UDK 621.31 ENJAAC 32 (1 – 6) 1 – 540 (1983) YU ISSN 0013 – 7448

ENERGIJA

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

SADRŽAJ »ENERGIJE U 1983. GODINI

Studije i istraživanja

Baldasari, D.: Planiranje globalnog rasta distributivne električne mreže s obzirom na prognoziranu potrošnju električne energije 449 6

Bilčar, N.: Potrebe, raspoloživi izvori i aktualni problemi opskrbe energijom u Jugoslaviji 417 6

Bobetko, M.: Modeliranje vanjskih mreža »ON-LINE« obrade dispečerskog centra 359 5

Černohous, F: Toplinsko energetski sistem 23 1

Čorak, D.: Opskrba Zagreba ogrjevnom toplinom iz NE Prevlaka 339 5

Čorak, D.: Stanje i perspektive razvoja energetske opskrbe Zagreba 459 6

Ćurković, J.: Radiološki utjecaj na okolinu zbog ispuštanja plinovitih enfluenata u akcidentalnim situacijama NE 89 2

Delbianco, L.: Prelazak razdjelne mreže »Elektroistre« Pula na uzemljenje zvjezdišta preko djelatnog otpora niske vrijednosti 179 3

Delbianco, L.: Uzemljivači TS 10/20/0,4 kV u uvjetima otpornog uzemljenja zvjezdišta 271 4

Delbianco, L.: Metode proračuna uzemljivača razdjelnih mreža 351 5

Dvornik, V.: Izgradnja kabelskih mreža 10 kV u modernim gradskim aglomeracijama srednje Dalmacije 167 3

Filipović, B.– Žutobradić, S.– Kostadinović, D.: Model za analizu dinamičkih karakteristika distantnih releja 11 1

Granić, G.: Potrošnja električne energije u SRH do 1990. godine 55 1

Granić, G.: Potrošnja električne energije u SRH od 1991-2000. godine 103 2

Granić, G. — Zeljko, M.: Karakteristike krivulje trajanja opterećenja u elektroenergetskom sistemu SRH u razdoblju 1975-1981. . . . . 259 4

Granić, G.– Pešut, D.: Metoda predviđanja krivulje trajanja opterećenja 363 5

Hatić, Đ.– Šimundić, N.: Izbor najpovoljnijeg vodoprivrednog rješenja i energetskog iskorištavanja Mure na dionici od Gibine do ušća 459 6

Jakšić, P.: Trogodišnje iskustvo u korištenju računala DPP-11/70 . . . . . 521 6

Kavur, V.– Baranović, N.: Raspodjela zadataka i faze podataka između centralne i periferne stanice u sistemu daljinskog vođenja 107 2

Lakota, J.: Prilog upoznavanju potencijalnih partnera za realizaciju budućih NE (dio III) 3 1

Malbaša, N.: Utjecaj NE na okolinu 479 6

Nevečerel, D.: Proračun kratkog spoja na digitalnom elektroničkom računalu 79 2

Piperski, D.: Automatsko upravljanje elektromotornim pogonima u savremenim termoelektranama 191 3

Potočnik, V.: Gradski otpaci — potencijalno gorivo iz toplane 175 3

Radmilović, B.– Tonković, Z.: Poremećaji u proizvodnji električne energije i problemi prijenosa na zagrebačkom području 19 1

Schenner, R.: Analiza konzuma u distribuciji 445 6

Sekso, A.– Hrs, I.: Prenaponi sklapanja na sjevernoj magistrali mreže 400 kV 511 6

Tonković, Z.: Jedna perspektiva jugoslavenske superponirane mreže 504 6

Tropin, K. A.: Analiza snabdevanja industrijskih preduzeća električnom energijom u posebnim uslovima 291 4

Tropin, K. A.: Električno grejanje suvremenih zgrada 373 5

Udovičić, B.: Mogućnosti i potrebe optimalne izgradnje elektrana u elektroenergetskom sustavu Hrvatske do 2.000. godine 437 6

Pogonska problematika

Begović, K.: Osnovna tehnička koncepcija pumpne hidroelektrane Vinodol 113 2

Bilić, S: Univerzalna rješenja stupova u okviru tipizacije srednjonaponskih stupova 35 1

Herr, S.: Pregrijačka klopka 47 1

Nikolić, Ž.: Vođenje bloka TE Sisak pri proširenju radnog opsega kotla 283 4

Ringwald, Z.: Reduciranje isporuke električne energije elektrolizi aluminija sa stajališta racionalnog korištenja energije 391 5

Vijesti iz elektroprivrede

Božin, I.: 30. godišnjica Instituta za elektroprivredu 415 6

Milanović, Z.: 75 godina rada i razvoja »Elektrane-Toplane« Zagreb 129 2

Radovi Instituta za elektroprivredu u 1982. godini . 299 4

Šimurina, I.: Statistički pregled elektroprivrede SR Hrvatske 221 3

UDK 621.31

ENJAAC 32 (1)–(1983)

YU ISSN 0013-7448

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

energija

Izdavači:

Združeno poduzeće »Elektroprivreda«, Rijeka
Združeno poduzeće »Elektroprivreda Dalmacije«, Split
SIZ za znanstveni rad SR Hrvatske
Elektra, Karlovac
Elektroslavonija, Osijek,
Elektroistra, Pula
Elektroprimorje, Rijeka
Elektrodalmacija, Split
Elektra, Zagreb
Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos
Institut za elektroprivredu, Zagreb

IZDAVAČKI SAVJET

Dragutin *Stanić*, dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije«Združeno poduzeće, Split — Enco *Tirelli* i Boris *Simončić*, dipl. ing. »Elektropivreda« Rijeka — Josip *Brkljačić*, dipl. ing., HE Senj — Petar *Kuzele*, dipl. ing., »Elektra«, Zagreb — Ivo *Božin*, dipl. ing., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Zorko *Cvetković*, Elektroprenos, Zagreb — Šimun *Šimundža*, dipl. ing., »Elektrodalmacija«, Split — Anđelko *Dujmović*, dipl. ing., »Elektroslavonija«, Osijek — »Elektroistra«, Pula — Branko *Mrakovčić*, dipl. ing., »Elektroprimorje«, Rijeka — Marko *Šimunović*, dipl. ing., »Elektra«, Karlovac

GLAVNI UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: Boris *Markovčić*, dipl. ing. — Urednik: Zdenka *Jelić*, dipl. fil. — Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola *Bilčar*, dipl. ing. — »Hidroelektrane«, Đuro *Hatić*, dipl. ing. — »Termoelektrane i Toplane«, Mladen *Nadinić*, dipl. ing. — Prijenos električne energije, Zorko *Cvetković*, dipl. ing., Zagreb — Josip *Nevešćanin*, dipl. ing., Split — »Razvod, distribucija i potrošnja električne energije«, Tomislav *Balen*, dipl. ec., Jure *Šimović*, dipl. ec., Petar *Kuzele*, dipl. ing. — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslovanja«. — Tehnički urednik: Zlatko *Orban*.

Redakcija završena 1982 — 12 — 20

Godište 32 (1983) Zagreb 1983 Br. 1 — 2

SADRŽAJ

Lakota J.: Prilog upoznavanju potencijalnih partnera za realizaciju budućih nuklearnih elektrana (dio III) . . . (Pregledni rad) 3

Filipovič B. — Žutobradić S. — Karavidović D.: Model za analizu dinamičkih karakteristika distantnih releja (Prethodno saopćenje) . . 11

Radmilović B. — Tonković Z.: Poremećaji u proizvodnji električne energije i problemi prijenosa na zagrebačkom području (Stručni rad) 19

Černohous F.: Toplinsko energetski sistem (Stručni rad) 23

Bilić S.: Univerzalna rješenja stupova u okviru tipizacije srednjonaponskih stupova (Stručni rad 35

Herr S.: Pregrijačka klopka (Stručni rad) . . . 47

Šimović J.: »Osvrt na Osvrt« 51

Granić G. Potrošnja električne energije u SRH do 1990. godine (Prethodno saopćenje) 55

Vijesti iz elektroprivrede 59

Iz strane stručne literature 62

Nove knjige 63

Obavijesti proizvođača 64

Časopis je oslobođen plaćanja poreza na promet rješenjem Republičkog sekretarijata za prosvjetu, kulturu i fizičku kulturu SR Hrvatske broj 886/1-1979.

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 511-455, 523-822 (328)

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300 dinara, a za poduzeća i ustanove 1500 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 200 dinara.

Za inozemstvo $ 80 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

Institut za elektroprivredu (za »Energiju«) broj 30101-603-565

Tisak i klišeji: RO »Zrinski« TIZ Čakovec

Trideset godina Instituta za elektroprivredu Zagreb



1953
1983

Institut za elektroprivredu u Zagrebu (IE) osnovan je 1953. godine sa zadatkom da organizira i obavlja znanstvenoistraživački rad u području elektroprivrede i energetike i da usavršava stručni i znanstveni kadar. U okviru svog rada IE obrađuje teoretski i eksperimentalno energetske probleme, kao i tehničke probleme elektroenergetskih objekata i njihove opreme.

U početku svog djelovanja rad IE bio je ograničen na teritorij SR Hrvatske, no uskoro je u nekim granama istraživanja postao vodeća naučna organizacija te vrste u Jugoslaviji.

U radnoj organizaciji radi 127 radnika (1982). Od njih su 83 fakultetski obrazovana, od toga je 8 doktora nauka i 16 magistara. IE posjeduje vlastiti računski centar s nizom najmodernijih programa, od čega znatan broj originalnih vlastitih rješenja.

Osim znatnog ojačanja kadrovskog potencijala, proširio se i djelokrug rada, naročito u području ekonomike u elektroprivredi i energetici, hidroenergetike i energetike uopće.

Osnovna područja djelovanja Instituta, jesu:

1. naučnoistraživački zadaci na razvoju metodologija i izradi podloga za dugoročne i srednjoročne projekcije razvoja potrošnje, izbora objekata, te razvoja i rada elektroenergetskog sistema, praćenje razvoja novih tehnologija;
2. pružanje usluga investitorima u pripremi izgradnje, kao i u samoj gradnji elektroenergetskih objekata od izrade studija osnovnih rješenja, izbora parametara preko izrade tendera evaulacije ponuda, kontrole pojedinih faza izrade opreme, odnosno gradnje objekata do primopredajnih ispitivanja pojedinih sklopova ili objekata u cjelini,
3. značajniji tehnički zadaci u vezi s unapređenjem rada elektroenergetskog sistema ili pojedinih objekata, kao što su razvoj programa za korištenje elektroničkih računala u efikasnijem vođenju elektroenergetskog sistema, povremena pogonska ispitivanja termoelektrana, hidroelektrana i nuklearnih elektrana i/ili pojedinih značajnijih elemenata u elektroenergetskim postrojenjima.

IE surađuje s nizom domaćih i stranih znanstvenih i privrednih organizacija među kojima su najznačajnije: Elektrotehnički fakultet u Zagrebu i Splitu, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, Građevinski institut u Zagrebu, Zajednica elektroprivrednih poduzeća Hrvatske, Zajednica jugoslavenske elektroprivrede Beograd i mnogi drugi, a od stranih sa Combustion Engineering Co. USA na poslovima ostvarenim 1982.

PRILOG UPOZNAVANJU POTENCIJALNIH PARTNERA ZA REALIZACIJU BUDUĆIH NUKLEARNIH ELEKTRANA

Dio III. RAZVOJ I NOVE NUKLEARNE TEHNOLOGIJE*

Dr Josip Lakota, Zagreb

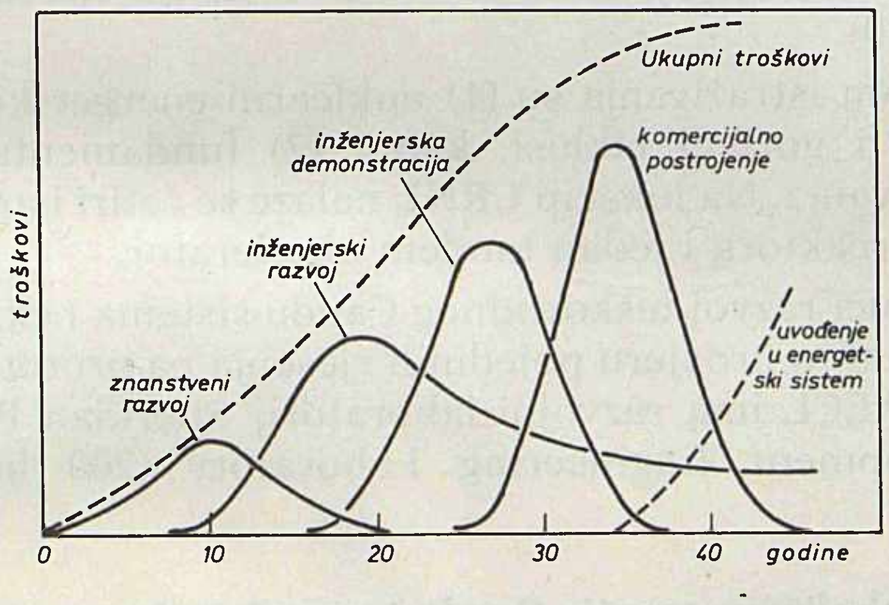
UDK 621.039, 621.311.25
Pregledni rad

U članku se sažeto prikazuju najvažnije aktivnosti na daljnjem razvoju sadašnjih reaktora i njihova gorivnog ciklusa, kao i razvoju novih reaktora kod nekih potencijalnih partnera za realizaciju sljedećih nuklearnih elektrana.

Ključne riječi: nuklearna energetika, razvoj, nove nuklearne tehnologije.

1. UVOD

Razvoj novih tehnologija za proizvodnju energije, od početnog koncepta do komercijalno zrelih rješenja, veoma je dug. U prošlosti on je trajao u prosjeku 30 — 40 godina (vidi sl. 1). Daljnji period od desetak i više godina potreban je dok novo rješenje sa znatnijim udjelom sudjeluje u pokriću energetskih potreba.



Sl. 1. Vrijeme i troškovi potrebni za razvoj i uvođenje novih tehnologija za proizvodnju energije, te tipične razvojne faze

Taj razvoj vezan je s vrlo velikim izdacima; on zahtijeva snažnu istraživačko-razvojnu osnovu, počevši od osnovnih i primijenjenih istraživanja do industrijske realizacije.

Razvojni programi vezani za postojeće reaktore kod svih potencijalnih isporučilaca nuklearnih elektrana imaju za cilj povećanje nuklearne sigurnosti, poboljšanje pogonske raspoloživosti te skraćenje vremena potrebnog za pripremu izgradnje i izgradnju nuklearnih elektrana. Na području goriva, dugoročnije gledano, primarno je smanjenje potroška urana. U tom pogledu veće potencijalne mogućnosti pružaju teškovodni reaktori nego što je to slučaj kod lakovodnih (L1).

Kod razvoja novih nuklearnih tehnologija za proizvodnju energije postoje određene razlike u tome koje tehnologije se i s kakvim intenzitetom razvijaju u pojedinim zemljama potencijalnim isporučiocima.

Slijedi sažet prikaz situacije za najvažnije razvojne aktivnosti za pojedine zemlje koje se nameću u prvi plan (vidi dio I članka). Ove zemlje obrađuju se abecednim redom. Iznose se i informacije vezane za istraživačko-razvojne potencijale, ulaganja u ovaj razvoj, osnovne informacije o nosiocima razvoja te neki drugi relevantni podaci.

2. FRANCUSKA

Za razvoj i istraživanja na cjelokupnom planu svih aktivnosti vezanih uz nuklearnu energiju nadležna je državna organizacija CEA (Comissariat à l'energie atomique).

