se radovi odvijali po planu. Naime, punjenje akumulacije u prvoj fazi do visine 135 metara počelo je 1. lipnja ove godine, zapravo pet dana prije planiranog roka. Promet na rijeci Yangtze bio je zatvoren od travnja ove godine do polovice lipnja, kada je ponovno otvoren.

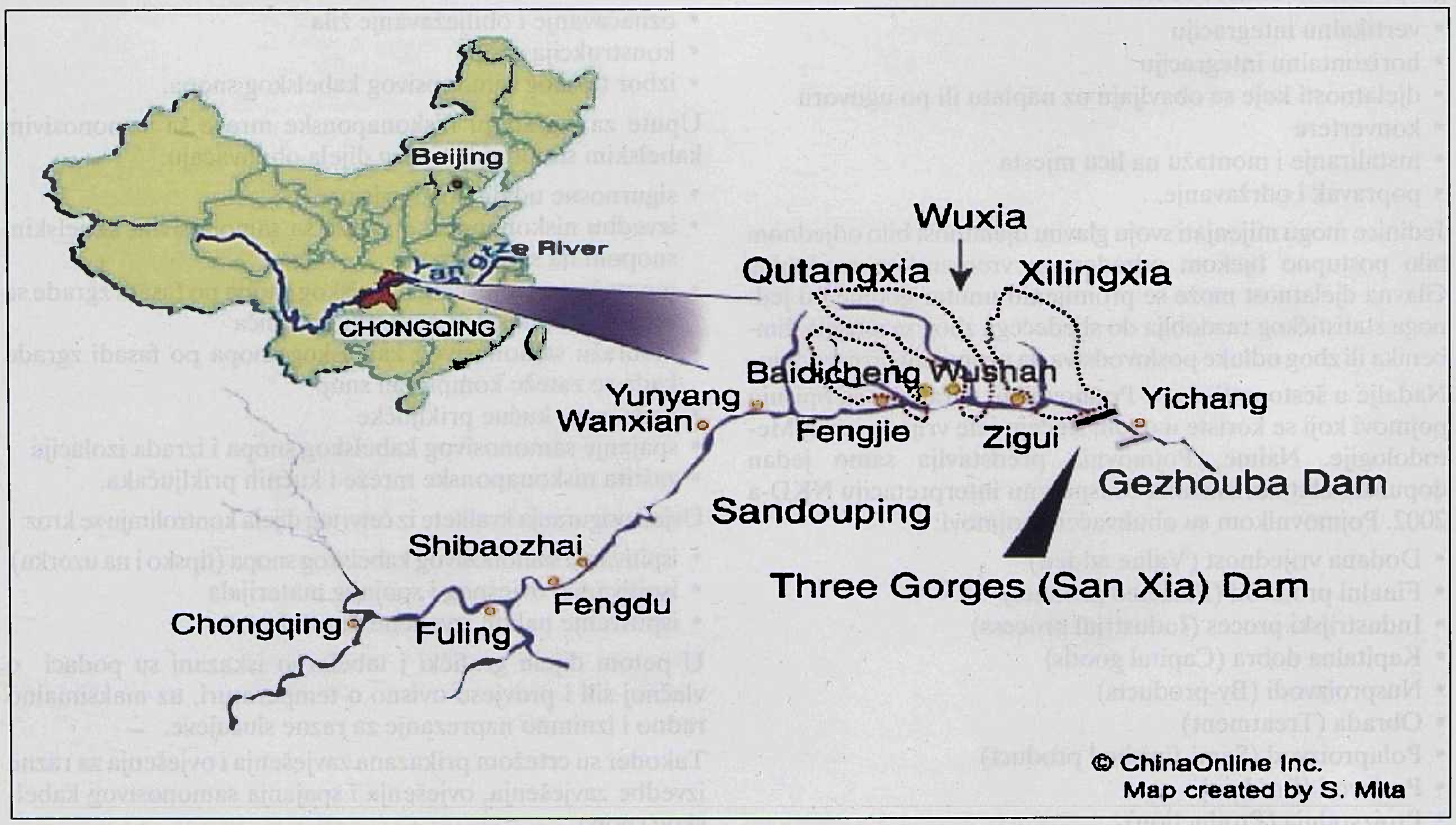
Prolaz broda kroz brodske prevodnice bio je uz fanfare koje su reklamirale projekt Three Gorges kao najveći hidroenergetski projekt na svijetu. Nacionalna televizija pratila je spuštanje broda s vrha brane (135 metara), kroz prevodnice do baze brane (62 metra), kao i podizanje broda do akumulacije. Taj prolaz kroz brodske prevodnice trajao je 2 sata i 30 minuta. Brodske prevodnice mogu provesti brodove do 3.000 tona, koji će sada ploviti rijekom Yangtze od brane u gradu Yichang kroz akumulaciju Three Gorges do glavnog grada Chongqing, 600 kilometara uzvodno.

Voda u akumulaciji dovoljno je duboka da putnička i teretna vozila mogu ploviti rijekom Yangtze. Isto tako u akumulaciji je dovoljna količina vode za početak rada dviju jedinica po 700 MW u kolovozu, te još dviju jedinica u listopadu ove godine.

Mišljenja o potrebi izgradnje ovako velike elektrane nisu jedinstvena. Bilo je prijedloga da se izgradi niz manjih elektrana na rijeci Yangtze, ali prevladao je stav rukovodstva zemlje koje je smatralo da je sada vrijeme da se izgradi ovakav energetski gigant. Oni ističu prednosti: proizvodnja toliko potrebne električne energije, zaštita od poplava, mogućnost plovidbe 600 km uzvodno od brane, itd.

Ekolozi su upozoravali i upozoravaju da je s ekološkog aspekta prava katastrofa gradnja ovako velikog objekta. Da ova mišljenja nisu daleko od istine, pokazuju i problemi koji su se pojavili. Brana je zaustavila u akumulaciji oko 4 milijuna tona smeća i industrijskog otpada (smeće iz bolnica, toksični materijali i otrovi iz tvornica i sl.). Tako je voda Yangtzea toliko zatrovana da se ne smije piti (ni ljudi ni životinje), a nije ni za korištenje u poljoprivredi.

Za vrijeme punjenja akumulacije pojavilo se niz manjih potresa. Najjači je bio jakosti 2,1 stupanja Richterove skale. Oni nisu nanijeli štete brani ili akumulaciji. Ugloavnom seizmička aktivnost je bila koncentrirana na području 80-tak kilomenata uzvodno od brane.No, to se smatra očekivanim i normalnim prilikom punjenja akumulacije. Brana je projektirana za potres jačine 7 stupnjeva Richterove skale, pa nema bojazni da će ovi potresi uzrokovati oštećenja. Ekologe brine i jaka erozija tla uz obale rijeke. Neki od eksperata geologa




**Slika 1 – Situacija brane Three Gorges (Tri klisure)**

smatraju da veća opasnost prijeti od odrona i rušenja obale uzrokovanih poplaljivanjem nego od seizmičke aktivnosti uzrokovane punjenjem akumulacije.

Zadnji značajniji odron u tom području dogodio se 1985. godine. On je uzrokovao val visine 36 metara koji je odnio desetak života, oštetio stotinjak plovnih objekata i uzrokovao zastoj plovidbe rijekom Yangtze u trajanju od dva dana.

*Power Engineering International,* July 2003.
http://www.threegorgesprobe.org, 2003-07-10;
www.china-embassy.org; www.irn.org/

SBK

## PRVI SUPRAVODLJIVI KABEL U PRIJENOSNOJ MREŽI

Američki vladin sektor za energiju DOE ugovorio je s francuskim proizvođačem kabela NEXANT izradu projekta kabela i kriogenskog izolatorskog sustava. Projekt je vrijedan 30 milijuna američkih dolara. Kabel će se sastojati od visokotemperaturnih supravodiča HTS (High Temperature Superconductor) i kriogenskog omotača koji će osigurati toplinsku izolaciju potrebnu za održavanje jezgre kabela na radnoj temperaturi od oko –200 C.

Kabel, dužine od 600 metara, bit će ugrađen u prijenosnoj mreži na Long Islandu. Supravodljivi sustav prijenosnog kapaciteta 600 MW, napona 138 kV kao integralni dio prijenosne mreže opskrbljivat će električnom energijom oko 300.000 domaćinstava. Planirano je da se stavi u pogon do kraja 2005. godine.

*International Power generation,* May 2003.

SBK

## ELEKTROPRIVREDA NJEMAČKE GOTOVO UDVOSTRUČILA PRODUKTIVNOST

Produktivnost njemačke elektroprivrede gotovo je udvostručena u posljednjih 10 godina. Po jednom radniku isporučeno je 2002. godine 3,7 gigavatsati, a 1992. godine oko 2 gigavatsata. Broj radnika, u istom razdoblju smanjen je za 37 posto.

Takvo visoko povećanje produktivnosti rezultat je posvemašnjeg smanjenja troškova u tržišnoj utakmici, racionalizacije poslovanja, kooperacije i fuzioniranja u elektroprivredi. (U tom je razdoblju došlo do dvije velike fuzije: 2000. godine nastao je koncern E.ON, fuzijom velikih elektroprivrednih poduzeća Bayernwerk i Preussen-Elektra i iste godine koncern RWE, nastao fuzijom dotadašnjeg RWE i poduzeća VEW.) Tome valja pridodati otpuštanja radnika i angažmane izvođača radova izvan elektroprivrede, primjerice za elektroničku obradu podataka ili održavanje elektrana i mrežnih postrojenja.

www.strom.de/7. 7. 2003.

MK

## 18 POSTO VIŠE "EKO-STRUJE" U NJEMAČKOJ

U 2002. godini je u Njemačkoj proizvedeno 45 TWh električne energije iz obnovljivih izvora, to je u odnosu na 2001. godinu – kada je proizvedeno 38 TWh iz takvih izvora – veliko povećanje (18 posto). Obnovljivi izvori ostvarili su udjel od okruglo 8 posto u ukupnoj proizvodnji električne energije, 2001. godine: 6,5 posto.

Najveći udjel imaju vodne snage, više od polovine svih obnovljivih izvora. Slijedi vjetar s udjelom većim od jedne trećine i povećanjem u odnosu na 2001. godinu od 50%! Nakon toga dolazi biomasa s jedno 5-postotnim udjelom i smeće s nešto manjim udjelom od toga. Sunce ima udjel od nešto više od 2 promila u ukupnoj proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora.

**Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora u Njemačkoj (TWh)**

| Obnovljivi izvor | 2001. | 2002. |
|---|---|---|
| Vodne snage | 23,5 | 23,9 |
| Vjetar | 10,5 | 16,8 |
| Biomasa | 2,0 | 2,3 |
| Smeće | 1,9 | 1,9 |
| Sunce | 0,1 | 0,1 |
| Ukupno | 38,0 | 45,0 |

www.strom.de/17. 2. 2003.

MK

## DRŽAVA VISOKO OPTEREĆUJE CIJENU ELEKTRIČNE ENERGIJE

Iz godine u godinu, sve je veće «državno» opterećenje cijene električne energije u Njemačkoj, na osnovi rastućeg poreza na električnu energiju, te opterećenja te cijene radi poticanja korištenja obnovljivih izvora i zaštite proizvodnje u spojenom procesu. Zajedno s porezom na dodanu vrijednost te naknade za koncesije, godine 2003. ukupno opterećenje cijene električne energije doseći će razinu od preko 15 milijardi eura (što predstavlja gotovo 3/4 bruto domaćeg proizvoda Hrvatske – *opaska M.K.*).

**Ukupni dodaci na cijenu električne energije u Njemačkoj (milijarde eura)**

| Godina | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|---|---|---|---|---|
| **Industrija** | | | | |
| Porez na električnu energiju | 0,55 | 0,66 | 0,78 | 2,69 |
| Poticanje obnovljivih izvora | 0,41 | 0,55 | 0,76 | 0,90 |
| Zaštita spojenog procesa | 0,28 | 0,46 | 0,01 | 0,01 |
| Naknada za koncesiju | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| **Domaćinstva** | | | | |
| Porez na električnu energiju | 1,37 | 1,64 | 1,93 | 2,23 |
| Poticanje obnovljivih izvora | 0,20 | 0,28 | 0,38 | 0,45 |
| Zaštita spojenog procesa | 0,14 | 0,23 | 0,28 | 0,34 |
| Naknada za koncesiju | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,10 |
| Porez na dodanu vrijednost | 2,30 | 2,40 | 2,50 | 2,60 |
| **Ukupno: industrija+domaćinstva+ostala potrošnja** | | | | |
| Porez na električnu energiju | 3,40 | 4,06 | 4,80 | 7,44 |
| Poticanje obnovljivih izvora | 0,86 | 1,18 | 1,65 | 1,94 |
| Zaštita spojenog procesa | 0,61 | 0,99 | 0,67 | 0,69 |
| Naknada za koncesiju | 2,10 | 2,04 | 2,07 | 2,19 |

www.strom.de/07. 04. 2003.

MK

## UCTE 2001. GODINE

Objavljeno je statističko izvješće UCTE za 2001.godinu. UCTE-interkonekcija osnovana je prije više od 50 godina (1951) i danas obuhvaća područje s oko 400 milijuna stanovnika. U tablici, iznosimo ključne podatke iz toga izvješća.

| Država | Maksimalna neto snaga elektrana (MW) | | | | | Neto proizvodnja elektrana (TWh) | | | | Potroš. (TWh) | Vrš.opt. (MW) | Maks/ Vrš.opt. | HE/ Uk.pro. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | HE | NE | TE | Ost.obn. | Ukupno | HE | NE | TE | Ukupno | | | | |
| Belgija | 1403 | 5738 | 8248 | 199 | 15651 | 1,6 | 44,0 | 30,4 | 76,0 | 83,6 | 12281 | 1,27 | 0,02 |
| Njemačka | 8500 | 20700 | 68000 | 3500 | 100700 | 23,4 | 161,2 | 316,9 | 501,5 | 495,4 | 74300 | 1,36 | 0,05 |
| Španjolska | 17955 | 7816 | 25046 | 3894 | 54711 | 43,9 | 60,7 | 101,7 | 206,3 | 205,7 | 35186 | 1,55 | 0,21 |
| Francuska | 24300 | 63200 | 23700 | | 111200 | 74,9 | 401,3 | 35,6 | 511,8 | 437,0 | 74952 | 1,48 | 0,15 |
| Grčka | 3060 | 0 | 6297 | 155 | 9512 | 2,7 | 0,0 | 41,8 | 44,5 | 46,1 | 7735 | 1,23 | 0,06 |
| Italija | 20346 | 0 | 54440 | 1117 | 75903 | 54,2 | 0,0 | 212,3 | 266,5 | 305,4 | 51277 | 1,48 | 0,20 |
| Slovenija | 778 | 670 | 1241 | | 2689 | 3,3 | 5,1 | 4,2 | 12,6 | 10,8 | 1789 | 1,50 | 0,26 |
| Hrvatska | 2076 | 0 | 1631 | | 3707 | 6,6 | 0,0 | 4,7 | 11,3 | 14,4 | 2713 | 1,37 | 0,58 |
| Jugoslavija | 3893 | 0 | 6753 | | 10646 | 13,2 | 0,0 | 28,5 | 41,7 | 44,9 | 8297 | 1,28 | 0,32 |
| Luksemburg | 1128 | 0 | 460 | 20 | 1608 | 0,9 | 0,0 | 0,6 | 1,5 | 5,9 | 857 | 1,88 | 0,60 |
| Nizozemska | 37 | 449 | 17342 | 876 | 19404 | 0,0 | 3,7 | 86,1 | 89,8 | 107,1 | 13755 | 1,41 | 0,00 |
| Austrija | 11160 | 0 | 5620 | 80 | 16860 | 40,5 | 0,0 | 14,2 | 54,7 | 52,8 | 7918 | 2,13 | 0,74 |
| Portugal | 4408 | 0 | 5065 | 203 | 9676 | 14,3 | 0,0 | 26,0 | 40,3 | 40,0 | 7020 | 1,38 | 0,35 |
| Švicarska | 13285 | 3200 | 295 | 288 | 17310 | 42,2 | 25,3 | 2,6 | 70,1 | 57,9 | 9396 | 1,84 | 0,60 |
| Češka | 1945 | 1637 | 9588 | 1 | 13171 | 2,5 | 13,8 | 52,5 | 68,8 | 58,7 | 9235 | 1,43 | 0,04 |
| Mađarska | 46 | 1772 | 5608 | | 7824 | 0,2 | 13,4 | 19,8 | 33,4 | 36,6 | 5796 | 1,35 | 0,01 |
| Poljska | 2185 | 0 | 31189 | 13 | 33387 | 4,1 | 0,0 | 140,5 | 144,6 | 135,2 | 21996 | 1,52 | 0,03 |
| Slovačka | 2427 | 2640 | 2294 | | 8057 | 4,9 | 15,7 | 9,1 | 29,7 | 25,8 | 4264 | 1,89 | 0,16 |
| **Ukupno** | **118932** | **107822** | **272817** | **10346** | **512016** | **333,4** | **744,2** | **1127,5** | **2205,1** | **2163,3** | **341447** | **1,50** | **0,15** |

Neke opaske uz to izvješće. Ne radi se svuda o 100%-tnom opsegu ukupnih podataka za pojedinu zemlju. Taj postotak varira od 91-100%. Zbroj maksimalne snage elektrana ne odgovara uvijek ukupnoj snazi, to je stoga jer je ponegdje bilo nepoznato o kakvoj se pojedinačnoj elektrani radi (te je ušla u zbroj, ali nepoznate vrste). U ostalim obnovljivim izvorima (obnovljivi izvori osim HE) prikazani su samo oni koji su kao takvi prikazani u UCTE. Podaci za Bosnu i Hercegovinu nisu sadržani u tablici, a u okviru Jugoslavije izneseni su podaci i za Makedoniju.

Izlazi da je ukupna maksimalna neto snaga elektrana u tih prikazanih 18 zemalja nešto preko 500 gigavata, u kojima je proizvedeno oko 2200 TWh električne energije. Prosječno vrijeme korištenja maksimalne snage elektrana, za cijelu UCTE, je: za hidroelektrane oko 2800 sati/godišnje, za konvencionalne termoelektrane oko 4100 sati/godišnje, a za nuklearne elektrane 6900 sati/godišnje. Zbroj vršnih opterećenja pojedinih država za oko 7300 megavata veći je od vršnog opterećenja UCTE, toliko je snage elektrana manje angažirano u odnosu na (zamišljene) situacije da interkonekcija ne postoji te da svaki državni sustav radi odvojeno od drugih.

Najveći izvoznik je Francuska (proizvodnja 512 TWh, potrošnja 437 TWh) a najveći uvoznik je Italija (proizvodnja 267 TWh, a potrošnja 305 TWh). Francuska je ujedno i apsolutno najveći proizvođač električne energije, kada se promatra kroz "UCTE-naočale". Inače je Njemačka neznatno veći proizvođač, jer je opseg UCTE-podacima za Njemačku nešto niži (93%) nego li za Francusku (97%). Za zapamtiti je da njemačka i francuska proizvodnja zajedno čine ½ ukupne proizvodnje u UCTE-interkonekciji. Za Hrvatsku znakovito je to da je pokrivenost potrošnje proizvodnjom na vlastitom području oko 78%, manja od Italije (87%), najvećeg apsolutnog uvoznika.

Prosječan omjer maksimalne snage elektrana i vršnog opterećenja je 1,50; dakle za 50% je veća instalacija elektrana od vršnog opterećenja. No, taj omjer varira od države do države, načelno je veći u državama s većim udjelom hidroenergije (primjerice Austrija, čak 2,13, ili Švicarska, 1,84). Tu Hrvatska slabije stoji, njezin je omjer 1,37 – s tim da je NE Krško uračunata cijelom snagom u Sloveniji – što je i prihvatljivo, radi se o omjeru instalacije elektrana na vlastitom području i vršnog opterećenja na tom istom području.

Prema udjelu proizvodnje u hidroelektranama u odnosu na ukupnu proizvodnju (Hrvatska 58%), nalazimo se na četvrtom mjestu, iza Austrije (74%), Švicarske (60%) i Luksemburga (60%). Prosječan udjel za čitavu UCTE-interkonekciju iznosio je 2001. godine mnogo manjih 15%.

UCTE-Memo 2001.

MK

## NORDEL, 2001. GODINE

Raspolažemo statističkim izvješćem NORDEL za 2001.godinu. NORDEL-interkonekcija obuhvaća Dansku, Finsku, Norvešku i Švedsku u sinhronom pogonu, te Island. To je područje s oko 24,3 milijuna stanovnika. Iznosimo ključne podatke iz toga izvješća.

| Država | Maksimalna neto snaga elektrana (MW) | | | | | Neto proizvodnja elektrana (GWh) | | | | | Potroš. (GWh) | Vrš.opt (MW) | Maks/ Vrš.opt | HE/ Uk.pro. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | HE | NE | TE | Ost.obn. | Ukupno | HE | NE | TE | Ost.obn. | Ukupno | | | | |
| Danska | 11 | 0 | 9983 | 2486 | 12480 | 27 | 0 | 31672 | 4310 | 36009 | 35432 | 6229 | 2,00 | 0,00 |
| Finska | 2948 | 2640 | 11200 | 39 | 16827 | 13287 | 21879 | 36408 | 71 | 71645 | 81604 | 13310 | 1,26 | 0,19 |
| Island | 1105 | 0 | 120 | 202 | 1427 | 6574 | 0 | 3 | 1451 | 8028 | 8028 | 1130 | 1,26 | 0,82 |
| Norveška | 27571 | 0 | 305 | 17 | 27893 | 120981 | 0 | 862 | 29 | 121872 | 125464 | 23054 | 1,21 | 0,99 |
| Švedska | 16239 | 9436 | 5753 | 293 | 31721 | 78454 | 69210 | 9661 | 478 | 157803 | 150512 | 26800 | 1,18 | 0,50 |
| **Ukupno** | **47874** | **12076** | **27361** | **3037** | **90348** | **219323** | **91089** | **78606** | **6339** | **395357** | **401040** | **64607** | **1,40** | **0,55** |

Ukupna je maksimalna neto snaga elektrana u tih 5 zemalja nešto preko 90 gigavata, u kojima je proizvedeno gotovo 400 TWh električne energije, u 2001.godini. Prosječno vrijeme korištenja maksimalne snage elektrana, za cijelu interkonekciju NORDEL, bilo je: za elektrane na ostale obnovljive izvore (osim HE) oko 2090 sati/godišnje, za konvencionalne termoelektrane oko 2870 sati/godišnje, za hidroelektrane oko 4580 sati/godišnje, a za nuklearne elektrane oko 7540 sati/godišnje. Zbroj vršnih opterećenja pojedinih država za oko 5900 megavata veći je od vršnog opterećenja NORDEL, toliko je snage elektrana manje angažirano u odnosu na (zamišljenu) situaciju da interkonekcija ne postoji te da svaki državni sustav radi odvojeno od drugih.

Najveći izvoznik je Švedska (proizvodnja 158 TWh, potrošnja 151 TWh) a najveći uvoznik je Finska (proizvodnja 72 TWh, a potrošnja 82 TWh). Švedska je ujedno i apsolutno najveći proizvođač električne energije u interkonekciji NORDEL. Za zapamtiti je da NORDEL-proizvodnja čini nešto manje od 1/5 proizvodnje u UCTE-interkonekciji, a opskrbljuje oko 16 puta manje stanovnika; prosječna potrošnja po stanovniku je više nego trostruko veća u interkonekciji NORDEL od one u interkonekciji UCTE!

Prosječan omjer maksimalne snage elektrana i vršnog opterećenja je 1,40; dakle za 40% je veća instalacija elektrana od vršnog opterećenja i najveći je u Danskoj gdje je instalacija elektrana za 100% veća od vršnog opterećenja. Udjel hidroenergije najveći je u Norveškoj (99%), a prosječni za cijelu interkonkciju znatno je viši od onoga interkonekcije UCTE te iznosi 55%.

www.nordel.org/11. 08. 2003.

MK

*E n e r g i j a*

Godište 52 (2003) Br. 5

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

Energija 1447

UDK 621.316.91
PREGLEDNI ČLANAK

Energija 52/2003/5, 363 – 373

## PRIMJENA UREĐAJA ZA ZAŠTITU OD PRENAPONA U ELEKTRIČNIM INSTALACIJAMA

*Mr. sc. Ivan Mateković, dipl. ing.*
Elektrokontakt d.d., Radnička cesta b.b., 10000 Zagreb, Hrvatska

Električna oprema i uređaji su s obzirom na udarne napone svrstani u četiri prenaponske kategorije. Za svaku od tih prenaponskih kategorija dan je podnosivi udarni napon (kao tjemeni iznos oblika 1,2/50s) koji oprema odnosno uređaj mora izdržati. Procijeni li se da je rizik od prenapona veći od troškova ugradnje uređaja za zaštitu od prenapona u električnu instalaciju pristupa se projektiranju zaštite. Zaštitu od prenapona treba projektirati uvažavajući neke datosti kao što su korišteni sustav električne razdjelbe, karakteristike uređaja za zaštitu od prenapona, zahtjevi za nesmanjenom djelotvornošću uređaja za zaštitu od kratkog spoja i preopterećenja te zaštitnih strujnih sklopki i zahtjevi elektrodistributivnog poduzeća. Pravilno projektirana i izvedena zaštita od prenapona povećava raspoloživost električne instalacije.

(Lit. 8, sl. 5 – original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/5/363 –373/2003.

Energija 1448

UDK 621.395:658.516
PREGLEDNI ČLANAK

Energija 52/2003/5, 375 – 392

## PRIKAZ STANJA NORMIZACIJE I REGULATIVE VEZANE UZ KOMUNICIRANJE ELEKTROENERGETSKIM VODOVIMA, PLC II. DIO: REGULATIVA PLC-a

*Mr. sc. Suzana Javornik Vončina, dipl. ing.*
HEP d.d. – Sektor za poslovnu informatiku, Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

Članak daje pregled pokušaja reguliranja uporabe PLC-a i ostalih širokopojasnih kabelskih transmisijskih mreža, uključujući prikaz principa međunarodnog reguliranja uporabe radijskih frekvencija, europskog okvira reguliranja elektromagnetske kompatibilnosti i uporabe radijskih frekvencija, te hrvatskih okvira unutar kojih će trebati dorada vezana uz reguliranje uporabe širokopojasnog PLC-a i ostalih širokopojasnih kabelskih transmisijskih mreža.

(Lit. 33, sl. 1 – original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/5/375 – 392/2003.

Energija 1449

UDK 621.31:519
STRUČNI ČLANAK

Energija 52/2003/5, 353 – 362

## PRORAČUN POKAZATELJA POUZDANOSTI TEHNIČKIH SUSTAVA UPOTREBOM MARKOVLJEVA PROCESA

*Emil Vilenica, dipl. ing.*
EKONERG d.o.o., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

Upotreba metoda Markovljeva procesa koristi se za proračun pokazatelja pouzdanosti tehničkih sustava. Pokazatelji pouzdanosti tehničkih sustava su vjerojatnosti stanja u kojima se sustav može nalaziti, srednja vremena boravka sustava u tim stanjima i učestalost nastupanja tih stanja. U članku su objašnjene temeljne metode i postupci proračuna pokazatelja pouzdanosti tehničkih sustava upotrebom Markovljeva procesa.

(Lit. 6, sl. 1 – original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/5/353 – 362/2003.

Energija 1449

UDK 621.31:519

1. Proračun pokazatelja pouzdanosti tehničkih sustava upotrebom Markovljeva procesa
*I.* *Vilenica, E.*
II. EKONERG d.o.o., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Markovljev proces*
*Vjerojatnost stanja sustava*
*Srednje vrijeme boravka u stanju sustava*
*Učestalost nastupanja stanja sustava*

Energija 1448

UDK 621.395:658.516

1. Prikaz stanja normizacije i regulative vezane uz komuniciranje elektroenergetskim vodovima, PLC II dio: Regulativa PLC-a
*I.* *Javornik Vončina, S.*
II. HEP d.d. – Sektor za poslovnu informatiku, Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Normizacija*
*Regulativa*
*PLC*
*PLT*
*Elektromagnetska kompatibilnost*
*xDSL*

Energija 1447

UDK 621.316.91

1. Primjena uređaja za zaštitu od prenapona u električnim instalacijama
*I.* *Mateković, I.*
II. Elektrokontakt d.d., Radnička cesta b.b., 10000 Zagreb, Hrvatska

*Prenapon*
*Zaštita od prenapona*
*Prenaponska kategorija*
*Uređaj za zaštitu od prenapona*
*Udarna odvodna struja*
*Napon prorade*
*Zaštitni nivo*

*Energija*

Godište 52 (2003) Br. 5

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

Energija 1450

UDK 621.315.2:621.395.386
STRUČNI ČLANAK

Energija 52/2003/5, 313 – 319

## DESET PODMORSKIH TRASA – STO KILOMETARA PODMORSKOG KABELA 35 kV – DESET GODINA POGONSKE EKSPLOATACIJE PODMORSKOG DIJELA PROGRAMA "JADRANSKI OTOCI 35 kV"; ISKUSTVA I PRIJEDLOZI

*Ivo Santica, dipl. ing.*

HEP Distribucija d.o.o. – DP Elektrodalmacija, Poljička b.b., 21000 Split, Hrvatska

Skoro deset godina eksploatacije objekata HEP-ovog programa "Jadranski otoci 35 kV" obvezuje na karatak stručni osvrt. Ovim člankom pokušat će se sistematizirati iskustva najspecifičnijeg dijela programa; a to su podmorski kabeli. U ovaj dio uloženo je približno sto milijuna kuna. Sto kilometara podmorskog kabela položeno je na deset različitih dionica od otoka Lošinja do otoka Mljeta. U samo godinu dana napravljeni su pripremno istraživački radovi, ishođene lokacijske i građevinske dozvole, projektirane trase, odabran proizvođač i položeni kabeli. Timski vođena, grupa HEP-ovih specijaliziranih stručnjaka, obavila je ovaj zadatak u zadanom roku.
Koliko vješto i uspješno pokušat će se odgovoriti s ove vremenske distance.
(Lit. 2, sl. 5 – original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/5/313 – 319/2003.

Energija 1451

UDK 620.9.351.64
PREGLEDNI ČLANAK

Energija 52/2003/5, 341 – 351

## VAŽNOST DONOŠENJA STANDARDA ENERGETSKE EFIKASNOSTI RADI POVEĆANJA NACIONALNIH ENERGETSKIH UŠTEDA

*Mr. sc. Vesna Kolega, dipl. ing.*

EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

U članku su prikazana iskustva kao potvrda važnosti uvođenja standarda energetske efikasnosti kućanskih uređaja i uredske opreme radi smanjenja energetske potrošnje u stambenom i javnom sektoru zgrada na nacionalnom nivou, s posebnim osvrtom na važnost provođenja međunarodne i regionalne harmonizacije standarda energetske efikasnosti, energetskih oznaka i test procedura. Nadalje, opisana su dva osnovna pristupa etabliranju standarda energetske efikasnosti: statistički i inžinjersko-ekonomski.
(Lit. 11, sl. 4 – original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/5/341 – 351/2003.

Energija 1452

UDK 621.316.1.003
PREGLEDNI ČLANAK

Energija 52/2003/5, 321 – 339

## DISTRIBUIRANA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

*Dr. sc. Nijaz Dizdarević, dipl. ing. – dr. sc. Matislav Majstrović, dipl. ing. – dr. sc. Srđan Žutobradić, dipl. ing.*

EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

U ovom su radu na općeniti način razmotrena glavna obilježja distribuirane proizvodnje električne energije. Najprije su opisani tehnički utjecaji distribuiranih izvora na sustave proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije. Zatim su predočena neka rješenja tehničkih utjecaja te otvorena pitanja. Proizvodnja električne energije iz malih vjetroelektrana smještena je u kontekst distribuirane proizvodnje. Opisane su vrste proračuna u distribucijskoj mreži koje se koriste u studijskoj analizi priključenja izvora na distribucijsku mrežu.
(Lit. 8, sl. 1 – original na hrvatskom jeziku)

Autori
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/5/321 – 339/2003.

Energija 1452

UDK 621.316.1.003

1. Distribuirana proizvodnja električne energije

*I.* *Dizdarević, N. – Majstrović, M. – Žutobradić, S.*

II. EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Distribuirana proizvodnja*
*Disperzirani izvori*
*Vjetroelektrane*
*Distribucijska mreža*

Energija 1451

UDK 620.9.351.64

1. Važnost donošenja standarda energetske efikasnosti radi povećanja nacionalnih energetskih ušteda

*I.* *Kolega, V.*

II. EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Standardi energetske efikasnosti*
*Test procedure*
*Međunarodna harmonizacija*
*Statistički pristup*
*Inženjersko-ekonomski pristup*

Energija 1450

UDK 621.315.2:621.395.386

1. Deset podmorskih trasa – sto kilometara podmorskog kabela 35 kV – deset godina pogonske eksploatacije podmorskog dijela programa "Jadranski otoci 35 kV"; Iskustva i prijedlozi

*I.* *Santica, I.*

II. HEP Distribucija d.o.o. – DP Elektrodalmacija, Poljička b.b., 21000 Split, Hrvatska

*Podmorski kabel*
*Priobalna zaštita*
*Znak zabrane sidrenja*

*Energija*

Volume 52 (2003) № 5

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

ENERGIJA 1447

UDK 621.316.91
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/5, 363 – 373

## APPLICATION OF OVERVOLTAGE PROTECTION EQUIPMENT IN ELECTRICAL INSTALLATIONS

*Ivan Mateković, M. Sc.*

Elektrokontakt d.d., Radnička cesta b.b., 10000 Zagreb, Croatia

Electrical equipment and appliances are divided into four groups considering impulse voltage. For all of these overvoltage categories a tolerable impulse voltage is given (as front shape value of 1,2/50$\mu$s), which the equipment or appliance has to overcome. If overvoltage risk is estimated to be greater than the costs of building the equipment into electrical installations, then protection design is done. Overvoltage design has to take into account some facts such as used system of electrical distribution, protection equipment characteristics, needs for not decreasing efficiency of short voltage and overload protection, as well as of current circuit breaker and demands of electric distribution company. Good design and realization of overvoltage protection increases the availability of electrical installations.

(No. of References: 8, Fig.: 5 – original in Croatian)

*Author*
ISSN 0013-448
ENJAAC 52/5/363 – 373 /2003.

ENERGIJA 1448

UDK 621.395:658.516
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/5, 375 – 392

## STATE REVIEW OF NORMISATION AND REGULATION CONNECTED TO ELECTRIC ENERGY LINE COMMUNICATION, PLC PART II: PLC REGULATION

*Suzana Javornik Vončina, M. Sc.*

HEP d.d. – Sektor za poslovnu informatiku, Ulica grada Vukovara 37,10000 Zagreb, Croatia

The paper gives a review of PLC usage regulation attempts and other wide range cable transmission networks including a review of international regulating principle of radio frequencies, European framework of regulating electromagnetic compatibility and radio frequencies usage, as well as the Croatian framework for the elaboration of regulation connected to widerange PLC usage and other widerange cable transmission networks.

(No. of References: 33, Fig.: 1 – original in Croatian)

*Author*
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/5/375 – 392/2003.

ENERGIJA 1449

UDK 621.31.519
PROFESSIONAL PAPER

ENERGIJA 52/2003/5, 353 – 362

## RELIABILITY PARAMETER CALCULATION OF TECHNICAL SYSTEMS USING MARKOVLJEV'S PROCESS

*Emil Vilenica, B. Sc.*

EKONERG d.o.o., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia

Markovljev's process method is suitable for calculation of technical systems' reliability parameters. Reliability parameters of technical systems are probability states in which the systems can be found, mean time of their duration and their frequency. In the paper basic methods and procedures of calculating reliability parameters of technical systems using Markovljev's process are evaluated.

(No. of References: 6, Fig.: 1 – original in Croatian)

*Author*
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/5/353 – 362/2003.

ENERGIJA 1449 UDK 621.31.519

1. Reliability Parameter Calculation of Technical Systems Using Markovljev's Process

*I.* *Vilenica, E.*

II. EKONERG d.o.o., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia

*Markovljev's Process*
*Probability of System State*
*Mean Time of State Duration*
*Frequency of System State*
*Commencement*

ENERGIJA 1448 UDK 621.395:658.516

1. State Review of Normisation and Regulation Connected to Electric Energy Line Communication, PLC – II Part: PLC Regulation

*I.* *Javornik Vončina, S.*

II. HEP d.d. – Sektor za poslovnu informatiku, Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia

*Normisation*
*Regulation*
*PLC*
*PLT*
*Electromagnetic Compatibility*
*xDSL*

ENERGIJA 1447 UDK 621.316.91

1. Application of Overvoltage Protection Equipment in Electrical Installations

*I.* *Matekoviċ, I.*

II. Elektrokontakt d.d., Radnička cesta b.b. 10000 Zagreb, Croatia

*Overvoltage*
*Overvoltage Protection*
*Overvoltage Category*
*Overvoltage Protection Equipment*
*Impulse Discharge Current*
*Operational Voltage*
*Protection Level*

*Energija*

Volume 52 (2003) Nº 5

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

ENERGIJA 1450

UDK 621.315.2:621.395.386
PROFESSIONAL PAPER

ENERGIJA 52/2003/5, 313 – 319

## TEN UNDERSEA LINES – HUNDRED KILOMETERS OF 35kV UNDERSEA CABLE - TEN YEARS OF EXPLOITATION OF THE PROGRAMME'S "ADRIATIC ISLANDS 35kV" UNDERSEA PART EXPERIENCES AND SUGGESTIONS

*Ivo Santica, B. Sc.*

HEP Distribucija d.o.o. – DP Elektrodalmacija, Poljička b.b., 21 000 Split, Croatia

After almost ten years of exploitation of HEP's programme "Adriatic Islands 35kV" there rose a need for a short professional review. This paper is an attempt to present the most specific part of the programme, i.e. undersea cables. About a hundred million Kuna were invested into this part. A hundred kilometers of undersea cable are situated on ten different points from the island of Lošinj to the island of Mljet. In only a year preparatory research work was done, location and construction permits obtained, routes projected, producer selected and cabels laid. A team of HEP's experts completed this project within a given time frame. Following this time period, we will be able to answer how well and successfully.

(No. of References: 2, Fig.: 5 – original in Croatian)

*Author*

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/5/313 – 319/2003.

ENERGIJA 1451

UDK 620.9.351.64
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/5, 341 – 351

## IMPORTANCE OF ENERGY EFFICIENCY STANDARDS TO INCREASE NATIONAL ENERGY SAVINGS

*Vesna Kolega, M. Sc.*

EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Croatia

In the paper experiences are shown as a verification of importance of appliances' and office equipment's energy efficiency standardisation in order to decrease energy consumption in apartments and public buildings on the national level. There is a special review of the importance of international and regional harmonisation of energy efficiency standards, energy labeling and test procedures. Furthermore, two basic approaches to energy efficiency standardisation are described: the statistical and the engineering-economic.

(No. of References: 11, Fig.: 4 – original in Croatian)

*Author*

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/5/341 – 351/2003.

ENERGIJA 1452

UDK 621.316.1.003
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/5, 321 – 339

## DISTRIBUTED PRODUCTION OF ELECTRIC ENERGY

*Nijaz Dizdarević, D. Sc. – Matislav Majstrović, D. Sc. – Srđan Žutobradić, D. Sc.*

EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Croatia

The paper discusses in a general way the main characteristics of distributed electric energy production. First, technical influence of distributed resources on production, transmission and distribution systems of electric energy are given. Some technical solutions and open questions are quoted. Electric energy production from small wind plants is given as a distributed production. Calculation methods applied in distribution network are described, which are used in the study analysis of resource connection to the distribution grid.

(No. of References: 8, Fig.: 1 – original in Croatian)

*Authors*

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/5/321 – 339/2003.

ENERGIJA 1452

UDK 621.316.1.003

1. Distributed Production of Electric Energy

*I.* *Dizdarević, N. – Majstrović, M. – Žutobradić, S.*

II. EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Croatia

*Distributed Production*
*Dispersed Resources*
*Wind Power Plants*
*Distribution Network*

ENERGIJA 1451

UDK 620.9.351.64

1. Importance of Energy Efficiency Standards to Increase National Energy Savings

*I.* *Kolega, V.*

II. EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Croatia

*Energy Efficiency Standards*
*Test Procedures*
*International Harmonisation*
*Statistical Approach*
*Engineering-Economic Approach*

ENERGIJA 1450

UDK 621.315.2:621.395.386

1. Ten Undersea Lines – Hundred Kilometers of 35kV Undersea Cable – Ten Years of Exploitation of the Programme's "Adriatic Islands 35kV" Undersea Part; Experiences And Suggestions

*I.* *Santica, I.*

II. HEP Distribucija d.o.o. – DP Elektrodalmacija, Poljička b.b., 21000 Split, Croatia

*Undersea Cable*
*Costal Protection*
*Anchoring Prohibition Sign*

UDK 621.31

ENJAAC 52 (6) – (2003) – 407 – 506

ISSN 0013-7448

# ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

# energija

*IZDAVAČ – PUBLISHER*

Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

*ZA IZDAVAČA*

Ivo Čović, dipl. ing.

*POMOĆ U IZDAVANJU*

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

*UREĐIVAČKI SAVJET – THE PUBLISHING COUNCIL*

Mr. sc. Branko *Grgić,* dipl. ing. (predsjednik), HEP Split – Adrijano *Fišer,* dipl. ing., HEP Rijeka – Marijan *Kalea,* dipl. ing., HEP Osijek – Damir *Karavidović,* dipl. ing., HEP Osijek – mr. sc. Mladen *Mandić,* dipl. oec., HEP Zagreb – dr. sc. Vladimir *Mikuličić,* dipl. ing., FER Zagreb – dr. sc. Niko *Malbaša,* dipl. ing., Ekonerg, Zagreb

*UREDNIČKI ODBOR – EDITORIAL BOARD*

Glavni urednik – Editor-in-chief: dr. sc. Zorko *Cvetković,* dipl. inž.
Urednik – Editor: Zdenka *Jelić,* prof.
Lektor: Šime *Čagalj,* prof.

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica grada Vukovara 37

Telefoni 6322-641 i 6322-083, telefax 6170-438

**Godišnje izlazi 6 brojeva.** Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300,00 kn, a za poduzeća i ustanove 480,00 kn (za studente 70,00 kn).

Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00 kn.

Za inozemstvo $ 95 godišnje.

Žiro računi kod ZAP, Zagreb – Hrvatska elektroprivreda (za "Energiju") broj 30101-604-495

Tisak: TIVA – Tiskara Varaždin

Naklada 1000 primjeraka

Godište 52 (2003) Zagreb 2003 Br. 6

**SADRŽAJ**

*Rusanov N. – Vučina S. – Stojsavljević M. – Nemec D.:* Asinkroni start agregata CHE "Čapljina" u stvarnim uvjetima elektroenergetskih sustava Bosne i Hercegovine i Hrvatske (Izvorni znanstveni članak) . . 409 – 417

*Grozdanić I.:* Opravdanost proširenja 400 kV mreže i primjena tehnologije kompaktiranja (Pregledni članak) . . . . . 419 – 428

*Haznadar Z. – Sokolija K. – Berberović S. – Štih Ž.:* Kompozitni polimerni izolatori u prijenosu i distribuciji električne energije (Pregledni članak) . . . 429 – 444

*Dizdarević N. – Majstrović M. – Žutobradić S.:* Pogon vjetroelektrana (Pregledni članak). . . . . 445 – 457

*Bajić B.:* Dijagnostika njihanja snage cijevnih agregata HE Dubrava (Prethodno priopćenje) . . . . . 459 – 466

*Kolega V.:* Test procedure kao tehnička osnova standarda energetske efikasnosti kućanskih uređaja i uredske opreme (Pregledni članak). . . . . 467 – 476

**Vijesti iz elektroprivrede i okoliša** . . . . . 477 – 482

**Iz strane stručne literature**. . . . . 483 – 495

**Ostalo** . . . . . 496 – 506

Fotografije na omotu:

**TS 400/110 kV ERNESTINOVO** (lijevo gore)

**TS 400/220/110 kV ŽERJAVINEC** (lijevo dolje)

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete – Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992.

Redakcija završena 2003 – 10 – 28

# Upute autorima

U "Energiji" smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa "stari" autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo "zaboravljive".

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda "Energiji", više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično "presude" recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica - SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   - **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   - **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
   - **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   - **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.

   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u "Energiji" prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu - svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm - 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članka:

**IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK** (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom svhvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:

- ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor.
- ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

**PRETHODNO PRIOPĆENJE** (prethodno sporočilo, prethodno saopštenje, preliminary communication, Vorlaufige Mitteliung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

**PREGLEDNI ČLANAK** (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

**STRUČNI ČLANAK** (strokovno delo, stručna rabota, professional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođavanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.


# energija

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su:

Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Générale de l'électricité, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

UREDNIŠTVO

# ASINKRONI START AGREGATA CHE "ČAPLJINA" U STVARNIM UVJETIMA ELEKTROENERGETSKIH SUSTAVA BOSNE I HERCEGOVINE I HRVATSKE

Mr. sc. Nikola R u s a n o v, Sarajevo – Srećko V u č i n a, Mostar – mr. sc. Milan S t o j s a v l j e v i ć, mr. sc. Darko N e m e c, Zagreb

UDK 621.311.21.05
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Analizirajući režime rada elektroenergetskog sustava i iskorištenje raspoloživih energetskih resursa u uvjetima stvarne topološke strukture i elektroenergetskih prilika u prijenosnoj mreži Bosne i Hercegovine, ali i Hrvatske, posebno u području srednje i južne Dalmacije (jadranska magistrala), (česti režimi rada u kojima je sigurnost sustava ugrožena po (n-1) kriteriju raspoloživosti i kriteriju stabilnosti napona, naponi iznad dopuštenih iznosa, rad termoelektrana u Bosni i Hercegovini ispod tehničkog minimuma i sl.) postavilo se i pitanje mogućnosti iskorištenja svojstava reverzibilne hidroelektrane CHE Čapljina snage 2x240 MW i pogodnosti koje pruža otvoreno tržište električkom energijom. S tehničkog aspekta dva su osnovna problema, odnosno usluge sustava: 1) asinkroni start (zalet) agregata (direktni asinkroni zalet i asinkroni zalet s faznim prigušnicama u zvjezdištu generatora uz odvodnjen prostor turbine/crpke) i 2) prijenos snage i energije za crpni rad u uvjetima smanjene raspoloživosti sustava. Istraživanja pokazuju da je s aspekta dinamike napona i jalovih snaga moguć asinkroni zalet s faznim prigušnicama u zvjezdištu generatora uz odvodnjenu turbinu/crpku (način P1). Tijekom zaleta, generatori u bližoj okolini točke priključka CHE Čapljina (TS Mostar 4) nazivno su opterećeni jalovom snagom. Angažman i potpora drugog agregata u CHE Čapljina u generatorskom režimu rada znatno poboljšava prilike u pogledu napona i jalovih snaga u tom dijelu sustava tijekom zaleta. Analizirane su dvije varijante osiguranja snage i energije za crpni rad (pumpanje): 1) iz termoelektrana u EES Bosne i Hercegovine i 2) iz UCTE interkonekcije. U UCTE varijanti moguće su poteškoće sigurnosti sustava po (n-1) kriteriju raspoloživosti i kriteriju zagušenja na dijelu jadranske magistrale u EES-a Hrvatske.
Na bazi rezultata proračuna, tijekom tri noći u ožujku 2002. godine načinjeni su uspješni pokusi asinkronog starta i pumpanja s oba agregata CHE Čapljina u stvarnim uvjetima.

**Ključne riječi: elektroenergetski sustav, crpna elektrana, asinkroni start, usluge sustava, dinamičke simulacije.**

## 1. UVOD

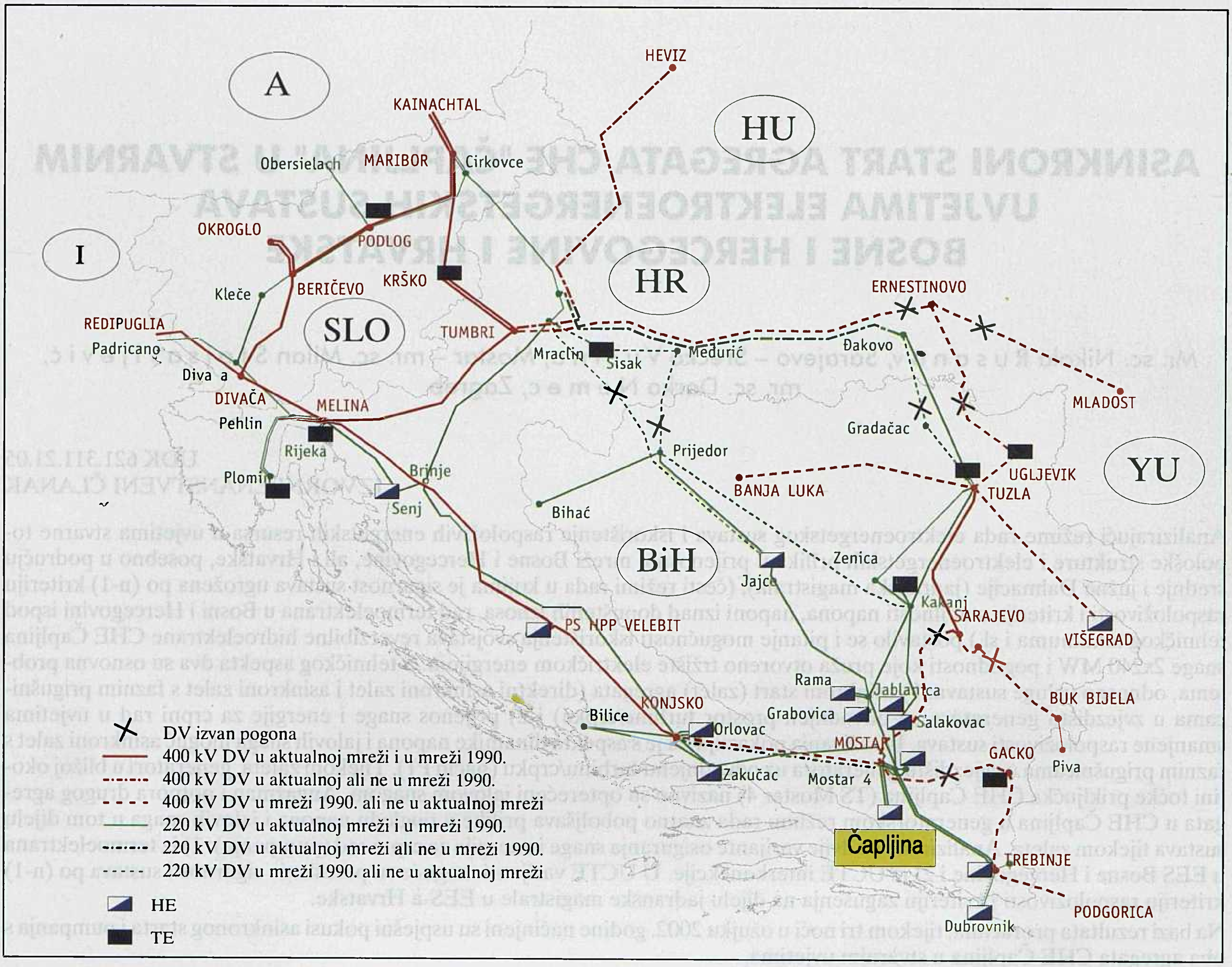
Posljedice ratnih razaranja nisu mimoišle ni prijenosnu mrežu na području Bosne i Hercegovine uzrokujući otežani rad, a u nerijetkim slučajevima i potpunu neraspoloživost projektiranih funkcija pojedinih elektroenergetskih objekata. Jedan od takvih objekata je i CHE Čapljina snage 2x240 MVA koja, mada nije pretrpjela oštećenja, od početka ratnih djelovanja radi s izrazito smanjenim kapacitetom, a crpni rad nije ni pokušavan zbog bojazni da ne postoje osnovni preduvjeti s aspekta prijenosne mreže. Rezultati studije u kojoj bi bila obrađena statička stanja, proračuni struja kratkog spoja i simulacija asinkronog zaleta trebali bi biti podloga za donošenje odluke o mogućnosti asinkronog starta i eksploataciji agregata CHE Čapljina u crpnom radu.

Ilustrativan je podatak da je tijekom 1991. godine CHE Čapljina proizvela ukupno 481.925 MVh, od toga 103.209 MWh iz crpnog rada uz 110 upuštanja u crpni rad. Prema raspoloživoj evidenciji, od početka rada CHE Čapljina bilo je 1621 upuštanje u crpni rad, a najveći broj upuštanja zabilježen je 1990. godine, ukupno 258. U periodu 1982 – 1991. potrošnja energije za crpni rad iznosila je 1.774.206 MWh, a iz nje povratno dobivena energija u generatorskom radu 1.312.912 MWh, što daje izuzetno povoljan odnos povratno dobivene i utrošene energije od 0,74.

CHE Čapljina je projektirana i predviđena za sljedeće režime rada:

1. u suhom ljetnom i jesenjem razdoblju (cca 225 dana/god.) za rad u noćnim satima (23:00 – 05:00) u crpnom pogonu, a tijekom dana kao elektrana vršne snage i energije u trajanju od 5 – 6 sati;
2. u zimskom i proljetnom periodu (cca 140 dana/god.) uz dovoljne dotoke u gornji bazen u generatorskom radu u trajanju od 12 – 14 sati dnevno;
3. prema potrebama elektroenergetskog sustava u kompenzacijskom radu kao nad/poduzbuđeni generator/motor s kapacitetom 150160 Mvar po agregatu.

Položaj i povezanost CHE Čapljine u prijenosnoj mreži prikazani su na slici 1.




**Slika 1. Topološka struktura prijenosne mreže – stanje u ožujku 2002. godine**

## 2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Za istraživanje sposobnosti i definiranje minimalnih uvjeta u EES Bosne i Hercegovine i Hrvatske za osiguranje sistemske usluge asinkronog starta agregata postavljena je i u konkretnom slučaju asinkronog pokretanja agregata u CHE Čapljina primijenjena metodologija koja predviđa odgovarajuća: 1) simulacijska istraživanja stacionarnih stanja, 2) simulacijska istraživanja dinamičkih stanja i 3) vrlo složena eksperimentalna istraživanja u realnim uvjetima uz uvažavanje svih sagledivih zahtjeva s aspekta pogonske sigurnosti sustava.

## 3. REZULTATI STATIČKIH ANALIZA

Analiza elektroenergetskih sustava nezaobilazan je faktor u njihovom proučavanju, kako u procesu planiranja izgradnje i proširenja, tako i u procesu planiranja i vođenja pogona i donošenja operativnih odluka za aktualna stanja u kojima se analizirani sustav nalazi. Rezultati takvih analiza trebaju biti konkretna rješenja s prijedlogom odgovarajućih mjera za njihovu realizaciju. Osnovni preduvjeti koji se trebaju osigurati radi dobivanja pouzdanih rezultata na bazi kojih će se donositi odluke i realizirati predložene mjere i zahvati u realnom sustavu su vjerodostojnost ulaznih podataka i adekvatnost simulacijskih programa za analizu višestrojnih sustava.

Imajući u vidu i stvarne uvjete područnih elektroenergetskih sustava Hercegovine i Dalmacije, posebna pažnja je posvećena uvažavanju UCTE preporuka koje se odnose, između ostalog, i na sigurnost rada sustava. Navedene preporuke obvezuju članice UCTE interkonekcije na osiguranje uvjeta čiji je cilj smanjenje rizika ugrožavanja susjednih sustava zbog poremećaja u vlastitom sustavu. Položaj CHE Čapljina u sustavu je vrlo delikatan, posebno u aktualnom stanju topološke strukture prijenosne mreže kada s jedne strane nije u pogonu 400 kV mreža i kada se, s druge strane dva od tri 220 kV dalekovoda koji predstavljaju temeljnu vezu elektroenergetskog sustava BiH s UCTE interkonekcijom preko hrvatskog EES-a naslanjaju na sabirnice 220 kV TS Mostar 4 na koje su spojeni i agregati CHE Čapljina.

Model višestrojnog sustava [1] – relevantan za statičke analize uvjeta neposredno pred asinkroni zalet, u

tijeku zaleta, neposredno poslije sinkronizacije (uključenja uzbude sinkronog stroja) i u režimu crpnog rada - obuhvatio je područje Bosne i Hercegovine (dio koji je u paralelnom radu sa UCTE, odnosno dio koji je u I sinkronoj zoni), Hrvatske i Slovenije. EES Bosne i Hercegovine modeliran je do 110 kV naponske razine, a EES Hrvatske i Slovenije na razini prijenosne mreže 400 kV i 220 kV s referentnim čvorom (ekvivalentnim generatorom) iza čvora 400 kV Divača kojim je predstavljen utjecaj UCTE interkonekcije. Treba napomenuti da su svi generatori modelirani s pripadnim blok-transformatorima, a da regulatori napona održavaju nazivni napon na stezaljkama generatora za sve radne točke unutar područja definiranog pogonskim dijagramom svakog pojedinačnog generatora.

Za ocjenu mogućnosti asinkronog starta mjerodavan je režim rada sustava u noćnom periodu od 23:00 do 05:00, u kojem se predviđa mogućnost crpnog rada agregata u CHE Čapljina i koji je karakterističan po minimalnom angažiranju hidroelektrana. To je vrlo važna činjenica s obzirom da se radi o značajnim hidroenergetskim proizvodnim jedinicama koje su "električki" vrlo blizu CHE Čapljina i koje najviše utječu na uvjete asinkronog zaleta.

Rezultati statičkih analiza su ukazali na minimalne uvjete koje treba ostvariti u sustavu da bi se omogućila sistemska usluga asinkronog zaleta agregata CHE Čapljina. S obzirom na položaj CHE Čapljina, sistemsku uslugu asinkronog zaleta osiguravaju EES Bosne i Hercegovine i Hrvatske. Jedan je od najvažnijih uvjeta rezerva jalove snage generatora koji su u pogonu jer je asinkroni zalet uglavnom problem napona i jalove snage. To je za konkretni slučaj ilustrirano slikom 2 na kojoj su prikazani naponi u karakterističnim 220 kV čvorištima i jalove snage relevantnih proizvodnih jedinica neposredno pred asinkroni zalet i u tijeku zaleta za dvije varijante minimalnih uvjeta (slika 2 "gore": sa HE Dubrovnik ali bez HE Salakovac i HE Grabovica, i slika 2 "dolje" sa HE Salakovac i HE Grabovica ali bez HE Dubrovnik). Rezultati ovih analiza ukazuju da će tijekom zaleta jalova snaga "električki" bliskih proizvodnih jedinica praktički dosegnuti maksimalno dopuštene (nazivne) iznose, definirane nazivnom radnom točkom u pogonskom dijagramu generatora, koji su radi usporedbe prikazani na slici 2 posebnim bar-grafom uz bar-grafove jalovih snaga prije i tijekom zaleta.

U tijeku asinkronog zaleta agregata uz odvodnjen prostor turbine/crpke s faznim prigušnicama u zvjezdištu statora sinkronog stroja potrebna jalova snaga iznosi oko 200 Mvar, pa je održavanje napona okolnih čvorišta u dozvoljenim granicama osnovni problem. Kao referentne sabirnice za ocjenu osjetljivosti sustava na povećanu potražnju jalove snage tijekom asinkronog zaleta odabrane su sabirnice 220 kV TS Mostar 4.

Poznato je da u analizi stacionarnih stanja elektroenergetskog sustava stanje svakog čvora definiraju četiri međusobno zavisne veličine: djelatna i jalova snaga te iznos i kut vektora napona. Ove veličine su međusobno povezane nelinearnim jednadžbama općeg oblika:

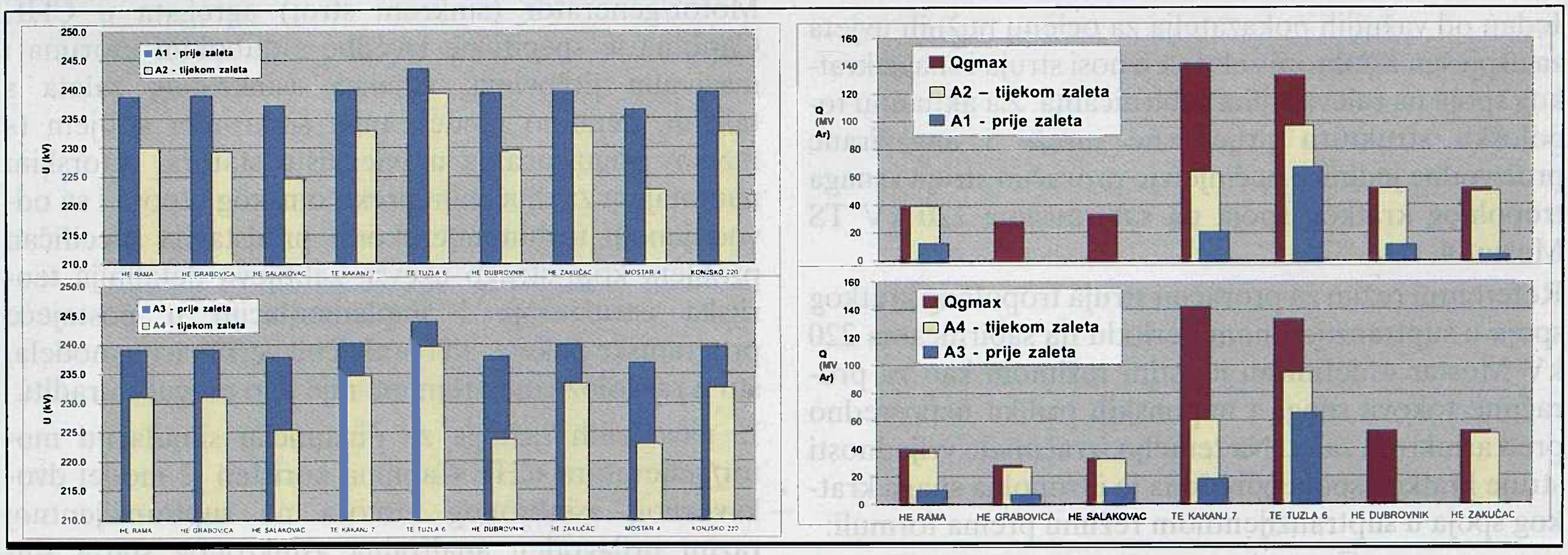
$$f(P,Q,V,\delta) = 0. \quad (1)$$

Promjena napona čvorišta može se prikazati kao funkcija promjene djelatne i jalove snage čvorišta:

$$\Delta V = C \cdot \Delta P + D \cdot \Delta Q. \quad (2)$$

Osjetljivosti napon – jalova snaga odnosno koeficijenti D (kV/Mvar) čvorišta definirani su podmatricom $Q/V$ Jakobijeve matrice. Za izračun osjetljivosti napon – jalova snaga odnosno koeficijenta D za čvor 220 kV Mostar 4, kao pokazatelja sposobnosti sustava za održavanje napona u konkretnom slučaju asinkronog zaleta, simulirano je opterećenje od 20 MW / 200 Mvar na sabirnicama 15.75 kV u CHE Čapljina koje odgovara očekivanom udaru djelatne i jalove snage kod asinkronog starta agregata s faznim prigušnicama u zvjezdištu sinkronog stroja uz odvodnjenu turbinu/crpku.

Analize pokazuju da se minimalno potrebni uvjeti za asinkroni zalet uz uobičajenu pogonsku konfiguraciju




**Slika 2. Naponi karakterističnih 220 kV čvorišta i jalove snage generatora**
**"gore": sa HE Dubrovnik, bez HE Salakovac i HE Grabovica**
**"dolje": bez HE Dubrovnik, sa HE Salakovac i HE Grabovica**

prijenosnih sustava EES-a Bosne i Hercegovina i Hrvatske mogu ostvariti pod sljedećim pretpostavkama:

- u pogonu su HE Zakučac, HE Rama, HE Dubrovnik s po jednim agregatom, te TE Kakanj G-7 i TE Tuzla G-5 ili G-6 ($U_{TS\ MOSTAR\ 4}$=236.5 kV); ("**varijanta a**")
- u pogonu su HE Zakučac, HE Rama, HE Salakovac, HE Grabovica s po jednim agregatom, te TE Kakanj G-7 i TE Tuzla G-5 ili G-6 ($U_{TS\ MOSTAR\ 4}$=236.7 kV); ("**varijanta b**")

Proračuni pokazuju da bi za "**varijantu a**" pogonskog stanja (gornji grafički prikazi na slici 2), kod udarnog opterećenja od 20 MW/200 MVAr na sabirnicama 15.75 kV u CHE Čapljina, propad napona na 220 kV sabirnicama u TS Mostar 4 iznosio 14.1 kV (sa 236.5 kV na 222.4 kV) uz praktički maksimalno dopušteno opterećenje jalovom snagom generatora u HE Zakučac (50 Mvar), HE Rama (39 Mvar) i HE Dubrovnik (52 Mvar), odnosno 14.4 kV (s 236.7 kV na 222.3 kV) također uz praktički maksimalno dopušteno opterećenje jalovom snagom generatora u HE Zakučac, HE Rama, HE Salakovac (33 Mvar) i HE Grabovica (27 Mvar) za "**varijantu b**" pogonskog stanja (donji grafički prikazi na slici 2). U prvom slučaju osjetljivost napon-jalova snaga za 220 kV čvor Mostar 4 iznosi $D$=1/14.2 kV/Mvar, a u drugom slučaju $D$=1/13.9 kV/Mvar.

Na slici 2 prikazani su iznosi napona u karakterističnim 220 kV čvorištima i iznosi jalovih snaga odabranih generatora u stanju prije zaleta te iznosi koji se očekuju tijekom zaleta, i to za slučaj "**varijante a**" ("gore") i za slučaj "**varijante b**" pogonskog stanja ("dolje"). Radi usporedbe na slici 2 prikazane su posebnim bar-grafom i maksimalno dopuštene jalove snage generatora uz bar-grafove jalovih snaga prije i tijekom zaleta.

## 4. PRORAČUN STRUJA I SNAGA KRATKOG SPOJA

Jedan od važnijih pokazatelja za ocjenu nužnih uvjeta za uspješan asinkroni zalet su iznosi struja i snaga kratkog spoja na relevantnim sabirnicama. Za aktualnu topološku strukturu prijenosne mreže i angažirane proizvodne jedinice načinjen je proračun struja i snaga tropolnog kratkog spoja na sabirnicama 220 kV TS Mostar 4.

Referentni režim za proračun struja tropolnog kratkog spoja u suptranzijentnom periodu na sabirnicama 220 kV Mostar 4 definiran je istim režimom kao za proračune tokova snaga i naponskih prilika neposredno pred asinkroni zalet. Na temelju izračunate vrijednosti struje kratkog spoja određena je i tropolna snaga kratkog spoja u suptranzijentnom režimu prema formuli:

$$S''_{k3} = c \cdot \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_k. \qquad (3)$$

Faktor $c$ za napone 35 – 380 kV i frekvencije 50 i 60 Hz, iznosi 1.10 za maksimalne struje kratkog spoja i 1.00 za minimalne struje kratkog spoja. S obzirom da se analizira asinkroni zalet CHE Čapljina u režimima minimalnih opterećenja, za proračun tropolne snage kratkog spoja u suptranzijentnom periodu usvojen je naponski faktor $c$ = 1.0.

Rezultati proračuna tropolnog kratkog spoja za definirano uklopno stanje prijenosne mreže i angažirane proizvodne jedinice prikazani su u donjoj tabeli:

| $U_{TS\ Mostar\ 4}$ (prije kvara) (kV) | $I''_{k3}$ (kA) | $S''_{k3}$ (MVA) |
|---|---|---|
| 236.5 | 8.184 | 3348 |

Ekvivalentna reaktancija sustava izračunata na bazi ovih rezultata i normirana na baznu snagu generatora CHE Čapljina (240 MVA) iznosi oko 8% na 220 kV sabirnicama u TS Mostar 4, odnosno 20% na 15.75 kV sabirnicama u CHE Čapljina, što se može smatrati zadovoljavajućim vrijednostima s aspekta uspješnosti asinkronog starta.

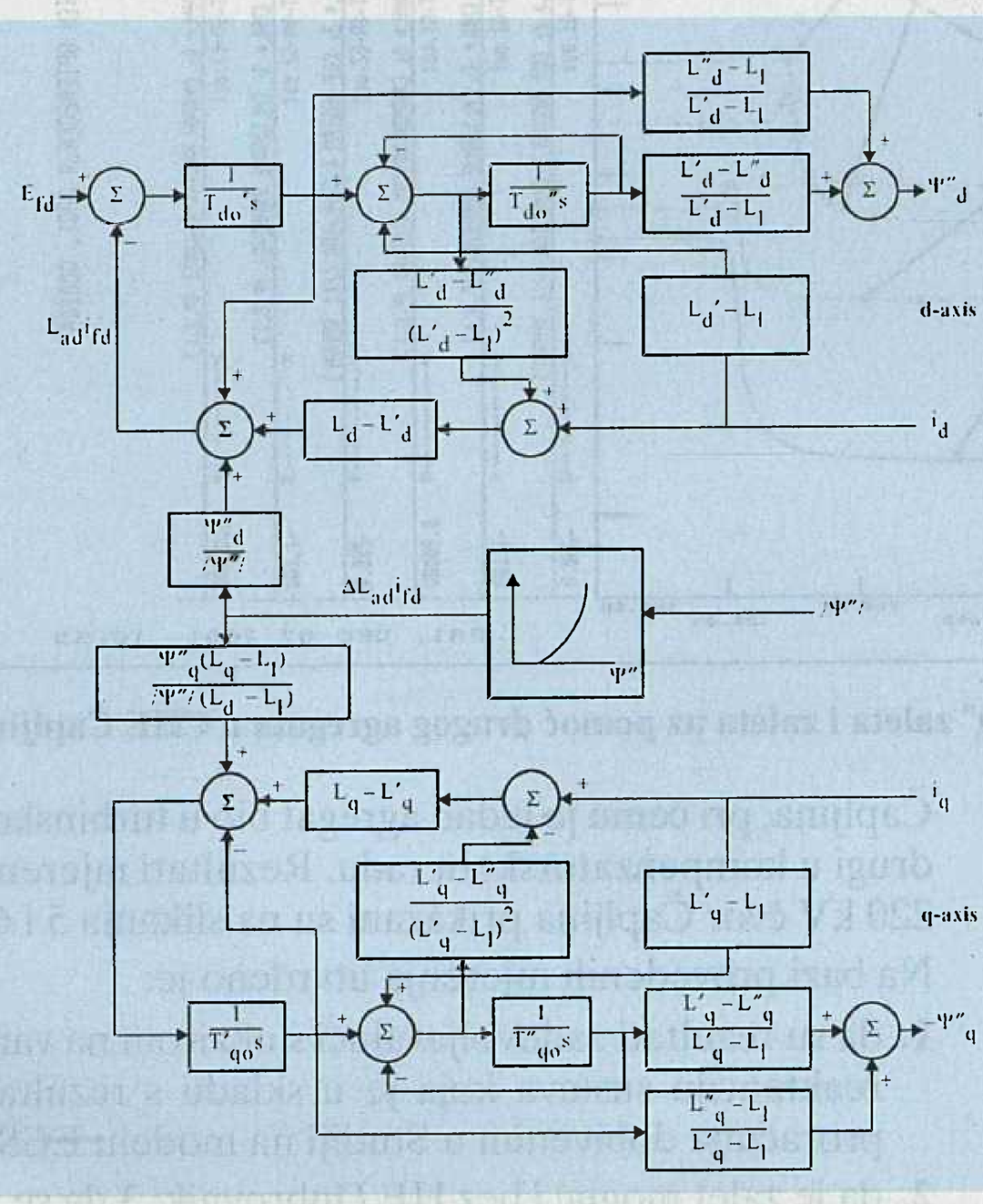
## 5. SIMULACIJA ASINKRONOG ZALETA U VREMENSKOJ DOMENI

Simulacije asinkronog zaleta agregata CHE Čapljina uz odvodnjenu turbinu/crpku s faznim prigušnicama u zvjezdištu statora sinkronog stroja (način P1) načinjene su na višestrojnom modelu EES-a BiH kojim je obuhvaćena kompletna prijenosna mreža 400, 220 i 110 kV u prvoj sinkronoj zoni UCTE-a i relevantni dio 400 i 220 kV EES Hrvatske i Slovenije. Za sve generatore koji su modelirani na suptranzijentnom nivou, u skladu s raspoloživim podacima, modelirani su sustavi sustavi uzbude i sustavi turbinske regulacije. Osnovni cilj simulacija je odgovoriti na pitanje da li je i pod kakvim uvjetima moguće ostvariti asinkroni zalet i kako će prijelazna pojava tijekom zaleta utjecati na ponašanje EES-a.

Motor/generator (sinkroni stroj) agregata u CHE Čapljina je specifične izvedbe s dubokim utorima i masivnim polovima. Analiza asinkronog zaleta s takvim, detaljno modeliranim sinkronim strojem (s faznim prigušnicama u zvjezdištu statora, rotorskim namotajem zaključenim preko omskog otpora i sa odvodnjenom turbinom/crpkom) predstavlja specifičan problem koji, strogo uzevši, zahtijeva detaljnija teorijska istraživanja i implementaciju u postojeće programske pakete, ali i praktičnu verifikaciju modela, što u raspoloživom vremenu nije bilo moguće uraditi.

Iz navedenih razloga za dinamičku simulaciju motor/generatora CHE Čapljina korišten je model dvokaveznog asinkronog motora na suptranzijentnoj razini prilagođen analizama asinkronog starta sinkronog stroja. Izvršen je proračun relevantnih parametara nadomjesne sheme asinkronog motora na bazi poznatih parametara sinkronog stroja s dodatnim ko-

rekcijama zbog priključenja faznih prigušnica u zvjezdištu statora, omskog otpora kojim se zaključuje rotorski namot i otpornog momenta odvodnjene turbine/crpke. Blok-dijagram modela asinkronog motora kojim se simulira motor/generator CHE Čapljina prikazan je na slici 3.




$$L = L_a + L_m$$

$$L' = L_a + \frac{1}{\frac{1}{L_m} + \frac{1}{L_1}}$$

$$L'' = L_a + \frac{1}{\frac{1}{L_m} + \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}}$$

$$T_0' = \frac{L_1 + L_m}{\omega_0 \cdot R_1}$$

$$T_0'' = \frac{L_2 + \frac{L_1 \cdot L_m}{L_1 + L_m}}{\omega_0 \cdot R_2}$$

**Slika 3. Blok dijagram modela i nadomjesna shema motora/generatora (sinkronog stroja) CHE Čapljina**

Simulacije asinkronog zaleta izvedene su u dvije varijante:

a) "samostalni" asinkroni zalet motor/generatora pri čemu je EES u potpunosti odgovoran za pružanje potrebne sistemske usluge asinkronog zaleta i osiguranje jalove snage od cca 200 Mvar;
b) zalet s potporom drugog agregata u CHE Čapljina priključenim na mrežu u generatorskom radu čiji sustav regulacije napona održava nazivni napon na stezaljkama generatora pri čemu se "sistemska usluga" osiguranja jalove snage za potrebe asinkronog zaleta reducira približno za 50% u odnosu na varijantu a).

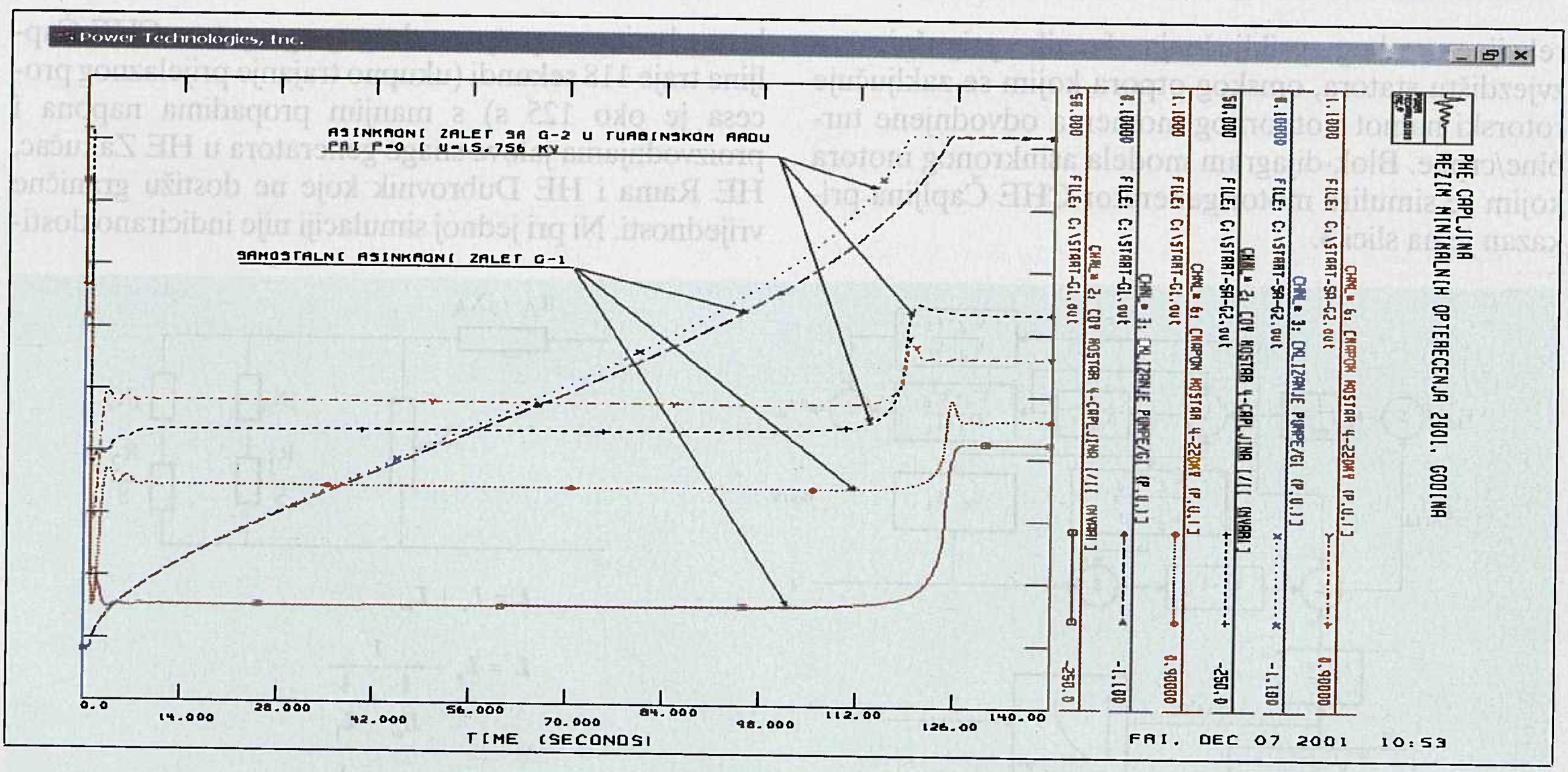
Tijekom simulacija praćeno je 80 veličina: klizanje (brzina) motor/generatora CHE Čapljina, naponi relevantnih sabirnica, djelatne i jalove snage i kutovi generatora te tokovi snaga na vodovima.

Rezultati simulacije "samostalnog" asinkronog zaleta pokazuju da vrijeme trajanja zaleta do sinkrone brzine iznosi 128 sekundi (ukupno trajanje prijelaznog procesa je oko 135 s) s iznosima napona koji ni u jednom 220 kV čvorištu mreže ni jednog trenutka tijekom zaleta nisu niži od pogonski trajno dopuštenog iznosa od 198 kV (90%), ali s graničnim proizvodnjama jalove snage generatora u HE Zakučac, HE Rama i HE Dubrovnik. U odnosu na "samostalni" asinkroni zalet, zalet do sinkrone brzine uz potporu drugog agregata u CHE Čapljina traje 118 sekundi (ukupno trajanje prijelaznog procesa je oko 125 s) s manjim propadima napona i proizvodnjama jalove snage generatora u HE Zakučac, HE Rama i HE Dubrovnik koje ne dostižu granične vrijednosti. Ni pri jednoj simulaciji nije indicirano dostizanje forsirnih iznosa struje uzbude generatora, a analiza oscilacija kutova rotora generatora potvrđuje da ni pojedinačna kutna stabilnost generatora kao i ukupna kutna stabilnost sustava neće biti upitna.

Na slici 4 prikazan je usporedni dijagram karakterističnih veličina kod asinhronog zaleta u varijantama a i b.

## 6. ASINKRONI ZALET CHE ČAPLJINA U REALNIM UVJETIMA

Mada su rezultati Studije 1 bili povoljni, zbog aktualnog stanja sustava ipak se nije mogla zanemariti činjenica da postoji značajna interakcija asinkronog zaleta ovako velikog agregata i EES-a što može dovesti do ozbiljnog sistemskog poremećaja koji može biti praćen neželjenim širenjem i, posebno u slučaju neuspješnog pokretanja, čak voditi ka raspadu sustava. Iz navedenih je razloga načinjen "Operativni program ispitivanja" 2 kojim je predviđeno da se prije pokusa asinkronog zaleta, u ciljanoj konfiguraciji sustava prema pretpostavkama iz Studije i realnim uvjetima, izvrši mjerenje naponske krutosti sustava (osjetljivost napon-jalova snaga), te da se samom izvođenju pokusa asinkronog zaleta pristupi samo ukoliko se dobiju povoljni rezultati. Ciljana konfiguracija je podrazumije-




**Slika 4. Odziv karakterističnih veličina kod "samostalnog" zaleta i zaleta uz pomoć drugog agregata u CHE Čapljina**

vala da u pogonu bude sva raspoloživa mreža 220 kV te po jedan hidro agregat u HE Rama, Grabovica, Salakovac, Zakučac, Dubrovnik i TE Tuzla (G5 ili G6).

U operativnom programu ispitivanja također je detaljno razrađena organizacijska shema s glavnim zapovjednim centrom u Sarajevu (ZEKC) i pomoćnim centrima u Sarajevu (EP BiH), Mostaru (EP HZHB), Trebinju (ERS) i Zagrebu (HEP) te mjestima mjerenja i registracije u svim zapovjednim centrima i odabranim objektima (CHE Čapljina, TS Mostar 4, HE Zakučac, TS Konjsko, RP Jablanica, HE Rama, HE Dubrovnik, HE Grabovica i EAL Mostar). U svim zapovjednim i mjernim centrima određene su odgovorne osobe te osigurana neposredna i stalna komunikacija, a razrađeni su postupci provođenja priprema i samog pokusa, uključujući i postupke operativnog osoblja u slučaju neuspjelog pokusa.

### 6.1. Mjerenje naponske krutosti sustava

Rezultati Studije [1] su pokazali da se u ciljanoj konfiguraciji sustava može na sabirnicama 220 kV TS Mostar 4 očekivati snaga kratkog spoja od oko 3350 MVA, što znači da ekvivalentna reaktancija sustava svedena na stezaljke motor/generatora (15.75 kV) u CHE Čapljina iznosi oko 20%. Prema uobičajenim kriterijima smatra se da ekvivalentna reaktancija sustava do 25% znači dobru povezanost objekta (sinkronog stroja u CHE Čapljina) sa sustavom, što bi značilo da aktualna i ciljana topološka struktura EES-a omogućava sistemsku uslugu asinkronog starta, što je i trebalo biti potvrđeno mjerenjima.

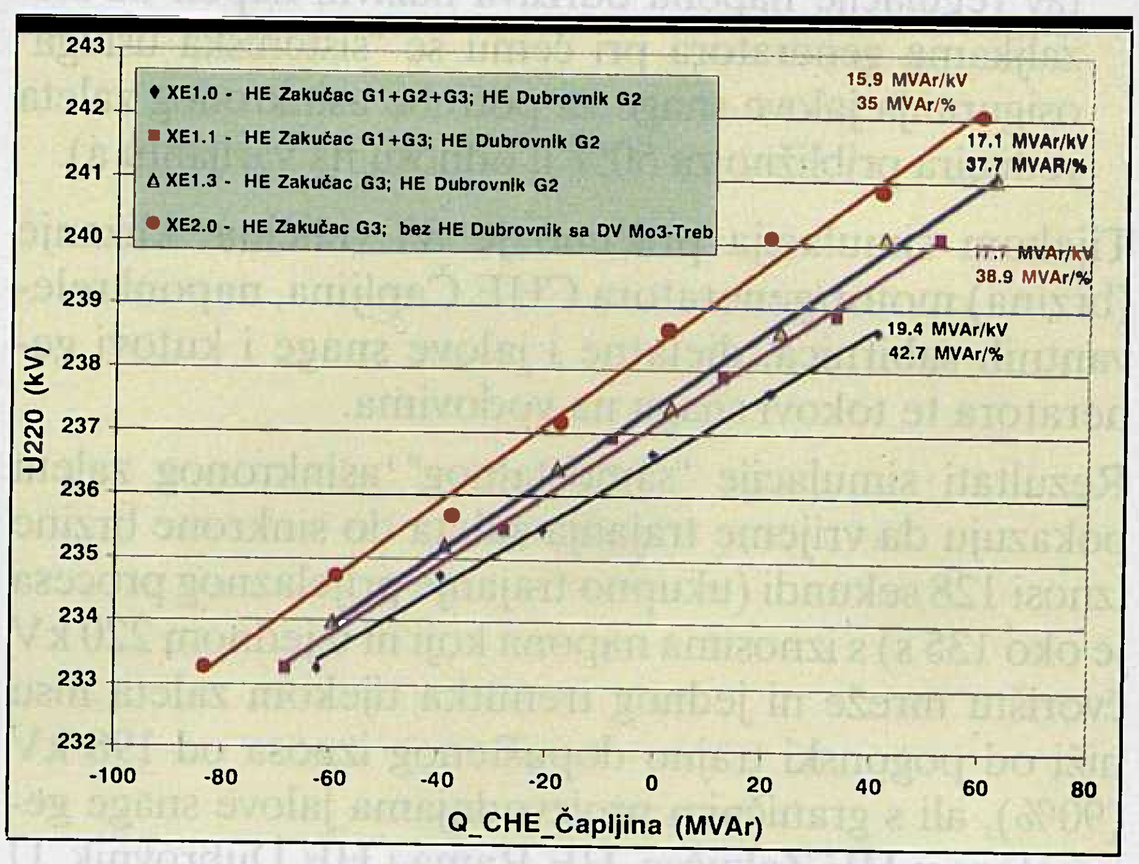
Mjerenje naponske krutosti sustava izvršeno je u noći od 19. na 20. ožujka 2002. godine tako da je u različitim varijantama angažiranja agregata u HE Zakučac i HE Dubrovnik praćena promjena napona u sustavu u zavisnosti od promjene jalove snage generatora u CHE Čapljina, pri čemu je jedan agregat bio u turbinskom, a drugi u kompenzatorskom radu. Rezultati mjerenja za 220 kV čvor Čapljina prikazani su na slikama 5 i 6.

Na bazi provedenih mjerenja utvrđeno je:

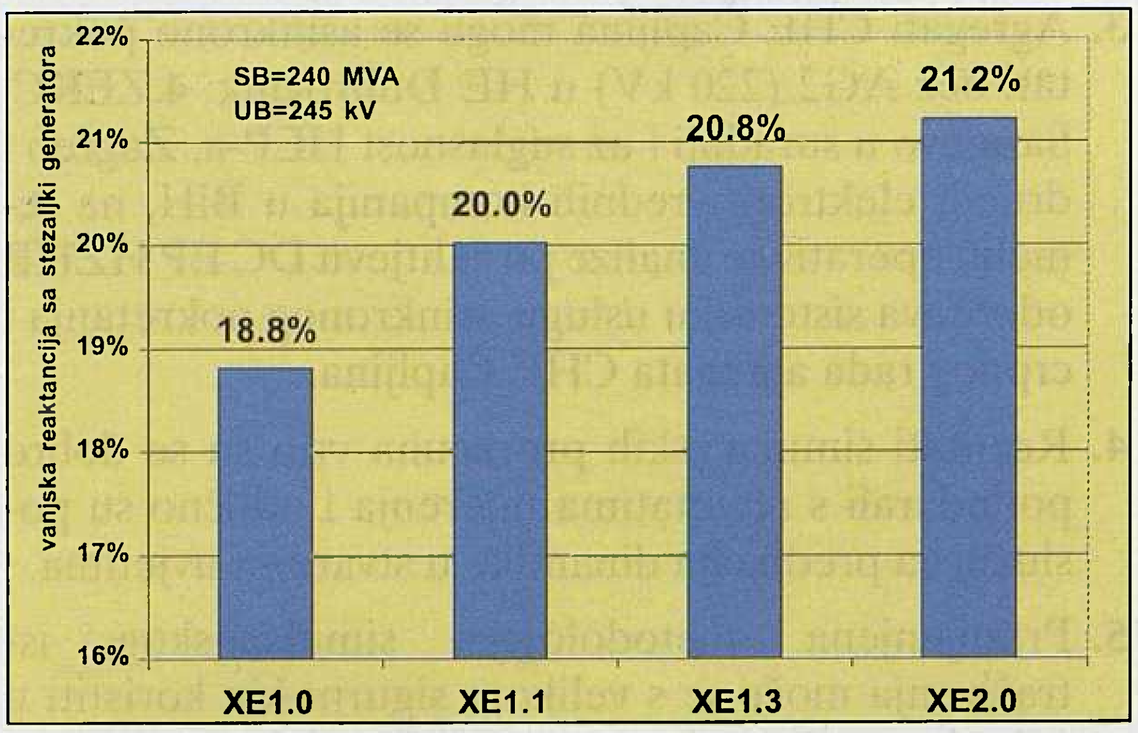
1. da su rezultati zadovoljavajući s obzirom na vanjsku reaktanciju sustava koja je u skladu s rezultatima proračuna dobivenim u Studiji na modelu EES-a;
2. da je zalet moguć i bez HE Dubrovnik; **3.**da se asinkroni zalet jednog agregata treba načiniti uz potporu drugog agregata u CHE Čapljina u generatorskom pogonu.

### 6.2. Asinkroni zalet AG-1

Pokus asinkronog zaleta agregata AG-1 izvršen je 21. ožujka 2002. godine u 23:00 sati. Prethodno je, u skladu s Operativnim programom, od zapovjednih i ispitnih centara dobivena potvrda o spremnosti sustava i postrojenja u skladu sa zahtjevanom konfiguracijom i da

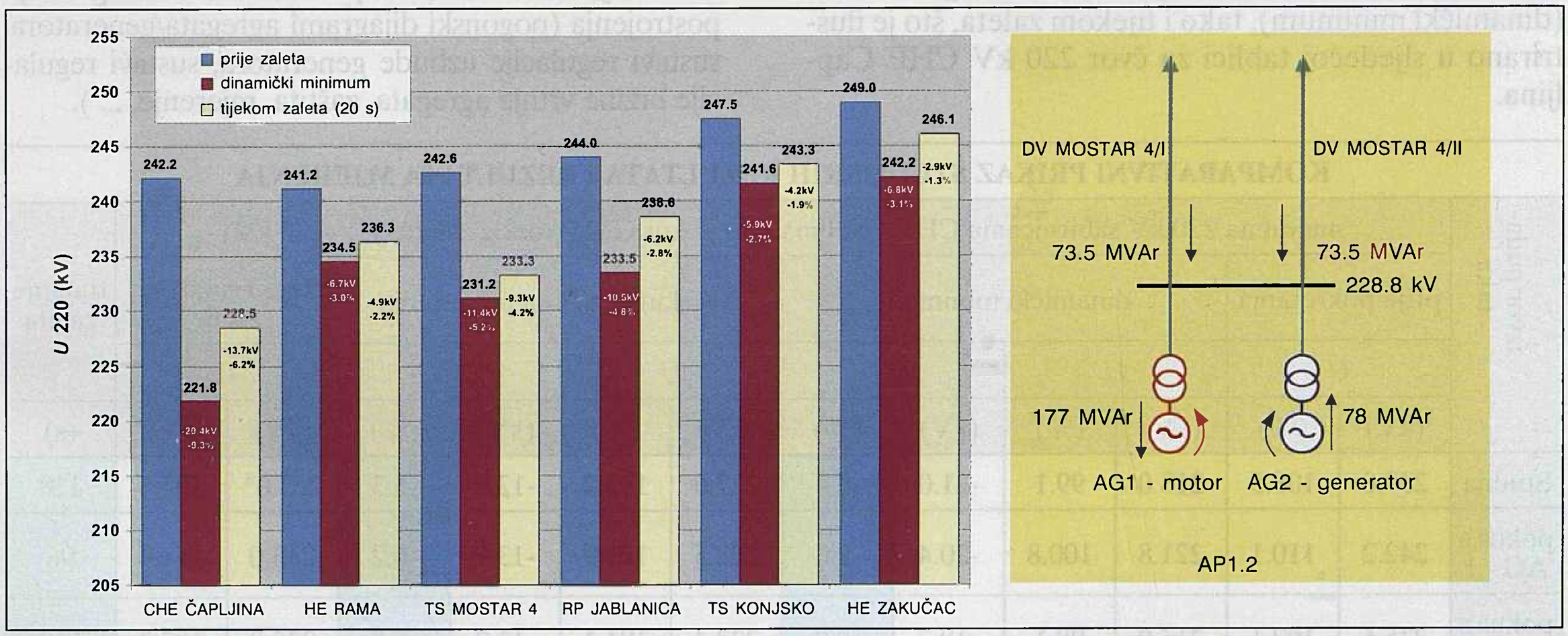



**Slika 5. Naponska krutost 220 kV čvora CHE Čapljina**



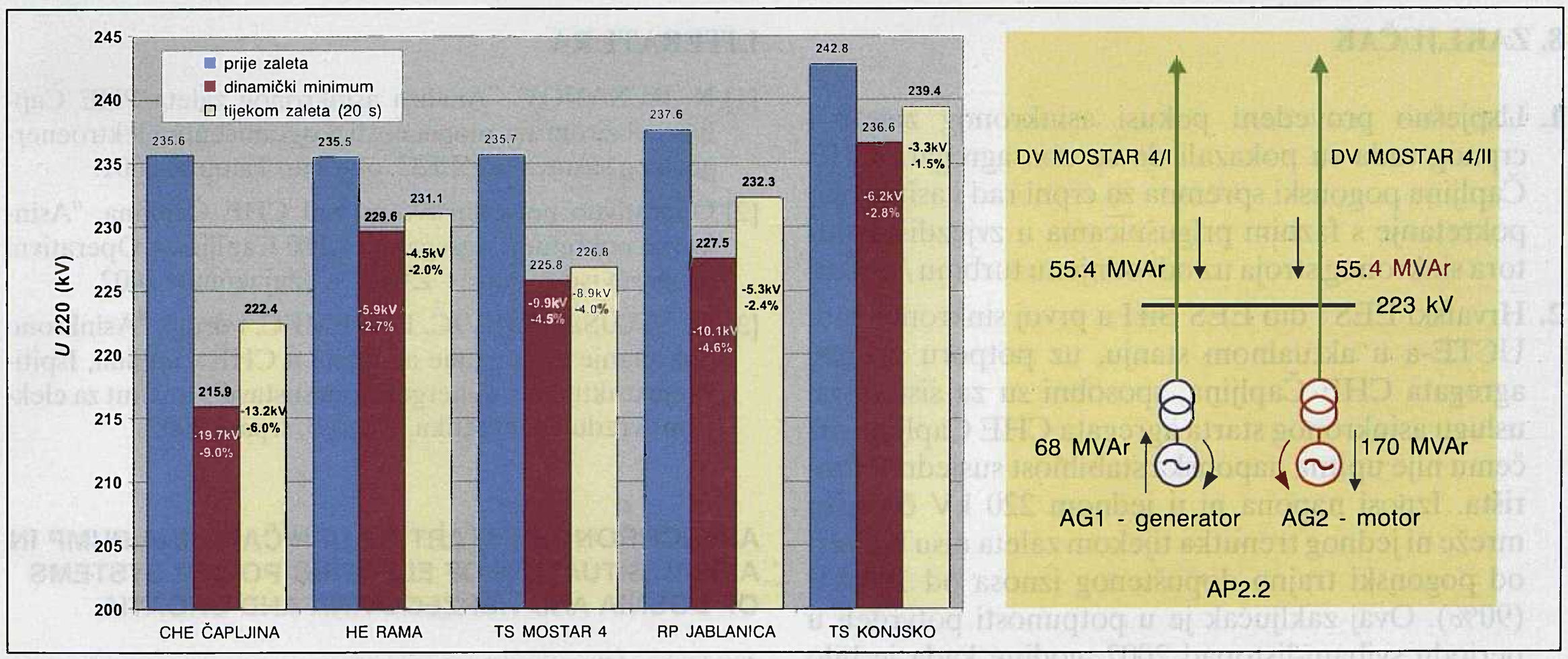

**Slika 6. Ekvivalentna reaktancija sustava gledano iz čvora CHE Čapljina**
**XE1.0 -$S_{k3}$"=4016 MVA**
**XE1.1 -$S_{k3}$"=3275 MVA**
**XE1.3.-$S_{k3}$"=2916 MVA**
**XE2.0 -$S_{k3}$"=2765 MVA**

su načinjeni zapisi stacionarnog stanja (naponi, djelatne i jalove snage). Izvršena je sinkronizacija generatora AG-2 i odvodnjavanje turbinskog prostora AG-1. U prvom pokušaju, iako je postignuta sinkrona brzina, nije došlo do uključenja uzbude, odnosno sinkronizacije motor/generatora na mrežu zbog greške na hidrauličkom ventilu. Unatoč tome može se smatrati da je prvi pokus asinkronog zaleta, s aspekta sistemske usluge, bio uspješan. Ponovni zalet pokušan je pri istim uvjetima 22. ožujka u 00:11 sati i bio je uspješan u cijelosti. Asinkroni zalet motor/generatora s automatskom sinkronizacijom je trajao 96 sekundi i protekao je bez ikakvih problema u sustavu. Naponske prilike u karakterističnim 220 kV čvorištima mreže neposredno prije početka zaleta u samom početku zaleta i 20 sekundi nakon početka zaleta prikazani su na slici 7, a raspodjela jalovih snaga po agregatima CHE Čapljina i DV 220 kV Mostar 4 – CHE Čapljina 20 sekundi nakon početka zaleta na slici 8.




**Slika 7. Naponski profil u mreži 220 kV tijekom pokusa asinkronog zaleta AG-1**

**Slika 8. Tokovi jalovih snaga u CHE Čapljina 20 sekundi nakon početka asinkronog zaleta AG-1**




**Slika 9. Naponski profil u mreži 220 kV tijekom pokusa asinkronog zaleta AG-2**

**Slika 10. Tokovi jalovih snaga u CHE Čapljina 20 sekundi nakon početka asinkronog zaleta AG-2**

### 6.3. Asinkroni zalet AG-2

Pokus asinkronog zaleta AG-2 izvršen je 22. ožujka 2002. godine u 22:32 sati na isti način kao i zalet AG-1, ali s početno nešto nižim naponima u 220 kV mreži nego u slučaju zaleta AG-1(vidi sliku 7 i sliku 9). Naponski profil u mreži 220 kV prikazan je na slici 9, dok je na slici 10 prikazana raspodjela jalovih snaga po agregatima CHE Čapljina i na 220 kV dalekovodu Mostar 4 – CHE Čapljina 20 sekundi nakon početka zaleta.

## 7. KOMPARATIVNA ANALIZA REZULTATA

Komparativna analiza rezultata pokazuje veoma dobro podudaranje vrijednosti napona i trajanja zaleta dobivenih simulacijom na modelu EES-a 1 i izmjerenih vrijednosti kod pokusa asinkronog zaleta u realnom sustavu, kako u trenutku uključenja motor/generatora (dinamički minimum), tako i tijekom zaleta, što je ilustrirano u sljedećoj tablici za čvor 220 kV CHE Čapljina.

**KOMPARATIVNI PRIKAZ STUDIJSKIH REZULTATA I REZULTATA MJERENJA**

| izvor podataka | napon na 220 kV sabirnicama CHE Čapljina kod pokusa asinkronog zaleta ($U_n$=220 kV) | | | | | | | | | | | | trajanje zaleta |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | prije pokretanja | | dinamički minimum | | | | 20 sekundi nakon pokretanja | | | | nakon sinkronizacije | | |
| | $U$ | | $U$ | | $\Delta U$ | | $U$ | | $\Delta U$ | | $U$ | | |
| | (kV) | (%) | (kV) | (%) | (kV) | (%) | (kV) | (%) | (kV) | (%) | (kV) | (%) | (s) |
| Studija | 239.0 | 108.5 | 218.0 | 99.1 | -21.0 | -9.4 | 227.0 | 103.2 | -12.0 | -5.3 | 223.0* | 105.5 | 118 |
| pokus s AG - 1 | 242.2 | 110.1 | 221.8 | 100.8 | -20.4 | -9.3 | 228.5 | 103.9 | -13.7 | -6.2 | 245.0 | 111.4 | 96 |
| pokus s AG - 2 | 235.6 | 107.1 | 215.9 | 98.1 | -19.7 | -9.0 | 222.4 | 101.1 | -13.2 | -6.0 | 236.0 | 107.2 | 118 |

* pri dostizanju sinkrone brzine, bez sinkronizacije (uključenja uzbude).

## 8. ZAKLJUČAK

1. Uspješno provedeni pokusi asinkronog zaleta i crpnog rada su pokazali da su oba agregata CHE Čapljina pogonski spremna za crpni rad i asinkrono pokretanje s faznim prigušnicama u zvjezdištu statora sinkronog stroja uz odvodnjenu turbinu / crpku.
2. Hrvatski EES i dio EES BiH u prvoj sinkronoj zoni UCTE-a u aktualnom stanju, uz potporu drugog agregata CHE Čapljina, sposobni su za sistemsku uslugu asinkronog starta agregata CHE Čapljina pri čemu nije upitna naponska stabilnost susjednih čvorišta. Iznosi napona ni u jednom 220 kV čvorištu mreže ni jednog trenutka tijekom zaleta nisu bili niži od pogonski trajno dopuštenog iznosa od 198 kV (90%). Ovaj zaključak je u potpunosti potvrđen u periodu svibanj-listopad 2002. godine kada je bilo više upuštanja agregata CHE Čapljina u redovni crpni pogon.
3. Agregati CHE Čapljina mogu se asinkrono pokretati bez AG2 (220 kV) u HE Dubrovnik. 4.ZEKC, Sarajevo u suradnji i uz suglasnost HEP-a, Zagreb i drugih elektroprivrednih kompanija u BiH, na temelju operativne analize po zahtjevu DC EP HZHB odobrava sistemsku uslugu asinkronog pokretanja i crpnog rada agregata CHE Čapljina.
4. Rezutati simulacijskih proračuna vrlo su se dobro podudarali s rezultatima mjerenja i odlično su poslužili za predikciju dinamike u stvarnim uvjetima.
5. Primijenjena metodologija simulacijskog istraživanja može se s velikom sigurnošću koristiti u ocjeni sposobnosti sustava i definiranju minimalno potrebnih uvjeta u sustavu za pružanje sistemske usluge asinkronog starta agregata crpno akumulacijske elektrane.
6. Bilo bi korisno i potrebno pokrenuti aktivnosti na sređivanju baze tehničkih podataka izvedenog stanja postrojenja (pogonski dijagrami agregata/generatora, sustavi regulacije uzbude generatora, sustavi regulacije brzine vrtnje agregata, zaštita, mjerenje, ... ).

## LITERATURA

[1] N. RUSANOV, "Analiza asinkronog zaleta PHE Čapljina obzirom na mogućnosti i ograničenja elektroenergetskog sustava" – ZEKC, oktobar/ listopad 2001.

[2] Operativno povjerenstvo za rad CHE Čapljina, "Asinkrono pokretanje agregata u CHE Čapljina – Operativni program ispitivanja" – ZEKC – ožujak/mart 2002.

[3] M. STOJSAVLJEVIĆ, D. NEMEC, i drugi, "Asinkrono pokretanje i pumpanje agregata u CHE Čapljina, Ispitivanje u aktualnom energetskom sustavu", Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, srpanj 2002.

## ASYNCHRONOUS START OF HPP ČAPLJINA PUMP IN A REAL SITUATION OF ELECTRIC POWER SYSTEMS OF BOSNIA AND HERZEGOVINA AND CROATIA

Analysis of the electric power system operation and usage of available energy resources in real circumstances of topology structure and electric energy circumstances in the

transmission network of Bosnia and Herzegovina and Croatia, especially in the region of mid and south Dalmatia (so called Adriatic Road), has given rise to the question of reversible hydro power plant Čapljina's utilization of 2X240 MW and to considering occasions created by open electric energy market.

From the technical point of view there are two problems, i.e. system services: 1) asynchronous aggregate start and 2) transmission of power and energy for pump operation under circumstances of lower system reliability. The research has shown that from the point of voltage, dynamic and reactive power, asynchronous start is possible with phase reactances in generator neutral point with water-free turbine/pump (mode P1).

During start up, generators near connecting point of pump HPP Čapljina (TS Mostar 4) are nominally loaded by reactive power. The operation and support of the other aggregate in pump HPP Čapljina in generator mode significantly improves considering voltage and reactive power in that part of the system during start up.

Two possibilities of power and energy supply for pumping are analyzed: 1) from thermal power plants of Bosnia and Herzegovina and 2) from UCTE interconnection. In the UCTE variant problems could arise with (n-1) criteria of reliability and criteria of bottlenecks on the part of the Adriatic Road in the electric power system of Croatia.

Based on calculation results during three nights in March 2002 successful trials of asynchronous start ups and pumping with two aggregates of pump HPP Čapljina were realized under real conditions.

**ASYNCHRONER ANLAUF EINES TURBOSATZES IM PUMPENSPEICHERWERK (=CHE) "ČAPLJINA" BEI BESTEHENDEN UMSTÄNDEN IN DEN ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEMEN BOSNIEN-HERZEGOVINA'S UND KROATIENS.**

Bei der Untersuchung der Betriebsweisen elektroenergetischer Systeme und der Ausnutzung elektroenergetischer Anlagen unter den Bedingungen Ihrer tatsächlichen Lage und Anordnung, sowie unter den energetischen Umständen im Übertragungsnetz sowohl Bosnien-Herzegovina's, als auch Kroatiens, besonders im Bereich von Süd- und Mitteldalmatien (Adriatische Übertragungshauptader) stellen sich die Fragen möglicher Nutzung der Eigenschaften des 2×240 MW Pumpenspeicherwerkes "Čapljina" und der günstigen. vom offenen Strommarkt angebotenen, Gelegenheiten.

Aus der technischen Sicht erweisen sich zwei Grundprobleme, bei beiden möglichen Dienstleistungen: 1) Asynchroner Anlauf eines Turbosatzes (direkt, oder mit Drosselspulen im Sternpunkt des Generators, bei entwässertem Raum der Turbine/Pumpe) und 2) Leistungs- und Energieübertragung für die Speicherungsarbeit in den Bedingungen beschränkter Verfügbarkeit des Systems. Aus der Sicht der Spannungsdynamik und der Blindleistungen deuten die Untersuchungen auf die Möglichkeit des asynchronen Anlaufes des Turbosatzes mit Drosselspulen im Sternpunkt des Generators beim entwässerten Raum der Turbine/Pumpe. (Dienstleistung 1).

Während des Anlaufes werden dem Anschlusspunkt vom Pumpenspeicherwerk "Čapljina" (UW "Mostar 4") näher liegende Generatoren mit nomineller Blindleistung belastet. Die Unterstützung des zweiten Turbosatzes in "Capljina" in Erzeugungsschaltung verbessert wesentlich -während des Anlaufs- die Spannungs und Blindleistungsverhältnisse in diesem Teil des Systems,.

Zwei Varianten der Sicherung von Leistung und Energie für die Pumparbeit sind erörtet worden: 1) aus den Dampfkraftwerken des Stromversorgungssystems von Bosnien Herzegovina und 2) aus der Interkonection mit dem UCTE. In dieser 2. Variante sind, laut dem (n-1) Kriterium der Verfügbarkeit und dem Engpasskriterium in einem Teil des adriatischen Übertragungshauptaders im Versorgungssystem Kroatiens, schwierigketen möglich.

Auf Grund der Ergebnisse durchgeführter Berechnungen sind in drei Nächten im März des Jahres 2002 erfolgreiche Versuche des asynchronen Anlaufs und der Pumparbeit mit beiden Sätzen des (=CHE) "Čapljina" in reelen Bedingungen durchgeführt worden.

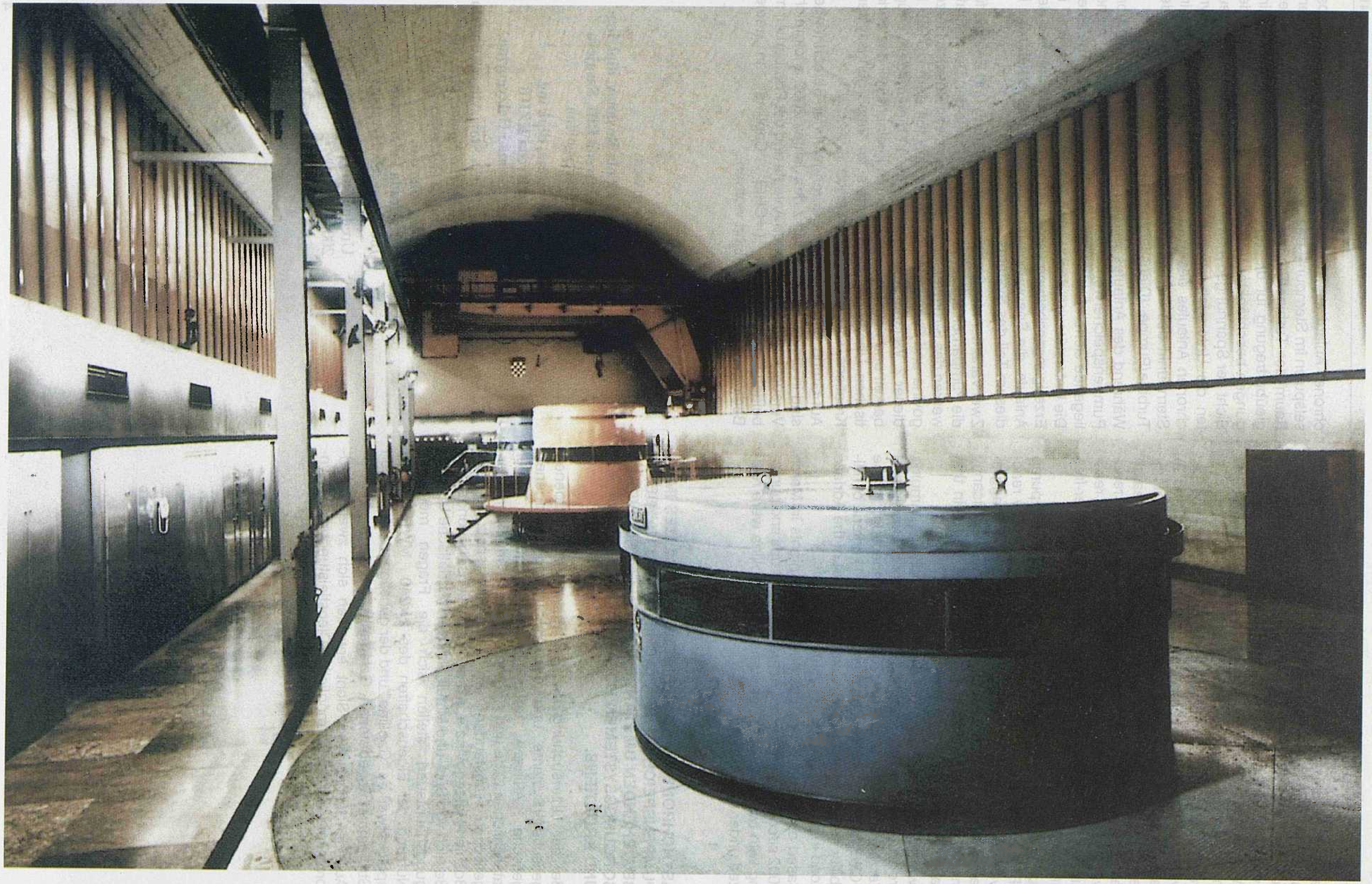
Naslov pisaca:

**Mr. sc. Nikola Rusanov, dipl. ing.**
**Elektroprivreda BiH, Sarajevo**
**Bosna i Hercegovina**

**Srećko Vučina, dipl. ing.**
**Elektroprivreda HZHB**
**Mostar, Bosna i Hercegovina**

**mr. sc. Milan Stojsavljević, dipl. ing.**
**mr. sc. Darko Nemec, dipl. ing.**
**Institut za elektroprivredu**
**i energetiku d.d.**
**Ulica grada Vukovara 37**
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 07 – 09.



# OPRAVDANOST PROŠIRENJA 400 kV MREŽE I PRIMJENA TEHNOLOGIJE KOMPAKTIRANJA

Ivan G r o z d a n i ć, Zagreb

UDK 621.316.1:621.311.1
PREGLEDNI ČLANAK

Koncipiran je pristup proširenja i rekonstrukcije prijenosne mreže, povećanja sigurnosti, povećanja prijenosne moći i smanjenja gubitaka.

Predloženo je idejno i tehnološko rješenje proširenja elektroenergetskog sustava 400 kV i uspostave treće energetske veze sjever – jug s rješenjima za postizanje veće sigurnosti, na prijelazu Velebita i podvelebitskog primorja.

Temeljem objavljenih gubitaka u elektroenergetskoj mreži HEP-a za 2001. godinu 2, su procijenjeni gubici po naponskim razinama i elementima prijenosne mreže. Također su procijenjeni gubici na dalekovodima 220 kV Konjsko – Brinje i 400 kV Konjsko – Meline.

Opisana je i prikazana fizikalna slika tehnologije kompaktiranja, primjena pokretnih konzola u ekstremnim klimatskim uvjetima s mogućnošću povećanja sigurnosti postojećih dalekovoda.

Analizirana je opravdanost primjene tehnologije kompaktiranja, slika 1.

**Ključne riječi:** **sigurnost pogona EES-a, gubici u prijenosu, proširenje i rekonstrukcija prijenosne mreže, djelatni otpor, smanjenje gubitaka u prijenosnoj mreži, pretvorba i udvostručenje kompaktiranjem, pokretna konzola, oblik "bačva" ≡"dvostruka jela".**

## 1. UVOD

Postojeća 400 kV prijenosna mreža Hrvatske ima sljedeće karakteristike:

- jednostruka 400 kV longitudinalna veza ,
- povećana vjerojatnost pojave njihanja snage i gubitka stabilnosti,
- osjetljivost isključenja 400 kV mreže za potrebe redovnog održavanja,
- nedovoljni prijenosni kapacitet 400 kV vodova za potrebe interkonjekcijskog pogona,
- povećani gubici u prijenosu električne energije (istok – zapad),
- izloženost vremenskim nepogodama (sjever – jug).

Budući da Hrvatska raspolaže skromnim zalihama primarnih izvora energije, te uvažavajući karakteristike postojeće 400 kV prijenosne mreže, nužno bi bilo pristupiti pripremi proširenja i rekonstrukcije 400 kV mreže.

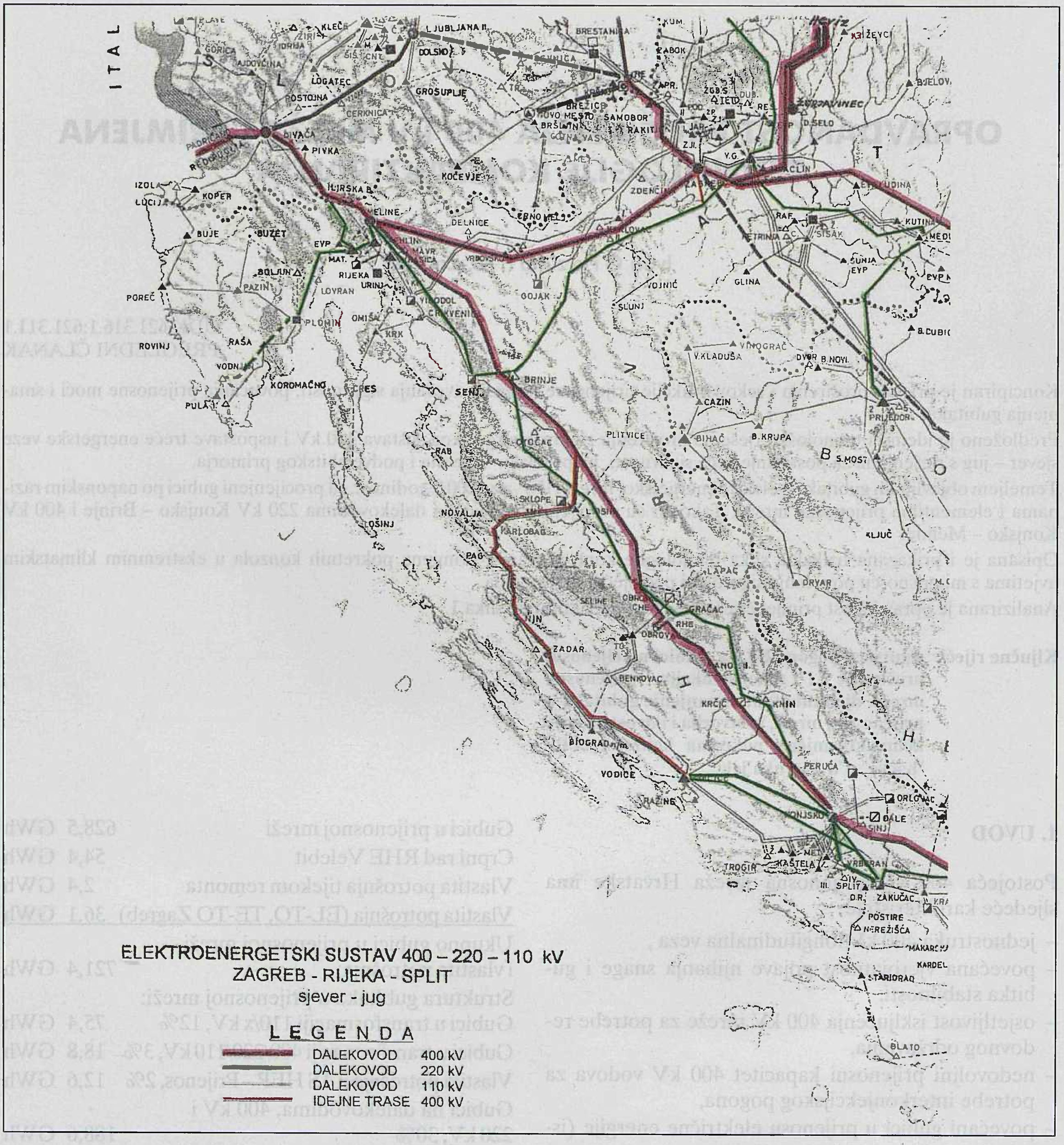
## 2. PROCJENA GUBITAKA U PRIJENOSNOJ MREŽI ZA 2001. GODINU

Temeljem službenih podataka za 2001. godinu i znanstveno obrađenih rješenja tehnologije kompaktiranja 4, 6, procijenjeni su sljedeći gubici:

| | | |
|---|---|---|
| Gubici u prijenosnoj mreži | 628,5 | GWh |
| Crpni rad RHE Velebit | 54,4 | GWh |
| Vlastita potrošnja tijekom remonta | 2,4 | GWh |
| Vlastita potrošnja (EL-TO, TE-TO Zagreb) | 36,1 | GWh |
| Ukupno gubici u prijenosnoj mreži i vlastita potrošnja: | 721,4 | GWh |
| Struktura gubitaka u prijenosnoj mreži: | | |
| Gubici u transformaciji 110/x kV, 12% | 75,4 | GWh |
| Gubici u transformaciji 400/220/110 kV, 3% | 18,8 | GWh |
| Vlastita potrošnja u TS HEP – Prijenos, 2% | 12,6 | GWh |
| Gubici na dalekovodima, 400 kV i 220 kV, 30% | 188,6 | GWh |
| Gubici na dalekovodima 110 kV, 53% | 333,1 | GWh |
| Ukupno gubici u prijenosnoj mreži: | 628,5 | GWh |

Najveći iznos gubitaka na dalekovodima 110 kV upućuje na studijski pristup u traženju rješenja za smanjenje tih gubitaka. Za potrebe povećane sigurnosti pogona i smanjenja gubitaka u 110 kV mreži, potrebno bi bilo udvostručiti najopterećenije 110 kV dalekovode (okruženje Zagreba).

Gubici na dalekovodima sastoje se od prevladavajućeg dijela djelatnih (radnih) gubitaka ovisnih o opterećenju te od manjeg dijela tehnoloških gubitaka, neovisnih o opterećenju (gubici korone, dielektrični gubici i gubici zbog odvodnih struja na izolatorima




**Slika 1.**

dalekovoda). Procjenjuje se da su djelatni gubici od 10 do 20 puta veći od tehnoloških gubitaka.

Poznati su djelatni gubici ($I^2R$) dalekovoda s tipiziranim užetima vodiča pri maksimalnim dopustivim strujama opterećenja, za koje se dalekovodi projektiraju i grade [3].

dalekovodi 110 kV 240/40-Al/Č 605 A, 0,1187 Ω/km 43447 W/km
dalekovodi 220 kV 360/57-Al/Č 780 A, 0,0802 Ω/km 48794 W/km
dalekovodi 400 kV 490/65-Al/Č 951 A, 0,0590 Ω/km 53360 W/km

Povećanjem presjeka vodiča djelatni otpor se smanjuje, na 50% za dva užeta u vodiču i na ≅ 33% za tri užeta u vodiču. Smanjenje gubitaka moguće je tražiti u smanjenju otpora, tj. u projektantskim riješenjima koja omogućuju povećanje presjeka (broja užeta) vodiča i tehnologiji kompaktiranja s pokretnim konzolama, koje povoljnije opterećuju stupove i temelje.

### 2.1. Gubici na DV 400 kV i DV 220 kV sjever – jug i mogućnost smanjenja gubitaka

Uz prosječni iznos iskorištenja dalekovoda 400 kV i 220 kV (sjever – jug) od 15% za 2001. godinu, (400 kV Konjsko – Meline i 220 kV Konjsko – Brinje), dobili bismo ukupne gubitke na tim dalekovodima 28,3

UDK 621.31 ENJAAC 52 (1–6) 1 – 506 ISSN 0013-7448

# energija

ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

Zagreb, prosinac 2003.

# SADRŽAJ ENERGIJE U 2003. GODINI


| | str. | br. |
|---|---|---|
| *Klepo, M.:* Okvir i sadržaj regulacije energetskog sektora kroz organizaciju i rad Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti | 5 | 1 |
| *Banovac, E.:* Prikaz postupka izdavanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti kao temelja regulacije energetskog sektora | 19 | 1 |
| *Kalea, M.:* Tretman gubitaka u naknadi za korištenje prijenosne i distribucijske mreže | 25 | 1 |
| *Wilson, A.:* Finding Business Performance Improvements through Telecommunications Re-engineering | 31 | 1 |
| *Krstulja, B. – Komin, V.:* Model i organizacija službe vođenja distribucijske mreže | 35 | 1 |
| *Sabolić, D.:* O statičkim svojstvima impulsnog šuma na distribucijskoj mreži | 45 | 1 |
| *Šander, M.:* Parna turbina u kombikogeneracijskom postrojenju TE-TO Zagreb | 59 | 1 |
| *Goić, R.:* Moguće opcije razvoja tržišta električne energije u Hrvatskoj | 93 | 2 |
| *Uran, V.:* Određivanje najniže cijene pare za proizvodnju toplinske i električne energije | 105 | 2 |
| *Majstrović, M. – Majstrović, G. – Bajs, D.:* Metode za izbor optimalne veličine i lokacije ugradnje kompenzacijskih uređaja | 115 | 2 |
| *Bajs, D. – Majstrović, M. – Majstrović, G.:* Optimalna veličina i lokacija ugradnje kompenzacijskih uređaja | 127 | 2 |
| *Dvekar, Đ. – Bajić B. – Bacinger, I. – Magdić, D. – Sabolek, J. – Demirović, M.:* Potiskivanje vibracija vratila agregata A HE Dubrava zasnovano na detaljnoj dijagnostici rotora | 141 | 2 |
| *Santica, I.:* Primjeri manjih zahvata u tehničko-izvedbenom dijelu distribucijskog sustava HEP-a koji rezultiraju značajnim materijalnim uštedama | 145 | 2 |
| *Sabolić, D.:* Pregled karakteristika šuma na PLC mediju | 151 | 2 |
| *Mateković, I.:* Procjena rizika od prenapona u električnim instalacijama | 175 | 3 |
| *Skansi, R.:* GIS u javnoj rasvjeti grada Zagreba | 185 | 3 |
| *Majstrović, M. – Sarajčev, P.:* Naponske prilike uzduž samonosivog optičkog kabela ovješenog na stupove visokonaponskog voda | 195 | 3 |
| *Uran, V.:* Određivanje cijene pare i električne energije | 201 | 3 |
| *Božičević Vrhovčak, M. – Jakšić, D. – Kovačević, T.:* Zeleni certifikati: tržišni mehanizam potpore obnovljivim izvorima energije | 207 | 3 |
| *Javornik Vončina, S.:* Prikaz stanja normizacije i regulative vezane uz komuniciranje elektroenergetskim vodovima, PLC – I. dio: Normizacija PLC-a | 213 | 3 |
| *Sabolić, D.:* Utjecaj kvalitete PLC medija na kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila | 251 | 4 |
| *Dvornik, D.:* Razvoj (de)regulacije i preporuke za tranzicijska gospodarstva | 265 | 4 |
| *Šegon, V. – Domac, J.:* Biomasa na današnjem tržištu električne energije: prikaz stanja i mogućnosti | 275 | 4 |
| *Uran, V.:* Suizgaranje sekundarnog goriva s fosilnim gorivima radi proizvodnje toplinske i električne energije | 285 | 4 |
| *Vujević, D.:* Superkondenzatori | 295 | 4 |
| *Mateković, I.:* Primjena uređaja za zaštitu od prenapona u električnim instalacijama | 363 | 5 |
| *Javornik Vončina, S.:* Prikaz stanja normizacije i regulative vezane uz komuniciranje elektroenergetskim vodovima, PLC – II. dio: Regulativa PLC-a | 375 | 5 |
| *Vilenica, E.:* Proračun pokazatelja pouzdanosti tehničkih sustava uporabom Markovljeva procesa | 353 | 5 |
| *Santica, I.:* Deset podmorskih trasa – sto kilometara podmorskog kabela 35 kV – deset godina pogonske eksploatacije podmorskog dijela programa "Jadranski otoci 35 kV" – iskustva i prijedlozi | 313 | 5 |
| *Kolega, V.:* Važnost donošenja standarda energetske učinkovitosti radi povećanja nacionalnih energetskih ušteda | 341 | 5 |
| *Dizdarević, N. – Majstrović, M. – Žutobradić, S.:* Distribuirana proizvodnja električne energije | 321 | 5 |
| *Dizdarević, N. – Majstrović, M. – Žutobradić, S.:* Pogon vjetroelektrana | 445 | 6 |

| | str. | br. |
|---|---|---|
| *Kolega, V.:* Test procedure kao tehnička osnova standarda energetske efikasnosti kućanskih uređaja i uredske opreme ..... | 467 | 6 |
| *Bajić, B.:* Dijagnostika njihanja snage cijevnih agregata HE Dubrava ..... | 459 | 6 |
| *Grozdanić, I.:* Opravdanost proširenja 400 kV mreže i primjena tehnologije kompaktiranja ..... | 419 | 6 |
| *Haznadar, Z. – Berberović, S. – Sokolija, K. – Štih, Ž.:* Kompozitni polimerni izolatori u prijenosu i distribuciji električne energije .... | 429 | 6 |
| *Rusanov, N. – Vučina, S. – Stojsavljević, M. – Nemec, D.:* Asinkroni start agregata CHE Čapljina u stvarnim uvjetima elektroenergetskih sustava Bosne i Hercegovine i Hrvatske ..... | 409 | 6 |



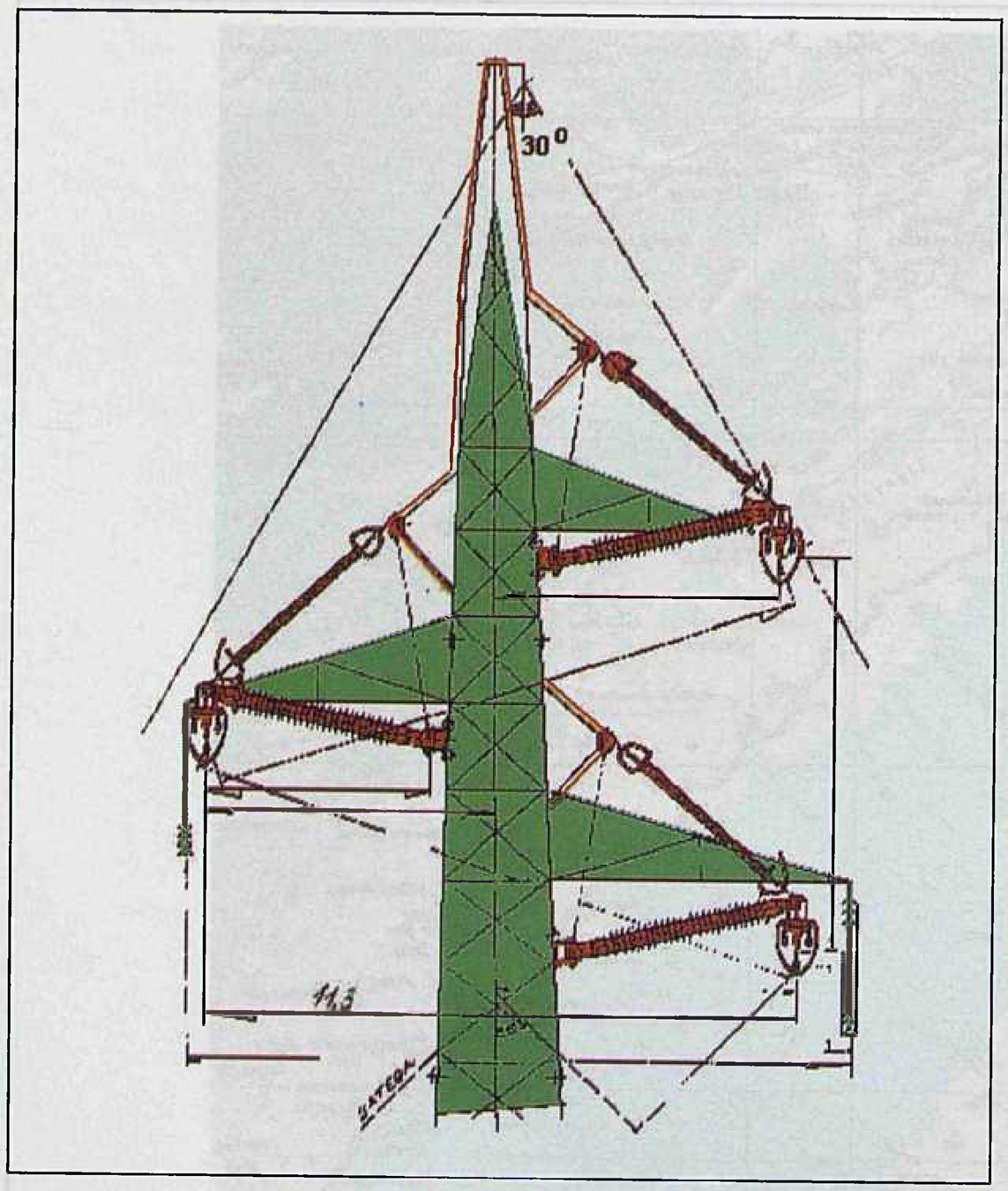

**Slika 1.1.**

GWh. Nepoznati bi bili tehnološki gubici i dio gubitaka kao posljedica starosti vodiča i izolacije, budući da je DV 220 kV stariji od 40 god. i DV 400 kV stariji od 28 godina.

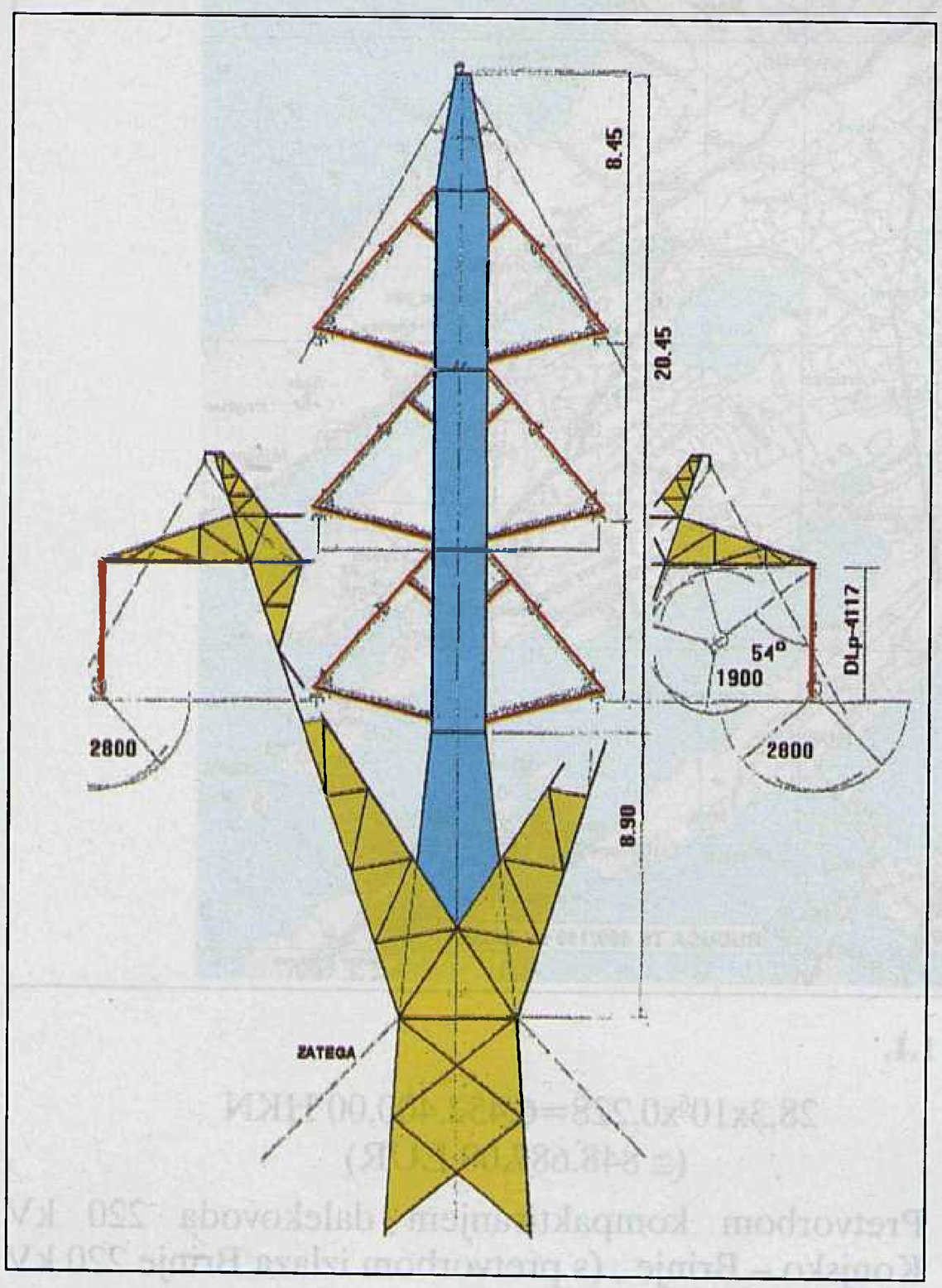
Uz prosječnu cijenu el. energije na mreži prijenosa (1 MWh=30 EUR) za 1MWh= 228 HKN, cijena gubitaka iznosi,

$$28{,}3\text{x}10^6\text{x}0{,}228=6.452.400{,}00 \text{ HKN}$$
$$(\cong 848.687{,}00 \text{ EUR})$$

Pretvorbom kompaktiranjem dalekovoda 220 kV Konjsko – Brinje , (s pretvorbom izlaza Brinje 220 kV 3,83 km izvan funkcije) u dalekovod 400 kV, slika 2 i udvostručenjem dionice dalekovoda 400 kV Brinje – Meline, 59,4 km, slika 3, imali bismo na dionici




**Slika 2. Postojeći dalekovod 220 kV Konjsko – Brinje – Mraclin pretvorba kompaktiranjem u dalekovod 400 kV rješenje na nosivom stupu**




**Slika 3. Postojeći dalekovod 400 kV na stupu oblika Y pretvorba kompaktiranjem u dalekovod 2x400 kV rješenje na nosivom stupu**

Konjsko – Meline dvostruki dalekovod 400 kV. Za dvostruki dalekovod djelatni gubici u skladu sa smanjenjem djelatnog otpora, smanjili bi se ispod 50 %.

Zamjenom užeta (vodiča) pri pretvorbi dalekovoda 220 kV i novim užetima na sustavu udvostručenog dalekovoda Brinje – Meline, djelatni otpor bi bio još manji.

Ako bi se umjesto 2 užeta po vodiču, 490/65-Al/Č, prema prijedlogu u idejnom rješenju pretvorbe kompaktiranjem dalekovoda 220 kV Konjsko – Brinje – Mraclin u dalekovod 400 kV, sječanj 2001 5, upotrijebila tri tanja užeta (340/50-Al/Č) po vodiču, postigla bi se optimalna rješenja. Radni otpor smanjio bi se na 33% otpora jednoga užeta, a induktivni otpor bi se smanjio za 17%. Gubici korone bi bili minimalni. Termička prijenosna snaga bi porasla 255 MVA. Prema obavijesti proizvođača užeta bi bila proizvedena u skladu sa standardom DIN 48204. Masa, odnosno cijena vodiča 3 užeta porasla bi 9% u odnosu na masu vodiča 2 užeta 490/65-Al/Č.

Kompaktiranjem (smanjenjem geometrije) induktivni otpor bi se također smanjio, što bi uz smanjenje induktivnog otpora s tri užeta u vodiču, povećalo prirodnu snagu i pridonosilo smanjenju radnih i tehnoloških gubitaka.

Procijenjena ušteda u gubicima bi iznosila 500.000,00 EUR na godinu.

Za zaključiti je da bi kompaktiranje vodova bilo tehnički i ekonomski opravdano.

Prema raspoloživim podacima o opterećenju i iskorištenju 400 kV mreže, opravdanim i prioritetnim bi se pokazalo i udvostručenje DV 400 kV Tumbri – Meline.

## 3. KONCEPT PROŠIRENJA PRIJENOSNE MREŽE

### 3.1. Smanjenje gubitaka u prijenosnoj mreži

Opravdano bi bilo na interkonjekcijama uspostaviti paralelne veze pretvorbom kompaktiranjem dalekovoda 220 kV u 400 kV i udvostručenjem dalekovoda 400 kV. Optimalna rješenja bi se postizala na pravcima sjever – jug i istok – zapad.

Bilo bi opravdano i udvostručenje postojećih dalekovoda 110 kV, višeg stupnja opterećenja (iskorištenja), postupna pretvorba dalekovoda 35 kV u dalekovode 110 kV (prioritetno s ulogom u prijenosu) kao i rekonstrukcija zastarjelih vodova 10 kV i distributivnih mreža s prekoračenjem dopustivog pada napona do potrošača ( 10 % ).

Za dio ukupnih gubitaka u postojećoj distributivnoj mreži koje nije moguće tehnički objasniti, predpostavlja se da je otuđena energija.

Primjena tehnologije kompaktiranja i rekonstrukcija dalekovoda, zastarjelih distributivnih vodova i mreža, zajedno s rješavanjem otuđivanja energije, rezultirali bi značajnim smanjenjem ukupnih gubitaka.

Prema službenom izvješću gubici u 2001. godini iznosili su:

| | |
|---|---|
| gubici dalekovoda, 110, 220 i 400 kV | 521,7 GWh |
| gubici u distribuciji (ukupno), | 1833 GWh |
| Zajedno, | 2354,7 GWh |
| Troškovi gubitaka na prijenos. mreži, 1 kWh=0,228 HKN, | 118.947.600,00 HKN |
| Troškovi gubitaka na distribu. mreži, 1 kWh=0,28 HKN, | 513.240.000,00 HKN |
| Troškovi gubitaka, ukupno, | 632.187.600,00 HKN |
| Za 1 EUR=7, 6028 HKN ukupni gubici bi iznosili, | 83.151.944,00 EUR |

Potrebna bi bila studijska obrada i planiranje rješenja, kako bi obnova elektroprijenosne mreže prerasla u održivi razvoj s primjenom rješenja zaštite okoliša.

**Lokacija dalekovoda na terenu i tehnologija kompaktiranja omogućili bi produžetak pretvorenog dalekovoda 220 kV Konjsko – Brinje, udvostručenjem dionice DV 400 kV Brinje – Meline**. Uspostavila bi se dvostruka veza Konjsko-Meline, koja bi (bez prve faze rekonstrukcije 400/220 kV RP Brinje) ojačala južni krak i smanjila gubitke za 500.000,00 EUR na godinu! Paralelna veza Konjsko – Meline bi mogla potrajati do pretvorbe DV 220 kV u 400 kV i rekonstrukcije RP Brinje u TS 400/110 kV.

Porastom opterećenja obnovljene mreže, ušteda u gubicima bi kontinuirano rasla i na kraju obnove elektroprijenosne i distributivne mreže, godišnji gubici bi se (realno) smanjili za 1/3 iznosa ukupnih gubitaka.

Primjenom tehnologije kompaktiranja bi se postizala optimalna ekonomska, sigurnosna, ekološka (zaštite prirode), energetska, estetska i elektromagnetska rješenja.

Primjer ekološkog rješenja; na više od 50% širine koridora postojećih dalekovoda, koji bi se kompaktiranjem udvostručili, alternativa "bačva" "dvostruka jela" (slika 3.), mogla bi se obnoviti vegetacija, šuma bi mogla ponovo rasti!

Za dogradnju i obnovu dalekovoda prijenosne mreže u završnoj fazi razvoja nalaze se najmodernija rješenja prijenosa električne energije, **tehnologija kompaktiranja**. Primjena tehnologije bila bi perspektivna 1 i u skladu s važećom regulativom u našoj zemlji i Europskoj uniji.

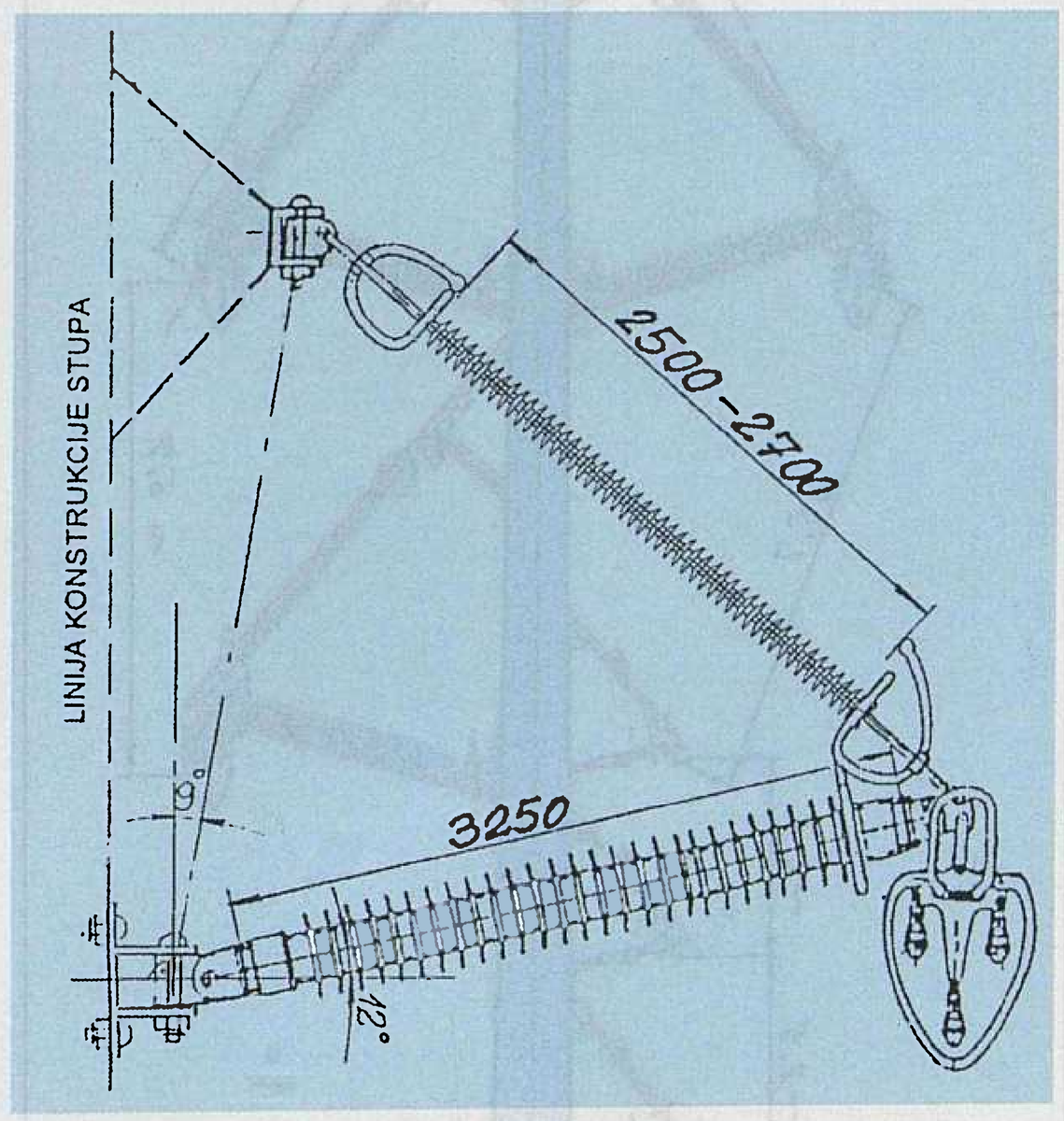
Provodila bi se dugoročna strategija održivog razvoja i zaštite okoliša.

### 3.2. Tranzit energije

Osim uštede u gubicima, na dalekovodima preko kojih bi se prenosila energija elektroenergetskog tržišta Europske unije, ostvarivala bi se i značajna dobit zbog mogućnosti povećanja tranzita električne energije. Najpovoljniji ekonomski učinak postigao bi se izvedbom paralelnih veza, dva ili više dalekovoda. Na interkonjekcijama bi bilo nužno postići standardnu prijenosnu snagu u Europskoj uniji, 1000 MW.

### 3.3. Proširenje 400 kV mreže

Prekid elektroenergetskog sustava, koji se sredinom siječnja o.g. dogodio zbog havarije na prijelazu dalekovoda preko Velebita kao i prekid opskrbe Dalmacije početkom svibnja, dodatni su razlozi da se navede prijedlog, koji također upućuje na bitno povećanje sigurnosti i smanjenje gubitaka.




**Slika 4. Izolacijska pokretna konzola 400 kV**

Za očekivano uključenje Zadra i Šibenika u 400 kV mrežu korisno bi bilo razmotriti i ideju "otočne veze" 400 kV.

Od Zadra do Šibenika mogla bi se koristiti trasa (koridor) postojećeg dalekovoda 110 kV preko Biograda. Na uskom osjetljivom području bila bi to najkraća veza. Ne bi se zauzimao novi koridor, a mogla bi se postići i propisna udaljenost od poletno slijetne piste aerodroma Zadar.

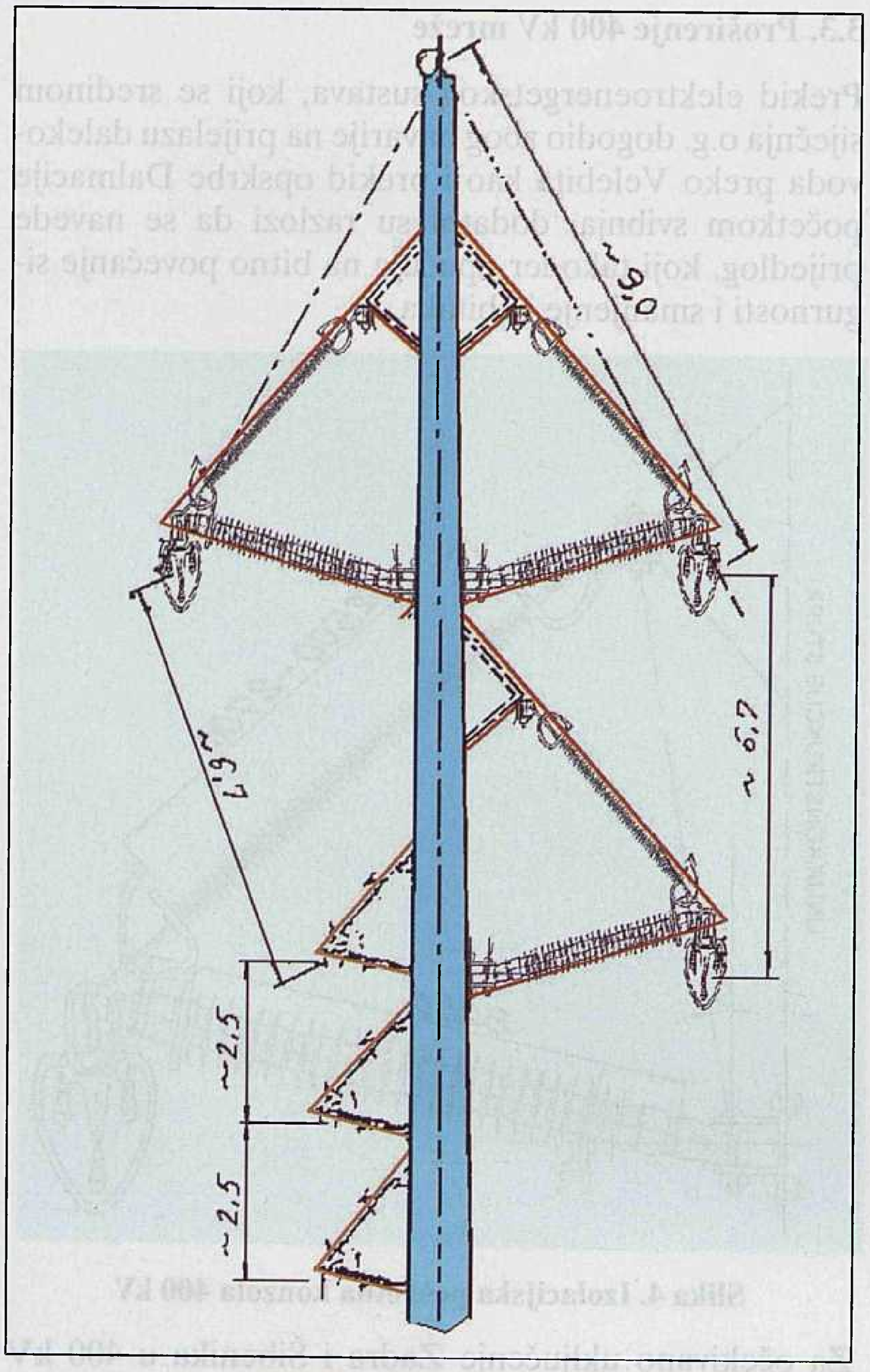
Koridorom 110 kV Zadar-Bilice bi se mogao na istim stupovima, izgraditi jednosistemski (ili dvosistemski) kompaktirani dalekovod 400 kV i nadomjestiti 55 godina star dalekovod 110 kV, slika 5.

Od Šibenika do Splita postojeći dalekovod 2x220 kV Bilice – Konjsko, dalo bi se pretvoriti (optimalno s najvećim porastom prijenosne snage) u dvosistemski dalekovod 400 kV, slika 6. Moguća bi bila i pretvorba u jednosistemski dalekovod 400 kV.

#### 3.3.1. *"Otočna veza" 400 kV*

Za razmotriti je "otočna veza" od Privlačkog gaza do Karlobaga, slika 1.1 [8] !

Od Karlobaga do Brinja neizbježan bi bio prijelaz Velebita. Postojeći dalekovod 110 kV Karlobag – Lički Osik pokazao se sigurnim.



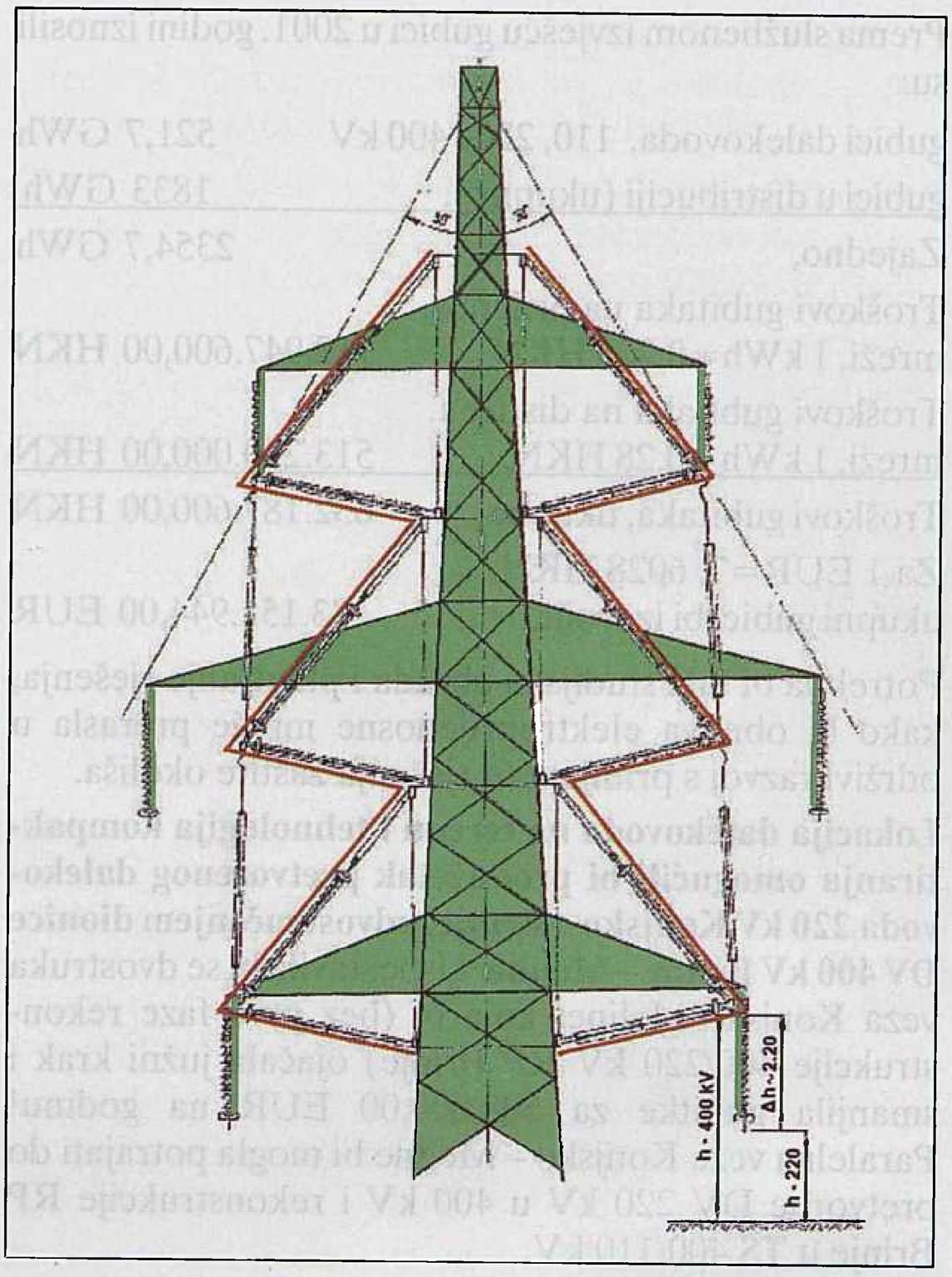

**Slika 5. Glava nosivog stupa kompaktiranog dalekovoda za dva napona i sistema 400 kV i 110 kV**

Udaljenost novoga prijelaza Velebita od postojećih dalekovoda preko Velebita, 60 km DV 400 kV, Prezid i 75 km DV 220 kV, dolina Zrmanje, i primjena pokretnih konzola, povoljno bi se odrazilo na sigurnost. Pokretna konzola bi znatno teže pretrpjela havariju, dok ekstremna vremenska nepogoda najčešće nastupa na užoj lokaciji. Na potezu Zadar – Karlobag – Brinje postigla bi se trasa 140 km, koja bi bila kraća od trase prijelaza Velebita preko Prezida, 37km. Uz to trasu preko Prezida teže bi se realiziralo zbog postojećih dalekovoda 400 kV i 110 kV.

Na "otočnom" nadzemnom dijelu imali bismo raspon, 2650 m, preko Velebitskog Kanala, slika 7. Dva raspona po 1500 m, Kanal Povljana (slika 8) i Paški zaljev. Jedan raspon 900 m, Paška Vrata i dva raspona 600 m i 550 m, Privlački gaz.

Interesantna bi bila kabelska veza prema slici 1.1, Karlobag – Paški zaljev. Otpao bi najveći i još dva, nepovoljno locirana raspona iznad mora. Kabelski vod bi se bolje uklopio u prostor. Postiglo bi se najsigurnije rješenje i 0,7 km kraći vod.

Na dijelu otoka Paga *FURNAŽA*, nužan bi bio prokop i izvedba odgovarajućeg kanala, između uvale Slana i




**Slika 6. Postojeći dalekovod 2x220 kV pretvorba kompaktiranjem u 2x400 kV idejno rješenje na nosivom stupu**

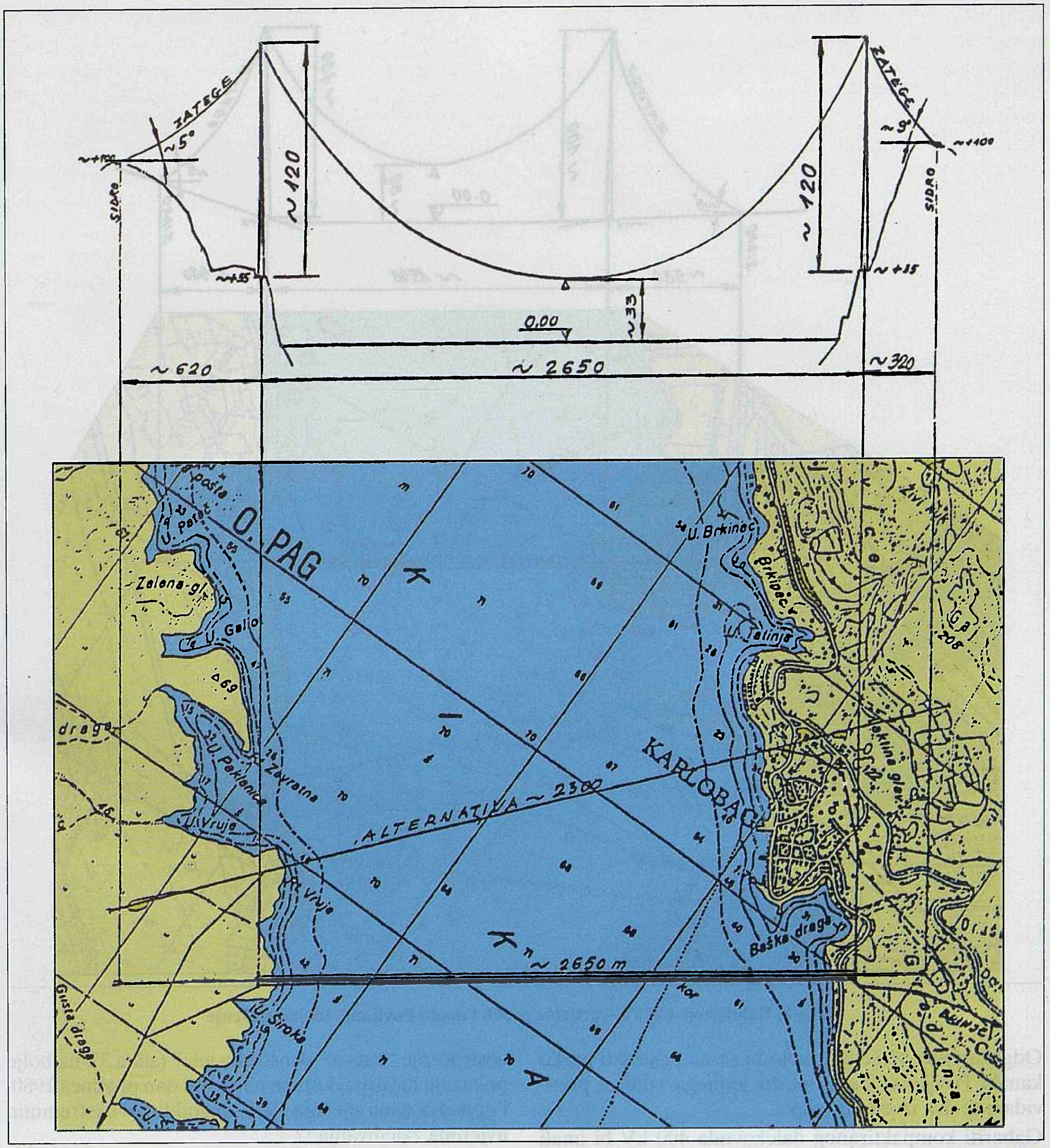
uvale G. Slana. Rekognosciranjem je potvđen prirodni fenomen, udolina povoljna za prokop kanala dužine 500 m. Između dvije zaštićene pješčane uvale, idealno je locirana udolina s ostatcima puta i kamenih objekata (solana?). U ranijem razdoblju evidentno aktivno korištena. Udaljena 3,5 km i s mora jedino pristupačna, od konsultiranih građana Metajne je brzo prepoznata!

Izvediva bi bila: sigurna trasa s odgovarajućim gabaritima kanala, priobalna zaštita, zaštita kabela od mehaničkog oštećenja uzduž kanala i rješenja za efikasno hlađenje kabela; širina kanala, dubina vode i materijal na dnu kanala.

Lokacije prijelaza kabelskog u nadzemni vod bile bi dovoljno udaljene od gradova, Karlobaga (0,6 km) i Paga (2,0 km). Kabelski vod i postrojenja prijelaza u nadzemni vod, bila bi sigurna urbanistički prihvatljiva rješenja, koja bi neuporedivo bolje odolijevala klimatskim uvjetima (zagađenju od posolice).

Ako bi se primijenio kabelski vod, za izvedbu iznad mora preostali bi povoljnije locirani rasponi, kanal Povljana (1500 m, slika 8) i Privlački gaz, (600 m i 550 m) .

U pogledu dielektrične i mehaničke sigurnosti, optimalno rješenje bi se postiglo izvedbom kabelskog voda i kompaktiranog dalekovoda s pokretnim konzolama na prijelazu Velebita, udolinom preko Baških Oštarija.

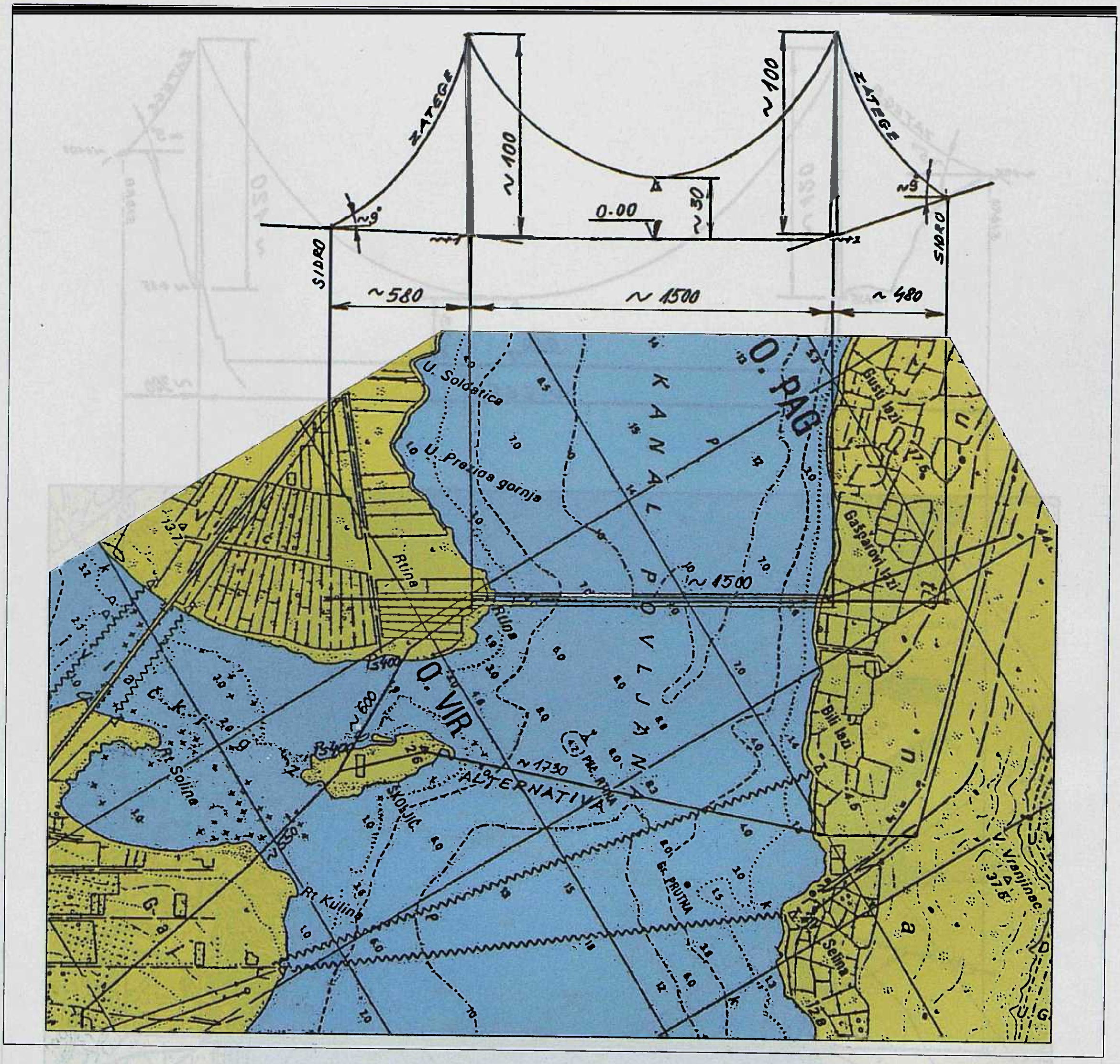



**Slika 7. Dalekovod 400 kV – prijelaz preko Velebitskog kanala, idejno rješenje**

Za izvedbu klasičnog dalekovoda 400 kV, udolinom preko Baških Oštarija, veoma teško bi se postiglo (prihvatilo) rješenje.

Propisna rješenja mehaničkog dimenzioniranja kompaktiranog dalekovoda, predviđaju dimenzioniranje vodiča i izolacije na uvjete zaleđivanja s djelovanjem reduciranog, projektnim zadatkom predviđenog tlaka vjetra. Statička kontrola stupova i temelja bi se provodila za te uvjete. Po želji (potrebi) moglo bi se primijeniti istovremeno djelovanje vjetra i zaleđenje svih elemenata dalekovoda.

Izvedbom kabelskog voda, smanjila bi se zona vrlo velike (ekstremne !) zagađenosti izolacije od posolice! Na preostalom nadzemnom "otočnom" dijelu, 25 km, iz sigurnosnih razloga, povoljnijeg održavanja, kao i zbog jeftinije izvedbe kvalitetnije (duže) strujne staze silikonske štapne izolacije, preporučuje se primijeniti vrlo veliku zagađenost, 31 mm/kV (50 mm/kV !?). Najkvalitetnija dielektrična i mehanička rješenja, bi se postizala primjenom štapne (silikonske) izolacije, konzolne složene (pokretna konzola) i zatezne za uobičajene i vrlo velike sile vlačnog naprezanja vodiča.




**Slika 8. Dalekovod 400 kV – prijelaz preko kanala Povljana, idejno rješenje**

Odgovarajuće rješenje izvelo bi se na prijelazu preko kanala Povljana. Za montažu jednoga vodiča, predviđaju se dva izvedena stupa.

Gabariti kompaktiranog dalekovoda 400 kV bi imali podjednaku visinu i bili uži (!) od klasičnog dalekovoda 220 kV. Poprečno njihanje vodiča zbog djelovanja vjetra bi se u najvećoj mjeri reduciralo, pretvaralo u (kontrolirano) uzdužno gibanje !

3.3.2. *Lička dionica 400 kV*

Lička dionica nove interkonjekcije od prijelaza Velebita i uklapanja u dalekovod 400 kV do Meline (Brinja), mogla bi se izvesti udvostručenjem postojećeg dalekovoda 400 kV, (pretvorbom postojećeg ulaza Brinje 220 kV izvan funkcije u 400 kV, slika 2). Do kakve bi promjene u pogledu sigurnosti dovelo udvostručenje "bačva""dvostruka jela" (slika 3), najbolje pokazuje havarija, koja se na zadnji dan prosinca 1980. i prva dva dana siječnja 1981. dogodila pri ekstremnim uvjetima zaleđivanja !?

U podjednakim klimatskim prilikama (paralelne trase) na dionici Brinje – Velebit, srušilo se 80 stupova dalekovoda 400 kV oblika "Y". Na dalekovodu 220 kV sa stupovima oblika "jela" nije pao niti jedan stup. Dogodilo se savijanje nekoliko konzola nosivih stupova. Oblik "jela""dvostruka jela" očito više odgovara klimatskim uvjetima od oblika "Y", što je zamjetno i na prirodnom okolišu Ličke dionice.

Za otežane klimatske uvjete, preporučuje se primjena pokretnih konzola. Pokretna konzola smatra se (idealnim!) mnogo sigurnijim rješenjem (za velike vertikalne sile i oštrije klimatske uvjete !) od klasične krute konzole s nepomičnim hvatištima.

## 4. "POKRETNA KONZOLA"

Preporučuje se usvajanje pojma **"pokretna konzola"**. U tehnologiji kompaktirane gradnje dalekovoda pod ovim pojmom podrazumijeva se složena pokretna izolacijska konzola, koja omogućuje optimalna rješenja na dalekovodima visokog napona.

Pokretna konzolna izolacija povoljnije bi prenosila opterećenja na konstrukciju nosivih stupova. Eliminirao bi se diferencijalni vlak, bitno smanjilo torziono opterećenje, a zbog sniženja hvatišta, smanjilo bi se i savijanje stupa. Navedenim opterećenjima vodiči klasično izvedenog dalekovoda u eksploataciji, a naročito u ekstremnim klimatskim uvjetima (zaleđenje i istovremeno djelovanje vjetra !), bi opterećivali stupove dalekovoda. Eliminacija diferencijalnog vlaka, bitno smanjenje torzionog opterećenja i smanjenje savijanja, u velikoj mjeri bi pridonosili sigurnosti stupova kompaktiranog dalekovoda. Prema iskustvu, diferencijalni vlak i torziono opterećenje najčešći su razlozi rušenja nosivih (90%) stupova klasičnih dalekovoda. Kod kompaktiranog dalekovoda u ekstremnim klimatskim uvjetima, pokretna konzolna izolacija bi se nesmatano zakretala u smjeru vodiča na stranu s većom (diferencijalnom) zateznom silom. Ne bi dolazilo do nepredviđenog jednostranog vlačnog opterećenja, koje bi u ekstremnim uvjetima kod klasičnih dalekovoda dovodilo do loma (krutih) konzola ili pucanja užeta-vodiča. Ako ne bi dolazilo do lomova konzola ili pucanja vodiča ne bi se pojavljivalo ni torziono opterećenje (u ekstremnim uvjetima), za koje se stup ne kontrolira osim u iznimnim projektima. Opterećeni (nosivi) stup s pokretnim konzolama bolje bi amortizirao ekstremno opterećenje, što bi pridonosilo sigurnosti, tj. teže bi se dogodila havarija ! Složena konzolna izolacija, gornji nosivi-zatezni štapni izolator i donji podporni-tlačni štapni izolator, korektno projektirani, ne bi imali druga opterećenja. Izolacijske pokretne konzole, podložne nesmetanom uzdužnom (linearnom kontroliranom) gibanju užeta vodiča, eliminirale bi djelovanje diferencijalnog vlaka. Montirana užeta vodiča s kratkim ovjesištima na vrhovima pokretnih konzola, povezana međufaznim rastojnicima na trećinama raspona dalekovoda, ne bi se mogla poprečno njihati. Tlak vjetra na kompaktirana užeta, rezultirao bi horizontalnim pomakom užeta u smjeru voda na jednu ili drugu stranu. Ukupni učinak bila bi redukcija poprečnog njihanja i eliminacija rezultanti djelujućih sila, koje bi kod kruto ovješenih izolatorskih lanaca, podložnih poprečnom njihanju i ograničenom nelinearnom gibanju (čvrstoća materijala konzola i užeta), dovodile do pucanja konzola (užeta). Pokretne konzole bi predstavljale znatno sigurnija rješenja na nosivim stupovima dalekovoda !

Kod rušenja jednoga stupa pri ekstremnim klimatskim uvjetima, klasični dalekovod bi na tome dijelu voda, s većim izgledima pretrpio domino efekt, rušenje više stupova.

Na vodu 220 kV Konjsko – Brinje na prijelazu Velebita 12. 01. 03. srušilo se sedam stupova. Pokretna konzolna izolacija kao osnovno rješenje (u trendu) tehnologije kompaktiranja, tlak vjetra bi pretvarala u uzdužno (kontrolirano) linearno gibanje, praćeno iskrivljenjem vodiča, horizontalnim odstupanjem lančanice od vertikalne ravnine kroz ovjesišta vodiča. Čuvala bi se prirodna širina objekta.

Evidentno bi bilo potrebno usvojiti pojam "pokretna konzola", slika 4. i dopuniti ELEKTROENERGETIČKI POJMOVNIK 7.

Primjenom pokretnih konzola povoljnije bi se opterećivali (postojeći) stupovi i temelji. Zbog predviđenih (nužnih) izmjena u vodičima (promjene broja užeta !), stupovi i temelji bi se (po potrebi) dodatno pojačali (stabilizirali).

Bez primjene tehnologije kompaktiranja i pokretnih izolacijskih konzola, pretvorba dalekovoda nižega napona u dalekovode višega napona i udvostručenje postojećih dalekovoda ne bi bili mogući.

Ugovor za primjenu tehnologije kompaktiranja s ciljem, pretvorbe (udvostručenja) dalekovoda (400 kV!), za izvedbu prve dionice, trebao bi računati s dužim vremenom (2,5 godine), s time da bi tipsko ispitivanje moralo prethoditi projektiranju.

Za izvedbu kompaktiranog dalekovoda 110 kV, tipsko ispitivanje bi bilo moguće izvesti u fazi projektiranja, prije ishođenja graditeljske dozvole.

Sve poslove dalo bi se obavljati angažiranjem: domaće pameti 4, 5, 6, domaće industrije i domaće operative.

## 5. ZAKLJUČAK

Obrađena je preliminarna slika južnog kraka prijenosne mreže s naznakom problema koji traže zahvate na mreži.

Prema postojećem Master planu 9 ne predviđa se izgradnja termoelektrane južno od Rijeke, što upućuje na nužnost druge 400 kV veze sjever – jug.

Interkonjekcijske vodove 220 kV i 400 kV kompaktiranjem bi bilo moguće pretvoriti u 400 kV i 2x400 kV, čime bi se uz doradu postrojenja (aneksi 400 kV), ostvarila odgovarajuća pojačanja mreže 400 kV i pojačanje dielektrične i mehaničke sigurnosti na pravcima, sjever – jug Zagreb – Split – Dubrovnik (Mostar) i istok – zapad (Osijek – Zagreb – Rijeka – Istra).

Mreža 220 kV bi se postupno pretvarala u mrežu 400 kV ,110 kV.

Provodila bi se strategija zaštite okoliša i održivi razvoj prijenosne mreže.

Pretvorba postojećih i izgradnja nužnih nadzemnih i podmorskih energetskih veza, mogla bi rezultirati spajanjem s mrežama susjednih zemalja, 2 x 400 kV.

Predloženim konceptom bi se reducirali gubici u prijenosnoj mreži hrvatskog EES-a.

Uskladilo bi se tehničko rješenje s elektroenergetskom mrežom Europske unije.

Starost dalekovoda također upućuje na nužnost rekonstrukcije prijenosnih objekata.

Koncipirana je druga 400 kV veza sjever – jug s proširenjem mreže 400 kV na Zadar i Šibenik.

Za sigurniji prijelaz Velebita predviđa se izvedba kompaktiranog dalekovoda 400 kV udolinom preko Baških Oštarija s "otočnom" vezom 400 kV i (preferencijalno) podmorskim kabelom Karlobag–Pag (Paški zaljev).

Povećanje sigurnosti i ekonomičnosti hrvatskog EES-a ovisi o brzini realizacije predloženih rješenja rekonstrukcije i proširenja prijenosne mreže.

## LITERATURA


[1] Okrugli stol *HED* Hrvatsko energetsko društvo CIGRE, Hrvatski komitet Studijski komitet 37, Zagreb 25. lipnja 1996.

[2] Energija br. 5, listopad 2002. "Iz godišnjeg izvješća HEP-a za 2001. godinu".

[3] Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske,Tipizacija dalekovoda 110 kV u Hrvatskoj, 12.1986.

[4] I. UGLEŠIĆ, T. FANCEV, D. GRGIĆ: "Provjera osnovnih električnih i mehaničkih parametara i svojstava odabranih glava pri pretvorbi DV 220 kV Konjsko – Brinje – Mraclin u DV 400 kV", Enconet Int. d.o.o, ST-DAL-001/00-OPP-IP1, Zagreb, 2000.

[5] I. GROZDANIĆ, Đ. RADUKA, "Dalekovod 220 kV Konjsko – Brinje – Mraclin, pretvorba kompaktiranjem u dalekovod 400 kV, idejno rješenje, Dalekovod d.d, HEP Direkcija za prijenos, Zagreb, 2001.

[6] I. UGLEŠIĆ, T. FANCEV, D. GRGIĆ, I. GROZDANIĆ: "Provjera osnovnih električnih i mehaničkih svojstava kompaktiranih glava dalekovodnih stupova", v savjetovanje HK CIGRE 4-8. 11. Cavtat, 2001.

[7] J. MOSER, Elektroenergetički pojmovnik - Inačica, 1997. Zagreb,

[8] Topografski zemljovid 1:100000, Veliki atlas hrvatske – Mozaik knjiga, Zagreb, 2002.

[9] Potrebna izgradnja novih elektroenergetskih objekata i postrojenja u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2001. do 2020. godine (Master plan), Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb rujan 2001.


## JUSTIFICATION OF 400 kV NETWORK SPREADING AND APPLICATION OF COMPACTING TECHNOLOGY


The concept of transmission network reconstruction is evaluated, as well as security increase, transmission capacity increase and loss decrease. Conceptual and technological solution for 400 kV electric power system spreading is proposed as well as the third energy connection north-south with solutions to increase security, by passing Velebit and belonging coastal area.

Based on HEP's published data on losses in the electric power system for 2001 the evaluation of losses by voltage level and transmission network elements has been done. Also the losses on 220 kV Konjsko-Brinje transmission lines and 400 kV Konjsko-Meline are evaluated.

The physical part of the compacting technology is described as well as the application of flexible consoles in extreme climatic circumstances with a possibility to increase the security of existing transmission lines.

Justification of compacting technology is analyzed.


## BERECHTIGUNG DER ERWEITERUNG DES 400 kV NETZES UND DER GEDRUNGENER BAUWEISE SEINER ANLAGEN


Ein Umbau des Übertragungsnetzes, zwecks Steigerung seiner Sicherheit, seiner Übertragugsleistung, und der Einschränkung seiner Verluste ist vorentworfen worden. Vogeschlagen werden grundlegende technische Lösungen der Erweiterung des 400 kV Ubertragungssystems und die Errichtung der dritten energetischen Nord-Süd Verbindung mit Lösungen, die eine grössere Sicherheit bei der Bewältigung des Bergmassives Velebit und des Küstengebietes an seinem Fuße, erzielen.

Auf Grund der für das Jahr 2001 bekanntgemachten Verluste im Netz der kroatischen Elektrizitätswirtschaft, wurden Verluste je Spannungsebene und je Anlage des Übertragungssystems abgeschätzt. Ebenso abgeschätzt wurden Verluste der 220 kV Leitung Konjsko-Brinje und der 400 kV Leitung Konjsko-Meline.

Beschrieben und dargestellt sind das physikalische Bild der gedrungenen Bauweise, die Anwendung beweglicher Konsolen in äussersten Witterungsverhältnissen mit der Möglichkeit der Sicherheitssteigerung bestehender Fernleitungen.

Untersucht wurde die Berechtigung der Anwendung gedrungener Bauweise.



Naslov pisca:

**Ivan Grozdanić, dipl. ing.**
**Elektroprojekt d.d.**
**Alexandera von Humboldta 4**
**10000 Zagreb, Hrvatska**



Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 02 – 12.

# KOMPOZITNI POLIMERNI IZOLATORI U PRIJENOSU I DISTRIBUCIJI ELEKTRIČNE ENERGIJE

Prof. dr. sc. Zijad H a z n a d a r, Zagreb – prof. dr. sc. Kemo S o k o l i j a, Sarajevo – prof. dr. sc. Sead B e r b e r o v i ć – prof. dr. sc. Željko Š t i h, Zagreb

UDK 621.315/316:621.315.62
PREGLEDNI ČLANAK

Prikazana je kratka povijest razvoja kompozitnih izolatora. Načinjen je pregled prednosti i nedostataka konvencionalnih izolatora (stakleni i porculanski) i kompozitnih polimernih izolatora. Nakon toga, prikazana je analiza i usporedba konvencionalnih i kompozitnih polimernih izolatora glede njihovih mehaničkih i električkih karakteristika, ponašanja u otežanim uvjetima rada, te ekonomska usporedba na temelju podataka objavljenih u svjetskoj literaturi. Na kraju su diskutirana i neka, još uvijek, otvorena pitanja vezana za primjenu kompozitnih polimernih izolatora u prijenosu i distribuciji električne energije.

**Ključne riječi: konvencionalni izolatori, kompozitni polimerni izolatori, izolatori od silikonske gume, starenje.**

## 1. UVOD

Visokonaponski izolatori vanjske montaže izrađeni od porculana i stakla (jednim imenom nazvani konvencionalni izolatori) imaju iza sebe povijest koja traje više od jednog stoljeća, dok se povijest kompozitnih polimernih izolatora svodi na proteklih tridesetak godina. Prva generacija polimernih izolatora (monolitni epoksid, odnosno prve varijante danas već klasične konstrukcije izolatora s fiberglasnom jezgrom prekrivene polimernim kućištem) nije pružila očekivani životni vijek u eksploataciji. Premda su se iduće generacije ovih izolatora dokazale u vremenu što je skoro jednako vremenu prihvatljivom za konvencionalne izolatore – trideset godina – mnogi su korisnici visokonaponske opreme i danas skeptični glede dugoročnih osobina polimernih izolacijskih materijala. Tu su također i drugi razlozi pa veliki broj korisnika, posebice u Europi, nastavlja s korištenjem konvencionalnih izolatora: povjerenje u proizvod temeljen na povijesnom iskustvu, mogućnost da se na tržištu nabave konvencionalni izolatori dobre kakvoće, konkurentnost glede vremena isporuke i cijene. Pored toga tu su i drugi ne manje bitni razlozi:

- Postoje internacionalni i nacionalni standardi i vlastite tehničke specifikacije kod većine korisnika.
- Nije bilo radikalnih ni čestih promjena u materijalu, dizajnu pričvršćivanja metalnih armatura, kao ni u procesu proizvodnje.
- Zbog visoke razine međunarodne standardizacije konvencionalnih izolatora, kod zamjene oštećenih jedinica mogu se koristiti proizvodi drugih proizvođača.
- Relativno jednostavna identifikacija defektnih jedinica.

Od vremena kad su uvedeni (sedamdesetih godina prošlog stoljeća) kompozitni polimerni izolatori znatno su napredovali, kako glede korištenih materijala, dizajna, procesa proizvodnje, tako i glede njihove pouzdanosti. Cijena kompozitnih polimernih izolatora je pala, a s kraćim rokovima isporuke oni su postali konkurentni konvencionalnim izolatorima. Danas su, u prvom redu zbog smanjenja težine izolatora, dalekovodi na kojima su instalirani kompozitni polimerni izolatori, posebice dalekovodi viših napona, jeftiniji od onih čije vodiče nose konvencionalni izolatori. Veliki broj korisnika, proizvođača, industrijskih asocijacija, istraživačkih instituta i sveučilišta aktivno je uključeno u istraživanje i razvoj testova starenja polimernih kompozitnih izolatora, kako bi se ustvrdila korelacija između starenja u laboratoriju i ponašanja u realnim pogonskim uvjetima.

Problem ostaje u činjenici što proizvođači nastavljaju sa stalnim promjenama dizajna, kompozicije materijala, načina pričvršćivanja armatura kao i samog procesa proizvodnje. To je razlogom pa neki korisnici još uvijek nisu posve spremni prijeći na kompozitne polimerne izolatore, iako se bez sumnje radi o jednoj veoma kvalitetnoj tehnologiji.

### 1.1. Konvencionalni izolatori

Kao materijali koji su dokazali sposobnost da se odupru starenju u uvjetima ambijenta, keramike (posebice porculan) našle su primjenu u širokom spektru aplikacija. S druge strane, primjena keramika diktira glomazne i teške konstrukcije, podložne pucanju pri rukovanju i transportu, te vandalizmu tijekom

eksploatacije. Tu je također i njihova relativno slaba otpornost na preskok u uvjetima onečišćene atmosfere. Sve ovo govori o tome da, usprkos mnogim prednostima keramika, pouzdanost elektroenergetskog sustava još uvijek trpi zbog njihovih nedostataka.

1.1.1. *Prednosti primjene keramike*

(i) Stabilnost

Generalno se može kazati da su keramike karakterizirane jakim ionskim vezama i blisko pakiranim atomima (silicij i kisik, kvarcni pijesak i silikati). To im daje veliku stabilnost i otpornost na starenje pod utjecajem UV zračenja, površinskih pražnjenja, vlaženja itd.

(ii) Mehanička čvrstoća

Rigidna priroda keramičkih materijala ima za posljedicu značajnu mehaničku čvrstoću, tako da se izolatori izrađeni na toj osnovi mogu koristiti kako u situacijama kad na njih djeluju naprezanja na vlak, tako i u onim kad se ima i naprezanja na savijanje. Porculanska kućišta koja se koriste kod kabelskih glava, provodnih izolatora i odvodnika prenapona su samopodrživa, tako da ne zahtijevaju druge materijale ili komponente kako bi se postigla tražena čvrstoća.

(iii) Jeftine sirovine

Osnovne sirovine koje se koriste za proizvodnju porculana, kao što su gline, feldspat i kvarc, relativno su jeftine i raspoložive.

1.1.2. *Nedostaci kod primjene keramike*

(i) Proizvodnja i vrijeme isporuke

Proces proizvodnje porculana sastoji se iz niza faza. Kad se radi o velikim kućištima potreban je dugotrajan period za sniženje sadržaja vode u ekstrudiranoj jezgri prije nego se pristupi njihovom oblikovanju i pečenju. Rezultat toga jesu duga vremena isporuke.

(ii) Lomljivost

Keramike su veoma lomljive, tako da su konvencionalni izolatori prilikom korištenja, transporta ili instaliranja podložni pucanju. S druge strane, vandalizam često predstavlja jedan od značajnih uzročnika mehaničkih oštećenja u pogonu. Opća je praksa da se prilikom kupovine porculanskih izolatora u cijenu uključi faktor loma, što naravno dovodi do porasta jedinične cijene proizvoda.

(iii) Težina

Zbog velike specifične gustoće keramike, tijela konvencionalnih izolatora su veoma teška. S porastom naponskog nivoa javljaju se problemi vezani uz upravljanje teškim porculanskim konstrukcijama: osim što je često potrebna primjena dizalica, potrebne su i skupe i masivne strukturalne potpore. Glomaznost i velika težina porculanskih proizvoda obično diktiraju jeftiniji, ali dugotrajniji transport radi sniženja troškova. To, s druge strane, produljuje vrijeme isporuke.

(iv) Kvar na šupljim porculanskim kućištima

Šuplja porculanska kućišta za provodne izolatore, mjerne transformatore, prekidače, kabelske glave i odvodnike prenapona mogu, kod unutarnjeg proboja, doživjeti havariju. Naime, kod pojave unutarnjeg luka snage dolazi do brzog porasta tlaka. Ako se ovaj tlak ne oduši prije nego što dostigne čvrstoću kućišta na pucanje, kućište se može skršiti. Kad se to dogodi, komadi porculana, koji nose veoma veliku silu, razletjet će se na sve strane u okolici aparata. Ovaj tip kvara je veoma poznat, naročito kod distributivnih odvodnika prenapona.

(v) Svojstva u uvjetima onečišćenja

Stabilne kemijske veze keramičkih materijala znače također da oni posjeduju veliku slobodnu površinsku energiju, što istodobno znači veliku površinsku adheziju glede onečišćenja što je prisutno u okolišu. Zbog velike slobodne površinske energije keramike se lako vlaže, a tako prisutna voda formira filmove na pojedinim dijelovima površine izolatora. Materijali s takvim karakteristikama poznati su kao "hidrofilični" materijali.

Hidrofilične se površine ne ponašaju dobro u uvjetima onečišćene atmosfere. Vodeni filmovi rastvaraju vodljive onečišćivače, što snizuje ukupni površinski otpor izolacije i dovodi do stvaranja vodljivih elektrolita duž kontinuirane staze, tj. do začinjanja procesa preskoka.

## 1.2. Polimerna izolacija

Kao što je već rečeno, prvi polimerni izolatori nisu imali očekivanu životnu dob, u prvom redu zbog neadekvatne otpornosti na UV-zračenje, habanje i hidrolizu. Mnogi korisnici elektroopreme u svijetu su i danas rezervirani kad je u pitanju dugoročno ponašanje kompozitnih izolatora, upravo iz razloga što su prvi izolatori doživjeli kvarove već nakon veoma kratkog vremena eksploatacije.

Polimerni materijali visokih svojstava koriste se u tehnologiji visokonaponskih izolatora već više od trideset godina. Tijekom ovog perioda njihova primjena je stalno rasla, tako da danas polimeri postaju osnovni materijali za vanjsku izolaciju. Oni su u općoj primjeni kad je riječ o kabelskim glavama, odvodnicima prenapona, izolatorima za nadzemne vodove, sabirničkim izolatorima i provodnim izolatorima.