Na civilnom nuklearnom programu u CEA aktivno je oko 12 000 ljudi.

Osnovni zadaci CEA na području civilnih aplikacija jesu (L2):

- osnovna i primijenjena istraživanja i razvoj
- transfer tako stečenih znanja na francusku elektroprivredu (EdF) te francusku industriju
- potpora državnih organa u pitanjima nuklearne politike i nuklearne sigurnosti
- kompletne francuske aktivnosti u području gorivnog ciklusa.

Najvažnija područja aktivnosti CEA vezana za nuklearne elektrane jesu:

- poboljšanja na PWR-u
- nuklearna sigurnost; ove djelatnosti koncentrirane su u zasebnom institutu za sigurnost (IPSN, Institut de Protection et de Surete Nucleaire)*

---

* Dio I, koji obrađuje reaktorski dio nuklearne elektrane, objavljen je u Energija br. 9/10, 1982. god.
Dio II, koji obrađuje problematiku goriva i gorivnog ciklusa, objavljen je u Energija br. 11/12, 1982. god.

* IPSN — 1030 ljudi, godišnji budžet 540 milijuna franaka (L3).

— razvoj brzog oplodnog reaktora (FBR)
— razvoj na području gorivnog ciklusa (poboljšanja postojećih tehnologija; razvoj novih, posebno na području obogaćenja urana i reprocesinga).

Svoje aktivnosti na području gorivnog ciklusa CEA obavlja putem svoje filijale COGEMA. Preko ove filijale CEA provodi istraživanja i eksploataciju urana u Francuskoj i inozemstvu te gradi i eksploatira industrijska postrojenja iz područja gorivnog ciklusa (izuzetak je proizvodnja goriva za PWR koja je u rukama proizvođača reaktora, Framatoma).

2.1. Poboljšanja PWR-a i njegova goriva

Provode se zajednički razvojni programi između CEA, Framatoma, EdF-a te Westinghousea na daljnjim poboljšanjima PWR tehnologije. U 1978. god. u ovaj razvoj investirano je oko 300 milijuna franaka, od toga je oko 50 milijuna udio Westinghousea (L2). Za ovaj razvoj postoji više desetaka ispitnih instalacija u istraživačkom centru CEA Cadarache te kod EdF-a.

Na razvoju goriva za PWR reaktore radi se u dva glavna pravca: smanjenju promjera gorivnih štapova i povećanju odgora s 36 000 na 45 000 MWd/t. Očekuje se ušteda 7 — 8 % u potrošku urana (L4). U suradnji sa CEA Framatom ima u razvoju novo gorivo PWR. Ovo novo gorivo bilo bi na raspolaganju nakon 1983. godine.

2.2. Brzi oplodni reaktor i njegov gorivni ciklus

Francuska je vodeća zemlja u razvoju brzog oplodnog reaktora (FBR).

Nakon demonstracionog FBR-a Phenix MW_e, koji se nalazi u uspješnom pogonu od 1974. godine, u izgradnji je od 1974. godine postrojenje 1 200 MW_e Super Phenix kod Crays-Malville, u kooperaciji s Italijom, SRNJ i drugima. Ono ima izglede da uđe u pogon 1983. god. O rezultatima postrojenja Super Phenix, kao i mogućnostima da se snize investicioni troškovi u odnosu na PWR ovisi daljnja izgradnja 1 500 MW_e FBR jedinica u Francuskoj.

Razvoj FBR-a praćen je u Francuskoj razvojem specifičnih faza gorivnog ciklusa za ovaj reaktor (proizvodnja goriva za FBR, reprocesing PWR i FBR goriva, L3, L5, L6).

Reprocesing PWR goriva, kako je rečeno u dijelu II, uspješno se provodi na industrijskoj osnovi.

Fabrikacija goriva za FBR obavlja se u Cadarachu. Tu je od 1962. god. proizvedeno gorivo za reaktore Rapsodie i Phenix, kao i za njihove izmjene goriva. Nova proizvodna linija za Super Phenix startala je 1979. god. Ona je sposobna da proizvede 18 t goriva /god. ili pola jezgre za Super Phenix (L6). Do sada je za proizvodnju FBR goriva upotrijebljeno oko 5 t plutonija. Na osnovi dobivenog iskustva planira se industrijsko postrojenje za proizvodnju goriva komercijalnih FBR-a koji slijede.

Gorivni ciklus FBR-a Rapsodie kompletno je zatvoren više puta. Ciklus Phenixa također je zatvoren, uz reprocesing u Marcoule ili La Hague. U izgradnji je poluindustrijsko postrojenje TOR u Marcoule, kapaciteta 5 t/god., koje bi trebalo ući u pogon 1983. g. Sljedeći korak bilo bi industrijsko postrojenje 100 do 150 t/god., koje se nalazi u fazi preliminarnog projektiranja. Ovo postrojenje, ako se planovi realiziraju, gradilo bi se za 4 komercijalna FBR-a snage po 1450 MW_e. Reaktori i postrojenja gorivnog ciklusa gradili bi se na istoj lokaciji (L7).

2.3. Fuzija

CEA radi na problemima kontrolirane termonuklearne fuzije. Francuska je tako aktivna i na ovom području, pored SAD, SSSR-a, Japana, SR Njemačke, Velike Britanije i Italije. U Francuskoj postoje tri instalacije tipa Tokamak (ENC '79/Foratom VII Proceedings).

3. KANADA

Razvojni program na području mirnodopske primjene nuklearne energije u rukama je državne organizacije AECL (Atomic Energy of Canada Limited). Ona u svom sastavu ima dva razvojna centra (L8, L9):

— Chalk River Nuclear Laboratories, CNRL (2 200 ljudi)
— Whiteshell Nuclear Research Establishment WNRE (750 ljudi).

Ti su centri organizaciono vezani u AECL Research Co (L10).

Program istraživanja su (1) nuklearni energetski reaktori i gorivni ciklusi, kao i (2) fundamentalna istraživanja. Na lokaciji CRNL nalaze se četiri istraživačka reaktora i jedan tandem akcelerator.

Za tekući razvoj teškovodnog Candu-sistema i eksperimentalnu provjeru pojedinih rješenja na prototipovima AECL ima razvojni laboratorij Sheridan Park Development Engineering Laboratory (200 ljudi, L10).

3.1. Poboljšane verzije Candu i razvoj gorivnog ciklusa

U studiji L1 prezentirana su svojstva Candu-reaktora i istaknute njegove prednosti u pogledu manjeg potroška urana. U jednokratnom gorivnom ciklusu s gorivom iz prirodnog urana današnji Candu troši 15 — 20 % manje urana od lakovodnih reaktora. U istoj studiji prezentirane su i perspektive daljnjeg smanjenja potroška urana. Primjenom goriva iz slabo obogaćenog urana u jednokratnom ciklusu (obogaćenje reda 0,9 — 1,2 %) pretkazuje se potrošak urana niži za oko 40 % od potroška današnjih lakovodnih reaktora. Daljnja redukcija potroška urana (veća po iznosu nego kod lakovodnih reaktora) moguća je u zatvorenom ciklusu primjenom uran-torijeva goriva. Moguće su solucije sve do tzv. samoodržavajućeg ciklusa (samoodržavajući ciklus, nakon što je postignut ravnotežni režim, ne zahtijeva dodatni privod fisionog materijala izvana; t.j. količine fisionog materijala

stvorene u toku rada reaktora dovoljne su za održavanje pogona reaktora).

Teškovodni reaktori tipa Candu, sudeći prema kanadskim informacijama, obećavaju tako i u budućnosti vrlo ekonomična rješenja s obzirom na potrošnju urana. Pretkazuje se da su takva rješenja moguća korištenjem novog goriva uz zadržavanje današnje osnovne konstrukcije reaktora, s eventualnim manjim izmjenama. Uz uvjet da se ova očekivanja ostvare, to bi značilo da zemlja koja bi ovladala tehnologijom ovog reaktora ne bi trebala ići kasnije u izgradnju industrijske infrastrukture vezane uz posve novi tip reaktora, kakav je brzi oplodni reaktor. Tvrdi se da AECL provodi odgovarajući razvojno-istraživački program koji bi omogućio da se na vrijeme razvije novo gorivo, kao i pripadni elementi gorivnog ciklusa, te osigurao ekonomičan rad Candu-sistema u praktički današnjoj konstrukciji i u kasnijoj fazi (iduće stoljeće), pošto se iscrpe jeftinije rezerve urana.

Prema L8 i drugim kanadskim izvorima razna moguća rješenja s recikliranjem na osnovi uranijevog i uran-torijevih ciklusa, široko se analiziraju i analitički istražuju u Kanadi. Postoje koncepcijska rješenja za reprocesing i refabrikaciju goriva. Izgradnja industrijskih postrojenja ne planira se u neposrednoj budućnosti, jer za to za Candu i kanadske uvjete ne postoje danas ekonomski motivi. U Kanadi se ocjenjuje da reprocesing za Kanadu neće biti ekonomičan najmanje do kraja stoljeća. Za ulazak u reprocesing goriva iz torija nužan je opsežan inženjerski razvoj. Zasad ne postoje još ni pilotna postrojenja. Trenutno je razvojni program na tom području koncentriran na eksperimentalni rad u laboratorijskim okvirima, dopunjen načelnim studijama. U CNRL je u toku proizvodnja male količine naprednog goriva (35 gorivnih snopova) koji će se koristiti za dobivanje osnovnih nuklearnih podataka, kao i za eksperimente ozračivanja u istraživačkim i prototipnim reaktorima. U WNRE je u toku eksperiment vezan za reprocesing goriva na osnovi torija.

Prema usmenim informacijama (L11) investicije u razvoj torijevih ciklusa danas su u Kanadi niske — nekoliko milijuna $ godišnje i ograničavaju se na akademske studije i male eksperimente.

Teška voda

Kanada je aktivna na daljnjem usavršavanju GS tehnologije, kao i na novim postupcima (izmjena vodik — metilamin, izmjena voda — vodik, te laserski postupak), L8 i L9.

Na razvoju na području proizvodnje teške vode angažirano je oko 60 inženjera i znanstvenih radnika iz AECL i elektroprivredne organizacije Ontario Hydro. Uz to postoji i značajan razvojni rad u industriji (L8).

3.2. Novi tipovi reaktora

Neki novi tipovi reaktora (kao brzi oplodni reaktor ili plinom hlađeni visokotemperaturni reaktor) ne razvijaju se i ne planiraju u Kanadi. Oni se ne smatraju potrebnim jer Candu-reaktor, uz manje modifikacije i novo gorivo na osnovi torija, obećava ekonomično rješenje i u situaciji kad će jeftinije rezerve urana biti iscrpljene. Razvojni troškovi vezani uz Candu-torijev ciklus trebali bi biti manji nego što su troškovi razvoja koncepcije s brzim oplodnim reaktorom, jer razvoj novog tipa reaktora otpada.

4. SAD

SAD su aktivne na svim mogućim područjima razvoja novih tehnologija za proizvodnju energije, kao i planovima na štednji energije.

Na području nuklearne energije nova američka administracija najavila je snažnije aktiviranje razvoja brzih oplodnih reaktora, ulazak u reprocesing, kao i intenzivniji rad na razvoju trajnog odlaganja radioaktivnog otpada. Također je najavljeno pojednostavljenje i skraćivanje procesa izdavanja dozvola za gradnju nuklearnih elektrana.

Velik dio istraživanja i razvoja na energetskom planu financira i usmjerava DOE (Department of Energy)*, kroz ugovore s industrijom, institutima, konzultantskim kućama i drugima. Znatan razvoj rade sami proizvođači reaktora i industrija vezana uz gorivni ciklus. Važan faktor u razvoju nuklearne energetike jest nacionalni laboratorij Oak Ridge. Koordinaciju, usmjeravanje i ugovaranje istraživačkih programa koje financiraju elektroprivredne organizacije vrši EPRI (Electric Power Research Institut, oko 800 ljudi). Nakon kvara u elektrani TMI osnovan je zaseban centar za usmjeravanje radova na području nuklearne sigurnosti (Nuclear Safety Analysis Center).

Radi se na rješenjima za efikasnije korištenje ugljena u ložištima, kao i na onima za plinifikaciju ugljena. Prva postrojenja za plinifikaciju ugljena mogla bi ući u pogon potkraj ovog desetljeća (L12).

4.1. Poboljšane (ekonomičnije) verzije postojećih reaktora

U SAD se radi na sniženju potroška urana u sadašnjim lakovodnim reaktorima i pretkazuje, unutar desetak godina, sniženje potroška urana reda 10 do 15 % u jednokratnom ciklusu. Dugoročnije se pretkazuju i uštede reda 30 % koje su se, međutim, u okviru INFCE, smatrale nerealno visokim (L1).

U SAD se radi i na termalnim oplodnim ili gotovo oplodnim verzijama PWR reaktora (»seed-blanket« reaktor npr.), na osnovi torijevog ciklusa (L1). Te opcije pružaju manje povoljne izglede nego dugoročne opcije koje slijede iz reaktora Candu (L1). Reprocesing goriva iz torija zahtijeva opsežan inženjerski razvoj za separaciju urana, plutonija i torija od fisionih produkata i međusobno. Trebalo bi najprije pristupiti realizaciji pilotnog postrojenja (L13).

* Federalno ministarstvo za energetiku. Ima 21 000 ljudi; budžet u 1980. god. 11 milijardi $. Preko cca 4000 ugovora s industrijom i drugim organizacijama na projektima DOE radi oko 200 000 ljudi, na što odlazi 87 % spomenutog budžeta (NEI, August 1980). (Do 1977. god. ova istraživanja i razvoj bila su u nadležnosti federalne organizacije ERDA-Energy Research and Development Administration — koja je tada asimilirana u novostvoreni DOE. Predsjednik Reagan predložio je ukidanje ovog ministarstva i prijenos njegovih funkcija na Ministarstvo za trgovinu i Ministarstvo unutrašnjih poslova).

4.2. Razvoj novih reaktora i gorivnih ciklusa

SAD su otišle najdalje u razvoju visokotemperaturnog plinom hlađenog reaktora (HTGR). Komercijalni prototip snage 340 MW_e u pogonu je u Fort St. Vrainu (Colorado) od 1979. god. Dvije planirane jedinice klase 800 MW_e, te četiri jedinice klase 1 200 MW_e otkazane su u uvjetima općenito nepovoljnim za izgradnju novih nuklearnih jedinica u SAD (NEI* July/Aug. 1980 supplement). Nosilac razvoja HTGR-a u SAD je General Atomic. Daljnja komercijalizacija HTGR-a u SAD zasad je neizvjesna. Razvoj tehnologije reprocesinga i refabrikacije HTGR goriva nastavlja se uz pomoć vladinih istraživačkih sredstava. Reprocesing torijevog HTGR goriva zahtijeva rješenje znatnog broja dodatnih problema u odnosu na prvobitni THOREX postupak (L13).

Radove u smislu komercijalizacije brzih oplodnih reaktora (FBR) zaustavila je Carterova administracija 1977. god. Međutim, program razvoja i istraživanja nastavljen je sa znatnim sredstvima (380 milijuna $ npr. u 1980. god.).

Dolaskom nove administracije situacija vezana za daljnji razvoj FBR-a se poboljšava. Predložena su znatna budžetska sredstva za nastavak izgradnje postrojenja Clinch River (50 milijuna $ za 1981., 250 milijuna $ za 1982. godinu). Cilj je da Clinch River bude na mreži 1990. god. (L14). Također je predloženo financiranje projekta FBR-a nove koncepcije i veće snage. U tekućim radovima na FBR-u sudjeluju sva tri proizvođača PWR-a.