1.2.1. *Prednosti primjene polimera*

(i) Manja težina

Gustoća polimernih materijala je mnogo niža od gustoće keramika što za posljedicu ima značajno sniženje težine proizvoda. Ova se razlika povećava s povišenjem naponske razine. Kompozitni polimerni izolatori ne zahtijevaju primjenu kranova ili drugih uređaja kod korištenja i instaliranja. Smanjena težina omogućuje primjenu lakših i jeftinijih stupova i

konstrukcija za montažu. Tu su također i niži troškovi transporta u odnosu na ekvivalentne keramičke izolatore. Kompozitni polimerni izolatori su u prednosti glede njihove primjene u gusto naseljenim područjima pošto omogućavaju primjenu užih koridora za dalekovode. Zahvaljujući visokom omjeru čvrstoća/težina omogućena je primjena duljih raspona i jeftinijih stupova, kao i poboljšanje vizualnog izgleda dalekovoda. Kompozitni polimerni izolatori pružaju mogućnost projektiranja novih kompaktnih dalekovoda sa sniženim elektromagnetskim utjecajima.

(ii) Fleksibilnost

Za razliku od porculanskih dalekovodnih potpornih izolatora koji, zbog krhke naravi porculana, ne omogućuju bilo kakvo ugibanje (deflekciju), kompozitni polimerni izolatori, zahvaljujući svojstvima svoje fiberglasne jezgre, predstavljaju veoma fleksibilne strukture.

Neelastičnost porculanskih potpornih izolatora predstavlja veoma veliki problem kad se radi o događajima koji dovode do pojave iznenadnih promjena u mehaničkom opterećenju: pucanje vodiča, padanje leda s vodiča, udar vozila u stup, udarci vjetra... Posljedice ovih događaja mogu biti katastrofalne: pucanje izolatora i pad vodiča dovode do pucanja izolatora na sljedećem stupu i tako redom – kaskadni kvar. Na koncu imamo situaciju u kojoj se kilometri dalekovodnog užeta nalaze na zemlji. Fleksibilnost kompozitnih polimernih izolatora štiti dalekovode od ovakvih događaja, omogućujući istodobno postizanje svih prednosti što ih u projektiranje dalekovoda unosi koncept primjena potpornih izolatora (kompaktiranje, podizanje naponskog nivoa postojećih dalekovoda, sniženje radiosmetnji, neprobojnost izolatora, estetski aspekt...).

(iii) Geometrija

Pošto se polimerna izolatorska kućišta proizvode najčešće u postupku prešanja, jasno je kako nije teško proizvesti jedinice koje za istu cijenu imaju veću kliznu stazu po jedinici duljine od one što se ima kod konvencionalnih izolatora. Isto tako, jasno je da se bez većih ekonomskih i problema u proizvodnji mogu postići mnogo složeniji profili rebara. Danas se često primjenjuje konstrukcija s promjenjivim rebrima (veliko-malo), koja omogućava poboljšanje preskočnih karakteristika u vlažnim uvjetima – sprječava se istodobno premoštavanje svih rebara.

(iv) Svojstva u uvjetima onečišćenja

Tipični polimerni materijali koji se koriste u izolatorima za vanjsku montažu imaju nisku slobodnu površinsku energiju. Kad su novi i prije nego što budu izloženi djelovanju okoliša, polimerni materijali su otporni na vlagu – prirođeno im je svojstvo hidrofobičnosti. Veoma je poželjno da se ovo svojstvo zadrži i tijekom njihovog izlaganja utjecajima okoliša, tj. da ga prenesu na nataloženi sloj zagađivača. Na površini izolatora načinjenih od takvih materijala, voda formira vodene kapljice (kuglice), tako da postoji diskontinuitet rastvorenog vodljivog onečišćivača. Rezultat je manja klizna struja i smanjena vjerojatnost nastanka suhih zona, odnosno viši napon potreban da prouzroči preskok. U usporedbi s porculanom i staklom, neki polimerni materijali imaju veću otpornost na preskok i u prilikama kad se radi o površinama koje pokazuju znake starenja.

(v) Kvar kod šupljeg kućišta

Kod polimernih šupljih izolatora radi se o posve drukčijim posljedicama kvara izazvanog unutarnjim lukom u odnosu na porculan. Fizička svojstva polimernih materijala jasno govore da se on neće skršiti kao porculan, nego će doći do probijanja ili pucanja strukture i odušivanja unutarnjeg tlaka. Rezultat je vanjski preskok i oslobođenje energije kvara izvan kućišta.

(vi) Proizvodnja

Proces proizvodnje polimernih proizvoda je u biti kraći od onog kod keramika. Tipično trajanje prešanja je reda minuta, tako da je vrijeme isporuke znatno kraće nego kod uređaja na bazi keramika.

### 1.2.2. *Nedostaci kod primjene polimera*

(i) Degradacija u uvjetima ambijenta

Polimerni materijali imaju slabije unutarnje veze nego porculan (kovalentne umjesto ionskih), tako da su, pod djelovanjem višestrukih naprezanja što ih susrećemo u eksploataciji, podložni promjenama – starenju. Međutim, ako se radi o dobro razvijenom materijalu i konstrukciji, kompozitni izolatori mogu dostići dobra svojstva koja su sposobni održati tijekom željene životne dobi. Da bi se to postiglo potrebno je ostvariti složeno optimiranje formulacije polimera i dizajna izolatora. To znači da se mora posjedovati *know-how* glede izbora vrste i koncentracije punila i aditiva, kao i korištenja podesnih metoda miješanja prilikom realizacije kompaunda. Uvjeti što se imaju u proizvodnom procesu moraju biti takvi da je osigurana zaštita od degradacije kompaunda tijekom odvijanja ovog procesa. Formulacija kompaunda predstavlja veoma složen proces optimiranja za koji je potrebno dugotrajno eksperimentiranje i ispitivanje. Formulacije mogu varirati u širokoj skali što podrazumijeva sadržaj osnovnog polimera između 20% i 80% (težinski). Aditivi se koriste radi poboljšanja električkih i mehaničkih svojstava: antioksidanti, plastifikatori, pigmenti, agensi za pospješivanje procesa proizvodnje, katalizatori, amortizeri plamena, UV-stabilizatori, sredstva za sprječavanje stvaranja tragova i erozije i drugi, ovisno o specifičnoj formulaciji. U mnogim situacijama, aditivi su ti koji, kolektivno i pojedinačno, svojim svojstvima određuju sveukupne karakteristike materijala.

Struktura polimernih materijala koja pruža fleksibilne veze i mobilnost dugih lanaca je ta koja omogućuje postizanje mnogih, polimerima svojstvenih, prednosti.

Međutim, budući da su sve formulacije polimernih materijala organske prirode, kontinuirano pogonsko naprezanje može dovesti do slabljenja površinskih svojstava i slabljenja karakteristika u uvjetima onečišćenja, unatoč tome što su polimeri pojačani odgovarajućim aditivima, a kućište konstruirano tako da ograniči kliznu struju. Prema tome, za postizanje visoke razine svojstava u različitim primjenama, potrebno je postići kombinaciju znanosti o materijalima, pogonskih ekspertiza i visoke razine procesa proizvodnje u ovom području.

Pogonska naprezanja, kao što su korona pražnjenja, UV-zračenje ili kemijski napadi, dovode do kemijskih reakcija na površini polimera. Jedan od rezultata ovih reakcija je formiranje hidrofilnih grupa koje će omogućiti vlaženje površine i porast klizne struje. Materijal koji je doživio sniženje hidrofobičnosti ne mora se nužno nastaviti mijenjati odnosno trpjeti napadaje *trackinga* i erozije u uvjetima vlaženja. Zadržavanje svojstva hidrofobičnosti je, međutim, jako poželjno. Ako dođe do njenog sniženja, preko površine izolatora ne smiju proteći kritične klizne struje koje će dovesti do formiranja suhih zona. Ako se formiraju suhe zone, formulacija materijala mora biti takva da se odupre *trackingu* i eroziji. Dizajn kućišta može u ovim uvjetima utjecati na veličinu klizne struje. Na osnovi izloženog možemo zaključiti da postoje tri razine zaštite od starenja i znatnih oštećenja površine, odnosno kompletnog kompozitnog polimernog izolatora.

(ii) Visoke cijene sirovina

Cijene koštanja sirovina za izradu kompozitnih polimernih izolatora znatno su više od cijena sirovina za proizvodnju porculana i stakla. Punila i aditivi miješaju se s baznim polimerom ne samo kako bi se snizili troškovi, nego i da se poboljšaju svojstva i olakša proces izrade. Bazni polimer može biti konstituent kompaunda u iznosu 20% do 80% težine. Prema tome, stvarne formulacije kompaunda u kojima se deklarira jedan te isti bazni polimer su različite, što ima izravnog utjecaja na svojstva. Na današnjem visokokonkurentnom tržištu proizvođači traže načina da prednost, tj. nižu cijenu, steknu kroz reformuliranje materijala. Novije generacije materijala mogu biti i neispitane, a prethodno pogonsko iskustvo ne može biti nikakva garancija za ponašanje jedne posve drukčije formulacije.

## 2. RAZVOJ KOMPOZITNIH IZOLATORA

Premda javno mnijenje, pokazujući povećani interes za okolišem, sve više utječe i na tehnologiju prijenosa i distribucije električne energije, posve je jasno da će, zahvaljujući prednostima što ih nude, visokonaponski nadzemni vodovi, posebice kad se radi o ekstra i ultravisokim naponima, biti prisutni barem i u prvim desetljećima novog tisućljeća. Ovakva ocjena utemeljena je ponajprije na razlozima ekonomske naravi: kabelski vodovi su, samo glede kapitalnih troškova, višekratno skuplji od nadzemnih. Tu su također i tehničke prednosti nadzemnih vodova: visoka pouzdanost, jednostavnija izolacija, nepostojanje problema hlađenja, niži nivo gubitaka, jednostavnije instaliranje, jednostavnija detekcija kvarova, održavanje itd. Prema tome, posve je jasno da će se kompanije koje gospodare u oblasti prijenosa i distribucije električne energije unaprijed odlučiti za vanjske visokonaponske vodove, a za kabelsku tehnologiju opredijeliti samo u slučajevima kad to konkretni uvjeti beskompromisno i definitivno zahtijevaju.

Što je, međutim, s pitanjem uklapanja nadzemnih vodova u okoliš? U nekim dijelovima USA i u Europi također, već su na snazi takva ograničenja, koja, kako glede visine stupova, tako i izbora izolatora, omogućuju prihvaćanje samo onih konstrukcija za koje se može utvrditi da su nezamjetljive. Osvrnuvši se na dva veoma bitna aspekta uloge koju su u ovom pogledu odigrali kompozitni polimerni izolatori, nije teško uvjeriti se kako bi ovi zahtjevi bili danas potpuno nerealni da je industrija izolatora ostala na konvencionalnim materijalima – porculanu i staklu. Radi se, naime, o sljedećim pitanjima:

- estetski aspekt – izgled samih izolatora i izgled kompaktiranog dalekovoda u odnosu na njihove ekvivalente realizirane u konvencionalnoj tehnologiji;
- primjena specijalnih konstrukcija stupova koji su: niži od konvencionalnih, manje upadljivi u odnosu na konvencionalne i više nalik prirodnim formama (drveću na primjer).

Ovi učinci prodora nove tehnologije u područje vanjske visokonaponske izolacije predstavljaju, međutim, samo kolateralne učinke u odnosu na ciljeve razvoja što su ih, u vremenu opće opsjednutosti naponima reda tisuću kilovolti, pred sebe postavili industrija izolatora i korisnici visokonaponske elektroopreme. Porculan i staklo postigli su posve afirmirane performanse u doba kad je gornja granica prijenosnog napona bila 230 kV, gdje se na primjer s dvanaest standardnih kapastih članaka po fazi u izolatorskom lancu još uvijek nije postavljalo pitanje omjera između mehaničke čvrstoće i težine takvog izolacijskog ansambla. S porastom naponske razine i broja vodiča u snopu pojavio se zahtjev za primjenom dva, odnosno četiri, paralelna lanca, što je značilo 25, 30, 40 ili više izolatorskih članaka po fazi. Pogled u budućnost, koja se tad vidjela kroz prizmu prijenosnog napona 1100 kV, govorio je da će na primjer na jednom zateznom stupu visjeti pet tona porculanskih izolatora ili čak pet puta više na jednom krajnjem stupu. Takve perspektive učinile su da šezdesete i početak sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća postanu ispunjene traganjem za lakšim i jednostavnijim izolatorima, međutim, istodobno sposobnim odgovoriti na stroge električke, ali prije svega, mehaničke zahtjeve zbog kojih su i uvedeni komplicirani paralelni lanci.

Ideju kako postići konstrukciju koja će biti lakša od klasičnog lanca kapastih izolatora nije bilo potrebno posebno razvijati, budući da je bilo jasno da se količina metala, kao nužnog zla u dizajnu kapastog izolatora, može reducirati primjenom lanca dugih štapnih izolatora. No, zbog ograničenja u duljini dugog štapnog izolatora, ponovno je u pitanju lanac i ponovno je tu više metala nego što ga je nužno imati. Tehnologija kompozicije polimerne smole i staklenih vlakana, koja je već bila napravila prodor u drugim područjima inženjerstva, bila je ovdje spasonosno rješenje: nađen je odgovor na mehaničke zahtjeve – jezgra (štap) od smolom ojačanih staklenih vlakana. Tako je postalo jasno da se količina metala može svesti na nužni minimum. Ostao je, međutim, problem udovoljenja električkim zahtjevima – jezgru je trebalo prekriti kućištem od izolacijskog materijala koje će je zaštititi od vanjskih utjecaja i istodobno izolatoru dati nužna svojstva koja mu omogućavaju rad u uvjetima istodobnog djelovanja električkih naprezanja i naprezanja što ih izaziva okoliš.

U takvom ambijentu nastala je koncem šezdesetih i prvom polovinom sedamdesetih godina prva generacija kompozitnih polimernih izolatora, u Njemačkoj, Italiji, USA, Francuskoj i Velikoj Britaniji. Različiti proizvođači koristili su različite vrste baznog polimera za izradu kućišta izolatora: silikonska guma, etilen propilenska guma (EPR – *ethilene propylene rubber*), epoksidna smola i politetrafluoretilen (PTFE). Kako bi se postigla željena svojstva izolatora svaki od ovih baznih materijala kombiniran je s odgovarajućim punilima i aditivima. Metalne armature su s jezgrom spajane primjenom različitih tehnologija – stezanje armatura na jezgru, usađivanje u armaturama prisutnih klinova u jezgru i lijepljenje armatura i jezgre.

Prva generacija kompozitnih polimernih izolatora ponudila je značajne prednosti i proizvela veliki interes među korisnicima. Posebne prednosti u odnosu na konvencionalne izolatore ogledale su se u:

- smanjenju težine – ekonomičniji dizajn novih stupova, odnosno mogućnost da se podigne naponski nivo postojećih sustava uz zadržavanje postojećih stupova; ova činjenica također omogućuje povećanje razmaka između vodiča i zemlje i povećanje razmaka između faza radi sniženja intenziteta električkih i magnetskih polja koja postaju predmetom sve većeg zanimanja javnog mnijenja;
- većem omjeru između mehaničke čvrstoće i težine izolacijskih konstrukcija – mogućnosti primjene duljih razmaka između stupova;
- manjoj podložnosti ozbiljnim oštećenjima zbog vandalizma izazvanog puščanom vatrom – situacije u kojima dolazi do raspuknuća konvencionalnih izolatora i eventualnog pada vodiča na zemlju;
- značajno poboljšanim performansama u uvjetima onečišćene atmosfere;
- lakšem instaliranju – izbjegnuta uporaba teških dizalica;
- sniženim troškovima održavanja – nema potrebe za pranjem, čišćenjem ili primjenom specijalnih premaza što je redovita praksa kod konvencionalnih izolatora u uvjetima jako onečišćene atmosfere;
- estetskim aspektima – privlačnija pojava omogućuje lakše uklapanje izolatora i dalekovoda u prirodni ambijent.

Navedene prednosti povukle su za sobom sniženje sveukupnih troškova, premda je nabavna cijena ovih izolatora bila u početku viša od cijene njihovih ekvivalenata u konvencionalnoj tehnologiji. U Tablici 1 prikazani su razlozi zbog kojih uvođenje kompozitnih polimernih izolatora dovodi do sniženja sveukupnih troškova izgradnje i održavanja jednog dalekovoda.

**Tablica 1. Sniženje troškova zbog uvođenja kompozitnih izolatora** [2]

| **Sniženje troškova zbog promjene konstrukcije i materijala** | **Sniženje konstrukcijskih troškova** | **Sniženje troškova održavanja** |
|---|---|---|
| Manje metalnih dijelova u izolacijskoj konstrukciji | Transportni troškovi, troškovi skladištenja, troškovi oštećenja u transportu | Nepotrebno pranje, čišćenje ili premazivanje i u uvjetima jako onečišćene atmosfere |
| Moguće sniženje u nabavnoj cijeni u odnosu na konvencionalnu konstrukciju (danas već ostvareno) | Troškovi instaliranja | |
| | Uštede zbog smanjenja oštećenja izazvanih grubim upravljanjem | Otpornost na vandalizam (puščanu vatru) |
| Sniženje u cijeni stupova i troškova koridora prilikom uklapanja dalekovoda u okoliš | Mogućnost montaže uz pomoć helikoptera | |

Opisane prednosti bile su razlogom da je veliki broj korisnika širom svijeta odlučio eksperimentirati s kompozitnim polimernim izolatorima, ugrađujući ih na kratkim sekcijama pojedinih dalekovoda i na mjestima gdje su se očekivali ili već imali problemi s konvencionalnim izolatorima. Prva iskustva bila su, međutim, razočaravajuća. Tipični problemi s kojima su se korisnici susreli već nakon nekoliko godina eksploatacije bili su:

- pojave *trackinga* i erozije (*tracking* predstavlja pojavu ireverzibilne degradacije (slabljenja) materijala kućišta prouzročenu pražnjenjima na površini izolatora; ogleda se u formiranju vodljivih karboniziranih staza koje premošćuju međuelektrodni razmak preko površine izolatora; erozija se definira kao ireverzibilna degradacija površine izolatora prouzročena površinskim pražnjenjima koja za rezultat ima gubitak materijala kućišta) materijala kućišta koje za epilog imaju otkaz izolatora;
- stvaranje raspuklina na površini izolatora ili tragova kemijske dekompozicije površine što, olakšavajući

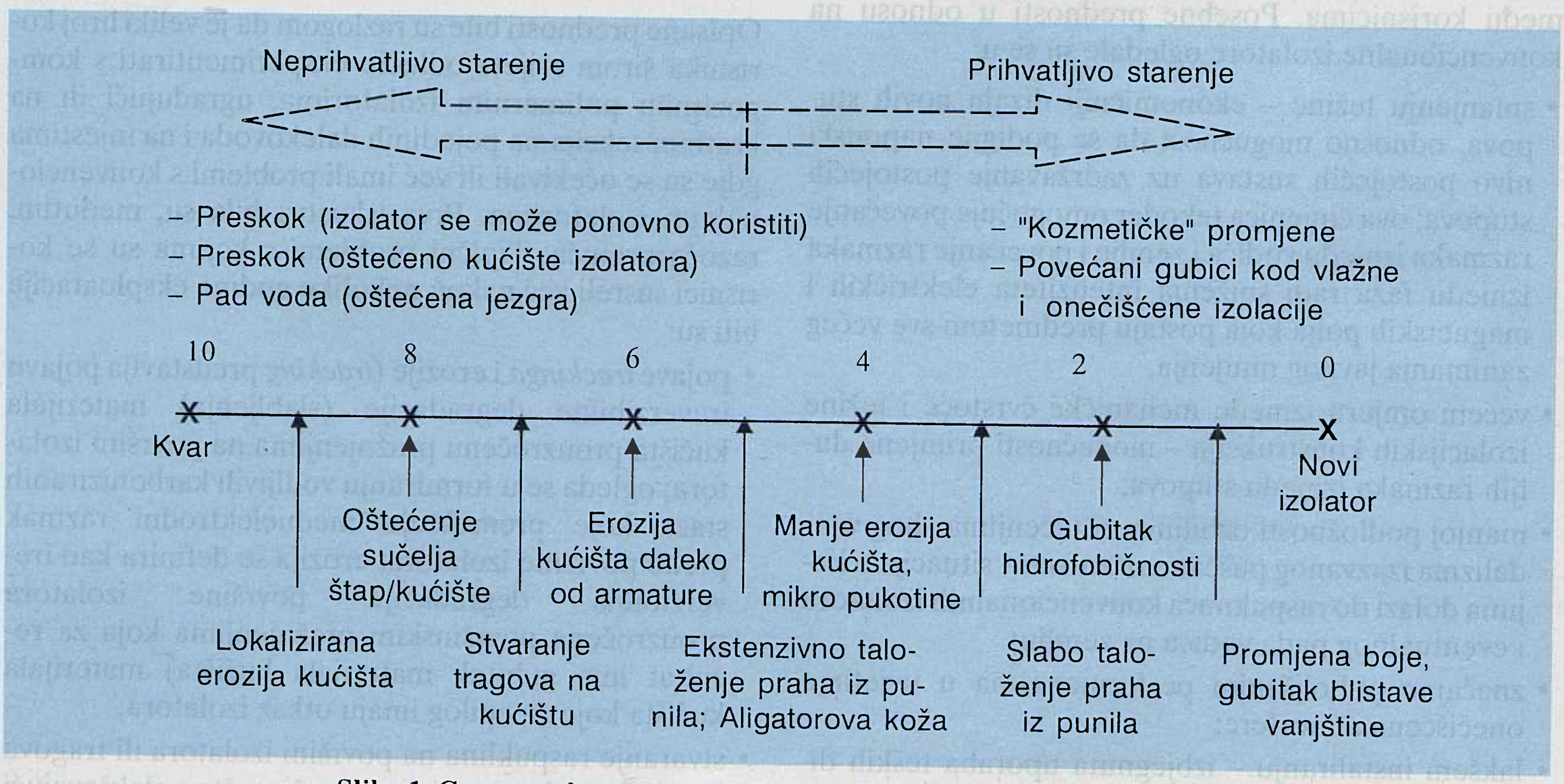
skupljanje onečišćenja, vode ka pojavi površinskih parcijalnih pražnjenja i preskoka na naponima koji su niži od onih koje mogu izdržati novi izolatori;

- slabljenje veza s armaturama popraćeno prodorom vode u unutrašnjost izolatora s posljedicama koje se odražavaju u slabljenju električkih i mehaničkih svojstava i kao epilog imaju električki, odnosno najčešće mehanički kvar izolatora.

Ova iskustva upućivala su na zaključak da se, zbog loše konstrukcije, izbora neodgovarajućih materijala i loše kontrole kakvoće radi o proizvodima s ograničenom i znatno nižom životnom dobi od zahtijevane. S obzirom na poteškoće u otkrivanju defekata i nepostojanje korelacije između vrste, odnosno intenziteta defekata i preostale životne dobi izolatora, postavilo se vrlo važnim pitanje procjene trajanja životne dobi kompozitnih polimernih izolatora i s njim vezanog pitanja dugotrajne pouzdanosti dalekovoda na kojima su oni instalirani.

Za razliku od konvencionalnih izolacijskih materijala, kod kojih interakcija električkih naprezanja s utjecajima okoliša (onečišćenje, vlaženje, sunčevo zračenje, toplinski ciklusi itd.), čije su posljedice protjecanje klizne struje i pojave pražnjenja (korona pražnjenja, pražnjenja preko suhih zona i preskok preko površine izolatora), i nakon eventualne pojave preskoka neće ostaviti "dubljih tragova", presudnih za njihovo buduće ponašanje, na polimernim materijalima koji se koriste za izradu kućišta kompozitnih polimernih izolatora događaju se često značajne promjene. Bilo da se radi o promjenama koje će dovesti do slabljenja površine, pa tako i do slabljenja svojstava izolatora, ili da su u pitanju samo neznatne, "kozmetičke" promjene u terminologiji koja se ovdje koristi, sve one spadaju pod pojam starenje. Moramo, međutim, praviti razliku između promjena čije pojavljivanje ne dovodi do nepovratnog drastičnog slabljenja svojstava izolatora, i koje stoga možemo tolerirati (prihvatljivo starenje), i promjena koje dovode do značajnog slabljenja električkog i mehaničkog integriteta izolatora – neprihvatljivo starenje. Na sl. 1. prikazana je *Gorurova karta* starenja kompozitnih polimernih izolatora na kojoj se vide uzroci i posljedice promjena o kojima je ovdje riječ.

Ako se utvrde uzroci problema onda se može naći i rješenje koje će taj problem, ako ne potpuno eliminirati, a ono barem toliko umanjiti njegove negativne učinke do na mjeru ostajanja u domeni onih što ih je moguće tolerirati. To je bio pristup onih proizvođača kompozitnih polimernih izolatora koji su, za razliku od drugih koji su napustili njihovu proizvodnju, započeli intenzivna istraživanja čiji je rezultat bio druga generacija ovih izolatora. Vojničkim rječnikom govoreći bilo je jasno da postoji agresor; trebalo je uspostaviti učinkovitu obranu koja će usprkos njegovim napadima osigurati integritet utvrde. Neprijateljski vojnici su ovdje nabijene čestice što čine tok klizne struje. Taj im je tok potrebno prekinuti, budući da onda neće biti sposobni pucati iz oružja koje je ovdje površinsko parcijalno pražnjenje i na koje je osjetljiva naša utvrda načinjena od slabih polimernih organskih materijala. Tako je, zahvaljujući jednom od polimerima inherentnih svojstava, postavljena prva crta obrane kompozitnih polimernih izolatora – hidrofobična površina koja je u stanju intenzitet klizne struje svesti na razinu koja neće dovoditi do površinskih parcijalnih pražnjenja. Kad napadi postanu toliko intenzivni da padne prva crta obrane, materijal površine izolatora i njegova konstrukcija moraju biti izdržljivi na utjecaje pucnjave – druga crta obrane – moraju biti otporni na stvaranje tragova, a erozija i kad do nje dođe ne smije ugroziti ni električki, ni mehanički integritet izolatora.




**Slika 1. Gorurova karta starenja kompozitnih polimernih izolatora[1]**

Druga generacija polimernih izolatora ponudila je materijale otporne na *tracking* i otpornije na utjecaje pražnjenja. Osim toga ostvarene su bolje veze s armaturama, te riješen problem mehaničkog dimenzioniranja jezgre. Poboljšana kontrola kakvoće utjecala je, sa svoje strane, na povećanje pouzdanosti nove generacije kompozitnih polimernih izolatora, tako da je od njih postalo sasvim realno očekivati životnu dob od 20 do 30 godina.

Zrelost spoznaje da obnova prve crte obrane nakon što dođe do njezinog pada – regeneracija izgubljene hidrofobičnosti – predstavlja ključnu činjenicu u obrani kompozitnih polimernih izolatora od napada što ih vrši sustav multidimenzionalnih naprezanja, dovela je, u vremenu što pripada posljednjem desetljeću dvadesetog stoljeća, do nastupa treće generacije polimernih izolatora: silikonska guma, zahvaljujući svojstvu regeneracije izgubljene hidrofobičnosti, postala je materijal kojega su prihvatili gotovo svi proizvođači u svijetu.

Zahvaljujući ranije navedenim prednostima u odnosu na konvencionalne izolatore, konzekventnom sniženju sveukupnih troškova, značajnim poboljšanjem u performansama i kakvoći proizvodnje što ga je u odnosu na prvu generaciju kompozitnih polimernih izolatora donio razvoj u ovoj tehnologiji, te činjenici da je značajno opala i njihova nabavna cijena, ovi izolatori su danas postali najbolji izbor kod gradnje novih i rekonstrukcije postojećih sustava prijenosa i distribucije električne energije. Da je tako najbolje govori podatak da su danas 60% – 70% svih izolatora koji se instaliraju u USA upravo kompozitni polimerni izolatori.

Za razliku od situacije što smo je imali u vrijeme prve generacije kompozitnih izolatora, danas možemo kazati da su proizvođači naučili bolje kontrolirati svoje procese proizvodnje. Oni su istodobno uspjeli poboljšati formulacije kako bi postigli bolje konačne karakteristike svojih proizvoda. Sve je to bilo moguće zahvaljujući boljem razumijevanju utjecaja okoliša na polimerne materijale, tako da današnji polimeri koriste poboljšane antidegradante kad su u pitanju utjecaji ultravioletnog zračenja, topline i kemijskih napada. Istodobno su učinjena i značajna poboljšanja kad je riječ o baznim kompaundima koji se koriste u proizvodnji konačnog materijala.

Svaki proizvođač koji se nije bavio istraživanjima, čiji su rezultat bili poboljšanje formulacije kompaunda, žrtvovao je poboljšana svojstva svojih proizvoda.

U okviru problema s kojima su se suočili u eksploataciji kompozitnih polimernih izolatora proizvođači i korisnici su stekli značajne spoznaje o njihovim uzročnicima. To je rezultiralo u poboljšanim programima ispitivanja i znatno boljem razumijevanju uzroka i rješenja osnovnog problema – problem starenja.

Današnja generacija kompozitnih izolatora nudi znatno poboljšana rješenja zaštite od oštećenja prouzročenih djelovanjem korone, tako što su u mnoge konstrukcije inkorporirani ekrani putem kojih se izolira ili eliminira utjecaj korone.

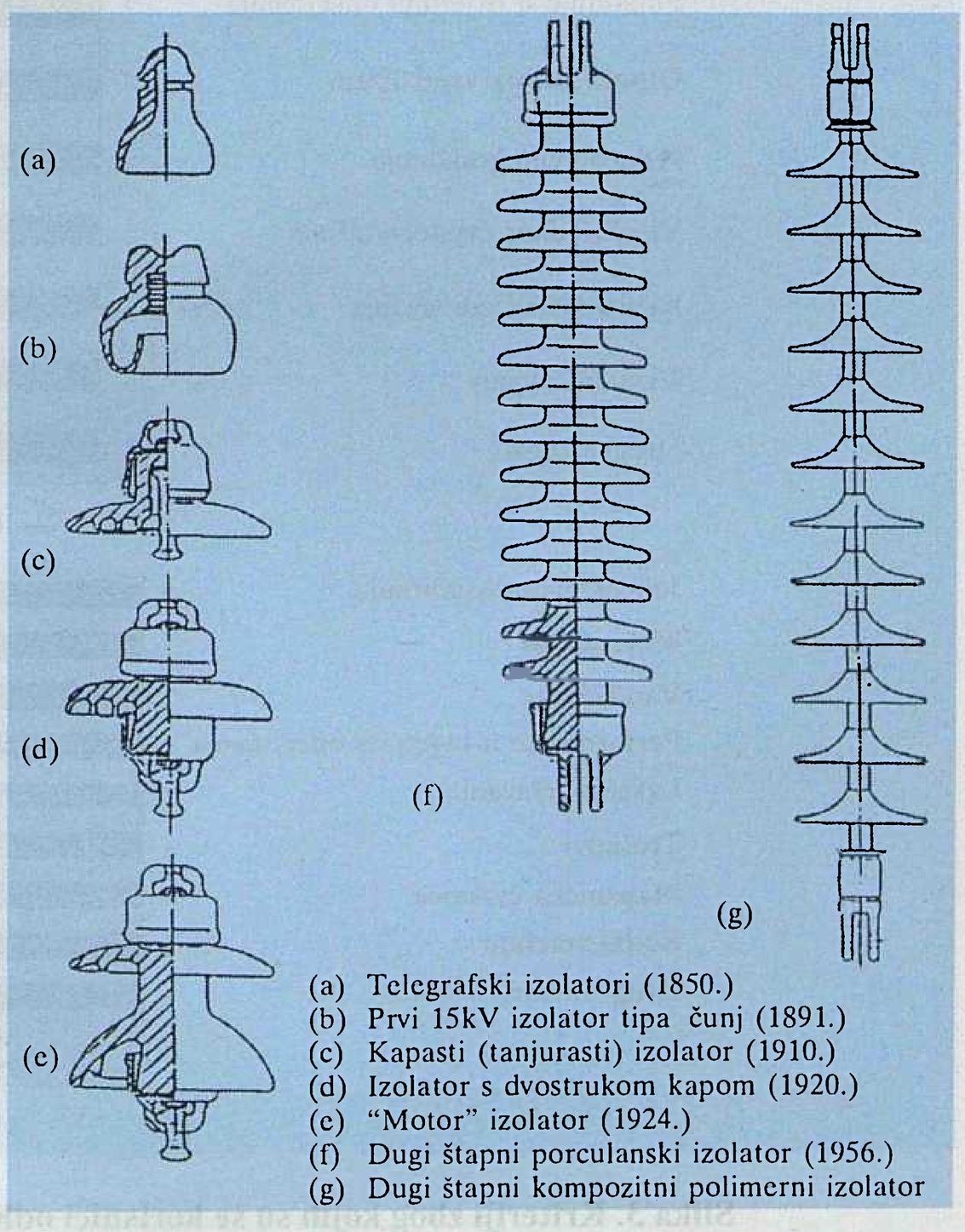
## 3. USPOREDBA KONVENCIONALNIH I KOMPOZITNIH POLIMERNIH IZOLATORA

### 3.1. Povijest razvoja izolatora za prijenosne vodove

Povijest razvoja visokonaponskih izolatora govori da su oni svoje ishodište imali u telegrafskim izolatorima koji su se koristili još do kraja posljednjeg desetljeća 19. stoljeća (sl. 2a.). Izolatori tipa čunj (*pin-type*) (sl. 2b.) primijenjeni su za prve 15 kV-ne prijenosne vodove 1891. godine. Kad su na red došli viši naponi, ekonomski razlozi su zahtijevali ovjesnu poziciju vodiča. Kako su tad raspoloživi materijali mogli podnijeti samo ograničena naprezanja na istezanje, razvijena je konstrukcija kapastog (tanjurastog) izolatora koji omogućuje da se naprezanje na vlak koje postoji na armaturama (kapa i tučak), konvertira u naprezanje na tlak i smicanje u izolacijskom tijelu (sl. 2c.). Prisutni nedostaci ovog načela konstrukcije:

- proboj tanjura prouzročen koincidencijom visokog električkog i mehaničkog naprezanja između kape i tučka;
- osrednja svojstva u uvjetima onečišćenja zbog prisustva neadekvatno dizajniranih donjih rebara;
- radiosmetnje zbog korona pražnjenja u blizini tučka;
- korozija tučka prouzročena istosmjernom komponentom klizne struje u uvjetima onečišćenja [3];
- pucanje kape zbog širenja cementa [4].

Ipak, mnogi korisnici širom svijeta ne odustaju od primjene ove tehnologije i ove konstrukcije na svojim prijenosnim vodovima.




(a) Telegrafski izolatori (1850.)
(b) Prvi 15kV izolator tipa čunj (1891.)
(c) Kapasti (tanjurasti) izolator (1910.)
(d) Izolator s dvostrukom kapom (1920.)
(e) "Motor" izolator (1924.)
(f) Dugi štapni porculanski izolator (1956.)
(g) Dugi štapni kompozitni polimerni izolator

**Slika 2. Razvoj visokonaponskih izolatora za prijenosne vodove [2]**

Drugi su korisnici, međutim, iskoristili progres u razvoju izolacijskih materijala (mogućnost da se proizvede porculan s povećanom čvrstoćom na vlak) i na temelju toga razvijena je konstrukcija dugog štapnog izolatora, koji ne pati od svih prethodno pobrojenih nedostataka. Njegova posebnost sastoji se u tome što se opterećenje na vlak inducira u izolacijsko tijelo, pri čemu je izolator cijelom svojom duljinom opterećen na vlak. Slike 2d. i 2e. prikazuju prve izolatore s takvim dizajnom. Današnji moderni dugi štapni izolatori proizvode se od visokokvalitetnog aluminijskog porculana, čime se postižu duljine do 2 m i promjeri jezgre do 125 mm (sl. 2f.).

U nastojanju da se, koristeći prednosti dizajna dugog štapnog izolatora, osvoji prostor ekstra i ultra visokih napona i pri tome postignu tri osnovna cilja:

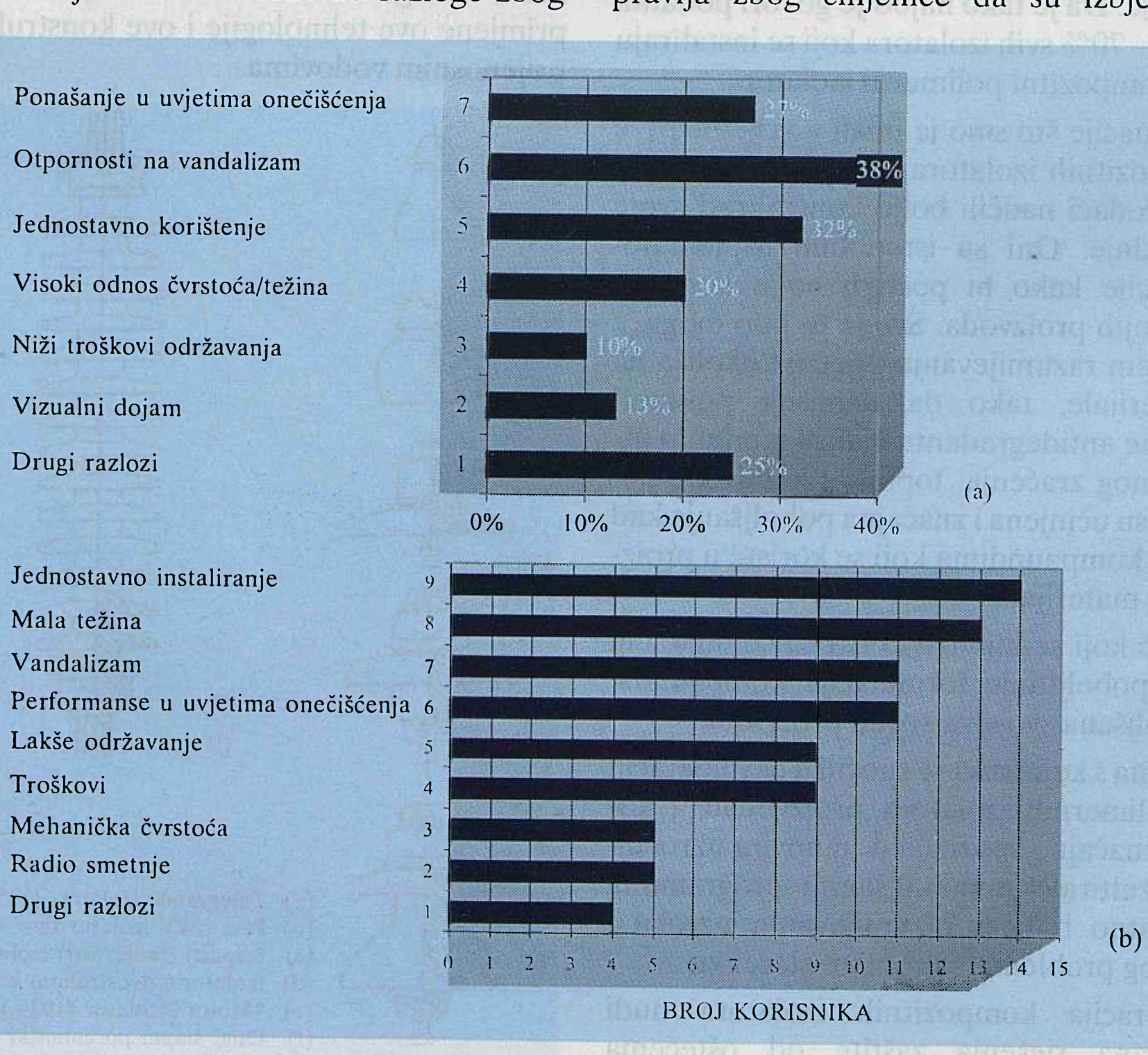
- sniženje sveukupne ovjesne mase izolacijske konstrukcije;
- mogućnost prijenosa velikih snaga;
- sniženje troškova održavanja,

razvijena je konstrukcija kompozitnog polimernog izolatora – sl. 2g.

### 3.2. Opće prednosti kompozitnih polimernih izolatora

Međunarodni savjet za velike električne sustave (CIGRE) je prvi put 1990., [5] a potom ponovno 2000. [6], objavio rezultate anketa koje su se odnosile na razloge zbog kojih su korisnici širom svijeta donijeli odluke da na svoje dalekovode ugrade kompozitne polimerne izolatore. Rezultati ovih anketa prikazani su na sl. 3.

Otpornost na vandalizam, posebice puščanu vatru, predstavlja veoma važan faktor na tržištu u USA. Ponašanje u uvjetima onečišćene atmosfere, o čemu će kasnije biti više riječi, je, kao što se vidi, jedna od osnovnih prednosti. Jednostavno upravljanje odnosi se na sniženje rizika od oštećenja u transportu (lom rebara), kao i na jednostavnije montiranje na stup, bilo da se koristi ručna montaža (nisu potrebne skele i koloture) ili da se primjenjuju helikopteri. S tim u svezi je i smanjenje prostora potrebnog za skladištenje – izolatori se pakiraju u kartonske tube i s njima se jednostavnije manipulira u fazi transporta i skladištenja. Visoki omjer mehanička čvrstoća/težina je interesantan kod projektiranja novih prijenosnih vodova. U pitanju je niža razina zahtjeva u pogledu stupova i koridora, budući da povišenje ovog omjera omogućuje primjenu novih dizajna i koncepata izolacijskih konstrukcija i konstrukcija stupova, a što za posljedicu ima sniženje troškova izgradnje dalekovoda, odnosno mogućnost podizanja naponske razine postojećih vodova. Niži troškovi održavanja – nisu potrebni uobičajeni ciklusi čišćenja izolatora – posljedica su superiornog ponašanja kompozitnih polimernih izolatora u uvjetima onečišćene atmosfere. Vizualni dojam se popravlja zbog činjenice da su izbjegnute armature




**Slika 3. Kriteriji zbog kojih su se korisnici odlučili primijeniti kompozitne polimerne izolatore:**
**(a) Rezultati ankete obavljene od strane CIGRE [5];**
**(b) Rezultati ankete što ju je objavio japanski Tehnički komitet za izolatore [7]**

između pojedinačnih jedinica u izolatorskom lancu. Drugi razlozi odnose se na sigurnost od prijeloma u slučaju dinamičkih mehaničkih naprezanja, te na mogućnost kompaktiranja prijenosnih vodova.

Premda je tijekom devedesetih godina broj instaliranih kompozitnih izolatora u svijetu doživio veliki porast, ne postoje svježiji, na široj osnovi elaborirani podaci o razlozima za njihovo uvođenje niti o iskustvima u njihovoj primjeni.

Iz tog razloga zadovoljit ćemo se i pregledom što ga je nedavno publicirao japanski Tehnički komitet za kompozitne izolatore (*Non – Ceramic (composite) Insulators Technical Committee*) [7]. Radi se o podacima prikupljenim od osamnaest korisnika kompozitnih polimernih izolatora: iz Sjeverne Amerike (10), Europe (6) i Australije (2).

Na sl. 3b. prikazani su rezultati ove ankete, s navedenim razlozima zbog kojih su se korisnici odlučili uvesti kompozitne polimerne izolatore.

### 3.3. Usporedba mehaničkih svojstava

Sniženje mase u odnosu na konvencionalni dizajn posljedica je sljedećih činitelja:

- odsustvo armatura između pojedinih jedinica, budući da se već danas mogu proizvesti jednodijelni dugi štapni izolatori čija je duljina približno 6 m, što odgovara naponskoj razini od 800 kV;
- promjena koncepta dizajna – manji promjer;
- niža specifična gustoća korištenih materijala.

U Tablici 2 prikazani su podaci koji slikovito govore o tome što u pogledu sniženja mase izolacijske konstrukcije donosi tehnologija kompozitnih polimernih izolatora.

**Tablica 2. Usporedba masa porculanskih i kompozitnih polimernih izolatora [8]**

| Napon (kV) | Masa (kg) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Konvencionalni izolatori | | | Kompozitni izolatori | |
| | Broj jedinica | I-lanac | V-lanac | I-lanac | L-lanac |
| 230 | 12 | 205 | 410 | 16 | 32 |
| 345 | 18 | 306 | 612 | 27 | 54 |
| 500 | 25 | 427 | 854 | 50 | 100 |

U Tablici 3, radi ilustracije ranijih navoda o povećanom odnosu mehanička čvrstoća/težina, prikazana je usporedba osnovnih mehaničkih svojstava materijala koji se koriste u proizvodnji visokonaponskih izolatora.

### 3.4. Usporedba električkih (izolacijskih) svojstava

Električka izolacija prijenosnih vodova i postrojenja instaliranih na otvorenom postiže se pomoću zraka što ih okružuje. Izolatori, čija se funkcija sastoji prije svega u tome da budu čvrsta i pouzdana mehanička potpora vodičima, održavaju prijeko potrebni preskočni razmak – ono kod kojega neće doći do preskoka u zraku.

Dakle, kad bi im površina bila uvijek suha i čista onda i ne bi morali imati relativno složenu formu (rebra, "suknjice" na donjoj površini, aerodinamički oblik rebara i sl.). Isto tako, s električke točke gledanja, ne bi bilo posebno važno iz kojeg su materijala izrađeni.

Budući da visokonaponski izolatori dalekovoda i postrojenja ne "žive" pod staklenim zvonom, nego su izloženi stalnim utjecajima atmosfere (onečišćenje, kiša, rosa, magla, UV-zračenje i sl.), njihova površina može postati manje ili više vodljivom. Iz tog razloga će napon kod kojeg dolazi do preskoka zračnog razmaka (preskočni napon) biti niži od onog koji se ima kod suhe površine. Visina ovog napona je u realnim uvjetima rada funkcija oblika izolatora (duljina klizne staze i faktor oblika) i specifične površinske vodljivosti elektrolitičkog sloja što se formira na njegovoj površini pod utjecajem nataloženog onečišćenja i padalina, ali i načina na koji dolazi do njezinog vlaženja, tj. materijala površine izolatora.

Električka svojstva (izolacijska čvrstoća) dane izolacijske površine, odnosno površine danog izolatora, definirana su, dakle, visinom preskočnog napona u uvjetima prisustva vodljivog (elektrolitičkog) sloja onečišćenja. Na temelju pokusa utvrđena je sljedeća analitička relacija koja opisuje tzv. karakteristiku onečišćenja [9]:

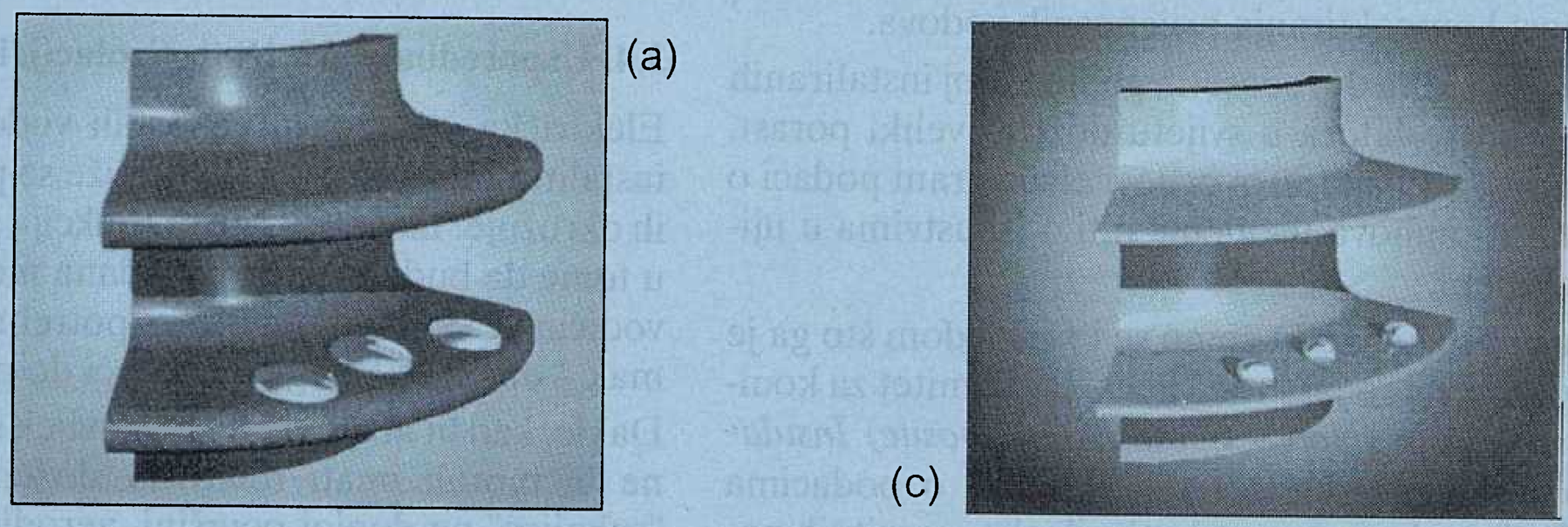
$$U_f = k_F \gamma_S^{-n} \qquad (1)$$

gdje su: $U_f$ – preskočni napon u uvjetima prisustva vodljivog sloja onečišćenja;
$k_F$ – konstanta koja ovisi o geometriji izolatora;
$\gamma_s$ – specifična površinska vodljivost sloja onečišćenja; $\gamma_s = \gamma \cdot \delta$;
$\gamma$ – specifična volumna vodljivost magle;
$\delta$ – debljina sloja onečišćenja;
$n$ – koeficijent nagiba karakteristike onečišćenja.

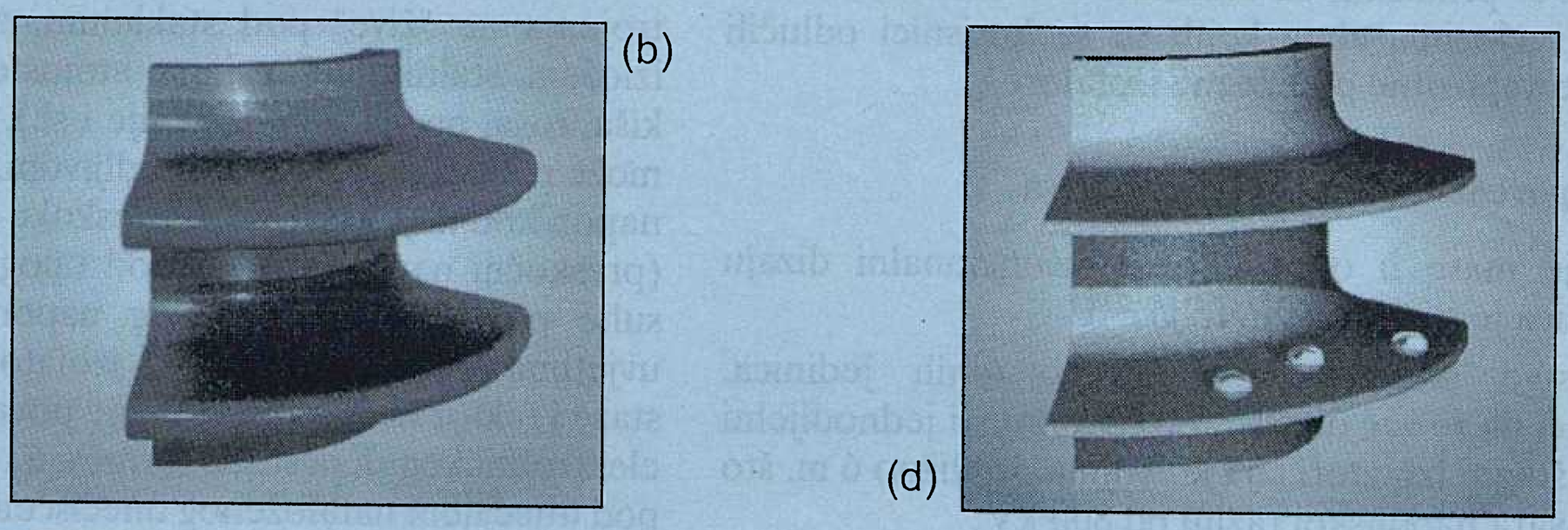
**Tablica 3. Usporedba mehaničkih svojstava materijala koji se koriste u proizvodnji izolatora [2]**

| Vrsta materijala | | Čvrstoća na vlak (Mpa) | Čvrstoća na tlak (Mpa) | Čvrstoća na savijanje (Mpa) | E-modul (Mpa) |
|---|---|---|---|---|---|
| Porculan | | 30 – 60 | 450 – 550 | 35 – 90 | 55 000 |
| Kompoziti | Smola ojačana staklenim vlaknima (na mokro) | 62 – 230 | 95 – 180 | 125 – 210 | 14 000 – 27 000 |
| | Smola ojačana staklenim vlaknima (u vakuumu) | 400 | 320 | 530 | 28 000 |

Površine čistih izolatora: Stupanj vodoodbojnosti na hidrofobičnoj silikonskoj gumi (c) je mnogo viši od onog što ga ima hidrofilični porculan (a)



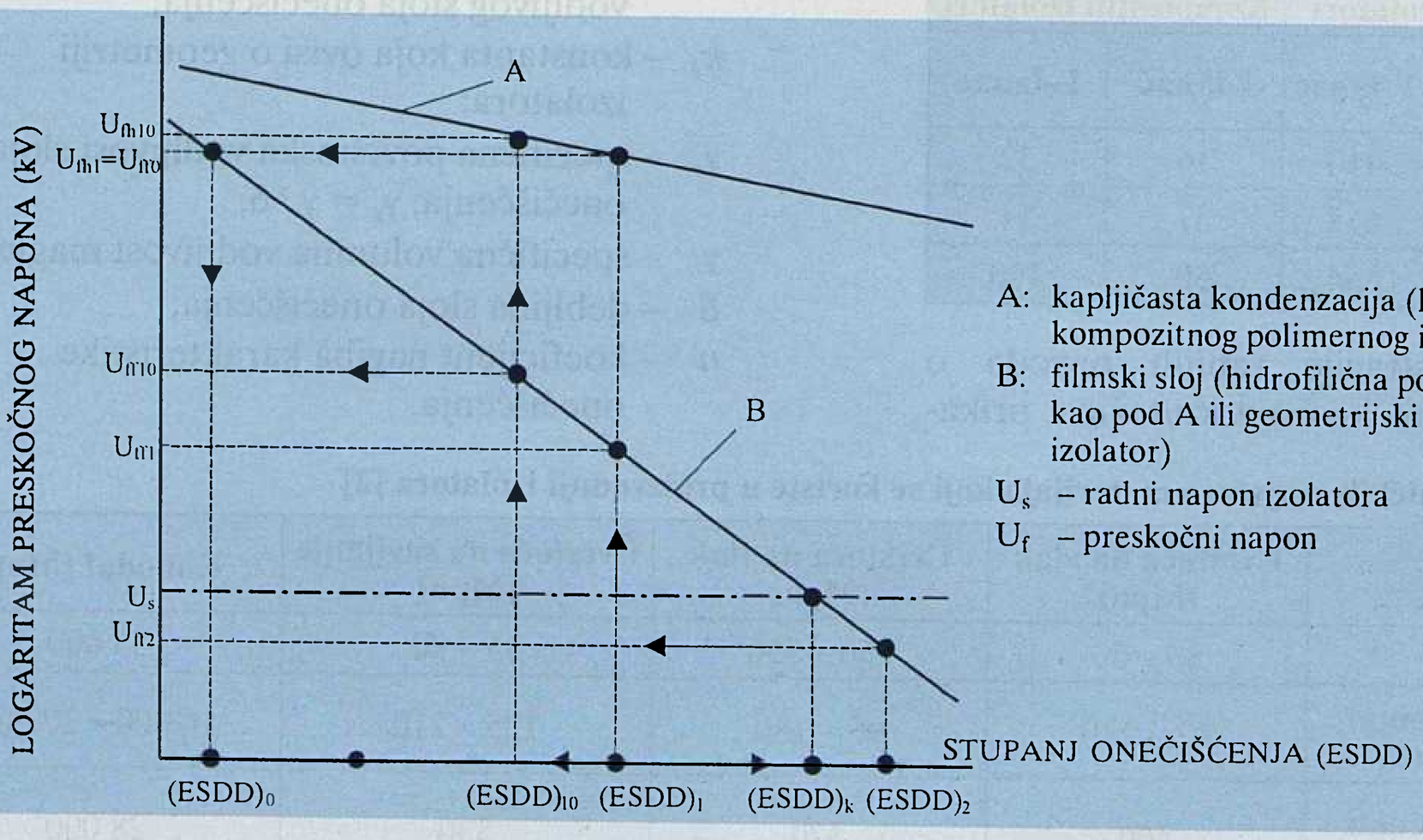

Površine izolatora prekrivenih slojem onečišćenja: Dok na površini porculana (b) voda potpuno prodire u hidrofilični sloj onečišćenja, površina silikonske gume (d), zahvaljujući transferu hidrofobičnosti, ima još uvijek visok stupanj vodoodbojnosti.




**Slika 4. Prikaz ponašanja hidrofiličnih – (a), (b) i hidrofobičnih izolacijskih površina – (c) i (d) [2]**

Za razliku od keramičkih materijala čija se površina jednoliko vlaži (visoka slobodna površinska energija porculana stupa u interakciju s kohezivnim površinskim naponom vode) – sl. 4a. i 4b., polimerni materijali, pod uvjetom da su čisti i još uvijek neoštećeni, imaju površinu koja je vodoodbojna (hidrofobična), tako da se na njoj ne formira kontinuiran vodeni film, nego diskretne vodene kapljice (sl. 4c).

Na sl. 5. dan je kvalitativni prikaz dviju preskočnih karakteristika: karakteristika označena sa (A) odnosi se na jedan kompozitni polimerni izolator na čijoj površini, zahvaljujući svojstvu transfera hidrofobičnosti, i u uvjetima onečišćenja, voda formira odvojene kapljice kao kod čistog i neoštećenog izolatora – sl. 4d., dok karakteristika (B) odgovara istom tom izolatoru koji je, zbog različitih uzroka, privremeno ili




**Slika 5. Preskočne karakteristike izolatora kod različitih uvjeta što vladaju na njegovoj površini**

trajno izgubio to svojstvo. Prema tome, karakteristika (B) odgovarala bi geometrijski identičnom konvencionalnom izolatoru.

Kod danog stupnja onečišćenja $(ESDD)_1$* hidrofobičnoj površini odgovarat će preskočni napon $U_{fh1}$, koji je znatno viši od radnog napona $U_s$. U slučaju da dođe do gubitka hidrofobičnosti, površine kompozitnog izolatora, kao i u slučaju kad je umjesto danog kompozitnog polimernog izolatora upotrijebljen konvencionalni izolator (prijelaz s karakteristike (A) na karakteristiku (B)), za održavanje nepromijenjene pogonske sigurnosti izolatora, odnosno sustava u kojemu je taj izolator instaliran, potrebno je sniziti površinsku provodnost sloja onečišćenja na vrijednost $(ESDD)_o$, što praktički znači poduzeti palijativne mjere pranja ili čišćenja. U protivnom bi svako povećanje vodljivosti iznad $(ESDD)_k$ dovelo do preskoka na radnom naponu (na primjer $(EDDD)_2 - U_{ff2} < U_s$). Ukoliko, međutim, zbog prestanka vlaženja, odnosno sušenja površine izolatora, dođe do sniženja vodljivosti, na primjer sa $(ESDD)_1$ na $(ESDD)_{10}$, preskok će biti izbjegnut ($U_{ff10} > U_s$). Ako sušenje površine izolatora dovede do odvijanja procesa obnove hidrofobičnosti (prijelaz s karakteristike (B) na karakteristiku (A)), to će omogućiti još pouzdaniji rad ($U_{fh10} > U_s$), promatranog izolatora u uvjetima onečišćene atmosfere bez da se poduzimaju palijativne mjere pranja i čišćenja, budući da će proces obnove hidrofobičnosti omogućiti "zacjeljivanje rana" što ih je izazvala površinska erozija primjerice.

### 3.5. Usporedba ponašanja u pogonskim uvjetima

Radi usporedbe ponašanja osnovnih vrsta kompozitnih polimernih izolatora (EP guma i silikonska guma), kao i usporedbe njihovog ponašanja u odnosu na ponašanje konvencionalnih izolatora, prikazat ćemo neke od interesantnih rezultata do kojih su došli istraživači širom svijeta.

Prvu usporedbu dali su Cherny i Stoukus iz tvrtke *Ontario Hydro* 1979. godine. [10] Oni su ustanovili da se na izolatorima od EP gume već nakon 18 mjeseci starenja u realnim uvjetima (vod 550 kV) događaju takva oštećenja površine koja snizuju njihovu izolacijsku čvrstoću za 25 – 30%, dok izolatori od silikonske gume ne pokazuju nikakva oštećenja niti im se snizuje izolacijska čvrstoća. Autori iz Švedske [11] saopćili su rezultate do kojih su došli nakon što su od 5 do 9 godina pratili ponašanje izolatora u pogonu. Ustanovljeno je da su nakon prve dvije godine rada kompozitni izolatori održali veoma dobre karakteristike – usporedive s karakteristikama konvencionalnih izolatora. Međutim, u kasnijim godinama, za razliku od izolatora od silikonske gume, koji su i dalje imali superiorne karakteristike, izolatori od EP gume pokazali su značajno sniženje izolacijske čvrstoće. Naime, svi (konvencionalni i EP izolatori), izuzev izolatora od silikonske gume, su nakon što su bili prekriveni značajnim količinama morske soli doživjeli preskoke. Na silikonskim izolatorima nije čak opažena niti aktivnost pražnjenja; ustanovljeno je samo neznatno povećanje klizne struje uz njezine slabe varijacije.

Isti istraživači [12] također su otkrili da je do slabljenja izolacijskih svojstava EP gume došlo zbog njezina starenja, dok je za silikonsku gumu ustvrđeno da se na površini formira niskomolekularni silikonski sloj koji posjedujući izvanredna hidrofobična svojstva održava izolacijske karakteristike izolatora u uvjetima starenja. Starenje EP gume praćeno je nereverzibilnim razaranjem površine, a kod pojedinih konstrukcija događale su se pukotine na sučeljima i razaranja rebara [13].

Od 1980. do 1985. u Njemačkoj su ispitivani kompozitni izolatori različitih proizvođača na 225 kV ispitnoj stanici lociranoj uz morsku obalu [14]. Premda se tijekom ispitivanja nije dogodio niti jedan preskok, uočene su značajne razlike u ponašanju izolatora s različitim materijalima kućišta. Ustanovljeno je da silikonski izolatori nakon 5 godina nisu imali impulse klizne struje veće od 10 mA, dok su izolatori od EP gume imali veliki broj ovakvih impulsa, te već nakon dvije godine, doživjeli proboje rebara, odnosno rascjepe na sučelju i tragove erozije poslije 5 godina. Zahvaljujući svim ovim saznanjima narastao je interes za korištenjem kompozitnih izolatora s kućištem izrađenim iz silikonske gume [14]. Osim toga, postalo je evidentno da silikonska guma ima bolje karakteristike u odnosu na porculan i staklo. To je pokazano ne samo kroz stečena pogonska iskustva [14, 15, 16], nego i kroz rezultate dobivene u laboratorijima i ispitnim stanicama na otvorenom [16, 17, 18].

Nakon četrnaestogodišnjeg rada na *Hydro Quebecovim* 735 kV vodovima, kompozitni polimerni izolatori s kućištem od silikonske gume nisu pokazali nikakva vidljiva oštećenja, iako su radili u uvjetima dosta intenzivnog onečišćenja [19]. Zbog ovih izvanrednih svojstava u uvjetima s onečišćenom atmosferom, kompozitni polimerni izolatori s kućištem od silikonske gume danas se kod ovog korisnika široko koriste kao zamjena za konvencionalne izolatore, na kojima dolazi do pojave preskoka ili drugih defekata.

Izraelska elektroprivreda je 1993. [21], prikupivši podatke od šesnaest korisnika iz Južne Afrike, Kanade, Australije, Namibije, Španjolske, Švicarske i USA, a koji se odnose na 60 000 kompozitnih izolatora (uglavnom onih koji imaju kućište od silikonske gume), došla do sljedećih zaključaka:

- osnovni razlozi za korištenje kompozitnih izolatora su sniženi troškovi održavanja i poboljšane karakteristike glede otpornosti na vandalizam;
- mnogi od korisnika su promijenili svoje specifikacije odlučujući se isključivo na izolatore s kućištem od silikonske gume;
- većina izolatora s kućištem od silikonske gume radi bez čišćenja – čak i u uvjetima jako onečišćene at-

* Na apscisu karakteristike onečišćenja mogu se nanijeti vrijednosti ekvivalentne gustoće soli – ESDD

mosfere – ponašajući se i u takvim uvjetima superiornije od konvencionalnih izolatora i izolatora na bazi EPDM;

- kad su u pitanju kvarovi mehaničke naravi, svi oni odnosili su se na krhki prijelom jedinica koje su imale jezgru temeljenu na standardnom E-staklu.

Elektroprivredna tvrtka Južne Afrike ESKOM je, radi zamjene konvencionalnih izolatora, koji su se pokazali slabim zbog problema vandalizma i preskoka u uvjetima onečišćene atmosfere [22], još od 1978. počela s instaliranjem izolatora na bazi silikonske gume, sve do naponskog nivoa 400 kV. Na ukupno 25 426 km vodova 275 kV i 400 kV, 10% ugrađenih izolatora danas su kompozitni polimerni izolatori uz stalnu tendenciju da se ovaj udio povećava. Primjenom izolatora od silikonske gume, koji se ponašaju bolje od izolatora na bazi EPMD i konvencionalnih izolatora [23], izbjegli su troškove veoma skupog pranja izolatora pomoću helikoptera u priobalnim područjima. Osim toga, na ovaj su način poboljšane karakteristike vodova budući da je smanjen broj ispada. ESKOM smatra da su kompozitni izolatori na bazi silikonske gume uvjerljiva alternativa za konvencionalne izolatore.

Španjolska elektroprivredna tvrtka REE izvješćuje da je broj kvarova koji se odnose na uvjete onečišćene atmosfere drastično snižen nakon što su konvencionalni stakleni izolatori zamijenjeni kompozitnim polimernim izolatorima s kućištem od silikonske gume [24].

Jedna od američkih elektroprivreda, *Florida Power and Light* (FPL), također saopćava svoja dobra iskustva s izolatorima na bazi silikonske gume [25]. Prema njihovim iskustvima, karakteristike ovih izolatora u uvjetima onečišćene atmosfere bolje su nego bilo kojih drugih izolatora, čak i u slučajevima kad se reducira ili uopće ne primjenjuje pranje izolatora. Iskustva do kojih je FPL došla tijekom snažnih slanih oluja (1991. i 1996.) [26] ukazuju na činjenicu da su preskoci do kojih je tom prilikom došlo (217 ispada i preskoci na 72 izolatora, od čega 48 na kompozitnim polimernim izolatorima od EP gume, u oluji koja se dogodila 1996.) posljedica loših svojstava materijala kućišta. To potvrđuje podatak da se, u danim okolnostima, na izolatorima na bazi silikonske gume, s istom duljinom klizne staze nije dogodio niti jedan preskok.

Rezultati do kojih su došli istraživači iz Švedske, koji se odnose na desetogodišnje istraživanje ponašanja kompozitnih izolatora u ispitnoj stanici Sveučilišta *Chalmers* Anneberg – testirano je šest izolatora s kućištem silikonske gume i tri izolatora od EPDM gume – ponovno pokazuju da postoji čvrsta povezanost između uvjeta na površini izolatora, posebice svojstva hidrofobičnosti i performansi izolatora (klizna struja, izolacijska čvrstoća). Ustanovljena je ozbiljna površinska degradacija izolatora s kućištem od EPDM gume s ATH kao punilom. Kod izolatora, na bazi silikonske gume, međutim, radilo se samo o niskom stupnju degradacije. Klizne struje na četiri od šest izolatora ove vrste nisu nikad prešle 15 mA, dok su na druga dva tijekom oluja registrirane vršne vrijednosti od 60 i 90 mA. Na izolatorima iz EPDM gume izmjerene su vršne vrijednosti od 135 odnosno 210 mA, kojom prilikom je jedan od njih doživio preskok. Ranija istraživanja u istoj ispitnoj stanici [27] pokazala su da izolatori od EP gume mogu doživjeti slabljenje izolacijskih svojstava, zbog različitih uzroka, ovisno o kompoziciji materijala, konstrukciji i procesu proizvodnje. To se naravno može dogoditi i s izolatorima od silikonske gume, tako da generičko ime materijala kućišta ne znači automatski dobre, odnosno loše karakteristike. Tako na primjer J. T. Looms [28] navodi rezultate istraživanja prema kojima jedna vrsta silikonske gume ima prognozu životne dobi od 25 godina, a druga svega 2,6 godina. Jasno je, prema tome, da samo adekvatno testiranje funkcionalnosti i konačno stečena pogonska iskustva mogu biti garancija razine svojstava kompozitnih polimernih izolatora.

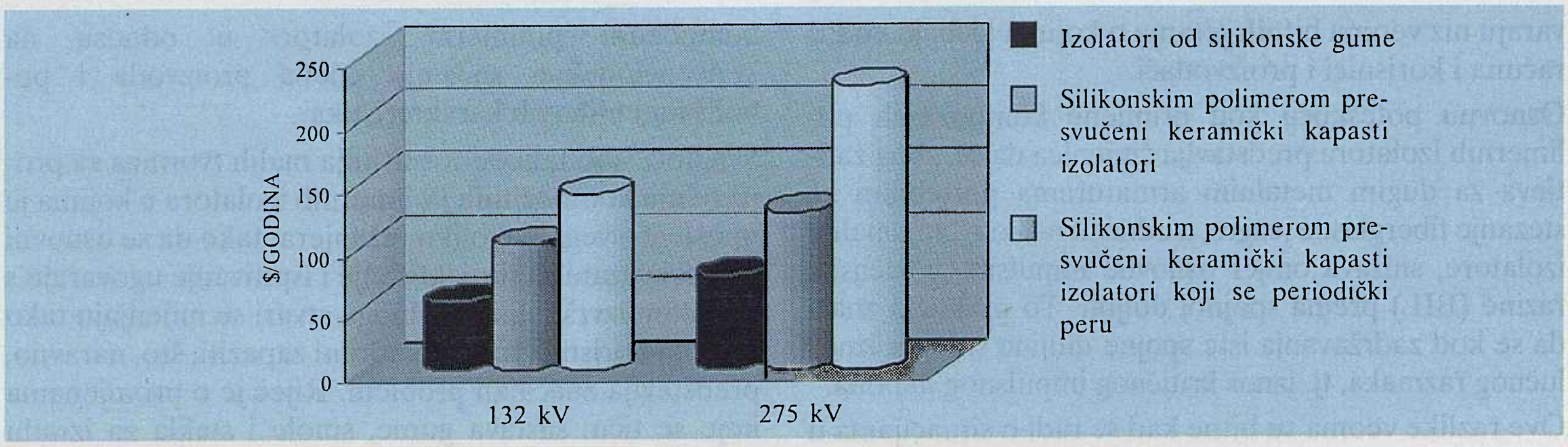
### 3.6. Ekonomska usporedba

Ekonomska opravdanost primjene kompozitnih polimernih izolatora u početku se uglavnom ogledala u sniženju troškova održavanja. Tu je također i sniženje troškova vezanih za broj prekida u napajanju kao i skraćenje vremena potrebnog za zamjenu jedinica oštećenih prilikom tih prekida. Kad su u pitanju izolatori čija površina održava svojstvo hidrofobičnosti tijekom čitavog životnog vijeka izolatora, onda ovom treba pridodati uštede što proizlaze iz sniženja gubitaka energije – protjecanje manje klizne struje.

Što se tiče inicijalnih troškova (troškovi nabave) kompozitnih polimernih izolatora, možemo kazati da se danas na tržištu mogu naći kompozitni polimerni izolatori čija je cijena niža, ali i oni čija je cijena znatno niža od cijene konvencionalnih izolatora. Ovdje se krije stupica u koju mogu upasti korisnici. Stečena iskustva iz eksploatacije, naime, govore da su se s izolatorima koji nisu prošli postojeće IEC standarde već nakon nekoliko godina eksploatacije pojavili ozbiljni problemi [29]: jeftin kompozitni polimerni izolator može značiti loše električke i mehaničke karakteristike.

Imajući u vidu činjenicu da troškovi nabave izolatora mogu dostići maksimalno pet postotaka troškova izgradnje dalekovoda, lako zaključujemo da kupovinom jeftinih izolatora, tj. onih čija je cijena niža 20 – 40%, možemo uštedjeti svega jedan do dva postotka ukupnih troškova. Na korisniku je onda da se zapita vrijedi li to rizika glede sniženja karakteristika voda zbog povećane vjerojatnosti preskoka i povećanih troškova održavanja.

Da bi se izvršila analiza ekonomske opravdanosti uvođenja kompozitnih izolatora potrebno je uzeti u obzir troškove nabave kao i ostale troškove: skladištenje, transport, instaliranje i održavanje. Na sl. 6. prikazani su usporedno ukupni godišnji troškovi triju varijanti: izolatori na bazi silikonske gume, silikonskim




**Slika 6. Usporedba godišnjih troškova triju različitih varijanata [30]**

polimerom prekriveni keramički izolatori, keramički izolatori koji se periodično peru. Riječ je o analizi što ju je napravila australska elektroprivredna kompanija *Powerlink Queensland* [30].

Kao što se vidi, ukupni godišnji troškovi primjene kompozitnih polimernih izolatora od silikonske gume iznose 30 – 40% troškova primjene konvencionalnih izolatora.

Na temelju analize izraelske elektroprivrede [31] – *Israel Electric Corp. Ltd* – proizlazi da ukupni godišnji troškovi primjene izolatora od silikonske gume koji ne zahtijevaju pranje iznosi svega 50% ukupnih troškova primjene konvencionalnih izolatora (pranje jedanput godišnje), odnosno 41% ovih troškova u slučaju da se i silikonski izolatori peru svakih pet godina. Pri tom je kalkulirano s kompozitnim izolatorima čija je nabavna cijena 70% viša od cijene konvencionalnih izolatora.

*The Los Angeles Department of Water and Power* je bio jedan od prvih korisnika u USA koji je nakon skoro potpunog prijelaza na kompozitne polimerne izolatore na naponima 115, 138 i 230 kV, donio odluku da na novim dalekovodima 500 kV isključivo koristi ove izolatore [32]. Jedan od osnovnih razloga za ovakvu odluku leži u elimininiranju troškova pranja izolatora.

*Florida Power & Light Company*, koja kompozitne polimerne izolatore koristi na svojim prijenosnim vodovima još od 1977., donijela je nedavno odluku da ih primijeni i na jednom novom 500 kV vodu [33]. Prije donošenja ovakve odluke, bez obzira na činjenicu da je cijena ponude izabranih kompozitnih polimernih izolatora bila za 45% niža od cijene ekvivalentnih porculanskih izolatora, te da je procijenjeno kako bi troškovi njihovog instaliranja bili za 73% niži od onih što ih zahtijeva instaliranje porculanskih izolatora, postavio se problem ekonomske opravdanosti s obzirom na aspekt životne dobi kompozitnih polimernih izolatora. Novi vod, naime, prolazi kroz područje koje karakteriziraju činitelji koji pridonose starenju kompozitnih polimernih izolatora: UV-zračenje, visoki stupanj vlažnosti, visoke temperature i onečišćenje. S obzirom na veliki stupanj rizika kad se radi o procjeni životne dobi kompozitnih polimernih izolatora, problem donošenja odluke postavljen je tako što je prvo izvršena procjena životne dobi porculanskih izolatora u ovakvim uvjetima. Zatim su izračunati ukupni troškovi njihovog životnog ciklusa (osim troškova nabave i instalacije, troškovi radne snage i materijala prilikom održavanja, uključeni su i financijski činitelji: stopa eskalacije cijene materijala i cijene radne snage, diskauntna stopa...). Izračunato je vrijeme u kojemu bi nakon ugradnje kompozitnih polimernih izolatora imali troškove jednake onim što bi ih porculanski izolatori imali tijekom procijenjenog životnog vijeka (32 godine). Rezultat je dao iznos 32/15, što znači da bi životna dob kompozitnih polimernih izolatora od svega 15 godina bila dovoljna da se isplati njihova ugradnja. S obzirom da iskustva što ih ima sama kompanija u eksploataciji kompozitnih polimernih izolatora slabije kakvoće (prva generacija) i procjene što ih daju testovi ubrzanog starenja glede modernih materijala i dizajna ovih izolatora govore da kompozitni polimerni izolatori mogu u ovom ambijentu raditi barem toliko dugo koliko i porculanski izolatori, nije bilo teško donijeti odluku o primjeni kompozitnih polimernih izolatora na novom 500 kV vodu.

## 4. ZAKLJUČAK

Iako je prošlo više od trideset godina otkako su stidljivo uvedeni u arenu visokog napona, i danas, kad govorimo o kompozitnim polimernim izolatorima, možemo kazati da je riječ o novoj tehnologiji. Bez obzira na to što su u međuvremenu postignuta značajna poboljšanja glede konstrukcija korištenih materijala i procesa proizvodnje, korisnici se u eksploataciji s vremena na vrijeme još uvijek sreću s izvjesnim problemima.

Kroz profesionalne susrete, što su na internacionalnom nivou sve češći, iskristalizirana su sljedeća, još uvijek otvorena, pitanja vezana za primjenu kompozitnih polimernih izolatora u elektroenergetskom sustavu.

(i) Utvrđivanje ekvivalencije u odnosu na konvencionalne izolatore

Kad se radi o donošenju odluke o zamjeni postojećih konvencionalnih izolatora s kompozitnim polimernim izolatorima, razlike u konstrukciji i materijalima ot-

varaju niz veoma bitnih pitanja o kojima trebaju voditi računa i korisnici i proizvođači.

Osnovnu poteškoću kod primjene kompozitnih polimernih izolatora predstavlja činjenica da se, zbog zahtjeva za dugim metalnim armaturama potrebnim za stezanje fiberglasne jezgre, u odnosu na konvencionalne izolatore, snižava omjer osnovne impulsne izolacijske razine (BIL) prema spojnoj duljini. To praktički znači da se kod zadržavanja iste spojne duljine snižava iznos lučnog razmaka, tj. iznos kritičnog impulsnog napona.

Ove razlike veoma su bitne kad se radi o situacijama u kojima je prijeko potrebno održati postojeće razmake (zamjena uz zadržavanje postojećih stupova), dok kod primjene na novim stupovima obično ne predstavljaju problem. One se, međutim, mogu minimizirati, tako što će se umjesto zdjelice na vrhu kompozitnog polimernog izolatora upotrijebiti drugi tip armature – vilice na primjer: postojeća ovjesna oprema na stupu može se demontirati i spojna duljina kompozitnog polimernog izolatora će zapravo biti povećana za duljinu demontirane spojne opreme. Drugi način za otklanjanje ove razlike može biti primjena neke od inovacija koje se odnose na konstrukciju u kojoj su samo očke izrađene od metala, odnosno na one u kojima su metalne armature prekrivene polimernim materijalom. [2]

Kad se radi o ekvivalentiranju glede karakteristika u uvjetima onečišćenja, onda, na temelju do sada iznesenog, možemo kazati da je zbog toga što u ovom pogledu postoje značajne razlike već između kompozitnih polimernih izolatora s različitim vrstama polimera, oblika rebara i pretpovijesti starenja, a pogotovu i između njih i konvencionalnih izolatora, veoma teško govoriti o rangiranju izolatora ili utvrđivanju ekvivalencije s konvencionalnim izolatorima.

Kad su u pitanju potporni izolatori, radi se o mnogo većoj mehaničkoj čvrstoći na udar nego kod konvencionalnih potpornih izolatora iste statičke čvrstoće. Isto tako, ako je riječ o izolatorima s kućištem od silikonske gume, kompozitni potporni izolatori imaju bolje karakteristike u uvjetima onečišćenja. Prema tome, nesumnjive su njihove prednosti na lokacijama izloženim seizmičkim djelovanjima i djelovanjima jakog onečišćenja. Problem je, međutim, u činjenici da potporni izolatori s čvrstom jezgrom mogu doživjeti velike deflekcije (230 kV potporni izolatori se u rasponu od stanja bez opterećenja do maksimalno dopuštenog opterećenja mogu saviti i do 60 cm). Ovolike deflekcije mogu dovesti do problema čije rješavanje traži primjenu skupljih izolatora sa šupljom jezgrom.

(ii) Promjene u kakvoći proizvoda i problem kontrole kakvoće

U situaciji koja postoji danas u oblasti elektroenergetike, gdje korisnici elektroopreme pripremajući se za deregulaciju reduciraju investicije i sredstva za održavanje, sve je manje raspoloživih novaca za izolatore. To je razlogom da se strategija proizvođača usmjerava ka promoviranju prednosti što ih donose kompozitni polimerni izolatori u odnosu na konvencionalne, sniženju cijena proizvoda i poboljšanju njihovih karakteristika.

Svjedoci smo također osnivanja malih tvornica za proizvodnju kompozitnih polimernih izolatora u kojima je uposleno svega nekoliko inženjera, tako da se osnovni poslovi vezani za projektiranje i ispitivanje ugovaraju s vanjskim izvršiteljima. Mnoge stvari se mijenjaju tako brzo da korisnici to nisu kadri ni zapaziti, što, naravno, predstavlja značajan problem. Riječ je o promjenama koje se tiču: sastava gume, smole i stakla za izradu jezgre, zaptivke i metalnih armatura, debljine rebara i omotača što prekriva jezgru, oblika i razmaka između rebara, kao i opreme za proizvodnju. S obzirom na činjenicu da se toliko mnogo stvari mijenja veoma brzo, postavlja se pitanje mogu li se, u situaciji kad mnogi proizvođači nisu adekvatno ekipirani, na tržištu pojaviti proizvodi koji nisu prošli odgovarajuću kontrolu kakvoće konstrukcije i procesa proizvodnje. Potrebno je imati na umu činjenicu da u proizvodnji izolatora postoje veoma kritični koraci koji ne dopuštaju bilo kakve improvizacije u procesu.

Mnogi su korisnici već bili pokusni kunići, a njihova postrojenja i dalekovodi ispitne stanice nekih proizvođača. Zbog toga je prijeko potrebno da se korisnici ne zaokupljaju samo s problemima primjene i karakteristika kompozitnih polimernih izolatora, nego da otvore oči kad su u pitanju bilo kakve promjene što ih uvode proizvođači.

(iii) Održavanje pod naponom

Kao što smo već naveli ranije, iz razloga što postoji mala vjerojatnost da proces proizvodnje i kontrola kakvoće omoguće tako grube pogrješke koje bi dovele do velikih oštećenja u samom proizvodu, kao i zbog toga što bi proizvodnja velikih jedinica zahtijevala napone koje je veoma teško imati u tvorničkom krugu, kompozitni polimerni izolatori ne podvrgavaju se niti jednom električkom testu prilikom njihove proizvodnje. Činjenica da su se zbog unutrašnjih oštećenja, istina na malom broju izolatora u svijetu, dogodili preskoci odmah nakon njihovog instaliranja, kod mnogih koji obavljaju održavanje pod naponom stvara se zabrinutost. To je razlog zbog kojeg neki korisnici postavljaju zahtjeve za električkim ispitivanjem kompozitnih polimernih izolatora prije njihovog instaliranja u mrežu koja se nalazi pod naponom. Problem je, međutim, u činjenici da ne postoji standardizirana metoda za provođenje ovog ispitivanja.

(iv) Starenje i dugovječnost

Polimerni materijali nisu inertni kao porculan i staklo, nego stupaju u interakciju s okolinom, što dovodi do promjena u njihovim svojstvima tijekom vremena. Ove permanentne promjene, kao što smo već kazali, stavljamo pod jedan zajednički nazivnik – *starenje*. Starenje je obično povezano s deterioracijom (nereverzibilne promjene) karakteristika.

S konceptom starenja, povezan je niz drugih problema koji još uvijek nisu dobro definirani, pa onda, naravno, nisu ni riješeni:

- Što znači "dugovječnost" a što "kraj životne dobi" kod kompozitnih polimernih izolatora?
- Kako se oni mogu predodrediti i kvantificirati?
- Kako se različiti materijali u pogledu starenja ponašaju u različitim aplikacijama i sredinama?

S obzirom da proizvođači stalno mijenjaju materijale i konstrukcije, jasno je da se mehanizam starenja, dugovječnost i kraj životne dobi, također mijenjaju, tako da, na primjer, karakteristika starenja koja se odnosi na neku od starih konstrukcija ne može biti relevantna glede novih vrsta konstrukcija.

(v) Zaštitni prstenovi

Još uvijek ne postoje standardi koji reguliraju ovo veoma važno pitanje: ukoliko ovi prstenovi ne štite izolator, pojavit će se prijevremeni otkaz. Danas još uvijek svaki proizvođač daje svoje preporuke za primjenu svojih jedinstvenih zaštitnih prstenova. To otvara mogućnosti za instaliranje pogrješnih prstenova na danom izolatoru. Česti su slučajevi gdje je nepravilno instaliranje ili nepravilno rukovanje bilo uzročnikom ozbiljnih kvarova (krhki prijelom jezgre) na kompozitnim polimernim izolatorima. Ima i takvih situacija gdje proizvođač radi sniženja cijene isporučuje prstenove manjeg promjera, a da korisnici o tome ne samo da nisu dobili nikakvo tehničko objašnjenje nego čak nisu bili ni informirani.

(vi) Krhki prijelom

U jednoj anketi što ju je 1997. proveo *Edison Electric Institute* [1] dvadeset jedan od pedeset devet anketiranih korisnika (36%) izvijestio je o tome da su tijekom eksploatacije ovjesnih kompozitnih polimernih izolatora iskusili barem jedan krhki prijelom. Radi se o kvarovima na svim prijenosnim naponima i o kompozitnim polimernim izolatorima s i bez zaštitnih prstenova.

Krhki prijelom je kvar što ga je teško adresirati, budući da se uzročnik ove pojave može nalaziti u procesu proizvodnje, transportu i instaliranju, kao i u djelovanju različitih činitelja tijekom eksploatacije. Još uvijek ne postoji nikakav alat ili metoda za otkrivanje začetka ili trajanja ove vrste kvara.

Radne grupe IEEE i CIGRÉ, kao i različite istraživačke organizacije, uporno rade na problemu krhkog prijeloma, međutim, nepostojanje informacija i preporuka u ovoj oblasti još uvijek obeshrabruje mnoge korisnike da prihvate primjenu tehnologije kompozitnih polimernih izolatora.

**LITERATURA**


[1] R. S. GORUR, E. A. CHERNEY, J. T. BURNHAM: "Outdoor Insulators", Ravi S. Gorur, Inc., 1999, (book).

[2] K. SOKOLIJA: "Visokonaponski izolatori", Univerzitet u Sarajevu, ETF u Sarajevu, 2000. (knjiga).

[3] D. A. SWIFT et al.: "The DC Component of Leakage Current on AC Energized Out-door Insulation: the Efect of Dry Band Discharges", 5th ISH Braunschweig, 1987. Paper 51.14.

[4] E. A. CHERNEY, R. D. HOOTON: "Cement Grows Failure Mechanism in Porcelain Suspension insulators", IEEE, Vol. PWRD-2, No. 1., Jan. 1987.

[5] CIGRE WF. 22.03: "Worldwide Service Experience with HV Composite Insulators", Electra, Vol. 130, May 1990.

[6] Working Group 03 of Study Committee 22, "Worldwide Service Experience with HV Composite Insulators", Electra, No 191, 2000.

[7] T. KIKUCHI, S. NISHIMURA, M. NAGAO, K. IZUMI, Y. KUBOTA, M. SOKATA: "Survey on the Use of Non-ceramic Composite Insulators", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 6, No. 5, October 1999.

[8] CEVOSIL Composite Insulator A Superior Alternative to Porcelain, Fast Book Cevosil, AV-102 768-A, 08/1995.

[9] K. SOKOLIJA: "Dinamički model preskoka izolacije u uvjetima zagađene atmosfere", Doktorska disertacija, ETF Zagreb, 1988.

[10] E. A. CHERNEY, D. I. STONKUS: "Nonceramic Insulators for Contaminated Enviroments", IEEE/PES 1979. Paper F 80 181–8.

[11] E. M. SHERIF, A. E. VLASTOS: "Performance of Longrod Composite Insulators Under Various Contaminated Conditions", HVDC Insulator Symposium Univ. of S. California, Nov. 1985.

[12] E. M. SHERIF, A. E. VLASTOS: "Influence of Aging on the Electrical Properities of Composite Insulators", 5th ISH Braunschweig, 1987, Paper 51.01.

[13] A. E. VLASTOS: "Diagnosis of the Shed Surface Degradation on Composite Polymeric Insulators Long--Term Exposed to Outdoor Environment", CIGRE 1990. Session, Paper 15/33–05.

[14] H. DIETZ et al.: "Latest Development and Experience with Composite Longrod Insulators", CIGRE 1986, Session, Paper 15–09.

[15] E. A. CHERNEY: "State-of-the-Art Review on Composite Insulators Above 69 kV", CEA, Paper ST 118, April 1982.

[16] R. S. GORUR et al.: "The Electrical performance of Polymeric Insulating Materials Under Accelerating Aging in Fog Chamber", IEEE Trans. on Power Delivery, 1988.

[17] A. E. VLASTOS, E. M. SHERIF: "Experience form Insulators with RTV Silicone Rubber Sheds and Shed Coatings", IEEE/PES Winter Meeting, New York Jan. 1989, Paper VM 120–7 PWDR.

[18] R. G. HOULTAGE, D. A. SWIFT: "Composite Rod Insulators for AC Power Lines: Electrical Performance of Various designs at a Coastal Station", IEEE Trans. on Power Delivery, paper No. 90WM 026–5 PWRD, 1990.

[19] C. de TOURREIL: Discussion contribution to[19].

[20] R. S. GORUR et al.: "Aging in Silicone Rubber Used for Outdoor Insulation", IEEE Trans. on Power Delivery Vol. 7, No. 2, Apr. 1992.

[21] R. MUNTEANU: "Silicone Rubber Insulators on ESKOM'S AC Transmission Lines", AC and DC Power Transmission, Conf. Publ. No. 423, IEEE 1996.

[22] C. N. RAVERA et al.: "Silicone Rubber Insulators on ESKOM'S AC Transmission Lines", AC and DC Power Transmission, Conf. Publ. No. 423, IEEE 1996.

[23] W. L. WOSLOO, F. F. BOLOGNA: "High Voltage Insulators: The Backbone of Transmission and Distribution Networks", World Congress on Insulator Technologies for the Year 2000 and Beyond, Barcelona, 1999.

[24] J. J. MUNOZ: "Spanish Utily Moves to Composite Insulators", Interview in Insulator News & Market Report, Nov/Dec. 1997.

[25] J. BURNHAM: "Using Transmission Polymer Insulators to Reduce Costs and Increse Reliability", Int. Symp. on Modern Insulator Technologies, Miami, November, 1997.

[26] Florida Power & Light: Recent Experience with "Salt Storm" Outages, Insulator News & Market Report, Vol. 5., No. 3, May/June 1997.

[27] A. E. VLASTOS, E. M. SHERIF: "Natural Ageing of EPDM Composite Insulators", IEEE Trans, on Pow. Delivery, Vol. 5, No. 1, 1990.

[28] J. S. LOOMS: "Insulators for High Voltages", Peter Pergrius on behalf of IEE, 1988. (book).

[29] A. SHÜTZ: "Discussion Contribution to the Meeting of SC 33 during CIGRE 1996.", Insulator News & Market Report, Nov./Dec. 1996.

[30] B. POKARIER: "Experience and Applications with Non-Ceramic Insulators at Powerlink Queensland", Insulator New & Market Report, July/August, 1996.

[31] R. MUNTEANU: "Silicone Rubber Insulators Reduce Life Cycle Costs", Transmission and Distribution, No. 1994.

[32] New Los Angeles Transmission Project Goes Entirely to Silicone Insulators, Insulator News & Market Report, Vol. 2, No. 3., May/June, 1994.

[33] J. T. BURNHAM, P. GIVENS: "Present Worth Life Cycle Cost Evaluation of Polymeric and Porcelain Insulators", Insulator News & Market Report, Vol. 3, No. 6., November/ December, 1995.

## COMPOSITE POLYMER INSULATORS IN TRANSMISSION AND DISTRIBUTION OF ELECTRIC ENERGY

In the work short history of composite insulators is given. Advantages and disadvantages of conventional insulators are given (glass and porcelain) as well as of composite polymer insulators. After that the analysis and comparison between conventional and composite polymer insulators regarding their mechanical and electrical characteristics, behavior under difficult circumstances as well as their economic evaluation based on data published in worldwide literature is given. Finally, some still open questions regarding the application of polymer insulators in transmission and distribution of electric energy are discussed.

## KOMPOSITE POLYMERE ISOLATOREN IN ÜBERTRAGUNGS- UND VERSORGUNGSNETZEN

Im Artikel ist eine kurzgefasste Geschichte der Entwicklung von kompositem polymeren Isolatoren dargestellt. Gegeben ist eine Übersicht der Vor- und Nachteile konventioneller (Glas- und keramischen) Isolatoren, sowie kompositer polymerer Isolatoren. Im Bezug auf ihre mechanische und elektrische Eigenschaften, auf ihr Benehmen in erschwerten Betriebsbedingungen, sowie auf die Wirtschaftlichkeit, an Hand der in den allweltlich anerkannten Fachzeitschriften veröffentlichten Angaben, ist danach eine Untersuchung und ein Vergleich der konventionellen und der kompositen polymeren Isolatoren dargestellt. Am Ende wurden manche, noch immer offene Fragen bezüglich der Anwendung konventioneller und kompositer polymerer Isolatoren in Übertragungs- und Versorgungsnetzen erörtet.

Naslov pisaca:

**Prof. dr. sc. Zijad Haznadar, dipl. ing.**
**prof. dr. sc. Sead Berberović, dipl. ing.**
**prof. dr. sc. Željko Štih, dipl. ing.**
**Fakultet elektrotehnike i računarstva**
**Unska 3**
**10000 Zagreb, Hrvatska**

**prof. dr. sc. Kemo Sokolija, dipl. ing.**
**Elektrotehnički fakultet**
**Zmaja od Bosne b.b.**
**71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina**

Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 07 – 17.

# POGON VJETROELEKTRANA

Dr. sc. Nijaz Dizdarević – dr. sc. Matislav Majstrović – dr. sc. Srđan Žutobradić, Zagreb

UDK 621.311.24.05
PREGLEDNI ČLANAK

U ovom je radu predstavljen generički model sustava za pretvorbu vjetra u električnu energiju. Razmotrena je općenita shema djelovanja vjetroelektrane koja obuhvaća elemente projektirane obzirom na tri oblika energije: energiju vjetra, mehaničku energiju te električnu energiju. U svrhu analize pogona vjetroelektrane nužno je provesti razmatranja elektroničkog sučelja prema izmjeničnoj mreži, generatora, vjetroturbine kao pogonskog stroja te vjetra kao primarnog izvora energije. Osnovna obilježja pogona vjetroelektrane opisana su sa stajališta izbora izvedbe vjetroelektrane obzirom na vrstu priključenja na mrežu te stalnost brzine vrtnje glavne osovine.

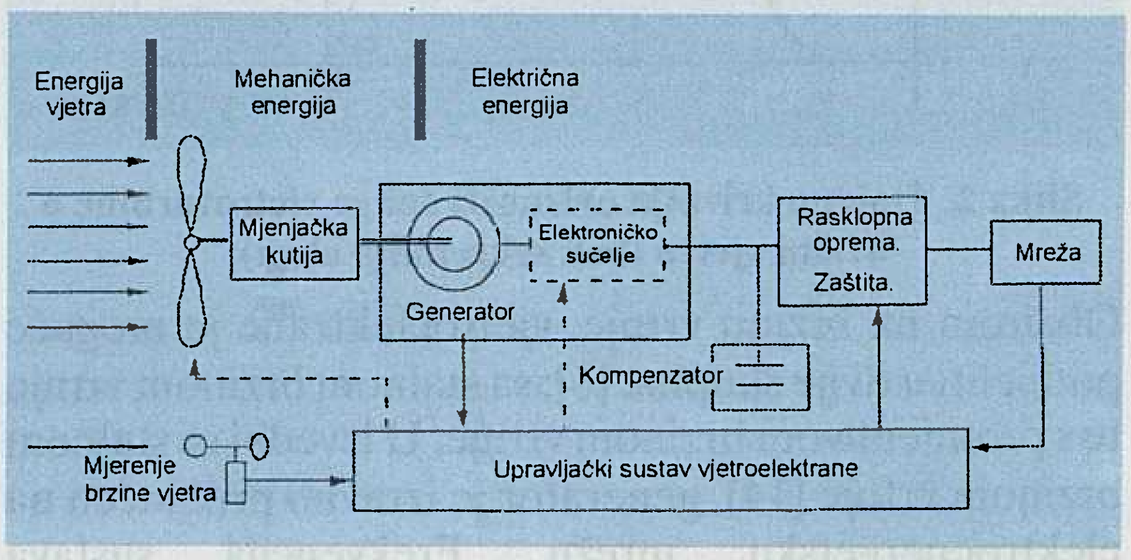
**Ključne riječi: vjetroelektrana, elektroničko sučelje, generator, vjetroturbina, vjetar.**

## 1. OPĆENITI OPIS SUSTAVA ZA PRETVORBU ENERGIJE VJETRA U ELEKTRIČNU ENERGIJU

Sustav za pretvorbu energije vjetra u električnu energiju (vjetroelektrana) transformira energiju gibajuće zračne mase u električnu energiju [10, 12]. Vjetar predstavlja izrazito promjenjivi energetski resurs koji se ne može uskladištiti. Obzirom na nemogućnost uskladištenja potrebno je definirati uvjete pogona sustava za pretvorbu energije vjetra unutar elektroenergetskog sustava. Vjetrenjače su u uporabi od 10. stoljeća, a u Europi su postale široko rasprostranjene u 18. stoljeću. Proizvodnja električne energije iz vjetroelektrana započinje 1940-ih godina u Njemačkoj, SAD i Danskoj. Od tog doba kreće masovna proizvodnja komponenti i sustava vezanih uz vjetroelektrane. Stanje njihove razvijenosti danas doseže razinu visoke pouzdanosti i isplativosti. Razvijene su jedinice u rasponu od 500 kW do 1500 kW koje se ističu visokom raspoloživošću i dobrim mogućnostima povrata investicije.

Općenita shema djelovanja vjetroelektrane (slika 1) obuhvaća elemente koji se projektiraju obzirom na tri oblika energije: energiju vjetra, mehaničku energiju te električnu energiju. Predočeni su samo glavni dijelovi sustava (crtkanom linijom su označeni dijelovi koji nisu prisutni u svim izvedbama).

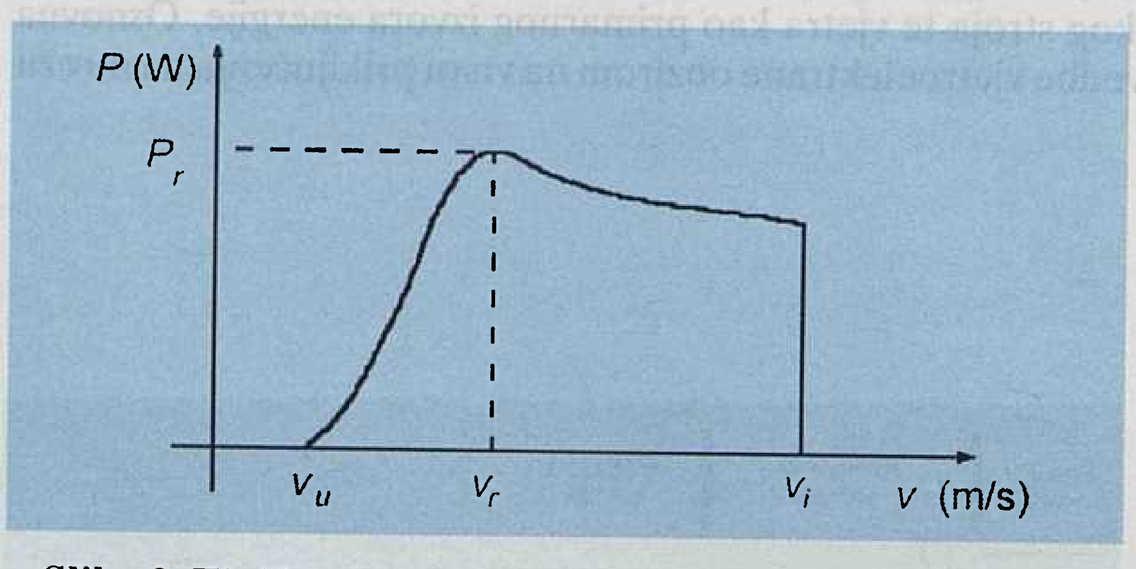
Energija vjetra transformira se u mehaničku energiju korištenjem vjetroturbine koja ima jednu ili više elisa. Obzirom na razinu buke i vizualni efekt, izvedba s tri elise predstavlja najčešće rješenje. Spoj između vjetroturbine i generatora ostvaren je pomoću mehaničke spojke. Mehanička spojka uobičajeno u sebi uključuje mjenjačku kutiju s prijenosnikom pomoću kojeg se niža brzina vrtnje rotora vjetroturbine prilagođava višoj brzini vrtnje rotora generatora. Vjetroturbine novijeg dizajna koriste višepolne niskobrzinske generatore koji su uglavnom sinkroni s uzbudnim namotom ili uzbudnim permanentnim magnetima kako bi se uklonila potreba za mehaničkim prijenosnikom. U opremi nekih vjetroturbina nalazi se sustav za upravljanje kutem zakreta elisa pomoću kojeg se utječe na iznos snage pretvorbe. Brzina vjetra mjeri se anemometrom. Generator transformira mehaničku u električnu energiju, a može biti sinkroni ili asinkroni. Ukoliko se radi o sinkronom generatoru, opremu je potrebno proširiti uvođenjem sustava uzbude ili permanentnih magneta. Vjetroelektrana u izvedbi s promjenjivom brzinom vrtnje priključuje se na mrežu putem sučelja zasnovanog na energetskoj elektronici. Elektroničko sučelje može biti projektirano na temelju vrlo različitih konfiguracija. Jedinica za kompenzaciju jalove snage može u sebi uključivati uređaj za korekciju faktora snage (aktivne ili pasivne naravi) te filtere za više harmoničke članove. Filteri postaju neophodni ukoliko su elektroničke naprave priključene na mrežu. Rasklopna oprema treba biti projektirana na način koji omogućuje glatko priključenje na mrežu što predstavlja uobičajeni i standardizirani zahtjev. U standardima su također specificirani zaštitni uređaji koji su neophodni za pogon proizvodne




**Slika 1. Općenita shema djelovanja vjetroelektrane**

jedinice. Konačno, upravljački sustav vjetroelektrane može biti izveden s različitim stupnjevima složenosti. Detaljniji opis nalazi se u nastavku.

Snaga koju vjetroturbina predaje generatoru prema tipičnom obliku ovisi o brzini vjetra (slika 2). Kod vjetroelektrane s promjenjivom brzinom vrtnje, gornji dio krivulje koji se nalazi između referentne brzine vjetra $v_r$ i izlazne brzine $v_i$ moguće je održavati jednakim referentnoj snazi vjetroturbine $P_r$. Na slici 2 korištene su slijedeće oznake: $P_r$ referentna snaga vjetroturbine (najveća snaga koju vjetroturbina može postići), $v_r$ referentna brzina vjetra (brzina vjetra pri kojoj se postiže referentna snaga), $v_u$ ulazna brzina vjetra (brzina vjetra pri kojoj vjetroturbina započinje predaju snage) i $v_i$ izlazna brzina vjetra (gornja granica brzine vjetra pri kojoj vjetroturbina ostaje u pogonu).




**Slika 2. Tipična krivulja ovisnosti snage vjetroturbine o brzini vjetra (bez zakretanja elisa)**

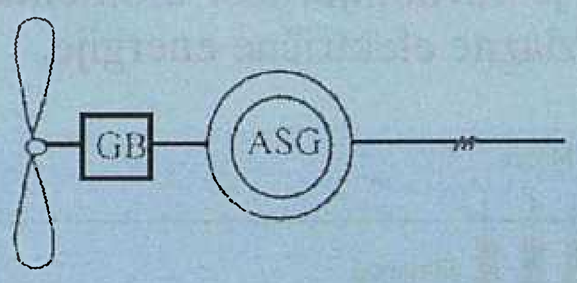
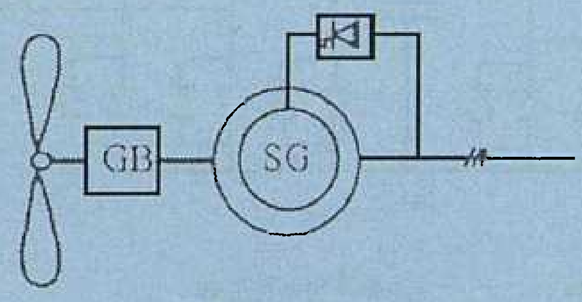
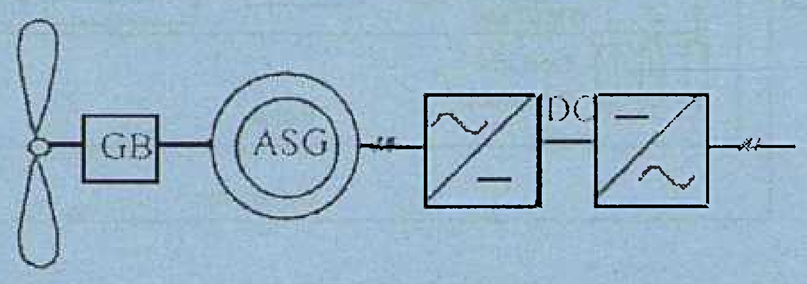
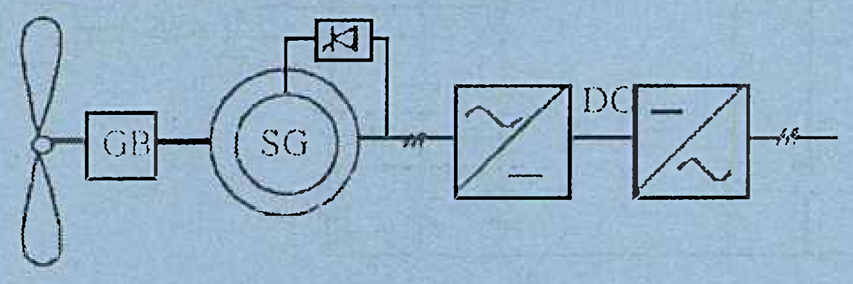
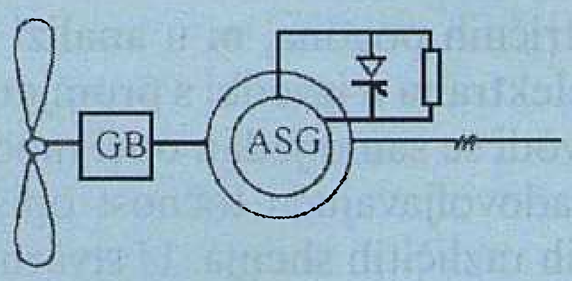
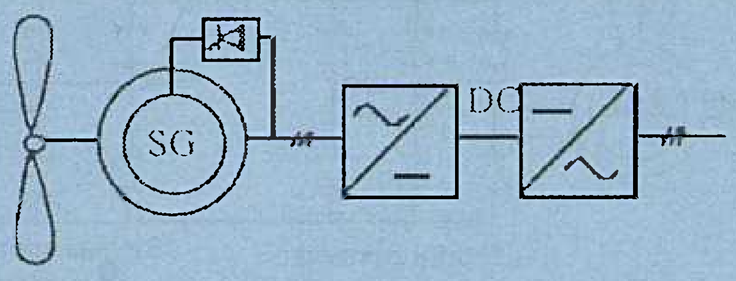
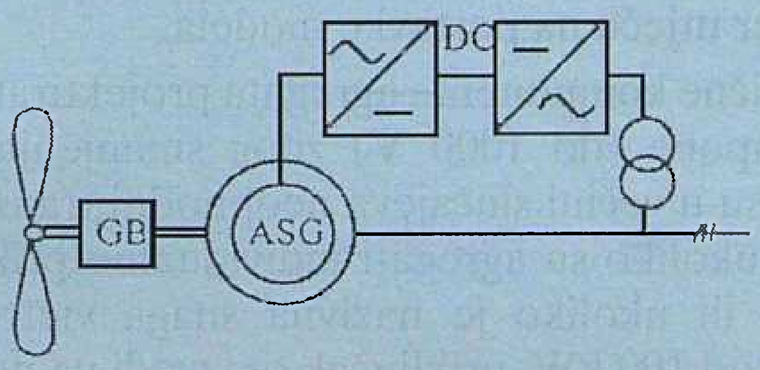
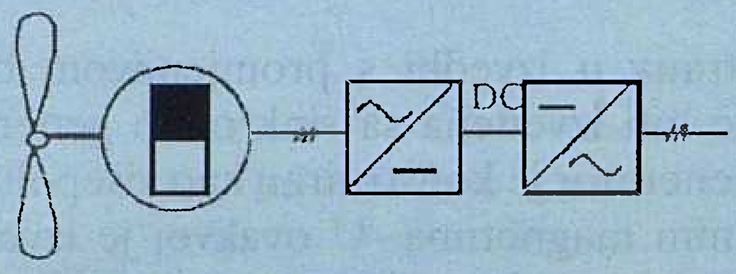
Obzirom na brzinu vrtnje, vjetroelektrane je moguće podijeliti u dvije skupine [6]; sa stalnom brzinom vrtnje te s promjenjivom brzinom vrtnje. U izvedbi sa stalnom brzinom vrtnje [14], generator je izravno priključen na elektroenergetsku mrežu. Frekvencija sustava određuje brzinu vrtnje generatora te time i rotora. Niska brzina vrtnje rotora vjetroturbine transformira se u visoku brzinu vrtnje generatora putem mjenjačke kutije s prijenosnikom. Brzina vrtnje generatora ovisi o broju pari polova i frekvenciji mreže. U izvedbi s promjenjivom brzinom vrtnje [17], generator je priključen na mrežu ili putem inverterskog sustava zasnovanog na energetskoj elektronici ili napajanjem uzbudnih namota generatora iz inverterskog sustava vanjske frekvencije. Brzina vrtnje okretnog magnetskog polja generatora, te time i rotora, odvojena je od frekvencije sustava. Rotor je u pogonu s promjenjivom brzinom vrtnje koja se prilagođava trenutnim stanjima brzine vjetra. Svaka vjetroturbina može biti u izvedbi sa ili bez sustava za regulaciju kuta zakreta elisa (*eng. pitch or stall regulated*). Pomoću tog regulacijskog sustava, elisa se zakreće oko njezine duže osi. Korištenjem regulacijskog mehanizma moguće je smanjiti mehaničku snagu prema karakteristikama vjetroturbine. Ukoliko vjetroturbina nije izvedena s regulacijskim sustavom zakretanja, pozornost se pridaje konstrukciji elisa. Elise se projektiraju u skladu s aerodinamičkim efektom. Na taj se način vjetroturbinu štiti od povišenja snage u uvjetima kada brzina vjetra nadvisuje nazivnu razinu.

Obzirom na vrstu priključenja na mrežu, većinu je postojećih vjetroelektrana moguće svrstati u neku od slijedećih skupina (slika 3):

I. Vjetroelektrana u izvedbi sa stalnom brzinom vrtnje koja je izravno priključena na mrežu:
   A. Vjetroturbina s asinkronim generatorom i
   B. Vjetroturbina sa sinkronim generatorom.
II. Vjetroelektrana u izvedbi s promjenjivom ili djelomično promjenjivom brzinom vrtnje:
   A. Sinkroni ili asinkroni generator s pretvaračem u glavnom strujnom krugu,
   B. Asinkroni generator s upravljivim promjenjivim klizanjem i
   C. Asinkroni generator s nadsinkronom ili podsinkronom pretvaračkom kaskadom.

U svakom od navedenih sustava vjetroturbina može biti u izvedbi sa ili bez sustava za regulaciju kuta zakreta elisa. Prednosti vjetroelektrane u izvedbi sa stalnom brzinom vrtnje su jednostavnost i niski troškovi. Asinkroni generator potrebno je opremiti s dodatnim izvorom jalove snage. Vjetroelektrane u izvedbi s promjenjivom brzinom vrtnje omogućavaju veću proizvodnju električne energije, manja mehanička naprezanja mehaničkih dijelova te ravnomjerniju proizvodnju koja je manje ovisna o promjenama vjetra i njihanjima u sustavu. U nekima od tih vjetroelektrana, spoj rotora vjetroturbine i generatora konstrukcijski je izveden bez mjenjačke kutije. Ponekad se pokazuje potrebnim dodatno uvesti zasebnu kompenzaciju viših harmoničkih članova zbog postojanja elektroničkih pretvarača. Izravni priključak asinkronog generatora na mrežu najčešća je vrsta priključenja. Koristi se kod velikog broja različitih vjetroelektrana čije se vjetroturbine nalaze u rasponu nazivnih snaga između 50 kW i 1500 kW. Najveće jedinice uobičajeno su izvedene bez regulacijskog sustava zakretanja elisa. Izravni priključak sinkronog generatora na mrežu primjenjuje se samo kod manjeg broja malih vjetroelektrana koje su uglavnom u samostojećim sustavima. Vjetroelektrane u izvedbi s promjenjivom brzinom vrtnje primjenjuju se sve češće.

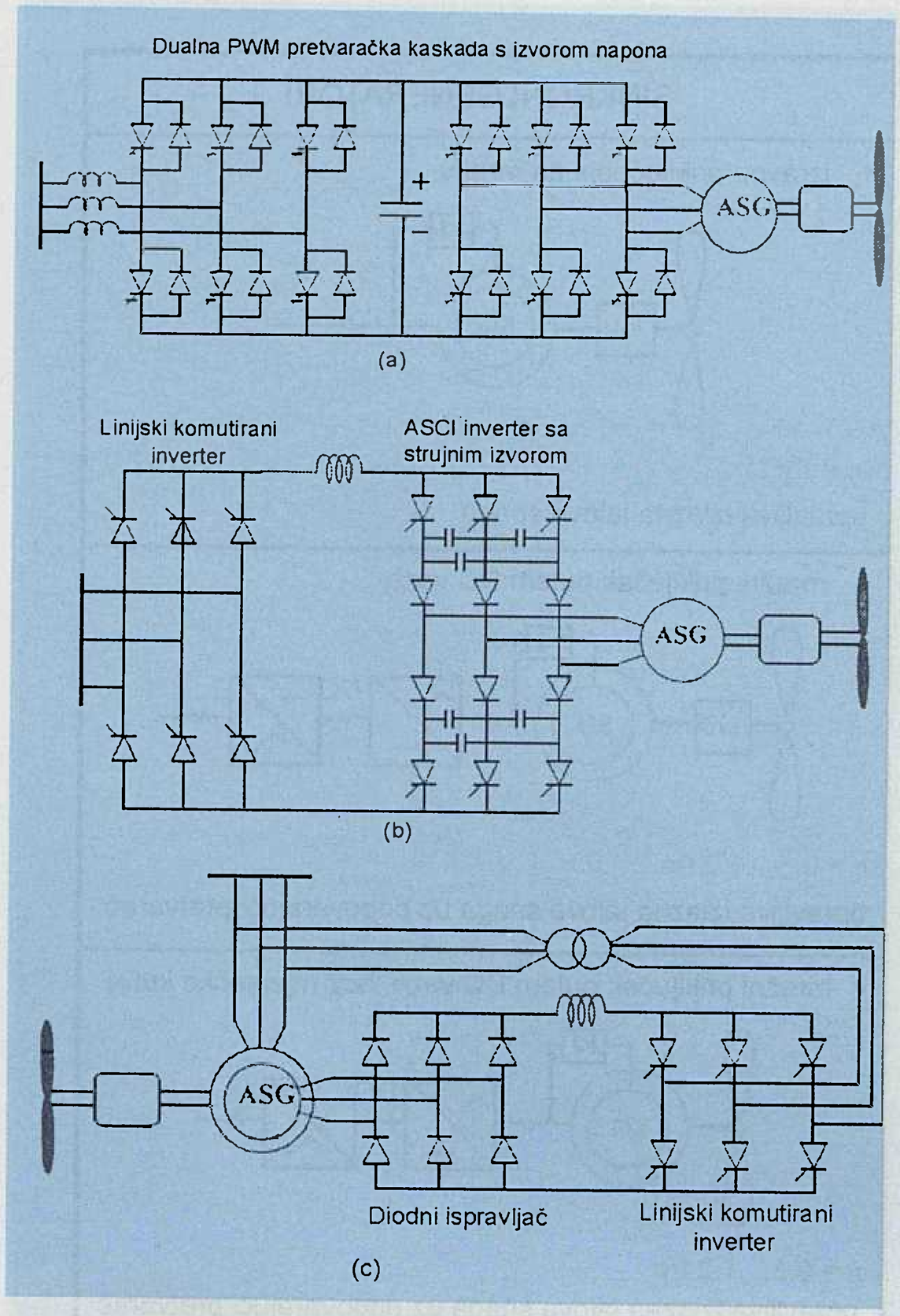
Veličina pripadnih vjetroturbina sve više raste. Osnovni cilj pogona s promjenjivom brzinom vrtnje vjetroturbine pronalazi se u optimizaciji njezine učinkovitosti, odnosno u maksimiziranju iskorištenja raspoložive energije vjetra. Vjetroturbine s promjenjivom brzinom vrtnje tehnološki su motivirane rješenjima iz područja električnih pogona prilagodljive brzine. Pogon s promjenjivom brzinom vrtnje moguće je ostvariti korištenjem odgovarajuće kombinacije generatora i pretvarača utemeljenog na energetskoj elektronici. Jedan primjer predstavlja asinkroni generator s kaveznim ili namotanim rotorom te sa statorskom ili rotorskom pretvaračkom kaskadom. U drugom primjeru, sinkroni generator s uzbudnim namotom ili uzbudnim permanentnim magnetima ima statorsko AC/DC/AC pretvaračko sučelje prema mreži. Svaka

| ASINKRONI GENERATORI | SINKRONI GENERATORI |
|---|---|
| • izravno priključenje na mrežu<br>  <br><br>n = (1-s) f/p  s = 0…0.08<br>potrošač induktivne jalove snage | • izravno priključenje na mrežu<br>  <br><br>n = f/p<br>upravljiva izlazna jalova snaga |
| • mrežni priključak putem DC veze<br>  <br><br>n = 0.8…1.2 f/p<br>upravljiva izlazna jalova snaga uz odgovarajući pretvarač | • mrežni priključak putem DC veze<br>  <br><br>n = 0.5…1.2 f/p<br>upravljiva izlazna jalova snaga uz odgovarajući pretvarač |
| • dinamički upravljivo klizanje<br>  <br><br>n = (1-s) f/p  s = 0…0.1…0.3<br>potrošač induktivne jalove snage | • mrežni priključak putem DC veze, bez mjenjačke kutije<br>  <br><br>n = 0.5…1.2 f/p<br>upravljiva izlazna jalova snaga uz odgovarajući pretvarač |
| • asinkroni generator s dvostranim napajanjem<br>  <br> | • PMSG priključen putem DC veze<br>  <br><br>n = 0.6…1.2 f/p<br>upravljiva izlazna jalova snaga uz odgovarajući pretvarač |

**Slika 3. Vrsta priključenja vjetroelektrane na mrežu**

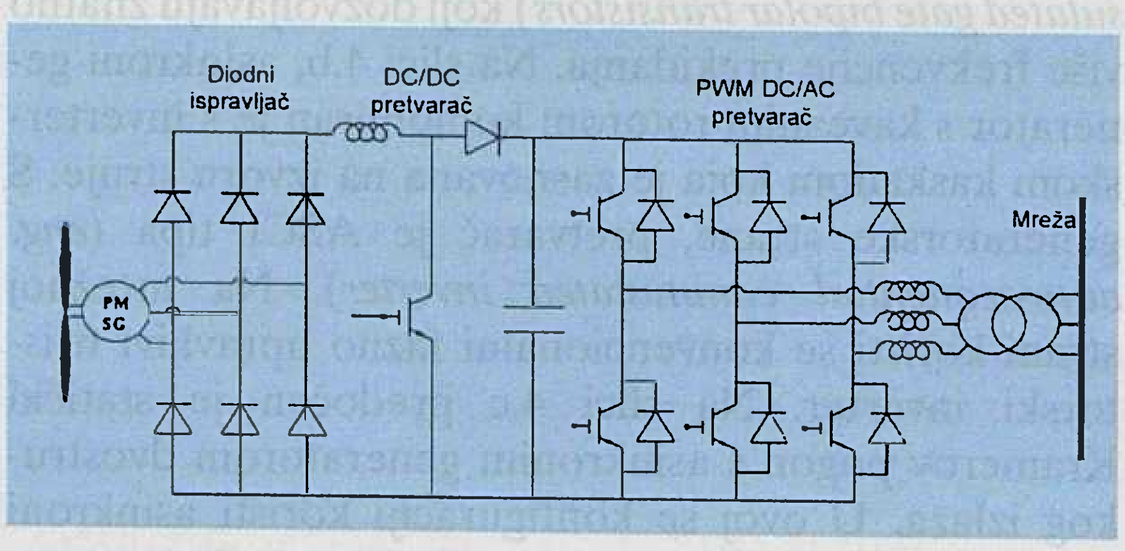
kombinacija generatora i pretvarača ima svoje prednosti i nedostatke obzirom na troškove, složenost, pogonske i upravljačke karakteristike, dinamička svojstva, harmoničke članove, regulaciju faktora snage...

U današnjem stanju razvoja niti jedna shema se ne izdvaja kao znatno nadmoćnija u odnosu na ostale. Testiraju se i vrednuju različite konfiguracije električnog dijela vjetroelektrane. U svrhu ilustracije razmotrene su tri različite sheme vjetroelektrane u izvedbi s promjenjivom brzinom vrtnje i asinkronim generatorom (slika 4). Na slici 4.a predočena je shema prema kojoj se asinkroni generator s kaveznim rotorom priključuje na mrežu putem dualne pretvaračke kaskade s izvorom napona i pulsno-širinskom modulacijom. Prekidački elementi su GTO tiristori (*eng. gate turn off thyristors*), iako se u današnje doba na razinama snage iznad 1 MW sve češće koriste IGBT tranzistori (*eng. insulated gate bipolar transistors*) koji dozvoljavaju znatno više frekvencije prekidanja. Na slici 4.b, asinkroni generator s kaveznim rotorom kombiniran je s inverterskom kaskadom koja je zasnovana na izvoru struje. S generatorske strane, pretvarač je ASCI tipa (*eng. auto-sequential commutated inverter*). Na mrežnoj strani koristi se konvencionalni fazno upravljivi tiristorski inverter. Na slici 4.c predočen je statički Kramerov pogon s asinkronim generatorom dvostrukog izlaza. U ovoj se konfiguraciji koristi asinkroni stroj s namotanim rotorom te s rotorskom pretvaračkom kaskadom. Kaskada se sastoji od diodnog ispravljača i linijski komutiranog tiristorskog invertera.



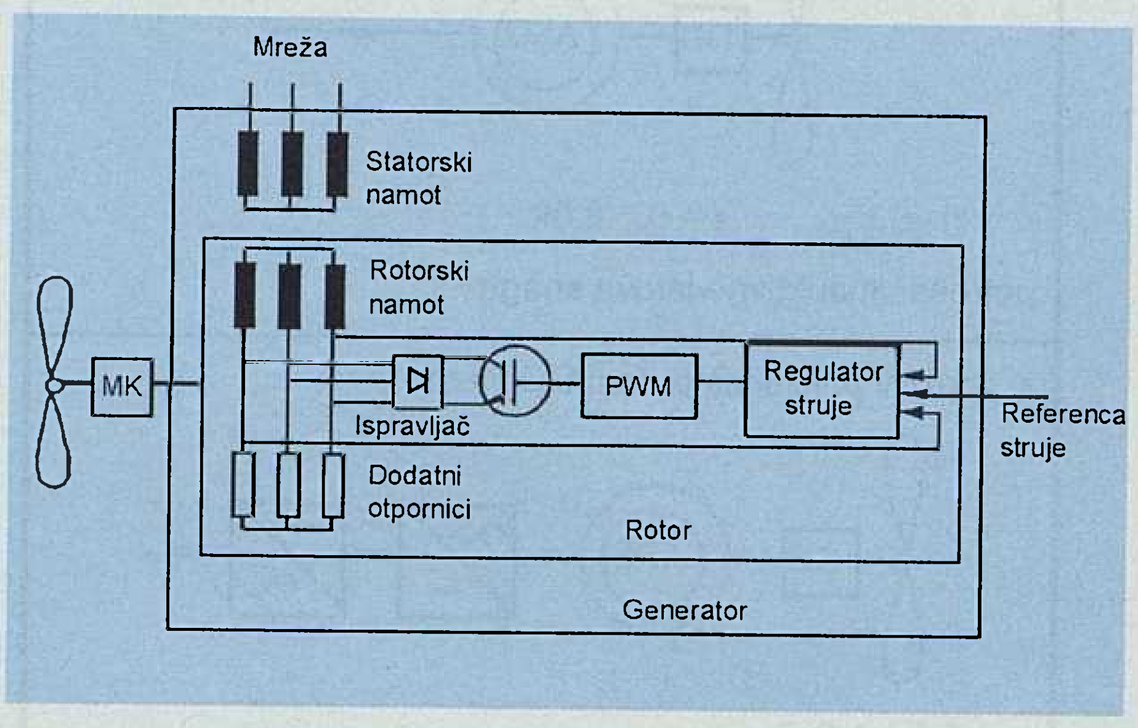

**Slika 4. Različite sheme vjetroelektrane u izvedbi s promjenjivom brzinom vrtnje i asinkronim generatorom**

Vjetroelektrana u izvedbi s promjenjivom brzinom vrtnje može biti izvedena sa sinkronim generatorom (slika 5). Generator je konstruiran kao višepolni stroj s permanentnim magnetima. U ovakvoj je izvedbi uklonjena potreba za mjenjačkom kutijom u pogonskom dijelu. Izlazne se veličine generatora najprije ispravljaju, a zatim invertiraju u izmjenične vrijednosti putem IGBT invertera s izvorom napona i pulsnoširinskom modulacijom. Alternativno rješenje izvedbe s promjenjivom brzinom vrtnje odnosi se na vjetroelektranu u kojoj se koristi asinkroni generator s namotanim rotorom te s elektronički upravljivim vanjskim




**Slika 5. Vjetroelektrana u izvedbi s promjenjivom brzinom vrtnje koja koristi sinkroni generator s permanentnim magnetima bez mjenjačke kutije**

djelatnim otporom priključenim na njegove rotorske krugove (slika 6). Neki proizvođači smatraju ovu shemu poželjnijom od ostalih zbog jednostavnosti iako ima ograničeni raspon promjenjivosti brzine (do 10%). Postignuta je ravnomjernost momenta, ali bez maksimizacije izlazne električne energije.

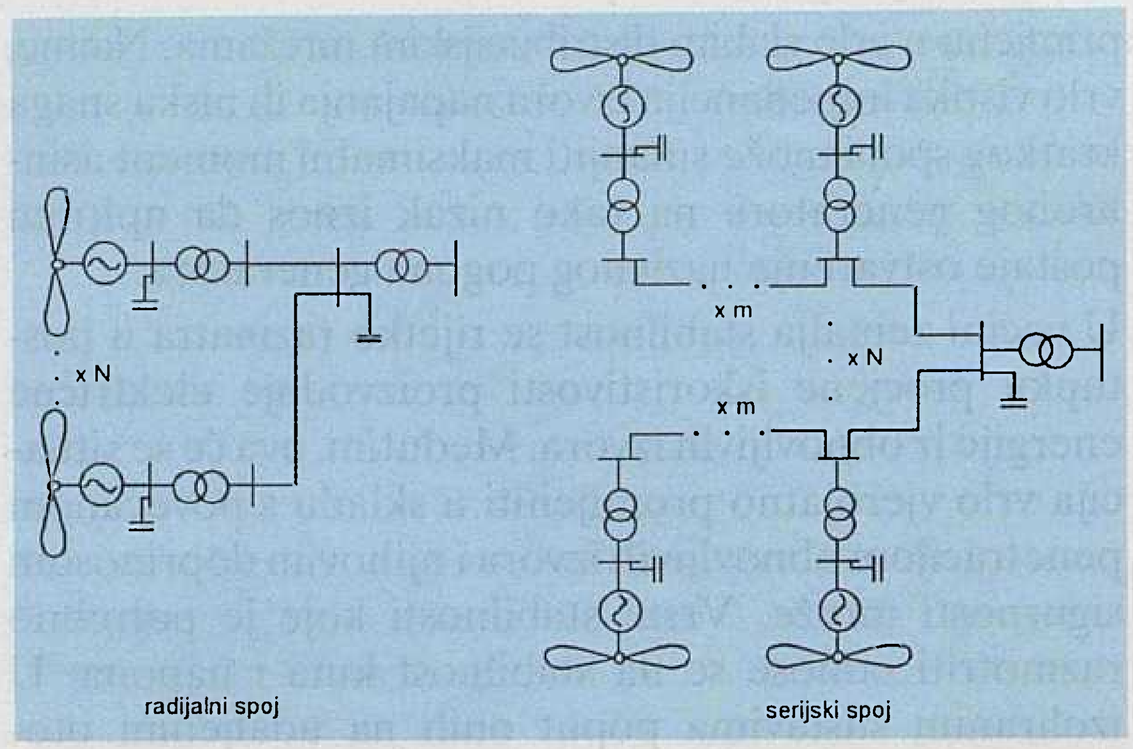



**Slika 6. Vjetroelektrana u izvedbi s promjenjivom brzinom vrtnje koja koristi asinkroni generator s upravljivim promjenjivim klizanjem**

Poput električnih pogona, ni u analizi prijelaznih pojava vjetroelektrana u izvedbi s promjenjivom brzinom vrtnje ne uvodi se samo jedan opći model pomoću kojeg se uz zadovoljavajuću točnost opisuje dinamičko vladanje svih različitih shema. U stvarnosti svaka konfiguracija zahtijeva izradu individualnog modela koji ovisi o vrsti generatora, pretvarača i korištenih upravljačkih sustava. Zahtjevi poput vremenskog perioda promatranja odziva i naravi prijelazne pojave također utječu na postavke modela.

Električne komponente agregata projektirane su za niske napone (do 1000 V) zbog smanjenja troškova. Stoga su u većini slučajeva neophodni transformatori. Samo ukoliko su agregati individualno priključeni na mrežu ili ukoliko je nazivna snaga vjetroelektrane manja od 100 kW, priključak se izvodi na niskonaponsku mrežu. Ako se nazivna snaga nalazi u rasponu između 100 kW i nekoliko MW, priključak se izvodi na srednje naponsku mrežu (10 kV - 66 kV) [7]. Velike vjetroelektrane (na primjer više od 50 MW) priključuju se na visokonaponsku mrežu [8]. U nekim je zemljama kriterij prema kojem se izvodi priključenje vjetroelektrana na mrežu vezan uz omjer između snage kratkog spoja u točki priključka i nazivne snage vjetroelektrane. Međutim, ovaj je kriterij teško zadovoljiti ukoliko je vjetroelektrana smještena u području s niskom prijenosnom moći. Agregati se na mrežu priključuju individualno ili u skupinama. Konfiguracija priključka definira se na više načina. Dva osnovna su radijalni i serijski (slika 7).

Većina se postojećih načina izvođenja procjene interakcije između vjetroelektrane i električne mreže temelji na detaljnim modelima. Njima se simulira vladanje pojedinačnih agregata ili cijelog vjetroparka tijekom prijelaznih režima rada. Osnovni nedostatak




**Slika 7. Osnovne konfiguracije priključenja agregata unutar vjetroelektrane**

temeljnih modela odnosi se na zahtjevnost proračuna koja može dosegnuti granicu nepraktičnosti ukoliko se razmatra vjetroelektrana s 20 i više pojedinačnih agregata. Praktičnost proračuna vrlo je značajna obzirom da pri razmatranju interakcije između vjetroelektrane i mreže uključenje brzih dinamičkih članova ne doprinosi uvijek dobivanju relevantne informacije. Korištenje reduciranog modela vjetroelektrane uvelike olakšava provođenje analize stabilnosti velikog sustava. Time se javlja potreba za dinamičkim ekvivalentiranjem vjetroelektrane, pri čemu bi ekvivalent trebao zadržati relevantnu razinu dinamike obzirom na električnu mrežu. Ekvivalenti se postavljaju na način da je omogućen proračun utjecaja fluktuacije brzine vjetra.

Prvi korak prema uspostavljanju takvih dinamičkih ekvivalenata predstavlja primjena metodologije za redukciju reda modela. Vrijedno je napomenuti da se tim tehnikama, dakle, ne izvodi agregacija već se reducira red sustava. To zapravo znači da je za svaku od postojećih vjetroelektrana neophodno riješiti manji broj jednostavnijih diferencijalnih jednadžbi. Tehnike poput singularnih perturbacija pokazale su se najprihvatljivijima u postizanju reduciranih modela uz istodobno očuvanje prihvatljive razine točnosti. U daljnjem koraku, pojednostavljenje reduciranog modela postiže se primjenom tehnika agregacije nad prethodno razvijenim singularno perturbiranim modelom vjetroelektrane. U konačnici, ovisno o uvjetima vjetra moguće je dobiti model koji sa samo jednim agregatom predstavlja vjetroelektranu.

## 2. MODELIRANJE VJETROELEKTRANE OBZIROM NA ZAHTJEVE STABILNOSTI

Stabilnost elektroenergetskog sustava opisuje se kao sposobnost zadržavanja stanja pogonske ravnoteže pri normalnim uvjetima pogona te kao sposobnost postizanja prihvatljivog stanja ravnoteže u uvjetima pogona nakon pojave poremećaja [1, 2, 3, 15].

Stabilnost kuta rotora generatora odnosi se na sposobnost zadržavanja sinkronizma međusobno povezanih sinkronih strojeva unutar ees-a pri normalnim uvjetima pogona te nakon poremećaja. Stabilnost kuta ovisi o sposobnosti održavanja i/ili ponovnog uspostavljanja stanja ravnoteže između elektromagnetskog momenta i mehaničkog momenta svakog sinkronog stroja u sustavu. Nestabilnost se javlja u obliku povećanog njihanja kuta rotora nekih generatora što dovodi do gubitka sinkronizma s ostalim generatorima. Odzivi glavnih varijabli promatraju se u kratkotrajnom vremenskom periodu nakon nastanka poremećaja. Obzirom na veličinu poremećaja, stabilnost kuta se manifestira u dva oblika:

- Stabilnost kuta obzirom na male poremećaje odnosi se na sposobnost zadržavanja sinkronizma pri malim poremećajima. Poremećaji su dovoljno mali tako da je linearizacija sustava jednadžbi dozvoljena u analitičke svrhe.
- Prijelazna stabilnost odnosi se na sposobnost zadržavanja sinkronizma nakon ozbiljnih prolaznih poremećaja. Rezultirajući odziv sustava uključuje pojavu velikih odstupanja kuteva rotora generatora i pod izrazitim je utjecajem nelinearnog odnosa snage i kuta.

Stabilnost napona odnosi se na sposobnost zadržavanja prihvatljivih iznosa napona u svim čvorištima sustava pri normalnim uvjetima pogona te nakon poremećaja. Nestabilnost se javlja u obliku progresivnog pada ili porasta iznosa napona u nekim čvorištima. Glavni uzročnik nestabilnosti napona nalazi se u nesposobnosti sustava da zadrži odgovarajuću uravnoteženost proizvodnje i tokova jalove snage unutar sustava u kojem tereti imaju sposobnost oporavka snage. Odzivi glavnih varijabli promatraju se u kratkotrajnom i dugotrajnom vremenskom periodu nakon nastanka poremećaja.

Obzirom na veličinu poremećaja, stabilnost napona se također manifestira u dva oblika:

- Stabilnost napona pri malim poremećajima odnosi se na sposobnost sustava da upravlja naponima nakon pojave malih promjena (promjene opterećenja ili ispadi elemenata mreže).
- Stabilnost napona pri velikim poremećajima odnosi se na sposobnost sustava da zadrži napone unutar dozvoljenih granica nakon velikih poremećaja poput trofaznog kratkog spoja.

Stabilnost frekvencije opisuje se kao sposobnost zadržavanja frekvencije unutar nazivnog raspona vrijednosti nakon ozbiljnih poremećaja koji ponekad mogu rezultirati podjelom sustava na električki međusobno razdvojene dijelove. Stabilnost frekvencije ovisi o sposobnosti sustava da ponovo uspostavi stanje uravnoteženosti između proizvodnje i opterećenja u sustavu uz minimalni gubitak tereta. Odzivi glavnih varijabli promatraju se u kratkotrajnom i dugotrajnom vremenskom periodu nakon nastanka poremećaja. Stabilnost frekvencije ocjenjuje se samo obzirom na velike poremećaje.

Priključenje vjetroelektrana na električnu mrežu može imati značajan utjecaj na sve vrste stabilnosti. Vjetroelektrane se najčešće priključuju na distribucijsku mrežu. Suvremeni distribucijski sustavi projektirani su na način da omoguće prihvat snage iz prijenosne mreže te da je zatim razdijele potrošačima. Stoga je smjer tokova djelatne i jalove snage uvijek bio od više prema nižoj naponskoj razini. Međutim, uz značajniju penetraciju distribuiranih proizvodnih izvora tokovi snaga mogu poprimiti obrnuti smjer. Na taj način distribucijska mreža više ne bi bila pasivne naravi (napajanje potrošača), već aktivne prema kojoj bi tokovi snaga i naponi bili određeni na osnovi kako opterećenja tako i proizvodnje. Promjena tokova djelatne i jalove snage koja je uzrokovana distribuiranom proizvodnjom stvara značajne tehničke i ekonomske posljedice po elektroenergetski sustav.

Analiza distribucijskih mreža do sada nije obuhvaćala problem stabilnosti obzirom da je mreža bila pasivne naravi te da je uz stabilnu prijenosnu mrežu zadržavala stabilnost u velikoj većini slučajeva. Nadalje, u ranim shemama primjene distribuirane proizvodnje čiji je cilj bio proizvesti kWh iz novih obnovljivih izvora energije, razmatranja prijelazne stabilnosti generatora nisu bila od velikog značenja. Naime, ukoliko bi poremećaj u distribucijskoj mreži uzrokovao propad napona i ispad distribuiranog proizvodnog izvora tada bi jedini gubitak bio povezan s nemogućnosti proizvodnje tijekom kratkog vremenskog perioda. Agregat distribuiranog izvora bi se ubrzao iznad dozvoljene brzine i bio isključen proradom unutarnje zaštite. Sustav upravljanja pogonom agregata bi zatim pričekao ponovnu uspostavu prihvatljivih uvjeta u mreži i ponovo ga automatski pokrenuo. Naravno, ukoliko distribuirani izvor nije obnovljivog već kogenerativnog tipa kod kojeg bi shema proizvodnje bila posvećena većinskoj isporuci pare kao medija kritičnog za cjelokupni proces, tada bi više pozornosti bilo posvećeno očuvanju pogona generatora za slučaj udaljenijih poremećaja u mreži. U uvjetima kada je iznos tromosti agregata distribuiranog izvora nizak, a iznos vremena prorade zaštite visok, stabilnost distribucijske mreže nije moguće održati za sve eventualne poremećaje.

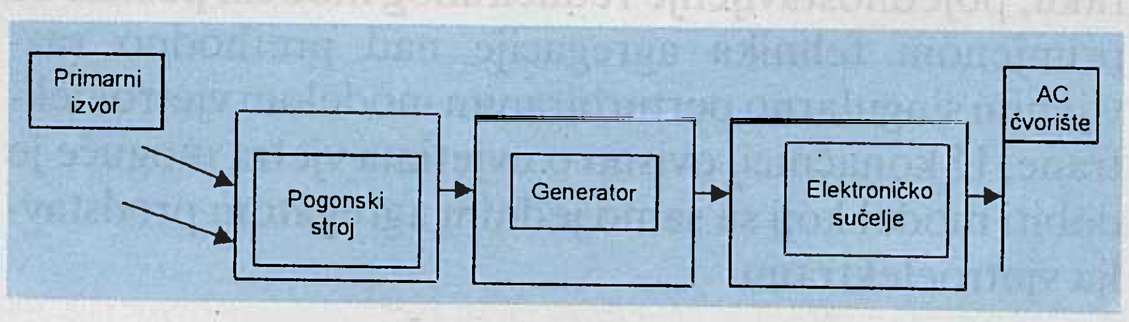
Osobite probleme u nekim zemljama čini neželjena prorada releja za otkrivanje brzine promjene frekvencije. Ti releji imaju vrlo osjetljiva udešenja kako bi otkrili pojavu otočnog pogona. Međutim, u slučaju velikih poremećaja poput ispada velikog središnjeg generatora, propad frekvencije uzrokuje neželjenu proradu releja koji zatim isključuju veliki broj distribuiranih izvora.

Tijekom prijelazne nestabilnosti kod sinkronih generatora dolazi do klizanja polova. Međutim, kada do ubrzavanja dolazi kod asinkronih generatora, iz mreže se povlači veliki iznos jalove struje što nadalje uzrokuje snižavanje napona u mreži i vodi prema nestabilnosti napona. Granica stabilnosti stacionarnog stanja asinkronog generatora također može ograničiti njihovu primjenu u vrlo slabim distribucijskim mrežama. Naime, vrlo visoka impedancija izvora napajanja ili niska snaga kratkog spoja može smanjiti maksimalni moment asinkronog generatora na tako nizak iznos da upitnim postaje ostvarenje nazivnog pogona generatora.

U većini zemalja stabilnost se rijetko razmatra u postupku procjene iskoristivosti proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora. Međutim, ova će se situacija vrlo vjerojatno promijeniti u skladu s povećanom penetracijom obnovljivih izvora i njihovim doprinosom sigurnosti mreže. Vrste stabilnosti koje je potrebno razmotriti odnose se na stabilnost kuta i napona. U izoliranim sustavima poput onih na udaljenim otocima, stabilnost frekvencije postaje najznačajnijim problemom. U tim je situacijama neophodno razmotriti utjecaj iznenadnog ispada većeg broja distribuiranih izvora na dinamička svojstva izoliranog sustava. Kvarovi u mreži, ispadi konvencionalnih generatora i drugi poremećaji mogu biti uzrokom ispada velikog broja distribuiranih generatora što u nekim slučajevima dovodi do većeg nedostatka proizvodnje i privremenog propada frekvencije.

U slučaju povećane integriranosti vjetroelektrana i elektroenergetskog sustava, brze promjene vjetra i vrlo visoke brzine vjetra mogu rezultirati iznenadnim gubitkom proizvodnje što nadalje dovodi do odstupanja frekvencije i dinamički nestabilnih stanja. Njihanje frekvencije može vrlo lako aktivirati proradu frekvencijske zaštite u vjetroelektrani. Previsoke postavne vrijednosti podfrekvencijske zaštite čine ionako ozbiljnu situaciju nakon ispada proizvodnje još ozbiljnijom. Frekvencijski releji, naime, mogu isključiti distribuirane generatore te čak i povećati nedostatak proizvodnje. Ovakav razvoj situacije može dovesti do nestabilnosti frekvencije i sloma.

U analizi stabilnosti polazi se od generičkog modela proizvodne jedinice (slika 8). U postupku modeliranja vjetroelektrane nužno je provesti razmatranja elektroničkog sučelja prema izmjeničnoj mreži, generatora, vjetroturbine kao pogonskog stroja te vjetra kao primarnog izvora energije.




**Slika 8. Generički model proizvodne jedinice**

## 3. ELEKTRONIČKO SUČELJE PREMA IZMJENIČNOJ MREŽI

U starijim izvedbama vjetroelektrana nije predviđeno postojanje elektroničkog sučelja prema mreži. Elektroničko sučelje javlja se u suvremenim izvedbama. U tablici 1 na općeniti su način navedena osnovna obilježja pogona vjetroelektrane sa i bez elektroničkog sučelja prema izmjeničnoj mreži [11].

**Tablica 1. Razlike u pogonu vjetroelektrane sa i bez elektroničkog sučelja prema izmjeničnoj mreži**

| Obilježje | Bez sučelja | Sa sučeljem |
|---|---|---|
| **Regulacija napona** | Ovisi o izlaznoj djelatnoj snazi vjetroelektrane. | Ovisi o izlaznoj djelatnoj snazi te o razdjeljivoj jalovoj snazi vjetroelektrane |
| **Opterećenje voda** | Moguće smanjiti u periodu visokih opterećenja. | Moguće smanjiti u periodu visokih opterećenja. Jalova snaga raspoloživa za optimizaciju ukupne prividne snage. |
| **Upravljanje disperziranim sustavima** | Start, upravljanje i zaustavljanje agregata poznate su procedure. | Općenito, elektroničko sučelje ima brzi odziv. |
| **Harmonici** | Ne smatraju se problemom kod većine trofaznih rotirajućih generatora. | Tehnološki starija rješenja zahtijevaju filtriranje. Naprednija su čistija, ali traže pozornost kod viših harmonika članova. Moguće je poništenja harmonika koji dolaze iz mreže. |
| **Prenaponi i propadi napona** | Namoti generatora mogu izdržati odstupanja napona. | Starija rješenja su osjetljiva na odstupanja napona. Naprednija rješenja su prilagodljivija. |
| **Zaštita** | Standardi su dovoljno dobro poznati i dokumentirani. | Standardne sheme zaštite su primjenjive na elektroničko sučelje. Trend ide za unutarnjom programskom podrškom. |

## 4. IZBOR GENERATORA VJETROELEKTRANE

Vjetroelektrane se uobičajeno dijele prema slijedećim osobinama agregata [9]:

- Stalna brzina vrtnje, konstantna frekvencija,
- Promjenjiva brzina vrtnje, konstantna frekvencija i
- Promjenjiva brzina vrtnje, promjenjiva frekvencija.

Proizvodne jedinice u vjetroelektranama su uobičajeno asinkroni ili sinkroni generatori. Zbog problema s pouzdanosti, istosmjerni generatori rijetko se primjenjuju. Sinkroni generatori se uglavnom koriste za pretpostavljene uvjete otočnog pogona. U slučaju odabira sinkronog generatora, uzbudni sustav i regulator brzine vrtnje potrebni su u svrhu održavanja napona i frekvencije. Asinkroni generatori se gotovo uvijek koriste u slučaju priključenja vjetroelektrane na krutu mrežu (mreža velike naponske i frekvencijske krutosti). Njihova glavna prednost nalazi se u jednostavnoj i jeftinoj konstrukciji. S druge strane, neophodno ih je opremiti s kompenzacijskim uređajem (uglavnom uklopive kondenzatorske baterije) kao i s priključnim uređajem za početnu sinkronizaciju s mrežom (*eng. soft-starter*). Sinkroni se generatori ne koriste u komercijalnim izvedbama sa stalnom brzinom u pogonu na krutu mrežu. Sustav regulacije kuta zakretanja elisa propelera ne izvodi se u svim sustavima iako je izražena tendencija za njihovim uključenjem kod vjetroturbina čija je nazivna snaga veća od 50±0 kW.

Vjetroelektrane sa stalnom brzinom vrtnje i konstantnom frekvencijom koriste mehaničko-hidraulički sustav regulacije brzine vrtnje pomoću kojeg upravljaju elisama propelera turbine. U njima, generator može biti asinkroni ili sinkroni. Asinkroni generator dodatno je opremljen lokalnim izvorom jalove snage u svrhu podržavanja samouzbude i održavanja napona na priključnicama. U pogonu je pri relativno konstantnoj frekvenciji (50 ±0.5 Hz) između stanja praznog hoda i nazivnog opterećenja.

U izvedbi vjetroelektrane sa stalnom brzinom vrtnje i konstantnom frekvencijom, sinkroni generator ima veći faktor efikasnosti i pouzdanosti, ali teže zadržava sinkronizam u uvjetima poremećaja brzine vrtnje nastalih zbog brzih promjena vjetra i/ili poremećaja u mreži poput kratkog spoja. Sposobnost proizvodnje jalove snage dodatna je prednost sinkronog generatora ako se vjetroelektrana priključuje na naponski slabu mrežu.

U slučaju priključenja na već izgrađenu mrežu dobre infrastrukture, asinkroni generator je u prednosti jer je znatno jeftiniji i robusniji, a ima i jednostavniji sustav upravljanja. Osim toga, uvjeti održivosti sinkronizma fleksibilniji su u usporedbi sa sinkronim generatorom.

Izvedba vjetroelektrane sa stalnom brzinom vrtnje i konstantnom frekvencijom ima optimalan pogon samo za jedan omjer između brzine vrha elise propelera i brzine vjetra. Naime, samo se pri jednom omjeru postiže maksimalna djelatna snaga. Ukoliko omjer odstupa od optimalnog, djelatna snaga manja je od maksimalne.

U literaturi je dobro poznata izvedba vjetroelektrane s promjenjivom brzinom vrtnje i konstantnom frekvencijom. Takve vjetroelektrane imaju generator s promjenjivom brzinom vrtnje i vjetroturbinu koja rotira različitim brzinama vrtnje ovisno o promjenjivosti brzine vjetra. Ostvariv je optimalni pogon za svaki omjer između brzine vrha elise propelera i brzine vjetra, odnosno za svaku brzinu vjetra. Međutim, tada su na električnoj strani vjetroelektrane povećani početni investicijski troškovi zbog složenije izvedbe priključenja na mrežu.

U slučaju primjene sinkronog generatora izvedba uključuje statički pretvarač frekvencije zasnovan na energetskoj elektronici. U slučaju primjene asinkronog generatora izvedba uključuje diodni ispravljač u mostnom spoju za regulaciju djelatnog otpora rotora i promjenu brzina/moment ($/T$) karakteristike asinkronog stroja. Istodobno su na mehaničko-hidrauličkoj strani troškovi smanjeni, jer se regulacija brzine vrtnje agregata više ne izvodi na turbini koja time postaje jednostavnija.

Nazivnu snagu generatora s promjenjivom brzinom vrtnje potrebno je dimenzionirati u iznosu koji je i do pet puta veći od optimalnog iznosa nazivne snage generatora sa stalnom brzinom vrtnje. Štoviše, osim cijene generatora povećava se i bojazan od pojave povećanja ukupne harmoničke izobličenosti zbog primjene statičkih pretvarača.

Iako je najskuplji dio vjetroelektrane njezina turbina, veličina i cijena generatora uz uključenu učinkovitost regulacijskog sustava neosporno čine značajne investicijske troškove. Neophodna je pažljiva financijska analiza kojom bi se odredila opravdanost uvođenja pogona s promjenjivom brzinom vrtnje. Prema nekim statistikama, pogon s promjenjivom brzinom vrtnje na godinu postiže i do 40% veći iznos predane električne energije od pogona sa stalnom brzinom. Ako je cijena isporučene energije dovoljno visokog iznosa, moguće je postići ekonomsku isplativost i uz veće početne investicijske troškove pogona s promjenjivom brzinom vrtnje.

Kombinirana primjena generatora s promjenjivom brzinom vrtnje i statičkog pretvarača frekvencije pomaže u izbjegavanju problema vezanih uz stabilnost kuta i regulaciju frekvencije, odnosno elektromehanička njihanja. Iznenadne promjene brzine vjetra više ne uzrokuju promjene injektirane snage vjetroelektrane. Razlika snage na rotirajućoj osovini pohranjuje se unutar kombinirane inercije agregata u obliku kinetičke energije (agregat se ubrzava/usporava kako vjetar ubrzava/usporava). Kod priključenja vjetroelektrane kao izvora konstantne djelatne snage na naponski slabu mrežu, mogući su problemi stabilnosti napona, što je dobro poznata pojava u HVDC prijenosu. Naime, statički frekvencijski pretvarač (AC/DC/AC) moguće je promatrati kao HVDC sustav primijenjen na niskom naponu i bez istosmjernog voda.

Prema dostupnim informacijama, investitori se uglavnom odlučuju za inicijalno jeftiniju varijantu, dakle za vjetroelektranu u izvedbi sa stalnom brzinom vrtnje i konstantnom frekvencijom uz korištenje asinkronog generatora u pogonu na krutu mrežu.

## 5. VJETROTURBINA

Aerodinamička snaga rotora vjetroturbine $P_w$ (W) u uvjetima uravnoteženog toka zračne mase [6, 10, 12], računa se korištenjem izraza

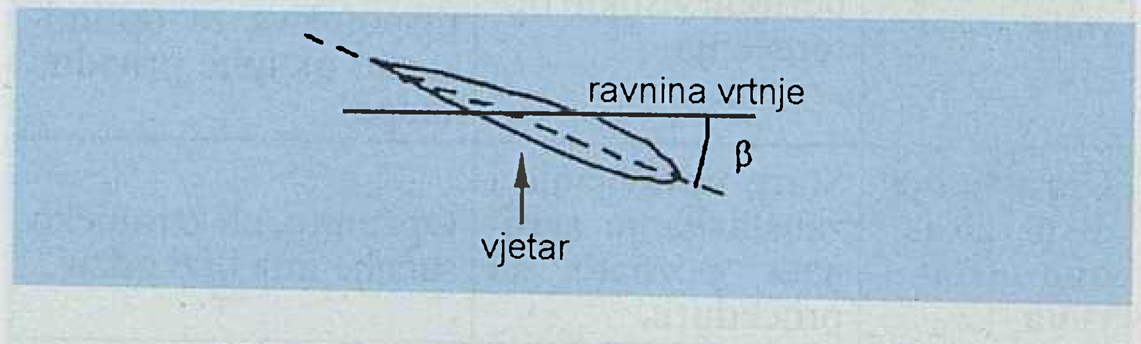
$$P_w = \frac{1}{2} c_p(\beta,\lambda)\rho A_{prop} V_{w0}^3, \qquad (1)$$

gdje $c_p(\beta, \lambda)$ označava svojstveni koeficijent, gustoću zraka (1.225 kg/m$^3$), $A_{prop}$ površinu obrisa propelera (m$^2$) i $V_{w0}$ srednju brzinu vjetra (m/s).

Ukoliko se radi o vjetroturbini reguliranoj pomoću kuta zakreta elisa propelera, aerodinamička snaga rotora vjetroturbine ne iskazuje se samo u ovisnosti o brzini vjetra, već i o svojstvenom koeficijentu $c_p(\beta, \lambda)$. Svojstveni koeficijent $c_p(\beta, \lambda)$ ovisan je o kutu zakreta elisa propelera $\beta$ (°) i omjeru $\lambda$ između brzine vrha elise propelera i srednje brzine vjetra

$$\lambda = r_{prop}\omega_T / V_{wo}, \qquad (2)$$

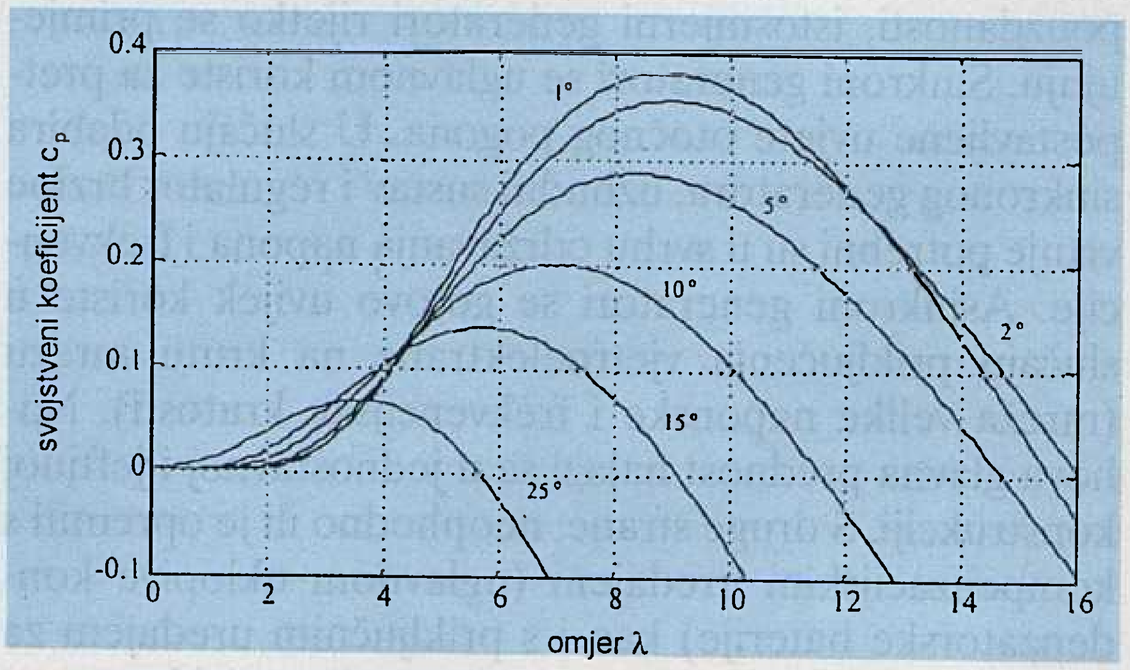
gdje $r_{prop}$ označava radijus propelera (m), a $\omega_T$ brzinu rotora vjetroturbine (rad$_m$/s). Odnosi između kuta zakreta $\beta$, smjera vjetra i ravnine vrtnje predočeni su na slici 9.




**Slika 9. Kut zakreta elisa propelera $\beta$**

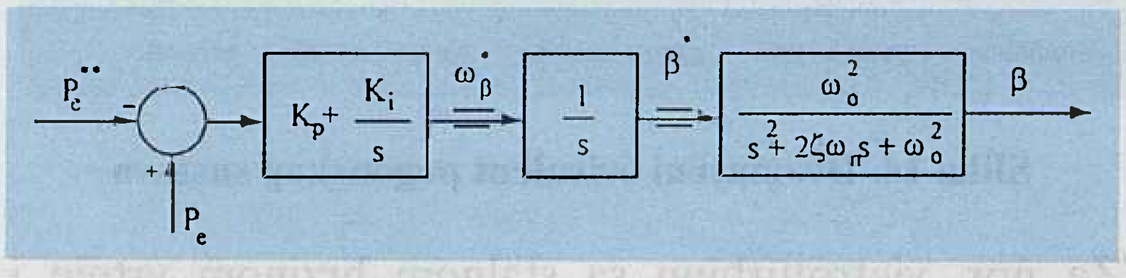
Svaka vjetroturbina ima različit svojstveni koeficijent $c_p(\beta, \lambda)$ koji se dobiva eksperimentalnim postupkom. Razvijene su analitičke aproksimacije koje uvelike olakšavaju njegovo izražavanje. Koeficijent se iskazuje numerički s većim brojem konstantnih faktora dobivenih metodom aproksimacije. Na slici 10 predočen je tipični oblik krivulje svojstvenog koeficijenta dobiven analitičkom aproksimacijom. Uvođenjem dodatne proporcionalno-integracijske povratne veze po snazi (ponekad i brzini vrtnje) agregata izvodi se stabilizacija odziva vjetroturbine putem kuta zakreta elisa propelera $\beta$. Slično stabilizacijsko djelovanje poznato je iz pogona sinkronog generatora u čijem se uzbudnom sustavu nalazi stabilizator elektroenergetskog sustava (PSS). Sustav regulacije kuta zakreta elisa propelera potrebno je pravilno modelirati obzirom da kut zakreta izravno utječe na ulaznu mehaničku snagu te time i na električnu snagu koju isporučuje generator. Ovaj sustav se osim za stabilizaciju odziva koristi i za ograničavanje snage koja se predaje mreži u uvjetima visokih brzina vjetra. Kako se povećavaju vrijednosti kuta zakreta $\beta$, koriste se niže krivulje sa slike 10 čime se dobivaju smanjene vrijednosti svojstvenog koeficijenta $c_p(\beta, \lambda)$.

Stoga je u uvjetima otočnog pogona regulator brzine vrtnje/frekvencije moguće izvesti putem sustava regulacije kuta zakreta. Na slici 11 predočen je model sus-



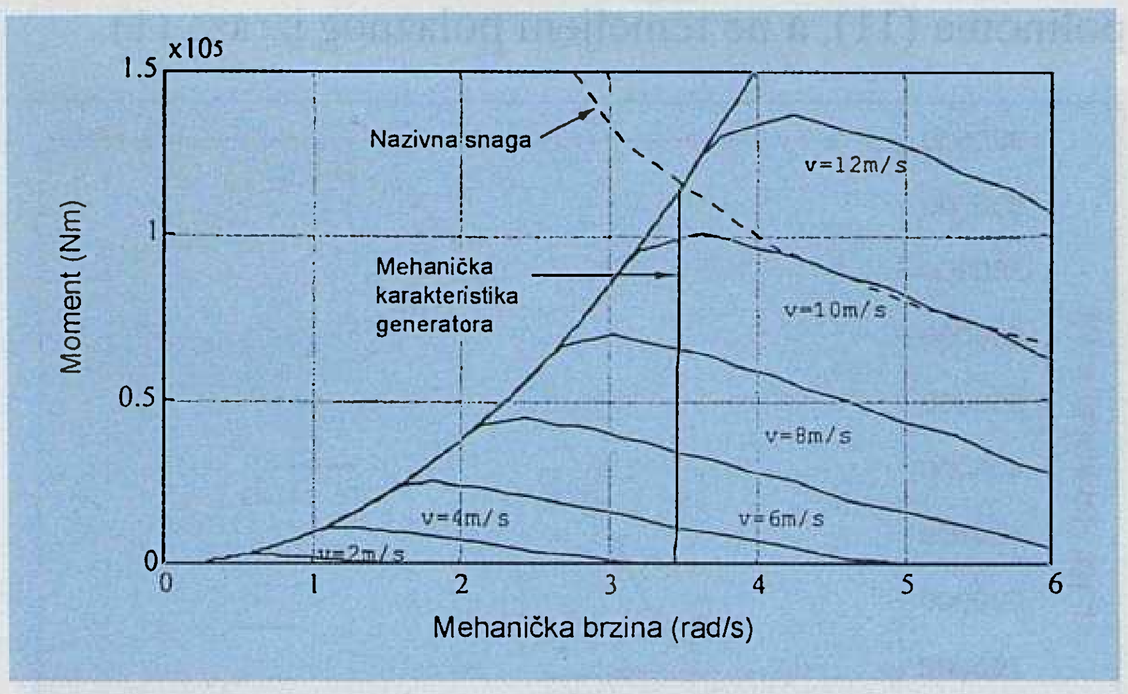

**Slika 10. Svojstveni koeficijent $c_p(\beta, \lambda)$**

tava regulacije kuta zakreta s povratnom vezom po izlaznoj snazi generatora $P_e$. Proporcionalno-integracijski član stvara referentnu brzinu promjene kuta $\omega_\beta^*$ koja se ograničava u svrhu izbjegavanja preopterećenja mehanizma. Izlaz iz integratora također je ograničen, a predstavlja referentni kut zakreta $\beta^*$. Regulacijskim članom drugog reda predstavljen je aktuator te dinamika elisa propelera.



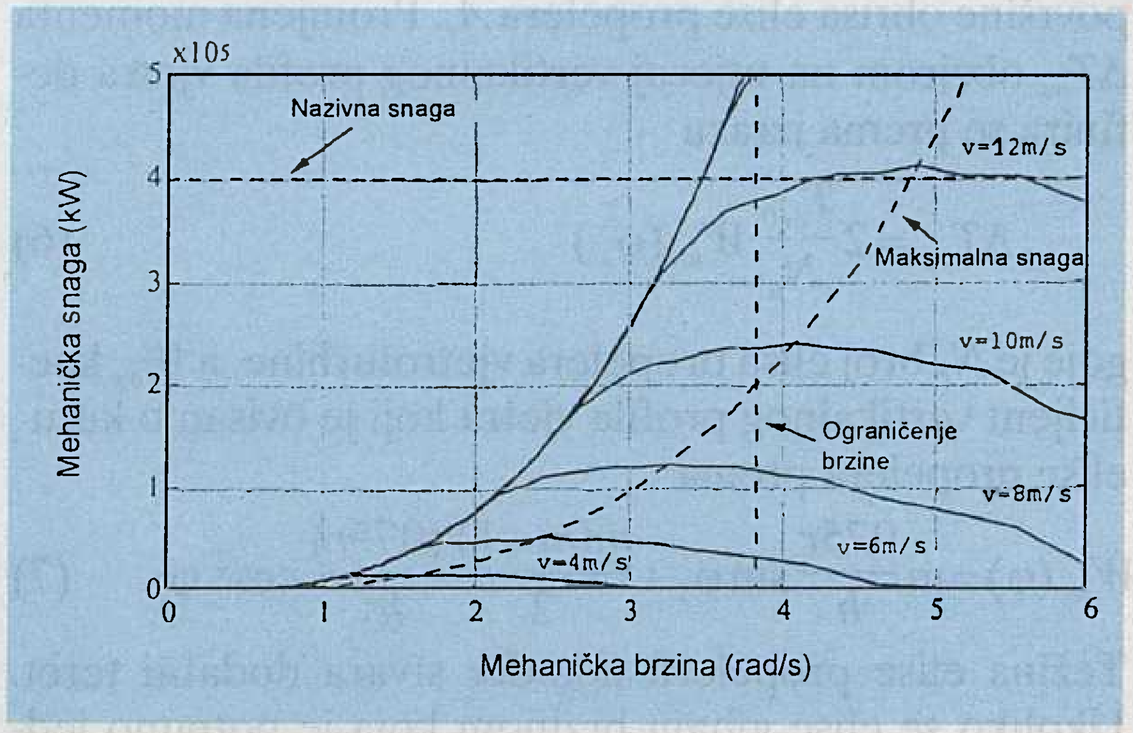

**Slika 11. Sustav regulacije kuta zakreta elisa β**

Na temelju svojstvenog koeficijenta $c_p(\beta, \lambda)$ te nazivnih veličina vjetroturbine i generatora moguće je definirati pogonsku točku na temelju mehaničkih karakteristika vjetroturbine. Na slici 12 predočene su karakteristike 400 kW vjetroturbine i asinkronog generatora u okviru izvedbe sa stalnom brzinom vrtnje i konstantnom frekvencijom. Pogonska točka vjetroturbine nalazi se u sjecištu između jedne od karakteristika vjetroturbine (u ovisnosti o brzini vjetra) i karakteristike generatora. Sustav upravljanja kod vjetroturbine s promjenjivom brzinom vrtnje poprima vrlo različite oblike. Prema najrasprostranjenijem obliku, aerodinamička učinkovitost optimira se iskorištavanjem najveće raspoložive snage pri svakoj brzini vjetra. Na slici 13 predočeno je upravljanje prema najvećoj raspoloživoj snazi. Crtkanom linijom spojeni su maksimumi krivulja snage, odnosno optimalne pogonske točke obzirom na različite brzine vrtnje.




**Slika 12. Karakteristika 400 kW vjetroturbine i asinkronog generatora – stalna brzina vrtnje –**

U uvjetima niske brzine vjetra, prate se vrijednosti krivulje snage u potrazi za maksimumom energije koju predaje vjetroturbina. Pri većim brzinama vjetra javljaju se izvjesna pogonska ograničenja poput ograničenja mehaničke brzine, nazivnog momenta i ograničenja snage sustava. U tom je području potrebno modificirati upravljačku strategiju na odgovarajući način kako se ne bi narušila ograničenja. Modifikaciju je prema jednom od pristupa moguće izvesti upravlja-




**Slika 13. Upravljačka strategija zasnovana na najvećoj snazi – promjenjiva brzina vrtnje –**

njem momentom generatora kako bi se ograničila brzina vrtnje rotora kod vjetroturbina bez sustava za regulaciju kuta zakreta. Prema drugom pristupu, upravlja se brzinom vrtnje putem regulacije kuta zakreta elisa propelera i postavlja referentna veličina momenta generatora na nazivnu vrijednost. Općenito, izvedbe s promjenjivom brzinom vrtnje imaju ulaznu referentnu snagu prema kojoj se izvodi regulacija njihove izlazne snage, ali samo pri vrijednostima koje su niže od najveće raspoložive snage vjetra.

Ukupni aerodinamički moment rotora definiran je kao zbroj srednjeg momenta i momenata koji su definirani različitim njihanjima. Srednji moment $T_{ae0}$ dobiva se na osnovi (1) i (2) u obliku

$$T_{ae0} = \frac{P_w}{\omega_T} = \frac{1}{2}\pi r^3 \rho V_{w0}^2 \frac{(\beta,\lambda)}{\lambda}. \qquad (3)$$

Glavni superponirajući utjecaji na srednji moment javljaju se zbog sjenke stupa (*eng. tower shadow*), vertikalnog profila vjetra (*eng. wind shear*) i gravitacijskog opterećenja (težina svake elise).

Sjenka stupa odnosi se na pojavu smanjenja aerodinamičkog momenta elise propelera obzirom na njezin prolazak ispred stupa. Smanjenje momenta javlja se zbog smetnje u toku vjetra koju stvara stup. Promjena momenta $T_{ts}$ za svaku elisu $i$ definirana se izrazom

$$\Delta T_{ts} = 2\frac{T_{ae0}}{N_b} W_{ts}(\varphi), \qquad (4)$$

gdje je $N_b$ broj elisa propelera vjetroturbine, a $W_{ts}$ koeficijent sjenke stupa ovisan o kutu $_i$ elise propelera

$$W_{ts}(\varphi_i) = \begin{cases} t_0 + t_p \cos[p(\varphi_i - \varphi^*)]; (\varphi^* - \varphi_T) \le \varphi_i \le (\varphi^* - \varphi_T) \\ u\ protivnom \end{cases} \qquad (5)$$

U prethodnom izrazu korištene su slijedeće oznake: $p = \pi / \varphi_T$, $_{\varphi T} = \varphi_i / 2$, $\varphi^*$ kut azimuta elise propelera i $t_0$ i $t_p$ empirijski faktori.

Vertikalni profil vjetra odnosi se na povećanje brzine vjetra obzirom na povećanje visine. Ova pojava također proizvodi promjenu momenta koja je uzrokovana gradijentom brzine vjetra po uzdužnoj visini $h$

površine obrisa elise propelera $A_r$. Promjena momenta $\Delta T_{ws}$ obzirom na utjecaj vertikalnog profila vjetra definira se prema izrazu

$$\Delta T_{ws} = 2\frac{T_{ae0}}{N_b} W_{ws}(\varphi_i) \qquad (6)$$

gdje je $N_b$ broj elisa propelera vjetroturbine, a $W_{ws}$ koeficijent vertikalnog profila vjetra koji je ovisan o kutu $_i$ elise propelera prema

$$W_{ws}(\varphi) = m\frac{0.75r}{h}\sin\varphi_i + \frac{m(m-1)}{2}\frac{(0.75r)}{h^2}\cos^2\varphi_i . \qquad (7)$$

Težina elise propelera također stvara dodatni teret. Ukoliko se elise gibaju brzinom koja je potpuno jednaka brzini osi vratila, odnosno ukoliko se cijeli rotor smatra jednim tijelom, utjecaj težine elise bio bi poništen. Međutim, u detaljnijem modelu u kojem se razmatra elastični spoj između svake elise i vratila, promjena momenta $T_{wb}$ uslijed utjecaja težine elise ($M_{bi}\,g$) definira se prema izrazu

$$\Delta T_{wb} = r_{cdg} M_{bi} g \cos\varphi_i . \qquad (8)$$

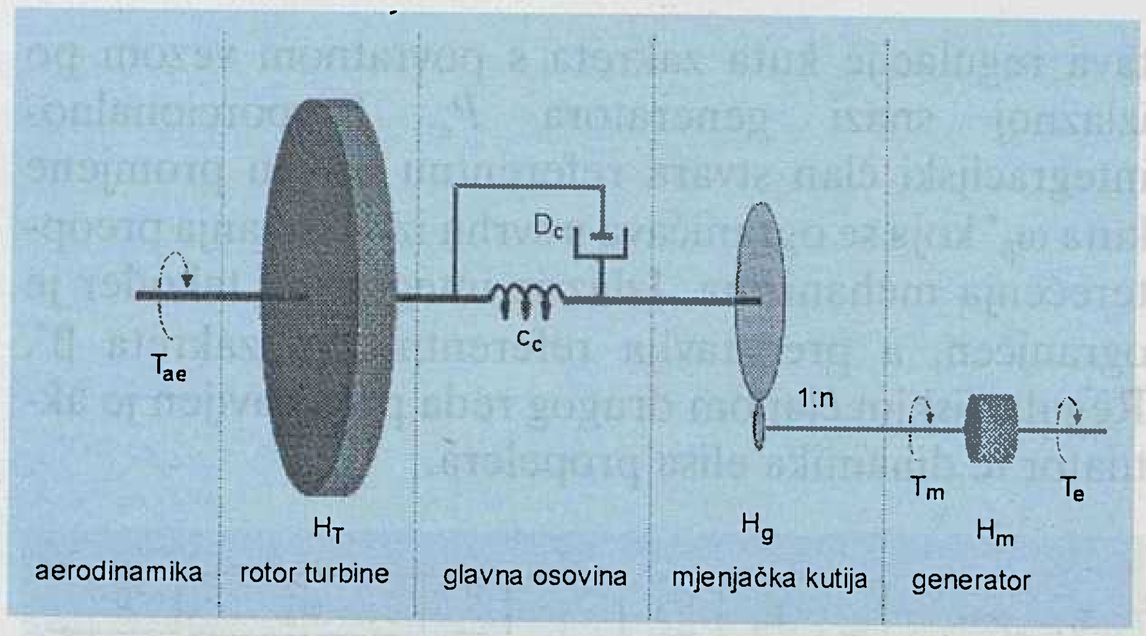
Na temelju prethodno predočenih izraza za različite doprinose, moment $T_{bi}$ koji proizvodi svaka elisa propelera vjetroturbine definira se pomoću izraza

$$T_{bi} = \frac{T_{ae0}}{N_b} + \Delta T_{ts} + \Delta T_{ws} + \Delta T_{wb} . \qquad (9)$$

Ukupni aerodinamički moment rotora dobiva se kao zbroj pojedinačnih momenata svake elise

$$T_{ae} = \sum_{i=1}^{N_b} T_{bi} . \qquad (10)$$

Zbog zahtjeva za povećanom upravljivosti vjetroturbine, momentna slijednost pogonskog sustava uobičajeno se postiže pomoću 'mekog' osovinskog spoja ili specijalnih elastičnih spojki. Pri modeliranju pogonskog sustava, potrebno je primijeniti višemasene ekvivalente. Na taj se način prepoznaju torzijska njihanja niske frekvencije koja dominiraju dinamičkim vladanjem vjetroturbine. Model pogonskog sustava uključuje tromosti vjetroturbine, generatora i mjenjačke kutije koja spaja dvije rotirajuće osovine. Red modela se određuje na temelju broja rotirajućih masa (ili spojnih masa). Dvomaseni model (turbina i generator) predstavlja rezonantni sustav manje složenosti (slika 14). Tromost mjenjačke kutije obično je znatno manja od tromosti generatora (≈1/30). Stoga mjenjačka kutija nema dinamički utjecaj pri nižim frekvencijama njihanja, odnosno zasebno se uglavnom ne modelira. Ipak, ostavlja se mogućnost njezinog uključivanja u okviru tromosti generatora. Izbor drugog reda modela zasnovan je na poznavanju dominantnih temeljnih modova rezonancije pogonskog sustava te želje za održavanjem niskog stupnja složenosti ukupnog modela. Osim s dvomasenim ekvivalentom, pogonski sustav moguće je modelirati korištenjem još dva mehanička ekvivalenta; tromasenim i šesteromasenim.

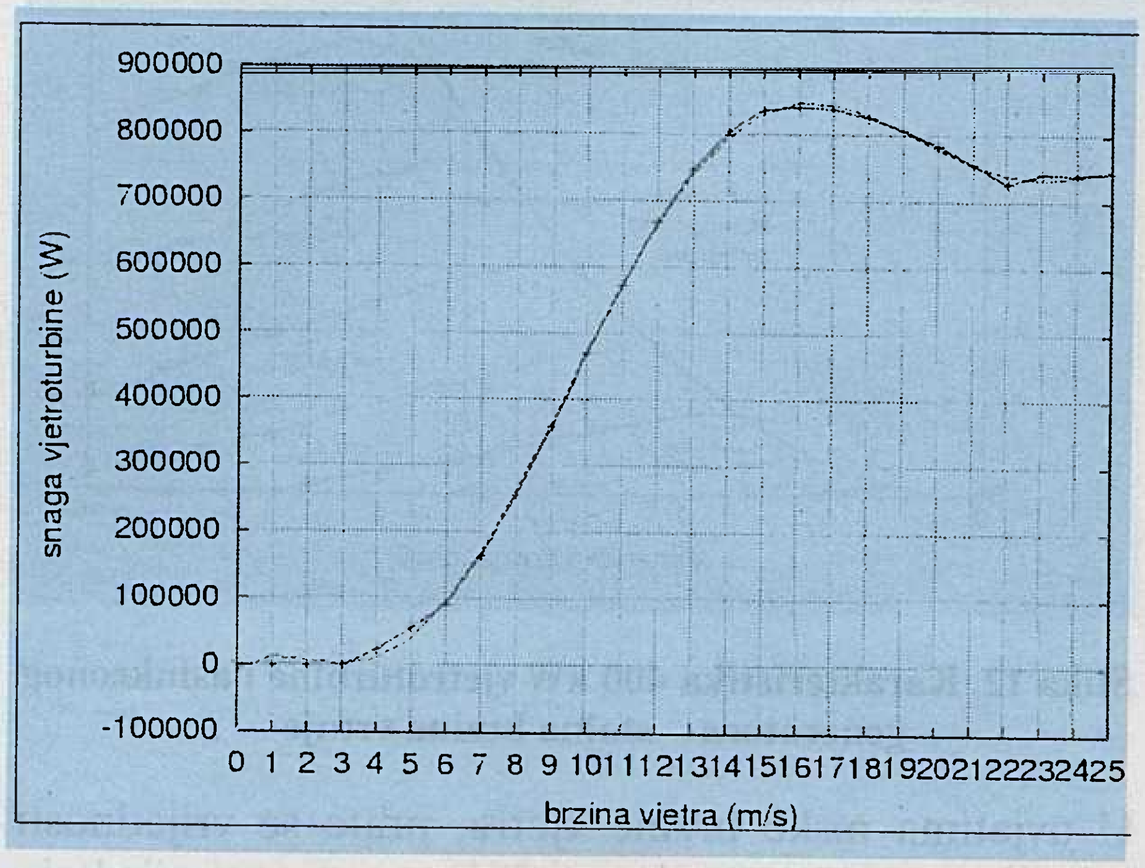



**Slika 14. Dvomaseni evivalent pogonskog sustava**

Za npr. vjetroturbinu sa stalnom brzinom vrtnje i konstantnom frekvencijom te bez sustava za regulaciju kuta zakreta elisa propelera, primjer ovisnosti snage o brzini vjetra predočen je na slici 15. Primjer se odnosi na vjetroturbinu NORDEX N-50 nazivne snage 800 kW. Za navedenu vjetroturbinu, ovisnost aerodinamičke snage rotora vjetroturbine $P_w$ (W), odnosno ulazne mehaničke snage generatora, o brzini vjetra $V_w$ (m/s) aproksimirana je polinomom šestog reda

$$P_w = a_6 V_w^5 + a_4 V_w^4 + a_3 V_w^3 + a_2 V_w^2 + a_1 V_w + a_0 \qquad (11)$$

U prethodnom su izrazu koeficijenti polinoma određeni minimiziranjem funkcije zbroja kvadrata odstupanja. Dobivene su slijedeće vrijednosti koeficijenata: $a_6$=-0.2166248, $a_5$=18.01868, $a_4$=-541.4492, $a_3$=6813.510, $a_2$= -29382.79, $a_1$= 43470.16, i $a_0$= -8490.896. Obzirom da proizvođači vjetroturbina u pravilu tablično obznanjuju opisanu ovisnost, aerodinamička snaga $P_w$ se u analizi prijelaznih pojava uglavnom proračunava na temelju aproksimacijskog polinoma (11), a ne temeljem polaznog izraza (1).




**Slika 15. Ovisnost snage vjetrotubine o brzini vjetra**

## 6. VJETAR

Analiza stabilnosti vjetroelektrane uvelike ovisi o modelu promjene brzine strujanja vjetra [13]. Promjena brzine vjetra $V_w$ uzrokuje promjenu aerodinamičke

snage $P_w$, nakon čega prema jednadžbi gibanja dolazi do promjene električne snage koju generator injektira u mrežu. Promjenjivost injektirane snage uzrokuje pojavu promjenjivog iznosa napona u čvorištu priključenja vjetroelektrane te time i u široj utjecajnoj okolini unutar distribucijske mreže. Uglavnom se proračuni provode uz pretpostavku da u najsloženijem obliku brzina vjetra ima četiri komponente prema izrazu

$$V_w = V_{wB} + V_{wR} + V_{wG} + V_{wN}, \tag{12}$$

pri čemu $V_{wB}$ predstavlja osnovnu komponentu brzine vjetra (*eng. base*), $V_{wR}$ komponentu linearne promjene brzine vjetra (*eng. ramp*), $V_{wG}$ komponentu udarne promjene brzine vjetra (*eng. gust*) i $V_{wN}$ komponentu promjene brzine vjetra koja je podložna šumu (*eng. noise*).

Osnovna komponenta brzine vjetra $V_{wB}$ definirana je pomoću izraza

$$V_{wB} = konst. \tag{13}$$

Komponenta linearne promjene brzine vjetra $V_{wR}$ definirana je pomoću izraza

$$V_{wR} = \begin{cases} 0 & za \quad t < T_{1R} \\ V_{ramp} & za \quad T_{1R} \le t \le T_{1R} + T_R, \\ MAXR * V_{wB} & za \quad t > T_{1R} + T_R \end{cases} \tag{14}$$

pri čemu je $V_{ramp}$ definiran u obliku

$$V_{ramp} = MAXR * V_{wB} \frac{t - T_{1R}}{T_R}. \tag{15}$$

Veličina *MAXR* definira maksimalni koeficijent linearne promjene prema osnovnoj komponenti brzine vjetra $V_{wB}$, $t$ vrijeme, $T_{IR}$ i $T_R$ vremenski trenutak početka i ukupno trajanje linearne promjene.

Komponenta udarne promjene brzine vjetra $V_{wG}$ definirana je pomoću izraza

$$V_{wG} = \begin{cases} 0 & za \quad t < T_{1G} \\ V_{sico} & za \quad T_{1G} \le t \le T_{1G} + T_G, \\ 0 & za \quad t > T_{1G} + T_G \end{cases} \tag{16}$$

pri čemu je $V_{sico}$ definiran u obliku

$$V_{sico} = -\frac{1}{2} MAXG * V_{wB} \sin\left(3\pi \frac{t - T_{1G}}{T_G}\sqrt{1 - \cos\left(2\pi \frac{t - T_{1G}}{T_G}\right)}\right]. \tag{17}$$

Veličina *MAXG* definira maksimalni koeficijent udarne promjene prema osnovnoj komponenti brzine vjetra $V_{wB}$, $t$ vrijeme, $T_{IG}$ trenutak početka udarne promjene i $T_G$ ukupno trajanje promjene.

Komponentu promjene brzine vjetra $V_{wN}$ podložnu šumu moguće je definirati na dva načina. Prvi je poznat pod nazivom Weibull raspodjele vjerojatnosti, a drugi pod nazivom funkcije spektralne gustoće.

Prema Weibull raspodjeli vjerojatnosti, komponenta $V_{wN}$ definirana je izrazom

$$V_{wN} = c[-ln(r)]^{1/k}, \tag{18}$$

pri čemu $k$ i $c$ označavaju koeficijente nagiba i skaliranja ($k$=1.9 za $A$=6.8 m/s, $c$=0.1$V_{wB}$), a $r$ slučajni broj temeljen na jednolikoj raspodjeli unutar intervala 0:1.

Prema funkciji spektralne gustoće, komponenta $V_{wN}$ definirana je izrazom

$$V_{wN} = 2\sum_{i=1}^{N}\left[S_V(\omega_i)\Delta\omega\right]^{1/2} \cos(\omega_i t + \phi_i, \tag{19}$$

pri čemu je

$$\omega = \left(i - \frac{1}{2}\right)\Delta\omega, \tag{20}$$

$$S_V(\omega_1) = \frac{2K_N F^2 |\omega_i|}{\pi^2\left[1 + \left(\frac{F\omega_i}{V_w\pi}\right)^2\right]^{4/3}}. \tag{21}$$

U izrazima (19-21), veličina $_i$ označava slučajni broj temeljen na jednolikoj raspodjeli u intervalu 0:2, $S_V(\omega_i)$ funkciju spektralne gustoće, $\Delta\omega$ brzinu (za $N$=50, $\Delta\omega$=0.5-2.0 rad/s), $K_N$ površinski koeficijent ($K_N$=0.001-0.040), $F$ skalu turbulencije ($F$=600-700 m) i $V_w$ brzinu vjetra na ref. Visini (m/s).

## 7. TRANZIJENTNI MODEL AGREGATA U VJETROELEKTRANI

U studijama stabilnosti koriste se standardni modeli sinkronih ili asinkronih generatora. U aerodinamičkom dijelu, dovoljno je koristiti srednji moment (promjenjiv obzirom na brzinu vjetra) uz dvomaseni model pogonskog sustava [4, 5]. Ukoliko je vjetroelektrana u izvedbi sa stalnom brzinom vrtnje te asinkronim generatorom koji je izravno priključen na mrežu, potrebe studije stabilnosti potpuno zadovoljava tranzijentni model asinkronog generatora drugog reda. Tranzijentni model drugog reda ima dvije diferencijalne jednadžbe električnih varijabli te tri diferencijalne jednadžbe gibanja rotora za dvomaseni pogonski sustav. Ukoliko je vjetroelektrana u izvedbi s promjenjivom brzinom te s elektroničkim pretvaračem na statorskim priključnicama, potrebno je koristiti potpune modele generatora (četvrtog reda za asinkroni generator i šestog reda za sinkroni generator). Ako je neophodno simulirati vladanje pretvarača i njegove sklopne operacije, koriste se izravni *abc-koordinatni* modeli generatora.

Uglavnom se investitori odlučuju za tip agregata u kojem je asinkroni generator izravno priključen na mrežu. Pogonjen je vjetroturbinom posredstvom mjenjačke kutije. Vjetroelektrana je u izvedbi sa stalnom brzinom vrtnje i konstantnom frekvencijom. Obzirom da standardni programi u sebi vrlo rijetko imaju uključen model asinkronog generatora, u nastavku je pozornost posvećena njegovom tranzijentnom modelu. Model je s turbinske, odnosno osovinske strane prilagođen korištenju unutar vjetroelektrane. Uključen je u vlastiti programski paket za simulaciju prijelaznih

elektromehaničkih pojava u višestrojnom elektroenergetskom sustavu obzirom na dinamičke i statičke aspekte analize. Polaznu osnovu izvoda tranzijentnog modela asinkronog generatora predstavlja tranzijentni model asinkronog motora.

Osnovna diferencijalna jednadžba koja opisuje dinamiku električnog dijela tranzijentnog modela asinkronog generatora definirana je izrazom

$$\frac{d\bar{E}'_{gen}}{dt} = -j\omega_{0S} s\bar{E}'_{gen} - \frac{1}{T'_0}\left[\bar{E}'_{gen} + j(X - X')\bar{I}_{gen}\right], \quad (22)$$

u kojem se reaktancija $X$, vremenska konstanta $T'_0$ i pu frekvencija $\omega_{0S}$ dobivaju korištenjem jednadžbi

$$X = X_S + X_{mag}; T'_0 = \frac{X_r + X_{mag}}{\omega_{0S} R_r}; \omega_{0S} = 1 + \frac{d\Theta_n}{dt}. \quad (23)$$

Nakon d-q dekompozicije, izraz (22) postaje

$$\frac{dE'_q}{dt} = (\omega_{0S} - \omega_m)E'_d - \frac{E'_q}{T'_0} + \frac{X - X'}{T'_0} I_d, \quad (24)$$

$$\frac{dE'_d}{dt} = -(\omega_{0S} - \omega_m)E'_q - \frac{E'_d}{T'_0} - \frac{X - X'}{T'_0} I_q. \quad (25)$$

Kod jednomasenog rotora, dinamika osovine agregata definirana je diferencijalnom jednadžbom

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{T_m - D_\Sigma \omega_m - T_e}{2H_\Sigma}, \quad (26)$$

u kojoj $T_e$ i $T_m$ označavaju elektromagnetski i mehanički moment generatora (pu), $D_\Sigma$ ukupni koeficijent prigušenja (pu/pu), $\omega_m$ brzinu vrtnje generatora (pu) i $H$ vremensku konstantu tromosti agregata (s). Za slučaj korištenja jednomasenog rotora, konstanta $H_\Sigma$ uzima se jednakom odgovarajućoj konstanti vjetroturbine za poremećaje koji dolaze sa strane primarnog izvora energije, odnosno vjetra. Za poremećaje koji dolaze sa strane električne mreže, konstanta $H_\Sigma$ uzima se jednakom odgovarajućoj konstanti asinkronog generatora. Približan odnos konstanti tromosti vjetroturbine i generatora reda je veličine 10:1.

Elektromagnetski $T_e$ i mehanički $T_m$ momenti proračunavaju se temeljem izraza

$$T_e = (E'_d I_d + E'_q I_q)/\omega_{0S}; T_m = \frac{P_w}{\omega_m}\frac{1}{S_{ngen}}; \quad (27)$$

Kod dvomasenog rotora [4, 5], dinamika osovine agregata koja je sastavljena od dva rotora povezana pomoću spojke, definirana je pomoću slijedećih diferencijalnih jednadžbi

$$\frac{d\Theta_c}{dt} = \omega_T - \frac{\omega_m}{n}, \quad (28)$$

$$\frac{d\omega_T}{dt} = \frac{\frac{P_w(V_w)}{\omega_T}\frac{1}{S_{ngen}} - c_c\Theta_c - (D_c + D_T)\omega_T + \frac{D_c}{n}\omega_m}{2H_T}, \quad (29)$$

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{\frac{C_c}{n}\Theta_c + \frac{D_c}{n}\omega_T - \left(D_m + \frac{D_c + D_g}{n^2}\right)\omega_m - T_e}{2\left(H_m + \frac{H_g}{n^2}\right)}, \quad (30)$$

u kojima je

- $\Theta_c$ kut torzije osovine između rotora vjetroturbine i rotora asinkronog generatora (rad$_e$),
- $\omega_T$, $\omega_m$ brzina vrtnje rotora vjetroturbine i generatora (pu, u stacionarnom stanju vrijedi $_T = _m/n$),
- $1{:}n$ reduktorski prijenosni omjer između dvije brzine,
- $P_w$ aerodinamička snaga (W),
- $V_w$ brzina vjetra (m/s),
- $S_{ngen}$ nazivna snaga generatora (VA),
- $c_c$ koeficijent torzijske krutosti (pu/rad$_e$),
- $D_c$ koeficijent torzijskog prigušenja spoja između rotora vjetroturbine i rotora generatora (pu/pu),
- $D_T$ koeficijent prigušenja vjetroturbine (pu/pu),
- $D_g$ koeficijent prigušenja mjenjačke kutije (pu/pu),
- $D_m$ koeficijent prigušenja generatora (pu/pu),
- $H_T$ vremenska konstanta tromosti vjetroturbine (s),
- $H_g$ vremenska konstanta tromosti mjenjačke kutije (s), i
- $H_m$ vremenska konstanta tromosti generatora (s).