Reprocesing ozračenog goriva iz FBR-a u SAD zahtijeva još opsežniji inženjerski razvoj, kao i ulazak u izgradnju pilotnog postrojenja (L13).

SAD su također (sa znatno manjim intenzitetom) aktivne u razvoju reaktora s tekućim gorivom (Molten Salt Reactor, Heavy Water Suspension Reactor) koji imaju potencijal oplodnje u termalnom spektru, a prvi od njih i kao brzi oplodni reaktor (L1).

4.3. Fuzija

Cilj je SAD da do 1990. realiziraju jedno ispitno postrojenje, a do 2000. godine prototip komercijalne elektrane na osnovi kontrolirane termonuklearne fuzije. Investicije u ovaj razvoj treba da se, od 400 milijuna dolara u 1980, povećavaju po stopi 25 % i iznose 1 milijardu dolara u 1987, te dosegnu u dva desetljeća ukupan iznos od 20 milijardi $ (L15).

5. Savezna Republika Njemačka (SRNJ)

Razvojni napori u SRNJ imaju svrhu da dugoročno, kroz kombinaciju lakovodnih reaktora, visokotemperaturnih plinom hlađenih reaktora i brzih oplodnih reaktora osiguraju što efikasnije korištenje urana. Dvije glavne komponente dugoročne energetske koncepcije SRNJ jesu kombinirano korištenje ugljena i nuklearne energije, za proizvodnju električne energije i energije za daljinsko zagrijavanje; kroz plinifikaciju ugljena proizvodio bi se pored toga sintetički plin, odnosno umjetni zemni plin, kao i tekući ugljikovodici za supstituciju nafte. Znatne aktivnosti koncentrirane su tako na:

— daljnji razvoj postojećih (prije svega PWR) reaktora
— razvoj visokotemperaturnih plinom hlađenih reaktora
— razvoj postupaka za plinifikaciju ugljena
— razvoj brzih oplodnih reaktora.

Ova posljednja aktivnost odvija se, u odnosu na Francusku, znatno sporije i manje uspješno.

U razvoju visokotemperaturnih plinom hlađenih reaktora SRNJ je, iza SAD, otišla najdalje u svijetu.

Spektar novih tehnologija koje se razvijaju u SRNJ na energetskom planu je jedan od najširih u svijetu.

Najveći dio nuklearnih istraživanja i razvoja odvija se u federalnim institutima ili je sufinanciran od savezne vlade u slučaju kad su u pitanju postrojenja demonstracionog karaktera. Najvažnije domene istraživanja na području fisione energije jesu brzi oplodni reaktori, visokotemperaturni plinom hlađeni reaktori, obogaćenje urana, reprocesing i konačno odlaganje radioaktivnih otpada te nuklearna sigurnost. Tablica 1. prikazuje budžet federalnih istraživačkih laboratorija, kao i broj ljudi-godina po pojedinim domenama.

Uključujući i sufinanciranje demonstracionih projekata, razvojno-istraživački budžet na području nuklearne energetike u stvari je mnogo veći; u 1980. god. (L16) npr. 1167 milijuna DM (od ukupnog budžeta za istraživanje na području energije od 1909 milijuna DM). Osim toga, energetski važna razvojna djelatnost već je spomenuta, plinifikacija ugljena.

Za daljnji razvoj i kontinuirana poboljšanja PWR, BWR i HWR reaktora KWU (Kraftwerkunion) ima vlastite istraživačke potencijale. Slično je i s krupnijim proizvođačima komponenata na njihovu području.

5.1. Poboljšanje verzije postojećih reaktora

Prvenstvenu važnost imaju poboljšanja u smislu smanjenja potroška urana.

Pažnju zaslužuju radovi u SRNJ na visokom konvertoru na osnovi PWR-a (L1). Prve analize pokazuju da bi se u PWR-u sadašnje osnovne konstrukcije, uporebom jedne homogene jezgre iz gusto postavljenih heksagonalnih gorivnih elemenata, uz srednje obogaćenje urana od 8 % ili plutonija 7 % mogao postići konverzioni omjer oko 0,95 (sadašnji PWR 0,55). Preostaje da se eksperimentalno provjeri mogućnost ovakvog rješenja. Tim rješenjem izbjeglo bi se složeno konstruktivno rješenje jezgre tipa »seed-blanket«, na kakvom se radi u SAD (L1). U analizi uloge ovakvog poboljšanog PWR-a pretpostavlja se da bi se nakon 2000. god. postojeći PWR-i izmjenom jezgre modificirali u poboljšani PWR, odnosno zamjenjivali takvima, te da bi se paralelno gradili brzi oplodni reaktori (FBR). Odnos ukupne snage poboljšanih

* Nuclear Engineering International

Tablica 1 Budžet savezne vlade SRNJ za financiranje federalnih nuklearnih istraživačkih laboratorija u milijunima DM, kao i broj ljudi-godina po pojedinim domenama (L16).

Projekt	Godina						
	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.	1979 – 1983.
brzi oplodni reaktor (KfK, KFA)	85.6	96.4	99.7	100.4	98.7	94.0	489.2
visokotemperaturni reaktor (KFA, HMI)	72.2	74.6	81.9	81.3	81.5	81.5	400.8
obogaćenje urana (KfK)	13.2	15.9	16.9	18.0	18.5	19.5	88.8
reprocesing / odlaganje rad. otp. (KfK, KFA, GSF, HMI)	68.8	83.4	84.6	91.4	96.0	100.4	455.8
nuklearna sigurnost (KfK, GKSS, KFA)	63.2	70.7	81.2	85.1	88.8	97.0	422.8
ukupno, milijuna DM	303.0	341.0	373.5	376.2	383.5	392.4	1857.4

Projekt	Godina						
	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.	1979 – 1983.
brzi oplodni reaktor	312	310	298	286	273	270	1437
visokotemperaturni reaktor	326	328	326	318	318	318	1608
obogaćenje urana	69	63	63	63	63	63	315
reprocesing / odlaganje radiakt. otpadaka	394	415	431	440	445	448	2179
nuklearna sigurnost	356	359	373	393	406	414	1945
ukupno ljudi-godina:	1 457	1 475	1 491	1 500	1 505	1 522	7 484

PWR-a prema ukupnoj snazi u FBR-u birao bi se tako da sistem u cjelini ne bi zahtijevao daljnji privod urana. Taj odnos kretao bi se, ovisno o konverzionom omjeru PWR-a i oplodnom omjeru FBR-a, između 1,25:1 i 3:1. Time bi se smanjio broj investiciono nepovoljnih FBR-a. FBR bi proizvodio potrebni plutonij za ovakav poboljšani PWR konvertor.

5.2. Razvoj iduće generacije reaktora i gorivnih ciklusa

Brzi oplodni reaktor

SR Njemačka je od 1960. god. aktivna na razvoju FBR-a, trenutno sa znatno manjim intenzitetom i u velikom zaostatku prema Francuskoj. Osnova ovog razvoja je eksperimentalni reaktor KNK te prototipna nuklearna elektrana Kalkar s reaktorom SN 300 snage 300 MW_e u izgradnji (L17). Danas se očekuje da će SN 300 biti u pogonu 1985. Izgradnja ovog reaktora kasni prema planu 6 godina, uglavnom zbog razloga vezanih uz dokaze sigurnosti i dozvole za gradnju. Vrlo rigorozna procedura zasnovana na velikom broju parcijalnih dozvola u SR Njemačkoj, kao i njene česte promjene, posebno utječe na vrijeme realizacije prototipnih reaktora. Projekt SN 300, zbog velikih kašnjenja, došao je u znatne financijske poteškoće.

Nakon SN 300 trebala bi slijediti demonstraciona elektrana slična onoj Super Phenix u Francuskoj. Međutim, nema konkretnijih planova.

Na SN 300 sudjeluju Belgija i Nizozemska. SR Njemačka je opet prisutna na projektu Super Phenix. Međutim, njezin je doprinos relativno skroman.

Gorivo za SN 300 proizvodi se u tvornici za preradu MOX goriva u Hannau (ALKEM), kao i u belgijskoj tvornici u Desselu (L5, L6).

Razvoj reprocesinga FBR goriva na samom je početku. Postoji malo laboratorijsko postrojenje u istraživačkom centru Karlsruhe, kapaciteta 1 kg/dan (L20, L6).

Visokotemperaturni reaktori

Od 1967. god. nalazi se u pogonu eksperimentalni 15 MW_e — AVR reaktor sa sferičnim gorivom (Kugelhaufenreaktor). Prvih 10 godina pogona on se dokazao kroz prosječnu vremensku raspoloživost od 76 % (L21). Postignut je zadovoljavajući rad i kod temperatura rashladnog plina od 950 °C. Reaktor ima povoljna sigurnosna svojstva.

Kao nastavak razvoja AVR reaktora od 1971. u izgradnji je u Hamm-Uentrop 300 MW_e prototipno postrojenje s gorivom na osnovi torija (THTR — Thorium Hochtemperaturreaktor). Očekuje se da će ovo postrojenje biti u pogonu 1983.

Reaktori AVR i THTR realizacija su tvrtke HRB (Hochtemperatur-Reaktorbau) iz grupacije švicarsko-njemačkog BBC-a.

Kao sljedeće planira se postrojenje za paralelnu proizvodnju električke energije i procesne pare za plinifikaciju ugljena. Električni izlaz trebao bi biti 600 —

* GHT — Gesellschaft für Hochtemperaturreaktortechnik, u okviru organizacije Interatom, koja je 100 % u vlasništvu KWU-a.

900 MW_e. Formirana je grupa korisnika za financiranje projekta; izvođenje projekta zajedno treba da provedu BBC/HRB, KWU/GHT* i NUKEM. Do 1985. treba biti gotovo detaljno planiranje, a od 1986. do 1992. izgradnja. Temperatura rashladnog plina ovdje je uzeta konzervativno sa 680 °C, što je dovoljno za paru od 530 °C. Za razliku od AVR i THTR ovo bi postrojenje koristilo uran-plutonijevo gorivo, s mogućnošću da se kasnije prijeđe na torijevo.

Zatim se želi realizirati prototip u kojem bi se visokotemperaturni reaktor upotrijebio samo za plinifikaciju ugljena (PNP — Prototypanlage nukleare Prozesswärme) s temperaturama 950 °C. Ulazak u izgradnju prototipa očekuje se krajem ovog desetljeća; na njemu radi tvrtka GHT.

Sljedeća linija razvoja ide u pravcu direktnog vezivanja visokotemperaturnog reaktora i plinske turbine (direktni ciklus). Turbina je pri tome integrirana u betonsku reaktorsku posudu (švicarko-njemački HHT projekt). Rješenje nekih tehničkih problema ovdje, međutim, zahtijeva dulji period (L21). S početkom gradnje može se računati krajem ovog desetljeća.

Zbog višeg stupnja termičkog iskorištenja i manjeg potroška urana očekuju se niži troškovi goriva ovih reaktora do 30 % u odnosu na PWR.

5.3. Fuzija

Osim SAD, SSSR-a, Japana, Francuske, Velike Britanije i Italije, i u SR Njemačkoj radi se na problemima kontrolirane termonuklearne fuzije (jedno postrojenje tipa TOKAMAK).

6. SSSR

Slično kao SAD, SSSR je aktivan na svim mogućim područjima razvoja novih tehnologija za proizvodnju energije.

Na području nuklearne energetike tu je razvoj brzih oplodnih reaktora. Na nekim problemima tog razvoja (hidrodinamički problemi i problemi prijenosa topline) prisutna je i Čehoslovačka. Također u nekim fundamentalnim radovima sudjeluju i neke druge zemlje SEV-a (L22).

Znatni se napori ulažu na korištenje nuklearne energije za industrijska i urbana grijanja. U toku je rad na izgradnji dvaju reaktora 500 MW_{th} samo za grijanje (gradovi Gorki i Voronježˇ). Radi se o reaktorima na osnovi VVER s niskim radnim pritiskom (L23).

U budućnosti se predviđa i proizvodnja topline za visokotemperaturne procese, kod temperatura reda 1000 °C; eventualno bi se išlo i na proizvodnju vodika primjenom nuklearne energije (L24). Konkretniji programi za ove dvije aplikacije nisu poznati.

Institut Kurčatov u neposrednoj blizini Moskve centralna je organizacija za istraživanje i razvoj na području mirnodopske nuklearne nauke i tehnologije u SSSR. Osnovni pravci rada instituta vezani su za usavršavanje VVER i RBMK reaktora, brze oplodne i visokotemperaturne plinom hlađene reaktore, kao i kontroliranu termonuklearnu fuziju (L25).

6.1. Poboljšane verzije VVER-a i rad na njegovu gorivnom ciklusu

VVER elektrane imaju niži stupanj termičkog iskorištenja od zapadnih PWR elektrana (vidi L1). Radi se na tome da se ovo iskorištenje povisi. One danas rade s nižim odgorom goriva (28 600 MWd/t prema oko 33 000 MWd/t kod zapadnih PWR). Ubuduće se planira povećanje odgora kod VVER na 40 000 MWd/t.

Postoje programi naučno-tehničke suradnje u okviru SEV-a o usvajanju 1000 MW_e VVER blokova i njihovu daljnjem poboljšavanju (L26).

Prema L27 u SSSR-u se radi na razvoju »posve sigurnog« reaktora s prirodnom cirkulacijom, u posudi od prednapregnutog betona, za potrebe proizvodnje električne energije i topline za grijanje. Kaže se da bi ovi reaktori trebali biti kompetitivni sa VVER 1000.

6.2. Rad na novim reaktorima i gorivnim ciklusima

Visokotemperaturni reaktori

Prema L27 u SSSR-u se radi na razvoju velikih visokotemperaturnih plinom hlađenih reaktora (HTGR). Detaljnije informacije se ne iznose.

Brzi oplodni reaktori (FBR)

Razvojni rad vezan uz ove reaktore u SSSR-u datira od 1949. god. (L24). Nakon iskustva s prvim eksperimentalnim i demonstracionim reaktorima BR-2, BR-5 i BOR-60 pušten je 1973. god. u komercijalni pogon brzi oplodni reaktor hlađen natrijem BN-350. To je postrojenje Ševčenko na Kaspijskom moru, koje pored 150 MW_e proizvodi i 120 000 t/dan pitke vode iz morske vode. Taj reaktor je petljaste izvedbe (»loop type«). Zatim je 1980. god. pušten u pogon brzi oplodni reaktor BN 600, nazivne snage 600 MW_e*, u Bjelojarsku kod Sverdlovska. Taj reaktor smatra se prethodnikom 800 i 1600 MW_e jedinica (BN 800 i BN 1600), koje se planiraju za ulazak u komercijalni pogon u 90-im godinama. BN 600 je integriranog ili bazenskog tipa (»pool type«, poput francuskog reaktora Super Phenix). Nakon 1990. trebala bi početi serijska izgradnja elektrane s BN 1600 (L24). Brzi oplodni reaktori trebali bi raditi kao bazne elektrane i proizvoditi novo gorivo za nove oplodne reaktore, kao i termalne reaktore. Termalni reaktori trebali bi služiti za pokrivanje dnevnih (dan — noć) varijacija, kao i sezonskih fluktuacija u potrošnji.

Naglasak u razvoju brzih oplodnih reaktora u SSSR-u je na reaktorima hlađenim natrijem. Međutim, radi se i na ovakvim reaktorima hlađenim plinom. Razmatra se kako helij, tako i plin N_2O_4 kao rashladni medij (L28).

---

* To je trenutno najveći FBR u pogonu u svijetu.