Obzirom na planiranu izgradnju vjetroelektrana u Republici Hrvatskoj u Energetskom institutu "Hrvoje Požar" pokrenute su aktivnosti vezane uz analizu tehničkih uvjeta njihovog priključenja na mrežu. Korištenjem opisanih modela provedena su istraživanja čiji su rezultati predstavljeni u studiji "Utjecaj vjetroelektrane na naponske i strujne prilike u elektroenergetskoj mreži", *N. Dizdarević, M. Majstrović, S. Žutobradić, D. Bajs*. Proračuni su izvedeni obzirom na priključenje iste vjetroelektrane na dvije naponski različite lokacije (Ravna 1 – Pag i Stupišće – Vis) gdje su ukupne aktivnosti doživjele najveći pomak.

## 8. ZAKLJUČAK

Model ees-a s aspekta priključka vjetroelektrana na distribucijsku mrežu opisan je sa stajališta izbora izvedbe vjetroelektrane obzirom na vrstu priključenja na mrežu te stalnost brzine vrtnje. Predočen je tranzijentni model asinkronog generatora. U današnje doba, integracija malih distribuiranih jedinica za proizvodnju električne energije u distribucijsku mrežu predstavlja realnu proizvodnu opciju u većini razvijenih i srednje razvijenih zemalja. Veća penetracija distribuiranih izvora očekuje se u idućih nekoliko godina. Svi današnji igrači u elektroenergetskom sektoru trebaju spoznati mogući utjecaj vjetroelektrana kao distribui-

ranih izvora na elektroenergetski sustav. U okviru ovog članka predočen je model vjetroelektrane pogodan za analizu tehničkih aspekata koji su pridruženi pogonu vjetroelektrane kao distribuiranog izvora električne energije u okviru distribucijske mreže. U ovom je radu trenutni status tehnološkog razvitka vjetroelektrana nadopunjen s odgovarajućim modelom uporabljivim u proračunima tokova snaga, kratkog spoja i stabilnosti kuta i napona. Te je proračune nužno provesti u numeričkim studijama kako bi se ukazalo na električku kvalitativnost/kvantitativnost lokacije priključenja vjetroelektrane u okviru distribucijske mreže. Električko vladanje iste vjetroelektrane na naponski različitim lokacijama mreže može biti vrlo različito. Električki uvjeti u mreži mogu ograničiti priključenje vjetroelektrane unatoč visokoj kvaliteti njezine tehnološke izvedbe.

## LITERATURA


[1] V. AKHMATOV: "A dynamic stability limit of grid-connected induction generators", *Proc. IASTED Conference on Power and Energy Systems,* Marbella, Spain, Sept. 2000, Paper 319-087

[2] V. AKHMATOV: "Electromechanical interaction and stability of power systems with windmills", *Proc. IASTED Conference on Power and Energy Systems,* Marbella, Spain, Sept. 2000, Paper 319-086

[3] V. AKHMATOV: "Modelling and transient stability of large wind farms", *Proc. 2nd International Workshop on Transmission Networks for Offshore Wind Farms,* Stockholm, Sweden, March 2001

[4] R. CHEDID: "A comparative analysis of dynamic models for performance calculation of grid connected wind turbine generators", *Wind Engineering*, vol. 17, No. 4, 1993

[5] R. CHEDID: "Adaptive fuzzy control for wind-diesel weak power systems", *IEEE Trans. Energy Conversion*, vol. 15, No. 1, March 2000, pp. 71-78

[6] CIGRE, "Modelling new forms of generation and storage", WG 38.01, Nov. 2000

[7] Eesti Energia, "Technical requirements for connecting wind turbine installations to the power network", EE 10421629 ST 7:2001, Company Standard, 2001

[8] ELTRA, "Specifications for connecting wind farms to the transmission network", ELT1999-411a

[9] M. ERMIS: "Various induction generator schemes for wind-electricity generation", *Electric Power Systems Research*, vol. 23, 1992, pp. 71-83

[10] L. FRERIS: *Wind energy conversion systems*, Prentice Hall, 1990

[11] P. GARDNER: "Grid connection of wind turbines", *Power Generation Journal*, vol. 18, 1995, pp. 58-63

[12] S. HEIER: *Grid integration of wind energy conversion systems*, John Wiley & Sons, 1998

[13] IEC, "Wind turbine generator systems – PART 1 – PART 21", *IEC Standards,* IEC61400-1& IEC61400-21, 1998

[14] H. KNUDSEN: "Induction generator models in dynamic simulation tool", *Proc. Intl. Conference on Power System Transients IPST'99*, Budapest, Hungary, June 20-24, 1999, pp. 253-259

[15] J. MILANOVIC: "Stability of distribution networks with embedded generators and induction motors", *IEEE paper,* No. 0-7803-7322-7, 2002

[16] NORDEX, "N50/800 kW: Leading technology for first class outputs", Technical Brochure, Norderstedt, Germany, 2002

[17] P. NOVAK: "Modeling and control of variable-speed wind-turbine drive-system dynamics", *IEEE Control Systems*, Aug. 1995, pp. 28-38


## WIND POWER PLANTS' OPERATION


The paper presents the generic model of wind to electric energy conversion. General scheme of wind power plants concerning three types of energy is discussed: wind, mechanical and electric energy. In order to analyze wind power plant operation it is necessary to consider the electronic interface to alternating current system, wind turbine generator as power generating engine and wind as primary energy source. Basic characteristics of wind power plants' operation are described from the point of choice of power plant design considering the type of connection to the grid as well as the stability of main axle's rotating speed.


## DER EINSATZ VON WINDKRAFTWERKEN


Im Artikel ist ein angeeignetes Modell der Umwandlung der Energie des Windes in die elektrische Energie vorgezeigt. Das allgemeine Wirkschaltplan des Windkraftwerkes, alle im Projekt umfasste Anlageteile jeder der drei Energieformen (Windenergie, mechanische und elektrische Energie) beinhaltend, ist in Betracht gezogen. Zwecks Untersuchung des Windkraftwerkes im Betrieb, ist eine Beurteilung der elektronischen Schnittstelle zum Wechselstromnetz, des Generators, der Windturbine, sowie des Windes, als primären Energieträgers, unentbehrlich. Die Grundmerkale des Windkraftwerkbetriebes sind vom Standpunkt der Bauartwahl des Windkraftwerkes -seine Ankoppelungsart an das Versorgungsnetz berücksichtigend- , und vom Standpunkt der Stätigkeit der Drehgeschwindigkeit der Hauptwelle aus, betrachtet.



Naslov pisaca:

**Dr. sc. Nijaz Dizdarević, dipl. ing.**
**dr. sc. Matislav Majstrović, dipl. ing.**
**dr. sc. Srđan Žutobradić, dipl. ing.**
**Energetski institut "Hrvoje Požar"**
**Savska 163,**
**10000 Zagreb, Hrvatska**



Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 04 – 24.


CERETTI
TANFANI

# DIJAGNOSTIKA NJIHANJA SNAGE CIJEVNIH AGREGATA HE DUBRAVA

Branko B a j i ć, Luksemburg/Zagreb

UDK 621.311.21.005
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Na osnovi multidimenzionalnih ispitivanja kavitacije, formulira se i verificira dijagnoza uzroka njihanja snage u ritmu jednom na okret na cijevnim agregatima HE Dubrava snage po 40 MW. Uzrok njihanja je jaka iako slabo erozivna kavitacija, koja, zbog rada izvan projektnog režima, horizontalnog položaja vratila i velikog promjera radnog kola, te neujednačene i nedovoljne kavitacijske kvalitete lopata radnog kola, pulsira jednom na okret.

**Ključne riječi:** **fluktuacije snage, kavitacija, multidimenzionalna dijagnostika, cijevna turbina, HE Dubrava.**

## Uvod

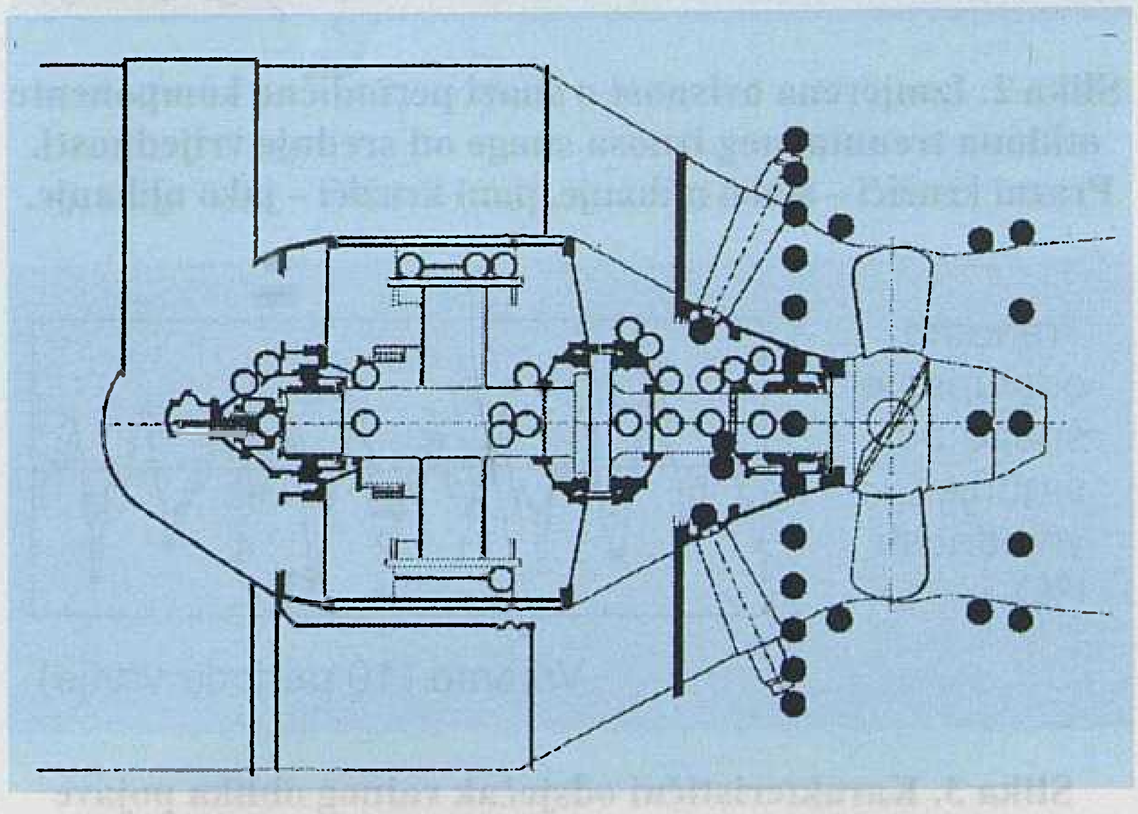
Od puštanja u pogon 1989. godine, na cijevnim agregatima HE Dubrava dolazi do njihanja snage u ritmu jednom na okret, na agregatu A razmjerno jakog a nešto slabijeg na agregatu B. Njihanje opterećuje konstrukciju i skraćuje životni vijek postrojenja. U periodu od 1990. do 2002. godine, iskušan je niz pristupa ovom problemu [1 – 12], no uzrok pojave nije utvrđen.

Vibro-akustička dijagnoza kavitacije u turbini* agregata A na Dubravi, koja je, multidimenzionalnom metodom Korto Cavitation Services [13,14], izvedena 2002. godine (sl. 1), ukazala je na moguću vezu kavitacije i njihanja snage [14]. Nakon toga je, uz korištenje svih dostupnih eksperimentalnih podataka o njihanju snage [15] i kavitaciji u turbini A, iz naravi [14] i modelskih [16,17], ta mogućnost detaljno analizirana. Jedan od ciljeva analize bio je da se utvrdi u kojoj je mjeri njihanje snage posljedica okolnosti da turbine na Dubravi rade s oko 1,5 m nižom donjom vodom od projektne jer (još) nije izgrađena planirana nizvodna elektrana.

Ovdje se izvješćuje o rezultatima te analize. Najprije se bilježi izvedena dijagnoza, potom argumenti na kojima se ona zasniva, a na kraju se još razmatraju praktične implikacije nalaza, uključivši one oko utjecaja donje vode.

## DIJAGNOZA

Njihanje snage agregata A HE Dubrava uzrokuje kavitacija, koja, zbog horizontalnog položaja vratila i velikog promjera radnog kola, pulsira jednom na okret.



**Slika 1. Agregat A HE Dubrava s osjetilima rabljenim u multidimenzionalnim dijagnostičkim ispitivanjima. Za dijagnostiku kavitacije i njihanja snage iskorištena su, uz izvore podataka o režimu, osjetila označena punim kružićima.**

Njihanje postaje jako kad se na lopatama radnog kola razvije jaka slojasta kavitacija, a posebno jako kad se na lopatama privodnog kola, naročito gornjim, zaustavi smeće; ono kvari nastrujavanje radnog kola, pa pospješuje razvoj kavitacije. Kavitacijska je kvaliteta lopata radnog kola različita; jedna kavitira posebno jako – otud ritam njihanja od jednom na okret.

## PODACI IZ ISPITIVANJA

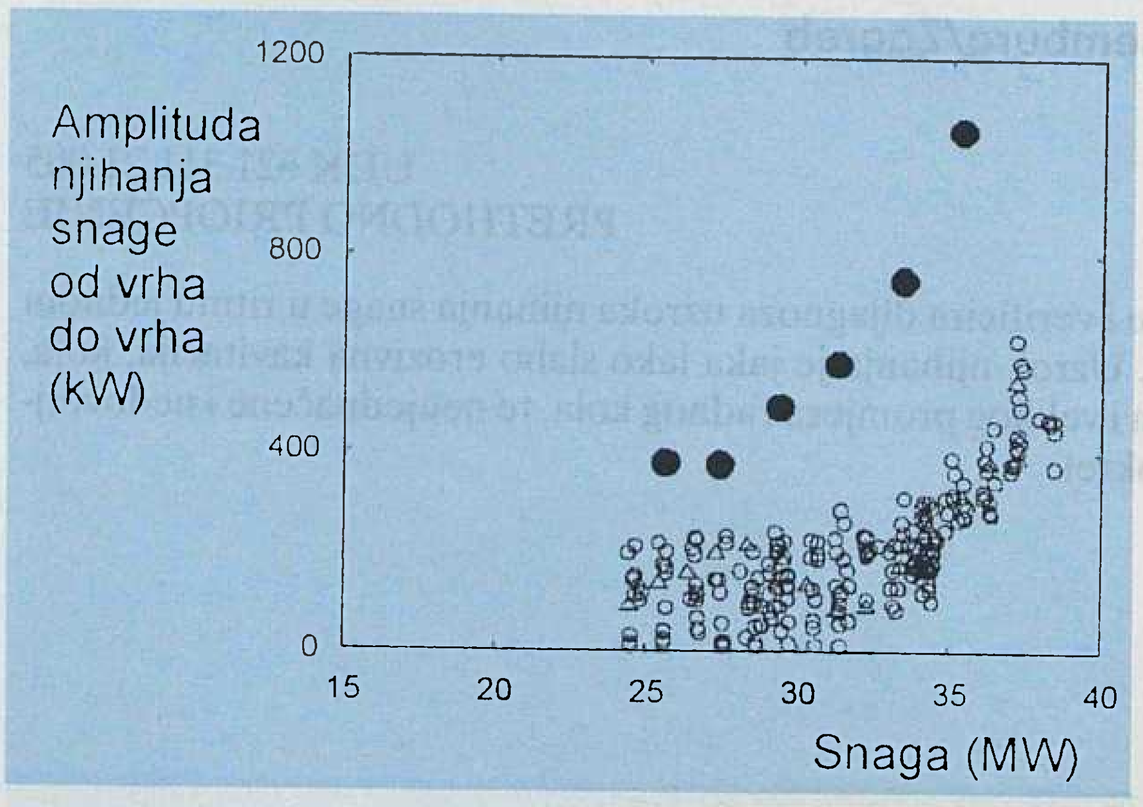
### Njihanje snage

Monitoringom njihanja snage, koji je obuhvatio velik broj različitih režima rada agregata A HED [15], nađene su, u skladu sa zapažanjem osoblja elektrane [18], dvije klase procesa njihanja snage:

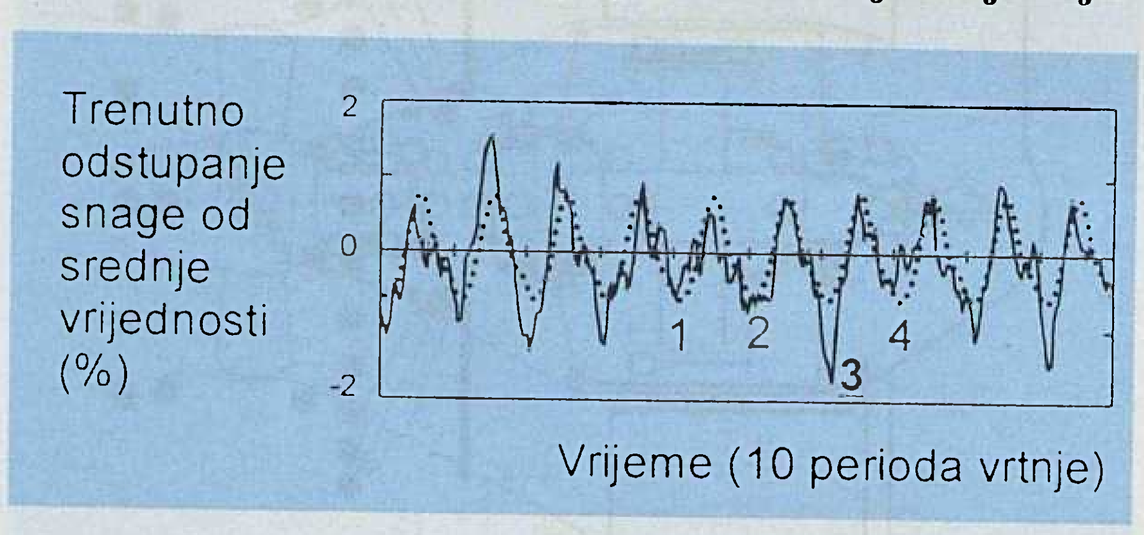
* Osnovni podaci o turbinama: snaga 40 MW; nazivni pad 17,5 m; nazivni protok 250 $m^3/s$; brzina vrtnje 125 $min^{-1}$; promjer radnog kola 5,4 m; broj lopata radnog kola 4; broj lopata privodnog kola 24.

- slabo njihanje, koje traje neprestano, i
- jako njihanje, koje nailazi povremeno a može se eliminirati samo zaustavljanjem i ponovnim pokretanjem stroja, ne i samim prelaskom u prazni hod ili mehaničku vrtnju; tijekom ispitivanja naišao je samo jedan slučaj jakog njihanja.

Nađena ovisnost amplitude njihanja o snazi zabilježena je na sl. 2, a na sl. 3 ilustriran je valni oblik promjenljive komponente snage.



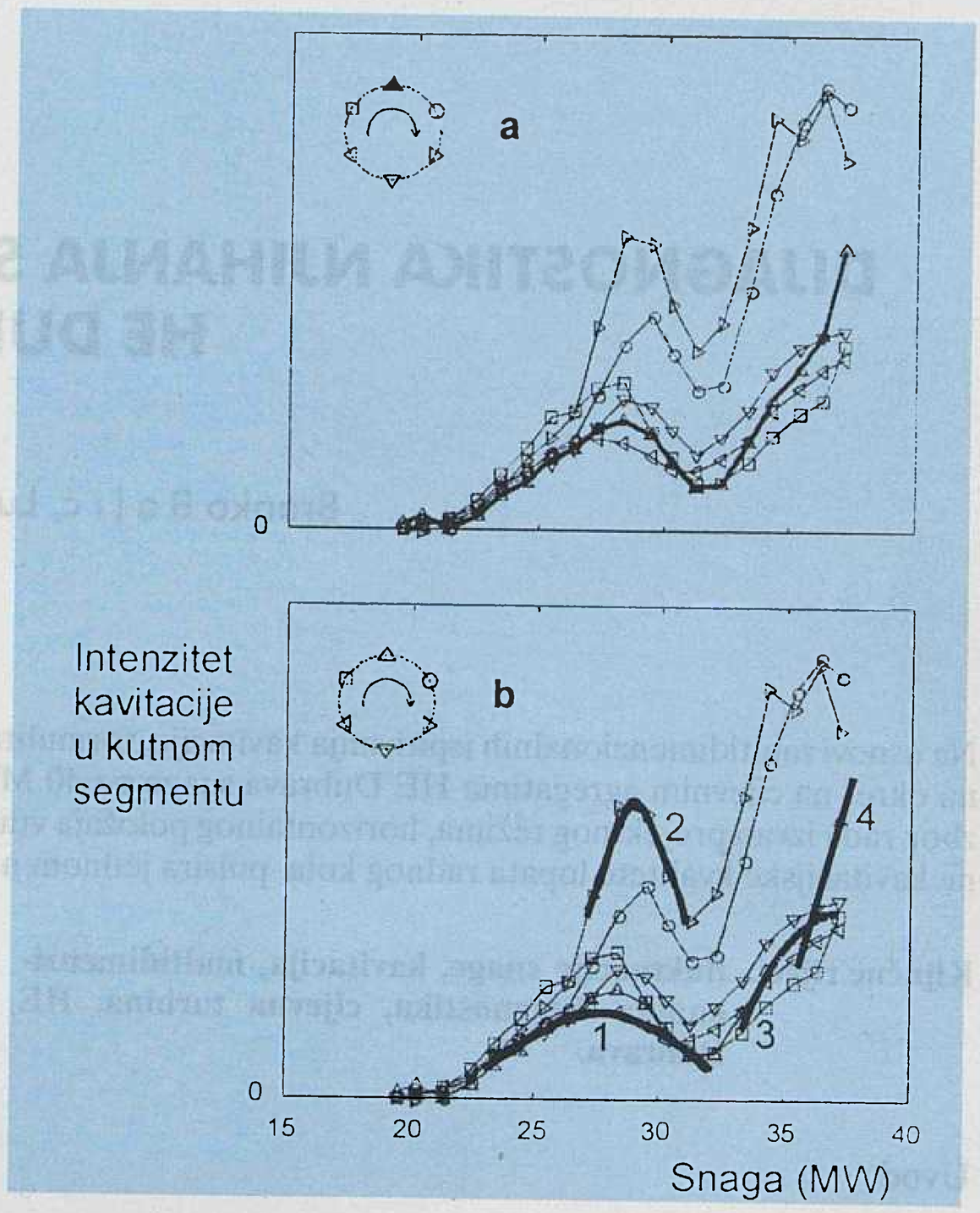

**Slika 2. Izmjerena ovisnost o snazi periodične komponente otklona trenutačnog iznosa snage od srednje vrijednosti. Prazni kružići – slabo njihanje, puni kružići – jako njihanje.**



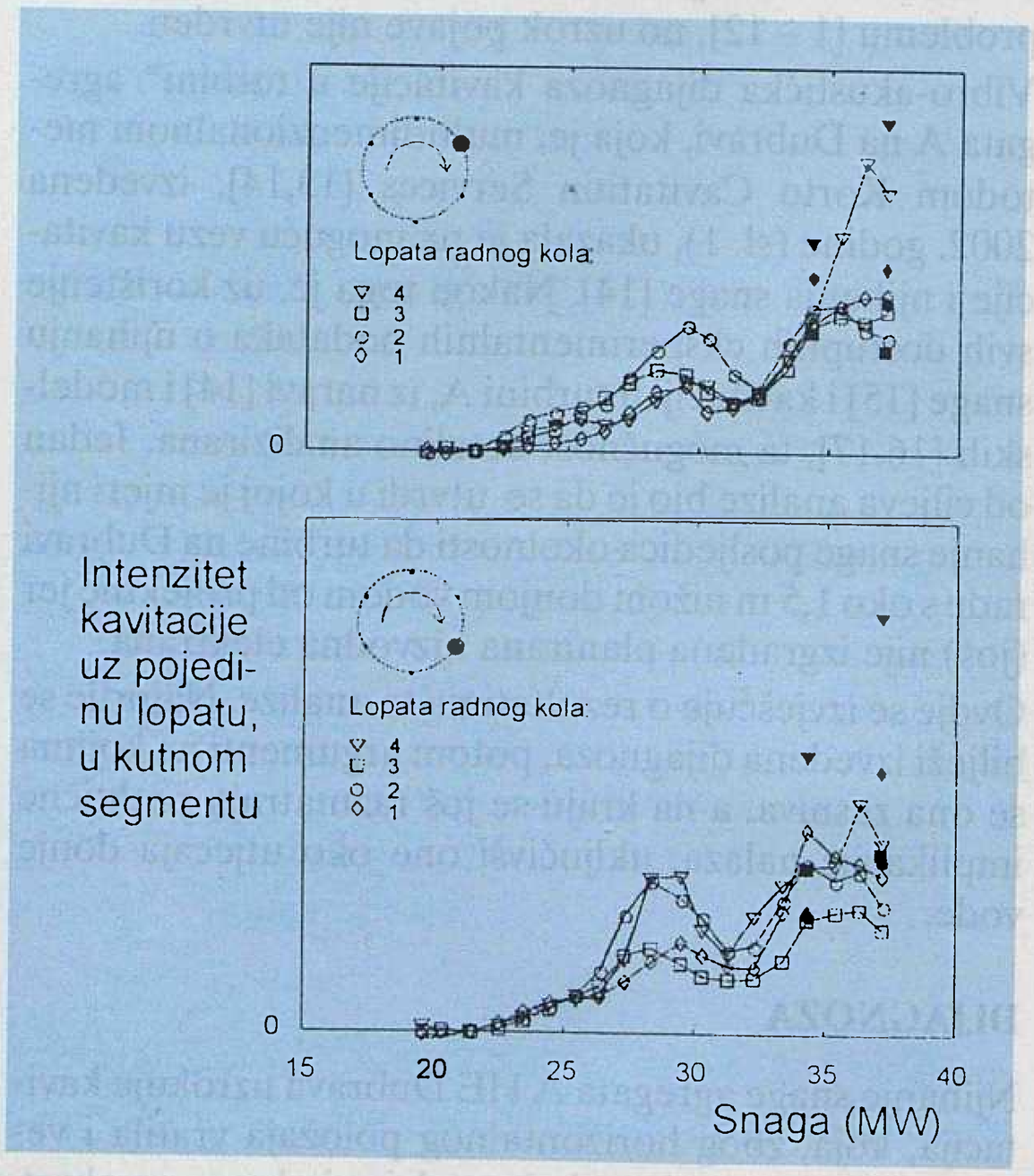

**Slika 3. Karakteristični odsječak valnog oblika pojave njihanja snage, snimljen na visokim snagama turbine (puna crta) i aproksimacija njegove deterministčke, polagano promjenljive komponente (točkice)**

## Kavitacija

Multidimenzionalna metoda dijagnostike i monitoringa, primijenjena pri ispitivanju kavitacije [14], omogućuje prostorno razlučivanje kavitacije, razlučivanje kavitacije iza pojedinih lopata radnog kola, razlikovanje pojedinih kavitacijskih mehanizama, kao i kombinacije postupaka s takvim razlučivanjima. Uz grubu prostornu rezoluciju (po kutnim segmentima unutar turbine), takvi rezultati ispitivanja prikazani su na sl. 4 – 7 [14], i to na sl. 4 – 6 u prirodnom stanju stroja, a na sl. 7 sa simuliranjem greške koja ilustrira utjecaj nepovoljnog nastrujavanja radnog kola na kavitaciju. Kao intenzitet kavitacije, na slikama je prikazana vibro-akustička veličina koja je u slučaju erozivne kavitacije proporcionalna brzini odnosa metala, a za sve je tipove kavitacije definirana jednako.

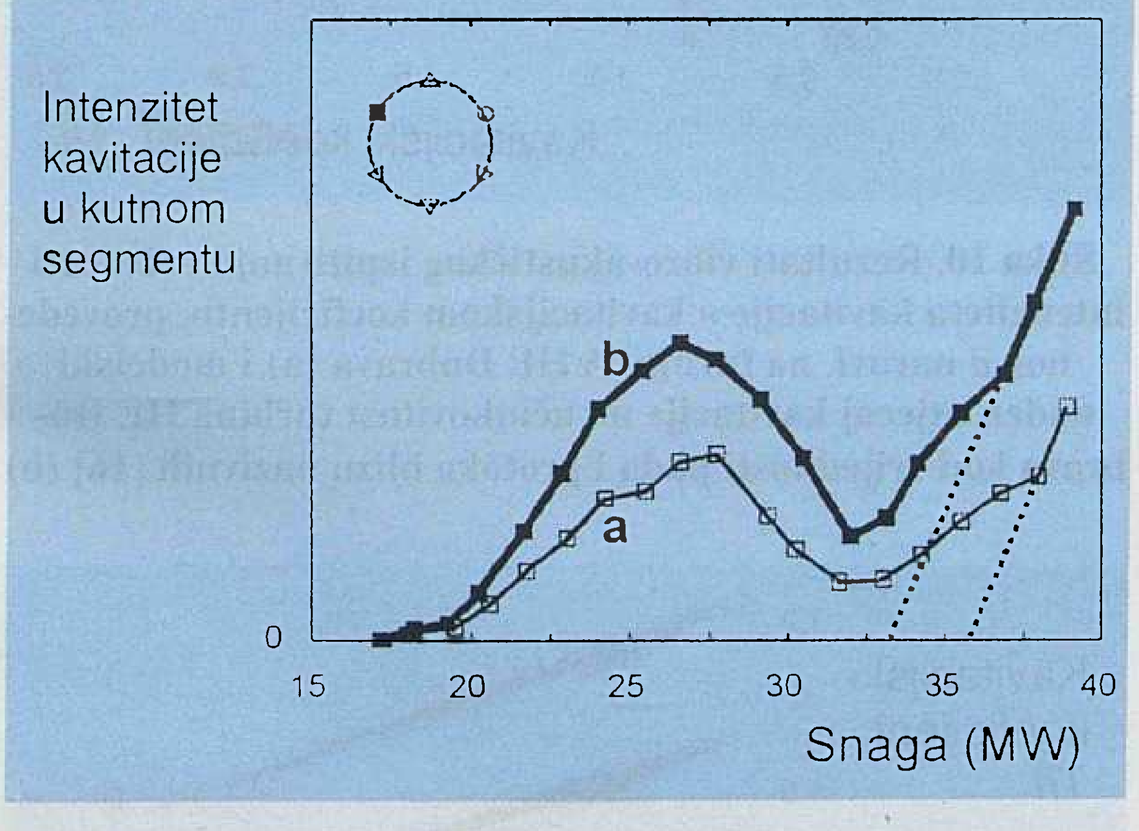



**Slika 4. Intenzitet kavitacije u 6 kutnih segmenata turbine označenih sa 6 znakova (pogled nizvodno; strelica označuje smjer vrtnje) [14]. Na slici a posebno je, debelom crtom, označen kutni segment s najnižim tlakom, prema gore, a na slici b tragovi četiri kavitacijska mehanizma koji djeluju u turbini.**




**Slika 5. Intenzitet kavitacije uz svaku od 4 lopate radnog kola, u dva kutna segmenta – desno gore i desno dolje [14]. Prazni znakovi i crte – režimi sa slabim njihanjem, puni znakovi – režimi s jakim njihanjem snage.**

**Slika 6. Intenzitet kavitacije uz svaku od 4 lopate radnog kola (radijalna koordinata) u ovisnosti o trenutačnom kutnom položaju radnog kola mjerenom položajem lopate 4 (kutna koordinata) [14]. Debele crte – slabo njihanje, tanke crte – jako njihanje snage.**

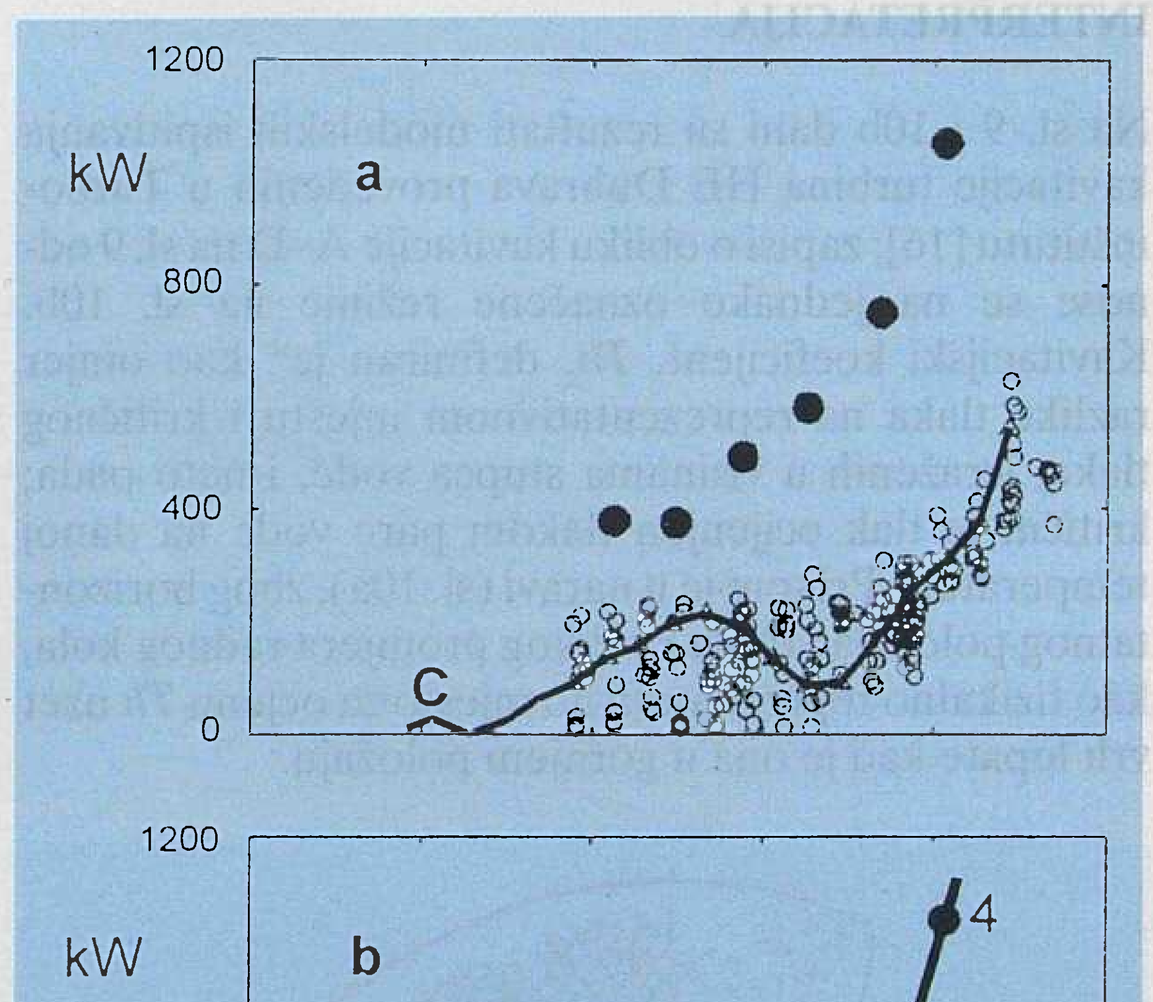


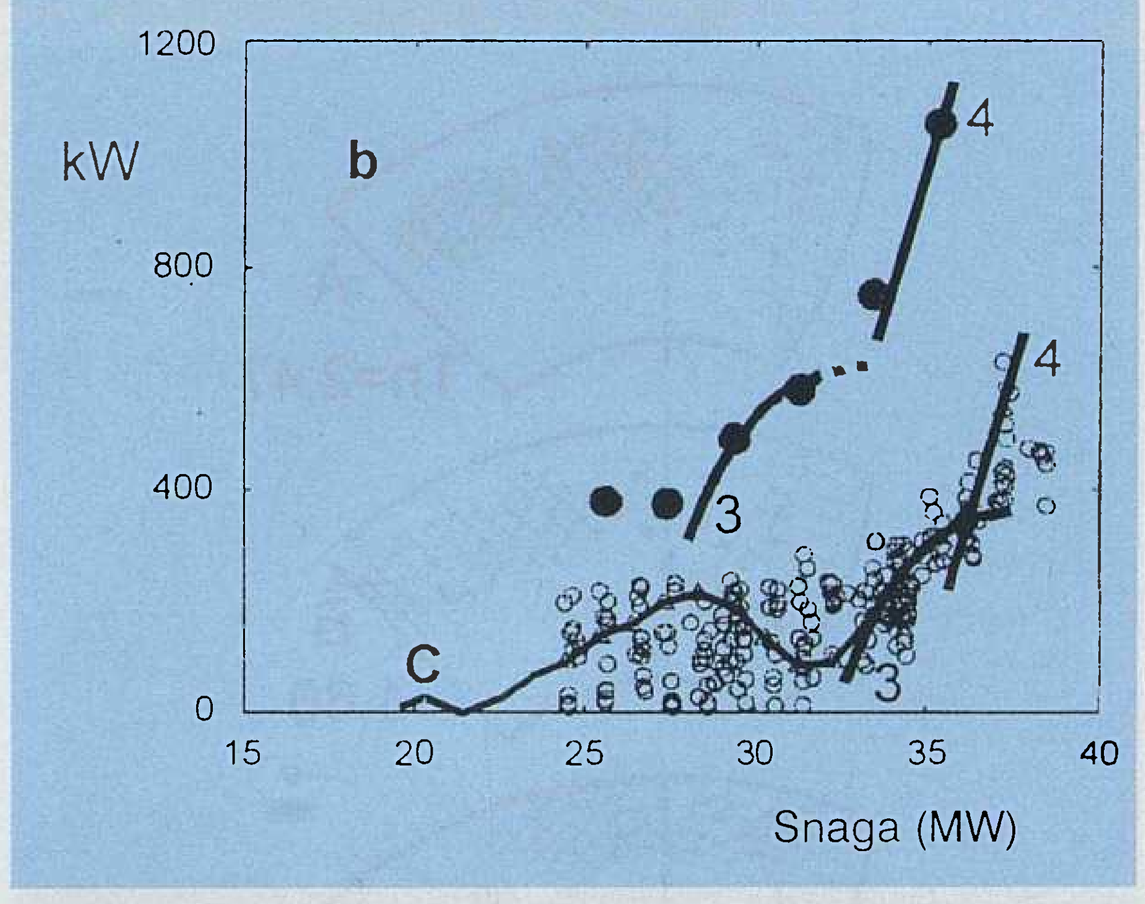

**Slika 7. Utjecaj pogrješnog položaja privodne lopate [14] – intenzitet kavitacije u kutnom segmentu iza lopate otvorene za 5° više nego po kulisi: (a) lopata u normalnom položaju, (b) lopata zakrenuta**

## ANALIZA

### Brzina promjene

Ocjena periodične komponente izmjerenog valnog oblika fluktuacija snage, prikazana na sl. 3, može poslužiti kao svojevrsna referencija pri prosudbi brzine promjene izmjerenog valnog oblika njihanja snage. Kako se vidi iz slijeda perioda 1-2-**3**-4, promjena trenutnog iznosa snage je vrlo brza: znatan otklon snage od prosjeka događa se već unutar jednog perioda vrtnje. Dva su izravna zaključka: (a) za bilo kakav rezonantni mehanizam (generiranja pojave osnovnog ritma jednom na okret) ovo je prebrzo; (b) kavitacija, za koju je tipično da se, reagirajući na slučajne promjene u uvjetima nastrujavanja, mijenja već unutar dijela okreta, mogla bi – što se brzine promjena tiče – izazvati pojavu poput 1-2-**3**-4.




**Slika 8. Podaci o ovisnosti amplitude njihanja snage o postavljenoj snazi agregata (sa sl. 2), uspoređeni s podacima o ovisnosti intenziteta kavitacije o snazi: (a) njihanje u usporedbi s ovisnošću intenziteta kavitacije u gornjem kutnom segmentu (krivulja C preuzeta sa sl. 4a); (b) njihanje, slabo i jako, u usporedbi s oblicima ovisnosti kavitacijskih mehanizama o snazi (mehanizmi 3 i 4 sa sl. 4b)**

### Ovisnost o snazi

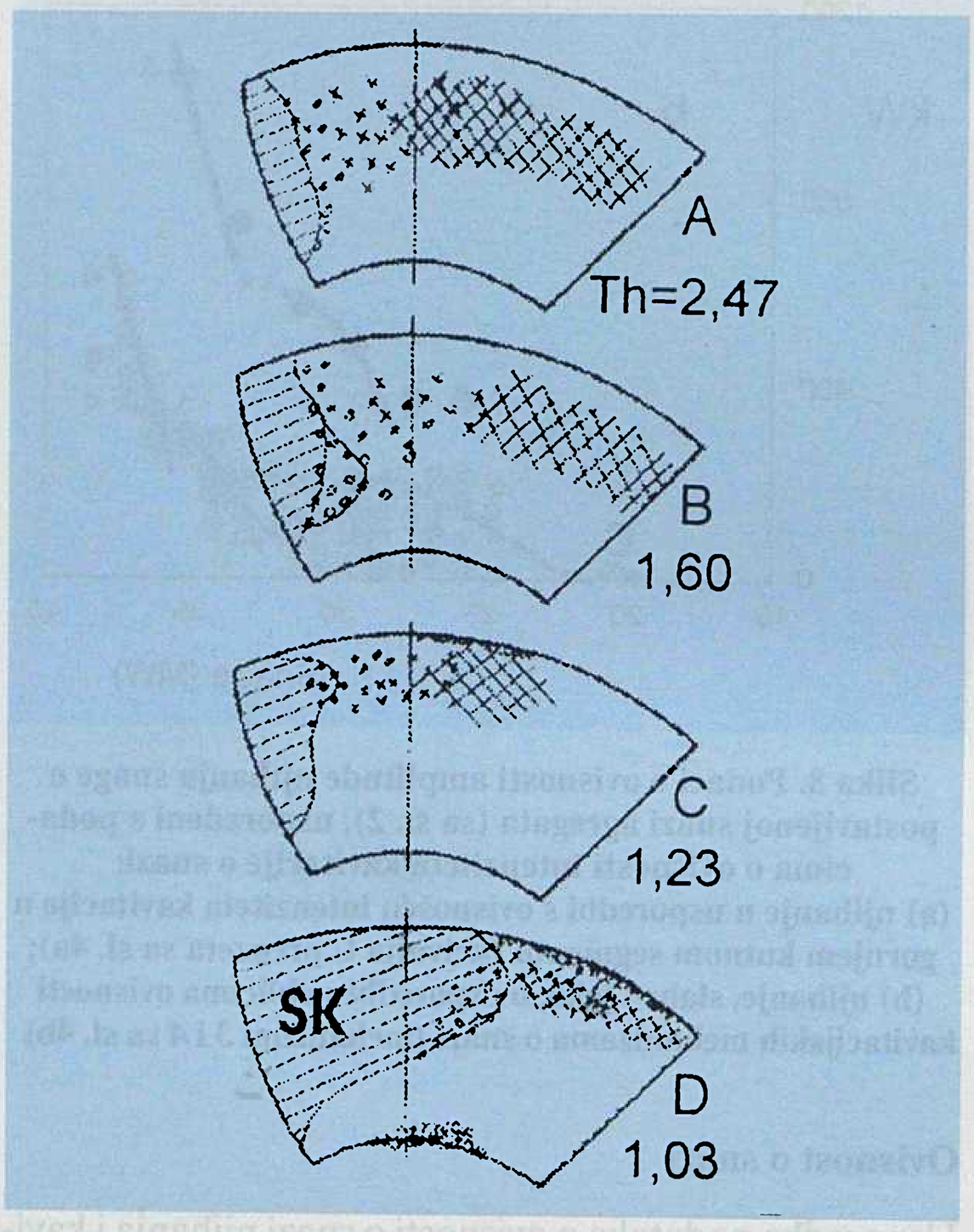
Usporedba podataka o ovisnosti o snazi njihanja i kavitacije, izvedena iz sl. 2 i 4 a prikazana na sl. 8, ukazuje na dobro podudaranje karakterističnih oblika tih ovisnosti. I doista, na višim iznosima snage, gdje njihanje najjače dolazi do izražaja, ono slijedi karakterističan nemonotoni tok ovisnosti o snazi kavitacije (sl. 8a), a u tome se razabiru tragovi kavitacijskih mehanizama što djeluju na višim i visokim snagama (sl. 8b).

### Ovisnost o položaju radnog kola

Oblik ovisnosti intenziteta kavitacije o trenutnom kutnom položaju radnog kola, sl. 6, ili, točnije, razlika tog oblika u slučaju slabog i jakog njihanja snage, pokazuje da su kavitacija i jako njihanje povezani, te da ta veza ima vremenski tok koji odgovara ritmu njihanja: jednom na okret, unutar manjeg dijela okreta, dolazi do eksplozivnog rasta intenziteta kavitacije kad agregat jako njiše.

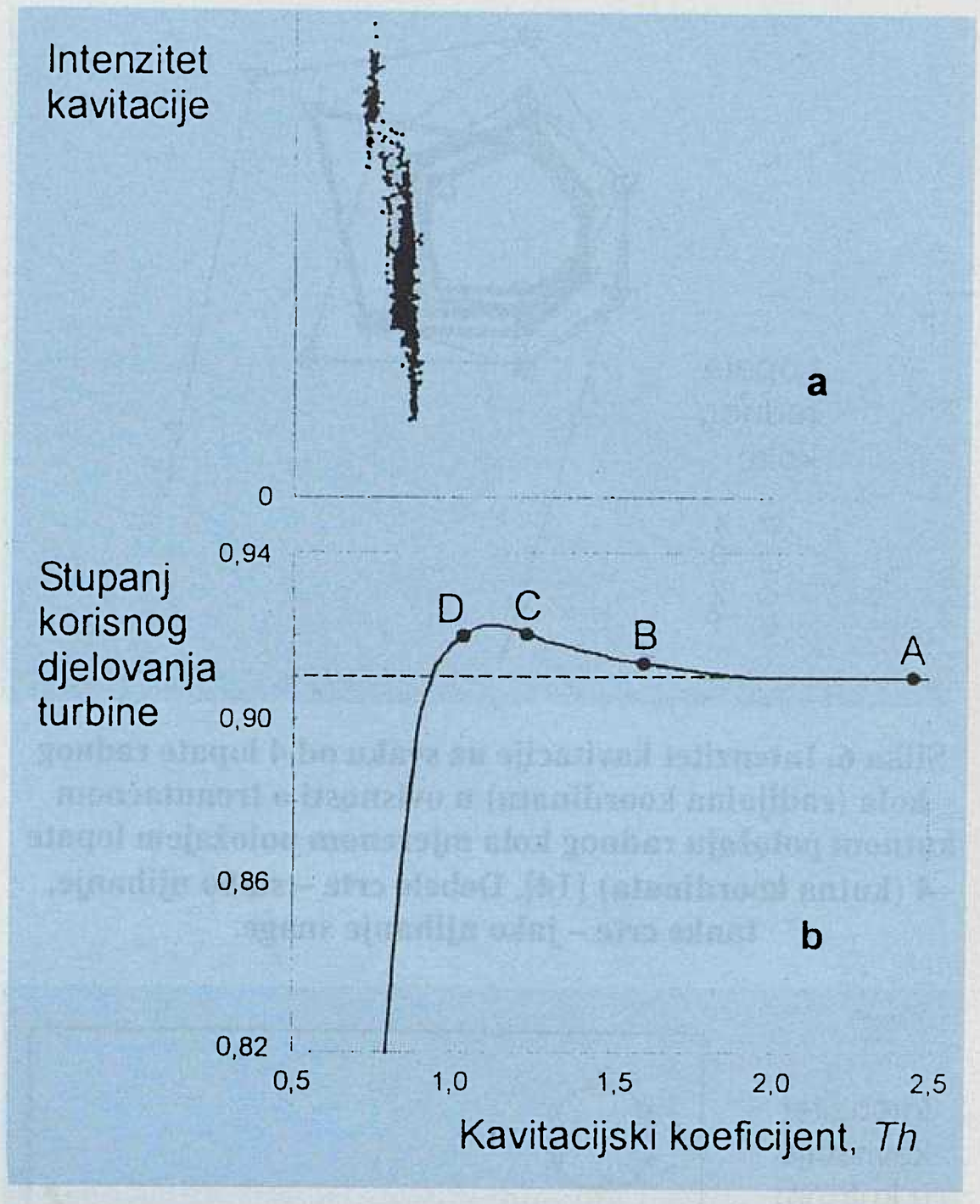
## INTERPRETACIJA

Na sl. 9 i 10b dani su rezultati modelskih ispitivanja kavitacije turbina HE Dubrava provedenih u Turbo-inštitutu [16]; zapisi o obliku kavitacije A–D na sl. 9 odnose se na jednako označene režime na sl. 10b. Kavitacijski koeficijent, *Th*, definiran je* kao omjer razlike tlaka na reprezentativnom mjestu i kritičnog tlaka, izraženih u visinama stupca vode, i neto pada; kritični je tlak ocijenjen tlakom pare vode na danoj temperaturi. Pri tom je u naravi (sl. 10a), zbog horizontalnog položaja vratila i velikog promjera radnog kola, kao fizikalno reprezentativno mjesto za ocjenu *Th* uzet vrh lopate kad je ona u gornjem položaju.

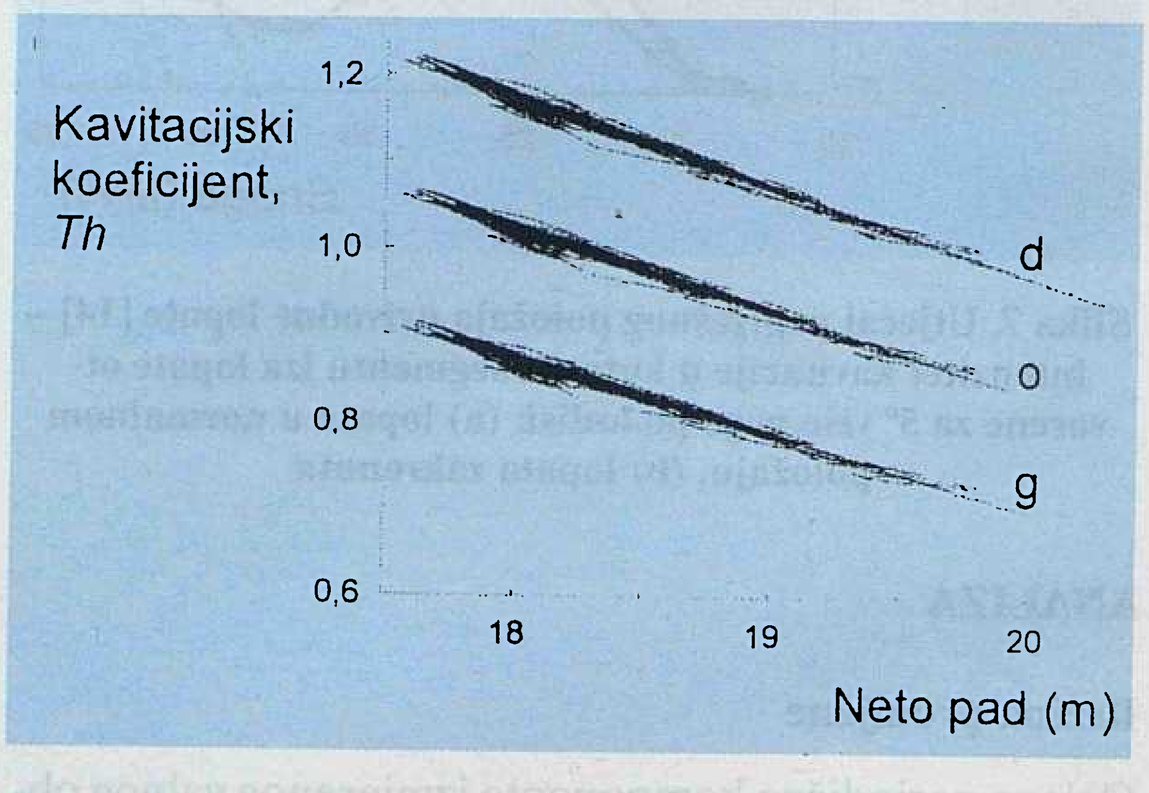



**Slika 9. Oblici kavitacije nađeni modelski blizu nazivnih vrijednosti pada i protoka za HE Dubrava, pri 4 iznosa kavitacijskog koeficijenta, Th [17]; tipovi kavitacije su označeni na način koji se rabi pri ispitivanju brodskih vijčanih propelera. Razni prisutni tipovi kavitacije različito su erozivni; SK po tome nije posebno opasna.**

Strmi pad učinkovitosti turbine s padom *Th* ispod praga (sl. 10b) praćen je naglim rastom vibro-akustički ocijenjenog intenziteta kavitacije (sl. 10a). Iz sl. 9 se razabire da su ti efekti posljedica snažnog razvoja slojaste kavitacije, SK na slici. Uz veliko opterećenje, a na niskim vrijednostima kavitacijskog koeficijenta, SK zahvaća tako velik dio površine lopate radnog kola, da se uzgon ove osjetno smanji. To smanjuje doprinos koji lopata daje ukupnom momentu, a mjerivi rezultat je trenutni




**Slika 10. Rezultati vibro-akustičkog ispitivanja ovisnosti intenziteta kavitacije o kavitacijskom koeficijentu, provedenog u naravi, na turbini A HE Dubrava (a) i modelski nađen utjecaj kavitacije na učinkovitost turbina HE Dubrava kod vrijednosti pada i protoka blizu nazivnih [16] (b)**




**Slika 11. Pregled režima rada agregata HE Dubrava: kavitacijski koeficijent na osi (o), na vrhu lopate radnog kola kad je ona dolje (d) ili gore (g), u ovisnosti o neto padu, a za tipičnu visinu gornje vode**

pad snage turbine. Trag kavitacije SK na rezultatima sa sl. 4 i 8 je mehanizam na najvišim opterećenjima – mehanizam 4: osim o kavitacijskom koeficijentu, razvoj SK ovisi i o opterećenju lopate, i to jako.

Pregled kavitacijskih prilika na turbinama HE Dubrava u naravi, dan na sl. 11, pokazuje da vrh lopate i njeni dijelovi na višim radijusima prolaze kroz režime s vrlo niskim iznosima kavitacijskog koeficijenta, onima

* Preuzeta je definicija iz [16]. Važeća norma veličinu blisku ovoj naziva Thomin broj.

ispod praga krivulje učinkovitosti sa sl. 10b. Posljedica je jak razvoj kavitacije SK, uočljiv preko vibro-akustički detektiranog mehanizma 4.

Kako se kavitacijske prilike mijenjaju periodično, jer unutar okreta svaki dio lopate prolazi kroz stanja između odgovarajućeg maksimuma i minimuma kavitacijskog koeficijenta (vrh lopate između vrijednosti d i g sa sl. 11), i kavitacija SK pulzira. S obzirom na njen slučajni karakter, ove promjene nisu strogo periodične.

Kad bi kavitacijska kvaliteta svih lopata radnog kola bila jednaka, promjene intenziteta kavitacije i promjene učinkovitosti imale bi karakterističnu ritam 4 puta na okret. Kako se, medjutim, lopate razlikuju po kavitaciji (sl. 5 i 6), i to tako da kavitacija na jednoj lopati, lopati broj 4, dostiže najviši intenzitet, znatno viši od onog na drugima, tipična je periodičnost jednom na okret, dakle ona koja se u njihanju snage i opaža. Zanimljivo je da su geometrija lopata i njihov postav unutar norme; to očito ne osigurava ujednačenost kavitacijske kvalitete.

Osobitosti jakog njihanja – da nailazi samo ponekad i da se ne da eliminirati izlaskom s mreže nego samo zaustavljanjem i ponovnim pokretanjem agregata – mogu se objasniti efektom poput onog sa sl. 7. Na nekoj privodnoj lopati uhvati se smeće, koje se može ukloniti tek zaustavljanjem i pokretanjem agregata. Smeće kvari nastrujavanje lopata radnog kola. To izaziva pojačanu kavitaciju u tragu onečišćene privodne lopate, pa slijedi pad uzgona, momenta i snage. Kako pokazuju sl. 5 i 6, posebno jaka kavitacija razvija se na ovaj način na jednoj, najlošijoj lopati, 4, a iza nje slijedi lopata 1. Smeće djeluje najjače ako se uhvati na nekoj od gornjih privodnih lopata, jer se tu podupiru djelovanje nepovoljnog nastrujavanja i djelovanje niskog tlaka. Alternativnu interpretaciju, po kojoj djeluje smeće uhvaćeno na nekoj od 4 lopate radnog kola, koja onda jako kavitira kad dođe u gornji položaj, eliminira ovdje činjenica da je faza njihanja stalna.

Jaka kavitacija i pad učinkovitosti, nastali na opisani način, traju tek dio okreta; ovo je vezano na boravak vanjskih dijelova lopate 4 u području niskog tlaka. Zbog tromosti razvoja kavitacije, njen puni razvoj dolazi tek nakon prolaska kroz kritično, gornje područje, tj. tek kad je loša lopata već u nekom položaju nešto pomaknutom u smjeru vrtnje. Vibro-akustički pak ona biva najuočljivija još kasnije (sl. 5 i 6), kad se veliki kavitacijski sloj, po izlasku iz područja niskog tlaka, lomi i nestaje.

Kako pokazuje sl. 8b, ova se interpretacija može protegnuti i na slabo njihanje, a razlika među jakim i slabim je samo kvantitativna. I doista, u obadva, i u jakome i u slabome, sudjeluju i mehanizam 4 i mehanizam 3. Međutim, ako se krivulje 3 i 4 (sl. 8b) ekstrapoliraju do maksimalnih snaga, vidi se da u jakome dominira 4 a 3 ne biva značajno, dok u slabome 3 nije zanemarivo. I dalje, i kod slabije razvijene kavitacije preteže najlošija lopata, pa je i kod slabog njihanja održan ritam jednom na okret.

## MODEL PROCESA

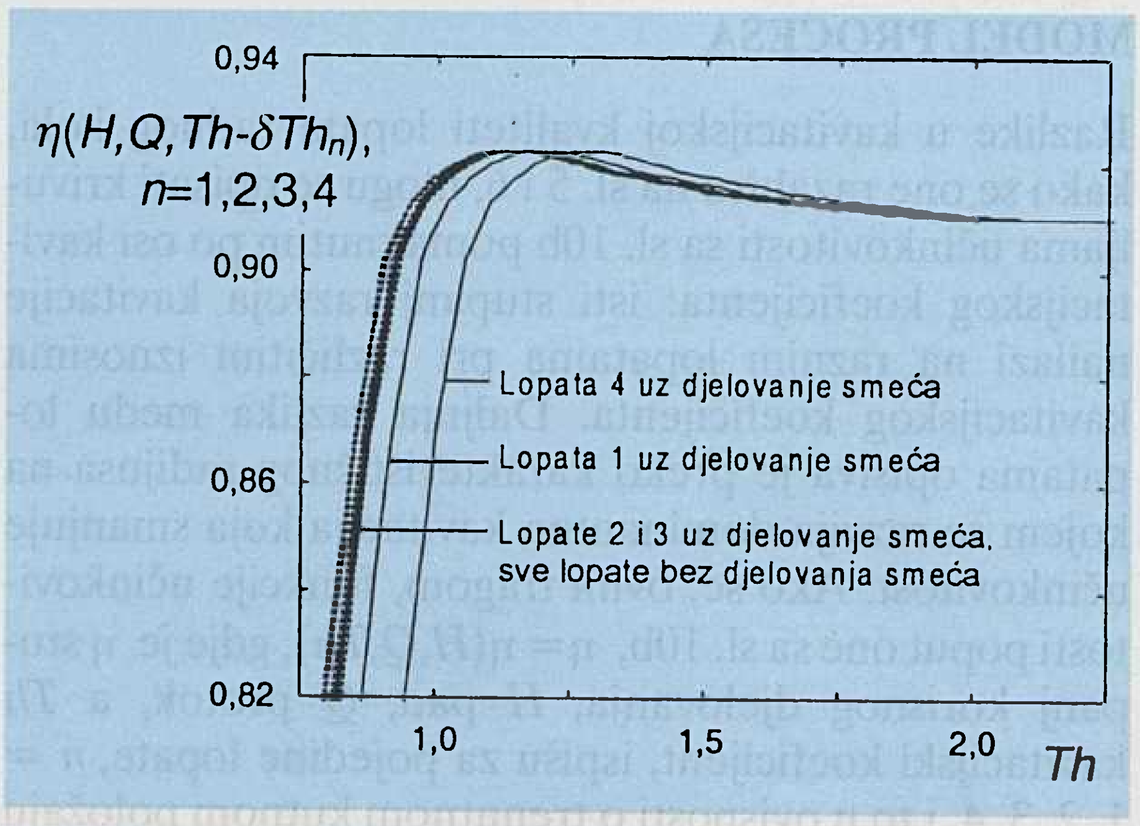
Razlike u kavitacijskoj kvaliteti lopata radnog kola, kako se one razabiru na sl. 5 i 6, mogu se opisati krivuljama učinkovitosti sa sl. 10b pomaknutim po osi kavitacijskog koeficijenta: isti stupanj razvoja kavitacije nailazi na raznim lopatama pri različitim iznosima kavitacijskog koeficijenta. Daljnja razlika među lopatama opisiva je preko karakterističnog radijusa na kojem se razvija dominantna kavitacija koja smanjuje učinkovitost. Ako se, ovim tragom, funkcije učinkovitosti poput one sa sl. 10b, $\eta = \eta(H,Q,Th)$, gdje je $\eta$ stupanj korisnog djelovanja, $H$ pad, $Q$ protok, a $Th$ kavitacijski koeficijent, ispišu za pojedine lopate, $n$ = 1, 2, 3, 4, i to u ovisnosti o trenutnom kutnom položaju radnog kola, $\Theta$, kao $\eta_n = \eta(H,Q,Th(\Theta-n\pi/2-\Theta_o,r_n) - \delta Th_n)$, uz $Th(\Theta,r)$ jednako kavitacijskom koeficijentu na karakterističnom radijusu $r$ a uz kolo u položaju $\Theta$, $r_n$ karakterističnom radijusu lopate $n$, $\delta Th_n$ spomenutom pomaku krivulje učinkovitosti po $Th$, kojim se opisuje kvaliteta lopate $n$, a sa $\Theta_o$ se modelira kašnjenje razvoja kavitacije za uzbudom, priređena je osnova modela za simulaciju procesa njihanja snage prema gore zabilježenoj interpretaciji.

Dalje se pretpostavi da je komponenta momenta koju doprinosi lopata $n$ proporcionalna $\eta_n$, a četvrtina sume $\eta_n$ svih četiriju lopata, $\eta(H,Q,Th_{ref},\Theta)$, koja se označi nekim referentnim iznosom $Th$, $Th_{ref}$, npr. onim na osi, promatra se kao veličina proporcionalna ukupnom momentu i snazi. Tako se za trenutni relativni iznos snage u trenutku kad je radno kolo u $\Theta$, dobiva $\eta(H,Q,Th_{ref},\Theta)/\eta(H,Q,Th_{ref},\Gamma\varphi>_\varphi)$, gdje $<f(\varphi)>_\varphi$ označuje usrednjavanje $f(\varphi)$ po $\varphi \in 0,2\pi$ . Odstupanje ove veličine od 1 je trenutni relativni otklon snage od srednje vrijednosti uz radno kolo u $\Theta$, a razlika pak maksimuma i minimuma (po $\Theta$) te veličine je relativna amplituda njihanja snage od vrha do vrha, i to ona u režimu $(H,Q,Th_{ref})$.

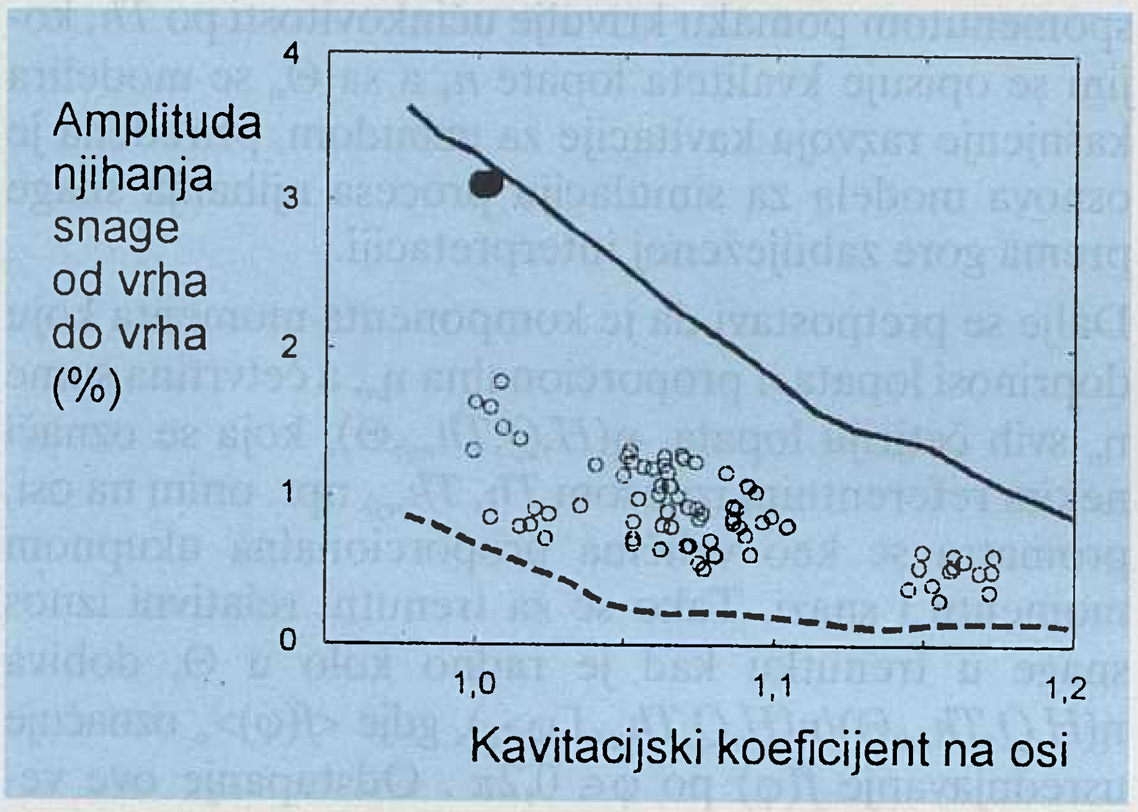
Zabilježeni model pojave je deterministički. On daje periodičan opis prilika i odnosi se samo na periodičnu komponentu njihanja, ne i na slučajna odstupanja od nje.

## SIMULACIJA

Pomoću opisanog modela provedena je simulacija njihanja snage. Pretpostavljen je isti karakteristični radijus $r_n$ za sve lopate, $n$ =1,2,3,4, i to jednak 70 % radijusa radnog kola. Pomaci $\delta Th_n$ procijenjeni su na osnovi razlika vibro-akustički nađenih intenziteta mehanizma 4 na najvišim snagama na raznim lopatama, prema sl. 5. Pri tom je pretpostavljeno da najbolja lopata slijedi ponašanje modela, a za ostale su, iz razlika intenziteta u odnosu na nju, preko ovisnosti sa sl. 10a modelirane pravcem, procijenjeni pomaci $\delta Th_n$; rezultat je predstavljen na sl. 12. Ovaj opis, pa i iz njega izvedeni rezultati, odnose se na pad i protok oko nazivnih vrijednosti, jer se na to odnosi modelski opis prilika sa sl. 9 i 10b.




**Slika 12. Kavitacijska kvaliteta lopata radnog kola, procijenjena na osnovi vibro-akustičkih ocjena intenziteta kavitacije; za najbolju se lopatu pretpostavlja da slijedi ponašanje predviđeno modelskim ispitivanjima**

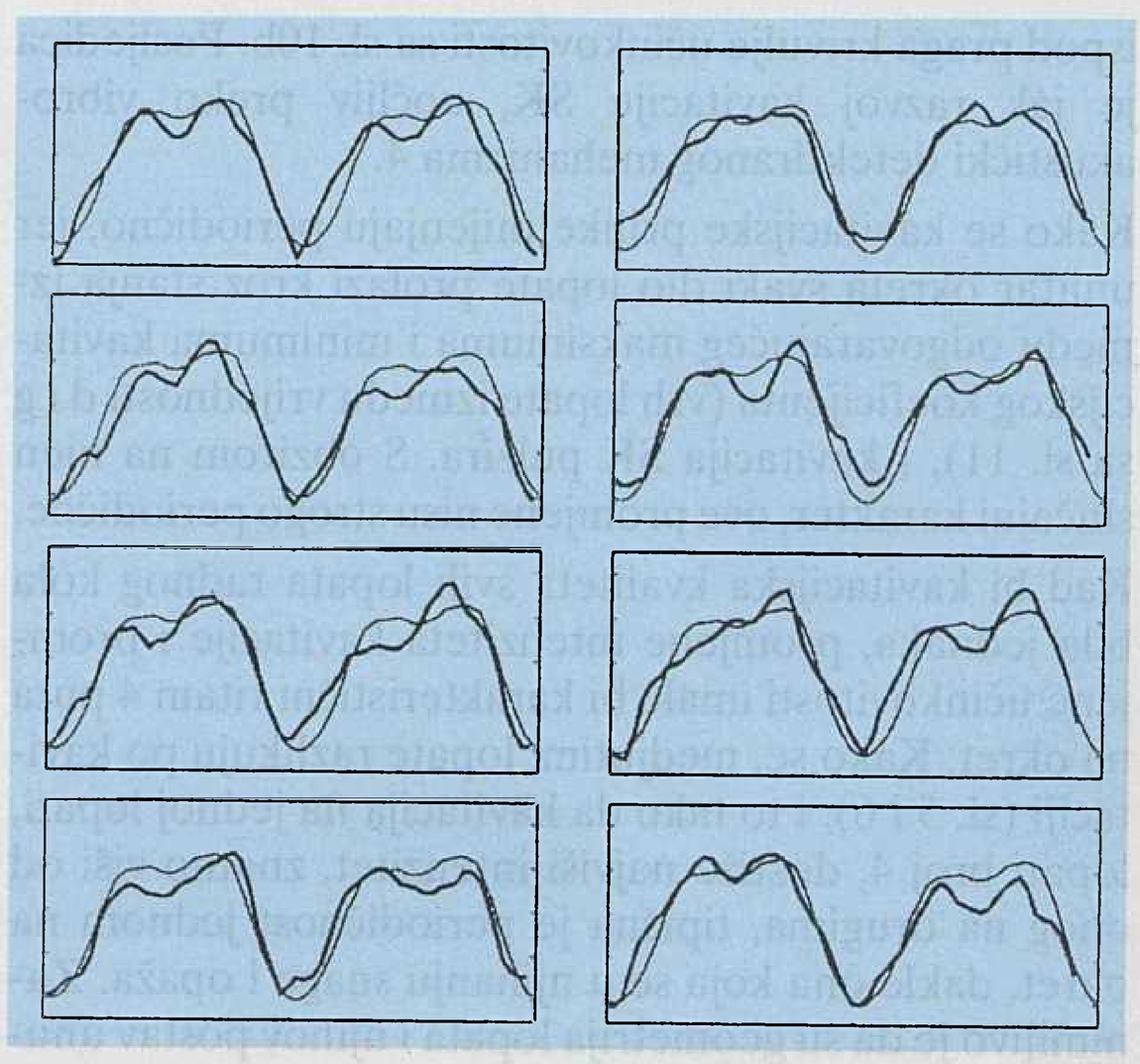



**Slika 13. Rezultati simulacije (crte) i mjerenja (točke): puna crta i puni kružići – jako njihanje (smeće na privodnim lopatama djeluje); crtkano i prazni kružići – slabo njihanje (bez smeća). Ovaj opis vrijedi za visoke snage pri padu oko nazivnog.**

Usporedba izmjerenih amplituda njihanja snage i onih iz simulacije sa zabilježenim parametrima, prikazana je na sl. 13; globalno su tu kavitacijske prilike opisane onima na osi turbine. Evidentno je da model za slabo njihanje daje samo donju granicu amplituda (mehanizam 3 postaje važan, a nije dobro opisan rabljenim modelom procesa), a što se tiče modela za jako njihanje, on je izveden iz onog slučaja jakog njihanja koji je registriran u sustavnom ispitivanju [15], pa se s njim i slaže. Ako se odstupi od nerealistične pretpostavke o jednakim iznosima karakterističnih radijusa $r_n$ za sve četiri lopate, simulacija može dati i dobro predviđanje samih valnih oblika njihanja snage, sl. 14.

## OCJENA KVALITETE RADNOG KOLA

Rezultati simulacije sa sl. 13 za tipičnu visinu gornje vode i visoke snage, prikazani su u praktičnijem formatu na sl. 15. Tu su dodani i opisi nekih hipotetičkih



**Slika 14. Valni oblik odstupanja trenutačne snage od srednje vrijednosti nađen u slučaju jakog njihanja u 82 uzastopnih perioda vrtnje: deblje – izmjereno, tanje – rezultat simulacije**

situacija: popravljene lopate, i to najlošija ili sve, te donja voda dignuta sa zatečene na onu za koju je turbina projektirana, tj. sa izgrađenom nizvodnom elektranom. Na osnovi tog prikaza, te sl. 9 – 12, može se zaključiti sljedeće:

*Prvo.* I kavitacijski dobre lopate radnog kola, i to i bez smeća uhvaćenog na lopatama privodnog kola, rade i u režimima sa snažnim padom učinkovitosti. Lopate radnog kola koje su uz to i lošije izrađene rade i duboko u tom području. Tako je to uz danu donju vodu, tj. bez nizvodne elektrane.

*Drugo.* Viša donja voda, ona za koju je turbina projektirana, donijela bi smanjenje amplitude jakog njihanja uz zatečenu kvalitetu lopata radnog kola na ispod polovice (sl. 15, pomak za 1,5 m). Međutim, njihanje bi i dalje ostalo snažno.

*Treće.* Uz danu kvalitetu izrade lopata, na nižim je donjim vodama, i to sa ili bez nizvodne elektrane, jako njihanje neizbježno kad se na gornjim lopatama privodnog kola uhvati smeće.

*Četvrto.* Nedovoljno dobra izrada lopata, od kojih su dvije, iako unutar tolerancija predviđenih odgovarajućom normom, kavitacijski loše, presudna je za njihanje i sa i bez smeća. Čak ako bi se i popravila najlošija lopata, jako je njihanje neizbježno unutar radnog područja turbine u zatečenom stanju. Tek kad se obje loše lopate dovedu na kvalitetu ostalih, može se računati s eliminiranjem jakog njihanja, a preostalo bi tek slabo.

*Dakle,* sa stajališta njihanja snage, kavitacijska kvaliteta projekta, kako je ona opisana modelskim ispitivanjima, bila bi dovoljna za rad u uvjetima iz projektnog zadatka, tj. uz donju vodu koju drži niz-

vodna elektrana, ali i tu samo uz posebno dobro izrađeno radno kolo i kad ne bi djelovalo smeće na privodnim lopatama. Bez velikog rizika, dana kvaliteta projekta nije prihvatljiva ni uz koju praktično ostvarivu točnost izrade.

Dva su aspekta kavitacijske kvalitete radnog kola:

(a) otpornost na kavitaciju izražena karakterističnim iznosima kavitacijskog koeficijenta i

(b) otpornost na promjene u nastrujavanju.

Prva opisuje kavitacijsku kvalitetu radnog kola u normalnim uvjetima, druga s prvom kvalitetu uz rad sa smećem na privodnom kolu. Uz prisutno smeće, kvaliteta danog radnog kola nije dovoljna ni po prvom ni po drugom aspektu.

*Ukratko:* Za njihanje je odgovorna nedovoljno točna izrada radnog kola, a mogućnost da ona tako snažno djeluje proizišla je iz okolnosti da radno kolo radi izvan projektnih režima, te da je projekt kavitacijski rizičan.

## VIBRACIJE VRATILA

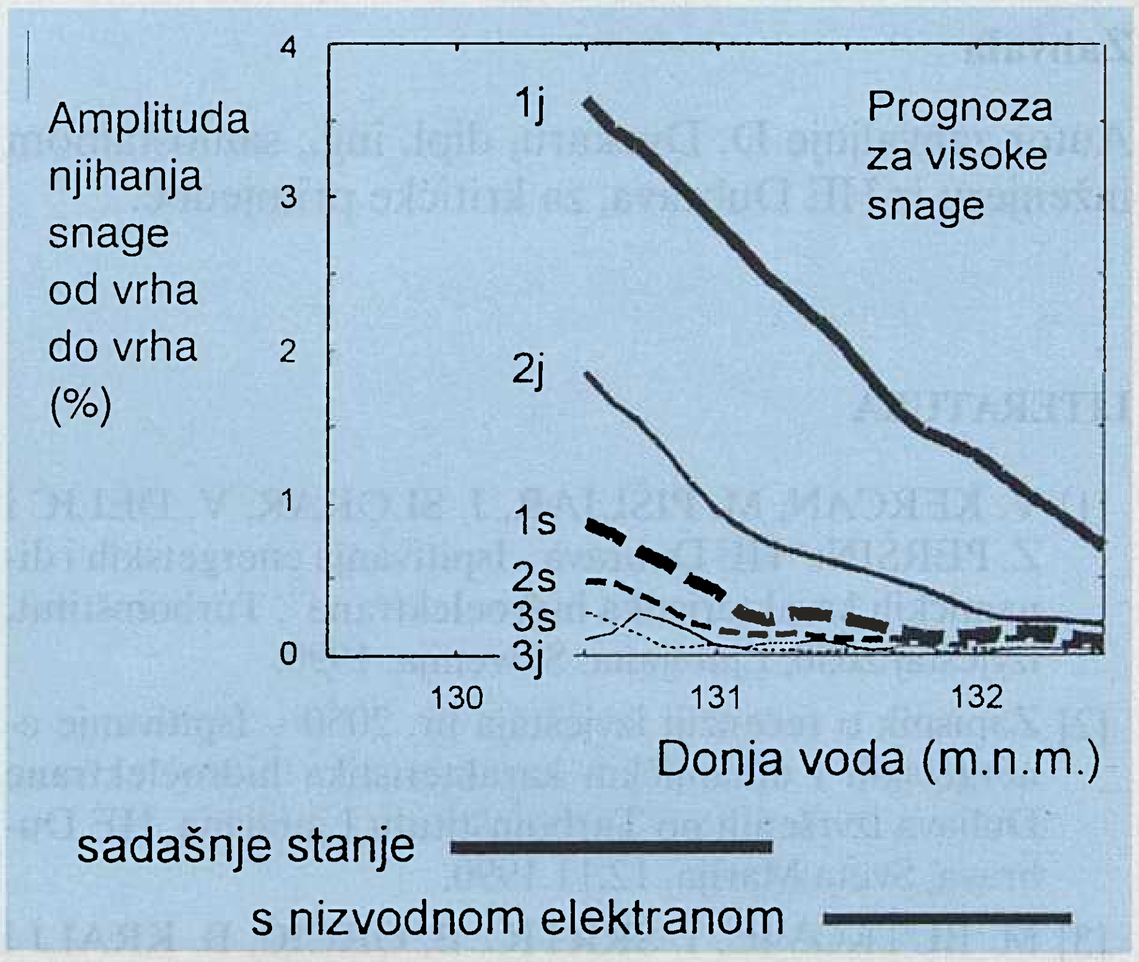
Rezultati četiri nezavisne serije mjerenja vibracija vratila agregata A HE Dubrava, prikazani na sl. 16, ukazuju na moguću povezanost procesa njihanja snage i vibracija vratila na visokim snagama, tj. na njihov zajednički izvor – razvijenu pulzirajuću slojastu kavitaciju, različitu na raznim lopatama radnog kola i posebno jaku na jednoj. Uz oblik ovisnosti amplitude vibracija o snazi na visokim snagama (usp. sl. 8 i 16), na kavitacijski uzrok vibracija vratila na visokim snagama upućuje i okolnost da se - baš poput njihanja, koje jako ovisi o kavitacijskim prilikama – komponenta vibracija na visokim snagama jako mijenja od režima do režima, dok komponenta na nižim snagama, uzrokovana nečim drugim, ostaje podjednaka.

## ZAKLJUČAK

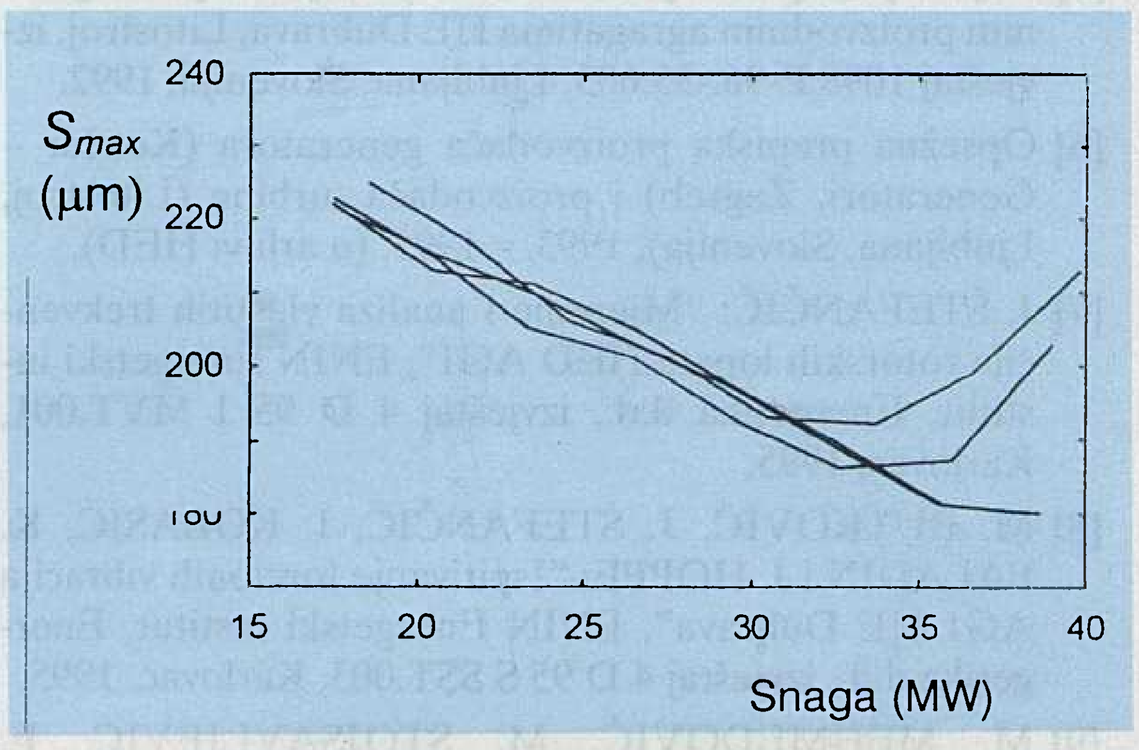
Heurističkom analizom eksperimentalnih podataka i grubim heurističkim modeliranjem procesa, izvedena je predodžba o njihanju snage agregata HE Dubrava kako slijedi.

*Uzrok njihanja snage.* Njihanje snage na HE Dubrava uzrokuje kavitacija na lopatama radnog kola, koja, zbog horizontalnog položaja vratila i velikog promjera radnog kola, pulsira jednom na okret. Njihanje postaje jako kad se razvije jaka slojasta kavitacija, a posebno jako kad se na lopatama privodnog kola, naročito gornjim, zaustavi smeće; ono kvari nastrujavanje radnog kola, pa pospješuje razvoj kavitacije. Zanimljivo je da kavitacija koja uzrokuje njihanje nije jako erozivna.

*Kvaliteta radnog kola.* Za njihanje snage odgovorna je **za kavitaciju** nedovoljno točna izrada radnog kola – iako je ona unutar tolerancija predviđenih normom. Mogućnost da nedovoljna kvaliteta izrade tako snažno djeluje proizišla je iz okolnosti da je donja voda niža od projektne, te iz kavitacijski rizičnog projekta radnog




**Slika 15. Ocjena kvalitete radnog kola u svezi s njihanjem snage, prema situaciji na visokim snagama a uz tipičnu gornju vodu: 1 – zatečeno stanje, 2 – najlošija lopata popravljena do kvalitete sljedeće po redu, 3 – sve lopate poput najbolje; j – smeće djeluje (jako njihanje), s – smeća nema**




**Slika 16. Amplituda vibracija vratila agregata A HE Dubrava nizvodno od aksijalnog ležaja, u četiri različita stanja [19]**

kola. Niti rad u uvjetima na koje je projekt računao, s donjom vodom višom za cca 1,5 m, ne bi eiliminirao njihanje. Mane su projekta što dozvoljava prejaku kavitaciju u normalnim radnim režimima i donosi previsoku osjetljivost na promjene u nastrujavanju.

*Vibracije vratila.* Prikupljeni eksperimentalni materijal upućuje na zaključak da pojačane vibracije vratila na visokim snagama imaju isti uzrok kao i njihanje snage.

*Otklanjanje njihanja.* Budući da je smeće nemoguće eliminirati u potpunosti, a zahtjev da izrada radnog kola bude mnogo bolja od one predviđene normom teško provesti, jako se njihanje može izbjeći samo pomoću novog radnog kola, projektiranog za stvarnu visinu donje vode, ali tako da ima dovoljno veliku rezervu u kavitacijskoj otpornosti i dovoljno nisku osjetljivost na promjene u nastrujavanju. Kriteriji za prosudbu o tome što je tu dovoljno, slijede iz ovdje izvedenog tumačenja pojave njihanja snage.

**Zahvala**

Autor zahvaljuje Đ. Dvekaru, dipl. ing., samostalnom inženjeru iz HE Dubrava, za kritičke primjedbe.

**LITERATURA**

[1] V. KERCAN, M. PIŠLJAR, J. SLOKAR, V. ĐELIĆ i Z. PERŠIN: "HE Dubrava - Ispitivanja energetskih i dinamičkih karakteristika hidroelektrane", Turboinštitut, izvještaj 2050, Ljubljana, Slovenija, 1990.

[2] Zapisnik o recenziji izvještaja br. 2050 – Ispitivanje energetskih i dinamičkih karakteristika hidroelektrane Dubava izvršenih po Turboinštitutu Ljubljana, HE Dubrava, Sveta Marija, 12.11.1990.

[3] M. BUTKOVIĆ, I. ŠKRTIĆ, B. ORČIĆ, B. KRALJ i M. KUKA: "Proračun torzionih opterećenja agregata HE – Dubrava", Jugoturbina - Institut, izvještaj 100.Č.4.PTV.0001.91, Karlovac, 1991.

[4] Snimanje parametara generatora i turbine AG1, HE Dubrava, 06.06.1991.

[5] Izvještaj o ispitivanjima uzroka njihanja snage na glavnim proizvodnim agragatima HE Dubrava, Litostroj, izvještaj 1098;P-96.-35.603, Ljubljana, Slovenija, 1992.

[6] Opsežna prepiska proizvođača generatora (Končar – Generatori, Zagreb) i proizvođača turbine (Litostroj, Ljubljana, Slovenija), 1993. – 1995. (u arhivi HED).

[7] J. ŠTEFANČIĆ: "Mjerenje i analiza vlastitih frekvencija rotorskih lopata HED AG1", ENIN Energetski institut, Energetika d.d., izvještaj 4 D 95 I MVT.001, Karlovac, 1995.

[8] M. BUTKOVIĆ, J. ŠTEFANČIĆ, I. KOBASIĆ, K. PALADIN i J. HOPPE: "Ispitivanje torzionih vibracija AG1 HE Dubrava", ENIN Energetski institut, Energetika d.d., izvještaj 4 D 95 S SST.003, Karlovac, 1995.

[9] M. MEHMEDOVIĆ, M. STOJSAVLJEVIĆ, E. VARGOVIĆ i D. NEMEC: "Izvještaj o ispitivanju njihanja djelatne snage u HE "Dubrava" - agregati 1 i 2," Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, 1997.

[10] D. NEMEC, M. STOJSAVLJEVIĆ i M. MEHMEDOVIĆ: "Izvještaj o ispitivanju njihanja djelatne snage u HE Dubrava - agregat 1", Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, 1998.

[11] D. NEMEC, M. STOJSAVLJEVIĆ i M. MEHMEDOVIĆ: "Izvještaj o mjerenju oscilacija djelatne snage agregata nakon ugradnje "prizona" - HE "Dubrava - agregat 1", Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, 1998.

[12] B. BAJIĆ i Đ. DVEKAR: "Dijagnostička ispitivanja nestabilnosti AG1 - Ispitivanje njihanja snage: Ispitivanje utjecaja nehomogenosti polja pritjecanja vode radnom kolu, niskofrekventnih prilika na difuzoru, aksijalnog pomaka rotora i torzionih vibracija kruške", Korto Cavitation Services i HED, izvještaj, 2002.

[13] B. BAJIĆ: "Inteligentni monitoring i dijagnostika kavitacije - Metoda za velik broj lopata radnog kola", Energija, god. 51, br. 3, 2002, str. 195-200; također: International Water Power & Dam Construction, Vol. 53, No. 4, 2001, str. 33-36; teorija u: ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 124, No. 4, 2002, str. 943-950.

[14] B. BAJIĆ: "Multidimenzionalna dijagnostika i monitoring kavitacije - Metoda za mali broj lopata radnog kola - Primjena na HE Dubrava", Energija, god. 51, br. 5, 2002, str. 387-394; također: International Water Power & Dam Construction, Vol. 56, No. 2, 2003, str. 32-35.

[15] B. BAJIĆ: "Dijagnostička ispitivanja AG1: Empirijska analiza procesa njihanja snage, Ispitivanja 29.12.2000.-21.01.2001.", Korto Cavitation Services, Trier, Njemačka, izvještaj, 2001.

[16] V. KERCAN i S. CIZL: "HE Dubrava – Primopredajna ispitivanja modela turbine, Turboinštitut, Ljubljana, Slovenija", izvještaj 1779, 1986.

[17] M. FANCEV, K. FRANJIĆ i Ž. ĐIGAŠ: "HE Dubrava – Kritički osvrt na izvještaj o primopredajnim ispitivanjima modela turbine", št. 1711 Turboinštitut, Ljubljana, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zavod za energetska postrojenja, izvještaj 103/ZEP/TS, Zagreb, 1986.

[18] Đ. DVEKAR, Ž. HABUŠ, M. HLADNIK, D. KRAMAR, T. KUKOLIĆ, J. MIHALIC, J. SABOLEK, J. SINKOVIĆ i J. ŠAREC – svi iz HE Dubrava, usmeno priopćenje, 2002.

[19] B. BAJIĆ i Đ. DVEKAR: "Dijagnostička ispitivanja AG 1: Mehanička i magnetna uzbuda, Provjera opletanja, zračnog raspora i magnetskog toka, Stanje AG1 22.03.2002.", Korto Cavitation Services i HE Dubrava, Sveta Marija, izvještaj, 2002.

**DIAGNOSTICS OF TUBE AGGREGATE'S POWER SWINGING IN HPP DUBRAVA**

Based on multi dimensional cavitation testing a diagnosis is formulated and verified considering the cause of power swinging in a rhythm one per turn of tube aggregates in 40 MW HPP Dubrava. The cause of swinging is a strong but low erosive cavitation, which because of the operation out of the designed regime, horizontal axle and huge radius of runner as well as because of unequal and insufficiently strong cavitation quality of the runner blades pulses once per turn.

**DAS VERFAHREN DER ERKENNUNG VON LEISTUNGSSCHWANKUNGEN DER ROHRTURBOSÄTZE DES WASSERKRAFTWERKES "DUBRAVA"**

Auf Grund mehrdimensionaler Kavitationsprüfungen wurden die Ursachen von Leistungsschwankungen der 40 MW-Rohrturbosätze des Wasserkraftwerkes "DUBRAVA" im Takt einenmal je Umdrehung nachgeprüft und niedergeschrieben.Den Anlass für diese Schwankungen gibt eine starke, aber schwach erosionbildende Kavitation, welche, bei einer im Projekt nicht vorgesehenen Betriebsweise, dank der waagerechten Lage der Hauptwelle und dem großen Durchmesser des Laufrades, sowie der ungleichmässigen und ungenügenden Kavitationsqualität der Laufradschauffeln, Leistungspulsationen einmal je Umdrehung verursacht.

Naslov pisca:

**Dr. sc. Branko Bajić, dipl. ing.**
**Korto Cavitation Services**
**12, rue Ste Zithe; 2763 Luxembourg; Luksemburg**
**korto@cavitation.de**
**www.cavitation.de**

Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 05 – 15.

# TEST PROCEDURE KAO TEHNIČKA OSNOVA STANDARDA ENERGETSKE EFIKASNOSTI KUĆANSKIH UREĐAJA I UREDSKE OPREME

Mr. sc. Vesna K o l e g a, Zagreb

UDK 621.312.001:64/65
PREGLEDNI ČLANAK

Cilj ovog članka je ukazati na važnost donošenja standarda energetske efikasnosti kućanskih uređaja i uredske opreme kao provjereno djelotvorne metode smanjenja potrošnje energije na nacionalnoj razini. S tom svrhom su opisane karakteristike test procedura za različite kućanske i uredske uređaje kao tehničke podloge za donošenje standarda, svjetske institucije koje ih provode, kao i brojne barijere na putu njihove regionalne i internacionalne harmonizacije. Nadalje, u članku je dan prikaz energetskih oznaka, kao i zakonodavni okvir njihovog uvođenja na hrvatsko energetsko tržište.

**Ključne riječi: standardi energetske efikasnosti, test procedure, energetske oznake, ekološke oznake.**

## 1. UVODNA RAZMATRANJA

U većini razvijenih zemalja svijeta standardi energetske efikasnosti kućanskih uređaja i uredske opreme su neizostavni dio nacionalne energetske politike s ciljem smanjenja energetske potrošnje i emisije štetnih tvari.

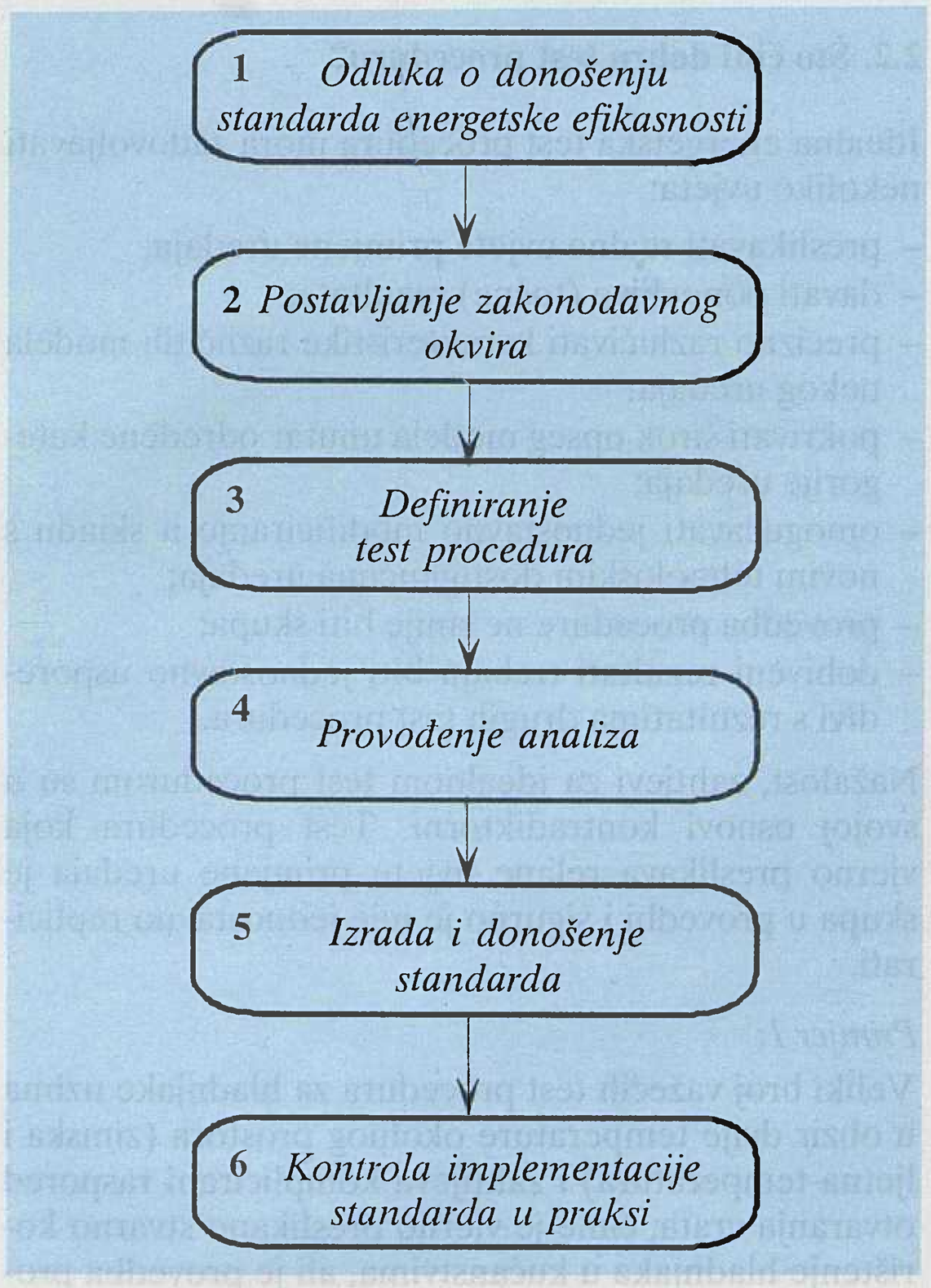
Prvi korak u etabliranju standarda je odrediti test procedure (protokole) prema kojima će se određivati energetska potrošnja ili energetska efikasnost uređaja. Energetsko označavanje je iznimno koristan korak u educiranju potrošača i reduciranju potrošnje energije, ali nije nužno za samo donošenje standarda. Jednom kad su definirane test procedure, provode se statističke ili inženjersko-ekonomske analize, kao osnova postavljanju standarda. Sljedeći je korak izrada standarda od strane ovlaštenih institucija, te njihovo oživotvorenje u praksi. Proizvođačima je, nakon donošenja standarda, obično dano razdoblje između 3 i 5 godina u kojem moraju usuglasiti karakteristike uređaja sa zahtjevima iz standarda. Posljednji korak je kontrola implementacije standarda u praksu i provedba raznih programa radi njezinog ubrzanja i poboljšanja.

Glavni koraci pripreme, izrade, donošenja i implementacije standarda energetske efikasnosti prikazani su na slici 1.

## 2. TEST PROCEDURE KAO TEHNIČKA OSNOVA STANDARDA ENERGETSKE EFIKASNOSTI

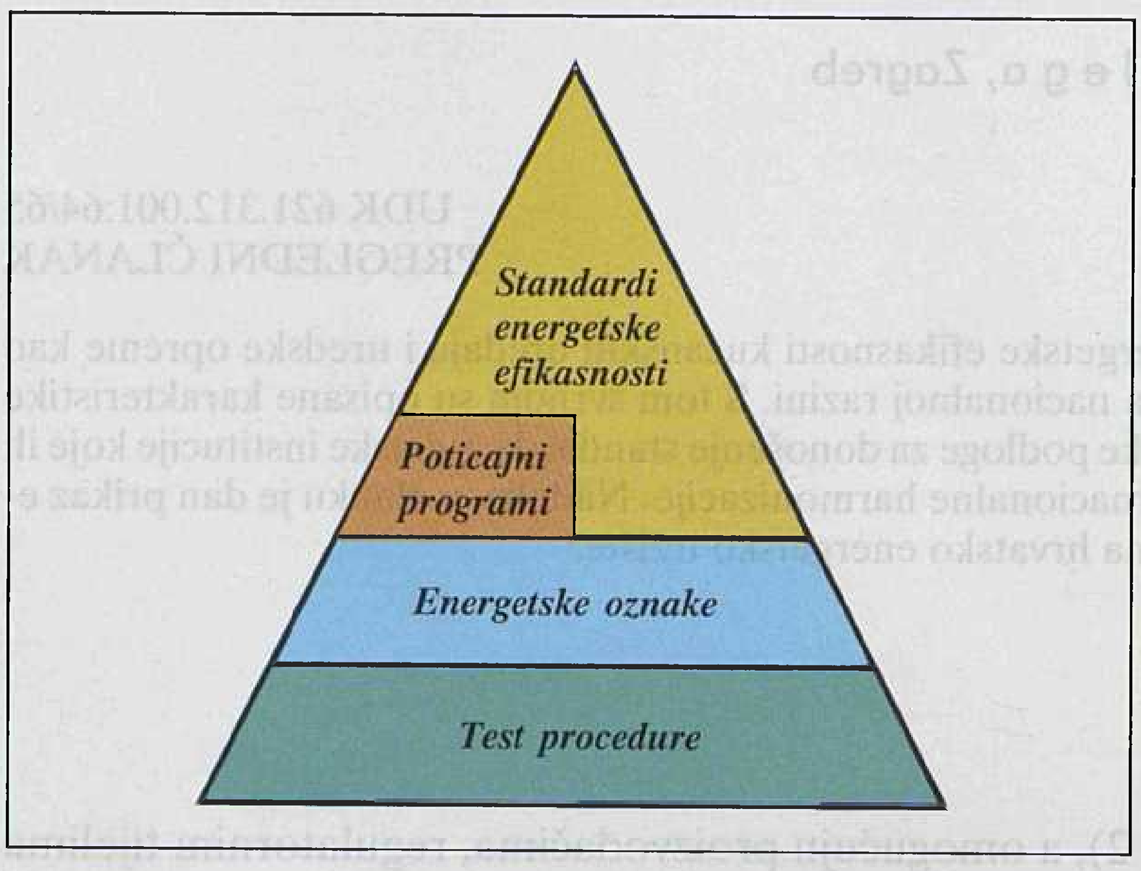
### 2.1. Uvod

Test procedure (protokoli) su tehnička osnova standarda energetske efikasnosti, energetskih oznaka i raznih poticajnih programa energetske efikasnosti (sl. 2), a omogućuju proizvođačima, regulatornim tijelima i potrošačima usporedbu energetske potrošnje različitih modela uređaja. Zbog brojnih interesnih sfera, test




**Slika 1. Osnovni koraci u etabliranju standarda energetske efikasnosti**

procedure su gotovo uvijek kompromis između realnih uvjeta korištenja i laboratorijskih uvjeta koji trebaju biti s jedne strane pouzdani, a s druge ekonomski isplativi, što je u većini slučajeva teško spojiti. Loše osmišljena i provedena test procedura u velikoj mjeri umanjuje učinkovitost standarda, energetskih oznaka i poticajnih programa. Energetske test procedure su prilično zapostavljeno i nedovoljno ispitano područje o kojem se rijetko diskutira i koje je širokoj javnosti gotovo potpuno nepoznato.




**Slika 2. Test procedure kao osnova standarda energetske efikasnosti**

### 2.2. Što čini dobru test proceduru?

Idealna energetska test procedura mora zadovoljavati nekoliko uvjeta:

- preslikavati realne uvjete primjene uređaja;
- davati ponovljive (točne) rezultate;
- precizno razlučivati karakteristike različitih modela nekog uređaja;
- pokrivati širok opseg modela unutar određene kategorije uređaja;
- omogućavati jednostavno modificiranje u skladu s novim tehnološkim dostignućima uređaja;
- provedba procedure ne smije biti skupa;
- dobiveni rezultati trebaju biti jednostavno usporedivi s rezultatima drugih test procedura.

Nažalost, zahtjevi za idealnom test procedurom su u svojoj osnovi kontradiktorni. Test procedura koja vjerno preslikava relane uvjete primjene uređaja je skupa u provedbi i sigurno je nije jednostavno replicirati.

*Primjer 1:*

Veliki broj važećih test procedura za hladnjake uzima u obzir dvije temperature okolnog prostora (zimska i ljetna temperatura) i zahtijeva komplicirani raspored otvaranja vrata, čime je vjerno preslikano stvarno korištenje hladnjaka u kućanstvima, ali je provedba procedure skupa i vrlo je teško dobiti točne, ponovljive rezultate.

Specificirana tolerancija za većinu procedura iznosi između 10 i 15% (15% za ISO test procedure), iako su stvarne netočnosti puno manje. Analiza provedena od strane Američkog Federalnog odjela za energiju (US Department of Energy, DOE), za test procedure hladnjaka, pokazuje da, ukoliko se striktno poštuju propisani uvjeti, pogrješka mjerenja iznosi manje od 2%.

Za test procedure kao podloge standarda energetske efikasnosti, iznimno je važno onemogućiti proizvođačima nalaženje rupa u protokolu koje će im omogućiti zaobilaženje i nepoštovanje zahtjeva propisanih standardom.

*Primjer 2:*

Američka test procedura za perilice rublja specificira da se energetska potrošnja treba mjeriti za program pranja "pamučno rublje, 60°C" – proizvođači su ovaj program uvrstili, ali svojim korisnicima sugeriraju korištenje programa koji troši puno više energije.

Modificiranje postojećih test procedura je složen, skup i administrativno zahtjevan posao koji se pokušava što rjeđe primjenjivati, što ima za posljedicu zastarjelost procedura. Posebno posljednjih godina, velikih tehnoloških dostignuća, mnogi ciljevi koji se žele postići procedurom postaju jednostavno bespredmetni, ali otvarajući pri tome neke nove ciljeve koje procedura treba zadovoljiti.

*Primjer 3:*

Brojne test procedure za hladnjake se fokusiraju na pitanje kako izbjeći prijenos topline kroz stijenke. Korištenjem novih izolacijskih materijala taj je problem riješen. Međutim, da bi test procedura bila odraz realnog stanja nužno je njome obuhvatiti nova tehnološka rješenja (npr. mogućnost automatskog odleđivanja i dr.).

Pri osmišljavanju kvalitetne test procedure, potrebno je osim tehničkog, uzeti u obzir i druge aspekte (ekonomski, kulturološki, geografski i dr.), koji dodatno kompliciraju ionako složen proces. Svi ovi aspekti su važni jer i iznimno male razlike u provedbi test procedura mogu rezultirati velikim razlikama u energetskoj potrošnji, zaštiti okoliša i internacionalnoj ekonomiji.

Dobra test procedura je, ustvari, kompromis koji ne dostiže niti jedan kriterij idealnog, ali zadovoljava u većini slučajeva, pri čemu treba znati da nema jednostavnog rješenja, ali da je već i samo prihvaćanje kompleksnosti ovog područja dobra osnova za buduće ispravno djelovanje.

### 2.3. Glavne svjetske institucije za izradu test procedura i standarda energetske efikasnosti

U svijetu je uobičajeno da u izradi test procedura zajednički sudjeluju asocijacije proizvođača, vladine institucije, nevladine udruge i profesionalne organizacije koje okupljaju timove stručnjaka (tabl. 1). Razni priti-

sci uzrokovani prihvaćanjem standarda energetske efikasnosti, potrebom otvaranja tržišta, mijenjanjem prakse monopolizma i dr., jačaju utjecaj državnih tijela i vladinih institucija u izradi test procedura.

**Tablica 1. Glavne svjetske institucije za izradu energetskih test procedura**

| Područje | Institucija | Sjedište institucije |
|---|---|---|
| Svijet | International Organization for Standardization (ISO) | Geneva, Švicarska |
| | International Electrotechnical Commision (IEC) | Geneva, Švicarska |
| Europska unija | European Committee for Standardization | Brussels, Belgija |
| | European Committee for Electrotechnical Standardization | Brussels, Belgija |
| Njemačka | Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) | Berlin |
| Sjedinjene Američke Države | United States Department of Energy (DOE) | Washington DC |
| | American National Standards Institute (ANSI) | New York |
| | Association of Home Appliance Manufacturers (AHAM) | Chicago |
| | American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers (ASHRAE) | Atlanta |
| Kanada | Canadian Standards Association (CSA) | Toronto |
| Australija, Novi Zeland | Australia – New Zealand Standards (ANZS) | Strathfield, Australija |
| Japan | Japan Industrial Standards Committee (JIS) | Tokyo |
| Kina | China State Bureau of Technical Supervision (CSBTS) | Beijing |
| Rusija | Committee of the Russian Federation for Standardization, Metrology and Certification (GOSTR) | Moscow |
| Brazil | Associacao Basileira de Normas Tecnicas (ABNT) | Rio de Janiero |
| Indija | Indian Standards Institution (IS) | New Delhi |
| Južna Koreja | Bureau of Standards, Industrial Advancement Administration | Kwachon City |

Karakteristično za većinu ovih institucija je da su poslovično spore u modificiranju test procedura u skladu s novim momentima i tehnološkim dostignućima. Vlade mnogih zemalja žele biti sigurne da test procedure zadovoljavaju zahtjeve Svjetske trgovinske organizacije (World Trade Organization) (kako bi se spriječile eventualne restrikcije u slobodnoj trgovini), pa ni slučajevi raznih pritisaka na institucije za standardizaciju nisu nepoznata pojava.

## 2.4. Pregled test procedura za neke kućanske uređaje i uredsku opremu

Energetska trošila se testiraju na razne parametre: nazivnu snagu, napon, uzemljenje i dr., a za kućanske je uređaje karakteristično da su zbog velikih razlika između pojedinih uređaja test procedure potpuno različite. Tako npr. ispitna specifikacija za hladnjake obuhvaća mjerenje volumena, sposobnosti postizanja određenih temperatura, intenziteta buke i dr., dok je test procedura za perilice rublja potpuno različita i sastoji se od testiranja karakteristika pranja, promjene vode, temperature vode, optimalne količine rublja i dr.

Glavni kućanski i uredski uređaji za koje su razvijene test procedure su sljedeći:

- klimatizacijski uređaji
- sušilice rublja
- perilice rublja
- perilice posuđa
- hladnjaci i zamrzivači
- peći
- toplinske pumpe
- rasvjetna tijela
- mikrovalne pećnice
- pećnice
- štednjaci
- grijalice vode
- grijači bazena
- osobna računala
- fotokopirni uređaji
- televizori
- telefax uređaji.

U većini su zemalja, test procedure za standarde energetske efikasnosti samo dio mnogo opsežnijeg testiranja za dobivanje certifikata koji obuhvaća sve radne karakteristike uređaja. Jedino u SAD i Australiji su test procedure za energetske standarde ispitivanja sama za sebe (eng. stand-alone tests).

### A) *Hladnjaci i zamrzivači*

Zbog velike potrošnje i relativno jednostavno provedivih ispitivanja, hladnjaci i zamrzivači su uređaji, za koje su, među prvima, razvijene test procedure (tabl. 2).

Sve test procedure zahtijevaju smještanje hladnjaka u kontroliranu okolinu u precizno definiranom vremenskom razdoblju ili za točno određen broj ciklusa [2]. Osim japanske test procedure (JIS 9607) sve ostale zahtijevaju da vrata hladnjaka budu zatvorena. Jedna od glavnih razlika između raznih test procedura je odabir uvjeta u okolini hladnjaka i temperatura unutar raznih odjeljaka, koje su iznimno važan parametar jer

**Tablica 2. Popis glavnih test procedura za hladnjake i zamrzivače**

| Institucija | Kodni broj test procedure |
|---|---|
| CEN | EN 153:1989 |
| USDOE | Volume 10 of US Code of Federal Regulations (10 CFR Ch. II), 1990 |
| IS | IS: 1476 - 1979 |
| CSBTS | CNS 2062, CNS 9577 |
| ANSI/AHAM | ANSI/AHAM HRF – 1 – 1988 |
| ISO | ISO 7371-1985 (i dodatak 1-1987) |
| ANZS | AS 1430 – 1986 i NZS 6205.2 – 1989 |
| JIS | JIS 9607 (1986) |

već i minimalne promjene temperature jako utječu na potrošnju energije.

Ostale se razlike odnose na automatsko odleđivanje, antikondenzacijske karakteristike, vlažnost okoline, optimalnu količinu hrane i dr. Kako je vrlo teško postići točno određenu temperaturu u raznim odjeljcima hladnjaka većina test procedura predviđa minimalno dva mjerenja radi izjednačavanja specificirane temperature, a energetska potrošnja za specificiranu temperaturu odjeljka se određuje interpolacijom. ISO test procedure se baziraju na europskim modelima hladnjaka i njihovim karakteristikama, pri čemu su testovi, posebno za automatsko odleđivanje, antikondenzacijske grijače i neke specifične karakteristike uređaja, malobrojnije i manje detaljne od USDOE i JIS test procedura.

ISO test procedura se provodi za dvije temperature okoline, ovisno o eventualnom krajnjem odredištu uređaja:

– 25°C – kontinentalna klimatska zona

– 32°C – tropska klimatska zona.

JIS test procedura je, sve do nedavno, zahtijevala provedbu svih energetskih mjerenja na dvije temperature okolnog prostora (15°C i 30°C). Razlog tome je da su se, u vrijeme pripreme test procedure, japanske kuhinje zimi jako slabo grijale, a ljeti se uopce nisu hladile. U posljednje se vrijeme u Japanu JIS procedure i standardi sve više zamjenjuju ISO procedurama i standardima. Europski proizvođači deklariraju energetsku potrošnju za temperaturu okolnog prostora od 25°C, jer je ta temperatura specificirana u CEN test procedurama.

ISO test procedura klasificira hladnjake prema sposobnosti da dosegnu određenu temperaturu s oznakama od jedne do četiri zvjezdice. Za najvišu kvalitetu od četiri zvjezdice temperatura u zamrzivaču mora biti ispod -18°C.

Suprotno ISO testu, USDOE test klasificira hladnjake prema tehnološkim mogućnostima, na modele s automatskim, poluautomatskim ili ručnim odleđivanjem.

Tehnološke inovacije su konstantno prisutne u novim modelima na tržištu, a čak i one najjednostavnije mijenjaju energetsku potrošnju i zahtijevaju modifikacije test procedura.

*Primjer 4:*

Opcija automatskog odleđivanja prisutna je u gotovo svim novijim modelima. Energija potrebna za automatsko odleđivanje čini cca 5-15% ukupne energetske potrošnje hladnjaka. U najnovijim modelima, tajmeri koji aktiviraju odleđivanje (odleđivanje neovisno o stvarnoj potrebi), zamijenjeni su mikroprocesorima (odleđivanje kad je stvarno potrebno). Elektronski kontrolirano odleđivanje komplicira test proceduru jer ukoliko se tijekom ispitivanja ne akumulira led, ne dolazi do odleđivanja. Pitanje je treba li se na svim modelima primjenjivati standardna test procedura za odleđivanje neovisno o mikroprocesorskim kontrolama. USDOE pristup senzorski vođenom odleđivanju (i drugim tehnološkim inovacijama) je da se od specificirane energetske potrošnje odbije ušteđena energija (razlika između vremenski podešenog odleđivanja i odleđivanja kad je ono uistinu potrebno, izražava se u %). Mana ovog pristupa je da sve mikroprocesorske algoritme prihvaća kao jednako uspješne, što onemogućuje penaliziranje loše dizajnirane kontrolne logike (česti slučajevi kvarova).

Sve veći broj hladnjaka ima razne nove tehnološke opcije koje zahtijevaju priključenje na vodovodnu mrežu (automatski ledomati, djeljitelji zaleđene vode i dr.), a koje mogu povećati energetsku potrošnju i do 20% [3]. Problem je što niti jedna test procedura ne specificira da hladnjak treba biti priključen na vodovodnu mrežu za vrijeme ispitivanja.

B) *Perilice i sušilice rublja*

Parametri koji utječu na test procedure za perilice rublja su mnogobrojniji i mnogoznačniji no za i jedan drugi kućanski uređaj. Uspjeh u harmonizaciji test procedura za perilice rublja, unatoč svim tehničkim, tehnološkim, geografskim i kulturološkim razlikama, bio bi pouzdan znak da je moguće usuglasiti standarde za sve kućanske uređaje. Sve test procedure određuju energiju potrebnu za pokretanje i rad motora i energiju potrebnu za zagrijavanje. Međutim, običaji pranja i definicija "čisto rublje" enormno variraju od zemlje do zemlje, što koči razvitak internacionalnih test procedura [4]. Ostali parametri kao temperature pranja, kapacitet rublja, kvaliteta vode, vrsta sredstva za pranje rublja i dr., dodatno kompliciraju definiranje test procedura i standarda energetske efikasnosti [5]. Zbog iznimno brzog tehnološkog razvitka perilica rublja, gotovo sve test procedure su podložne konstantnim promjenama. Pristup test procedurama u Europi i Americi je potpuno različit. Test procedure u SAD definiraju dozvoljenu energetsku potrošnju potpuno neovisno o karakteristikama pranja (efikasnost pranja i centrifugiranja). Karakteristike pranja se jednostavno

ignoriraju, što se objašnjava time da ukoliko proizvođač ne uspije postići kvalitetne karakteristike pranja za dozvoljeni nivo energetske potrošnje, kupac će potražiti kvalitetniji uređaj nekog drugog proizvođača. Europski pristup prvo definira karakteristike pranja, da bi zatim selektirao zahtjeve za minimalnom energetskom efikasnošću i prihvatljivim karakteristikama pranja koje proizvođač mora zadovoljiti. Američki je pristup doživio pravi fijasko uvođenjem mikroprocesorskih kontrola (tzv. senzori nečistoće rublja). Prilikom ispitivanja u laboratorijima, senzori prepoznaju čisto rublje stavljeno u bubanj i automatski odabiru ciklus pranja koji troši najmanje energije. Drugim riječima, test uvijek mjeri energetsku potrošnju perilice rublja za ciklus pranja koji troši najmanje energije. Važan bi parametar u test procedurama trebalo biti i sredstvo za pranje rublja koje u posljednjih desetak godina bilježi pravi tehnološki procvat. Poboljšanjem kemijskih karakteristika deterdženata značajno je porasla kvaliteta pranja pri nižim temperaturama vode.

Sve test procedure bi obvezno trebale obuhvatiti karakteristike sredstava za pranje, pri čemu bi idealno bilo imati dvije procedure:

– za sredstva trenutno dostupna na tržištu
– za sredstva koja će biti dostupna u bližoj budućnosti.

Na taj bi se način izbjeglo optimiziranje perilica rublja prema trenutačno dostupnim sredstvima za pranje koja će vrlo brzo biti zamijenjena kvalitetnijima.

Nadalje, nema dobre test procedure za perilice rublja koja ne uzima u obzir kvalitetu i potrošnju vode. Ako test procedura ne obuhvati potrošnju vode, većina će proizvođača nastaviti dosadašnju praksu trošenja nepotrebno velikih količina vode za poboljšanje energetskih karakteristika uređaja.

Usko povezane s energetskim karakteristikama perilica rublja su karakteristike sušilica rublja, za koje je karakteristična velika ekspanzija u posljednjih desetak godina. Prema nekim nepotpunim analizama, u SAD i Velikoj Britaniji čak 50% kućanstava posjeduje sušilicu rublja. U Japanu ih ima 20%, a u Portugalu tek 5% kućanstava. Potrošnja energije sušilice rublja je jako ovisna o efikasnosti centrifugiranja rublja. U dobro centrifugiranom rublju ostaje malo vlage, pa je potrebno minimalno sušenje. Europske test procedure obuhvaćaju efikasnost centrifugiranja, dok US DOE tek predlaže uvođenje test procedura za definiranje efikasnosti centrifugiranja u ovisnosti o preostaloj vlazi (%) u rublju.

Jedna od najvećih komplikacija u određivanju energetske efikasnosti perilica rublja je način grijanja vode, jer energija potrošena na zagrijavanje vode čini najveći dio ukupne energetske potrošnje uređaja. Većina modela proizvedenih u Europskoj uniji ima električne grijače unutar samog uređaja. Za razliku od njih, američki i japanski uređaji imaju vanjske grijače vode. Ako se njihova energetska potrošnja odvoji od potrošnje same perilice, ispada da američki i japanski modeli imaju značajno bolju energetsku efikasnost od europskih, što jasno, uopće nije točno. Nadalje, prvenstveno u SAD, ali i brojnim drugim zemljama, grijači vode su često plinski, što dodatno komplicira test procedure jer se trebaju kombinirati potrošnje različitih energenata.

Iz svega navedenog vidljivo je da je izrada i provedba test procedura za perilice i sušilice rublja vrlo zahtjevan posao, čija uspješnost ovisi o iznimno velikom broju parametara.

### 2.5. Deklarirana energetska potrošnja u ovisnosti o vrijednostima dobivenim mjerenjima (test vrijednosti)

Zbog fluktuacija u proizvodnji i testiranju, energetska potrošnja jednog uređaja nije reprezentativna za tisuće proizvedenih uređaja, te je iz tog razloga uveden minimalni broj uređaja (jedinica) koji moraju biti testirani da bi se dobio određeni nivo statističke pouzdanosti. Uzorak se bira nasumce (tzv. postupak sempliranja, uzorkovanja, eng. sampling procedure). Postupci uzorkovanja se razlikuju u EU, SAD i Kanadi, ali im je zajedničko baziranje na deklariranoj vrijednosti energetske potrošnje koja zadovoljava zahtjeve statističke pouzdanosti. Generalni je pristup jednak za sve vrste uređaja, ali zahtjevi za pouzdanošću ovise o samom uređaju.

Važeći *europski standard* za hladnjake i zamrzivače (EN –153) zahtijeva da proizvođač testira energetsku potrošnju za jedan uređaj, pri čemu će deklarirana vrijednost biti vrijednost dobivena mjerenjem (test vrijednost) uvećana za 15%. Druga je opcija da proizvođač testira 3 uređaja, a da deklarirana energetska potrošnja bude aritmetička sredina dobivenih test vrijednosti [6]. Ova opcija omogućuje proizvođačima s visoko razvijenom kontrolom kvalitete mogućnost da deklariraju nekoliko postotaka nižu energetsku potrošnju za svoje modele.

*Kanadski standard* za sušilice rublja specificira da se deklarirana vrijednost energetske potrošnje mora bazirati na uzorku od više jedinica, pri čemu veličina uzorka nije definirana, već proizvođač ima dvije opcije:

– deklarirati srednju vrijednost čitavog uzorka;
– demonstrirati s 97,5% vjerojatnosti da je deklarirana vrijednost 1,05 puta veća od stvarne srednje vrijednosti čitavog uzorka.

Za kanadske je standarde karakteristično da većina propisuje maksimalno dozvoljenu energetsku potrošnju (za hladnjake, zamrzivače, perilice rublja, perilice posuđa, itd), dok samo neki definiraju minimalnu energetsku efikasnost (peći i klimatizacijski uređaji).

*Američki standardi*, propisuju statističku pouzdanost u granicama između 90 i 99% [7]. Broj nužnih testova da bi se zadovoljili postojeći kriteriji, kao i veličina uzorka jako varira ovisno o uređaju (npr. za hladnjake je tipičan uzorak između 4 i 6 uređaja).

Faktori podešavanja variraju:

- od 1,01 do 1,10 za uređaje za koje kupac profitira od niže vrijednosti;
- od 0,90 do 0,99 za uređaje za koje kupac profitira od više vrijednosti.

Ovdje treba naglasiti da osim poznatih, na deklariranu vrijednost, utječu i brojni, teško predvidljivi faktori.

*Primjer 5:*

Mnogi su hladnjaci opskrbljeni električnim grijačem na vratima čiji je zadatak reducirati kondenzaciju. Kako taj grijač povećava energetsku potrošnju hladnjaka za cca 15%, neki proizvođači su ugradili prekidač koji ako nema kondenzacije isključi grijač. Drugi proizvođači nemaju opciju isključenja grijača. Postavlja se pitanje da li treba deklarirati potrošnju za uključen ili isključen grijač protiv kondenzacije? Inicijalni standardi su zahtijevali od proizvođača da deklarira prosječnu energetsku potrošnju za oba slučaja. US DOE je modificirao taj standard zahtijevajući od proizvođača da testira energetsku potrošnju s uključenim grijačem, te da provede dodatni test s grijačem u onom položaju u kojem je otpremljen iz tvornice (on ili off položaj). U tom slučaju deklarirana potrošnja ovisi o odluci proizvođača, što je jednostavno nedopustivo.

Navedeni primjer je tek jedan od mnogih koji iznimno negativno utječu na jednoznačnost i pouzdanost deklariranih vrijednosti energetske potrošnje, dodatno kompliciraju i inače složen postupak vjerodostojnog deklariranja energetske potrošnje uređaja.

### 2.6. Translatiranje rezultata test procedura

Karakteristika gotovo svih energetskih ispitivanja, bila ona podloga za standarde, labeliranje i dr. su visoke cijene. Internacionalno priznati laboratoriji imaju različite cijene usluga, a one su u pravilu visoke.

Tako je cijena provedbe USDOE test procedure za jedan hladnjak 2000 USD, a za centralni klimatizacijski sustav cca 6000 USD. Laboratorijska ispitivanja i prateći administrativni poslovi, radi kreiranja EU energetske oznake za perilicu rublja koštaju cca 3800 USD.

Visoke cijene test procedura, su jedan od odlučujućih razloga zbog kojeg sve više internacionalnih proizvođača pokušava konvertirati rezultate test procedura, čineći ih višestruko upotrebljivima. Unatoč prepoznavanju problema, do danas je napravljen začudujuće malen pomak u definiranju formula za konverziju rezultata dobivenih raznim test procedurama. Istraživanja pokazuju da do sada razvijene formule za konverziju daju samo aproksimativne vrijednosti za druge uvjete ispitivanja. Sve dok se formule za konverziju budu mogle koristiti jedino za aproksimativne usporedbe, neće biti dovoljno pouzdane da zadovolje propise.

Gotovo svi, do sada provedeni pokušaji translatiranja rezultata test procedura odnose se na hladnjake. Najopširniju su analizu proveli Bansal i Krüger [8], uspoređujući rezultate ispitivanja za uzorak od četiri hladnjaka prema ISO, USDOE, JIS, australijskim i kineskim test procedurama.

Energetske potrošnje hladnjaka su neočekivano mnogo varirale od procedure do procedure. Tako je energetska potrošnja za četiri hladnjaka prema ISO test proceduri bila između 2 i 64% manja od energetske potrošnje prema USDOE test proceduri. Usporedba rezultata dobivenih ISO i JIS test procedurama pokazuju da su ISO vrijednosti u granicama 0,87 – 1,33 JIS vrijednosti. Kao što je prethodno rečeno, od 1995. godine Japan i službeno koristi ISO test procedure. U razdoblju od 1994. – 1995. godina u svim su prizvođačkim katalozima u Japanu bile navedene obje vrijednosti, a pokazalo se da su ISO vrijednosti dosljedno 35-45% veće od JIS vrijednosti za kombinirane hladnjake s automatskim odleđivanjem.

Usporedba JIS i USDOE test procedura pokazuje da odnos dobivenih vrijednosti varira ovisno o dimenzijama uređaja i tehnološkim karakteristikama. Modeli sličnih kapaciteta i tehnoloških karakteristika imaju omjere test vrijednosti unutar cca 10% i odgovaraju jednostavnoj linearnoj translaciji.

Definiranje korelacijskih odnosa između raznih trenutačno važećih test procedura je složen proces, koji je tek u začetku, ali o kojem treba povesti računa kao jednom od osnovnih preduvjeta regionalne i internacionalne harmonizacije.

### 2.7. Utjecaj mikroprocesora na energetske test procedure

Razne kombinacije senzora i "inteligentnih" kontrolnih sustava ugrađenih u energetske uređaje u početku su bile zadužene za neke jednostavnije operacije (npr. odleđivanje u hladnjacima i dr.), ali se njihova primjena brzo proširila na vrlo kompleksne, upravljačke sustave (npr. u klimatizacijskim uređajima, perilicama rublja i posuđa, i dr.). Nadalje, mikroprocesori su sastavni elementi brojnih uredskih uređaja (npr. telefax uređaji, računala, kopirni aparati i dr.). Zajednička značajka mikroprocesora u energetskim uređajima je da korisnicima olakšavaju rukovanje uređajem i da u velikom broju slučajeva štede energiju (npr. iniciranjem odleđivanja u hladnjacima kad je ono stvarno potrebno, automatskim podešavanjem potrebne količine vode u perilicama rublja i dr.).

Međutim, ugradnja mikroprocesora u energetske uređaje dodatno komplicira test procedure:

- štednjom energije u situacijama koje nisu pokrivene test procedurom;
- automatskim podešavanjem parametara laboratorijskim uvjetima što rezultira nerealno niskom izmjerenom energetskom potrošnjom;
- modificiranjem operacija na osnovi "učenja" ponašanja korisnika;
- potrošnjom energije kad je energetski uređaj izvan pogona (off položaj).

Drugim riječima, mikroprocesori ma koliko bili korisni s jedne strane, s druge, uzrokujući nerealno niske izmjerene vrijednosti ili radne učinke superiorne onima predviđenima test procedurama, ustvari miniraju vjerodostojnost same test procedure, a time i vrijednost standarda, oznaka, programa i svega onoga što se na test procedurama bazira. "Inteligentni" uređaj dodatno oslabljuje test proceduru otkrivajući da laboratorijski uvjeti ne odgovaraju realnim uvjetima rada.

*Primjer 6:*

Senzori nečistoće rublja u "inteligentnim" perilicama rublja odmah prepoznaju da je test rublje ustvari čisto i automatski selektiraju energetski štedljiv, umjesto standardnog ciklusa pranja za umjereno nečisto rublje.

Za starije modele uređaja, bez ugrađenih mikroprocesora, vrijedi da uređaj izvan pogona ne troši energiju. Uređaji opremljeni elektronskim komponentama zahtijevaju stalnu opskrbu električnom energijom [9]. Provedene analize pokazuju da elektronske komponente u modernim hladnjacima troše cca 5% od ukupne energetske potrošnje uređaja.

Generalno gledano, gotovo sve energetske test procedure trebaju, u sljedećem desetljeću, biti podvrgnute opširnim modifikacijama koje će na pravi način tretirati utjecaj mikroprocesora u energetskim uređajima. U nekom kraćem razdoblju, eventualno se još i mogu tolerirati raznovrsna podešavanja test vrijednosti, ali na dulje staze, jedina prava solucija je razvijanje novih test procedura baziranih na suvremenim radnim i tehnološkim karakteristikama uređaja. Jedno bi od mogućih rješenja bila podjela test procedura na one koje tretiraju mehanički dio i one koje se bave elektroničkim komponentama uređaja.

## 3. UVOD U ENERGETSKE OZNAKE

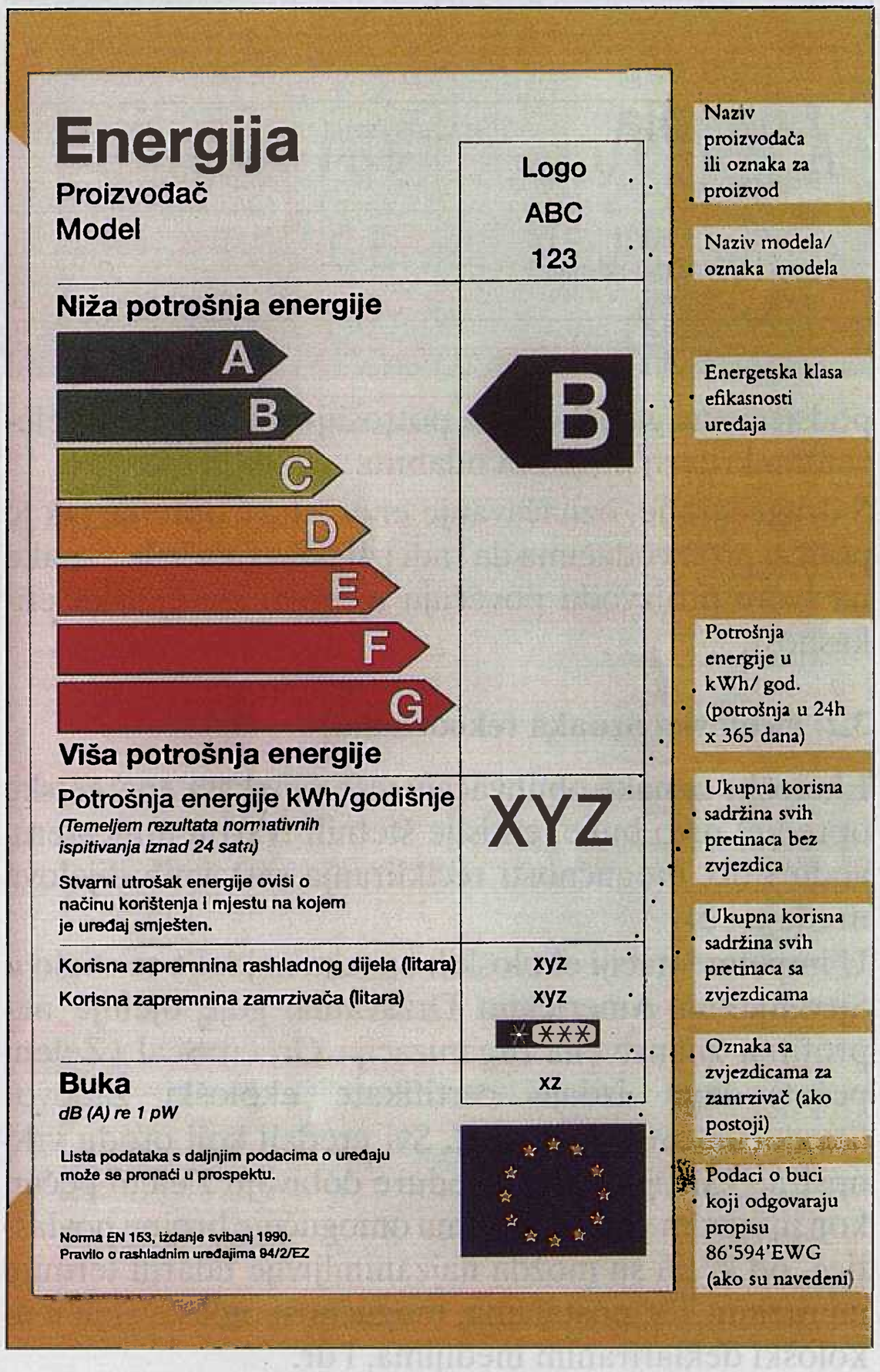
Tipovi energetskih oznaka variraju od zemlje do zemlje, ali se općenito mogu grupirati u tri glavne kategorije:

1. oznaka energetske efikasnosti
2. ekološka oznaka (ekooznaka)
3. energetska zvijezda.

Neovisno o tipu energetske oznake, brojna su istraživanja pokazala da je obveza označavanja energetske opreme (ili labeliranja, od eng. labeling), jedan od najdjelotvornijih načina uspostave energetski i ekološki osviještenog nacionalnog gospodarstva. Označavanje mora biti jasno i precizno, prema točno određenoj shemi, kako bi se već na samom početku izbjegli svi potencijalni nesporazumi u svezi sa značenjem i porukom energetske oznake.

### 3.1. Oznaka energetske efikasnosti

Oznaka energetske efikasnosti je potvrda kvalitete uređaja s obzirom na njihovu energetsku efikasnost, pri čemu se uređaji prema potrošnji energije dijele na nekoliko stupnjeva energetske efikasnosti označenih slovima od A do X (grupu A čine energetski najefikasniji uređaji). U zemljama Europske unije uređaji su prema potrošnji energije podijeljeni na 7 stupnjeva ( od A do G) (sl. 3).




**Slika 3. EU oznaka energetske efikasnosti za hladnjake**

Na EU oznaci energetske efikasnosti za hladnjake, osim stupnja efikasnosti, dana je i godišnja energetska potrošnja (kWh/god), korisni volumen rashladnog dijela i zamrzivača (litara), nivo buke (dB) i dr. Oznaka energetske efikasnosti omogućuje potrošačima djelotvornu usporedbu različitih modela nekog uređaja, ovisno o energetskoj efikasnosti, godišnjoj energetskoj potrošnji i nekim važnijim radnim karakteristikama i mogućnostima uređaja.

Stupnjevi energetske efikasnosti određuju se ovisno o vrijednosti indeksa energetske efikasnosti, $I$, za svaku klasu uređaja (tabl. 3).

Indeks energetske efikasnosti nekog modela uređaja određuje se kao omjer energetske potrošnje tog modela i prosječne energetske potrošnje za tu klasu uređaja (u klasi uređaja su modeli jednakih podešenih volumena).

Označavanje olakšava proces uvođenja termina energetske efikasnosti u marketinšku strategiju, informirajući potrošača o karakteristikama uređaja i

**Tablica 3. Stupnjevi energetske efikasnosti za EU hladnjake ovisno o indeksu energetske efikasnosti**

| Indeks energetske efikasnosti, *i* (%) | Stupanj energetske efikasnosti |
|---|---|
| I 55 | A |
| 55*I*K | B |
| 75*I*Z | C |
| 90*I*d | D |
| 100*I*n | E |
| 110*I*ć | F |
| 125*I* | G |

podsjećajući ga pritom na potrošnju energije kao relevantan kriterij prilikom odabira.

S druge strane, označavanje energetske opreme jak je poticaj proizvođačima da radi izbjegavanja loše oznake na svom proizvodu povećaju njegovu energetsku efikasnost.

### 3.2. Ekološka oznaka (ekooznaka)

Ekološke oznake obuhvaćaju više aspekata energetske opreme: nivo buke, emisije štetnih tvari u atmosferu, vodu i tlo, mogućnosti recikliranja sastavnih dijelova uređaja i dr.

U implementaciji ekoloških oznaka najdalje se stiglo u Sjedinjenim Američkim Državama, gdje djeluje neprofitna znanstvena organizacija Green Seal (Zeleni pečat) koja izdaje certifikate ekološki zadovoljavajućim uređajima [10]. Svi uređaji koji prođu vrlo opširne i stroge test procedure dobivaju Zeleni pečat, koji njihovim proizvođačima omogućuje brojne povlastice, od kojih su možda najzanimljivije udarni termini na raznim TV postajama, mogućnost oglašavanja u ekološki deklariranim medijima, i dr.

Trenutačno se Zeleni pečat izdaje za hladnjake, zamrzivače, perilice rublja, perilice posuđa, sušičice rublja, štednjake i pećnice.

U Europskoj su uniji su do sada ustanovljene ekološke oznake za perilice rublja i posuđa, a u izradi su oznake za hladnjake i zamrzivače [11]. Za dobivanje ove oznake uređaj mora zadovoljavati razne kriterije koji se odnose na zagađivanje atmosfere i vode. Osim toga proizvođači su obvezni svakom uređaju priložiti precizne instrukcije za rukovanje, kao i detaljne podatke o mogućnostima recikliranja materijala od kojih je uređaj izrađen.

### 3.3. Energetska zvijezda

Energetska zvijezda (Energy Star) je oznaka razvijena u Washingtonu, u Agenciji za zaštitu okoliša (US Environmental Protection Agency, EPA), a od oznake energetske efikasnosti se razlikuje po tome što pokazuje da uređaj zadovoljava određene kriterije, ali ga ne klasificira prema stupnjevima energetske efikasnosti. Energetska zvijezda se više koristi za uredsku nego za kućansku energetsku opremu. Ovom se oznakom, u pravilu, označavaju računala, monitori, telefax uređaji, kopirni uređaji i printeri koji u stanju pripravnosti (eng. standby mode) imaju potrošnju energije reduciranu na određenu, propisanu razinu kroz neko fiksno vremensko razdoblje. U sljedećim godinama EPA planira uvesti energetske zvijezde za klimatizacijske uređaje, grijalice vode i peći [12].

Općeniti je zaključak da označavanje kućanskih i uredskih uređaja, i to prvenstveno oznakama energetske efikasnosti (u posljednje su vrijeme u velikom porastu i ekološke oznake) postaje sve popularnije diljem svijeta.

Analize tržišta provedene u Australiji pokazuju da 65% populacije (slučajni uzorak na čitavom području) prepoznaje energetske oznake. Znanje o energetskim oznakama među kupcima uređaja je vrlo dobro. Istraživanja tržišta provedena još 1993. godine pokazuju da je cca 90% kupaca upoznato s energetskim oznakama, od čega njih 45% prije kupnje uspoređuju energetske oznake raznih modela uređaja [13]. U sklopu Nacionalnog programa labeliranja koji se sustavno provodi u Australiji posljednjih desetak godina, iznimno su se uspješnima pokazali Vodiči za kupnju energetski efikasnih uređaja, koji se poštom distribuiraju na brojne adrese. U Vodičima su izlistani svi modeli uređaja dostupnih na tržištu i dane njihove energetske karakteristike, što omogućuje potencijalnim kupcima odabir energetsko-ekonomski optimalnog modela. Istraživanje provedeno 1991. godine pokazalo je da cca 42% ispitanika ocjenjuje energetsku efikasnost uređaja odlučujućim faktorom prilikom kupnje uređaja, cca 86% je smatra vrlo važnim faktorom, dok je svega 14% smatra potpuno nevažnom. Ova je analiza dokazala da je prilikom odabira uređaja energetska efikasnost ravnopravna ostalim parametrima kao što su dimenzije, cijena, dizajn, proizvođač i dr. [14].

Najrazvijenije i najšire programe labeliranja koji obuhvaćaju većinu kućanskih uređaja imaju SAD, Kanada i Australija. U zemljama Europske unije je u tijeku priprema podloga za uvođenje jedinstvenih oznaka energetske efikasnosti za hladnjake, zamrzivače, perilice i sušilice rublja. SAD i Kanada imaju oznake za sve kućanske uređaje osim štednjaka (i ostalih uređaja za pripremu hrane) i sušilica rublja, a Australiji preostaje još jedino uvođenje energetskih oznaka za štednjake. Japan i Koreja imaju oznake za hladnjake i zamrzivače.

Brazil, Tajland i Filipini su u procesu uvođenja oznaka za klimatizacijske uređaje i hladnjake.

## 4. ZAKONODAVNI OKVIR UVOĐENJA ENERGETSKIH OZNAKA NA HRVATSKO TRŽIŠTE

Hrvatski je Sabor na sjednici od 19. srpnja 2001. usvojio paket od pet zakona kojima se reguliraju odnosi u energetskom sektoru:

- Zakon o energiji
- Zakon o tržištu električne energije
- Zakon o tržištu nafte i naftnih derivata

– Zakon o tržištu plina
– Zakon o regulaciji energetskih djelatnosti.

Zakon o energiji, kao temeljni dokument, uređuje odnose u energetskom sektoru, te između ostalog, definira energetsku efikasnost i korištenje obnovljivih izvora energije kao bitne preduvjete održivog razvitka.

Stavak 1., članka 13. Zakona o energiji, obvezuje proizvođače i uvoznike energetske opreme, da u tehničkoj specifikaciji proizvoda navedu potrebnu energiju za standardne uvjete rada. Nadalje, u stavku 2., definirana je obveza označavanja energetske opreme energetskim oznakama, čiji oblik i sadržaj, ovisno o vrsti proizvoda, energetskim zahtjevima i dr. propisuje Ministarstvo gospodarstva.

Dana 22. rujna 1992. usvojena je Smjernica vijeća Europske unije, 92/75/EEC, o obveznom označavanju energetskih karakteristika standardnih kućanskih uređaja, pri čemu su države članice obvezne provesti standardizirano označavanje u okvirima nacionalnih zakona [15].

Smjernica se primjenjuje na sljedeće uređaje u kućanstvima:

– hladnjake, zamrzivače i kombinacije
– perilice rublja, sušilice i kombinacije
– perilice posuđa
– pećnice
– grijalice vode i spremnike tople vode
– rasvjetna tijela
– rashladne uređaje.

Na temelju Smjernica 92/75/EEC, Europska je komisija, do 1999. usvojila smjernice o primjeni, koje precizno definiraju metodologiju označavanja za sljedeće električne kućanske uređaje:

– hladnjake, zamrzivače i kombinacije – smjernica 94/2/EEC
– kućanske perilice rublja - smjernica 95/12/EEC
– kućanske sušilice rublja - smjernica 95/13/EEC
– kombinirane perilice i sušilice rublja - smjernica 96/60/EEC
– perilice posuđa - smjernica 97/17/EEC, te smjernica 99/11/EEC kao njezin amandman
– rasvjetna tijela u kućanstvima - smjernica 98/11/EEC.

Sve države članice Europske unije (osim Italije za sušilice rublja) su, do sada, prevele gore navedene Smjernice o primjeni označavanja energetske potrošnje u nacionalne zakone, osim smjernice za rasvjetna tijela (u nekoliko zemalja).

## 5. ZAKLJUČAK

Ubrzanim donošenjem standarda energetske efikasnosti kućanskih uređaja i uredske opreme kao provjereno pouzdanom i učinkovitom mjerom smanjenja energetske potrošnje i zaštite okoliša na nacionalnoj razini, u sve većem broju zemalja, test procedure kao njihova tehnička osnova dobivaju na važnosti i sada je pravi trenutak da im se i u Hrvatskoj posveti zaslužena pažnja. Pretpostavka je da će u nekoliko sljedećih godina, zbog velikih teritorijalnih, gospodarskih, administrativnih i tehnoloških promjena na globalnom energetskom tržištu, sve interesne skupine koje se bave test procedurama biti pod iznimno velikom pritiskom. Kako će koja zemlja donositi bilo inicijalne bilo modificirane verzije standarda energetske efikasnosti, tako će test procedure dobivati na važnosti i biti pod povećalom sve većeg broja ljudi. Proizvođači energetskih uređaja zahtijevaju da ispitivanja budu što jednostavnija i jeftinija, ali svako novo tehnološko rješenje, svako poboljšanje karakteristika uređaja, reflektira se na potrebu dorade test procedure što rezultira njenim obveznim poskupljenjem. Multinacionalni proizvođači smatraju kompliciranе i u državne granice zatvorene test procedure iznimno jakom tržišnom barijerom. Nadalje, glavni cilj proizvođača je što manja deklarirana energetska potrošnja, dok potrošač želi da test procedura daje što točnije rezultate. Brzi, kontinuirani, tehnološki razvitak uređaja, sve više reducira mogućnosti postojećih test procedura da realno procijene njihovu energetsku efikasnost. S obzirom na brojne multinacionalne korporacije koje plasiraju proizvode na različita tržišta, harmonizacija test procedura bi predstavljala veliki poticaj razvitku globalnog tržišta.

U ovom trenutku procedure jako variraju širom svijeta, i prvi bi korak trebala biti regionalna harmonizacija, pri čemu je jedna od glavnih barijera velika raznolikost u karakteristikama uređaja i ponašanju korisnika (npr. za perilice rublja i posuđa, energetska potrošnja je jako ovisna o temperaturama pranja koje se bitno razlikuju u raznim regijama svijeta; u Kini se npr. koristi samo hladna voda) [1].

U procesu harmonizacije najdalje su odmakle zemlje Europske unije, SAD i Kanada, koje su u fazi dogovaranja o harmonizaciji procedura za sve kućanske uređaje. Između SAD i Kanade usklađena je većina test procedura za kućanske uređaje, a u kratkom se vremenu očekuje i službena potvrda provedbe harmonizacije. Meksiko i SAD imaju jednake test procedure za kombinirane hladnjake, sobne klimatizacijske uređaje i električne motore. Očekuje se uključenje Meksika u dogovore između SAD i Kanade.

Za Japan je karakteristično da su za neke uređaje na snazi dvije različite test procedure. Tako se za hladnjake koriste, ISO i JIS procedure koje se bitno razlikuju. Australija i Novi Zeland za neke uređaje koriste modificirane IEC i ISO protokole, a za druge potpuno različite procedure.

Azijske zemlje imaju tendenciju prihvaćanja ISO i IEC test procedura i standarda.

Iz navedenog se može zaključiti da će u sljedećim desetljeću jedan od važnijih zadataka svjetskih institucija za standardizaciju biti modificiranje test procedura u skladu s tehnološkim inovacijama, te pronalaženje najdjelotvornijih metoda za prevladavanje klima-

toloških, kulturoloških i dr. specifičnosti pojedinog područja kao velikih barijera u procesu usuglašavanja test procedura na regionalnoj i internacionalnoj razini.

U Zakonu o energiji, kao temeljnom energetskom zakonskom aktu po prvi se put u članku 12. eksplicite navodi da je učinkovito korištenje energije u interesu Republike Hrvatske. U skladu sa spomenutim člankom, kao i Zakonom u cjelini, a radi što bržeg i uspješnijeg uključivanja Hrvatske u europske energetske tokove, od velike je važnosti slijediti relevantne Smjernice Europskog parlamenta, za koje je nadalje karakteristično da uvođenje obveznog etabliranja standarda energetske efikasnosti opreme, test procedura i energetskih oznaka u nacionalna zakonodavstva tretira kao iznimno djelotvornu metodu reduciranja potrošnje energije na nacionalnoj razini.

## LITERATURA


[1] A. K. MEIER, J. E. HILL: "Energy test procedures for appliances", Energy and Buildings 26, 1997.

[2] P. K. BANSAL, R. KRÜGER: "Test standards for household refrigerators and freezers", Preliminary comparisons, Int. J. Refrig. 18, 1995.

[3] A. MEIER, M. MARTINEZ: "Energy use of ice making in domestic refrigerators", ASHRAE Trans., 102 (1996)

[4] H. COUVREUR, J. GOUDA, M. SCOTT: "Fabric washing in Western Europe", 37 th Int. Detergency Conference, Krefeld, Germany, 1996.

[5] Group for Efficient Appliances (GEA), Washing Machines, Driers and Dishwashers, Rep. No. ISBN: 87-7844-014-9, Danish Energy Agency (DEA), Copenhagen, Denmark, 1995.

[6] European Committee for Standardization, Methods of measuring the energy consumption of electric mains operated household refrigerators, refrigerator/freezers, frozen food storage cabinets, food freezers, and their combinations, together with associated characteristics, Rep. No. EN 153, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, March, 1989.

[7] US Department of Energy, Uniform test method for measuring energy consumption of electric refrigerators and electric refrigerator/freezers, Code of Federal Regulations, Appendix A1 to Subpart B of Part 430,23 (10 CFR Chap. II), Government printing Office, Washington, D.C. 1994.

[8] P. K. BANSAL, R. KRÜGER: "Test standards for household refrigerators and freezers, I: Preliminary comparisons", Int. J. Refrig., 18 (1994)

[9] L. RAINER, A. MEIER, S. GREENBERG: "Leaking electricity in homes", ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Asilomar CA, American Council for an Energy Efficient Economy, Washington, DC, 1996.

[10] Proposed Environmental Standards for Major Household Appliances, Green Seal, Washington, DC, 1993.

[11] P. WAIDE, B. LEBOT, M. HINNELLS: "Appliance Energy Standards in Europe", Energy and Buildings 26, 1997.

[12] B. JOHNSON, C. ZOI, "EPA energy star computers: the next generation of office equipment", Proc. Conf. of ACEEE 1992 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Panel 6, Pacific Grove, CA, August, 1992.

[13] George WILKENFELD and Associates: "Evaluation of the National Energy Management Program", Economic and Energy Analysis and others, Department of Primary Industries and Energy, Canberra, Australia, November, 1993.

[14] International Pacific Consulting and Harrison Market Research, National Energy Survey, 9. August 1991.

[15] I. RAGUZIN, V. KRSTULOVIĆ: "Označavanje energetske učinkovitosti sukladno energetskoj regulativi Europske unije i Republike Hrvatske", Zbornik radova 10. FORUMA: Liberalizacija i privatizacija energetskog sektora u zemljama tranzicije i Europske unije: iskustva i perspektive, HED, prosinac 2001.


## TEST PROCEDURES AS THE TECHNICAL BASIS FOR ENERGY EFFICIENCY STANDARDS OF APPLIANCES AND OFFICE EQUIPMENT


The scope of this work is to point out the importance of defining the energy efficiency standards of appliances and office equipment as a proven efficient method for energy demand decrease on the national level. Therefore, characteristics of test procedures are described for different appliances and office equipment, which create a technical background for standard evaluation; world institutions that apply them are mentioned, as well as numerous barriers on their way to regional and international harmonisation. Furthermore, in the work a review on energy labelling is given as well as the legislative framework for its introduction to the Croatian energy market.


## ENERGETISCHE LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON HAUSHALTS- UND BÜROGERÄTEN - PRÜFFORSCHRIFTEN ALS TECHNISCHE UNTERLAGE DER NORM


Der Zweck dieses Artikels ist an die Wichtigkeit des Verabschiedens der Norm über die energetische Leistungsfähigkeit von Haushalts- und Bürogeräten, als eines überprüften Mittels zur Herabsenkung des Energieverbrauchs im Rahmen des ganzen Staates. Zu diesem Zweck sind Hauptmerkmale der Prüfforschriften für verschiedene Haushalts- und Bürogeräte als technische Unterlage für das Verabschieden der Norm, die diese Forschriften weltweit durchführenden Behörden, sowie zahlreiche Hindernisse auf dem Wege deren regionaler und internationaler Übereinstimmung. Weiters ist in der Arbeit eine Darstellung energetischer Symbole, sowie der gesetzgeberische Rahmen deren Einführung auf dem kroatischen energetischen Markt gegeben.



Naslov pisca:

**Mr. sc. Vesna Kolega, dipl. ing.**
**Energetski institut "Hrvoje Požar"**
**Savska 163**
**10000 Zagreb, Hrvatska**



Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 04 – 24.

## TE-TO ZAGREB – PUŠTENO U RAD KOMBI-KOGENERACIJSKO POSTROJENJE

U Žitnjaku, na lijevoj obali Save, izgrađena je termoelektrana – toplana TE-TO Zagreb. Njezina izgradnja je započela krajem 1958. godine, a stavljena je u pogon krajem 1962. godine. Kao gorivo u početku se koristio lignit iz zagorskih rudnika i viškovi prirodnog plina iz obližnjih naftnih polja. Zbog zatvaranja rudnika dovozi se ugljen iz drugih područja, što nije bilo moguće trajno osigurati. Zbog toga a i zbog ekonomskih razloga pregrađuje se TE–TO na loženje teškog loživog ulja (mazuta) uz već postojeće instalacije na prirodni plin. Prvi blok "A" adaptiran je na tekuće gorivo početkom 1965. godine, a drugi "B" krajem 1966. godine. Na taj način omogućeno je loženje kotlova do 100 % mazutom i prirodnim plinom ili kombinirano.

U vremenu od 1975. do 1979. godine proširuje se TE-TO Zagreb s blokom "C" ukupno instalirane električne snage 120 MW i toplinske snage 200 MW. Blok "C" sastoji se od oduzimno-kondenzacijske turbine snage 110 MW te generatora pare 400 t/h. I blok "C" loži se teškim loživim uljem i prirodnim plinom, pri čemu se kotao može ložiti i jednim i drugim gorivom do 100 % učina.

U razdoblju od 1994. do 1997. godine turbine i kotao blokova A i B revitalizirane su s namjerom da rade još idućih deset godina. Pri tom se ispostavilo da kotao bloka B neće moći biti više u funkciji.

Zato je odlučeno da se sruši i na njegovom mjestu izgradi novo suvremeno kogeneracijsko postrojenje veće snage.

Studije su pokazale da je najpovoljnije rješenje supstitucija dotrajalih blokova A i B novim kombi-kogeneracijskim plinsko parnim postrojenjem. Novo postrojenje, blok K, smješteno je jednim dijelom na ranije praznom prostoru između postojećih proizvodnih jedinica te u kotlovici i strojarnici starih blokova, na mjestu demontiranog bloka B.

Sredinom lipnja pušteno je u komercijalni pogon kombi-kogeneracijsko postrojenje u TE-TO Zagreb. Kombinirano plinsko-parno postrojenje ima kapacitet od 200 MW električne i 150 MW toplinske snage. Ukupna godišnja proizvodnja električne energije iznosit će 1,4 milijarde kWh, a toplinske oko 320 milijuna kWh.

Od elektroopreme ugrađeni su :

- turbogeneratori snage 80 MVA, napona 10,3 kV s pripadajućim neovisnim sustavom statičke uzbude s digitalnim regulatorom napona i tiristorskim pretvaračem
- energetski transformatori snage 85 MVA, distributivni i specijalni transformatori te transformatori za vlastitu potrošnju snage 7 MVA
- oprema za rasklopno postrojenje 6,3 kV i postrojenje 400 V
- sklopni aparati za visokonaponsko postrojenje 123 kV (prekidači, rastavljači i zemljospojnik)
- naponski i strujni mjerni transformatori (tipa VPU-123 i AGU-123).

Stavljanjem u pogon ovog postrojenja zadovoljit će se potrebe Zagreba za toplinom, odnosno tehnološkom parom i ogrjevnom toplinom i povećati sigurnost rada hrvatskog elektroenergetskog sustava.

Kao osnovno gorivo pogon troši prirodni plin, ekološki prihvatljivo gorivo, čime se ujedno uvažavaju najstrože norme u očuvanju okoliša. Rezervno je gorivo, u slučaju poremećaja u opskrbi plinom, ekstralako loživo ulje, kojim se osigurava desetodnevni rad postrojenja.

To je prvo proizvodno postrojenje u samostalnoj RH financirano vlastitim sredstvima HEP-a. Ukupna vrijednost postrojenja iznosi oko 900 milijuna kuna. Postrojenje je po principu "ključ u ruke" izgradila američka kompanija Parsons Power Group. Oko 45 % radova u vrijednosti od oko 420 milijuna kuna izvele su hrvatske kompanije u koordinaciji kompanije Montmontaža (Duro Đaković, Tvornica parnih kotlova, ABB Karlovac, Končar i drugi).

SBK

## IZ IZVJEŠĆA DRŽAVNOG ZAVODA ZA STATISTIKU

Na temelju Zakona o nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti i drugih važećih zakona Državni zavod za statistiku vodi registar poslovnih subjekata. Upisom u sudski registar svakom se poslovnom subjektu dodjeljuje sedmeroznamenkasti matični broj, a dijelu poslovnog subjekta određuje se četveroznamenkasti redni broj uz matični broj. Svim poslovnim subjektima i njihovim dijelovima dodjeljuje se i šifra djelatnosti prema Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti (NKD).

Nacionalna klasifikacija djelatnosti utemeljena je na Europskoj klasifikaciji djelatnosti NACE, Rev. 1 koja je obvezna za države članice Europske unije.

Prema NKD elektroprivredna djelatnost pripada u **područje E, Odjeljak 40 – pskrba električnom energijom, plinom, parom i toplom vodom.**

Državni zavod za statistiku prikuplja mjesečna i godišnja izvješća po statističkim jedinicama. Statističke jedinice od kojih se prikupljaju izvješća jesu trgovačka društva razvrstana po područjima djelatnosti u Registru poslovnih subjekata. Pri određivanju statističkih jedinica poštovan je i teritorijalni princip na razini županija, tj. jedna statistička jedinica obuhvaća samo jednu županiju, pa je Hrvatska elektroprivreda dužna načiniti toliko izvješća koliko ima županija.

Između statističkih podataka objavljenih u mjesečnim i godišnjim izvješćima Državnog zavoda za statistiku izabrani su najinteresantniji podaci kao što su:

- podaci o proizvodnji električne energije
- podaci o neto i bruto plaći te broju zaposlenika u toj djelatnosti
- indeksi cijena industrijskih proizvoda.

Promatra se razdoblje od 2000. do kraja prve polovice 2003. godine.

### Proizvodnja električne energije

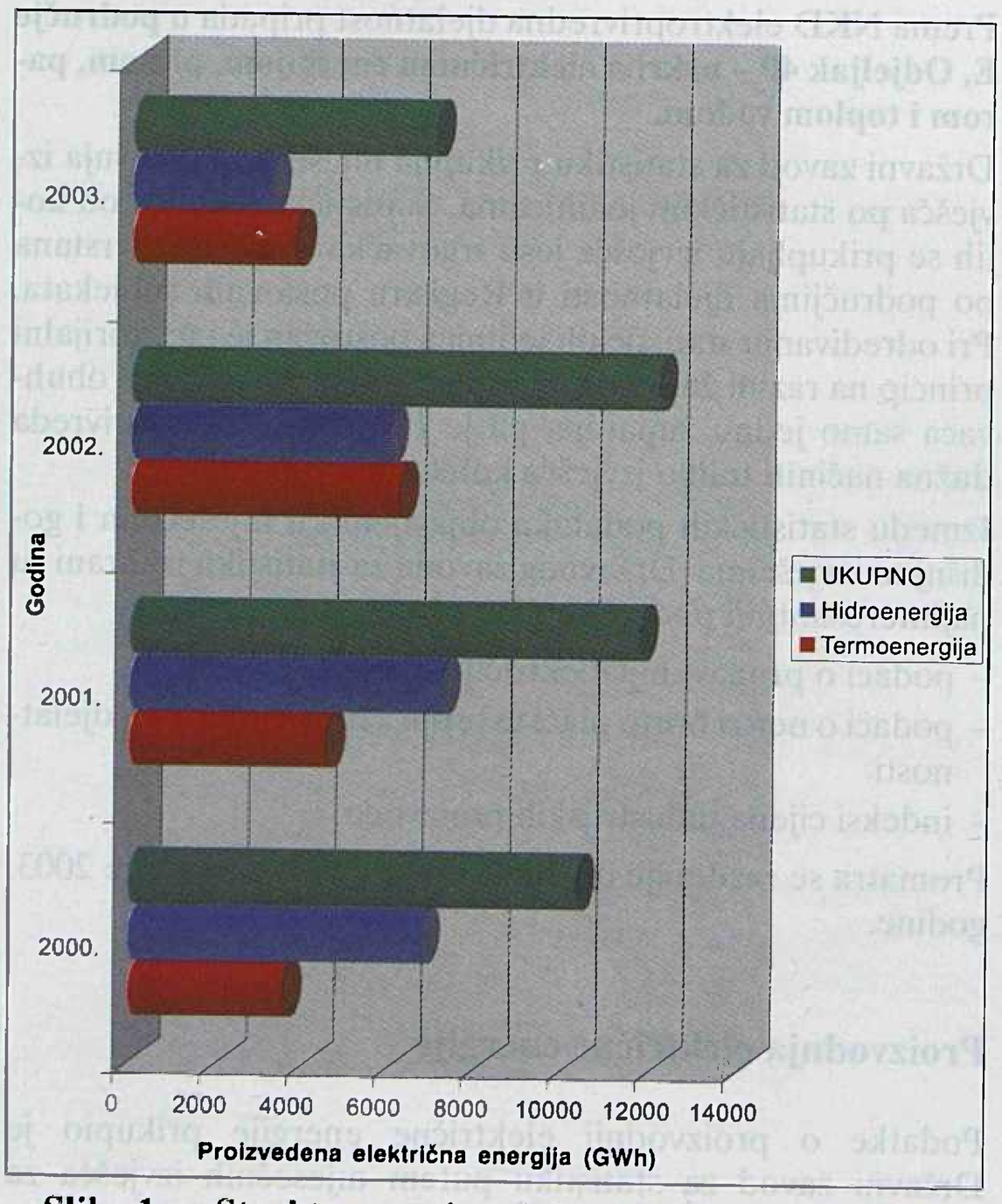
Podatke o proizvodnji električne energije prikupio je Državni zavod za statistiku putem mjesečnih izvješća za područje industrije i energetike u suradnji sa županijskim uredima za statistiku (IND-21/A). Ovi podaci obuhvaćaju

trgovačko društvo HEP Proizvodnja d.o.o. te ostala trgovačka društva izvan HEP grupe s istom djelatnosću, dakle ukupno proizvedenu električnu energiju na području Republike Hrvatske bez obzira na vlasništvo.
U tablici 1. te dijagramima na slikama 1a., 1b., 1c. i 1d. prikazana je struktura proizvodnje električne energije u apsolutnim iznosima (ukupno, hidro, termo) po godinama i mjesecima za razdoblje od 2000. do kraja prve polovice 2003. godine.
Slika 1a. prikazuje strukturu proizvedene električne energije, odnosno proizvodnju u hidroelektranama i termoelektranama po godinama za razdoblje od 2000. do kraja prve polovice 2003. godine. Prema prikupljenim podacima u godinama 2000. i 2001. veći udio je električne energije proizvedene u hidroelektranama. Najmanja proizvodnja ostvarena je u termoelektranama u 2000. godini i iznosi 3561 GWh. Istodobno je ostvarena najviša proizvodnja u hidroelektranama u iznosu 7153 GWh za promatrano razdoblje.

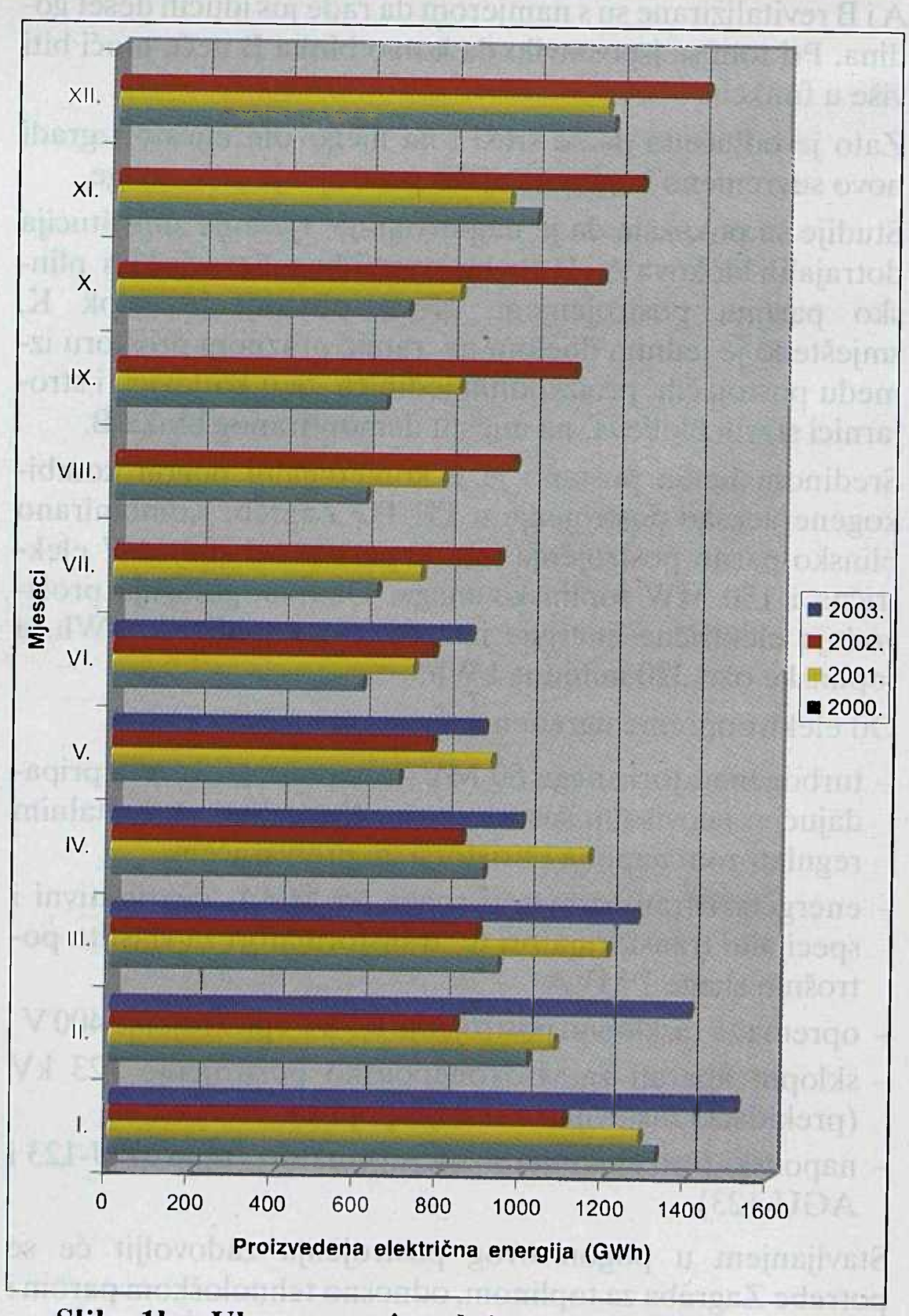
**Tablica 1 – Struktura proizvodnje električne energije od 2000. do 2003.**

MWh

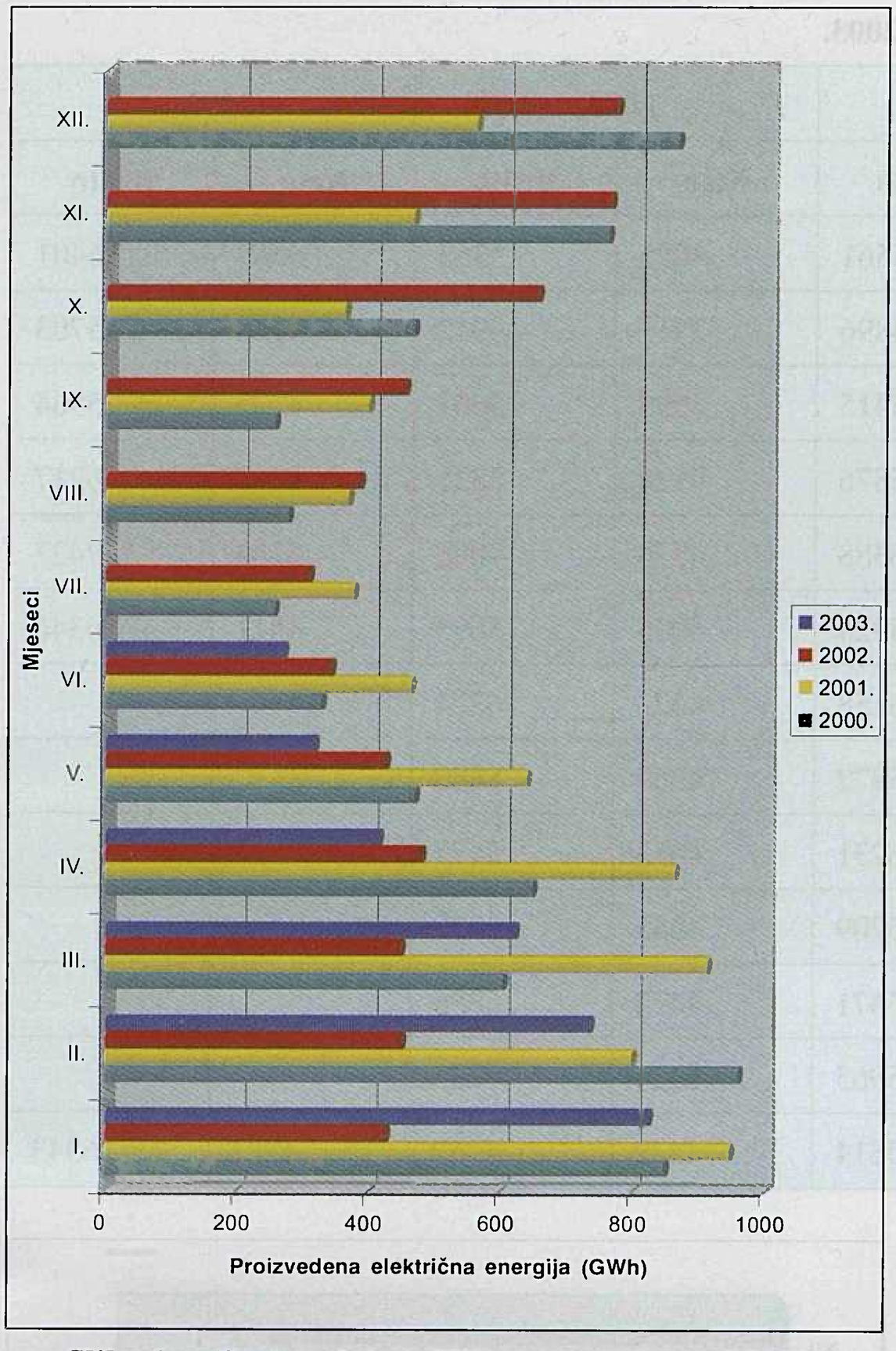
| Godina | 2000. | | | 2001. | | | 2002. | | | 2003. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mjeseci | Ukupno | HE | TE | Ukupno | HE | TE | Ukupno | HE | TE | Ukupno | HE | TE |
| I. | 1321920 | 848409 | 473511 | 1282765 | 946856 | 335909 | 1100362 | 424871 | 675491 | 1517233 | 824162 | 693071 |
| II. | 1009643 | 960229 | 49414 | 1075673 | 799630 | 276043 | 835308 | 448791 | 386517 | 1401478 | 735048 | 666430 |
| III. | 936274 | 603750 | 359524 | 1200649 | 913302 | 287347 | 885835 | 447341 | 438494 | 1270038 | 621429 | 648609 |
| IV. | 898208 | 647763 | 250445 | 1154184 | 863697 | 290487 | 845722 | 479400 | 366322 | 988938 | 414647 | 574291 |
| V. | 693741 | 468909 | 224832 | 915934 | 638699 | 277235 | 773914 | 424153 | 349761 | 897663 | 316477 | 581186 |
| VI. | 602892 | 327141 | 275751 | 726608 | 463147 | 263461 | 775233 | 341715 | 433518 | 863641 | 269900 | 593741 |
| VII. | 635631 | 254809 | 380822 | 742156 | 375972 | 366184 | 930891 | 308070 | 622821 | | | |
| VIII. | 606491 | 275812 | 330679 | 791206 | 367140 | 424066 | 965719 | 385106 | 580613 | | | |
| IX. | 652328 | 255622 | 396706 | 829872 | 397987 | 431885 | 1108523 | 453459 | 644064 | | | |
| X. | 704971 | 465683 | 239288 | 828937 | 361512 | 467425 | 1169419 | 653982 | 515437 | | | |
| XI. | 1010782 | 759590 | 251192 | 946498 | 465279 | 481219 | 1266250 | 763888 | 502362 | | | |
| XII. | 1193571 | 865010 | 328561 | 1179070 | 559299 | 619771 | 1418603 | 772880 | 645723 | | | |
| Ukupno | 10266452 | 6732727 | 3560725 | 11673552 | 7152520 | 4521032 | 12075779 | 5903656 | 6161123 | 6938991 | 3181663 | 3757328 |



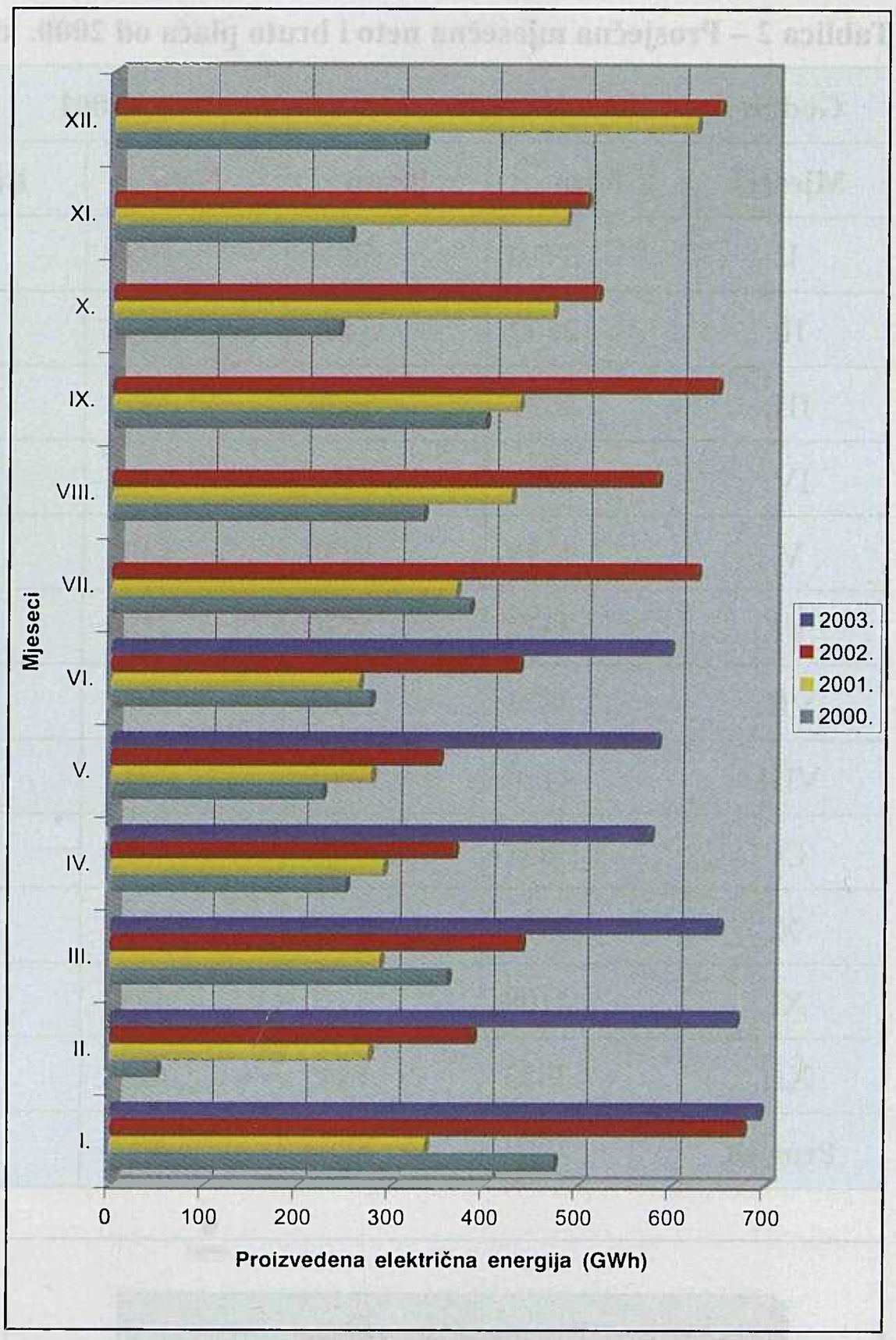

**Slika 1a – Struktura proizvodnje električne energije od 2000. do 2003.**




**Slika 1b – Ukupna proizvodnja po mjesecima (GWh)**




**Slika 1c – Proizvodnja u HE po mjesecima od 2000. do 2003.**




**Slika 1d – Proizvodnja u TE po mjesecima od 2000. do 2003.**

U godini 2002. ostvarena je veća proizvodnja u termoelektranama i iznosi 6160 GWh. U prvoj polovici 2003. godine veća proizvodnja je ostvarena u termoelektranama.

Na slici 1b. prikazana je ukupna proizvodnja električne energije, ali po mjesecima za razdoblje od 2000. do kraja prve polovice 2003. godine. Najveća ukupna proizvodnja ostvarena je u siječnju 2003. godine (1571 GWh), a najmanja u lipnju 2000. godine (603 GWh).

Slika 1c. prikazuje mjesečnu proizvodnju u hidroelektranama. Najmanja mjesečna proizvodnja ostvarena je u hidroelektranama u srpnju 2000. godine. Najveća proizvodnja u hidroelektranama ostvarena je u veljači 2000. godine u iznosu od 960 GWh.

Slika 1d. prikazuje mjesečnu proizvodnju u termoelektranama. Najmanja mjesečna proizvodnja u termoelektranama ostvarena je u veljači 2000. godine u iznosu od 49 GWh, a najveća u siječnju 2003. godine u iznosu od 693 GWh.

## Prosječne neto i bruto plaće

Državni zavod za statistiku u okviru godišnjih programa istraživanja prikuplja podatke putem izvješća, koji se u poslovnim subjektima popunjavaju na temelju evidencija o plaćama. Istraživanjem o plaćama zaposlenih u poslovnim subjektima obuhvaćene su neto i bruto plaće zaposlenih koji imaju zasnovan radni odnos, bez obzira na vrstu radnog odnosa i duljinu radnog vremena. U podatke o prosječnim neto plaćama uključena je i naknada za topli obrok.

Prosječna mjesečna isplaćena neto plaća obuhvaća plaće zaposlenih za izvršene poslove na osnovi radnog odnosa i naknade za godišnji odmor, plaćeni dopust, državne blagdane i neradne dane utvrđene zakonom, bolovanja do 42 dana, odsutnosti za stručno obrazovanje, zastoje na poslu bez krivnje zaposlenog, obnašanje vojne obveze, naknadu za topli obrok i primitke na osnovi naknada, potpora i nagrada u iznosima na koje se plaćaju doprinosi, porezi i prirezi.

Prosječna mjesečna bruto plaća obuhvaća sve vrste neto isplata na osnovi redovitog radnog odnosa i zakonom propisana obvezna izdvajanja, doprinose, poreze i prireze.

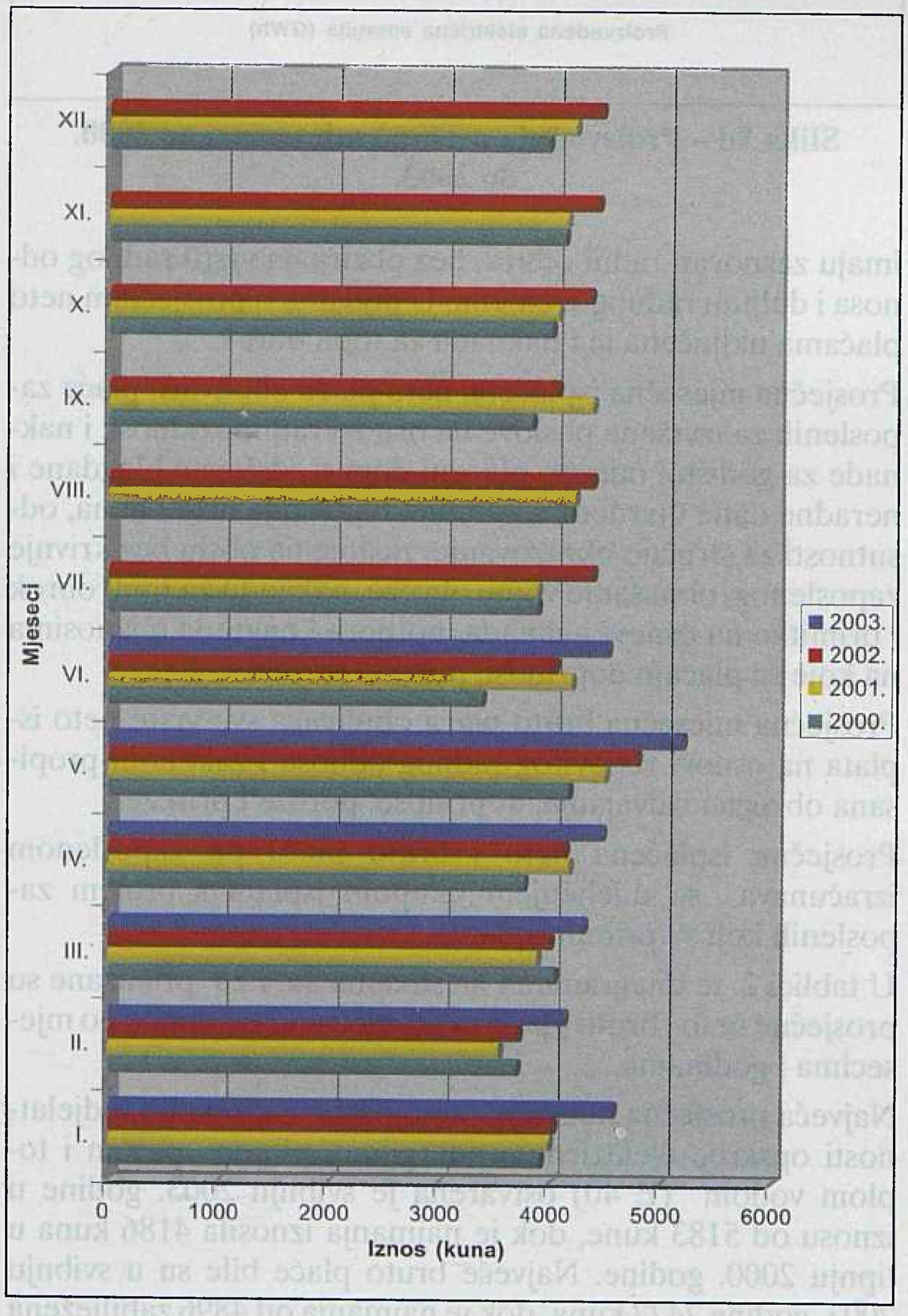
Prosječna isplaćena neto i bruto plaća po zaposlenom izračunava se dijeljenjem ukupnih isplata s brojem zaposlenih koji su primili isplate.

U tablici 2. te dijagramima na slikama 2a. i 2b. prikazane su prosječne neto i bruto plaće za promatrano razdoblje po mjesecima i godinama.

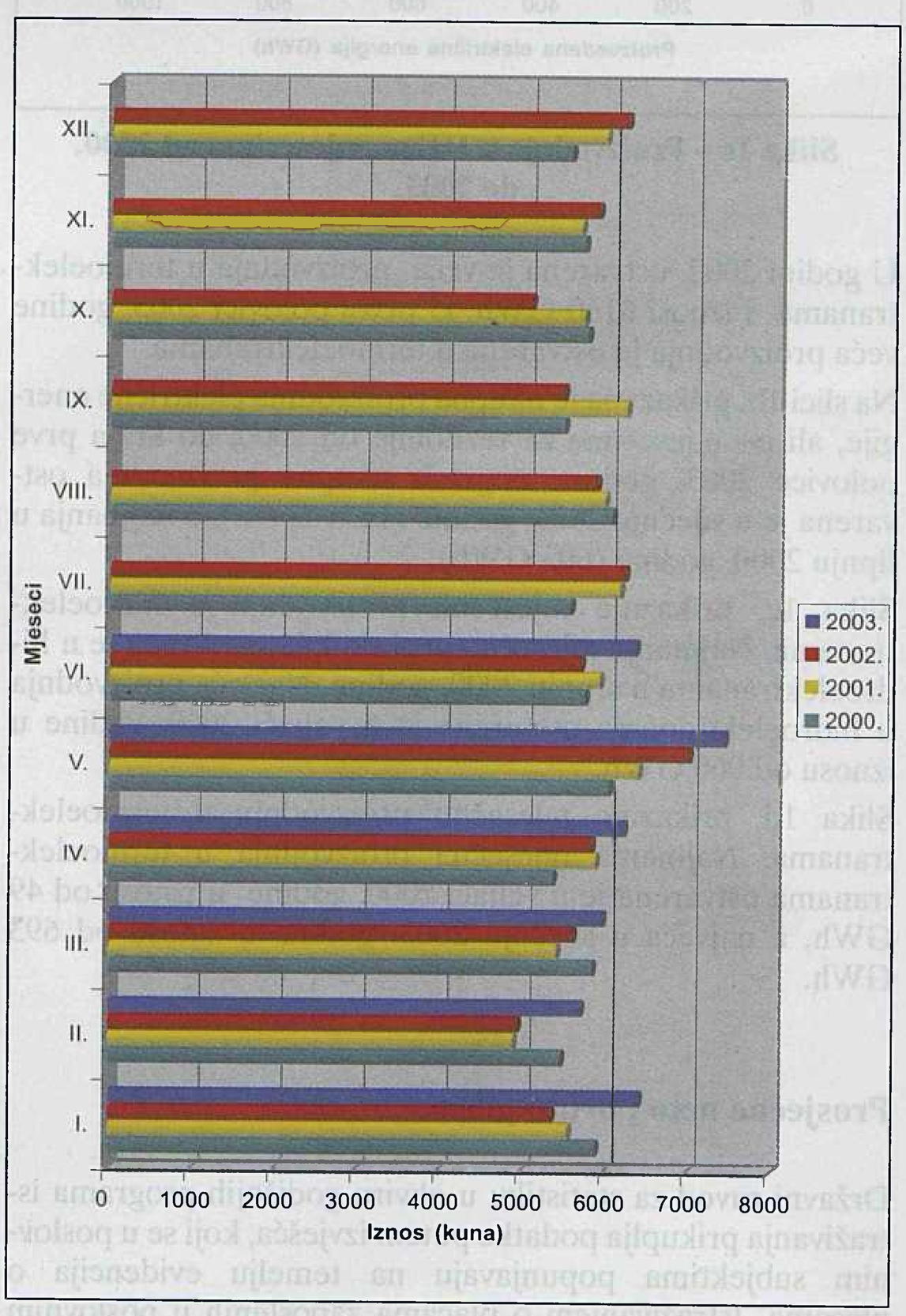
Najveća prosječna mjesečna neto plaća zaposlenih u djelatnosti opskrbe električnom energijom, plinom, parom i toplom vodom (E 40) ostvarena je svibnju 2003. godine u iznosu od 5183 kune, dok je najmanja iznosila 4186 kuna u lipnju 2000. godine. Najveće bruto plaće bile su u svibnju 2003. godine 7427 kuna, dok je najmanja od 4896 zabilježena u lipnju 2001. godine.

**Tablica 2 – Prosječna mjesečna neto i bruto plaća od 2000. do 2003.**

| Godine | 2000. | | 2001. | | 2002. | | 2003. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mjeseci | Neto | Bruto | Neto | Bruto | Neto | Bruto | Neto | Bruto |
| I. | 3910 | 5884 | 3988 | 5561 | 4025 | 5353 | 4567 | 6401 |
| II. | 3690 | 5465 | 3536 | 4896 | 3711 | 4942 | 4126 | 5703 |
| III. | 4031 | 5839 | 3878 | 5415 | 3995 | 5607 | 4295 | 5964 |
| IV. | 3757 | 5365 | 4162 | 5876 | 4128 | 5831 | 4457 | 6217 |
| V. | 4155 | 6038 | 4484 | 6388 | 4778 | 7008 | 5184 | 7427 |
| VI. | 3372 | 5740 | 4186 | 5924 | 4035 | 5693 | 4511 | 6346 |
| VII. | 3874 | 5564 | 3874 | 6158 | 4373 | 6224 | | |
| VIII. | 4176 | 6065 | 4214 | 5972 | 4369 | 5880 | | |
| IX. | 3821 | 5478 | 4369 | 6231 | 4053 | 5477 | | |
| X. | 3993 | 5753 | 4057 | 5709 | 4345 | 5078 | | |
| XI. | 4108 | 5710 | 4130 | 5671 | 4410 | 5886 | | |
| XII. | 3953 | 5545 | 4202 | 5965 | 4436 | 6223 | | |
| **Prosjek** | 3903 | 5704 | 4090 | 5814 | 4222 | 5767 | 4523 | 6343 |




**Slika 2a – Prosječne mjesečne neto plaće**

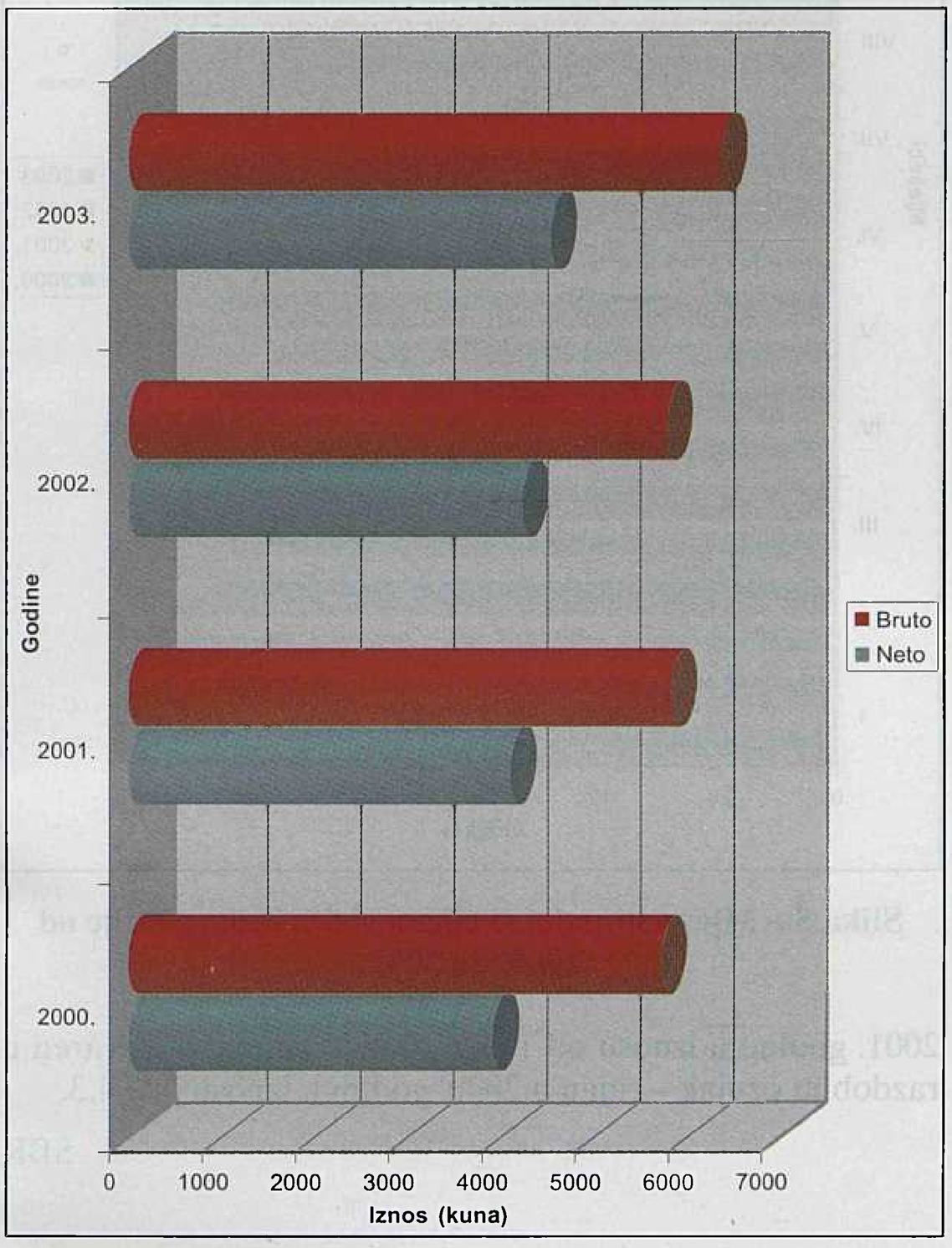



**Slika 2b – Prosječne mjesečne bruto plaće**

U tablici 3. te dijagramom na slici 3. prikazane su prosječne mjesečne neto i bruto plaće po godinama za promatrano razdoblje.