Gorivni ciklus FBR-a

U SSSR-u se osim na oksidnom radi i na karbidnom (te nitridnom i metalnom) gorivu za brze oplodne reaktore. Također se intenzivno radi na reprocesingu goriva za brze oplodne reaktore. Cilj je skratiti vrijeme koje gorivo provodi van reaktora na 1 godinu. U Dimitrovgradu (L28) realizirano je pokusno postrojenje za reprocesing FBR goriva. Prema L29 postojeći brzi oplodni reaktori u SSSR-u rade s uranovim gorivom i u SSSR-u je proveden jedino eksperimentalni reprocesing malih količina MOX goriva iz bridera (L29, diskusija. Podatak iz 1977. god.). Kasniji BN 600 ima plutonijevo gorivo.

6.3. Fuzija

Od 1950. godine radi se na termonuklearnoj fuziji.

LITERATURA

[1] J. Lakota, V. Knapp, V. Nastasić, V. Štambuk, B. Bordukalo, M. Horvatić: Usporedba teškovodnih PHWR i tlakovodnih PWR reaktora nuklearnih elektrana. Institut za elektroprivredu, Zagreb, lipanj 1980.

[2] Implementation of the yugoslavian nuclear power program in cooperation with France. May 1979.

[3] Izvještaj sa studijskog putovanja po programu tehničke suradnje sa Francuskom po temi »Nuklearna energija«, u organizaciji Zavoda za tehničku suradnju SRH. Svibanj 1981.
Informacije dobivene na tom studijskom putovanju.

[4] Belgrade seminar on PWR fuel cycle and fast breeder reactors. Jan. 1981., Framatom.

[5] Fast breeder reactors in Europe. Proceedings of ENC'79/Foratom VII Conference, Hamburg 1979.

[6] C. Aycoberry, COGEMA, W. Schüller, GWK, B. FWarner, BNFL: Reference fuel cycle, back end.
ENC 79/Foratom VII Proceedings.

[7] A new look at the case of fast breeder reactors. NEI, July 1981.

[8] The Candu nuclear power system. Seminar Dubrovnik, ožujak 1981. AECL-International.

[9] AECL nuclear research. Briefing for the yugoslaw nuclear experts delegation by A. J. Mooradian, May 1979.

[10] Izvještaj o posjeti delegacije JUMEL-a kanadskoj industriji Candu sistema, lipanj 1980.

[11] Informacije iz direktnih kontakata s predstavnicima AECL-a, Canatom-a i Ontario Hydro u Zagrebu, tokom 1981.

[12] EPRI PS 1141 SR. 1980-84 research and development program plan. Orerview and Strategy.

[13] Repport to the American Physical Society by the study group on nuclear fuel cycles and waste management. Review of Modern Physics, No. 1, Part II, Jan. 1978.

[14] Clinch River gets full funding. NEI, April 1981.

[15] US aims to be a more reliable suppller. NEI, Aug. 1981.

[16] Progress report of Germany, NEI, May 1981. p. 28-35

[17] Die deutsche Brütterentwicklung. Stand und Perspektiven. ATW/AT März 1981.

[18] W. J. Schmidt-Küster: Das Entsorgungskonzept der Bundesregierung. Atomwirtschaft-Atomtechnik, Juni 1980.

[19] Stand der Wiederaufarbeitungsprojektirung und WA-350 Konzept. ATW/AT, März 1981.

[20] Perspektiven der F+E Arbeiten auf dem Gebiet der Entsorgung. ATW/AT, März 1981.

[21] E. Baust, ...: Der Hochtemperaturreaktor — Stand der Entwicklung. Atomwirtschaft/Atomtechnik (ATW/AT) März 1981.

[22] Sotrudničestvo stran-členov SEV po razabotke energetičeskih reaktorov različnih tipov, uključaja nekotorie aspekti ih jadernih toplivnih ciklov.
Konferencija Salzburg, IAEA 1977, volumen 1.

[23] Study tour on nuclear power development, CSSR, GDR, USSR, november 1979.
IAEA, Vienna sept. 1979.

[24] Nuclear power in the USSR. IAEA Bulletin, April 1980.

[25] Ordena Lenina Institut atomnoj energii imeni I. V. Kurčatova. Atomenergoeksport.

[26] Sovet ekonomičeskoj vzaimpomošći. Postojannaja komissija po elektroenergiji. Protokol 26 zasedanija sekcii 5 po atomnim elektrostancijam. Erevan, sentjabrj 1980. g.

[27] District heating schemes with the use od nuclear sources (USSR). World energy conference, 1980. Vol. 1A.

[28] Programma i sostojanie rabot po bistrim reaktoram v SSSR. Konferencija Salzburg, IAEA 1977, volumen 1.

[29] Fizičeskie harakteristiki topliva bistrih energetičeskih reaktorov i ih vlijanie na toplivnij cikl.
Konferencija Salzburg, IAEA 1977, volumen 3.

KEY WORDS:

NUCLEAR POWER, DEVELOPMENT,
NEW NUCLEAR TECHNOLOGY

Paper presents, in condensed form, most important activities on improvement of current power reactors and their fuel cycle, as well as activities on development of new reactor concepts in conntries of some potential partners.

EIN BEITRAG ZUM KENNENLERNEN DER POTENTIELLER PARTNER FÜR ZUKÜNFTIGES KERNKRAFTWERKSPROGRAMM

3. Teil: FORSCHUNGS – UND ENWICKLUNGSARBEITEN, NEUE REAKTORKOZEPTE

Die wichtigsten Entwicklungsrichtungen an heutigen Kerkraftwerksreaktoren und ihren Brennstoffkreisslauf, als auch der Stand der Entwicklung neuer Reaktorkonzepte in den Ländern einiger potentieller Partner werden dargestellt.

К ВОПРОСУ ОБ ОЗНАКОМЛЕНИИ С ПОТЕНЦИАЛЬНЫМИ ПАРТНЕРАМИ ПО РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДСТОЯЩИХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
Часть III. Развитие и новая ядерная технология

В статье коротко отмечена важнейшая деятельность на поле дыльнешего развития нынешних реакторов и их цикла горения, а также развития новых реакторов некоторыми потенциальными партнерами по реализации предстоящих атомных электростанций.

Naslov pisca:

Prof. dr Josip Lakota, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, 41000 Zagreb

Uredništvo primilo rukopis
1982 — 06 — 22

TPK

INDUSTRIJA TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA, PROCESNE OPREME I KOTLOVA s n. sol. o. OOUR-a, ZAGREB

Telefon: (041) 216-666 * Telegram: TEPEKA — Zagreb * Telex: 21-319 YU TPK ZG

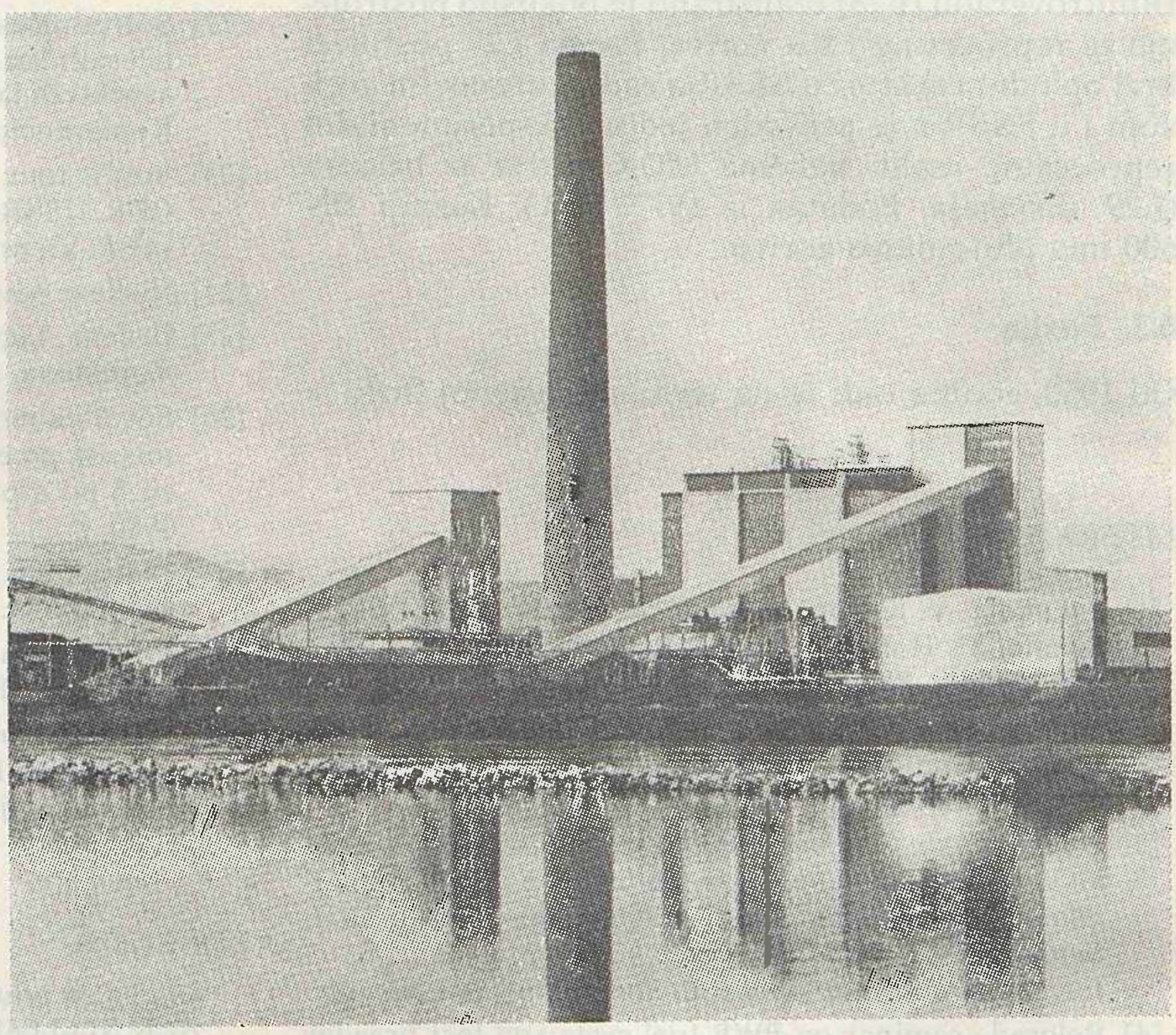
Projektira

Proizvodi

Konstruira

Montira

Izvodi



STACIONARNE KOTLOVE

po vlastitoj dokumentaciji i u suradnji do najvećih učina, tlakova i temperatura pare ili vode: za centralna grijanja • za daljinska grijanja • za tehnološke procese • za pogon parostrojeva • za baznu energetiku

BRODSKE KOTLOVE

po vlastitoj dokumentaciji i po licenci: glavne: • pomoćne: na naftu, na ispušne plinove, kompozitne itd.

ELEMENTE KOTLOVA

bubnjeve • cijevne sisteme • zagrijače vode • zagrijače zraka • pregrijače pare • čelične konstrukcije itd.

OPREMU KOTLOVNICA

uređaje za kemijsku pripremu vode • uređaje za toplinsku pripremu vode • cjevovode • hladnjake pare • spremnike goriva • razne posude pod tlakom • prečistače dimnih plinova • limene dimnjake • uređaje za transport goriva itd.

UREĐAJE ZA LOŽENJE

nepokretne roštilje • pokretne roštilje • mlinska ložišta • plinska ložišta • pneumatska ložišta • ložišta za drvnu piljevinu i otpatke • ložišta za ulja • ložišta za plin • drobilice i izbacivače šljake itd.

OPREMU ZA PROCESNU INDUSTRIJU

za petrokemijsku industriju • za farmaceutsku industriju • za prehrambenu industriju • za industriju građevinskog materijala • za metalurgiju itd.

BRODSKU OPREMU

spremnike • bojlere • hidrofore • rashladnike • zagrijače itd.

ARMATURE

ventile ravne, kose i kutne: zaporne, zapornoodbojne, odbojne, regulacione, sigurnosne • hvatala nečistoće • glave za napajanje • termodinamička odvajala kondenzata • kondezne lonce • vodokaze • regulatore vodostaja • ispusne pipce • slavine • prirubnice za navarivanje itd.

ELEMENTE ENERGETSKIH UREĐAJA

posude pod tlakom • izmjenjivače topline • razne spremnike • podnice itd.

OPREMU ZA TEHNOLOŠKE PROCESE

za zagrijavanje i toplinske obrade • za transport limova, profila i cijevi • pomoćnu za zavarivanje • za uvaljavanje cijevi itd.

PRIBORE

za pogonska ispitivanja vode • za utvrđivanje kvalitete radiograma • za toplinska mjerenja itd.

SERVISIRANJE ENERGETSKIH POSTROJENJA

REKONSTRUKCIJE ENERGETSKIH POSTROJENJA

LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

defektoskopska • kemijska • metalografska • mehanička itd.

ATESTACIJU ZAVARIVAČA

RAZVOJNA ZNANSTVENA ISTRAŽIVANJA

MODEL ZA ANALIZU DINAMIČKIH KARAKTERISTIKA DISTANTNIH RELEJA

mr Božidar Filipović, mr Srđan Žutobradić, Zagreb i Damir Karavidović, Osijek

UDK 621.316.9
Prethodno saopćenje

Prijelazne pojave na VN vodovima mogu utjecati na ispravan rad relejne zaštite. Taj utjecaj ovisi o prirodi i intenzitetu tih pojava, te vrsti zaštite. Nakon nužnih teoretskih objašnjenja analizira se utjecaj prijelaznih pojava na VN vodovima sa serijskom kompenzacijom na rad distantne zaštite.

Ključne riječi: distantni relej, dinamičke karakteristike, analiza

1. UVOD

Razvoj statičke zaštite omogućio je da se u cijelosti realiziraju zahtjevi za ekstremno kratkim vremenima isklapanja kvara. To vrijeme smanjeno je na 10 — 20 ms, unutar kojega relej mora identificirati kvar i dati nalog za isklapanje. Vrijeme mjerenja i odluke pomaknuto je dakle u domenu u kojoj se događaju prijelazne pojave u elektroenergetskom sistemu (EES), mjernim transformatorima i samim relejima, pa je istraživanje tih fenomena postalo vrlo značajno. To vrijedi naročito za mreže najviših napona gdje se prirodno postavlja zahtjev za što kraćim vremenima, u kojima su istovremeno pogrešna isklapanja, zbog tranzijentnih pojava, najopasnija.

U članku se analizira utjecaj prijelaznih pojava na rad statičke distantne zaštite najprije općenito, a nakon toga se promatraju prilike na VN vodovima sa serijskom kompenzacijom.