**Tablica 3 – Prosječne neto i bruto plaće po godinama od 2000. do 2003.**

| | 2000. | 2001. | 2002. | 2003. |
|---|---|---|---|---|
| Neto | 3903 | 4090 | 4222 | 4523 |
| Bruto | 5704 | 5814 | 5767 | 6343 |




**Slika 3 – Prosječne neto i bruto plaće po godinama od 2000. do 2003.**

U promatranom razdoblju prosječne neto i bruto plaće pokazuju tendenciju porasta. Prosječna mjesečna neto plaća kreće se od 3903 kune u 2000. godini do 4523 kune u prvoj polovici 2003. godine.

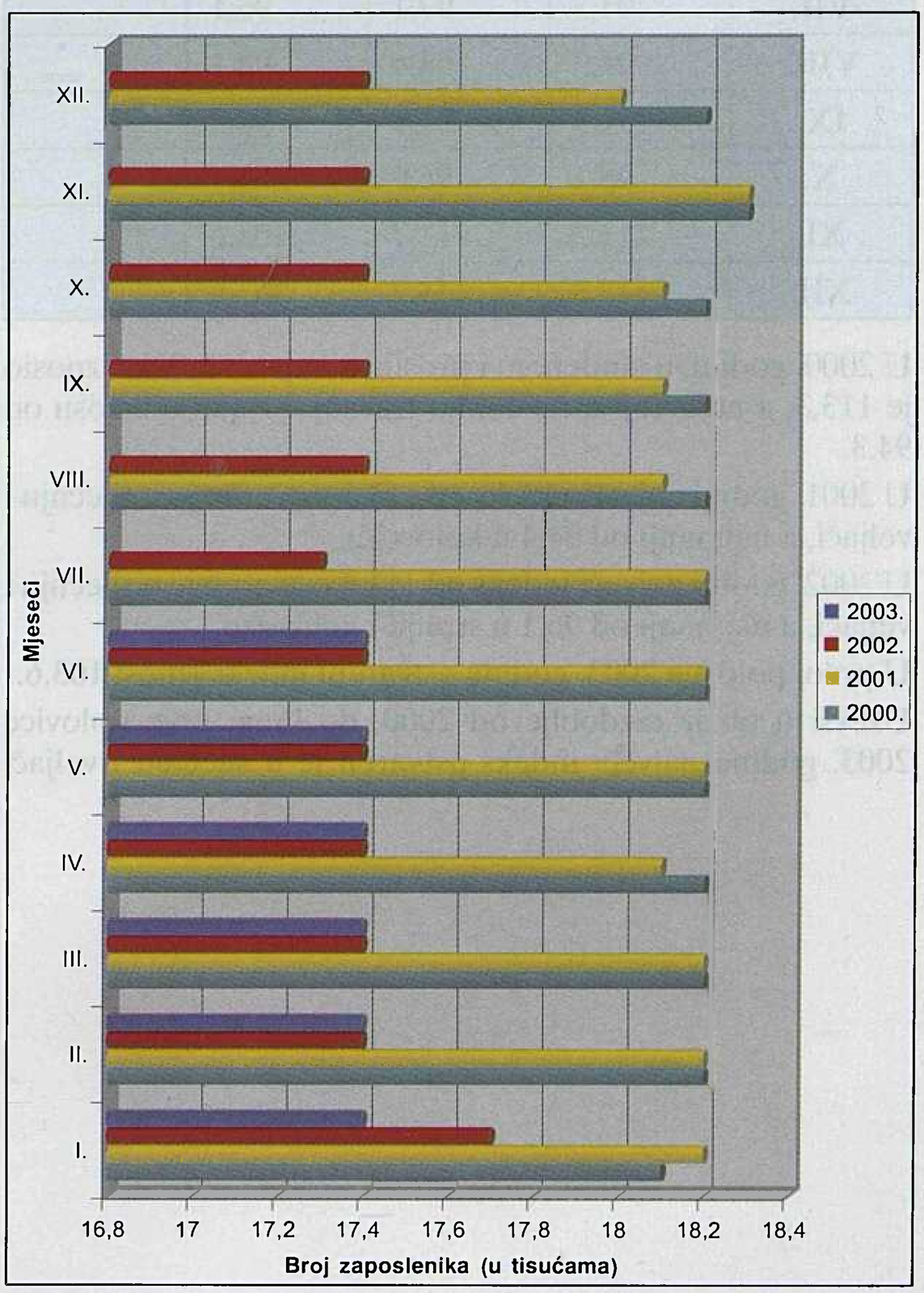
## Zaposlenici

Prema definicijama, korištenim u Anketi o radnoj snazi koje se temelje na metodologiji Međunarodne organizacije rada, zaposlenici su osobe koje rade za poslodavca u državnom ili privatnom sektoru i za svoj rad primaju naknadu u novcu ili naturi. Razlikuju se od zaposlenih koji mogu biti umirovljenici, studenti, kućanice i sl.

U tablici 4. te dijagramom na slici 4. prikazan je prosječan broj zaposlenika u Području E – opskrba električnom energijom, plinom, parom i toplom vodom u razdoblju od 2000. do kraja prve polovice 2003. godine. Podaci su iskazani kao godišnji prosjek podataka prikupljenih godišnjim izvješćem sa stanjem 31. ožujka. Podaci o zaposlenima za mjesečno stanje rezultat su obrade podataka redovitog mjesečnog izvješća.

**Tablica 4 – Broj zaposlenika po mjesecima od 2000. do 2003.**

| | 2000. | 2001. | 2002. | 2003. |
|---|---|---|---|---|
| I. | 18,1 | 18,2 | 17,7 | 17,4 |
| II. | 18,2 | 18,2 | 17,4 | 17,4 |
| III. | 18,2 | 18,2 | 17,4 | 17,4 |
| IV. | 18,2 | 18,1 | 17,4 | 17,4 |
| V. | 18,2 | 18,2 | 17,4 | 17,4 |
| VI. | 18,2 | 18,2 | 17,4 | 17,4 |
| VII. | 18,2 | 18,2 | 17,3 | |
| VIII. | 18,2 | 18,1 | 17,4 | |
| IX. | 18,2 | 18,1 | 17,4 | |
| X. | 18,2 | 18,1 | 17,4 | |
| XI. | 18,3 | 18,3 | 17,4 | |
| XII. | 18,2 | 18,0 | 17,4 | |




**Slika 4 – Broj zaposlenika po mjesecima od 2000. do 2003.**

Prosječan broj zaposlenika u području E 40 – Opskrba električnom energijom, plinom, parom i toplom vodom kreće se od 17400 do 18300 s tendencijom pada u 2002. i 2003. godini.

## Cijene kod proizvođača

Državni zavod za statistiku od siječnja 1998. godine prikuplja cijene industrijskih proizvoda pri proizvođačima prema Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti i prema novoj Nomenklaturi industrijskih proizvoda i usluga, a indeks se izračunava prema područjima i odjeljcima Nacionalne klasifikacije djelatnosti.

Opći indeks cijena po područjima (E) i odjeljcima (40) utvrđuje se ponderiranim postupkom, pri čemu se za pondere uzima vrijednost proizvoda prodanih na domaćem tržištu.

Pregled mjesečnih indeksa cijena električne energije od 2000. do kraja prve polovice 2003. godine prikazan je u tablici 5. te dijagramom na slici 5.

**Tablica 5 – Mjesečni indeksi cijena električne energije od 2000. 2003.**

| | 2000. | 2001. | 2002. | 2003. |
|---|---|---|---|---|
| I. | 111,2 | 113,5 | 111,6 | 103,6 |
| II. | 111,2 | 113,5 | 111,6 | 103,6 |
| III. | 94,3 | 97,2 | 97,2 | 103,6 |
| IV. | 94,3 | 97,2 | 97,2 | 103,6 |
| V. | 94,3 | 97,2 | 97,2 | 103,6 |
| VI. | 94,3 | 97,1 | 98,5 | 103,6 |
| VII. | 94,3 | 97,1 | 96,1 | |
| VIII. | 94,3 | 94,4 | 96,1 | |
| IX. | 94,3 | 95,9 | 98,5 | |
| X. | 98,1 | 95,9 | 103,7 | |
| XI. | 113,3 | 111,7 | 103,6 | |
| XII. | 113,3 | 111,7 | 103,6 | |

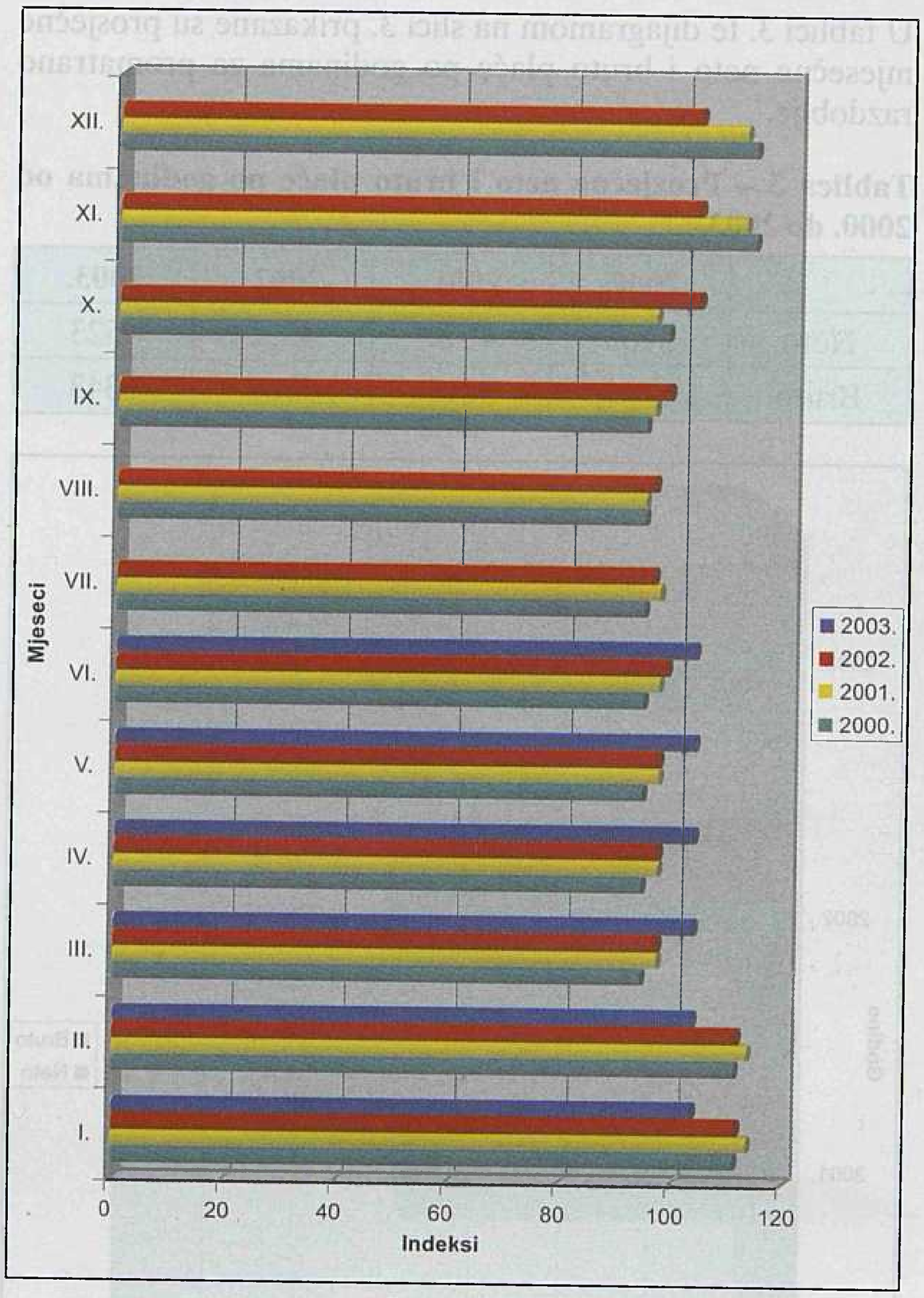
U 2000. godini, u studenom i prosincu najveći indeks iznosio je 113,3, a najmanji u razdoblju travanj – rujan u iznosu od 94,3.

U 2001. godini najveći indeks od 113,5 ostvaren je u siječnju i veljači, a najmanji od 94,4 u kolovozu.

U 2002. godini najveći indeks od 111,6 ostvaren je u siječnju i veljači, a najmanji od 96,1 u srpnju i kolovozu.

U prvoj polovici 2003. godine ostvareni indeks iznosi 103,6.

Uzevši u obzir razdoblje od 2000. do kraja prve polovice 2003. godine najveći indeks ostvaren je u siječnju i veljači




**Slika 5 – Mjesečni indeksi cijena električne energije od 2000. do 2003.**

2001. godine u iznosu od 113,5 , dok je najmanji ostvaren u razdoblju ožujak – rujan u 2000. godini u iznosu od 94,3.

SBK

## USVOJENA NOVA DIREKTIVA EUROPSKE UNIJE O TRŽIŠTU ELEKTRIČNE ENERGIJE

Europski parlament i Vijeće Europske unije prihvatili su 26. lipnja 2003. godine novu Direktivu 2003/54/EC o tržištu električne energije, kojom se stavlja izvan snage dotadašnja Direktiva 96/92/EC, donesena 19. prosinca 1996. godine. Struktura novog dokumenta slijedi strukturu dotadašnjeg dokumenta, ali unosi izmjene i dopune, uvjetovane dosadašnjim i željenim razvojem prilika na tržištu električne energije Europske unije. Zanimljivije odredbe nove Direktive opisuju se u nastavku.

Direktiva utemeljuje zajednička pravila za proizvodnju, prijenos, distribuciju i opskrbu električnom energijom.

Direktiva poznaje samo operatora prijenosne mreže (a ne i operatora elektroenergetskog sustava, kakav se javlja u našem Zakonu o tržištu električne energije) i ne poznaje operatora tržišta (a našim je Zakonom uveden). Operator prijenosne mreže odgovoran je za pogon, održavanje i razvoj prijenosne mreže na određenom području. Analogno, operator distribucijske mreže odgovoran je za distribucijsku mrežu na određenom području. Zanimljivija je i definicija vertikalno integriranog poduzeća, koja kaže da je to poduzeće/grupa koja obavlja najmanje jednu od djelatnosti prijenosa ili distribucije i barem jednu od djelatnosti proizvodnje ili opskrbe električnom energijom.

Nova Direktiva favorizira postupak izdavanja odobrenja (autorizacije) za izgradnju novog proizvodnog objekta (elektrane). Samo iznimno, ako postupkom odobravanja nije postignuta zadovoljavajuća sigurnost opskrbe u nekom predstojećem razdoblju, može se pristupiti javnom natječaju za izgradnju nove elektrane.

Uvodi se pojam povećanja energetske učinkovitosti, odnosno upravljanja potražnjom, kao mjerom za smanjenje primarne potrošnje energije i vršnog opterećenja, te mjerom za smanjenje opterećenja okoliša.

Operator prijenosne mreže je vlasnik prijenosne mreže, jedan ili više njih na državnom području, odgovoran za: dugoročnu sposobnost mreže prema udovoljavanju prijenosnim zahtjevima, sigurnost opskrbe putem odgovarajuće pouzdanosti mreže, upravljanje tokovima snage i osiguranje usluga sustava, koordinaciju s drugim povezanim prijenosnim mrežama, osiguranje nediskriminacije između korisnika mreže i osiguranje informacija svim korisnicima mreže. Operator prijenosne mreže odgovoran je za dispečiranje elektrana na svome području, te za korištenje spojnih vodova prema drugim prijenosnim mrežama. Mora nabaviti energiju za pokriće gubitaka u mreži, te za uravnoteženje ponude i potražnje u mreži, na tržišnim osnovama. Mora dati prednost obnovljivim izvorima i stanovitu prednost proizvođačima koji koriste domaće izvore primarne energije. Ako je operator prijenosne mreže dio vertikalno integriranog poduzeća, mora biti neovisan od drugih barem u pogledu zakonske forme, organizacije i odlučivanja. To ne znači odvajanje vlasništva nad objektima mreže od vertikalno integriranog poduzeća. Osobe koje upravljaju operatorom prijenosne mreže ne mogu sudjelovati u svakodnevnom vođenju proizvodnje, distribucije i opskrbe, a operator prijenosne mreže mora biti neovisan od integriranog poduzeća s obzirom na sredstva potrebna za pogon, održavanje i razvoj mreže.

Operator distribucijske mreže je vlasnik distribucijske mreže, jedan ili više njih na državnom području, odgovoran za: siguran, pouzdan i učinkovit pogon mreže uz vođenje brige o zaštiti okoliša, osiguranje nediskriminacije između korisnika mreže i osiguranje informacija svim korisnicima mreže. Operator distribucijske mreže mora nabaviti energiju za pokriće gubitaka u mreži, te za uravnoteženje ponude i potražnje u mreži, na tržišnim osnovama. Pri planiranju razvoja mreže, mora uzeti u obzir mjere povećanja energetske učinkovitosti i mjere za upravljanje potražnjom. Ostale odredbe o operatoru distribucijske mreže, analogne su odredbama koje se odnose na operatora prijenosne mreže.

Dopušta se i kombinirani mrežni operator, zajednički za prijenosnu i za distribucijsku mrežu.

Opskrbljivač može biti izdvojeni prodajni odjel vertikalno integriranog poduzeća ili izdvojeni odjel prodaje iz distribucije, ali i posve neovisna tvrtka za opskrbu. Obvezuje se da uz račun za utrošenu električnu energiju iskaže mješavinu energenata koja je prethodne godine iskorištena za proizvodnju električne energije, te o utjecaju na okoliš što su ga izazvala postrojenja za proizvodnju električne energije.

Posebnim prilogom uz Direktivu, određene su mjere zaštite kupaca (potrošača), primjerice: o naknadi u slučaju neispunjenja ugovorene kvalitete usluge ili o nezaračunavanju promjene opskrbljivača, te o jeftinom postupanju prema žalbama.

Elektroprivredna vertikalno integrirana poduzeća moraju u svojem internom vođenju poslovnih knjiga, držati odvojene račune za prijenosne i distribucijske poslove, kao što bi se to od njih tražilo ako bi te poslove obavljala odvojena poduzeća.

Sve zemlje članice moraju ustrojiti regulatorna tijela, neovisna od elektroprivrede, za nadzor provedbe odredbi Direktive, uključujući i odobravanje naknada za korištenje prijenosne i distribucijske mreže.

Odredbe o otvaranju tržišta – opsegu povlaštenih kupaca, dakle onih koji mogu slobodno birati svojeg opskrbljivača:

- do 1. srpnja 2004. godine – kupci koji troše više od 9 GWh godišnje (sadašnja odredba našeg Zakona određuje kao povlaštene kupce one koji troše više od 40 GWh godišnje),
- najkasnije od 1. srpnja 2004. godine – svi kupci-nekućanstva, osim iznimaka odobrenih po Komisiji Europske unije u najduljem trajanju od 18 mjeseci,
- od 1. srpnja 2007. godine – svi kupci, bez ikakvih daljih iznimaka.

Postojeća Direktiva 96/92/EC ukida se definitivno 1. srpnja 2004. godine, do kada su zemlje-članice Europske unije obvezne svoja zakodavstva uskladiti s novom Direktivom. Direktiva 2003/54/EC stupila je na snagu 4. kolovoza 2003. godine.

www.veoe.at/14.8.2003.

MK

## RAZLIČIT STUPANJ OTVARANJA TRŽIŠTA U ZEMLJAMA EU

Prema još uvijek važećoj Direktivi 96/92/EC, koja će vrijediti u razdoblju prijelaza na novu Direktivu 2003/54/EC, do 1. srpnja 2004. godine, obuhvat povlaštenih kupaca određen je sljedećim rokovima:

- od 19. veljače 1997. – kupci koji troše više od 40 GWh godišnje (stupanj otvaranja tržišta 23%)
- od 19. veljače 2000. – kupci koji troše više od 20 GWh godišnje (stupanj otvaranja tržišta 28%)
- od 19. veljače 2003. – kupci koji troše više od 9 GWh godišnje (stupanj otvaranja tržišta 33%).

Dakle, početkom 2003. godine postignuti stupanj otvaranja tržišta morao je biti 33%, toliki bi najmanje trebao biti udjel električne energije koja se može (ali ne mora) kupovati na slobodnom tržištu, a 67% na reguliranom tržištu. Ostvareno stanje je u nekim zemljama znatno povoljnije (7 zemalja čak 100%), a u svim zemljama je iznad 1/3 – prema tablici u nastavku.

**Stupanj otvaranja tržišta (%), stanje u ožujku 2003.**

| | |
|---|---|
| Austrija | 100 |
| Danska | 100 |
| Finska | 100 |
| Njemačka | 100 |
| Španjolska | 100 |
| Švedska | 100 |
| Velika Britanija | 100 |
| Nizozemska | 63 |
| Luksemburg | 57 |
| Belgija | 52 |
| Portugal | 48 |
| Irska | 40 |
| Francuska | 37 |
| Italija | 35 |
| Grčka | 34 |

Praktično, odredbe nove Direktive 2003/54/EC u pogledu rokova otvaranja tržišta odnose se samo na približno polovinu (8 od ukupno 15) sadašnjih zemalja-članica Europske unije, jer je 7 zemalja postigla 100%-tnu otvorenost već danas.

www.strom.de/20.8.2003.

MK

## MALI PORAST POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Potrošnja električne energije u Njemačkoj porasla je u godini 2002. samo za 0,2 % u usporedbi s prethodnom godinom. Na to su utjecali i faktori za sniženje i povećanje potrošnje. Kupovani su štedni kućanski aparati, konjuktura je bila slaba, a zima blaga. Naprotiv, informatička i komunikacijska tehnika djelovale su na povećanje potrošnje električne energije.

*EW,* god. 102(2003), broj 6

Mrk

## POUZDANOST DOBAVE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Budući da je električna energija životni sok gospodarstva, važno je da njena dobava bude sigurna i kvalitetna uz podnošljivu cijenu.

Njemačka je od godine 1991. do godine 2001. zbog toga u kvalitetu dobave električne energije investirala 34 milijarde eura.

Potrošači prosječno u Njemačkoj ostaju bez električne energije godišnje 15 minuta, dok npr. u Skandinaviji i Italiji prekidi prosječno godišnje traju 2 do 3 sata.

*EW,* god. 102(2003), br. 10

Mrk

## ELEKTROPRIVREDNE POTEŠKOĆE U BRAZILU

Nakon sušnog razdoblja, početkom 2003. godine, brazilske su vodne akumulacije opet pune. Brazilska je vlada, tijekom sušnog razdoblja tražila od industrije, trgovine i kućanstava maksimalnu štednju električne energije. No, takva je štednja nastavljena i kad su se energetske prilike poboljšale. Potrošnja je pala i do 20 %, prema onoj pred dvije godine. Manja potrošnja, manji prihodi elektroprivrednih poduzeća.

Smanjenje prihoda i veliki dugovi znatno smanjuju interes za ulaganje u elektroprivredu.

M. Santos, predsjednik nacionalne savezne mreže (ONS) predviđa još jednu krizu u elektroprivredi Brazila, kad budu, oko godine 2006., ušle u pogon nove elektrane i dalekovodi. S time se doduše svi stručnjaci ne slažu, no one koji se slažu, zabrinjava činjenica, da bi u tom slučaju u elektroprivredu, do godine 2009., trebalo uložiti 45 do 50 milijardi eura, kako bi dobava električne energije bila pouzdana i sigurna. Santos predviđa opet gospodarski godišnji porast od 3 % u Brazilu i porast potrošnje električne enegije od 5,7 %, što je upitno. Dođe li do toga, država će morati opet intervenirati.

Prijašnja vlada nadala se da će elektroprivrednu ekspanziju preuzeti privatna inicijativa. Postojeća vlast misli drugačije i priprema znatne promjene u gospodarstvu. Stat će se s privatizacijom u području elektroprivrede, jer je program privatizacije promašen i nije ono što se očekivalo.

Nove su tarife težište plaćanja električne energije prebacile na kućanstva, pa su im računi narasli i do 60 %. Unatoč porastu cijena, proizvođači i ponuđači električne energije se tuže na nerentabilnost posla, što koči investiranje u elektroprivredu.

*EW,* god. 102(2003), br. 11

Mrk

## UVOZ I IZVOZ ELEKTRIČNE ENERGIJE U NJEMAČKOJ

Njemačka bilanca uvoza-izvoza električne energije za 2002. godinu završila je s viškom uvoza od 0.7 %. To je saldo koji odgovara okruglo 0,01 % njemačke proizvodnje električne energije ili 489 milijardi kWh. Najvažniji europski partner u dobavi bila je Francuska.

U priloženoj tablici navedeni su sudionici uvoza i izvoza električne energije u Njemačku.

| Zemlja | U milijardama kWh | | |
|---|---|---|---|
| | Uvoz | Izvoz | Saldo |
| Austrija | 4,3 | 8,4 | –4,1 |
| Švicarska | 3,8 | 11,9 | –8,1 |
| Francuska | 18,8 | 11,9 | 18,8 |
| Luxemburg | 0,9 | 4,8 | –3,9 |
| Nizozemska | 1,4 | 14,0 | –12,6 |
| Danska | 5,0 | 2,9 | 2,1 |
| Češka Republika | 10,6 | 0,2 | 10,4 |
| Poljska | 0,6 | 1,9 | –1,3 |
| Švedska | 0,8 | 1,4 | –0,6 |
| **Suma** | 46,2 | 45,5 | 0,7 |

Električna energija iz Francuske, velikim je dijelom, preko Njemačke, izvezena u Nizozemsku i Italiju.

*EW,* god. 102(2003), br. 9

Mrk

## ELEKTRIČNA BROJILA – ELEKTRONIČKA ILI ELEKTROMEHANIČKA

Velika je razlika u tipu električnih brojila za kućanstva u europskim zemljama. Dok se u Skandinaviji, Francuskoj i Švicarskoj u novim instalacijama ugrađuju elektronička brojila, u Njemačkoj, Velikoj Britaniji, Italiji i Španjolskoj prevladava još ugradnja elektromehaničkih uređaja. Prilikom deregulacije energetskog sektora i u Njemačkoj je došlo do potiskivanja elektriomehaničkihnih kućanskih brojila, ali do sada nije biloj većeg zamaha.

U članku izašlom u EW br. 10 od ove godine, učinjena je usporedbena analiza troškova za elektromehanička i elektronička brojila. Uspoređeni su svi utjecaji tijekom radnog života brojila. Uzeta je u obzir cijena svih prednosti i mana elektroničkog brojila, pa je dobivena prednost elektromehaničkih brojila od 7,41 eura.

U Njemačkoj su, barem za sada, u većini elektromehanička brojila.

*EW,* god. 102(2003), br. 10

Mrk

## ULOGA OPERATORA PRIJENOSNOG SUSTAVA (TSO) U EUROPSKOM ENERGETSKOM TRŽIŠTU

Operatori prijenosnog sustava TSO (The Transmission System Operators) u Europskom tržištu djelovat će u nekoliko smjerova. Kao prvo morat će osigurati visoku kvalitetu operacija u sustavu, zatim osigurati nediskriminatorski pristup svim partnerima i pobrinuti se za fer upravljanje nedovoljnim resursima i na nacionalnoj i na međudržavnoj razini.

Osim toga, moraju jamčiti nedeskrimatorske uvjete u izboru stvarnih prioriteta od općeg interesa. Na kraju operator prijenosnog sustava ima bitnu ulogu u međugraničnim tarifama.

Ovi operatori su osnovali europsko udruženje ETSO, koje igra vodeću ulogu u definiranju budućeg sustava međugraničnih tarifa, koje su ovog časa privremene.

Suprotno općem uvjerenju, stvaranje internih energetskih tržišta u Europi nije samo stvar deregulacije. Naravno, to znači kraj nacionalnim monopolima te odbacivanje regulatornih, tehničkih i protekcionističkih zakona, ali to je i pitanje bolje regulacije ovih tržišta. Zbog toga je bilo potrebno stvaranje nezavisnog regulatornog tijela u svakoj zemlji članici. Osim toga, također je potrebno uspostavljanje operatora sustava.

Da bi sustav funkcionirao, potrebno je izgraditi adekvatne mreže, jer one nisu jednako razvijene u svim zemljamam članicama. Zato je danas prioritet Europske komisije razvoj i stvaranje međuveza slično onima iz područja transporta. Za to su potrebna sredstva koja bi se trebala osigurati povećanim udjelom iz europskog budžeta. Da bi se postigla odgovarajuća razina povezanosti procjenjuje se da je količina sredstava ekvivalentna iznosu od 10 % proizvodnog kapaciteta pojedine zemlje. Jedan iz te grupe projekata je nova veza između Grčke i Italije, koja će povezati Grčku s europskim kontinentom.

Ekonomska vrijednost interkonekcije je značajna kada se uzme u obzir da je u Europi čak 8 % potrošnje energije iz prekograničnih razmjena. Čak i uz značajne mjere koje se poduzimaju da bi se stvorilo integrirano europsko energetsko tržište, električna energija još je uvijek proizvod koji se kreće uz puno više teškoća nego na primjer televizor, mikrofon ili stolica. Zbog toga potrebno je hitno razviti ove međuveze, pogotovo u pojedinim dijelovima Europske unije, gdje zbog povijesnih i zemljopisnih razloga nedostaje infrastruktura. Primjer za to je veza između Francuske i Španjolske te Francuske i Italije.

Kada se sve ovo uzme u obzir može se zaključiti da su operatori prijenosnog sustava ključni partneri ne samo za otvaranje tržišta električnom energijom već i za upravljanje mrežama, a isto tako i savjetodavci za razvoj konekcije. Stoga je nužna njihova nezavisnost i kooperacija. Zajedno s Europskom komisijom oni čine tim koji će načiniti uspješno i integrirano tržište električne energije.

*Electra,* No. 206, February 2003.

SBK

## SNIŽENJE MREŽARINA U NJEMAČKOJ

Za proteklih pet mjeseci, od listopada 2002. godine do ožujka 2003. godine, došlo je do blagog sniženja naknada za korištenje mreža u Njemačkoj. U istom razdoblju, stagnirala je naknada za korištenje mreže 110 kV, a za korištenje mreža najviših napona (220 i 400 kV), naknada je u 15 posljednjih mjeseci povećana za 15 do 20%. Iznosi se pregled prosječnih mrežarina za pojedine naponske razine, ostvarenih u Njemačkoj.

**Prosječne mrežarine u Njemačkoj (eurocenta/kWh)**

| Naponska razina priključka | listopad 2002. | ožujak 2003. |
|---|---|---|
| Niski napon | 5,55 | 5,49 |
| Srednji napon | 2,80 | 2,76 |
| Visoki napon (110 kV) | 1,23 | 1,23 |

Tu su prosječni iskazi u eurocentima/kWh, inače se mrežarina načelno sastoji iz tri komponente: fiksni dio namijenjen mjerenju i obračunu, te dio ovisan od angažirane snage (tamo gdje se ta snaga mjeri) i dio ovisan o prenesenoj/distribuiranoj energiji.

www.vdn-berlin.de

MK

## VDN – UDRUGA NJEMAČKIH OPERATORA MREŽA

Verband der Netzbetreiber (VDN) – Udruga (njemačkih) operatora mreža osnovana je 13. lipnja 2001. godine i najmlađe je "dijete" u obitelji restruktuirane njemačke elektroprivrede. Njezino osnivanje logična je konzekvenca nove uloge koju imaju operatori prijenosne i distribucijske mreže u Europi. Stanje u lipnju 2003. godine je sljedeće: ukupno 333 članice, u tome 4 operatora prijenosne mreže, 49 regionalnih operatora i 273 komunalna operatora distribucijske mreže, te 5 inozemnih operatora mreže. Zahvaćaju oko 95% njemačke mreže.

**VDN – obuhvaćena mreža u tisućama kilometara**

| Opis | Naponska razina | Duljina mreže |
|---|---|---|
| Vrlo visoki napon | 220 i 400 kV | 40 |
| Visoki napon | 110 kV | 75 |
| Srednji napon | više od 6 kV | 480 |
| Niski napon | 0,4 kV | 970 |
| Ukupno | | 1565 |

Dakle, obuhvaćena mreža u Njemačkoj čini ukupno 40-struki opseg Zemlje, mreža samo najviših napona (220 i 400 kV) mogla bi točno jednom obujmiti Zemljinu kuglu! Četiri operatora prijenosne mreže su: EnBW Transportnetze (za područje Baden-Würtenberga, jugoistočni dio Njemačke), RWE Net (za zapadno područje Njemačke), E.ON Netz (za središnje područje, od krajnjeg sjevera do Bavarske), te VEAG (za istočno područje, teritorij bivše DDR).

www.vdn-berlin.de

MK

## PRIPREMAJU SE NOVE GRAĐEVINSKE NORME

Energetska efikasnost ima najistaknutije mjesto u borbi protiv globalnog zagrijavanja. Smanjenje potrošnje energije, odnosno povećanje energetske efikasnosti postaje općenito prioriteni zadatak. Ovaj put riječ je o zgradama, gdje postoji mnogo mogućnosti za uštedu energije i povećanje energetske efikasnosti. Naime, zgrade troše oko 40 % energije za grijanje, hlađenje i rasvjetu i veliki su zagađivači kada je u pitanju emisija ugljičnog dioksida. Donošenjem zakonske regulative Europska unija planira smanjiti ovu potrošnju na 22 % od ukupne energije.

U smislu da se postigne održivi razvoj, ovdje se može govoriti o održivom građenju. Ulažu se veliki napori da se stvori novi tip zgrade koji će trošiti manje energije i tako utjecati na smanjenje globalnog zagrijavanja i njegovih štetnih nuspojava. Da bi regulirala ovu problematiku Europska unija je donijela direktivu za sektor građevinarstva «Energy Performance of Buildings Directive». Direktiva će biti prva koja će osigurati da se energetska potrošnja u postojećim zgradama učini efikasnijom.

Prema ovoj Direktivi države članice trebaju utvrditi minimalne standarde energetske efikasnosti kao i sheme certifikacije tih performansi kod novih i postojećeih zgrada većih od 100 $m^2$. Rok za izvršenje je kraj 2005. godine. Ukoliko nemaju adekvatnu infrastrukturu, produžava se rok za tri godine. Osim toga, sve zemlje članice moraju implementirati inspekcijski sustav za redovnu kontrolu bojlera i uređaja za klimatizaciju. Ova Direktiva ne odnosi se na vjerske zgrade i zgrade s povijesnom vrijednošću. Kada se ova Direktiva implementira donijet će u Europskoj uniji uštedu od 45 milijuna tona ugljičnog dioksida godišnje.

Europsko udruženje za energetsku efikasnost u građevinarstvu «The European Alliance of Companies for Energy Efficiency in Buildings (EuroACE) pozdravilo je ovu Direktivu. Provedeno istraživanje za potrebe EuroACE-a pokazalo je da je ovo samo desetina od ukupnog potencijala za štednju energije u građevinarstvu. Zapravo ovo je samo prvi korak u realizaciji golemog potencijala štednje energije. Europska komisija bi trebala u dogledno vrijeme objaviti direktivu o energetskim uslugama.

Međunarodna organizacija za održivu energiju «The International Network for Sustainable Energy» (Inforse) također je podržala inicijativu da se regulira područje energetske efikasnosti u građevinarstvu te da se implementira u nacionalnim zakonodavstvima. Inforse smatra da je potrebno raspraviti o implementaciji standarda energetske efikasnosti u građevinarstvu u pojedinim zemljama Europske unije umjesto nasilnog nametanja pravila. Činjenica je da u svim zemljama Europske unije važeća regulativa o građenju ima relativno male zahtjeve za energetsku efikasnost i za primjenu obnovljive energije. Posljedica toga je visoka potrošnja energije i veliki troškovi korisnika. Kod starih zgrada ne može se puno učiniti s obzirom na visoke troškove implementacije, dok je kod novih to moguće uz znatno niže troškove. Zato Inforse apelira na sve relevantne vladine i nevladine organizacije da promoviraju implementaciju ove Direktive i podrže pasivnu solarnu energiju kao prioritet.

Inicijative vezane za energetsku efikasnost pojavljuju se širom svijeta. Istraživački centri nastoje kreirati kuću koja održava i proizvodi energiju. Tako je američki NAHB istraživački centar zajedno s jednom građevinskom kompanijom izgradio na području Tuscona postrojenje za tzv. kuću nulte energije (The Zero Energy Home). Kuća ima malo energetsko postrojenje, ugodna je za stanovanje, ali ujedno energetski efikasna (s energetskim sustavima za korištenje solarne energije) te komercijalno isplativa.

*Refocus,* March/April 2003; www.re-focus.net ;
www.europa.eu.int/comm/energy/en/fa_2_en.html

SBK

## SVJETSKO ENERGETSKO VIJEĆE I OBNOVLJIVA ENERGIJA

Prema izjavama Svjetskog energetskog vijeća (The World Energy Council – WEC) obnovljiva enegija ostat će razmjerno mala komponenta enegetske opskrbe industrijaliziranih zemalja, odnosno obnovljiva enegija bit će "dodatak" a ne zamjena fosilnim gorivima i nuklearmoj enegiji. Obrazlažući svoje ciljeve objašnjava da obnovljiva energija ima znatan potencijal te teoretski može dati gotovo neograničenu količinu relativno čiste energije ovisno o lokaciji.

Govoreći u apsolutnom iznosu korištenje obnovljive energije jako je raslo, no relativno gledajući, taj rast (uljučujući velika hidro postrojenja, ali ne i biomasu) u svjetskoj ukupnoj energiji ostao je na 4 %. Također,većina stručnjaka očekuje da će ova brojka ostati ista unutar razdoblja kratkoročnih i srednjoročnih planova.

Prošle je godine Međunarodna energetska agencija (The International Energy Agency – IEA) objavila scenarij po kojem

bi obnovljiva energija rasla 40 % svjetske ukupne energije kao rezultat nove enegetske i ekološke politike. Centar ovog razvoja bio bi u zemljama OECD-a. No, uzimajući u obzir dugoročnu prirodu energetskih projekata, vrijednost postojeće infrastrukture, troškove i trenutačnu nezrelost tehnologija obnovljive energije, jasno je da obnovljiva energija ne može zamijeniti fosilna goriva i nuklearnu energiju u sljedećih nekoliko desetljeća, iako ona može produžiti trajanje konačnih rezervi fosilnih goriva.

U industrijaliziranim zemljama vlade vide obnovljivu energiju kao sredstvo za smanjenje i izbjegavanje emisije stakleničkih plinova. Ubrzan razvoj obnovljive energije mogao bi pomoći u transferu tehnologije u zemlje u razvoju, gdje bi energija mogla postati dostupna jednoj i pol milijardi ljudi koji danas nemaju pristup modernoj energiji.

WEC ne protežira nijednu energetsku tehnologiju, jer to dovodi do rasula na tržištu. No, prihvaća nacionalne ciljeve vezane za obnovljivu energiju, budući da oni pomažu pri ostvarenju određenih strateških ciljeva. Glavni cilj je smanjiti emisije stakleničkih plinova, što se može postići većim udjelom obnovljive energije, ali i efikasnijim korištenjem energije.

Investiranje u čistu energiju temeljenu na fosilnim gorivima može dati veću dobrobit za okoliš nego podržavanje neke trenutačno nezrele tehnologije obnovljive energije.

Ukoliko je cilj da se osigura energetska sigurnost i pristup, nužno je razmisliti o tome da se obnovljiva energija tretira od slučaja do slučaja zbog svoje nestalnosti i zbog stvarnih troškova koji ovise o lokalnim uvjetima.

Prošlih deset godina troškovi korištenja obnovljive energije su se znatno smanjili.

U prvi plan su došla vjetropostrojenja, hidro i geotermalna postrojenja koji su postali konkurentni energetskom tržištu, dok su fotovoltaičke ćelije, solarno grijanje vode i biomasa došli u drugi plan.

Neke vlade podržavaju istraživanja i razvoj tehnologija obnovljive energije, što može biti opravdano, kako bi se ubrzao njihov razvoj. WEC upozorava da štićenje obnovljive energije od konkurencije u nekim slučajevima može imati potpuno suprotni učinak. Maknuvši pritisak konkurencije može se usporiti razvoj tehnologije. Također postoji opasnost da arbitražna potpora određenoj obnovljivoj energiji može onemogućiti razvoj druge.

*Refocus,* May/April 2003; http://www.worldenergy.org

SBK

## EMISIJA STAKLENIČKIH PLINOVA – JOŠ UVIJEK IMA PUNO ZA UČINITI

Više od pola zamalja Europske unije još nije na putu da održi dogovore vezane za ograničenje emisija stakleničkih plinova. Razloga ima više koji stoje iza ove tvrdnje.

Prema zadnjim godišnjim izvješćima Europske komisije i Europske agencije za okoliš (EEA) može se zaključiti u petnaest zemalja EU neće biti do 2010. godine ostvareno planirano smanjenje emisija stakleničkih plinova od 8 % u odnosu na 1990. godinu, već samo 4,7 %. Razlog tome je što se neke zemlje ne pridržavaju dogovorene raspodjele onečišćenja.

Da bi se postigli planirani ciljevi emisija bit će potrebne dodatne, ali nužne mjere.

Osim uvođenja politike i uvođenja dodatnih mjera, zemlje također mogu iskoristiti neke mehanizme samog Protokola kao što su razmjena emisija, zajednički rad, razvoj čistih tehnologija itd. Sve to može pomoći da se dođe do zacrtanog cilja.

Druga je opcija uzimanje u obzir oslobađanje ugljika iz šuma, zemljišta i agrikulture.

Nedavno je postignut dogovor na razini ministara za okoliš Europske unije. Radi se o stvaranju tržišta za razmjenu dozvoljenih količina zagađenja ugljičnim dioksidom. Nakon što Europski parlament potvrdi ovaj dogovor, bit će određena granična vrijednost ugljičnog dioksida koju ključne industrije smiju proizvesti. To će omogućiti kompanijama da kupuju i prodaju emisijska prava unutar 15 nacionalnih blokova. Gotovo polovica emisije ugljičnog dioksida u Europskoj uniji otpada na visoko zagađujiće sektore industrije i proizvodnje energije.

Probna shema dogovora počela je funkcionirati u Velikoj Britaniji. Radi se o prvom internom ugovoru unutar jedne države u Europskoj uniji između kompanija koje trguju ugljičnim dioksidom. Velika Britanija uspjela je osigurati optimalnu emisiju time, što je omogućila industriji izuzeća sve do 2008. godine, ukoliko pokažu da domaća regulacija može rezultirati adekvatnim smanjenjem emisija. Kako bi smanjili troškove industrije ministri su ponudili brojne koncesije. No, još je važnije da su značajno smanjene kazne, ako ne dođe do postizanja cilljeva.

Izvešća Europske agencije za okoliš (EEA) također pokazuju, da pet zemalja centralne i istočne Europe, za koje se očekuje da će ući u Europsku uniju do 2004. godine, također su na putu da prihvate vlastite odgovornosti vezane za Protokol iz Kyota.

Neki klimatolozi vjeruju da je odluka Europske unije vezana uz sustav trgovanja emisijama uistinu način da se krene u konkretne akcije, kako bi se ispunile obveze iz Kyota. No, države članice trebaju poduprijeti ambiciozni plan za smanjenje količine emisije za sve sektore industrije koji koriste mnogo energije kao i one koji proizvode energiju.

Neke akcije uistinu jesu poduzete sa strane EU, ali pitanje klimatskih promjena ne može biti riješeno jednim dogovorom. Bit će potrebne još mnoge odluke donesene od drugih sudionika.

*Energy International,* January 2003; www.energyinternational.info

SBK

## SOLARNI KOLEKTORI U EUROPSKOJ UNIJI

Ukupna površina termalnih solarnih kolektora instaliranih u Europskoj uniji do kraja 2002. godine procjenjuje se na 12,844.900 kvadratnih metara. U ovaj iznos uključeni su samo kolektori koji su trenutačno u pogonu, odnosno izvršena je korekcija izbacivanjem onih instalacija koje više nisu u funkciji. Izvor ovih podataka je studija «Sun in action» koju je distribuirala Europska komisija.

Objašnjena je stagnacija u instaliranju termalnih solarnih kapaciteta kod određenih zemalja, iako su njihova tržišta kontinuirano rasla zadnjih godina.

Njemačka ima najveći instalirani termalni solarni kapacitet u Europskoj uniji s 4,7 milijuna kvadratnih metara površine, što čini 36,7 % ukunog instaliranog europskog kapaciteta.

Grčka s 2,85 milijuna kvadratnih metara i Austrija s 2,5 milijuna kvadratnih metara druge su dvije zemlje s instaliranim termalno solarnim kapacitetom većim od jedan milijun kvadratnih metara.

Francuska sa 670.000 kvadratnih metara drži srednju poziciju. Ova brojka, koja je relativno velika s obzirom na veličinu francuskog tržišta posljednjih godina, može se objasniti naporima uloženim krajem sedamdesetih i početkom osamdesetih godina kada su se dogodile dvije naftne krize.

Jedan od načina za bolje razumijevanje razvoja termalne solarne energije u Europi jest, da se kao referenca uzmu u obzir površina postrojenja instalirana za 1.000 stanovnika.

Gledajući tako mijenja se redoslijed te se Njemačka nalazi tek na trećem mjestu s 57,5 kvadratnih metara na 1.000 stanovnika daleko iza Austrije i Grčke.

Austrija ima 313,2 kvadratna metra na 1.000 stanovnika, a Grčga 271,4 kvadratna metra na 1.000 stanovnika.

Po ovoj klasifikaciji Francuska je na osmom mjestu s 11,3 kvadratna metra na 1.000 stanovnika.

Mogući tehnički potencijal koji je ekonomski isplativ još nije postignut. Ovaj potencijal je 2,7 $m^2$ po stanovniku za zemlje na jugu Europe, 3,9 $m^2$ po stanovnikuza zemlje u središnjoj Europi te 6,2 $m^2$ po stanovniku za zemlje sjeverne Europe. Činjenica je da zemlje na jugu koriste više termalno solarne energije nego zemlje na sjeveru iako imaju manje instaliranih kapaciteta. Za usporedbu , Grčka koristi više termalno solarne energije od Njemačke, iako joj je instalirani kapacitet za 40 % manji.

Procjenjuje se da termalno solarni kapacitet u Europskoj uniji iznosi 1,4 milijarde kvadratnih metara površine, što je ekvivalent 58,7 milijuna tona nafte (30 % uvoza Europske unije s Bliskog istoka).

*Solar Thermal Barometer,* June 2003.

SBK

## NJEMAČKI PARLAMENT PODRŽAVA STVARANJE MEĐUNARODNE AGENCIJE ZA OBNOVLJIVE IZVORE ENERGIJE

Njemačka podržava stvaranje Međunarodne agencije za obnovljive izvore energije IRENA ( The International Renewable Energy Agency) kao međudržavne vladine organizacije s ciljem promicanja obnovljivih izvora energije na globalnoj razini.

Njemački Bundestag donio je rezoluciju kojom se obraća federalnoj vladi kako bi se finalizirao koncept IRENA-e te načinio plan aktivnosti. Vladi je upućen zahtjev da se imenuje komisija od međunarodnih članova kako bi se alocirali fondovi za nacionalni budžet za 2004. godinu.

U svojoj rezoluciji Bundestag konstatira da tendencije i rezultati Svjetskog samita Ujedinjenih naroda o održivom razvoju u Johanesbourgu pokazuju povećani interes za obnovljive izvore energije. Ove energije igraju ključnu ulogu u zaštiti globalne klime i okoliša, u očuvanju resursa, u borbi protiv siromaštva zemalja u razvoju te u osiguranju dugoročnosti zaliha.

Također smatra, da IRENA treba biti odlučan korak za promociju transfera tehnologije obnovljivih izvora energija širom svijeta. Međunarodna promocija traži punu angažiranost posebne vladine organizacije. Promocija obnovljivih izvora energije nije više samo pitanje opskrbe komercijalnom energijom, već se u mnogim slučajevima radi o autonomnom korištenju energije te o uvodu u adekvatne tehnologije.

Europska asocijacija za obnovljivu energiju – EUROSOLAR (the European Association for Renewable Energy) podržala je ovu rezoluciju i smatra je «prvim službenim političkim korakom» u stvaranju nove međunarodne vladine organizacije. Prema izvješću EUROSOLAR-a, industrijske zemlje s uvriježenim sustavom konvencionalne opskrbe energijom trebaju provesti strukturalne promjene kako bi se konvencionalni izvori zamijenili obnovljivim. U međuvremenu treba uložiti značajne napore kako bi se smanjila pretjerana potrošnja energije. Zemlje u razvoju također trebaju krenuti putem novih tehnologija za obnovljive energije umjesto da prolaze dugi put nuklearne energije i fosilnih energetskih sustava. Upravo zato što većina pučanstva živi u zemljama u razvoju, masovno korištenje obnovljive energije ne samo da je u interesu ovih zemalja, već je u interesu čovječanstva u cjelini.

Također se u izvješću navodi da bi jedan od zadataka IRENA-e bio da vlade zemalja savjetuju i stvore nacionalne programe za obnovljive izvore energije te da podrže edukaciju i trening u adekvatnim tehnologijama. IRENA bi mogla podržati nekomercijalne transfere tehnologije i promovirati konzistentno profiliranje obnovljivih izvora širom svijeta. Takav model bi se temeljio na modelu Međunarodne agencije za atomsku energiju. Naime, ono što se mislilo da je nužno za atomsku energiju prije nekoliko desetljeća, sada je imperativ za obnovljivu energiju u novoj specijaliziranoj agenciji. Kako se smanjuje interes svijeta za atomsku energiju, tako se povećava interes za korištenje obnovljive energije.

Bundestag je također usvojio rezoluciju kojom se daje podrška međunarodnoj konferenciji za obnovljivu energiju, koja bi se trebala održati polovicom 2004. godine. Konferencija će uspostaviti političku komunikaciju na razini koja je potrebna za povećanu promociju obnovljive energije.

http://www.sparksdata.co.uk/refocus, 2003-04-24

SBK

## POTICAJ ZA UGRADNJU SOLARNIH KOLEKTORA

Njemačko savezno ministarstvo za okoliš povećalo je doprinos za ugradnju solarnih kolektora. Sada se po $m^2$ kolektora dobiva 125 eura, a to npr. znači da za kolektorski uređaj od 9 $m^2$ država daje potporu od 1250 eura. Do sada je ta državna pomoć iznosila 92 eura po $m^2$ kolektora. Ovo su povećanje naročito pozdravile tvrtke koje se bave izradom i instalacijom kolektora, jer će se povećati interes javnosti za takve solarne naprave.

*EW,* god. 102(2003), broj 5

Mrk

## OBNOVLJIVA ENERGIJA U NJEMAČKOJ

U Njemačkoj se forsira korištenje obnovljive energije, naročito nakon saveznog zakona iz godine 2000., kojim se daje mnogo olakšica za uporabu obnovljive energije. Danas najveći udio u toj vrsti energije imaju vodne snage, čiji udio iznosi 60 %, ali to će se bitno promijeniti do godine 2010. Tada će dominantnu ulogu imati energija vjetra.

Koliki je udio pojedinog energenta u obnovljivoj energiji danas, a koliki se smatra da će biti godine 2010., vidi se iz priložene tablice.

| Godina | 2001. | 2010. |
|---|---|---|
| Vodna energija | 60% | 26% |
| Energija vjetra | 35% | 50% |
| Energija biomase | 5% | 22% |
| Ostalo | 0,20% | 2% |

Dok je godine 1990. u Njemačkoj na obnovljivu energiju otpao udio od 3,5 % ukupne njemačke bruto proizvodnje električne energije, on se povećao u godini. 2001. na 5,3 %.

*EW,* god. 102(2003), broj 6

Mrk

## GORIVA ĆELIJA ZA INDUSTRIJU

U tvornici Michel, u njemačkom gradu Karlsruhe, u pogon je stavljeno, prvo takvo u svijetu, industrijsko postrojenje visokotemperaturne gorive ćelije. Postrojenje radi prvenstveno na zemni plin, ali može upotrebljavati i druge gorive plinove. Radna temperatura iznosi 650 °C, a ispušni plinovi imaju temperaturu od 400 °C, pogodnu za stvaranje procesne pare.

Ovaj tip postrojenja od MTU – Hot Module dat će električnu energiju snage 250 kW i procesnu paru od 180 kW.

Korisnost postrojenja vrlo je visoka. Za električni dio ona je 47 %, a računajući i toplinu, korisnost čitavog postrojenja prelazi 90 %.

Rad postrojenja pratit će konzorcij poduzeća i ustavova, kako bi nakon stečenih iskustava serijska fabrikacija počela 2006. godine.

Ukupne su investicije iznosile 3,6 milijuna eura, od čega je državna pripomoć 50 %.

*EW,* god. 102(2003), broj 6

Mrk

## MODERNIZACIJA HIDROELEKTRANE U ALBANIJI

Sklopljen je ugovor albanske elektroprivrede Korporata Elektroenergetike in Shqiptare i tvrtke Siemens za modernizaciju hidroelektrane Bistrica 1. Ugovor obuhvaća modernizaciju hidromehaničke opreme i tri turbine s generatorima po 8 MW. Radove treba završiti u 26 mjeseci, u vrijednosti od 18 milijuna eura.

Ugovor, osim toga, obuhvaća 110 kV vod od gradova Sarande i Gjorokastro, razvodnu mrežu u Sarande.

Modernizacijom osigurana je opskrba električnom energijom 300.000 stanovnika u okolini Sarande.

*EW,* god. 102(2003), broj 6

Mrk

## SNIŽENJE EMISIJE STAKLENIČKIH PLINOVA

Njemačka je postigla da emisija stakleničkih plinova postigne smanjenje u 2002. godini, prema 1990. za 19,4 % i prema tome se približila obvezi iz Kyota, da će do godine 2010. sniziti emisiju za 21 % prema godini 1990.

*EW,* god. 102(2003), broj 7

Mrk

## VJETRO I HIDROELEKTRANE I UTJECAJ METEOROLOŠKIH PRILIKA

Prema podacima danim od VDEW, u godini 2001. iznosila je proizvodnja obnovljive energije u Njamačkoj 37,3 TWh, a instalirana snaga postrojenja na preko 13.600 MW. Koliko je energije ušlo u električnu mrežu, godine 2001. iz pojedinih obnovljivih izvora dano je u priloženoj tablici.

| Energent | Broj postrojenja | Snaga MW | El. en. proizvedena god. 2001. GWh |
|---|---|---|---|
| Voda | 5.020 | 4.547 | 23.500 |
| Biomasa | 1.388 | 543 | 1.950 |
| Vjetar | 10.605 | 7.891 | 9.878 |
| Fotonapon. | 29.755 | 125 | 68 |
| Ukupno | 47.368 | 13.106 | 35.393 |
| Smeće | 37 | 522 | 1.859 |

Treba primijetiti da unatoč povećanju instalirane snage vjetroelektrana za 34 %, zbog nepovoljne vjetrovitosti godine, proizvodnja takvih elektrana porasla je tek oko 4 %, uspoređujući s prethodnom godinom. Električna energija iz biomase i fotonaponskih elektrana povećana je za 39 %, odnosno 114 %, ali u ukupnoj proizvodnji električne energije, njihov je udjel vrlo mali.

Broj postrojenja i instalirana snaga električne obnovljive energije porasli su u godini 2001. za 19 %.

Prati li se razvoj iskorištenja obnovljivih energetskih izvora, od 1988. do 2001. godine vidi se naročito brzi porast posljednjih godina. Naročito je porastao broj vjetroelektrana i fotonaponskih elektrana, gdje se prosječni godišnji porast instalirane snage, kretao oko 20 % odnosno 55 %.

Kod proizvodnje električne energije u hidro i vjetroelektranama, prema njihovoj prosječnoj godišnjoj proizvodnji (100 %), po godinama, jako je varirala, što se vidi iz priloženih podataka u tablici.

| Godina | HE % | VE % | Godina | HE % | VE % |
|---|---|---|---|---|---|
| 1990. | 92 | 108 | 1996. | 97 | 84 |
| 1991. | 83 | 93 | 1997. | 94 | 91 |
| 1992. | 99 | 103 | 1998. | 96 | 108 |
| 1993. | 100 | 100 | 1999. | 111 | 91 |
| 1994. | 105 | 111 | 2000. | 123 | 97 |
| 1995. | 110 | 100 | 2001. | 121 | 80 |

Udio obnovljive energije u potrošnji električne energije cijele Njemačke, iznosio je godine 2001. 6,4 %, ali se predviđa da će do godine 2010. taj udio iznositi 12,5 %.

*EW,* god. 102(2003), broj 7

Mrk

## SOLARNE ĆELIJE VELIKE KORISNOSTI

Njemačka tvrtka BP-Solar razvila je solarnu ćeliju, koja je u laboratoriju postigla korisnost od 18,3 %, što je svjetski rekord. Dosadašnje solarne ćelije ove tvrtke postigle su korisnost od 16,5 %.

Kod BP-Solar razvijena je tehnika, nazvana «Saturn-Technik». Električni vodič neće biti nanesen na površinu stakla, već laserskom tehnikom unesen u staklo.

Time je pokrivena manja površina i korisnost je bitno veća nego kod konvencionalne produkcijske tehnike.

Tvrtka će ovakve ćelije proizvoditi što je prije moguće i dati na tržište.

*EW,* god. 102(2003), br. 10

Mrk

## NAJVEĆA GLAVINA ZA VJETROELEKTRANU

U Ausburgu, u tvornici MAN-BandW-Diesel izlivena je, najveća u svijetu, glavina za vjetroelektranu. Glavina je naručena od tvrtke «Wind-Energy», teška je 56 tona, promjera 4 metra. Ona će na visini od 100 metara nositi tri krila. Vjetroelektrana, kao prototip, snage 5MW, gradit će se prema tehnologiji «Multibrid» i postaviti u Bremerhavenu.

Tvornica MAN redovito lijeva glavine rotora vjetroelektrana, ali manih dimenzija, oko 13 tona i promjera 3 metra.

*EW,* god. 102(2003), br. 9

Mrk

## VOZILA S GORIVIM ĆELIJAMA

Američka tvrtka Genral Motors (GM) i njemačka Opel razvili su vozilo s gorivim ćelijama na pogon vodikom, zrela za serijsku proizvodnju. Takvo je vozilo, zbog stjecanja iskustva, GM stavio u promet u Japanu. Uz japanske cestovne propise, vozilo je bez punjenja prevalilo 400 km.

U SAD su GM i Shell, uz benzinsku crpku, u blizini Washingtona, izgradili stanicu s vodikom, gdje bi se vozila s gorivim ćelijama punila.

GM planira, da do kraja desetljeća, izradi serijska vozila s gorivim ćelijama i da kao prvi postigne prodaju 1 milijuna vozila na pogon vodikom.

*EW,* god. 102(2003), br. 9

Mrk

## GOSPODARSTVO ISLANDA NA BAZI VODIKA

Ovog proljeća (2003. godina) tvrtka Shell je na Islandu, u Reykjaviku, stavila u redovitu funkciju cestovnu stanicu za napajanje vodikom kao gorivom. To je prvi korak gospodarstva na bazi vodika. Uređaj stanice isporučila je tvrtka Norsk-Hydro. Za sada će ova vodikova stanica služiti za punjenje tri autobusa Daimler-Chrysler, koji imaju pogon gorivim ćelijama na bazi vodika. U budućnosti će se i privatna vozila služiti vodikom iz ove stanice.

Tvrtka Shell-Hydrogen ima udjela u tvrtki Icelandic New Energy Ltd., osnovane 1999. godine, da provodi gospodarstvo vodikom. Komercijalni pogon pojne cestovne vodikove stanice bit će takoder doprinos ispitnom projektu EU.

Tijekom godine 2003. Shell-Hydrogen namjerava instalirati takve vodikove stanice u SAD (Wshington) i Tokiju gdje ima vozila, različitih proizvođača, koji kao pogonsko sredstvo trebaju vodik. Tvrtka ima udjela u demonstracijama na bazi vodika u Kaliforniji, Nizozemskoj i Luxemburgu.

Tvrtka Shell-Hydrogen također je partner u razvoju tehnologije gorivih ćelija za stacionarne pogobe.

*EW,* god. 102(2003), br. 11

Mrk

## PARK VJETROELEKTRANA HOINS REV

Kao uspješna referencija za opremanje i proizvodnju pojedinih postrojenja u park vjetroelektrana Horns Rev. Park je smješten u moru, 14 km od obale Esbjerg u Danskoj. On se proteže na površini od 2 $km^2$. U 10 redova izgrađeno je po osam vjetroelektrana s razmakom od 562 m. Za njihovo povezivanje utrošeno je okruglo 63 km podvodnog kabela 33 kV. Kabel ima dijelom presjek bakrenog vodiča 3x55 $mm^2$, a dijelom 3x400 $mm^2$. Do elektrana se može doći samo morskim putem, što je uz nepovoljne vremenske prilike otežalo montažu. Na sjeveroistočnom kraju parka izgrađena je, na pomorskoj platformi, transformatorska stanica. Energiju vjetroelektrana se transformira na napon od 150 kV i 21 km dugim podmorskim kabelom vodi u javnu električnu mrežu.

Predviđena je godišnja proizvodnja energije oko 60 milijuna kWh.

Način povezivanja pojedinih vjetroelektrana u ovom parku predstavlja pionirsko rješenje, koje će tvrtki Nexani ubuduće služiti kao značajna referencija.

*EW,* god. 102(2003), br. 11

Mrk

## VAŽNOST OBNOVLJIVIH ENERGETSKIH IZVORA U NJEMAČKOJ

Njemačka elektroprivreda poklanja veliku važnost obnovljivim izvorima energije, pa je u Berlinu, u veljači, organizirala Konferenciju o obnovljivim izvorima u uporabi za proizvodnju električne energije.

Na konferenciji je vođena diskusija o njemačkom zakonu o obnovljivoj energiji (EEG), njegovoj novelaciji i dopuni. Posebno su diskutirane mogućnosti uporabe različitih obnovljivih energenata. Tom je prigodom državni tajnik u Saveznom ministarstvu za gospodarstvo i rad naglasio, da u slobodnoj trgovini električnom energijom, obnovljiva energija treba imati veću ulogu. Ministarstvo će novelacijom postojećeg zakona EEG i nadalje poticati uporabu obnovljivih energetskih izvora. Povećan je u godini 2003. doprinos Ministarstva na 2,7 milijardi eura, a to je za 500 milijuna više nego prethodne godine.

Predstavnik njemačke elektroprivrede u svom je govoru istaknuo da proizvodnja električne energije na temelju fotonapona, gledajući gospodarski, nema neku važnost, niti sada, niti u budućnosti. Značajan je napredak učinjen u uporabi biomse, ali se to mora uzeti kritički, jer postoji poteškoća u dobavi drva.

Energija vjetra jest (u Njemačkoj) glavna vrsta regenerativne energije, a to će ostati i u budućnosti. Diskutirano je o električnoj mreži, potrebnoj za priključenje parka vjetroelektrana i veze s javnom električnom mrežom.

Premda je predstavnik elektroprivrede istaknuo da fotonaponske elektrane nemaju, s gospodarskog gledišta, neku budućnost, predstavnik «Deutsche Solar AG» istaknuo je da se očekuje znatno pojeftinjenje solarnih modula, do 2010. godine. Od današnjih 2,86 eura po vatu na 2,16 eura po vatu, a dignut će se i stupanj djelovanja od današnjih 14,2 % na 16,6 %. Cijelo ovo pojeftinjenje može bitno utjecati na ulogu fotonaponske tehnike.

U svezi s vodenim snagama istaknuta je visoka cijena njihovog iskorištenja, premda je vrijeme amortizacije vrlo dugo. Općenito, na iskorištenje vodnih snaga gleda se pesimistički.

Na koncu može se reći, da tehnički razvojni potencijal, na području obnovljive energije, nije još potpuno iskorišten. Obnovljiva energija, u prvom redu vjetar, stavljaju elektroprivredi nove izazove, koje treba tako riješiti kako bi u budućnosti dobava električne energije bila sigurna i pouzdana.

*EW,* god. 102(2003), br. 11

Mrk

## NAJVEĆI NA SVIJETU FOTONAPONSKI PARK

Najveći na svijetu, solarni park, stavljen je u pogon u Hamau, kraj Regensburga. Postrojenje ima 32.000 solarnih modula, s ukupnom vršnom snagom od oko 4 MW. Instaliran je na prostoru bivšeg skladišta streljiva.

Prigodom stavljanja u pogon, naglašeno je da će 20-godišnjim radom ovog parka, atmosfera biti pošteđena emisije od 71.000 tona $CO_2$, što bi trebala primiti atmosfera ukoliko bi se ova energija proizvodila u nekoj termoelektrani.

Cijeli je projekt stajao 18,4 milijuna eura, i to je dala elektroprivreda i privatni investitori.

*EW,* god. 102(2003), br. 11

Mrk

## HIBRIDNI SUSTAV S GORIVIM ĆELIJAMA

Tvrtka Idatech, iz SAD, isporučila je elektroprivredi Francuske (EdF) svoj sustav na bazi gorive ćelije FCS-1200. Ovaj će sustav EdF integrirati sa sustavom fotonaponskih ćelija i takav hibridni sustav testirati tijekom godine 2003. On je namijenjen za opskrbu električnom energijom izoliranih područja i udaljenih kuća.

Sustav FCS-1200 ima gorivu ćeliju 1,2 kW – PEM, s modulom za pripremu goriva FPM-20, modul snage, tank za gorivo, uređaj za upravljanje i invertor. Ovakav sustav integriran s fotonaponskim sustavom i baterijom (hibridni sustav) može sigurno napajati električnom energijom izolirana područja.

*EW,* god. 102(2003), br. 11

Mrk

## ISKORIŠTENJE TOPLINE IZ UNUTRAŠNJOSTI ZEMLJE

Njemačko savezno ministarstvo za okoliš pomaže iskorištavanje toplinske energije iz unutrašnjosti zemlje. Sa svotom od 4,8 milijuna eura financira izgradnju i pogon planirane termoelektrane - toplane, u mjestu Unterhaching, koja bi koristila toplinu iz unutrašnjosti Zemlje. Cilj je da se iskuša nova tehnologija kojom se može iskoristiti toplina i nižih temperatura.

Planirano postrojenje imalo bi električnu snagu oko 3,1 MW i toplinsku oko 16 MW. Takvom vrstom obnovljive energije znatno će se smanjiti emisija štetnih plinova u atmosferu.

I električna i toplinska energija, dobivena iz ovog postrojenja, uključit će se u električnu i toplinsku mrežu općine Unterchaching.

*EW,* god. 102(2003), br. 12

Mrk

## KUĆANSKE GORIVE ĆELIJE

Prema istraživanjima stručnjaka u njemačkim, austrijskim i švicarskim elektroprivredama i elektroindustrijskim poduzećima veliko se značenje daje gorivim ćelijama u opskrbi kućanstava električnom energijom i toplinom.

Istraživanja su pokazala da postoji veliki interes za takvu tehnologiju, pa su učinjena mnoga partnerstva za njeno usavršavanje i primjenu. Predviđa se da bi u slijedećih 15 godina u Njemačkoj bilo instalirano 800.000 kućanskih postrojenja na bazi gorivih ćelija. Osobito se brz razvoj očekuje između 2007. godine i godine 2010.

Razvoj takvih kućanskih postrojenja ne zanima samo elektroprivredu i dobavljače energije, već i dobavljače i proizvođače opreme.

Njemački VDEW zato organizira, u lipnju ove 2003. godine, posebni kongres o gorivim ćelijama i njihovoj uporabi.

*EW,* god. 102/(2003), br. 12

Mrk

## EURELECTRIC – STATISTIKA 2002

Udruga elektroprivreda EURELECTRIC je udruga prvenstveno europskih ali i neeuropskih nacionalnih elektroprivreda i organizacija koje su u svezi s elektroprivredom. Nastala je spajanjem tadašnjeg EURELECTRIC-a i UNIPEDE-a (Udruge proizvođača i distributera električne energije, osnovane prije sedamdesetak godina), u prosincu 1999.godine. Okuplja ponajprije 30 punih članica, to su samo europske zemlje – 15 članica Europske unije, 10 kandidata za članstvo (Cipar, Češka, Estonija, Latvija, Litvanija, Mađarska, Malta, Poljska, Slovačka, Slovenija) i 5 ostalih zemalja (Island, Norveška, Rumunjska, Švicarska, Turska), te – bez prava glasa – pridružene članice: 10 europskih zemalja (tu pripada i Hrvatska), 7 mediteransko-afroazijskih zemalja, 4 prekomorske zemlje (Kanada, Japan, Meksiko, Južna Afrika), te 19 velikih kompanija koje proizvode za elektroprivredu i burza električne energije (kao ABB, Siemens, Leipzig Power Exchange).

EURELECTRIC objavljuje usklađene podatke o svim punim članicama, izuzev Islanda, a s dodatkom Bugarske, te se u tablici iznose podaci za 2002. godinu. Radi potpunosti, dodani su podaci za Hrvatsku, uzeti iz Izvještaja o poslovanju HEP-Prijenos za 2002. godinu.

## EURELECTRIC'2002

| Država | Maksimalna neto snaga elektrana (MW) | | | | | Neto proizvodnja elektrana (TWh) | | | | | Uvoz (TWh) | Izvoz (TWh) | Potroš. (TWh) | HE/ Uk.pro. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | HE | NE | TE | Ost.obn. | Ukupno | HE | NE | TE | Ost.obn. | Ukupno | | | | |
| Austrija | 11698 | 0 | 5959 | 141 | 17798 | 39,4 | 0,0 | 19,2 | 2,0 | 60,6 | 15,4 | 14,7 | 58,9 | 0,65 |
| Belgija | 1403 | 5738 | 8226 | 260 | 15627 | 1,4 | 45,0 | 30,4 | 1,2 | 78,0 | 16,6 | 9,1 | 84,0 | 0,02 |
| Bugarska | 1800 | 3500 | 4934 | 0 | 10234 | 2,7 | 18,8 | 16,9 | 0,0 | 38,4 | 2,0 | 8,3 | 31,3 | 0,07 |
| Cipar | 0 | 0 | 988 | 0 | 988 | 0,0 | 0,0 | 3,6 | 0,0 | 3,6 | 0,0 | 0,0 | 3,6 | 0,00 |
| Češka | 2139 | 2561 | 10421 | 12 | 15133 | 2,8 | 17,6 | 50,0 | 0,0 | 70,4 | 9,5 | 20,9 | 58,5 | 0,04 |
| Danska | 11 | 0 | 9733 | 2888 | 12632 | 0,0 | 0,0 | 32,3 | 4,9 | 37,2 | 9,0 | 11,1 | 35,2 | 0,00 |
| Estonija | 3 | 0 | 2412 | 12 | 2427 | 0,0 | 0,0 | 7,6 | 0,0 | 7,6 | 0,2 | 1,6 | 6,2 | 0,00 |
| Finska | 2927 | 2644 | 9274 | 1827 | 16672 | 10,6 | 21,4 | 30,1 | 9,8 | 71,9 | 13,5 | 1,5 | 83,9 | 0,15 |
| Francuska | 24960 | 63273 | 26747 | 878 | 115858 | 64,5 | 416,5 | 51,3 | 3,7 | 536,0 | 3,8 | 80,6 | 451,7 | 0,12 |
| Grčka (2001) | 3077 | 0 | 7679 | 234 | 10990 | 2,7 | 0,0 | 45,4 | 0,8 | 48,9 | 4,6 | 1,7 | 50,9 | 0,06 |
| *(Hrvatska)* | *2063* | *0* | *1632* | *0* | *3695* | *5.4* | *0,0* | *5,9* | *0,0* | *11,3* | *4,0* | *0,4* | *14,8* | *0,48* |
| Irska | 530 | 0 | 4710 | 160 | 5400 | 1,1 | 0,0 | 22,4 | 0,5 | 24,0 | 0,6 | 0,1 | 24,0 | 0,05 |
| Italija | 20439 | 0 | 54025 | 2486 | 76950 | 47,5 | 0,0 | 214,4 | 8,4 | 270,3 | 51,5 | 0,9 | 310,4 | 0,18 |
| Latvija | 1557 | 0 | 589 | 27 | 2173 | 2,4 | 0,0 | 1,3 | 0,0 | 3,7 | 5,5 | 3,1 | 6,1 | 0,65 |
| Litvanija | 915 | 2367 | 2480 | 0 | 5762 | 0,8 | 12,9 | 2,4 | 0,0 | 16,1 | 0,3 | 6,8 | 9,0 | 0,05 |
| Luksemburg | 1129 | 0 | 0 | ... | 1129 | 0,9 | 0,0 | 2,7 | 0,1 | 3,7 | 6,5 | 2,9 | 6,1 | 0,24 |
| Mađarska | 48 | 1768 | 5656 | 20 | 7492 | 0,2 | 13,1 | 19,5 | 0,2 | 33,0 | 7,6 | 3,4 | 37,2 | 0,01 |
| Malta | 0 | 0 | 577 | 0 | 577 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | 0,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | 0,00 |
| Nizozemska | 37 | 449 | 19225 | 1100 | 20811 | 0,1 | 3,7 | 86,6 | 3,2 | 93,6 | 20,9 | 4,5 | 110,0 | 0,00 |
| Norveška | 27294 | 0 | 281 | 118 | 27693 | 128,0 | 0,0 | 0,7 | 0,2 | 128,9 | 5,3 | 15,0 | 118,5 | 0,99 |
| Njemačka | 9510 | 21088 | 79702 | 13900 | 124200 | 25,7 | 156,2 | 343,6 | 19,3 | 544,8 | 46,2 | 45,5 | 539,6 | 0,05 |
| Poljska | 2165 | 0 | 28539 | 54 | 30758 | 3,7 | 0,0 | 127,1 | 0,1 | 130,9 | 4,5 | 11,5 | 121,5 | 0,03 |
| Portugal | 4521 | 0 | 6360 | 302 | 11183 | 8,1 | 0,0 | 35,1 | 1,0 | 44,2 | 2,8 | 0,9 | 45,4 | 0,18 |
| Rumunjska | 5937 | 655 | 10688 | 0 | 17280 | 15,7 | 5,1 | 29,6 | 0,0 | 50,4 | 0,4 | 3,3 | 47,5 | 0,31 |
| Slovačka | 2446 | 2460 | 2840 | 11 | 7757 | 5,3 | 16,6 | 8,7 | 0,0 | 30,6 | 0,4 | 4,5 | 25,7 | 0,17 |
| Slovenija | 839 | 670 | 1220 | 0 | 2729 | 3,0 | 5,3 | 4,7 | 0,0 | 13,0 | 1,4 | 2,7 | 11,7 | 0,23 |
| Španjolska | 17941 | 7556 | 28988 | 5565 | 60050 | 26,6 | 60,5 | 134,7 | 11,9 | 233,7 | 12,3 | 7,0 | 232,1 | 0,11 |
| Švedska | 16097 | 9424 | 4852 | 1850 | 32223 | 66,0 | 65,6 | 11,2 | 0,6 | 143,4 | 20,1 | 14,8 | 148,7 | 0,46 |
| Švicarska | 13295 | 3230 | 75 | 775 | 17375 | 36,5 | 25,7 | 0,2 | 2,6 | 65,0 | 47,1 | 51,6 | 58,1 | 0,56 |
| Turska | 12241 | 0 | 19541 | 64 | 31846 | 33,4 | 0,0 | 90,0 | 0,3 | 123,7 | 3,6 | 0,4 | 126,9 | 0,27 |
| Ujed. Kraljevstvo | 4300 | 12250 | 61750 | 1425 | 79725 | 7,5 | 81,0 | 275,0 | 6,0 | 369,5 | 9,0 | 0,6 | 374,5 | 0,02 |
| **Ukupno** | **191322** | **139633** | **420103** | **34109** | **785167** | **542,0** | **965,0** | **1704,6** | **76,8** | **3288,4** | **324,6** | **329,4** | **3234,0** | **0,16** |

Najprije, neke uvodne opaske, za pravilno korištenje tablice. Energija za pumpanje (ukloliko pojedina država raspolaže pumpno-akumulacijskim elektranama) dobiva se prema relaciji: Pumpanje = Ukupna neto proizvodnja + Uvoz – Potrošnja – Izvoz. U ukupnoj neto proizvodnji nije obuhvaćena vlastita potrošnja elektrana. U potrošnji obuhvaćeni su gubici u mreži (prijenosnoj i distribucijskoj).

Njemačka je država s najvećom snagom elektrana i najvećom godišnjom proizvodnjom električne energije. Neposredno slijedi Francuska. Najveći izvoznik je Francuska, a najveći neto-uvoznik je Italija. Njemačka i Švicarska (donekle i Austrija) imaju veliki promet električne energije preko svojega područja, uz neznatan saldo uvoz-izvoz. Najveći udjel hidroelektrične proizvodnje ima Norveška (99%), slijede Austrija i Latvija (65%) te Švicarska (56%). Najveću snagu nuklearnih elektrana ima Francuska, a ukupna francuska snaga HE blizu je ukupne snage norveških HE, jedino je proizvodnja u francuskim HE polovina proizvodnje u norveškim HE, stoga što je vrijeme godišnjeg korištenja francuskih HE znatno manje od norveških. Ukupna snaga elektrana u tih 30 država je oko 785 gigavata, a u njima je 2002. godine proizvedeno oko 3300 teravatsati električne energije.

www.eurelectric.org/Statistics

MK

## BUGARSKA POPUŠTA PRITISKU EU DA ZATVORI NUKLEARKE

Kozloduy nije novi Černobil, ali ima velike probleme s odlaganjem nuklearnog otpada. Ti problemi su požurili bugarskog nuklearnog regulatora da povuče dozvolu za daljnje skladištenje.

To je velika nuklearna elektrana, koja zauzima prostor veći od milje na ravnim livadama i graniči s rijekom Dunav i Rumunjskom. Kozloduy je jedino bugarsko nuklearno postro-

jenje. Sa šest reaktora, instalirane snage 3.760 MW, opskrbljuje električnom energijom više od polovice zemlje. Također omogućuje izvoz električne energije u balkanske zemlje i Tursku.

Ova nuklearna elektrana izgrađena je za vrijeme sovjetske ere. Brusseles tvrdi da Kozloduy ima jedan od dva najstarija reaktora koji je u pogonu još od sredine sedamdesetih godina te da ne može sigurno funkcionirati uz prihvatljive troškove. Radi se upravo o reaktorima koje je američka agencija DOE proglasila jednim od najopasnijih na svijetu. Jedan od glavnih problema nuklearne elektrane Kozloduy je da prije 25 godina izgrađene prve 4 jedinice nemaju sekundarni zaštitni kontejment.

Da bi se održali planovi Europske unije za priključivanjem Bugarske, Bugarska se složila da zatvori svoja prva dva reaktora u nuklearnoj elektrani Kozloduy. Političari tvrde da je to nužna žrtva, dok dio bugarskog stanovništva smatra da je to nacionalna izdaja. Jedinice 1 i 2 zatvorene su. Ulazak u Europsku uniju uvjetovan je zatvaranjem jedinica 3 i 4. Kako su svi aduti u rukama Brusselesa, Bugarska je došla za pregovarački stol spremna zatvoriti jedinice 3 i 4 do kraja 2006. godine. Zbog toga će izgubljena električna energija biti kompenzirana. Pomoć prije pripajanja od 1.5 milijarde američkih dolara koju ćemo dobiti u sljedeće 4 godine puno je veća od profita kojeg bi stvorili reaktori u Kozloduyu, ustvrdio je ministar vanjskih poslova Bugarske. Modernije jedinice 5 i 6 u nuklearki Kozloduy ostat će i dalje u pogonu. Slijedom ovih događaja Europska unija odredila je datum prijama za 2007. godinu.

*Power,* March 2003, Vol. 147, No 2

SBK

## NAPOKON ZATVARANJE ZADNJEG NUKLEARNOG REAKTORA KOMPANIJE TOKYO ELECTRIC POWER (TEPCO)

Ne samo politički, već prvenstveno tehničko-tehnološki razlozi uvjetuju zatvaranje nuklearnih elektrana širom svijeta.

Japanski energetski gigant Tokyo Electric Power (TEPCO), objavio je zatvaranje svog zadnjeg nuklearnog reaktora. Time se dovode u pitanje dugoročni planovi japanske vlade o opskrbi električnom energijom te nije isključeno da bi uskoro moglo doći do nestašice elekrične energije. Pogotovo, što su neke nuklearne elektrane izvan pogona zbog sigurnosnih razloga. Naime, na zadnjem od 17 reaktora koji su se preispitivali zbog krivotvorenih sigurnosnih izvješća, šestom reaktoru u nuklearnoj elektrani Fukushima Daiichi, obavlja se kontrola. Nije sigurno hoće li biti ponovo stavljen u pogon.

TEPCO je najveće privatno postrojenje na svijetu. Opskrbljuje energijom oko 40 milijuna ljudi, odnosno predstavlja oko 40 % japanske proizvodnje električne energije. Upravo zato bilo kakav prekid opskrbe električnom energijom može dovesti do nestašice električne energije.

Sigurnosni skandal nije samo ozbiljno naštetio reputaciji tvrtke, već je i prisilio TEPCO da reže planirani profit. Dionice su također izgubile na cijeni. Osim što je TEPCO prisiljen kupovati energiju od alternativnih proizvođača, manjak električne energije dovesti će do nužnog uključenja termoelektrana. Ove će mjere utjecati na smanjenje udjela nuklearne energije u dugoročnom planu japanske vlade, koja je predviđala njezin udjel od oko 42 % u ukupnoj električnoj energiji do 2010. godine.

Dugoročno gledano, ova kratkoročna kriza pogodit će najviše dioničare TEPCO-a i potrošače. Japanska vlada morat će uložiti mnogo truda da se izbjegne ekonomska kriza slična onoj u Kaliforniji 2000.-2001. godine.

http://www.commentwire ,
*GMT Datamonitor,* 2003-07-15

SBK

## VIRTUALNI INŽENJERING

Vizualizacija inženjerskih podataka u virtualnom okolišu, iako snažno sredstvo,tek je prvi korak prema puno ambicioznojem cilju. Kako računalni resursi postaju sve snažniji te kako se poboljšavaju računalni algoritmi, tvornički inženjering će krenuti s dosadašnje prakse post-procesuiranja računalnih podataka u virtualni okoliš kao potpuno funkcionalni inženjerski alat. Razvoj interaktivnog i potpuno uključenog inženjerskog alata značajno će promijeniti projektiranje, inženjering, održavanje i izgradnju postrojenja.

Trenutačno, u ovom području potrebno je najviše istraživanja provesti na razvoju i poboljšanje računalnih algoritama, kako bi se omogućila brza evaluacija inženjerskih promjena, ali isto tako i na razvoju algoritama koji omogućavaju integraciju računalnih modela i komponenata u zajedničke sustave.

Analitičari koristeći visoko razvijene tehnike modeliranja i kreirajući virtualnu stvarnost počeli su mijenjati inženjering procese elektrana. Kako se te promjene događaju može se razumjeti na primjeni jedne takve tehnike modeliranja pod imenom «računalna dinamika fluida» CFD ( Computational Fluid dynamics) koja je namijenjena inženjerima, projektantima i operatorima elektrana. Današnji CFD može osigurati unutarnji pogled temperaturne raspodjele, $NO_x$ formacije i emisija, izostanka paljenja i druge kritične probleme elektrane.

Međutim, osoblje koje primjenjuje CFD analize često nije ekspert na pojedinačne operacije elektrane. Virtualna stvarnost svladava ovaj problem kreirajući računalno generirano radno mjesto na kojem CFD analitičar i eksperti za elektrane mogu koristiti rezultate analiza u kontekstu elektrane. To dozvoljava inženjerima, operatorima i drugom osoblju elektrane da unesu svoje pogonsko iskustvo u elektranama u proces analiziranja.

Virtualna stvarnost računalno je generirano trodimenzionalno sučelje koje osigurava korisniku interaktivne podatke. Cilj je omogućiti korisniku korištenje i razumijevanje podataka neovisno od distrakcije kompjuterskog procesa. Kao takvo, inženjerski alati, priručnik za upite i navigacija trebaju biti sadržani u virtualnom sučelju. To omogućuje korisniku da se potpuno fokusira na inženjerske probleme, da može razumjeni kompleksnost i koristiti cijeli raspon inženjerskih varijanti.

Premda je vizualizacija sama po sebi snažni alat, slijedeći korak je razvoj velikog broja virtualnih inženjerskih alata i uvjetno virtualne elektrane. Ovi alati osigurat će korisniku računalni model s direktnim upitom, promjenu parametara i uvid u rezultate kao i usporedbu postojećih karakteristika elektrane s predloženim promjena u pogonu te izvršiti druge inženjerske funkcije visoke razine.

Koristi od virtualnog inženjeringa elektrane su mnogostruke:

- dostupnost podataka
- u tijeku ekspoatacije potencijalne varijante
- interakcija s kompjuterskim modelima i empiričkim podacima
- integracija komponenti i modela sustava.

Takvi programski paketi ( VE-Suite, Iowa State University) danas su komercijalno dostupni. Pomak virtualne stvarnosti od sredstva vizualizacije do inženjerskog alata može dodatno smanjiti vrijeme i troškove inženjerskog posla u postrojenju,

može poboljšati tvorničke operacije te reducirati rizike vezane za nove tehnologije. Osnova za postizanje ovih koristi je uključivanje detaljnih numeričkih simulacija procesa i komponenata.

Ključne komponente ovog virtualnog sučelja jesu:

- *Tehnike vizualizacije virtualne stvarnosti*
- *Analiza stvarnog vremena.*
- *Sabiranje i integracija numeričkih modela*
- *Zajednički inženjerski proces*
- *Efikasni razvoj inženjerskog dizajna*
- *Upravljanje informacijama umjetne inteligencije* – metologija koja služi pohrani i brzom pristupu inženjerskim analizama, podacima o postrojenju, geometriji i svim kvalitativnim i kvantitativnim podacima vezanim za operacije postrojenja koje trebaju biti poboljšane.

Ako se krene od trenutačnih mogućnosti vizualizacije postrojenja na modelima visokog stupnja sigurnosti (CDF)i završi sa prihvaćenom tehnologijom, može se zaključiti da postoji pet nivoa virtualnog inženjeringa:

- Osnova virtualnog inženjeringa - mogućnost da se na prirodan nesmetani način provede interakcija s analizom i podacima postrojenja.
- Nesmetana interakcija između vizualnih okoliša i računalnih resursa – omogućit će da projektni tim uđe u radni prostor virtualnog inženjeringa na bilo kojoj lokaciji, da unese ili vide bilo koji podatak te zahtijevaju novu analizu ili optimizaciju direktno iz virtualnog okoliša.
- Brza rekalkulacija modela postrojenja visokog stupnja sigurnosti
- Integracija modela visokog stupnja sigurnosti u sam sustav.
- Ustanovljena i široko prihvaćena tehnologija – uključuje mogućnost praćenja i interakcije s podacima postrojenja od rođenja do smrti, integraciju računalnih analiza i tvorničkih podataka te jednostavan intuitivnan pristup kompleksu podataka.

*Power,* Vol. 147(2003), No. 2

SBK

## STVARANJE LOJALNOSTI – NAJVEĆI IZAZOV ZA KOMPANIJE

U dereguliranom energetskom tržištu stvaranje lojalnosti jedan je od najvećih izazova današnjice za energetske kompanije. Niske cijene nisu dovoljne, već kompanije moraju pokazati svoju emocionalnu stranu, ukoliko žele zadržati lojalnost kupaca - potrošača.

Da je to tako pokazuju i nova istraživanja nezavisnih marketinških stučnjaka Datamonitora. Niske cijene usluga više nisu dovoljne da prosječni potrošač -domaćinstvo izabere novog dobavljača struje ili plina. Kompanije moraju napraviti korak prema emocionalnom odnosu s potrošačem ukoliko žele zadržati stare i privući nove potrošače, odnosno povećati njihovu lojalnost prema svom proizvodu i usluzi.

Budući da su potrošači postali skeptični prema kompanijama koje svoje poslovanje navelike predstavljaju «ekološkim», kompanije moraju imati partnere od povjerenja, ukoliko žele zadržati lojalnost potrošača i produžiti obavljanje svog posla. Prema istraživanjima Datamonitora sve je više potrošača koji su spremni platiti premiju za energiju od kompanije koja otvoreno podržava dobrotvorne akcije ili grupe koje se zalažu za zaštitu okoliša. Ukoliko se marketinška inicijativa pokaže uspješnom, ime kompanije, odnosno zaštitni znak usluge i proizvoda postali bi važniji čimbenik od cijene već do 2007. godine.

Kako razlike u cijeni između dobavljača postaju sve manje, nastojanja da se privuče kupac samo na temelju manjih račun više nisu dovoljna. Slično tomu promjena u promociji osnovnih korisničkh potreba izgubila je svoju privlačnost – danas potrošači vide dobru korisničku službu kao nužnost, a ne kao luksuz.

Kompanije postaju svjesne da obavljanje energetskih usluga više nije profitabilno, ukoliko ne mogu zadržati lojalnost kupaca prema svojoj usluzi ili proizvodu. Zbog toga moraju voditi računa o emocijama, odnosno suosjećati s interesima potrošača i s njihovim vjerovanjima. Datamonitor vjeruje da će se vidjeti u ne tako dalekoj budućnosti, kako se energetske kompanije međusobno nadmeću u svojoj osjetljivosti.

Datamonitorovo istraživanje pokazuje da je 18 europskih energetskih kompanija revaluiralo vrijednosti svojih zaštitnih znakova, da ih je 17 imalo procjenu korisničkih usluga te da ih je samo nekoliko imalo procjenu «izvrsnosti». Dvije trećine kompanija također je imalo procjenu zaštitnog znaka s obzirom na utjecaj na okoliš. Također jednak broj komunalnih poduzeća tvrdi da je «inovativno». Kada velika većina kompanija okupira isti marketinški prostor, postavlja se pitanje je li moguća diferencijacija. Slično tomu, postavlja se pitanje kako će kompanije dokazati svoju inovativnost.

Dugotrajna povijest komunalne usluge kao krucijalnog dijela svakodnevnog života potrošača, onemogućila je razvoj socijalnog identiteta. Upravo zato socijalni identitet postoji samo kod onih tvrtki koje su zadržale lokalnu ili regionalnu poziciju. Kao primjer mogu se navesti kompanije Stadtwerke u Njemačkoj kao i neke nezavisne regionalne kompanije u Švedskoj, koje su uspjele zadržati svoje potrošače usprkos teškoj marketinškoj borbi, koja se vodi ponajviše zbog njihove socijalne uloge. Ova su mala poduzeća kroz godine lokalne aktivnosti s uspjehom povezale potrošače sa svojim zaštitnim znakom te stvorile emotivnu i spoznajnu vezu koja je utjecala na odluku potrošača da ostanu.

Kada se gleda ostalu indusriju, vide se trendovi sve veće međuvezanosti između potrošača i industrije.

Trenutačno se potrošači odlučuju na određenog dobavljača uglavnom zbog cijene te zbog nade u bolje korisničke usluge u budućnosti. No, predviđanja su da će se ovo promijeniti do 2007. godine i da će kupci postati sve zainteresiraniji za zaštitne znakove s kojima su emocionalno u rezonanci.

Ipak, kompanije ne mogu očekivati da će zadržati potrošače, ukoliko ne uspiju održati svoja obećanja ili ako je zainteresiranost njihovih potrošača za pitanja vrijednosti površna. Trenutačnim vrijednostima zaštitnog znaka vezanog za inovaciju i odgovornost za okoliš nedostaje kredibilitet zbog nemogućnosti demonstracije u svakodnevnom kontaktu s potrošačima. Osiguranje vizualne dopadljivosti je samo malen korak. Kompanije obično posustaju onda kad se treba pokazati na djelu.

*Power Ingeneering International,* January/February 2003.

SBK

## DECENTRALIZIRANI ENERGETSKI SUSTAVI

Svjetsko prvo istraživanje decentralizirane energije (DE) otkriva da energija proizvedena u decentraliziranim sustavima sudjeluje tek sa 7 % u ukupnoj svjetskoj energiji.

U pregledu koji daje Svjetski savez decentralizirane energije WADE (The World Alliance for Decentralized Energy) po-

kazano je da su tržišta decentralizirane energije jako ugrožena zbog stalnih barijera koje postavljaju energetska tržišta većine zemalja. Zato se traži od zakonodavaca da osiguraju:

- Pristup mreži uz pravične i transparentne uvjete za sve DE sustave
- Pravila temeljena na tržištu kako bi se osigurala efikasnost proizvodnje električne i toplinske energije
- Puno priznavanje lokalne cijene uz uvažavanje koristi s obzirom na okoliš
- Poduzimanje akcija protiv monopola energetskih kompanija kako bi se smanjila potrošnja goriva i povećala efikasnost
- Osnivanje organizacije radi promocije DE u svakoj zemlji.

Organizacija WADE smatra da decentralizirana energija nudi brojne prednosti pred centraliziranom proizvodnjom energije. Centralizirane termoelektrane koje lože fosilna goriva stvaraju vrlo mnogo otpada. Čak i najbolje termoelektrane-toplane s kombiniranim ciklusom gube do 50 % energije goriva, jer nemaju mogućnosti recikliranje dodatne toplinske energije. Uz to, gubici prijenosa i distribucije kreću se oko 10 % ukupne opskrbe energijom. To je više nego što godišnje zajedno potroše Njemačka, Velika Britanija, Španjolska i Francuska.