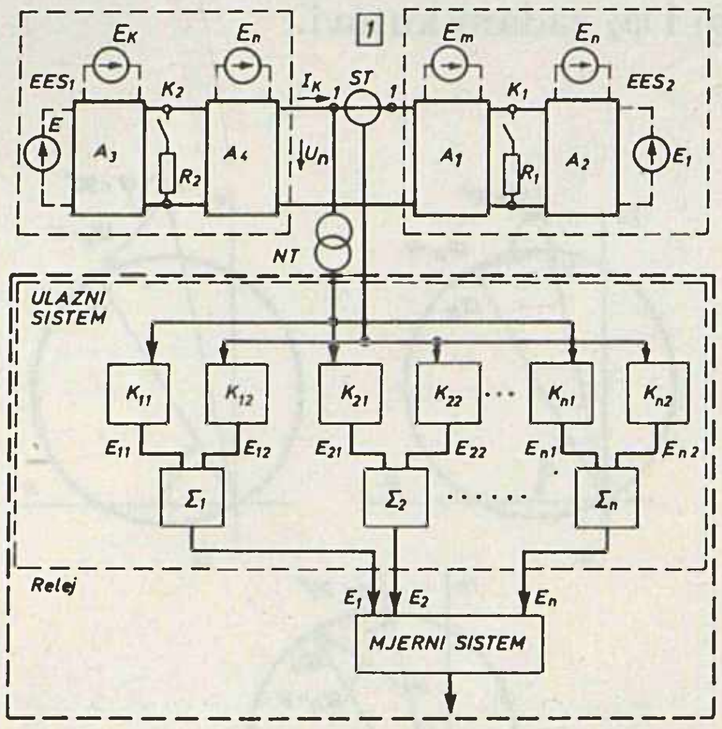
2. EKVIVALENTNA SHEMA DISTANTNOG RELEJA I STATIČKE KARAKTERISTIKE ISKLAPANJA

Sve elemente EES (vodove, transformatore, generatore) možemo u normalnom i havariranom stanju definirati pomoću napona, struje i frekvencije odnosno njihovih kombinacija faznog kuta, snage i sl. Napon i struja posredstvom naponskih (NT) i strujnih (ST) mjernih transformatora dovode se u našem primjeru na distantni relej koji štiti visokonaponski vod (sl. 1).

Sasvim pojednostavljeno možemo kazati da se distantni relej sastoji od dva osnovna dijela: ulaznog sistema u kojem se sekundarne veličine napona i struje transformiraju i kombiniraju na odgovarajući način, i mjernog sistema, na kojeg dovodimo tako formirane veličine. Ulazni sistem sadrži strujne i naponske međutransformatore, otpornike prigušnice, vremenske filtre, sumatore i sl. koji linearno preslikavaju ulazne veličine, pa na izlazu iz tog sistema dobivamo jednu ili više sinusoidalnih veličina koje predstavljaju linearne kombinacije struje i napona. Prema sl. 1. na mjerni sistem dovodimo veličine $E, \ldots .E_n$ koje su definirane jednadžbama:

$$\begin{aligned} E_1 &= k_{11}\, U - k_{12} I = k_{11}\,(Z - a_{11})I \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ E_n &= k_{n1}\, U - k_{n2} I = k_{n1}\,(Z - a_n)I \end{aligned} \qquad (1)$$

gdje su U i I napon i struja kratkog spoja na mjestu ugradnje releja, a $k_{11} \ldots . k_{12}$ koeficijenti koji definiraju pojedine blokove $K_{11} \ldots . K_{2n}$ u ulaznom sistemu releja.



Sl. 1. Ekvivalentna shema EES-a, mjernih transformatora i distantnog releja

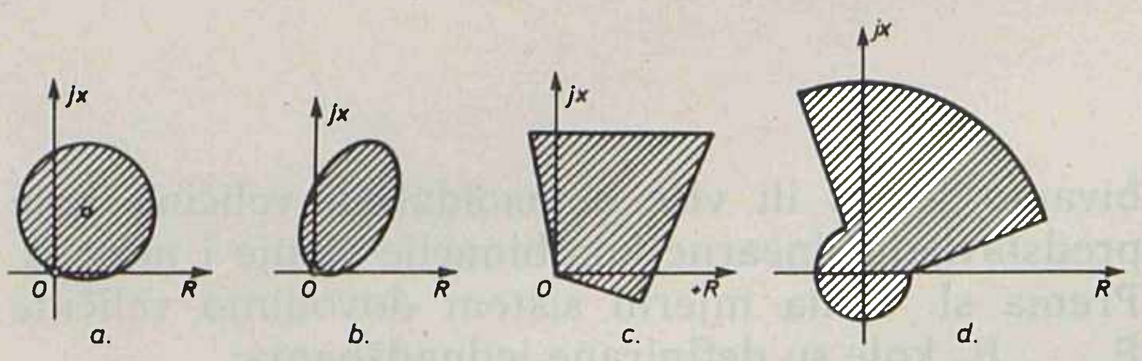
Algoritam komparacije po amplitudi, fazi ili po objema veličinama istovremeno sa zadanom veličinom, ili više električnih veličina međusobno, ostvaruje se pomoću mjernog sistema releja. Komparacijom više veličina, prema jednadžbi (1), moguće je kombinirajući varijante ulaznog i mjernog sistema realizirati releje s različitim karakteristikama isklapanja. Razvijeni su distantni releji s kružnim, eliptičkim, poligonalnim i kombiniranim karakteristikama isklapanja koje su prikazane na sl. 2.

Na osnovi tih, stacionarnih karakteristika isklapanja moguće je analizirati ponašanje releja i odrediti zo-

nu štićenja kod sinusnih poremećaja, tj. kod kratkih spojeva u EES. Razmotrit ćemo to na primjeru statičkog releja koji ima kružnu karakteristiku isklapanja (MHO karakteristika) što se dobiva faznom komparacijom dviju veličina. Mjerni sistem releja određuje fazni pomak između dviju veličina mjereći vrijeme njihove koincidencije. Jedna od veličina koje se kompariraju jest napon na mjestu kvara U, a druga je izvedena kao razlika napona $I \cdot Z_R$ i napona U, dakle

$$E_1 = U$$
$$E_2 = I \cdot Z_R - U \qquad (2)$$

gdje su U i I sekundarni napon i struja kvara a Z_R impedancija podešena na releju, koja u stvari predstavlja nadomjesnu impedanciju voda.

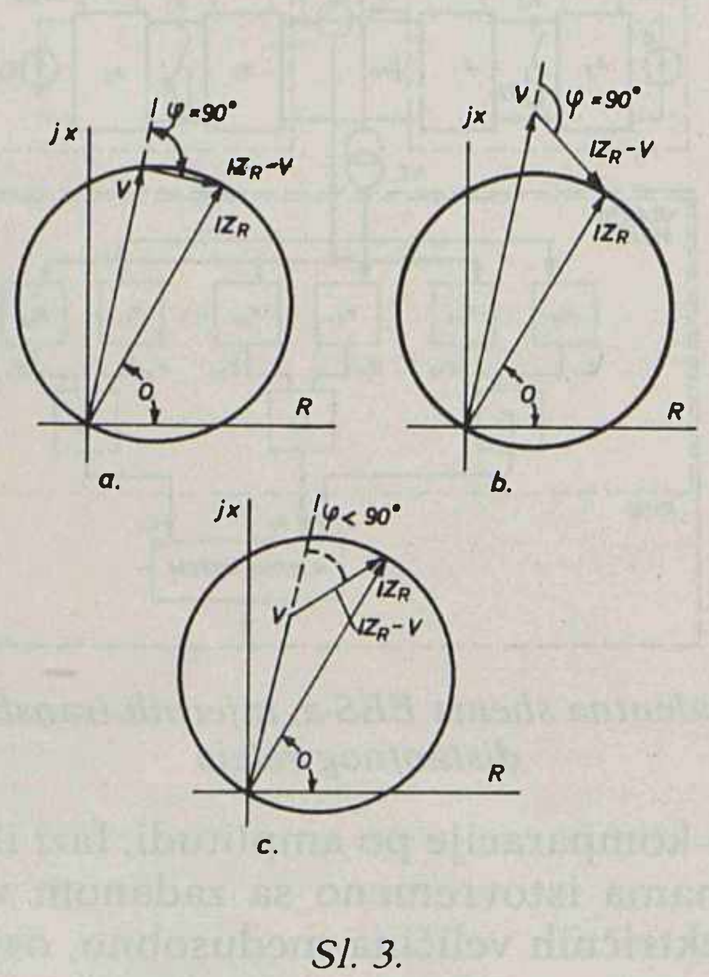


Sl. 2. Karakteristike isklapanja distantne zaštite

Na sl. 3. prikazani su rezultati komparacije za položaje kvara na granici dosega, te izvan i unutar štićene zone. Jednadžba komparacije u općem slučaju glasi:

$$\varphi_1 \leq \arg \frac{E_1}{E_2} \leq \varphi_2 \qquad (3)$$

gdje su φ_1 i φ_2 zadani kutovi.



Sl. 3.

Karakteristika isklapanja na sl. 3. (MHO krug) može realizirati i drugim kombinacijama napona i struje kvara. Kao primjer navodimo relej LZX5 BBC koji, prema (L. 1), za faznu komparaciju koristi ove veličine:

$$E_1 = U - I Z_A$$
$$E_2 = U + I Z_B \qquad (4)$$

gdje su Z_A i Z_B nadomjesne impedancije voda odnosno mreže na mjestu ugradnje releja. Ta karakteristika ne prolazi kroz ishodište, već je za iznos Z_B pomaknuta u treći kvadrant.

U pravilu se kod statičkih releja mjerenje faznog pomaka provodi tako da se veličine pretvore u nizove pravokutnih impulsa i izvrši linearna integracija signala koincidencije. Na taj način je mjerenje faznog pomaka — na osnovi kojega relej određuje da li je kvar unutar štićene zone ili izvan, dakle određuje udaljenost kvara — svedeno na mjerenje vremena koincidencije dvaju (ili više) signala.

3. DINAMIČKE KARAKTERISTIKE RELEJA KOD SINUSOIDALNIH POREMEĆAJA

Jednadžba (1) i karakteristike na sl. 2. vrijede za stacionarno stanje i uz pretpostavku sinusnih poremećaja. U prijelaznim stanjima situacija je znatno složenija jer sam EES, mjerni transformatori i ulazni sistem releja predstavljaju cjeline s vlastitim dinamičkim karakteristikama. Zbog toga struja i napon koji se dovode na mjerni sistem releja osim osnovne frekvencije sadrže slobodne oscilacije i aperiodske članove prouzrokovane prijelaznim pojavama u EES, mjernim transformatorima i samim relejima.

Ako se zbog jednostavnosti ograničimo samo na relej, možemo kazati da je svaki od blokova $K_{11} \ldots . K_{n2}$ na sl. 1. definiran prijenosnim funkcijama $K_{11}(p) \ldots . K_{2n}(p)$, što znači da su i amplitude i faze veličina $E_1 \ldots . E_n$ u (1) funkcije vremena. Ne upuštajući se u detaljnija obrazloženja, možemo za opću jednadžbu veličine koja se u prijelaznom stanju pojavljuje na mjernom sistemu releja pisati:

$$E_n(t) = k_{n1} I (Z - a_n) + I [Z \cdot q_{n1}(t) + q_{n2}(t)] - I_t [Z_t \cdot q_{n1}(t) + q_{n2}(t)] \qquad (5)$$

gdje su I_t, Z_t struja i impedancija sistema u normalnom stanju;

$q_{n1}(t)$, $q_{n2}(t)$ veličine kojima su opisane prijenosne karakteristike pojedinih elemenata releja.

U jednadžbi (5) pretpostavljeno je da EES i mjerni transformatori ne generiraju slobodne i aperiodske oscilacije (pretpostavljaju se dakle sinusoidalni poremećaji), pa može poslužiti za analizu vlastitih dinamičkih karakteristika samih releja.

Definirajući vezu između karakteristike releja i sistema u normalnom stanju i stanju nakon kvara (stacionarnom), jednadžba (5) omogućuje studiranje utjecaja parametara režima EES na veličinu prelaznih pojava.

Analiza prijelaznih pojava kompletne sheme na sl. 1, koja uključuje EES mjerne transformatore i relej, vrlo je složena i pretpostavlja rješavanje sistema linearnih i nelinearnih diferencijalnih, integralnih i algebarskih jednadžbi. Obično se zbog toga vrše različita pojednostavljenja, pa se analiza dinamičkih karakteristika releja obavlja uz pretpostavku linearnih parametara EES i mjernih transformatora, ponaša-

nje releja kod nesinusoidalnih poremećaja proučava se uz pretpostavku linearnosti elemenata releja itd.

4. KARAKTERISTIKE DISTANTNIH RELEJA KOD NESINUSOIDALNIH POREMEĆAJA U EES

U dosadašnjim razmatranjima definirali smo neke osnovne pojmove iz teorije distantnih releja, koji su nužni za daljnja razmatranja, pretpostavljajući pri tome sinusoidalne poremećaje u EES.

Međutim, poremećaji u EES nisu, kako smo to spomenuli, za vrijeme trajanja prijelaznih pojava sinusoidalni jer kratki spojevi ili komutacije prouzrokuju slobodne subharmoničke, harmoničke i aperiodske oscilacije struje i napona koje se, dakako, prenose na mjerni sistem releja. Karakteristične veličine slobodnih članova (amplitude, frekvencije i fazni pomaci) definirane su parametrima EES, mjernih transformatora i samih releja. Sve te slobodne članove možemo pojednostavljeno nazvati signalima smetnje e_{nf} koji se superponiraju korisnom signalu e_{no} osnovne frekvencije (50 Hz), pa za neku veličinu koja se dovodi na mjerni sistem vrijedi:

$$e_n = e_{no} + e_{nf} \qquad (6)$$

Jednadžbu napona u prelaznom stanju možemo napisati ovako:

$$u = U \cdot \sin(\omega_o t + \varphi_u) + \sum_{p=1}^{k} U_p \cdot \sin(\omega_p t + \varphi_{pu}) \qquad (7)$$

ili skraćeno

$$u = \mathrm{Im}[U \cdot \exp(j\omega_o t) + \sum_{p=1}^{k} U_p \cdot \exp(j\omega_p t)] \qquad (8)$$

a struje

$$i = I \cdot \sin(\omega_o t + \varphi_i) + \sum_{q=1}^{k} I_q \cdot \sin(\omega_q t + \varphi_{qi}) \qquad (9)$$

odnosno

$$i = \mathrm{Im}[I \cdot \exp(j\omega_o t) + \sum_{q=1}^{k} I_q \cdot \exp(j\omega_q t)] \qquad (10)$$

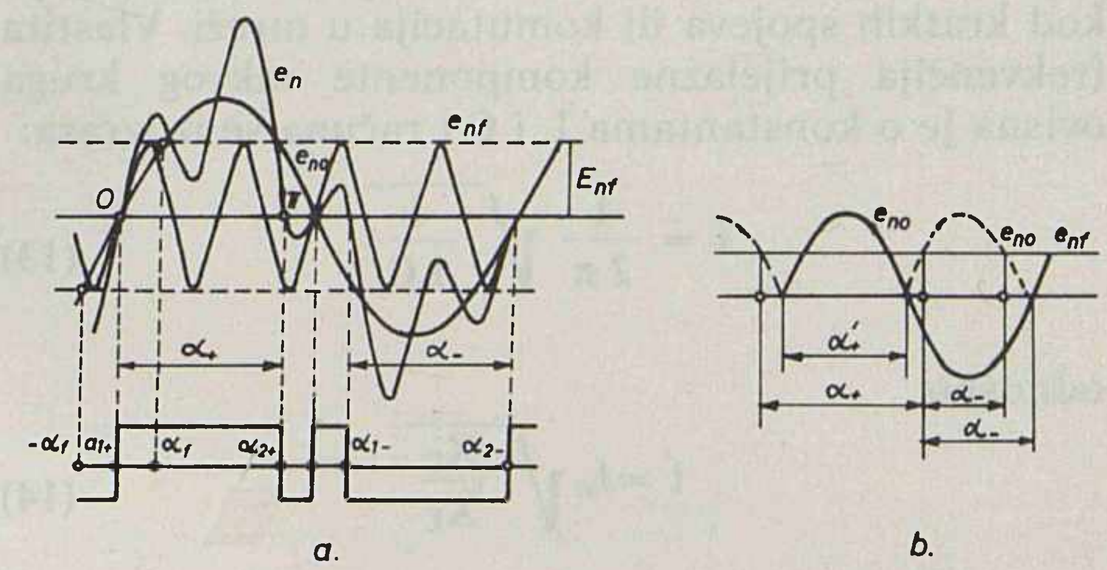
Uvažavajući jednadžbu (1) za signal smetnje, dobivamo:

$$e_{nf} = \mathrm{Im}[\sum_{p=1}^{k} k_{n1}(j\omega_p) U_p \cdot \exp(j\omega_p t) + \sum_{p=1}^{k} k_{n2}(j\omega_q) I_q \cdot \exp(j\omega_q t)] \qquad (11)$$

gdje su $k_{n1}(j\omega_p)$ i $k_{n2}(j\omega_q)$ kompleksni koeficijenti ulaznog sistema releja za n-tu veličinu s frekvencijama ω_p i ω_q.

Na sl. 4. prikazan je utjecaj signala smetnji na mjerenje faznog komparatora; na sl. 4.2. signal smetnje je sinusoidalan $\omega_f \neq \omega_o$, a na sl. 4.b signal smetnje je istosmjeran ($\omega_f = o$) što imamo u slučaju sporo prigušenih aperiodskih članova.

Očito da signali smetnji djeluju na veličinu korisnog signala, koji je na sl. 4. predočen pravokutnim impulsom, smanjujući ili povećavajući njegovo trajanje. Ako sada zamislimo da nam nesinusoidalna veličina sa sl. 4.a ili 4.b predstavljaju veličinu E_1 u jednadžbama (2) ili (4) koja se komparira s drugom sinusoidalnom ili nesinusoidalnom veličinom E_2, lako možemo zaključiti da signali smetnje prouzrokuju neregularnosti u vremenu koincidencije. Te neregularnosti, koje kod komparacije sinusnih veličina ne postoje, sastoje se u tome da se vrijeme koincidencije mijenja za pojedine »poluperiode«. Pojednostavljeno kazano, to znači da se mijenja doseg releja, pa relej može kvar izvan štićene zone izmjeriti kao unutarnji i obratno, te na osnovi toga pogrešno isklopiti ili blokirati isklapanje.



Sl. 4. Utjecaj signala smetnji na rad faznog komparatora

Točne veličine graničnih kuteva α_1 i α_2 na sl. 4, i na osnovi njih vremena koincidencije odnosno faznog pomaka među signalima koji se kompariraju, možemo za svaki konkretni slučaj odrediti kao rješenje transcedentnih jednadžbi koje dobivamo kombinirajući izraze (6) – (11):

$$E_{no} \cdot \sin(\omega_o t + \varphi_{no}) + \sum_{f=1}^{n} E_{nf} \cdot \sin(\omega_f t + \varphi_{nf}) = o \qquad (12)$$

gdje su E_{no}, ω_o i φ_{no} amplituda, frekvencija i fazni pomak osnovnog signala (50 Hz), a E_{nf}, ω_f i φ_{nf} iste veličine signala smetnji. Zbog velikog broja kombinacija veličina u izrazu (12) njegova praktična primjena moguća je jedino korištenjem elektroničkog računala, za što je razvijen odgovarajući program.

5. PRIJELAZNE POJAVE NA VN VODOVIMA SA SERIJSKOM KOMPENZACIJOM

Serijska kompenzacija ugrađuje se na vodovima najviših napona (400 kV) da bi se povećala prijenosna moć voda i stabilnost prijenosa. Efekt kompenzacije ne ovisi samo o ukupnoj veličini kondenzatorskih baterija, već i o njihovu broju i razmještaju na vodu.

U principu, induktivnu reaktanciju voda možemo u cijelosti kompenzirati, ali se u praksi pojavljuju ograničenja zbog problema u radu zaštite, prenapona pojave samouzbude generatora i sl. Za umjerene veličine kompenzacije (oko 40 % reaktancije voda) obično se instalira jedna baterija, a za veće stupnjeve kompenzacije (do 80 %) nužno je rasporediti baterije ba-

rem na dva mjesta duž voda. Više o određivanju optimalne snage i mjesta kompenzacije može se naći u (L. 3,4).

Zaštita vodova sa serijskom kompenzacijom problematična je iz dva razloga. Prvo, reaktancija baterije je »negativna«, i, drugo, reaktancija voda, gledano s mjesta ugradnje releja, mijenja se kod prorade zaštitnog iskrišta kojime se obično štite baterije od prenapona. Proradom iskrišta baterija se kratko spaja, a povećana reaktancija izaziva smanjenje struje kratkog spoja i dovodi u pitanje osjetljivost zaštite.

Provedene analize zaštite, npr. u (L. 5), ograničavale su se na stacionarna stanja. Nije se razmatrao efekt podsinhronih (subharmoničkih) pojava, karakterističnih za ovakve serijske LC krugove koje nastaju kod kratkih spojeva ili komutacija u mreži. Vlastita frekvencija prijelazne komponente takvog kruga ovisna je o konstantama L i C i računa se iz izraza:

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}} \tag{13}$$

odnosno

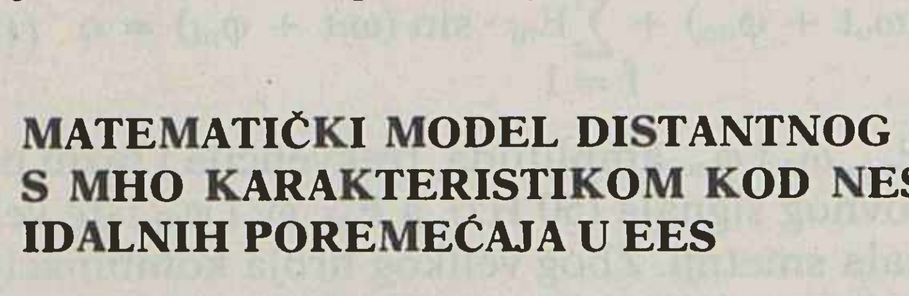
$$f = f_o\sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \tag{14}$$

gdje je f_o frekvencija sistema (50 Hz). U ovisnosti o stupnju kompenzacije dalekovoda frekvencija prijelazne pojave kreće se u granicama 10-40 Hz, a trajanje i amplituda prijelazne pojave mogu u određenim okolnostima biti značajni. Više o tome može se naći u /L. 6,7,8/. Ovdje ćemo, koristeći se prethodnim općim teoretskim razmatranjima, analizirati utjecaj subharmoničkih oscilacija kao tipičnih prijelaznih pojava u EES, na ponašanje distantne zaštite.

6. MATEMATIČKI MODEL DISTANTNOG RELEJA S MHO KARAKTERISTIKOM KOD NESINUSOIDALNIH POREMEĆAJA U EES

Ako naponi i struje osim osnovne frekvencije sadrže i harmoničke članove za analizu ponašanja releja ne možemo više koristiti statičke karakteristike niti vektorske dijagrame na slikama 2. i 3, već tim slučajevima za određivanje vremena koincidencije ili faznog pomaka moramo koristiti analitičku metodu. Pokazat ćemo primjenu te metode na primjeru statičkog distantnog releja s MHO karakteristikom prikazanom na sl. 3.

Nadomjesna shema voda sa serijskom kompenzacijom prikazana je na sl. 5.



Sl. 5. Nadomjesna shema voda
Z_V— impendacija voda
X_C— reaktancija baterije

U slučaju kratkog spoja, npr. u stanici B, relej dobiva napon kvara:

$$v = e_1 = iR + L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int idt \tag{15}$$

Uvrštavajući iz (9) izraz za struju dobivamo:

$$e_1 = R[I\sin(\omega_o t+\varphi_i) + \sum_{q=1}^{k} I_q \sin(\omega_q t + \varphi_{qi})] +$$
$$+ L\frac{d}{dt}[I\sin(\omega_o t+\varphi_i) + \sum_{q=1}^{k} I_q \sin(\omega_q t+\varphi_{qi})] +$$
$$+\frac{1}{C}\int[I\sin(\omega_o t+\varphi_i) + \sum_{q=1}^{k} I_q \sin(\omega_q t+\varphi_{qi})]dt \tag{6}$$

U našem slučaju za shemu na sl. 5, pretpostavit ćemo da se u sistemu generira samo jedna frekvencija slobodnih oscilacija, pa jednadžba (16) prelazi u:

$$e_1 = R[I\sin(\omega_o t+\varphi) + I_1\sin(\omega_1 t+\varphi_1)] +$$
$$+ L[I\omega_o\cos(\omega_o t+\varphi)$$
$$+ I_1\omega_1\cos(\omega_1 t+\varphi_1)] + \frac{1}{C}[-\frac{I}{\omega_o}\cos(\omega_o t+\varphi) -$$
$$-\frac{I_1}{\omega_1}\cos(\omega_1 t+\varphi_1)] \tag{17}$$

Na nadomjesnoj impedanciji u releju dobivamo pad napona ovisan o struji kvara:

$$v_R = L_R\frac{di}{dt} + R_R i \tag{18}$$

gdje su L_R i R_R induktivitet i otpor nadomjesne impedancije. Koristeći izraz (9), jednadžba (18) prelazi u:

$$v_R = R_R[I\sin(\omega_o t+\varphi_i) + \sum_{q=1}^{k} I_q \sin(\omega_q t+\varphi_{qi})] +$$
$$+ L_R\frac{d}{dt}[I\sin(\omega_o t+\varphi_i) + \sum_{q=1}^{k} I_q \sin(\omega_q t+\varphi_{qi})] \tag{19}$$

odnosno, uz pretpostavku da postoji samo jedna frekvencija slobodnih oscilacija,

$$v_R = R_R / I\sin(\omega_o t+\varphi) + I_1\sin(\omega_1 t+\varphi_1) / +$$
$$+ L_R / I\omega_o\cos(\omega_o t+\varphi) + + I_1\omega_1\cos(\omega_1 t+\varphi_1) / \tag{20}$$

Druga veličina koju dovodimo na mjerni sistem releja je prema (2) jednaka razlici napona:

$$v_\Delta = e_2 = v_R - v \tag{21}$$

ili

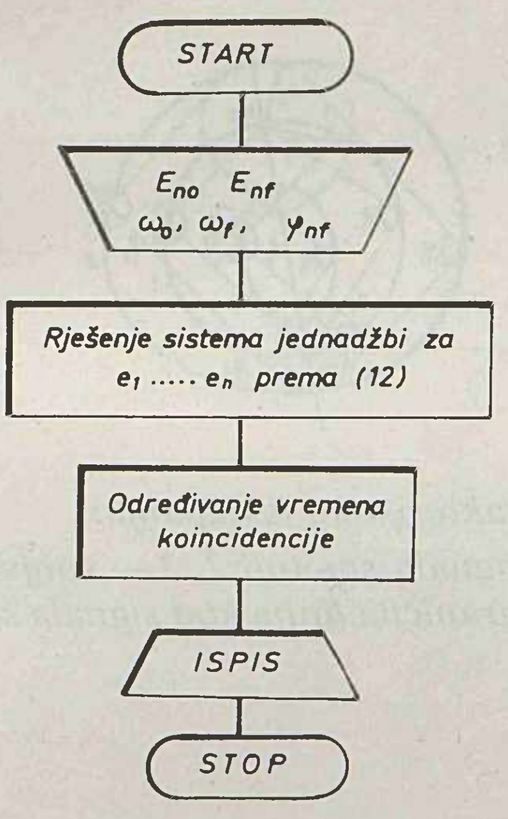
$$e_2 = (R_R - R)[I\sin(\omega_o t+\varphi) + I_1\sin(\omega_1 t+\varphi_1)] +$$
$$+ (_R - L)[I\omega_o\cos(\omega_o t+\varphi) +$$
$$I_1\omega_1\cos(\omega_1 t+\varphi_1)] +$$
$$+\frac{1}{C}[\frac{I}{\omega_o}\cos(\omega_o t+\varphi+\frac{I_1}{\omega_1}\cos(\omega_1 t+\varphi_1)] \tag{22}$$

Treba uočiti da se u jednadžbama (15) — (22), za razliku od (1) — (4), računa s trenutnim veličinama, pa su zbog toga korišteni i odgovarajući simboli.

Jednadžbe (17) i (22) predstavljaju specijalne slučajeve opće jednadžbe (12) i odnose se na distantni relej s MHO karakteristikom isklapanja koji štiti visokonaponski vod sa serijskom kompenzacijom. Zbog jednostavnosti, pretpostavljeno je da se u sistemu generiraju slobodne oscilacije samo jedne frekvencije. Dakako, da se za druge tipove distantnih releja i druge vrste prijelaznih pojava mogu iz (12) izvesti adekvatni izrazi.

Korištenjem programa za el. računalo razvijenog za rješavanje opće jednadžbe (12) analizirat ćemo pomoću izraza (17) i (22) ponašanje distantnog releja za različite amplitude i frekvencije subharmoničkih oscilacija.

Pojednostavljeni blok-dijagram prikazan je na sl. 6.

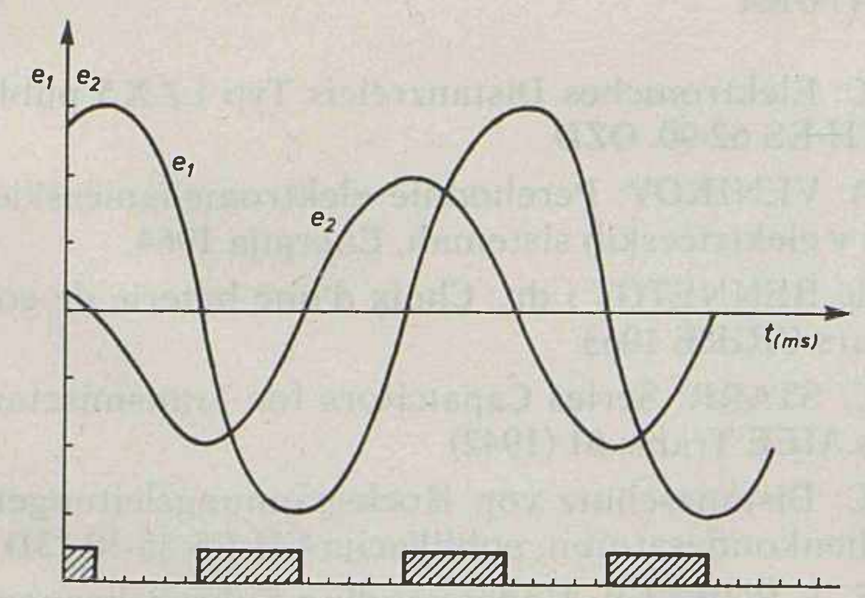


Sl. 6. Blok-dijagram proračuna

7. PRORAČUN I ANALIZA REZULTATA

Pretpostavit ćemo da za vod na sl. 5. stupanj serijske kompenzacije iznosi 70%. Doseg prvog stupnja releja uzet je, zbog jednostavnosti, od sabirnica A do sabirnica B, a kut voda i kut maksimalnog dosega releja su 85⁰ odnosno 75⁰.