Kada se gledaju ukupni gubici nastali u centraliziranim energetskim sustavima, oni su otprilike jednaki ukupnoj količini energije potrošenoj u globalnom transportnom sustavu.

Tu je i gospodarski argument. Gospodarstvo sve više favorizira manja postrojenja.

Decentralizirana energija, koja se nalazi na lokaciji ili pored lokacije potrošača treba samo upola toliko kapitala koliko je potrebno za novu centraliziranu proizvodnju energije, a koja još uz to treba novu prijenosnu i distribucijsku mrežu.

DE postrojenja mogu poslovati puno efikasnije. Također omogućuju puno veći stupanj sigurnosti. Naime, ispad energetske mreže zbog preopterećenja u prijenosu i distribuciji neizbježan je, jer su postojeći prijenosni vodovi već opterećeni do svog punog kapaciteta, a novi vodovi su istovremeno skupi i nepopularni. Centralizirani sustavii također su puno ranjiviji te podložniji kolapsu ili destrukciji sustava.

No ipak, postoji 6 ključnih barijera za povećanje decentralizirane proizvodnje energije:

- Energetska efikasnost nije nagrađena
- Prodaja energije trećima često je ilegalna
- Cijena energije posvuda ne reflektira potražnju u određeno vrijeme
- Obvezne rezerve su previsoke
- Zakonodavci ignoriraju troškove prijenosa i distribucije
- Reforma energetskog sektora ignorira dobrobiti decentralizirane proizvodnje energije.

Komentirajući istraživanje direktor WADE-a izjavio je da ovo istraživanje pokazuje da ključ za smanjivanje gubitaka energije leži u rukama zakonodavaca, pogotovo onih odgovornih za reformu energetskog sektora.

*Energy Markets,* February 2003.

SBK

## AUSTRALSKI ISTRAŽIVAČI UČINILI SUNČEVU SVJETLOST "PROHLADNOM"

U budućnosti kuća ili ured bit će osvjetljeni prirodnom sunčevom svjetlošću. To će omogućiti pronalazak australskih znanstvenika koji su pronašli način kako reducirati sunčevu toplinu bez smanjenja intenziteta sunčeve svjetlosti. Do tok saznanja došao je tim fizičara s Tehnološkog sveučilišta u Sydneyu. Cilj istraživanja je bio da se načine uređaji koji omogućavaju dobro danje svjetlo, uz minimalno zagrijavanje i pristupačnu cijenu. Zahvaljujući nanotehnologiji shvatili su kako ultra-fini materijali utječu na ponašanje svjetlosti. Ultra fine čestice doslovno usisavaju infracrvene čestice – fotone, a propuštaju vidljivu svjetlost. Dakle, radi se o elektromagnetskom efektu pod imenom površinska plazmonska rezonanca (Surface Plasmon Resonance).

Trebalo je identificirati materijale koji upijaju nevidljivi dio solarnog spektra kako bi se dobilo danje svjetlo s minimalnom količinom topline.

Neki materijali, samljeveni u prah, veličine čestica između pet i dvadeset nanometara (milijarditi dio metra), spojenih u tanki plastični sloj, omogućavaju prolaz svjetla, ali sprječavaju prolaz zrakama blizu infracrvenog svjetla ili topline unutar solarne radijacije.

Takvo staklo naći će primjenu za prozorska stakla, stakla automobila, reflektore te u specijalnim uređajima za zasjenjivanje. Omogućit će povećanje prirodnog svjetla bez zagrijavanja, što će smaniti troškove klimatizacije te smanjenje stakleničkih plinova.

Ovaj tim nastavlja s istraživanjima da bi dobio efikasne energetske difuzore svjetlosti, što bi našlo primjenu u proizvodnji žarulja koje će biti energetski efikasnije. Isto tako bi našlo primjenu u proizvodnji prozirnih materijala za krovove. Osim toga zasluga tima su i «svjetleće cijevi» koje su sada u mogućnosti dovesti sunčevo svjetlo s krova zgrade sve do četrdeset metara u njezinu unutrašnjost. Tzv. «solarna svijeća».

*Refocus,* March/April 2003.

SBK

## REZERVE NAFTE U SVIJETU

Zemlja s najvećim rezervama nafte je Saudijska Arabija. Prema dosadašnjim istraživanjima, današnjoj tehnici i cijenama, moguće je koristiti samo one rezerve koje su danas ekonomične.

Dobivanje nafte iz uljnih škriljevaca i uljnog pijeska, danas još nije ekonomično, pa pri procjeni nije uzeto u obzir, ali rezerve čini mnogo većim. Koliko u kojoj zemlji ima rezerve nafte, koju se može ekonomično danas koristiti, dano je u priloženoj tablici.

| Zemlja | Milijardi tona |
|---|---|
| Saudijska Arabija | 35,4 |
| Kanada | 24,2 |
| Irak | 15,9 |
| Kuvajt | 13 |
| Arapski emirati | 12,9 |
| Iran | 12,3 |
| Venezuela | 10,9 |
| Rusija | 8,2 |
| Libija | 3,9 |
| Nigerija | 3,3 |
| SAD | 3 |
| Kina | 2,5 |
| Katar | 2 |
| Meksiko | 1,9 |
| Norveška | 1,3 |

*EW,* god. 102(2003), broj 7

Mrk

## ZAKON O TELEKOMUNIKACIJAMA

Hrvatski sabor donio je na sjednici 17. srpnja 2003. godine Zakon o telekomunikacijama, te je isti objavljen 30. srpnja 2003. u "Narodnim novinama" broj 122/03. Ovo je treći zakon o telekomunikacijama donesen u Republici Hrvatskoj (u daljnjem tekstu: RH).

Zakon je izradila Radna skupina za telekomunikacije i informacijsku tehnologiju, koju je Vlada RH osnovala 19. rujna 2002. godine za obavljanje sljedećih poslova:

- usklađivanje zakonodavstva iz područja telekomunikacija sa zakonodavstvom EU,
- izrada Nacionalnog programa RH za pridruživanje Europskoj uniji, te
- izrada samih zakonodavnih mjera.

## POVIJEST HRVATSKOG ZAKONA O TELEKOMUNIKACIJAMA

Prvi zakon o telekomunikacijama RH objavljen je 1994. godine u "Narodnim novinama" broj 53/94. Omogućio je liberalizaciju javnih telekomunikacija u pokretnoj mreži, kao i liberalizaciju radija, televizije i kabelske televizije. Definirao je koncesiju i za uslugu prijenosa govora, zvuka, podataka, dokumenata, slika i dr. terminalnom opremom koja je priključena na javne telekomunikacije. Iznajmljivanje i prodaju telekomunikacijske opreme definirao je kao uslugu koju se obavlja u uvjetima slobodnog tržišta. Međutim, javne telekomunikacije u nepokretnoj mreži smjelo je izgrađivati i upotrebljavati jedino javno poduzeće Hrvatske telekomunikacije.

Drugim zakonom o telekomunikacijama, objavljenim 2000. godine u "Narodnim novinama" broj 76/00, tržište je otvoreno za nove operatore u nepokretnoj telekomunikacijskoj mreži, uz postavljenja sljedećih načela njegove liberalizacije:

- osigurati djelotvorno natjecanje na telekomunikacijskom tržištu s jednakim mogućnostima za uspjeh,
- promicati pristup tržištu novim davateljima usluga,
- onemogućiti zloporabu nadmoćnog položaja na tržištu i spriječiti zloporabe, te
- osigurati poštovanje načela otvorenog pristupa mreži.

Njegovim donošenjem nastojalo se uskladiti propise u djelatnosti telekomunikacija sa zahtjevima Svjetske trgovinske organizacije i stvoriti zakonski okvir za pošteno tržišno natjecanje sukladno direktivama Europske unije o otvorenom pristupu mreži, iznajmljenim vodovima i govornoj telefoniji.

Tim je zakonom osnovan nezavisni regulator u telekomunikacijama, Javna ustanova Hrvatski zavod za telekomunikacije (u daljnjem tekstu: Zavod).

Prijelaznim odredbama tvrtki HT - Hrvatske telekomunikacije d.d. (u daljnjem tekstu: HT) dodijeljena su sljedeća isključiva prava do 31. prosinca 2002. godine:

1. biti operator nepokretne javne telekomunikacijske mreže,
2. pružati javne govorne usluge putem nepokretne mreže,
3. pružati medunarodne telekomunikacijske usluge.

Ova prava su u rujnu 1999. godine regulirana s 3 odluke o dodjeli koncesije HT-u:

- odluka o dodjeli koncesije na rok od 30 godina za obavljanje javnih govornih usluga u nepokretnoj mreži i tržišnih telekomunikacijskih usluga u nepokretnoj mreži, te o stjecanju isključivih prava biti operator nepokretne javne telekomunikacijske mreže, te pružati javne govorne usluge putem nepokretne mreže i međunarodne telekomunikacijske usluge, i to do 31. prosinca 2002. godine,
- odluka o dodjeli koncesije na rok od 10 godina za izgradnju i uporabu javnih telekomunikacija u globalnom sustavu pokretne mreže GSM, te
- odluka o dodjeli koncesije na rok od 30 godina za izgradnju i uporabu javnih telekomunikacija u NMT sustavu.

Zakonom o izmjenama i dopunama Zakona o telekomunikacijama iz srpnja 2001. godine objavljenim u "Narodnim novinama" broj 68/01 osnovano je Vijeće za telekomunikacije, neovisna pravna osoba za obavljanje poslova odlučivanja o davanju koncesija i drugih regulatornih poslova u području telekomunikacija, dok poslove pripremanja prijedloga akata i druge poslove utvrđene zakonom obavlja Zavod.

U srpnju 2001. godine donesene su izmjene i dopune Zakona o telekomunikacijama kojima su obveze HT-a da osigura pristup svojoj izdvojenoj lokalnoj petlji, prenosivost broja i predodabir operatora odgođene do 31. prosinca 2004. godine. Ministar mjerodavan za telekomunikacije (u daljnjem tekstu: Ministar) zadužen je da do 31. prosinca 2004. godine donese pravilnike kojima će se regulirati razmotani pristup lokalnoj petlji, prenosivost broja i predodabir operatora.

Na temelju drugog zakona o telekomunikacijama doneseno je 11 pravilnika. Do srpnja 2003. godine nije doneseno još desetak njime predviđenih pravilnika.

Treći zakon o telekomunikacijama predstavlja korak dalje u liberalizaciji hrvatskog telekomunikacijskog tržišta i njegovom usklađivanju s međunarodnim standardima i praksom. Uz načela i ciljeve regulacije hrvatskog telekomunikacijskog tržišta postavljena u drugom zakonu o telekomunikacijama, novi zakon ističe i sljedeće ciljeve:

- skrbiti o interesima korisnika telekomunikacijskih usluga, uključujući korisnike s invaliditetom i socijalno ugrožene korisnike, te osigurati visoku razinu njihove zaštite, osobito u postupcima rješavanja sporova između korisnika i davatelja usluga
- štititi tajnost telekomunikacijskih priopćenja te osobnih podataka i privatnosti korisnika telekomunikacijskih usluga
- promicati dostupnost transparentnih obavijesti o cijenama i uvjetima uporabe javnih telekomunikacijskih usluga
- osigurati osnovne (univerzalne) telekomunikacijske usluge određene kakvoće na cijelom području RH, uz pristupačnu cijenu, kao i djelotvorno upravljanje i nesmetanu uporabu radiofrekvencijskog spektra te adresnog i brojevnog prostora,
- promicati korištenje telekomunikacijskih usluga u državnim i javnim službama, te
- zaštititi potrebe javnog reda, obrane i nacionalne sigurnosti.

Vezano uz načelo osiguravanja tržišnog natjecanja na telekomunikacijskom tržištu, Zakon traži i **promicanje** tržišnog natjecanja, osiguravanje **održivog** natjecanja, poticanje djelotvornosti ulaganja u telekomunikacijsku infrastrukturu, te poticanje uvođenja novih, inovativnih telekomunikacijskih usluga i tehnologija.

## OPSEG ZAKONA O TELEKOMUNIKACIJAMA ("Narodne novine", br. 122/03)

Trećim Zakonom o telekomunikacijama (u daljnjem tekstu: Zakon) u RH se uređuju:

- telekomunikacije i radijske komunikacije,
- način i uvjeti obavljanja telekomunikacijskih usluga i djelatnosti,
- prava i obveze davatelja i korisnika telekomunikacijskih usluga,
- izgradnja, održavanje i uporaba telekomunikacijske infrastrukture i opreme, radijske opreme i telekomunikacijske terminalne opreme,
- upravljanje radiofrekvencijskim spektrom, te adresnim i brojevnim prostorom u RH,
- elektromagnetska kompatibilnost,
- zaštita podataka u telekomunikacijama te
- obavljanje nadzora i kontrole u telekomunikacijama.

Iz opsega Zakona izdvojene su djelatnosti radija, televizije i kabelske televizije, čije se obavljanje propisuje Zakonom o elektroničkim medijima.

## IZNIMKE U PRIMJENI ZAKONA

Odredbe Zakona ne primjenjuju se na telekomunikacijsku i radijsku opremu te radijske postaje koje su postavljene i upotrebljavaju se isključivo za potrebe Oružanih snaga RH, policije i sigurnosnih službi RH, a radijske frekvencije za njihov rad usklađene su s Tablicom namjene radiofrekvencijskog spektra i Planovima dodjele radijskih frekvencija, uz izuzetak odredbi koje se odnose na namjenu radiofrekvencijskog spektra, vrste emisija i snage zračenja elektromagnetskih polja, te na poduzimanje djelotvornih mjera za sprječavanje i uklanjanje štetnih smetnji, i na pružanje pomoći u slučaju opasnosti.

Za razliku od drugog zakona o telekomunikacijama, od odredbi novog Zakona nije izuzeta oprema diplomacije, financijske policije i carine, te regulatornog tijela.

## DRŽAVNI INTERES

Kao područja državnog interesa za RH Zakonom su određeni:

- izgradnja, održavanje, razvoj i uporaba telekomunikacijske infrastrukture i opreme,
- upravljanje i uporaba radiofrekvencijskog spektra, te adresnog i brojevnog prostora kao prirodno ograničenog općeg dobra, te
- obavljanje javnih telekomunikacijskih usluga i djelatnosti.

Za razliku od odredbi starog zakona o telekomunikacijama, u područje državnog interesa je istaknut i **razvoj** telekomunikacijske infrastrukture i opreme (uz izgradnju i održavanje), te upravljanje i uporaba adresnog i brojevnog prostora.

U skladu sa značenjem pridanim razvoju telekomunikacijske infrastrukture i opreme, Zakon definira da Hrvatski sabor na prijedlog Vlade RH treba donijeti Strategiju razvoja telekomunikacija i informacijske tehnologije RH i to za razdoblje od četiri godine. Ova Strategija predstavlja temeljni dokument kojim se dugoročno uređuju osnovna načela i smjernice razvoja telekomunikacija, informacijske tehnologije, te određuje nacionalni prioritet u planiranju telekomunikacijskih i informatičkih djelatnosti. Izrađuje je ministarstvo nadležno za telekomunikacije u suradnji s ministarstvom nadležnim za informatičku djelatnost, Uredom za strategiju razvitka i Uredom za internetizaciju Vlade RH, te Hrvatskom agencijom za telekomunikacije.

## NADLEŽNA DRŽAVNA TIJELA

Za područja pokrivena Zakonom nadležna državna tijela su Hrvatska agencija za telekomunikacije, Vlada RH i ministarstvo nadležno za telekomunikacije(u daljnjem tekstu: Ministarstvo).

Zakon uređuje osnivanje Hrvatske agencije za telekomunikacije (u daljnjem tekstu: Agencija), jedinstvenog nacionalnog regulatornog tijela koje zamijenjuje dosadašnje Vijeće za telekomunikacije i Zavod. Osnivač Agencije je Republika Hrvatska, a osnivačka prava ostvaruju Hrvatski sabor i Vlada RH.

Agencija je samostalna, neprofitna i neovisna pravna osoba s javnim ovlastima koja za svoj rad odgovara Hrvatskom saboru. Sjedište Agencije je u Zagrebu.

Na slici 1 navedeni su poslovi u nadležnosti Agencije koje Agencija obavlja u skladu s odredbama Zakona i propisa donesenih na temelju Zakona.

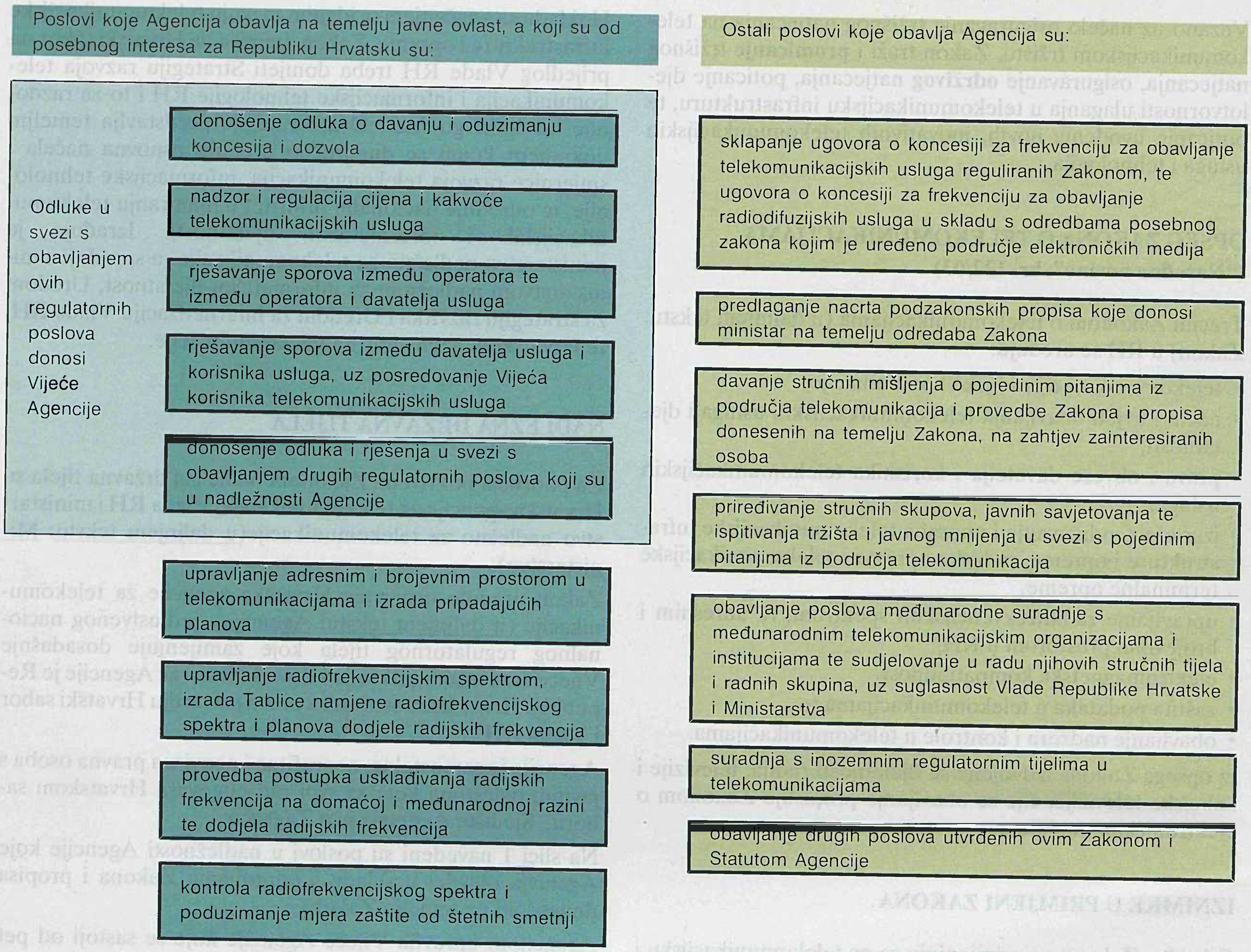
Agencijom upravlja Vijeće Agencije koje se sastoji od pet članova. Vijeće Agencije donosi, uz prethodnu suglasnost Vlade RH, Statut Agencije, Pravilnik o radu Agencije, godišnji financijski plan i završni račun Agencije te godišnji program rada i razvoja Agencije. Također, Vijeće Agencije donosi odluke u svezi s obavljanjem regulatornih poslova Agencije. Odluke Vijeća Agencije su konačne, a donose se većinom glasova svih članova Vijeća Agencije. Protiv odluka, rješenja i zaključaka Vijeća Agencije nije dopuštena žalba, ali se može pokrenuti upravni spor pred Upravnim sudom RH.

Članove Vijeća Agencije imenuje i razrješava Hrvatski sabor na prijedlog Vlade RH. Imenuju se na vrijeme od pet godina, s tim da mogu biti ponovno imenovani, a dužnost obnašaju profesionalno (što nije bio uvjet u starom zakonu). Predsjednika i zamjenika predsjednika Vijeća Agencije imenuje i razrješava Hrvatski sabor na prijedlog Vlade RH iz reda članova Vijeća (prema odredbama starog zakona članovi Upravnog vijeća Zavoda su između sebe birali predsjednika i zamjenika predsjednika).

Vijeće Agencije podnosi Hrvatskom saboru i Vladi RH godišnje izvješće o svojem radu te o stanju i ostvarivanju načela i ciljeva regulacije telekomunikacijskog tržišta u RH.

Stručne, administrativne i tehničke poslove za potrebe Agencije obavlja stručna služba Agencije kojom rukovodi upravitelj Agencije. Upravitelja Agencije imenuje na četiri godine Vijeće Agencije na prijedlog ministra, i može biti ponovno imenovan.

Sredstva za obavljanje poslova Agencije, u skladu s njezinim godišnjim financijskim planom, osiguravaju se:




**Slika 1. Nadležnosti Hrvatske agencije za telekomunikacije**

- od dijela naknade za uporabu radijskih frekvencija koji ne može biti manji od 5%,
- od naknade za uporabu adresa i brojeva,
- iz iznosa od 0,2% od ukupnog godišnjeg bruto prihoda koji su u prethodnoj godini u obavljanju telekomunikacijskih usluga i djelatnosti ostvarili koncesionari i davatelji telekomunikacijskih usluga, osim koncesionara radiodifuzijskih usluga.

Agencija odgovara za vlastite obveze cjelokupnom svojom imovinom, a Republika Hrvatska solidarno i neograničeno odgovara za obveze Agencije.

Prema odredbama Zakona, Vlada RH obavlja sljedeće:

- surađuje na izradi Strategije razvoja telekomunikacija i informacijske tehnologije RH,
- ovlašćuje Ministarstvo za poduzimanje mjera u slučaju velikih prirodnih nepogoda te prekida u obavljanju osnovnih telekomunikacijskih usluga,
- ostvaruje osnivačka prava nad Agencijom,
- predlaže Hrvatskom saboru imenovanje članova, predsjednika i zamjenika predsjednika Vijeća Agencije,
- određuje iznos dijela naknade za uporabu radijskih frekvencija iz kojeg se osiguravaju sredstva za obavljanje poslova Agencije, te
- utvrđuje iznos i način raspodjele viška sredstava za obavljanje poslova Agencije (razlike ostvarenih prihoda i rashoda Agencije na kraju tekuće proračunske godine).

Prema odredbama Zakona, Ministarstvo obavlja sljedeće:

- izrađuje Strategiju razvoja telekomunikacija i informacijske tehnologije RH,
- predstavlja RH u međunarodnim telekomunikacijskim organizacijama i institucijama te je odgovorno za provedbu međunarodnih ugovora, sporazuma i konvencija iz područja telekomunikacija,
- poduzima mjere radi obavljanja osnovnih usluga u slučaju velikih prirodnih nepogoda te prekida u obavljanju osnovnih telekomunikacijskih usluga,
- obavlja inspekcijski nadzor nad provedbom odredaba Zakona i propisa donesenih na temelju Zakona, te međunarodnih ugovora i sporazuma iz područja telekomunikacija, koji obvezuju RH,
- obavlja upravni nadzor nad Agencijom,
- uz suglasnost ministarstva nadležnog za upravne poslove graditeljstva i Vlade RH daje dozvolu za međusobno povezivanje telekomunikacijskih mreža stranih operatora preko državnog područja RH bez posredovanja operatora u RH,
- daje Agenciji suglasnost za donošenje i objavljivanje Plana adresiranja i Plana numeriranja, kao i izmjena tih planova, te je
- nadležno za vođenje prekršajnih postupaka u prvom stupnju za prekršaje propisane Zakonom.

## TELEKOMUNIKACIJSKA INFRASTRUKTURA

Telekomunikacijska infrastruktura i oprema, namijenjena za uporabu u RH, mora se projektirati, proizvoditi, graditi, održavati i upotrebljavati u skladu s:

- hrvatskim normama,
- normama Europskog instituta za telekomunikacijske norme (ETSI) i Europskog odbora za normizaciju / Europskog odbora za elektrotehničku normizaciju (CEN/CENELEC) te
- odlukama, preporukama i propisima Međunarodne telekomunikacijske unije (ITU) i Europske konferencije poštanskih i telekomunikacijskih uprava (CEPT).

Ministar može pravilnicima pobliže propisati tehničke uvjete i uvjete uporabe za određene vrste telekomunikacijske infrastrukture i opreme.

Telekomunikacijska infrastruktura i oprema javnih telekomunikacija mora se projektirati, proizvoditi i graditi na način da telekomunikacijske usluge budu dostupne i osobama s invaliditetom.

### Postavljanje, uporaba i održavanje telekomunikacijske infrastrukture i opreme

Postavljanje i uporaba telekomunikacijske infrastrukture i opreme, namijenjene za spajanje na javnu telekomunikacijsku mrežu ili za obavljanje javnih telekomunikacijskih usluga, mora udovoljavati uvjetima:

- sigurnosti uporabe mreže i cjelovitosti mreže,
- povezanosti telekomunikacijskih usluga u smislu sposobnosti međusobnog funkcioniranja,
- priključenja telekomunikacijske terminalne opreme, te
- ugradnje funkcija tajnog nadzora telekomunikacijskih usluga i/ili djelatnosti, kao i telekomunikacijskog prometa na međumjesnim i međunarodnim telekomunikacijskim vezama, u skladu s posebnim zakonima iz područja nacionalne sigurnosti (ova odredba nije postojala u starom zakonu).

### Međunarodno povezivanje telekomunikacijskih mreža

Telekomunikacijske mreže mogu se povezati s telekomunikacijskim mrežama drugih država na temelju prijave Agenciji.

### Uporaba javnog dobra i nekretnina drugih

Koncesionari radiodifuzijskih usluga i operatori imaju pravo, uz pribavljenu suglasnost nadležnog tijela državne uprave koje upravlja javnim dobrima, koristiti se, u svrhu obavljanja svoje djelatnosti, javnim dobrima u općoj uporabi i šumskim i drugim zemljištem u vlasništvu RH, kao i zračnim prostorom iznad njih, za postavljanje i održavanje svoje telekomunikacijske infrastrukture i opreme. Ako nije dobivena suglasnost, koncesionari radiodifuzijskih usluga i operatori mogu, kad je to potrebno radi izgradnje objekata ili izvođenja radova koji su prema Zakonu od interesa za RH, steći vlasništvo ili steći služnost na navedenim nekretninama u vlasništvu RH, kao i na nekretninama drugih pravnih i fizičkih osoba, u skladu s odredbama Zakona o izvlaštenju. Ova prava može ostvariti i Agencija u svrhu izgradnje sustava kontrolno-mjernih središta i kontrolno-mjernih postaja.

### Zajednička uporaba izgrađene telekomunikacijske infrastrukture

Koncesionari radiodifuzijskih usluga i operatori imaju pravo, ako postoje tehnički uvjeti, koristiti se izgrađenom telekomunikacijskom infrastrukturom u vlasništvu drugih pravnih i fizičkih osoba uz naknadu stvarnih troškova, na temelju sklopljenog ugovora. Ako vlasnik telekomunikacijske infrastrukture odbije sklopiti ugovor, Vijeće Agencije će, na zahtjev koncesionara radiodifuzijskih usluga ili operatora, utvrditi postoje li odgovarajući tehnički uvjeti, te u slučaju postojanja odgovarajućih tehničkih uvjeta donijeti rješenje koje u cijelosti zamjenjuje taj ugovor.

## PRIVATNA TELEKOMUNIKACIJSKA MREŽA

Privatna telekomunikacijska mreža je telekomunikacijska mreža koju za svoje potrebe uspostavlja, održava i koristi fizička ili pravna osoba, a putem koje se ne obavljaju javne telekomunikacijske usluge. Za izgradnju, postavljanje i uporabu takve mreže i pripadajuće telekomunikacijske infrastrukture i opreme, nije potrebna koncesija.

Ovakva mreža može biti povezana s javnom telekomunikacijskom mrežom.

## TELEKOMUNIKACIJSKE USLUGE I DJELATNOSTI

Telekomunikacijske usluge definirane su prema sadržaju neovisno o mediju i tehnologiji kojom se usluge pružaju, što nije bio slučaj u starom zakonu. Grupirane su na one koje se obavljaju na temelju koncesije ili dozvole, te one koje se obavljaju na temelju prijave. U Tablicama 1 i 2 dana je podjela usluga i načini stjecanja prava njihovog obavljanja, a u nastavku opis vezan uz pojedine telekomunikacijske usluge:

- javna govorna usluga

Ovo je javno dostupna usluga prijenosa govora putem javne telekomunikacijske mreže (bilo nepokretne, bilo pokretne), koja omogućuje međusobno glasovno komuniciranje korisnika usluga, dok se u starom zakonu odnosila samo na prijenos govora u **realnom** vremenu putem sredstava javne **nepokretne** telekomunikacijske mreže.

- davanje u najam telekomunikacijskih vodova

Telekomunikacijski vod je konciznije definiran kao žični, svjetlovodni ili srodni vod (za razliku od "razvidan telekomunikacijski prijenosni kapacitet" u starom zakonu) između priključnih točaka telekomunikacijske mreže bez funkcije posredovanja (komutacije).

- davanje u najam telekomunikacijske mreže ili njezinih dijelova

Telekomunikacijska mreža je jasnije definirana kao prijenosni vodovi, prijenosna, komutacijska i druga tehnička oprema (za razliku od definicije u starom zakonu: oprema za prijenos, te gdje je primjenjivo, oprema za prespajanje i druga sredstva ) koja omogućuje prijenos signala između određenih priključnih točaka putem žičnih, svjetlosnih, radijskih ili drugih elektromagnetskih sredstava.

- radiodifuzijska usluga (novodefiniran pojam)

Ovo je radiokomunikacijska usluga koja obuhvaća prijenos, odašiljanje i/ili prijam zvuka, slike i drugih signala namijenjenih za izravan prijam u javnosti, putem odašiljača na Zem-

**Tablica 1 – Telekomunikacijske usluge koje se obavljaju na temelju koncesije ili dozvole**

| **Telekomunikacijske usluge, koje se obavljaju na temelju koncesije ili dozvole:** | | **Pravo obavljanja usluge stječe se** |
|---|---|---|
| 1 | javne govorne usluge | – pravo na uporabu radiofrekvencijskog spektra za obavljanje usluga 1 do 5: na temelju odluke Vijeća Agencije o davanju **koncesije** te potpisanog ugovora o koncesiji. Odluka o davanju koncesije donosi se na temelju provedenog postupka javnog natječaja kojeg raspisuje Vijeće Agencije;[1, 2] |
| 2 | davanje u najam telekomunikacijskih vodova | |
| 3 | davanje u najam telekomunikacijske mreže ili njezinih dijelova | – u nepokretnoj telekomunikacijskoj mreži uz uporabu radiofrekvencijskog spektra: na temelju odluke Vijeća Agencije o davanju **koncesije** za uporabu frekvencije koja se daje na zahtjev[3], te potpisanog ugovora o koncesiji;[4, 5, 6] |
| 4 | radiodifuzijske usluge | – za usluge za koje nije potrebna uporaba radio-frekvencijskog spektra: na temelju **dozvole**, koja se izdaje na zahtjev pravne osobe;[7, 8] |
| 5 | usluge kabelske distribucije | – uz uporabu slobodnoga radio-frekvencijskog spektra: na temelju **dozvole** koja se izdaje na zahtjev pravne osobe |

1 Virtualni pokretni mrežni operatori mogu obavljati javne telekomunikacijske usluge na temelju prethodno sklopljenog ugovora s koncesionarom javnih telekomunikacijskih usluga u pokretnoj telekomunikacijskoj mreži i pribavljene dozvole (tj. bez koncesije).

2 Za izgradnju, postavljanje i uporabu privatnih telekomunikacijskih mreža i pripadajuće telekomunikacijske infrastrukture i opreme, mreža za potrebe profesionalnog pokretnog radija, mikrovalnih veza tipa točka–točka te mreža koje upotrebljavaju slobodni radiofrekvencijski spektar, nije potrebna koncesija. Dozvola se izdaje za određenu zemljopisnu lokaciju.

3 Obavijest o zaprimanju zahtjeva Vijeće Agencije objavljuje u »Narodnim novinama«, zajedno s osnovnim tehničkim značajkama, kako bi druga zainteresirana trgovačka društva mogla podnijeti zahtjev za davanje koncesije u istom frekvencijskom području. Ako u roku od 45 dana od dana objave obavijesti Vijeće Agencije zaprimi više zahtjeva koji se ne mogu zadovoljiti iz raspoloživog dijela radiofrekvencijskog spektra, poništit će postupak prikupljanja zahtjeva te raspisati javni natječaj za davanje koncesije i to najkasnije u roku od 90 dana od dana objave te obavijesti.

4 Jedno trgovačko društvo može podnijeti samo jedan zahtjev za davanje koncesije u određenom dijelu radiofrekvencijskog spektra.

5 Uvjeti i postupak davanja koncesije za obavljanje djelatnosti radija i televizije propisuju se posebnim zakonom kojim je uređeno područje elektroničkih medija.

6 Operator javne telekomunikacijske mreže sa znatnijom tržišnom snagom na tržištu javnih govornih usluga ne može obavljati radiodifuzijske usluge koje se obavljaju prema posebnom zakonu kojim je uređeno područje elektroničkih medija, već radi obavljanja ovih usluga mora osnovati posebnu pravnu osobu.

7 Usluge kabelske distribucije radijskih i/ili televizijskih programa ne mogu u istoj pravnoj osobi obavljati:
– operatori javne telekomunikacijske mreže sa znatnijom tržišnom snagom na tržištu javnih govornih usluga,
– operatori javne telekomunikacijske mreže u kojima RH ima izravni ili neizravni većinski udio u kapitalu, odnosno poslovnom udjelu, ili većinsko pravo u odlučivanju,
– koncesionari radija i televizije, Hrvatska radiotelevizija i pravne osobe koje proizvode i/ili objavljuju elektroničke publikacije.

8 Za obavljanje javnih govornih usluga, koje se pružaju u cijelosti putem javne telefonske mreže, potrebno je, uz pribavljenu dozvolu, osigurati međusobno povezivanje i dodjelu potrebnih brojeva u skladu s odredbama Zakona.

**Tablica 2 – Telekomunikacijske usluge koje se obavljaju na temelju prijave**

| **Telekomunikacijske usluge, koje se obavljaju na temelju prijave** | | **Pravo obavljanja usluge stječe se** |
|---|---|---|
| 1 | prijenos govora, zvuka, podataka, dokumenata, slika i drugog, osim javnih govornih usluga | – pravna ili fizička osoba podnošenjem pisane prijave Agenciji |
| 2 | prijenos govora, zvuka, podataka, dokumenata, slika i drugog telekomunikacijskim kapacitetima u nepokretnoj i pokretnoj satelitskoj službi | – uz uporabu slobodnoga radio-frekvencijskog spektra: na temelju dozvole koja se izdaje na zahtjev pravne osobe |

lji ili na satelitu (prijenos zvuka, televizijski prijenos i/ili druge vrste prijenosa).

- usluga kabelske distribucije (novodefiniran pojam)

Ovo je telekomunikacijska usluga prijenosa radijskih i televizijskih programa i s njima povezanih podataka, odašiljanih iz jednog središta korisnicima kabelske distribucijske mreže, putem koje se mogu pružati i druge telekomunikacijske usluge.

Definirana su tri načina stjecanja prava obavljanja telekomunikacijskih usluga:

- koncesija – za uporabu radiofrekvencijskog spektra kao prirodno ograničenog dobra,
- dozvola – za javne govorne usluge, davanje u najam telekomunikacijskih vodova, davanje u najam telekomunikacijske mreže i usluge kabelske distribucije, te
- prijava – ostale telekomunikacijske usluge.

Osim telekomunikacijskih usluga, Zakon regulira i sljedeće telekomunikacijske djelatnosti za čije obavljanje Vijeće Agencije izdaje ovlast pravnim osobama:

- radijska mjerenja u pokretnoj telekomunikacijskoj mreži o kojima je koncesionar frekvencije za obavljanje javnih telekomunikacijskih usluga u pokretnoj telekomunikacijskoj mreži obvezan dostaviti odgovarajuće podatke na zahtjev inspektora telekomunikacija ili ovlaštenog radnika Agencije,

- radijska mjerenja i ispitivanja koja Agencija, ili pravna osoba koju je ovlastilo Vijeće Agencije mora obaviti nakon podnesenog zahtjeva za izdavanja dozvole za pojedinačnu radijsku postaju ukoliko treba utvrditi tehničke, zemljopisne i druge uvjete za djelotvornu i neometanu uporabu radijske frekvencije
- tehnički pregled radijskih postaja za koje je podnesen zahtjev za izdavanje dozvole za radijsku postaju, a treba ga obaviti prije puštanja postaje u rad
- ocjenjivanja sukladnosti radijske opreme i telekomunikacijske terminalne opreme s bitnim zahtjevima definiranim Zakonom
- izračun i mjerenje veličina elektromagnetskih polja koja stvaraju radijska oprema, telekomunikacijska terminalna oprema i radijske postaje
- ocjenjivanje sukladnosti električne i druge tehničke opreme koja se proizvodi, uvozi, stavlja na tržište i upotrebljava u RH i ne smije stvarati elektromagnetske smetnje, te
- mjerenje i ispitivanje radi utvrđivanja uzroka smetnji u telekomunikacijskim sustavima operatora i davatelja usluga, u radijskoj mreži za odašiljanje radijskih i/ili televizijskih programa ili u ostalim radijskim komunikacijama.

Za koncesiju za frekvenciju i dozvolu za obavljanje usluga iz Tablice 1., za prijavu za obavljanje usluga iz Tablice 2 te za ovlasti za obavljanje telekomunikacijskih djelatnosti plaća se naknada na način i u visini propisanoj Pravilnikom o plaćanju naknade za obavljanje telekomunikacijskih usluga i djelatnosti, koji donosi Ministar. Visina naknade ne smije narušavati slobodno tržišno natjecanje.

## OSNOVNE TELEKOMUNIKACIJSKE USLUGE

Osnovne (univerzalne) telekomunikacijske usluge su najmanji skup telekomunikacijskih usluga određene kakvoće, koje su dostupne po pristupačnoj cijeni svim krajnjim korisnicima u RH, neovisno o njihovoj zemljopisnoj lokaciji, uz mogućnost uvođenja posebnih cijena prilagođenih potrebama socijalno ugroženih slojeva korisnika usluga. Obuhvaćaju sljedeće:

- pristup javnoj govornoj usluzi putem priključka na fiksnu lokaciju, što omogućuje krajnjem korisniku slanje i primanje mjesnih, međumjesnih (nacionalnih) i međunarodnih telefonskih poziva, komunikaciju putem telefaksa i telekomunikacijski prijenos podataka, uz brzine prijenosa podataka koje omogućuju djelotvoran pristup Internetu, uzimajući u obzir raširene tehnologije kojima se koristi većina pretplatnika, kao i tehnološku ostvarivost,
- pristup krajnjih korisnika najmanje jednom sveobuhvatnom popisu pretplatnika javne govorne usluge, u obliku koji je odobrilo Vijeće Agencije, a koji može biti tiskani i/ili elektronički, te se mora redovito, a najmanje jedanput godišnje obnavljati, pri čemu se pretplatnicima mora osigurati pravo na privatnost u svezi s uporabom njihovih osobnih podataka,
- pristup krajnjih korisnika službi davanja obavijesti, uključujući i korisnike javnih telefonskih govornica,
- postavljanje javnih telefonskih govornica na javnim i u svako doba dostupnim mjestima, u skladu s razumnim potrebama krajnjih korisnika, u pogledu pokrivenosti područja, broja telefonskih govornica, njihove dostupnosti korisnicima s invaliditetom i kakvoće usluge, te
- besplatno pozivanje telefonskih brojeva za hitne službe s bilo kojeg telefonskog uređaja, uključujući i sve javne telefonske govornice.

Stari zakon nije predviđao mogućnost uvođenja posebnih cijena prilagođenih potrebama socijalno ugroženih slojeva korisnika usluga.

Cijenu osnovnih telekomunikacijskih usluga, koja mora biti troškovno usmjerena i jednaka na cijelom području obavljanja tih usluga, odobrava Vijeće Agencije. Ako na mjerodavnom tržištu postoji više davatelja javnih govornih usluga, Vijeće Agencije može svojom odlukom obvezati na obavljanje osnovne telekomunikacijske usluge jednog ili više davatelja javnih govornih usluga, ili može, na temelju raspisanoga javnog natječaja za obavljanje osnovne telekomunikacijske usluge, odabrati najpovoljnijeg ponuditelja za obavljanje te usluge, na način i prema postupku utvrđenom u Pravilniku o osnovnim telekomunikacijskim uslugama. Ovaj pravilnik propisuje način i uvjete obavljanja tih usluga, te daje njihov podrobniji opis i mjerila njihove kakvoće.

Davatelj osnovnih telekomunikacijskih usluga koji nema više od 80% udjela u ukupnom prihodu ostvarenom na tržištu tih usluga., ima pravo zatražiti od Agencije nadoknadu troškova obavljanja tih usluga, ako mu ti troškovi predstavljaju nepravedno financijsko opterećenje i ako može nedvojbeno dokazati da dugoročni dodatni troškovi njihovog obavljanja premašuju prihode za isto razdoblje. Ako Vijeće Agencije utvrdi utemeljenost ovog zahtjeva, donijet će rješenje o nadoknadi troškova, i to za troškove utvrđene u protekloj kalendarskoj godini. Sredstva za nadoknadu troškova podmiruju se iz Fonda za osnovne telekomunikacijske usluge, koji osniva Agencija na prijedlog Ministra, ukoliko postoji više davatelja osnovnih telekomunikacijskih usluga od kojih ni jedan ne ostvaruje više od 80% udjela u ukupnom prihodu ostvarenom na tržištu tih usluga. Fond za osnovne telekomunikacijske usluge ostvaruje sredstva od doprinosa svih davatelja javnih govornih usluga i operatora, čiji je udjel u ukupnom godišnjem prihodu ostvarenom na tržištu tih usluga veći od 5%.

Davatelji osnovnih telekomunikacijskih usluga na mjerodavnom tržištu moraju jedanput godišnje, na zahtjev Vijeća Agencije, dostaviti podatke o ostvarenom ukupnom prihodu.

## ZAŠTITA PRAVA KORISNIKA USLUGA

Zaštita prava korisnika ostvaruje se odredbama o pretplatničkom odnosu, pravu korisnika na podrobni ispis računa, pravu pretplatnika na prigovor i traženje naknade, na zabranu odlaznih poziva, na automatsko usmjeravanje poziva i imenik pretplatnika, kao i funkcioniranjem Vijeća korisnika telekomunikacijskih usluga:

- Pretplatnički odnos reguliraju opći uvjeti poslovanja davatelja usluga i pisani ugovor pretplatnika i davatelja usluga. Opći uvjeti poslovanja uređuju prava i obveze iz pretplatničkog odnosa između davatelja javnih telekomunikacijskih usluga i pretplatnika tih usluga. Sadrže opis i uvjete obavljanja telekomunikacijskih usluga, te utvrđuju izgled i sadržaj obrasca zahtjeva za priključenje pretplatničke terminalne opreme, način i uvjete zasnivanja, prijenosa i raskidanja pretplatničkog odnosa, odredbe o održavanju, pregledu, premještaju i privremenom isključenju pretplatničke terminalne opreme i slično.

Davatelji javnih telekomunikacijskih usluga moraju sklopiti pisani ugovor s pretplatnikom o priključenju na svoju telekomunikacijsku mrežu i pružanju javnih telekomunikacijskih usluga. Kod uvođenja novih usluga obavezni su korisnicima dati njihov podroban opis, te im omogućiti odabir korištenja i u slučaju ako su navedene usluge besplatne.

- Korisnicima telekomunikacijskih usluga omogućuje se jednostavna provjera i kontrola učinjenih troškova uvidom u podroban ispis računa. Davatelji javnih telekomunikacijskih usluga moraju automatski bilježiti podatke o obavljenim telekomunikacijskim uslugama i omogućiti korisnicima usluga, bez naknade, uvid i kontrolu podataka o učinjenim troškovima. Podroban ispis računa dostavlja se bez naknade svim korisnicima usluga, osim ukoliko korisnici podnesu zahtjev da žele primati račun bez podrobnog ispisa podataka.
- Davatelji javnih govornih usluga u nepokretnoj telekomunikacijskoj mreži imaju pravo privremeno isključiti pretplatničku terminalnu opremu iz telekomunikacijske mreže ako pretplatnik nije podmirio dugovanje za obavljene telekomunikacijske usluge, uz uvjet da pretplatniku prethodno dostave opomenu s naznakom privremenog isključenja u slučaju nepodmirivanja dugovanja u primjereno određenom roku, te u slučaju da pretplatnik nije podnio prigovor. Prije trajnog isključenja pretplatničke terminalne opreme mora se osigurati određeno razdoblje u kojem pretplatnik ima pravo primati dolazne pozive.
- Operator i davatelj osnovnih telekomunikacijskih usluga moraju:
  - omogućiti jednostavnu i besplatnu zabranu određenih vrsta odlaznih poziva, odnosno poziva na određene brojeve ili skupine brojeva,na zahtjev pretplatnika,
  - omogućiti svakom pretplatniku jednostavno i besplatno preusmjeravanje poziva na bilo koji pretplatnički broj, uključujući i broj pretplatnika drugog operatora ili davatelja usluga, te
  - jednostavno i besplatno onemogućiti automatsko preusmjeravanje poziva prema pretplatničkom terminalnom uređaju, koje je izvršila treća strana.
- Davatelji javnih telekomunikacijskih usluga moraju redovito obnavljati javni imenik svih pretplatnika, osim pretplatnika koji su u pisanom obliku izričito zabranili unošenje svojih podataka u imenik. Pretplatnici imaju besplatnu mogućnost da njihovi osobni podaci ne budu uneseni u javni imenik pretplatnika, s tim da pravne osobe ne mogu tražiti ograničenje upisa u javni imenik podataka nužnih za osnovnu identifikaciju i komunikaciju. Javni imenik pretplatnika mora biti dostupan svim korisnicima usluga u prikladnom elektroničkom i tiskanom obliku, pri čemu se tiskano izdanje imenika pretplatnika mora obnavljati najmanje svake dvije godine.
- Korisnik javnih telekomunikacijskih usluga može davatelju usluga podnijeti prigovor na iznos kojim je zadužen za obavljenu telekomunikacijsku uslugu (do rješenja prigovora, plaća prosječni iznos kojim je bio zadužen u razdoblju od tri mjeseca prije razdoblja na koje se odnosi prigovor), te prigovor na kakvoću obavljene telekomunikacijske usluge.
- Pri Agenciji se osniva Vijeće korisnika telekomunikacijskih usluga, savjetodavno tijelo koje sudjeluje u rješavanju sporova između davatelja i korisnika javnih telekomunikacijskih usluga. Ovo Vijeće prati i analizira stanje u području javnih telekomunikacijskih usluga, a osobito razinu kakvoće usluga i cijene usluga, te u vezi s tim ima pravo tražiti putem Agencije od davatelja javnih telekomunikacijskih usluga potrebne podatke i dokumentaciju. Obvezno je o svojim mišljenjima, ocjenama i zaključcima redovito, a najmanje jedanput godišnje, izvješćivati Ministarstvo, Agenciju i druga nadležna tijela, te davati prijedloge za poduzimanje mjera u skladu sa Zakonom. Njegove članove imenuje Vijeće Agencije.
- Posebna obveza davatelja javnih govornih usluga je osigurati ravnopravnu dostupnost i pristupačnost svojih usluga u nepokretnoj telekomunikacijskoj mreži, uključujući i usluge pristupa imeniku pretplatnika, korisnicima usluga s invaliditetom i korisnicima usluga s posebnim socijalnim potrebama.

## TRŽIŠNO NATJECANJE

Pretpostavke za ostvarenje slobodnog i konkurentnog telekomunikacijskog tržišta, što je cilj liberalizacije tržišta, Zakon osigurava odredbama vezanim uz sljedeće:

### Operator ili davatelj usluga sa znatnijom tržišnom snagom

Operator ili davatelj usluga ima znatniju tržišnu snagu na mjerodavnom tržištu:

- ako je neznatno izložen ili uopće nije izložen tržišnom natjecanju, ili
- ako ima nadmoćan položaj na tržištu prema ostalim sudionicima zbog svoje sposobnosti da utječe na tržišne uvjete, zbog veličine prihoda u odnosu na veličinu tržišta, te zbog nadzora nad pristupom krajnjim korisnicima, zbog pristupa financijskim izvorima ili zbog iskustva u ponudi proizvoda i usluga.

Vijeće Agencije može, po službenoj dužnosti ili na zahtjev operatora ili davatelja usluga, rješenjem utvrditi da operator ili davatelj usluga ima na određenom tržištu znatniju tržišnu snagu ako je njegov udjel na mjerodavnom tržištu veći od 25% ukupnoga tržišnog udjela na tom tržištu, uzimajući u obzir navedena mjerila, kao i da ima ili nema znatniju tržišnu snagu ako mu je udjel manji od 25%.

Operatori sa znatnijom tržišnom snagom moraju:

- pružiti pristup mreži poštujući načela nediskriminacije i transparentnosti (pod usporedivim okolnostima, jednakim uvjetima i na istoj razini na kojoj pružaju te usluge za vlastite potrebe ili za potrebe povezanih društava),
- ponuditi sučelja u skladu s načelima otvorenog pristupa mreži,
- udovoljiti zahtjevu za posebno sučelje ili poseban pristup mreži ako postoje tehničke mogućnosti i ako se ne narušava načelo nediskriminacije, te
- pružiti pristup mreži davateljima usluga poštujući načela nediskriminacije, transparentnosti i troškovne usmjerenosti, te načelo strukturnog odvajanja i zasebnog obračunavanja usluga pristupa mreži od drugih usluga koje pružaju.

Operatori sa znatnijom tržišnom snagom, koji pružaju uslugu iznajmljenih telekomunikacijskih vodova, obvezni su objaviti minimalnu ponudu telekomunikacijskih vodova za iznajmljivanje s ujednačenim tehničkim značajkama, te moraju odrediti opće uvjete poslovanja i troškovno usmjerene cijene.

**Međusobno povezivanje**

Operatori su obvezni osigurati međusobno povezivanje na zahtjev, te imaju pravo zatražiti međusobno povezivanje.

Operatori za međusobno povezivanje sa znatnijom tržišnom snagom na mjerodavnom tržištu moraju, na zahtjev Vijeća Agencije, izraditi popis standardnih ponuda međusobnog povezivanja za svoje mreže.

Cijene za međusobno povezivanje operatora sa znatnijom tržišnom snagom na tržištu javnih govornih usluga u nepokretnoj mreži, na tržištu usluga iznajmljenih telekomunikacijskih vodova, te operatora pokretne telekomunikacijske mreže koji su proglašeni operatorima sa znatnijom tržišnom snagom na tržištu međusobnog povezivanja, moraju biti u skladu s načelima transparentnosti i moraju se temeljiti na stvarnim troškovima usluge koja se pruža, uključujući i razumnu stopu povrata na ulaganja. Vijeće Agencije može zatražiti podrobno obrazloženje za cijene međusobnog povezivanja, te može rješenjem naložiti njihovu promjenu.

**Strukturno odvajanje i zasebno obračunavanje**

Operator ili davatelj telekomunikacijskih usluga sa znatnijom tržišnom snagom na mjerodavnom telekomunikacijskom tržištu mora razdvojiti, u pogledu ustrojstva i obračuna, poslovne aktivnosti na različitim mjerodavnim telekomunikacijskim tržištima radi osiguranja transparentnosti protoka telekomunikacijskih usluga i plaćanja između mjerodavnih telekomunikacijskih tržišta na kojima obavljaju poslovne aktivnosti.

Operatori ili davatelji telekomunikacijskih usluga sa znatnijom tržišnom snagom na tržištima koja nisu telekomunikacijska, ili koji obavljaju posebna ili isključiva prava u drugim područjima, moraju razdvojiti, u pogledu ustrojstva i obračuna, poslovne aktivnosti na mjerodavnom telekomunikacijskom tržištu od poslovnih aktivnosti na ostalim tržištima, u svrhu osiguranja transparentnosti protoka telekomunikacijskih usluga i plaćanja između područja u kojima obavljaju poslovne aktivnosti.

**Mogućnosti ograničenja pristupa mreži**

Operator može ograničiti pristup mreži i međusobno povezivanje samo zbog razloga temeljenih na osnovnim (bitnim) zahtjevima osiguravanja sigurnosti rada, održavanja cjelovitosti telekomunikacijske mreže,osiguravanja sposobnosti međusobnog funkcioniranja telekomunikacijskih usluga, te osiguravanja zaštite podataka.

**Pristup izdvojenoj lokalnoj petlji**

Operatori nepokretnih javnih telefonskih mreža, koje je Vijeće Agencije odredilo operatorima sa znatnijom tržišnom snagom u pružanju javne govorne usluge moraju, na zahtjev drugih operatora, omogućiti pristup svojoj izdvojenoj lokalnoj petlji, i to pod istim uvjetima pod kojima tu uslugu koriste sami ili s njima povezana društva.

Troškovi i cijene za lokalne petlje i pripadajuću opremu moraju biti nediskriminirajući i objektivni te objavljeni na prikladan način. Cijene moraju osigurati davatelju lokalne petlje pokrivanje stvarnih troškova, uključujući i razumnu stopu povrata na ulaganja.

**Opći uvjeti poslovanja**

Davatelji usluga obvezni su izraditi i na prikladan način objaviti opće uvjete poslovanja, koji sadrže opis i uvjete obavljanja telekomunikacijskih usluga. Davatelji usluga sa znatnijom tržišnom snagom moraju za svoje opće uvjete poslovanja pribaviti prethodnu suglasnost Vijeća Agencije.

## ADRESIRANJE I NUMERIRANJE

Djelotvorno upravljanje adresnim i brojevnim prostorom u RH kao prirodno ograničenim općim dobrom temelji se na međunarodnim propisima i međunarodnim sporazumima koji obvezuju RH. Za ovo upravljanje, planiranje uporabe i dodjelu adresa i brojeva nadležna je Agencija, koja donosi i objavljuje Plan adresiranja i Plan numeriranja, kao i izmjene tih planova, uz prethodnu suglasnost Ministarstva. Ovim planovima određuje se namjena adresa i brojeva, osigurava se jednaka dostupnost odgovarajućeg broja adresa i brojeva svim operatorima, davateljima usluga i korisnicima usluga, te potreban prostor za uvođenje novih telekomunikacijskih usluga, za prenosivost broja i odabir operatora.

Za svaku raspoloživu adresu, odnosno broj, dodijeljen operatoru ili davatelju usluga primarnom dodjelom, plaća se naknada, na temelju izdanog računa, u korist Agencije.

Operator ili davatelj usluga kojemu su primarnom dodjelom dodijeljene adrese, odnosno brojevi, može prenijeti pravo na uporabu tih adresa, odnosno brojeva na drugog operatora ili davatelja usluga, uz prethodno pribavljenu suglasnost Agencije.

Operatori i davatelji usluga moraju omogućiti korisnicima svojih usluga, na njihov zahtjev, da neovisno o promjeni operatora ili davatelja usluga zadrže broj koji im je bio dodijeljen u telekomunikacijskoj mreži. Ova obveza ne odnosi se na:

- zadržavanje broja u slučaju promjene zemljopisne lokacije korisnika usluga,
- prijenos brojeva između nepokretnih i pokretnih telekomunikacijskih mreža.

Operatori i davatelji usluga sa znatnijom tržišnom snagom na tržištu javnih govornih usluga u nepokretnoj mreži moraju omogućiti korisnicima svojih usluga slobodan odabir i predodabir operatora.

U javne telekomunikacijske mreže na cijelom području RH mora se, uz postojeći pozivni broj za hitne službe, uvesti i broj 112, jedinstveni europski broj za hitne službe.

## UPRAVLJANJE RADIOFREKVENCIJSKIM SPEKTROM

Dodjela i uporaba radijskih frekvencija usklađuje se na domaćoj i međunarodnoj razini. Temelji se na Tablici namjene radiofrekvencijskog spektra, koja propisuje namjenu radiofrekvencijskih područja za pojedine radiokomunikacijske službe te uvjete dodjele i uporabe radijskih frekvencija.

U području upravljanja radiofrekvencijskim spektrom Ministarstvo obavlja sljedeće:

- donosi Pravilnik o namjeni radiofrekvencijskog spektra čiji je sastavni dio Tablica namjene radiofrekvencijskog spektra,
- donosi pravilnik kojim se propisuju uvjeti za dodjelu i uporabu radijskih frekvencija za potrebe amaterskih ra-

dijskih komunikacija, tehnički uvjeti za amatersku radijsku opremu, razine smetnji i mjere za zaštitu od smetnji i radioamaterski razredi, te

- provodi odredbe međunarodnih ugovora, sporazuma i operativnih sporazuma s međunarodnim organizacijama nadležnim za satelitske radijske komunikacije.

Vezano uz radiofrekvencijski spektar u nadležnosti Agencije je:

- upravljanje radiofrekvencijskim spektrom i planiranje uporabe geostacionarne i drugih satelitskih orbita u skladu sa Statutom, Konvencijom i Radijskim propisima ITU-a, te odredbama Zakona i propisa donesenih na temelju Zakona,
- donošenje planova dodjele radijskih frekvencija u skladu s Pravilnikom o namjeni radiofrekvencijskog spektra,
- dodjela radijskih frekvencija, te
- ustrojavanje sustava kontrolno-mjernih središta i kontrolno-mjernih postaja s potrebnom opremom te mjernim vozilima za potrebe usklađivanja uporabe radijskih frekvencija na domaćoj i međunarodnoj razini, obavljanje kontrole i mjerenja u radiofrekvencijskom spektru, te poduzimanje propisanih mjera za zaštitu od smetnji i štetnih smetnji.

Agencija dodjeljuje radijske frekvencije na sljedeće načine:

- izdaje dozvole za uporabu radijskih frekvencija
- izdaje dozvole za radijsku postaju
- izdaje opće dozvole (za radijsku postaju izuzetu od izdavanja pojedinačne dozvole prema odluci CEPT-a).

Na temelju podnesenog zahtjeva Agencija izdaje dozvolu za svaku pojedinačnu radijsku postaju, ako su ispunjeni sljedeći uvjeti:

- ako je radijska frekvencija navedena u planovima dodjele radijskih frekvencija,
- ako je radijska frekvencija raspoloživa,
- ako je radijska frekvencija usklađena s uporabom drugih radijskih frekvencija.

Posebnu zaštitu od mogućih izvora štetnih smetnji zahtijevaju pomorske i zrakoplovne radijske komunikacije te radijske komunikacije u unutarnjoj plovidbi, koje služe u radi sigurnosti ljudskih života na moru, u zraku i na unutarnjim plovnim putovima i amaterske radijske komunikacije.

Za dodjelu i uporabu radijskih frekvencija plaća se naknada na račun Agencije u skladu s Pravilnikom o plaćanju naknade za dodjelu i uporabu radijskih frekvencija, koji donosi ministar.

## RADIJSKA OPREMA I TELEKOMUNIKACIJSKA TERMINALNA OPREMA

Radijska oprema i telekomunikacijska terminalna oprema (u daljnjem tekstu: RiTT oprema) može se slobodno uvoziti, stavljati na tržište, stavljati u pogon i upotrebljavati u RH ako udovoljava uvjetima utvrđenima Zakonom i to posebice sljedećem:

- zahtjevima sigurnosti i zaštite zdravlja ljudi od djelovanja elektromagnetskih polja,
- zahtjevima elektromagnetske kompatibilnosti (EMC),
- zahtjevima koji omogućavaju djelotvornu uporabu radiofrekvencijskog spektra, te
- drugim zahtjevima, kao što su zaštita telekomunikacijskih mreža od mogućih oštećenja, zaštita privatnosti, pristup osoba s invaliditetom ili drugim posebnim potrebama, te hitna stanja.

RiTT oprema ne smije stvarati elektromagnetska polja kojima su veličine iznad propisanih vrijednosti. Granične vrijednosti veličina elektromagnetskog polja, granične vrijednosti snaga zračenja nepokretnih radijskih postaja, referentni propisi i norme o ograničavanju jakosti elektromagnetskih polja radijskih frekvencija te drugi uvjeti, kojima mora udovoljavati RiTT oprema , propisuju se pravilnikom koji donosi ministar. Izračun i mjerenje veličina elektromagnetskih polja, koja stvaraju RiTT oprema i radijske postaje, obavlja Agencija ili pravna osoba koju je ovlastilo Vijeće Agencije.

Uvoz i stavljanje RiTT opreme na tržište mogu obavljati pravne i fizičke osobe koje su registrirane za tu djelatnost, uz prethodno pribavljeno odobrenje Agencije.

Osoba odgovorna za stavljanje ove opreme na tržište obvezna je korisniku prigodom prodaje te opreme dati upute za rad i tehničke značajke te opreme, kao i izjavu o sukladnosti s bitnim zahtjevima Zakona, koja mora sadržavati i presliku izvorne izjave.

## ELEKTROMAGNETSKA KOMPATIBILNOST (EMC) I ZAŠTITA OD SMETNJI

Električna i druga tehnička oprema, koja se proizvodi, uvozi, stavlja na tržište i upotrebljava u RH, mora udovoljavati zahtjevima elektromagnetske kompatibilnosti (EMC) u skladu s pravilnikom koji donosi ministar, te ne smije stvarati elektromagnetske smetnje u funkcioniranju telekomunikacija, RiTT opreme ili radijskih postaja, niti u prijamu radijskih i televizijskih programa.

Utvrđivanje uzroka smetnji i poduzimanje mjera za njihovo uklanjanje obavljaju:

- operator i davatelj usluga – za smetnje u svojem telekomunikacijskom sustavu,
- vlasnik radijske mreže za odašiljanje radijskih i/ili televizijskih programa – za smetnje u svojoj radijskoj mreži,
- Agencija – za smetnje u radijskim komunikacijama ostalih sustava i mreža.

## ZAŠTITA PODATAKA

Zaštita podataka uređuje se sljedećim odredbama:

- Davatelj javnih telekomunikacijskih usluga mora poduzeti tehničke i organizacijske mjere kako bi zaštitio sigurnost svojih telekomunikacijskih usluga, a zajedno s operatorom potrebne mjere radi zaštite sigurnosti telekomunikacijske mreže. U slučaju posebne opasnosti za sigurnost telekomunikacijske mreže, davatelj javnih telekomunikacijskih usluga o istima mora obavijestiti korisnike svojih usluga.
- Radi osiguravanja tajnosti telekomunikacijskih priopćenja u javnoj telekomunikacijskoj mreži i u obavljanju javnih telekomunikacijskih usluga te pripadajućih podataka o telekomunikacijskom prometu, zabranjeno je slušanje, prisluškivanje, pohranjivanje i svaki oblik presretanja ili nadzora nad telekomunikacijskim priopćenjima i pripadajućim podacima o telekomunikacijskom prometu, osim ako postoji privola samog korisnika usluga ili zahtjev utemeljen na posebnom zakonu, te tijekom zakonitih poslovnih operacija radi pružanja dokaza o trgovačkim transakcijama ili drugim poslovnim komunikacijama.

- Podaci o telekomunikacijskom prometu, koji se odnose na korisnike usluga, a obradili i pohranili su ih operatori i davatelji javnih telekomunikacijskih usluga, moraju se izbrisati ili učiniti neimenovanima, kad više nisu potrebni radi prijenosa telekomunikacijskih priopćenja, osim u Zakonom definiranim slučajevima.
- Davatelj javnih telekomunikacijskih usluga koji nudi mogućnost prikaza pozivajućeg broja, mora:
  - omogućiti pozivatelju jednostavno i besplatno sprječavanje prikaza njegova broja za svaki pojedinačni poziv (osim u definiranim iznimnim slučajevima),
  - omogućiti pozvanom pretplatniku jednostavno i besplatno sprječavanje prikaza identifikacije linije koja poziva, uz razumno korištenje ove funkcije, te
  - omogućiti pozvanom pretplatniku, prije nego što je uspostavljen poziv, jednostavan način odbijanja dolaznog poziva u slučaju kad je prepoznavanje pozivajućeg broja spriječeno od strane korisnika ili pretplatnika koji poziva.

Davatelj javnih telekomunikacijskih usluga koji nudi mogućnost prikaza broja koji je povezan, mora pozvanom pretplatniku omogućiti jednostavno i besplatno sprječavanje prikaza broja koji je povezan.

- Uporaba pozivnih sustava sa i bez ljudskog posredovanja, telefaks uređaja ili elektroničke pošte radi izravne promidžbe dopuštena je samo uz prethodno pribavljenu privolu korisnika usluga.

## INSPEKCIJSKI NADZOR I KONTROLA

Ministarstvo nadležno za telekomunikacije obavlja upravni nadzor nad Agencijom, kao i inspekcijski nadzor nad provedbom odredaba Zakona i propisa donesenih na temelju Zakona (bilo u nadležnosti regulatora u starom zakonu), te međunarodnih ugovora i sporazuma iz područja telekomunikacija, koji obvezuju RH. Inspekcijski nadzor provode inspektori telekomunikacija.

Uz Ministarstvo, inspekcijski nadzor nad provedbom odredaba Zakona i poduzimanje mjera u svezi s tim nadzorom također obavljaju:

- ministarstvo nadležno za unutarnje poslove (vezano uz posjedovanje dozvole za radijsku postaju i opće dozvole), te
- inspektori Državnog inspektorata (vezano uz prodaju radijske opreme i telekomunikacijske terminalne opreme, te električne i druge tehničke opreme).

Kontrolu provedbe odredaba kojima je uređena kontrola radiofrekvencijskog spektra, pružanje telekomunikacijskih usluga koje se obavljaju na temelju prijave, te mjerenje i ispitivanje radi utvrđivanja uzroka smetnji u funkcioniranju telekomunikacija, RiTT opreme i radijskih postaja, ili u prijamu radijskih i televizijskih programa obavlja Agencija, a provode ovlašteni radnici Agencije.

Za vođenje prekršajnih postupaka za prekršaje propisane ovim Zakonom u prvom je stupnju nadležno Ministarstvo. O žalbi protiv prvostupanjske odluke Ministarstva odlučuje Visoki prekršajni sud.

## KAZNENE ODREDBE

Zakon predviđa novčane kazne za kažnjavanje pravnih osoba za prekršaje: za teže povrede odredaba Zakona kazne su od 5.000,00 kn do 1.000.000,00 kn (u starom zakonu najviša kazna bila je 400.000,00 kn) , a za ostale povrede od 2.000,00 kn do 100.000,00 kn. Predviđena je i novčana kazna za odgovornu osobu u pravnoj osobi, te novčana kazna za fizičku osobu. Uz to, oduzima se i imovinska korist ostvarena prekršajem. Za razliku od starog zakona, novi određuje da se u slučaju teže povrede odredaba Zakona može se izreći i zaštitna mjera zabrane obavljanja djelatnosti u trajanju od tri mjeseca do godine dana.

## PRIJELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE

Ugovor o koncesiji za obavljanje telekomunikacijskih usluga u nepokretnoj mreži te o stjecanju isključivih prava koji je Vlada RH sklopila s HT-om, treba uskladiti s odredbama Zakona u roku od tri mjeseca od dana stupanja na snagu ovoga Zakona.

HT – Hrvatske telekomunikacije d.d. obvezne su:

- do 1. siječnja 2005. omogućiti drugim operatorima i davateljima usluga pristup svojoj izdvojenoj lokalnoj petlji, te usluge prenosivosti broja i predodabira operatora
- do 1. listopada 2003. započeti s odgovarajućim nužnim tehničkim pripremama radi osiguravanja pristupa svojoj izdvojenoj lokalnoj petlji, te do 1. siječnja 2004. dostaviti Agenciji sve podatke u vezi s izvršenjem tih tehničkih priprema kako bi Agencija utvrdila dinamiku pristupa izdvojenoj lokalnoj petlji.
- u roku od tri mjeseca od dana stupanja Zakona na snagu uskladiti svoje poslovanje s odredbama Zakona o strukturnom odvajanju i zasebnom obračunavanju.

U nastavku su dane ostale opće prijelazne odredbe s rokom izraženim od dana stupanja Zakona na snagu:

| | |
|---|---|
| Pravna ili fizička osoba, koja već obavlja tk usluge i djelatnosti u javnim telekomunikacijama | Nastavlja obavljati te usluge i djelatnosti prema odredbama Zakona do isteka vremena na koje je dana koncesija ili ovlast, odnosno prijavljena ta usluga. |
| Odašiljači i veze d.o.o. | nastavljaju obavljati radiodifuzijske usluge bez posebne koncesije za potrebe HRT-a |
| Odobrenje ili dozvola za radijsku postaju | Vrijedi do isteka roka na koji je izdana, a radijska postaja može se upotrebljavati do isteka navedenog roka, uz uvjete utvrđene u odobrenju ili dozvoli za radijsku postaju, prema odredbama Zakona. |
| Operatori i davatelji usluga, koji obavljaju telekomunikacijske usluge | Moraju u roku od godine dana osigurati funkciju tajnog nadzora tk usluga i/ili djelatnosti koje obavljaju, te tk prometa na vlastitim međumjesnim i međunarodnim vezama, u skladu s posebnim zakonima iz područja nacionalne sigurnosti. |
| Operatori koji imaju tk mrežu povezanu s tk mrežama drugih država | obvezni su u roku od šest mjeseci podnijeti prijavu za međunarodno povezivanje prema odredbama Zakona |
| Započeti upravni i sudski postupci | dovršit će se prema propisima koji su važili do dana stupanja Zakona na snagu, a prema odredbama Zakona samo u slučaju ako je to povoljnije za stranku u postupku |

| | |
|---|---|
| Visina naknade za dozvole, prijave i ovlasti, koja se propisuje Pravilnikom o plaćanju naknade za obavljanje telekomunikacijskih usluga i djelatnosti, koji donosi ministar | utvrdit će se najkasnije do 1. siječnja 2005. u iznosu koji ne prelazi visinu administrativnih troškova koji nastaju u postupku izdavanja dozvole ili ovlasti, odnosno podnošenja prijave te prigodom upravljanja, kontrole i provedbe tog postupka. |

U nastavku su dane prijelazne odredbe o koncesijama za radio i televiziju, s rokom izraženim od dana stupanja Zakona na snagu:

| | |
|---|---|
| Vijeće za radio i televiziju osnovano prema starom zakonu o telekomunikacijama | nastavlja radom prema odredbama staroga zakona do imenovanja Vijeća za elektroničke medije sukladno Zakonu o elektroničkim medijima |
| započeti postupci za davanje koncesije, odnosno produljenje koncesija za obavljanje djelatnosti radija i televizije, te za promjenu vlasničke strukture, promjenu programske sheme i sl. | Vijeće za radio i televiziju dovršit će postupke prema propisima koji su vrijedili do dana početka primjene Zakona o elektroničkim medijima |
| Koncesionar radija i televizije, koji obavlja djelatnost radija i televizije na temelju koncesije i sklopljenog ugovora o koncesiji | nastavlja obavljati svoju djelatnost u skladu s odredbama Zakona o elektroničkim medijima do isteka vremena na koje je dana koncesija |

U nastavku su dane prijelazne odredbe o Agenciji s rokom izraženim od dana stupanja Zakona na snagu:

| | |
|---|---|
| Prijedlog za imenovanje članova, predsjednika i zamjenika predsjednika Vijeća Agencije | Vlada RH podnosi prijedlog Hrvatskom saboru u roku od 30 dana. |
| Predsjednik, zamjenik predsjednika i članovi Vijeća za telekomunikacije, te Vijeća Zavoda | Privremeno nastavljaju s radom do dana imenovanja novih članova Vijeća Agencije. |
| Statut Agencije i drugi opći akti | Donosi Vijeće Agencije u roku od 30 dana od dana imenovanja. |
| Natječaj za imenovanje upravitelja Agencije | Raspisuje Vijeće Agencije u roku od 10 dana od donošenja Statuta Agencije. |
| Prijava za brisanje Vijeća za telekomunikacije i Zavoda iz sudskog registra, te prijava za upis Agencije u isti | Podnosi Vijeće Agencije u roku od 30 dana od dana imenovanja. |
| Radnici stručne službe Vijeća za telekomunikacije i radnici Zavoda | Nastavljaju s radom na poslovima na kojima su zatečeni i zadržavaju stečena zvanja i položaje do sklapanja ugovora o radu na temelju općih akata koje donosi Vijeće Agencije. |
| Radnici Zavoda, zatečeni na poslovima nadzornika telekomunikacija | Preuzima ih Ministarstvo. |
| Pokretna i nepokretna imovina, pismohrana i druga dokumentacija, sredstva za rad, financijska sredstva, prava i obveze Vijeća za telekomunikacije i Zavoda | Preuzima ih Agencija kao pravni sljednik Vijeća za telekomunikacije i Zavoda. |

U nastavku su dane prijelazne odredbe o podzakonskim propisima s rokom izraženim od dana stupanja Zakona na snagu:

| | |
|---|---|
| Uredba Vlade RH o načinu i uvjetima uz koje se može vremenski ograničiti uporaba radijske frekvencije, uskratiti pravo uporabe, te izmijeniti uvjete uporabe ili već dodijeljena radijska frekvencija | Vlada RH je donosi najkasnije u roku od šest mjeseci, a do njenog stupanja na snagu primjenjuju se podzakonski propisi, koji uređuju odnosna pitanja, ako nisu u suprotnosti s odredbama Zakona. |
| Propisi koje je prema odredbama Zakona ovlašten donijeti ministar | Ministar ih donosi u roku od godine dana, a do njihovog stupanja na snagu primjenjuju se podzakonski propisi, koji uređuju odnosna pitanja, ako nisu u suprotnosti sa Zakonom. |

**Mr. sc. Suzana Javornik Vončina, dipl. ing.**

*Energija*

Godište 52 (2003) Br. 6

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

Energija 1453

UDK 621.311.24.05
PREGLEDNI ČLANAK

Energija 52/2003/6, 445 – 457

## POGON VJETROELEKTRANA

*Dr. sc. Nijaz Dizdarević, dipl. ing. – dr. sc. Matislav Majstrović, dipl. ing. – dr. sc. Srđan Žutobradić, dipl. ing.*

EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

U radu je predstavljen generički model sustava za pretvorbu vjetra u električnu energiju. Razmotrena je općenita shema djelovanja vjetroelektrane koja obuhvaća elemente projektirane obzirom na tri oblika energije: energiju vjetra, mehaničku energiju te električnu energiju. U svrhu analize pogona vjetroelektrane nužno je provesti razmatranja elektroničkog sučelja prema izmjeničnoj mreži, generatora, vjetroturbine kao pogonskog stroja te vjetra kao primarnog izvora energije. Osnovna obilježja pogona vjetroelektrane opisana su sa stajališta izbora izvedbe vjetroelektrane obzirom na vrstu priključenja na mrežu te stalnost brzine vrtnje glavne osovine.

(Lit. 17, sl. 15 – original na hrvatskom jeziku)

Autori

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/6/445 – 457/2003.

Energija 1454

UDK 621.312.001:64/65
PREGLEDNI ČLANAK

Energija 52/2003/6, 467 – 476

## TEST PROCEDURE KAO TEHNIČKA OSNOVA STANDARDA ENERGETSKE EFIKASNOSTI KUĆANSKIH UREĐAJA I UREDSKE OPREME

*Mr. sc. Vesna Kolega, dipl. ing.*

EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

Cilj ovog rada je ukazati na važnost donošenja standarda energetske efikasnosti kućanskih uređaja i uredske opreme kao provjereno djelotvorne metode smanjenja potrošnje energije na nacionalnoj razini. S tom svrhom su opisane karakteristike test procedura za različite kućanske i uredske uređaje kao tehničke podloge za donošenje standarda, svjetske institucije koje ih provode, kao i brojne barijere na putu njihove regionalne i internacionalne harmonizacije. Nadalje, u radu je dan prikaz energetskih oznaka, kao i zakonodavni okvir njihovog uvođenja na hrvatske energetsko tržište.

(Lit. 15, sl. 3 – original na hrvatskom jeziku)

Autor

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/6/467 – 476/2003.

Energija 1455

UDK 621.311.21.005
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Energija 52/2003/6, 459 – 466

## DIJAGNOSTIKA NJIHANJA SNAGE CIJEVNIH AGREGATA HE DUBRAVA

*Dr. sc. Branko Bajić, dipl. ing.*

Corto Kavitation Services, Luxemburg

Na osnovi multidimenzionalnih ispitivanja kavitacije formulira se i verificira dijagnoza uzroka njihanja snage u ritmu jednom na okret na cijevnim agregatima HE Dubrava snage 40 MW. Uzrok njihanja je jaka iako slabo erozivna kavitacija, koja, zbog rada izvan projektnog režima, horizontalnog položaja vratila i velikog promjera radnog kola, te neujednačene i nedovoljne kavitacijske kvalitete lopata radnog kola pulsira jednom na okret.

(Lit. 19, sl. 16 – original na hrvatskom jeziku)

Autor

ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/6/459 – 466/2003.

Energija 1455 UDK 621.311.21.005

1. Dijagnostika njihanja snage cijevnih agregata HE Dubrava
*I.* *Bajić, B.*
II. Corto Kavitation Services, Luxemburg

*Fluktuacija snage*
*Kavitacija*
*Multidimenzionalna dijagnostika*
*Cijevna turbina*
*HE Dubrava*

Energija 1454 UDK 621.312.001:64/65

1. Test procedure kao tehnička osnova standarda energetske efikasnosti kućanskih uređaja i uredske opreme
*I.* *Kolega, V.*
II. EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Standardi energetske efikasnosti*
*Test procedure*
*Energetske oznake*
*Ekološke oznake*

Energija 1453 UDK 621.311.24.05

1. Pogon vjetroelektrana
*I.* *Dizdarević, N. – Majstrović, M. – Žutobradić, S.*
II. EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Vjetroelektrana*
*Elektroničko sučelje*
*Vjetroturbina*
*Vjetar*

*Energija*

Godište 52 (2003) Br. 6

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

Energija 1456

UDK 621.316.1:621.311.1
PREGLEDNI ČLANAK

Energija 52/2003/6, 419 – 428

## OPRAVDANOST PROŠIRENJA 400 kV MREŽE I PRIMJENA TEHNOLOGIJE KOMPAKTIRANJA

*Ivan Grozdanić, dipl. ing.*
Elektroprojekt d.d., Alexandera von Humboldta 4, 10000 Zagreb, Hrvatska

Koncipiran je pristup i rekonstrukcije prijenosne mreže, povećanja sigurnosti, povećanja prijenosne moći i smanjenja gubitaka. Predloženo je idejno i tehnološko rješenje proširenja elektroenergetskog sustava 400 kV i uspostave treće energetske veze sjever – jug s rješenjima za postizanje veće sigurnosti, na prijelazu Velebita i podvelebitskom primorju.
Temeljem objavljenih gubitaka u elektroenergetskoj mreži HEP-a za 2001. godinu, procijenjeni su gubici po naponskim razinama i elementima prijenosne mreže. Također su procijenjeni gubici na dalekovodima 220 kV Konjsko-Brinje i 400 kV Konjsko-Meline.
Opisana je i prikazana fizikalna slika tehnologije kompaktiranja, primjena pokretnih konzola u ekstremnim klimatskim uvjetima s mogućnošću povećanja sigurnosti postojećih dalekovoda.
Analizirana je opravdanost primjene tehnologije kompaktiranja.
(Lit. 9, sl. 8 – original na hrvatskom jeziku)

Autor
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/6/419 – 428/2003.

Energija 1457

UDK 621.315/316:521.315.62
PREGLEDNI ČLANAK

Energija 52/2003/6, 429 – 444

## KOMPOZITNI POLIMERNI IZOLATORI U PRIJENOSU I DISTRIBUCIJI ELEKTRIČNE ENERGIJE

*Prof. dr. sc. Zijad Haznadar, dipl. ing. – prof. dr. sc. Sead Berberović, dipl. ing. – prof. dr. sc. Željko Štih, dipl. ing.*
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska
*prof. dr. sc. Kemo Sokolija, dipl. ing.*
Elektrotehnički fakultet, Zmaja od Bosne bb, 71000 Sarajevo, BiH

U radu je prikazana kratka povijest razvoja kompozitnih izolatora. Načinjen je pregled prednosti i nedostataka konvencionalnih izolatora (stakleni i porculanski) i kompozitnih polimernih izolatora. Nakon toga, prikazana je analiza i usporedba konvencionalnih i kompozitnih polimernih izolatora glede njihovih mehaničkih i električkih karakteristika, ponašanja u otežanim uvjetima rada, te ekonomska usporedba na temelju podataka objavljenih u svjetskoj literaturi. Na kraju su diskutirana i neka, još uvijek, otvorena pitanja vezana za primjenu kompozitnih polimernih izolatora u prijenosu i distribuciji električne energije.
(Lit. 33, sl. 6 – original na hrvatskom jeziku)

Autori
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/6/429 – 444/2003.

Energija 1458

UDK 621.311.21.05
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Energija 52/2003/6, 409 – 417

## ASINKRONI START AGREGATA CHE "ČAPLJINA" U STVARNIM UVJETIMA ELEKTROENERGETSKIH SUSTAVA BOSNE I HERCEGOVINE I HRVATSKE

*Mr. sc. Nikola Rusanov, dipl. ing.,*
Elektroprivreda BiH, Sarajevo, BiH
*Srećko Vučina, dipl. ing.*
Elektroprivreda HZHB, Mostar, BiH
*mr. sc. Milan Stojsavljević, dipl. ing. – mr. sc. Darko Nemec, dipl. ing.*
Institut za elektroprivredu i energetiku, Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

Analizirajući režime rada elektroenergetskog sustava i iskorištenje raspoloživih energetskih resursa u uvjetima stvarne topološke strukture i elektroenergetskih prilika u prijenosnoj mreži Bosne i Hercegovine, ali i Hrvatske, posebno u području srednje i južne Dalmacije (jadranska magistrala), postavilo se pitanje mogućnosti iskorištenja svojstava reverzibilne hidroelektrane CHE Čapljina snage 2x240 MW i pogodnosti koje pruža otvoreno tržište električnom energijom.
S tehničkog aspekta dva su osnovna problema, odnosno usluge sustava: 1) asinkroni start (zalet) agregata i 2) prijenos snage i energije za crpni rad u uvjetima smanjene raspoloživosti sustava. Istraživanja pokazuju da je s aspekta dinamike napona i jalovih snaga moguć asinkron zalet s faznim prigušnicama u zvjezdištu generatora uz odvodnjenu turbinu/crpku (način P1).
Tijekom zaleta, generatori u bližoj okolini točke priključka CHE Čapljina (TS Mostar 4) nazivno su opterećeni jalovom snagom. Angažman i potpora drugog agregata u CHE Čapljina u generatorskom režimu rada znatno poboljšava prilike u pogledu napona i jalovih snaga u tom dijelu sustava tijekom zaleta.
Analizirane su dvije varijante osiguranja snage i energije za crpni rad (pumpanje): 1) iz termoelektrana EES Bosne i Hercegovine i 2) iz UCTE interkonekcije. U UCTE varijanti moguće su poteškoće sigurnosti sustava po (n-1) kriteriju raspoloživosti i kriteriju zagušenja na dijelu jadranske magistrale u EES Hrvatske.
Na bazi rezultata proračuna, tijekom tri noći u ožujku 2002. godine načinjeni su uspješni pokusi asinkronog starta i pumpanja s oba agregata CHE Čapljina u stvarnim uvjetima.
(Lit. 3, sl. 10 – original na hrvatskom jeziku)

Autori
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/6/409 – 417/2003.

Energija 1458

UDK 621.311.21.05

1. Asinkroni start agregata CHE "Čapljina" u stvarnim uvjetima elektroenergetskih sustava Bosne i Hercegovine i Hrvatske

*I.* *Rusanov, N. – Vučina, S. – Stojsavljević, M. – Nemec, D.*

II. Elektroprivreda BiH, Sarajevo, BiH - Elektroprivreda HZHB, Mostar, BiH - EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Elektroenergetski sustav*
*Crpna elektrana*
*Asinkroni start*
*Usluge sustava*
*Dinamičke simulacije*

Energija 1457

UDK 621.315/316:521.315.62

1. Kompozitni polimerni izolatori u prijenosu i distribuciji električne energije

*I.* *Haznadar, Z. – Berberović, S. – Štih, Ž. – Sokolija, K.*

II. Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska – Elektrotehnički fakultet, Zmaja od Bosne bb, 71000 Sarajevo, BiH

*Konvencionalni izolatori*
*Kompozitni polimerni izolatori*
*Izolatori od silikonske gume*
*Starenje*

Energija 1456

UDK 621.316.1:621.311.1

1. Opravdanost proširenja 400 kV mreže i primjena tehnologije kompaktiranja

*I.* *Grozdanić, I.*

II. Elektroprojekt d.d., Alexandera von Humboldta 4, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Sigurnost pogona EES-a*
*Gubici u prijenosu*
*Proširenje i rekonstrukcija prijenosne mreže*
*Djelatni otpor*
*Smanjenje gubitaka*
*Pretvorba i udvostručenje kompaktiranjem*
*Pokretna konzola, oblik "bačva" ≡ "dvostruka jela"*

*Energija*

Volume 52 (2003) № 6

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

ENERGIJA 1453

UDK 621.311.24.05
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/6, 445 – 457

## WIND POWER PLANTS' OPERATION

*Nijaz Dizdarević, D. Sc. – Matislav Majstrović, D. Sc. – Srđan Žutobradić, D. Sc.*
EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Croatia

The paper presents the generic model of wind to electric energy conversion. General scheme of wind power plants concerning three types of energy is discussed: wind, mechanical and electric energy. In order to analyze wind power plant operation it is necessary to consider the electronic interface to alternating current system, wind turbine generator as power generating engine and wind as primary energy source. Basic characteristics of wind power plants' operation are described from the point of choice of power plant design considering the type of connection to the grid as well as the stability of main axle's rotating speed.

(No. of References: 17, Fig.: 15 – original in Croatian)

Authors
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/6/445 – 457/2003.

ENERGIJA 1454

UDK 621.312.001:64/65
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/6, 467 – 476

## TEST PROCEDURES AS THE TECHNICAL BASIS FOR ENERGY EFFICIENCY STANDARDS OF APPLIANCES AND OFFICE EQUIPMENT

*Vesna Kolega, M. Sc.*
EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Croatia

The scope of this work is to point out the importance of defining the energy efficiency standards of appliances and office equipment as a proven efficient method for energy demand decrease on the national level. Therefore, characteristics of test procedures are described for different appliances and office equipment, which create a technical background for standard evaluation; world institutions that apply them are mentioned, as well as numerous barriers on their way to regional and international harmonisation. Furthermore, in the work a review on energy labelling is given as well as the legislative framework for its introduction to the Croatian energy market.

(No. of References: 15, Fig.: 3 – original in Croatian)

Author
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/6/467 – 476/2003.

ENERGIJA 1455

UDK 621.311.21.005
PRELIMINARY REPORT

ENERGIJA 52/2003/6, 459 – 466

## DIAGNOSTICS OF TUBE AGGREGATE'S POWER SWINGING IN HPP DUBRAVA,

*Branko Bajić, D. Sc.*
Corto Kavitation Services,Luxemburg

Based on multi dimensional cavitation testing a diagnosis is formulated and verified considering the cause of power swinging in a rhythm one per turn of tube aggregates in 40 MW HPP Dubrava. The cause of swinging is a strong but low erosive cavitation, which because of the operation out of the designed regime, horizontal axle and huge radius of runner as well as because of unequal and insufficiently strong cavitation quality of the runner blades pulses once per turn.

(No. of References: 19, Fig.: 16 – original in Croatian)

Author
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/6/459 – 466/2003.

ENERGIJA 1455

UDK 621.311.21.005

1. Diagnostics of Tube Aggregate's Power Swinging in HPP Dubrava

*I.* *Bajić, B.*

II. Corto Kavitation Services, Luxemburg

*Power Fluctuation*
*Cavitation*
*Multi-dimensional Diagnostics*
*Tube Turbine*
*HPP Dubrava*

ENERGIJA 1454

UDK 621.312.001:64/65

1. Test Procedures as the Technical Basis for Energy Efficiency Standards of Appliances and Office Equipment

*I.* *Kolega, V.*

II. EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Croatia

*Energy Efficiency Standards*
*Test Procedures*
*Energy Labelling*
*Ecological Labelling*

ENERGIJA 1453

UDK 621.311.24.05

1. Wind Power Plants' Operation

*I.* *Dizdarević, N. – Majstrović, M. – Žutobradić, S.*

II. EI Hrvoje Požar, Savska 163, 10000 Zagreb, Croatia

*Wind Power Plants*
*Electronic Interface*
*Wind Turbine*
*Wind*

*Energija*

Volume 52 (2003) № 6

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

ENERGIJA 1456

UDK 621.316.1:621.311.1
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/6, 419 – 428

## JUSTIFICATION OF 400 kV NETWORK SPREADING AND APPLICATION OF COMPACTING TECHNOLOGY

*Ivan Grozdanić, B. Sc.*

Elektroprojekt d.d., Alexandera von Humboldta 4, 10000 Zagreb, Croatia

The concept of transmission network reconstruction is evaluated, as well as security increase, transmission capacity increase and loss decrease. Conceptual and technological solution for 400 kV electric power system spreading is proposed as well as the third energy connection north-south with solutions to increase security, by passing Velebit and belonging coastal area.
Based on HEP's published data on losses in the electric power system for 2001 the evaluation of losses by voltage level and transmission network elements has been done. Also the losses on 220 kV Konjsko-Brinje transmission lines and 400 kV Konjsko-Meline are evaluated.
The physical part of the compacting technology is described as well as the application of flexible consoles in extreme climatic circumstances with a possibility to increase the security of existing transmission lines.
Justification of compacting technology is analyzed.
(No. of References: 9, Fig.: 8 – original in Croatian)

Author
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/6/419 – 428/2003.

ENERGIJA 1457

UDK 621.315/316:521.315.62
SUBJECT REVIEW

ENERGIJA 52/2003/6, 429 – 444

## COMPOSITE POLYMER INSULATORS IN TRANSMISSION AND DISTRIBUTION OF ELECTRIC ENERGY

*Zijad Haznadar, Prof. D. Sc.- Sead Berberović, Prof. D. Sc. – Željko Štih, Prof. D. Sc.*

Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia

*Kemo Sokolija, Prof. D. Sc.*

Elektrotehnički fakultet, Zmaja od Bosne bb, 71000 Sarajevo, BiH

In the work short history of composite insulators is given. Advantages and disadvantages of conventional insulators are given (glass and porcelain) as well as of composite polymer insulators. After that the analysis and comparison between conventional and composite polymer insulators regarding their mechanical and electrical characteristics, behavior under difficult circumstances as well as their economic evaluation based on data published in worldwide literature is given. Finally, some still open questions regarding the application of polymer insulators in transmission and distribution of electric energy are discussed.
(No. of References: 33, Fig.: 6 – original in Croatian)

Authors
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/6/429 – 444/2003.

ENERGIJA 1458

UDK 621.311.21.05
ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER

ENERGIJA 52/2003/6, 409 – 417

## ASYNCHRONOUS START OF HPP ČAPLJINA PUMP IN A REAL SITUATION OF ELECTRIC POWER SYSTEMS OF BOSNIA AND HERZEGOVINA AND CROATIA

*Nikola Rusanov, M. Sc.*

Elektroprivreda BiH, Sarajevo, BiH

*Srećko Vučina, B. Sc.*

Elektroprivreda HZHB, Mostar, BiH

*Milan Stojsavljević, M. Sc. – Darko Nemec, M. Sc.*

Institut za elektroprivredu, Av. Vukovar 37, 10000 Zagreb, Croatia

Analysis of the electric power system operation and usage of available energy resources in real circumstances of topology structure and electric energy circumstances in the transmission network of Bosnia and Herzegovina and Croatia, especially in the region of mid and south Dalmatia (so called Adriatic Road), has given rise to the question of reversible hydro power plant Čapljina's utilization of 2X240 MW and to considering occasions created by open electric energy market.
From the technical point of view there are two problems, i.e. system services: 1) asynchronous aggregate start and 2) transmission of power and energy for pump operation under circumstances of lower system reliability. The research has shown that from the point of voltage, dynamic and reactive power, asynchronous start is possible with phase reactances in generator neutral point with water-free turbine/pump (mode P1).
During start up, generators near connecting point of pump HPP Čapljina (TS Mostar 4) are nominally loaded by reactive power. The operation and support of the other aggregate in pump HPP Čapljina in generator mode significantly improves considering voltage and reactive power in that part of the system during start up.
Two possibilities of power and energy supply for pumping are analyzed: 1) from thermal power plants of Bosnia and Herzegovina and 2) from UCTE interconnection. In the UCTE variant problems could arise with (n-1) criteria of reliability and criteria of bottlenecks on the part of the Adriatic Road in the electric power system of Croatia.
Based on calculation results during three nights in March 2002 successful trials of asynchronous start ups and pumping with two aggregates of pump HPP Čapljina were realized under real conditions.
(No. of References: 3, Fig.: 10 – original in Croatian)

Authors
ISSN 0013-7448
ENJAAC 52/6/409 – 417/2003.

ENERGIJA 1458 UDK 621.311.21.05

1. Asynchronous Start of HPP Čapljina Pump in a Real Situation of Electric Power Systems of Bosnia and Herzegovina and Croatia

*I.* *Rusanov, N. – Vučina, S. – Stojsavljević, M. – Nemec, D.*

II. Elektroprivreda BiH, Sarajevo, BiH
Elektroprivreda HZHB, Mostar, BiH
Institut za elektroprivredu, Av. Vukovar 37, 10000 Zagreb, Croatia

*Electric Power System*
*Pump Power Plant*
*Asynchronous Start*
*System Services*
*Dynamic Simulation*

ENERGIJA 1457 UDK 621.315/316:521.315.62

1. Composite Polymer Insulators in Transmission and Distribution of Electric Energy

*I.* *Haznadar, Z. – Berberović, S. – Štih, Ž. – Sokolija, K.*

II. Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia
Elektrotehnički fakultet, Zmaja od Bosne bb, 71000 Sarajevo, BiH

*Conventional Insulators*
*Composite Polymer Insulators*
*Silicon Rubber Insulators*
*Aging*

ENERGIJA 1456 UDK 621.316.1:621.311.1

1. Justification of 400 kV Network Spreading and Application of Compacting Technology

*I.* *Grozdanić, I.*

II. Elektroprojekt d.d., Alexandera von Humboldta 4, 10000 Zagreb, Croatia

*Electric Power System Operational Security*
*Transmission Losses*
*Transmission Network Spreading and Reconstruction*
*Active Resistance*
*Loss Decrease*
*Transformation and Doubling by Compacting*
*Flexible Console, form "barrel" = "double fir-tree"*