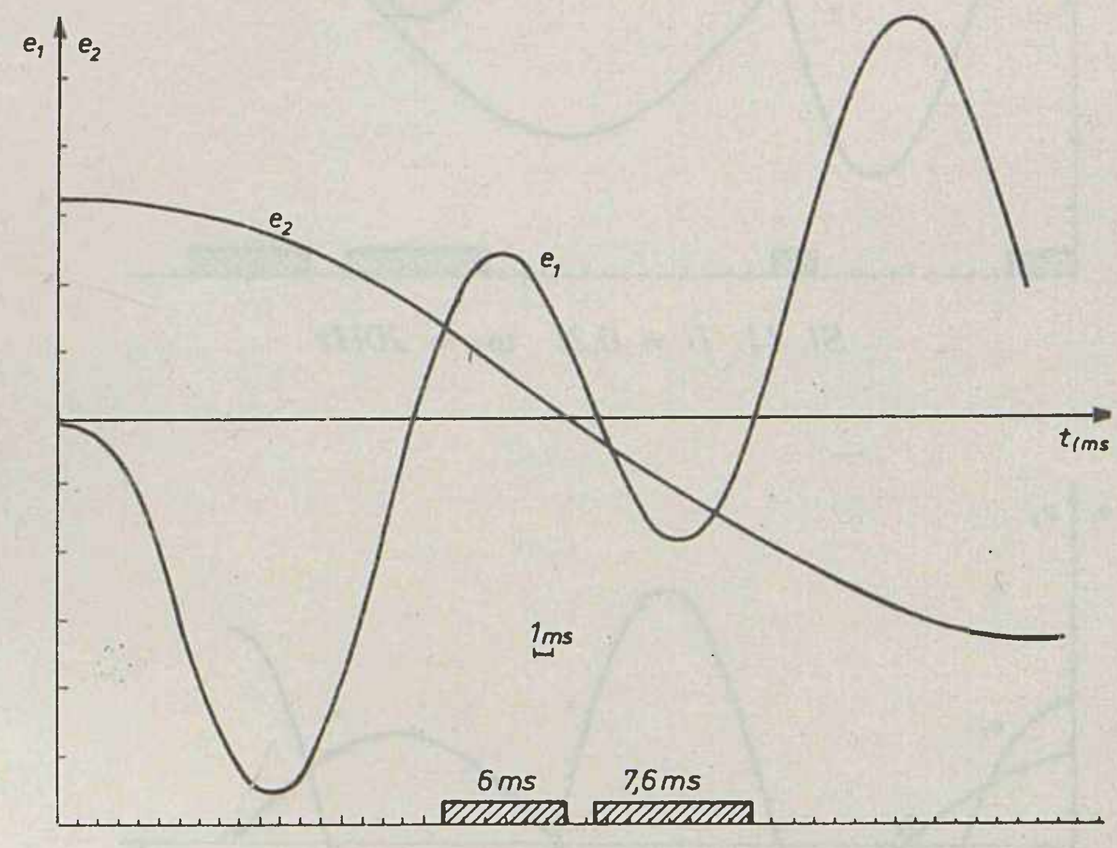
Kvar na granici štićene zone, tj. u stanici B, za slučaj da nema podsinhronih oscilacija prikazan je na sl. 7.



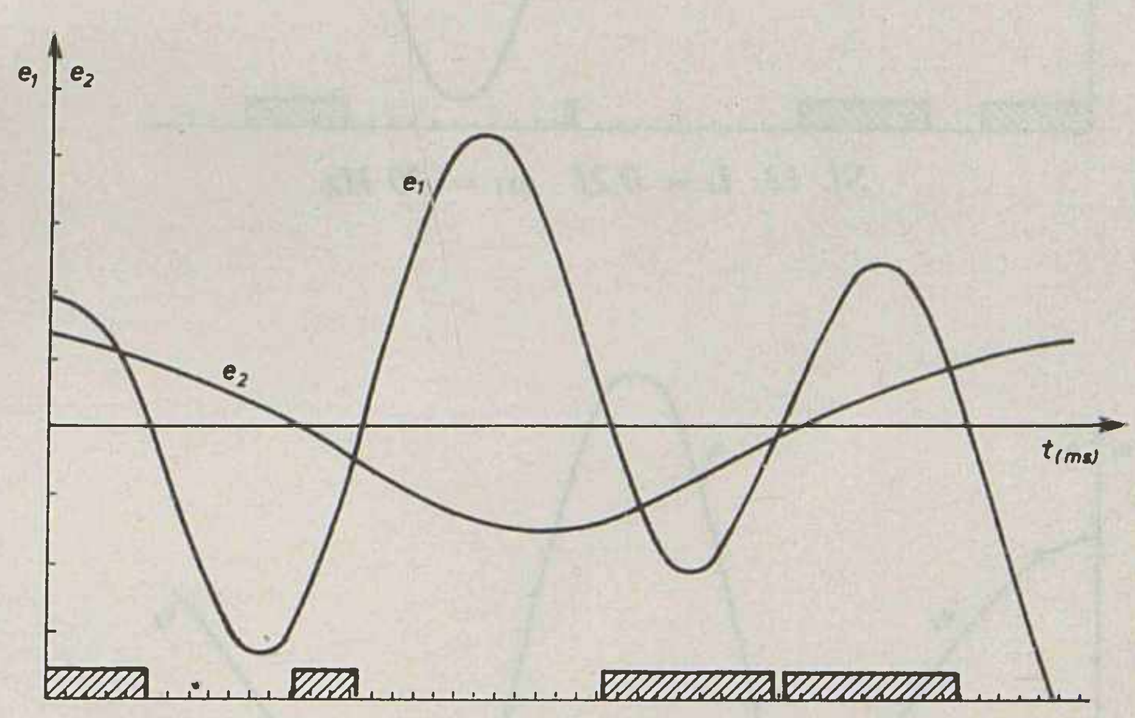
Sl. 7. Kvar u TS B bez supharmoničkih oscilacija

Iz slike se vidi da je vrijeme koincidencije 5 ms što odgovara faznom pomaku od 90⁰ koji se dobiva za kvar na granici štićenja. Amplituda e_2 u ovom slučaju znatno je manja od e_1 pa je na sl. 7 njena vrijednost povećana.

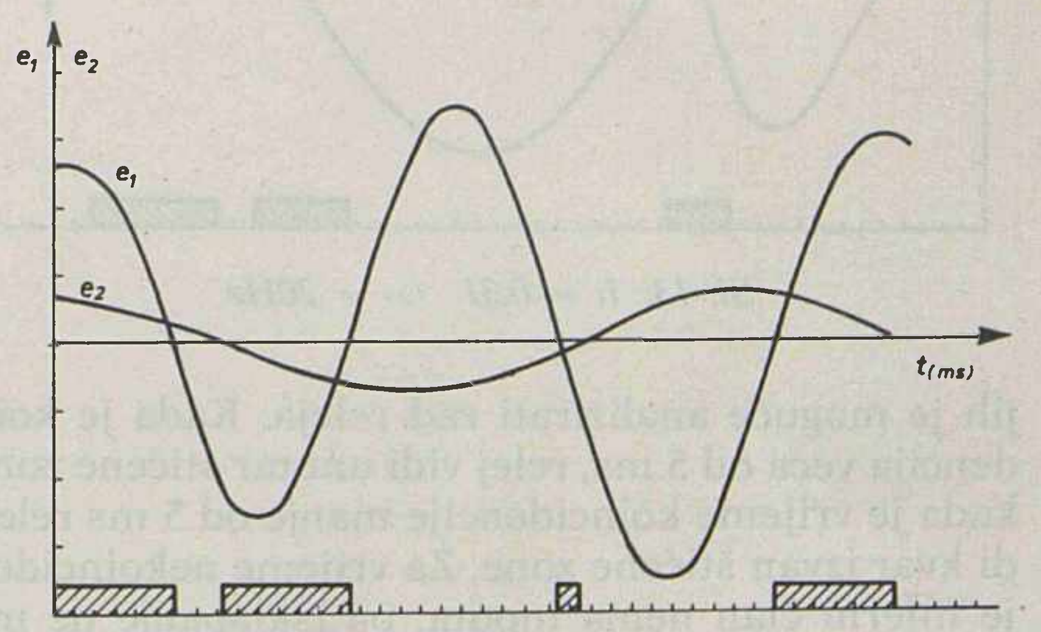
Na slikama 8 — 13. prikazana je vremenska promjena veličine e_1 i e_2 i određeno vrijeme koincidencije za različite frekvencije i amplitude podsinhrone komponente u slučaju kvara na granici štićene zone, iz ko-



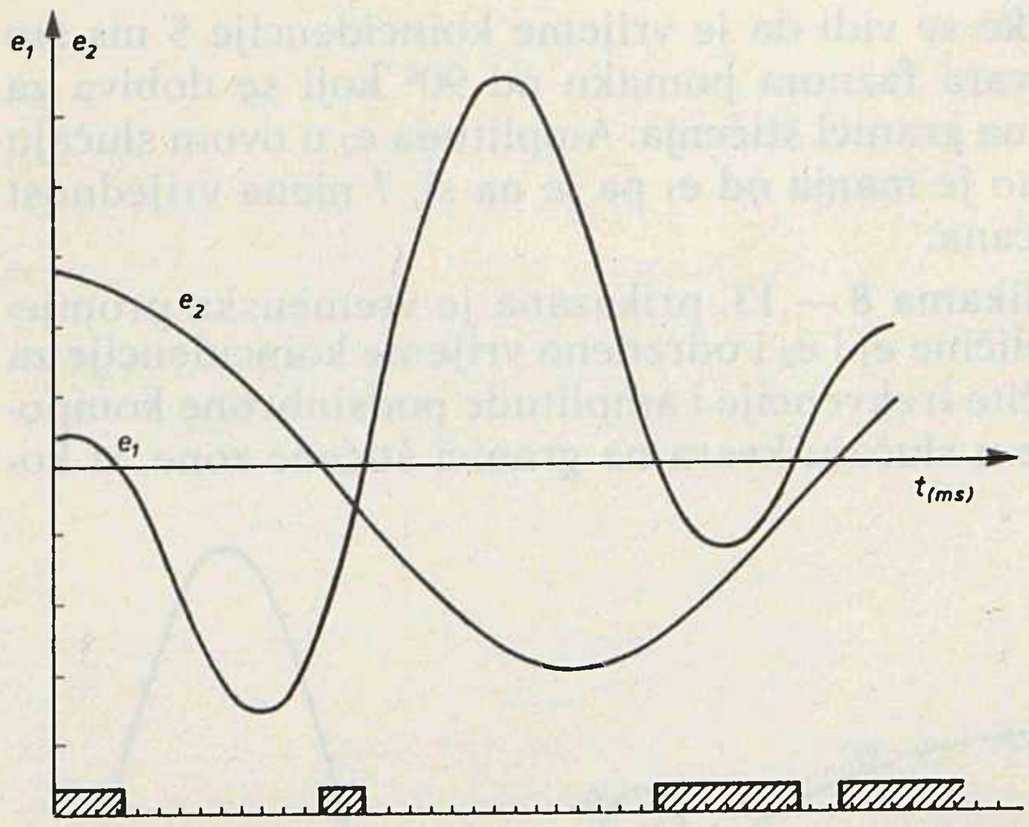
Sl. 8. $I_1 = 0{,}1I$ $\omega_1 = 10Hz$



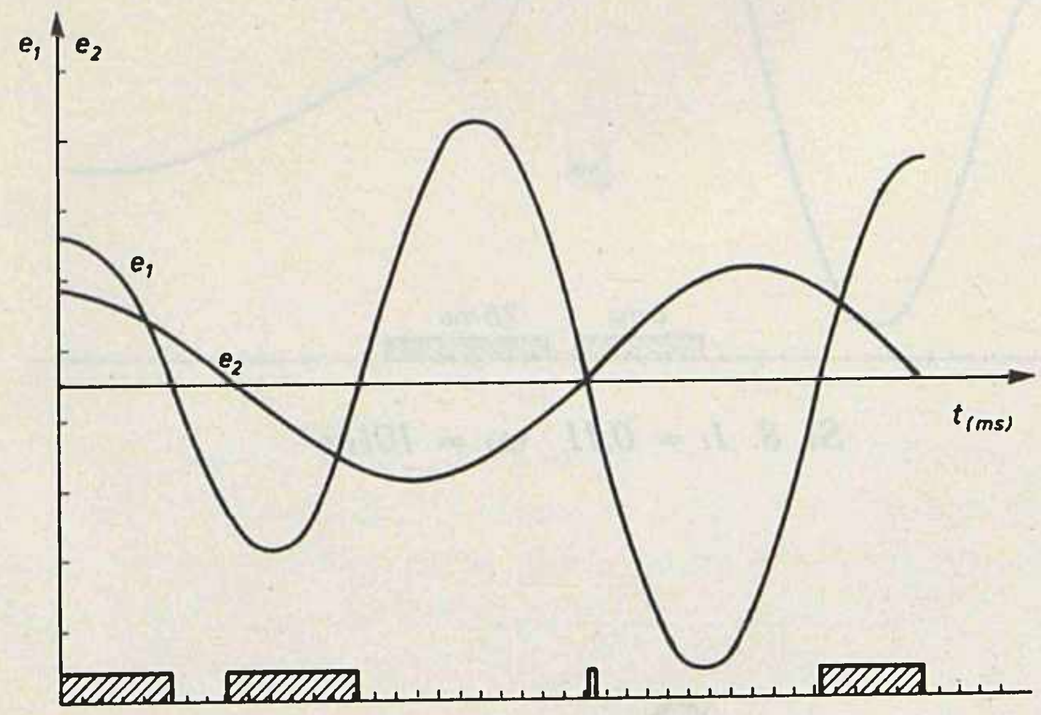
Sl. 9. $I_1 = 0{,}1I$ $\omega_1 = 20Hz$



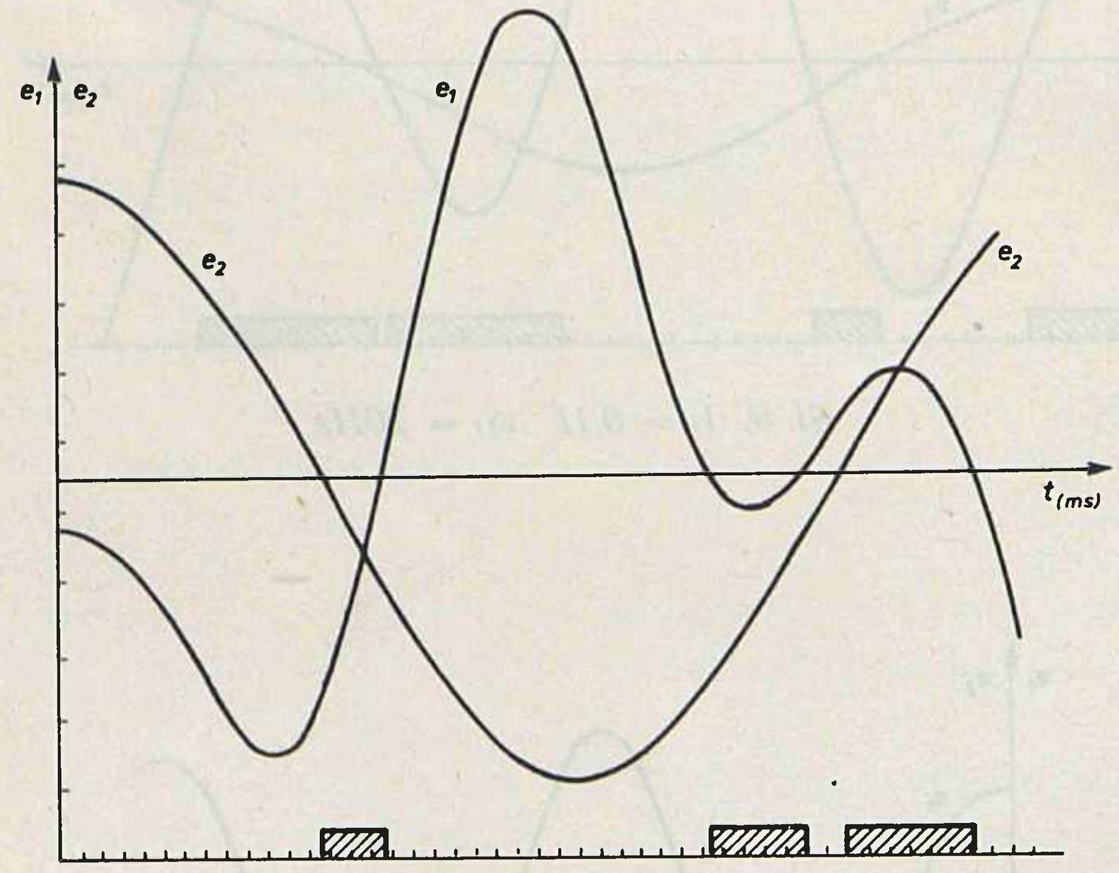
Sl. 10. $I_1 = 0{,}1I$ $\omega_1 = 30Hz$



Sl. 11. $I_1 = 0{,}2I$ $\omega_1 = 20Hz$



Sl. 12. $I_1 = 0{,}2I$ $\omega_1 = 30\ Hz$



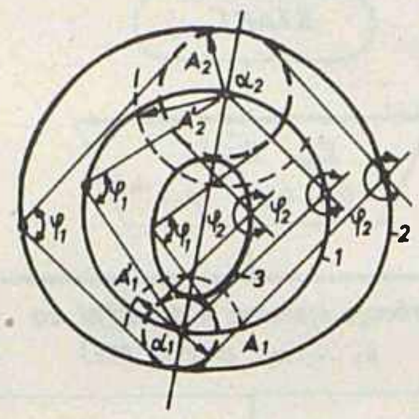
Sl. 13. $I_1 = 0{,}3I$ $\omega_1 = 20Hz$

jih je moguće analizirati rad releja. Kada je koincidencija veća od 5 ms, relej vidi unutar štićene zone, a kada je vrijeme koincidencije manje od 5 ms relej vidi kvar izvan štićene zone. Za vrijeme nekoincidencije mjerni član nema inputa, pa isklapanje ne može uslijediti.

Usporedimo li sl. 7. sa slikama 8 — 13, vidimo da se relej ponaša potpuno neregularno. Na primjer, na sl. 8. relej najprije blokira 57 ms, zatim imamo koincidenciju 6 ms, nekoincidenciju 4 ms, koincidenciju 7,6 ms, blokiranje itd., i to sve za istu udaljenost kvara (na granici štićene zone). Slične devijacije vremena koincidencije i nekoincidencije vidljive su i kod ostalih simulacija kvara.

S porastom frekvencije smetnje modulacija veličine e_1 smanjuje se, a ujedno se smanjuje amplituda signala e_2. Nadalje, kada se frekvencija smetnje približava sinhronoj frekvenciji 50 Hz, vrijeme koincidencije signala postaje duže, a vrijeme praznog hoda sve kraće.

Na sl. 14. prikazana je pregledno deformacija MHO karakteristike kod prisutnosti signala smetnji u ulaznim veličinama e_1 i e_2.



Sl. 14. MHO karakteristika isklapanja:
1 — bez signala smetnji 2, 3 — vanjska i unutrašnja granična linija kod signala smetnji

ZAKLJUČAK

U članku je obrazložen model koji omogućuje analizu ponašanja distantnih releja kod nesinusoidalnih ulaznih veličina kada nije moguće korištenje statičkih karakteristika isklapanja. Primjena modela prikazana je na primjeru releja sa MHO karakteristikom za slučaj podsinhronih signala smetnji, koji se pojavljuju kod kratkih spojeva na vodovima sa serijskom kompenzacijom i koji bitno utječu na doseg releja. Model se, dakako, može koristiti za analizu različitih karakteristika distantnih releja kod različitih vrsta signala smetnji.

LITERATURA

[1] BBC: Elektroniches Distanzreleis Typ LZX5 publikacija CH-ES 62-90. OZD

[2] V. A. VENIKOV: Perehodnie elektromehaničeskie procesi v električeskih sistemah, Energija 1964.

[3] C. de BENNETOT i dr.: Choix d'une baterie de condesateurs CIGRÉ 1963.

[4] E. C. STARR: Series Capatcitors for Transmiscion Circuts AIEE Trans. 61 (1942)

[5] BBC: Distanzschutz von Hochspannungsleitungen mit Reihenkondesatoren, publikacija CH-ES 35-30.13D

[6] C. E. J. BOWLER: Understanding Subsynchrouons Rezonance, IEEE PES Winter Met. N. York 1976.

[7] M. C. HALL: Experience whit 500 kV Subsynchronous Resonance and Resulting Turbine Generator Shaft Domage IEEE PES, Winter Met. N. York 1975.

[8] D. N. WALKER: Results of Subsynchronous Resonance Test at Mohave, IEEE PES Winter Met. N. York 1975.

KEY WORDS:

DISTANT RELAY, DINAMIC CHARACTERISTICS, ANALYSES

Some transients on high voltage line can have impact on proper operation of relay protection. This Impact depends on nature and intensitiy of phenomena and on type of protection. After some theoretical explanation, an impact of transitional phenomena on high voltage lines with serial compensation on operation of distant protection is analyzed.

EIN MODELL ZUR ANALYSE DYNAMISCHER KENNDATEN VON DISTANZRELAIS

Ausglsichsvorgänge in Hochspannungsleitungen können ein ordnungsmässiges Ansprechen des Relaisschutzes beeinflussen. Solche Erscheinungen sind von der Intensitöt derartiger Vorfölle und vom Schutzsystem slebst abhöngig. Ausser den notwendigsten theoretischen Erklörungen werden die Einflüsse der Ausgleichserscheinungen in Hochspannungsleitungen mit Serienkompensation auf de Betrieb und die Arbeit des Distanzschutzes untersucht.

МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСТАНЦИОННОГО РЕЛЕ

Переходные явления на высоковольтных линиях могут оказывать влияние на работу релейной защиты. Это влияние зависит от сущности и интенсивности упомянутых явлений и рода защиты. После необходимых теоретических объяснений проанализировано влияние переходных процессов на высоковольтных линиях с последовательной компенсацией на работу дистанционной защиты.

Naslov pisaca:

mr Božidar Filipović, dipl. ing.
mr Srđan Žutobradić, dipl. ing.
— Institut za elektroprivredu, 41000 Zagreb, Proleterskih brigada 37

Damir Karavidović, dipl. ing. Elektroslavonija, 54000 Osijek, Šetalište V. Vlahovića 1a

Uredništvo primilo rukopis
1982 — 07 — 01

ELEKTROPRIVREDA ZAGREB

OOUR **Elektroprenos**

ZAGREB

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti:
prijenos električne energije, izraduje studije, razvoj i projektiranje, izgradnju i nadzor izgradnje elektroprijenosnih postrojenja i telekomunikacionih uređaja, te svojim vozilom marke

Kaelble

i prikolicom

Scheuerle

prevozi teški teret do 120 tona.

OOUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB
Proleterskih brigada 37 - Tel.: 513-822 i 511-455

POREMEĆAJI U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE I PROBLEMI PRIJENOSA NA ZAGREBAČKOM PODRUČJU

Božidar Radmilović i Zdenko Tonković, Zagreb

UDK 621.311:621.316
Stručni rad

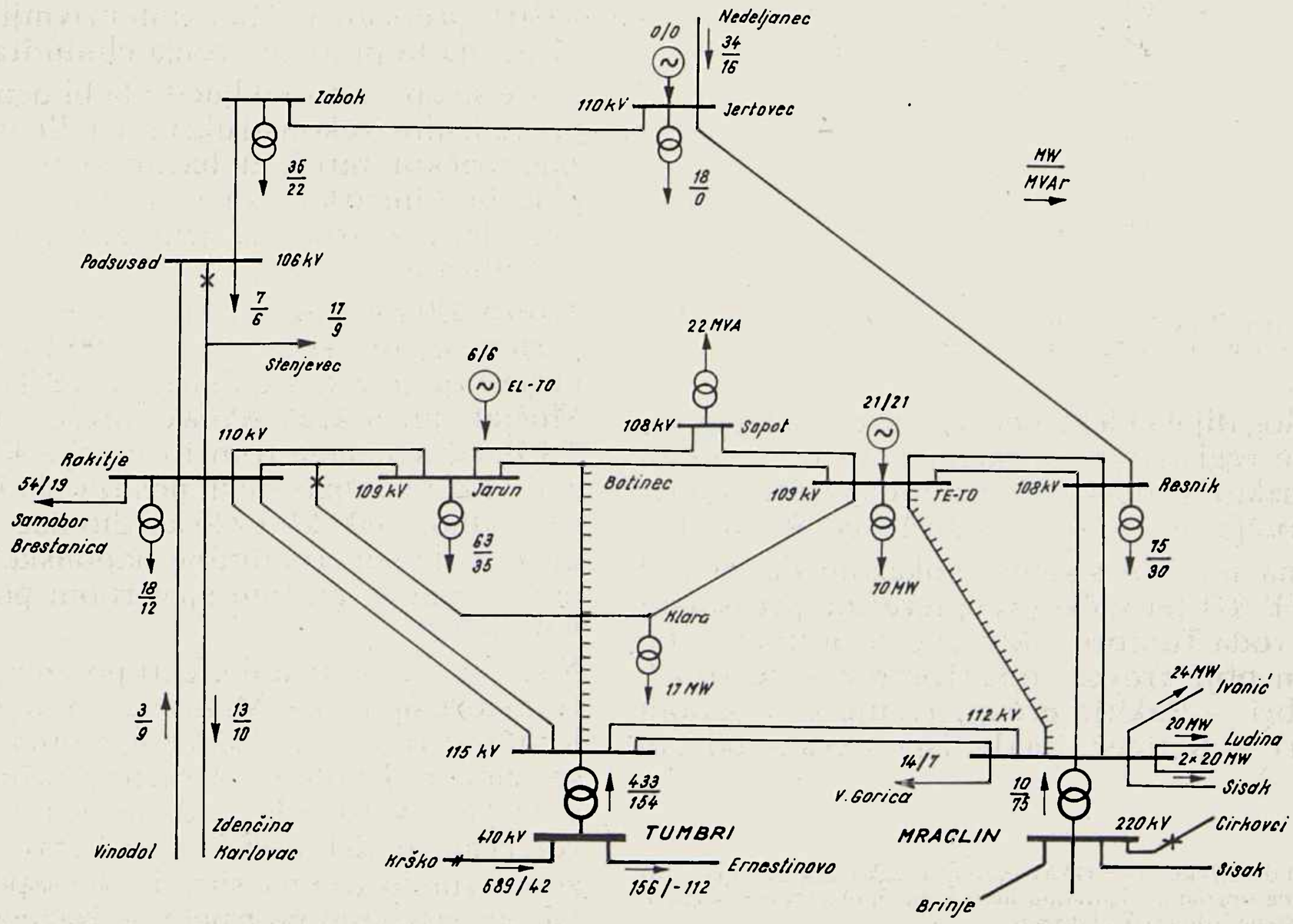
Na konkretnom primjeru 110 kV mreže zagrebačkog područja analiziraju se posljedice se posljedice poremećaja u prijenosnom sistemu nastalu izrazito neravnotežom opterećenje 400 kV i 220 kV razine superponirane mreže.

Ključne riječi: prijenosna mreža, transformacija 400/200 kV, poremećaji u elektroenergetskom sistemu.

Današnji poremećaji u proizvodnji električne energije zbog kvarova u elektranama ili nedostatka tekućeg goriva i slabih hidroloških prilika, kao i pravci tranzitiranja energije zbog istih takvih problema u drugim republikama rezultiraju neuobičajenim tokovima snaga u prijenosnom sistemu. Za zagrebačko područje oni se često manifestiraju gotovo praznom 220 kV-nom mrežom, zbog malog angažiranja izvora na toj naponskoj razini, tako da se praktički cijelo područje napaja iz TS 400/110 kV Tumbri. To dovodi do visokog opterećenja transformacije i nesigurnosti razvoda energije u regiju budući da je 110 kV mreža planirana pod pretpostavkom harmonične raspodjele tereta između TS 400/110 kV Tumbri i TS 220/110 kV Mraclin, odnosno dobro napajane superponirane mreže. Sa NE Krško u pogonu, malim učešćem izvora na 220 kV i tranzitom prema području Centra, zagrebačka se regija napaja sa zapada — pa bi se iskapčanje transformacije 220/110 kV u Mraclinu jedva osjetilo da je kompenzacija u tom čvorištu pogonski spremna! U takvoj situaciji implicitno su jasne reperkusije kvara samo jedne transformatorske jedinice u TS Tumbri, a mogu se naslutiti i teške posljedice ispada 110 kV vodova.

Ovo stanje nije izuzetno. Vrlo je vjerojatna mogućnost njegova trajanja ili ponovnog uspostavljanja, pa je od interesa istražiti, sigurnost 110 kV mreže šireg zagrebačkog područja i ispitati mogućnost njezina povećanja, ne samo neposrednim zahvatima u sadašnju topologiju, nego i indiciranjem drugih mogućnosti. S tim ciljem uzeto je jedno, u svojoj »deformaciji« karakteristično stanje i analizirano zapravo u »proširenom realnom vremenu«.

Na primjer, u srijedu 15. rujna 1982. u 19 sati pri okolnoj temperaturi oko 20 °C bila je razdioba snaga doslovno prema »Dnevnom energetskom izvještaju« kako je prikazano na sl. 1.



NE Krško plasira gotovo punu snagu prema Zagrebu: većim dijelom za podmirenje uže zagrebačke potrošnje. Takvo neuravnoteženo napajanje potencirano je činjenicom male proizvodnje izvora zagrebačkog područja:

TE Sisak	86 MW	119 MVAr	(na 110 kV)
TE TO Zagreb	21 MW	21 MVAr	
EL TO Zagreb	6 MW	6 MVAr	
PTE Jetovec	–	–	
HE Varaždin	45 MW	27 MVAr	
HE Gojak	19 MW	11 MVAr	
HE Čakovec	–	–	

Na 110 kV razini vršila se intenzivna razmjena sa Slovenijom: davalo se u Brestanicu, a primalo preko Nedeljanca (74 MW, 20 MVAr). Na riječkom području na 220 kV radila je samo TE Rijeka (198 MW, 75 MVAr). Vod 220 kV Mraclin-Cirkovci, kojim Cirkovci inače daju 80-ak MW, bio je iskopčan zbog radova (od 14. do 25. IX). Dopunjujući ovu opću situaciju, treba napomenuti da postoji uvoz reda veličine oko 200 MW iz UCPTE.

Za analizu takvog stanja modeliran je sistem prema uklopnom stanju na sl. 1. i s registriranim vrijednostima opterećenja čvorišta zagrebačkog područja (upotpunjenim za potrebe ispitivanja iz različitih drugih izvora):

Čvorište	Potrošnja		Proizvodnja	
	MW	MVAr	MW	MVAr
Tumbri			433[1]	154
Mraclin	84	70	10	75
Gorica	14	10		
Resnik	75[3]	30		
TE-TO	70	31	21	21
Klara	17	10		
Sopot	19	12		
Jarun	63	35	6[2]	6
Rakitje	85	41	3[1]	9
Stenjevec	17	9		
Podsused	7	6		
Zabok	35	22		
Jertovec	18	0	34[1]	16

[1] U čvorište ulazi
[2] EL TO
[3] Potrošnja u Resniku određena je na temelju registriranih struja kroz transformatore (1500 A) i napona (31,4 kV), a ne registrirane snage.

Utjecaj ostalog dijela elektroenergetskog sistema nadomješten je registriranom razmjenom na spojnim visokonaponskim vodovima iz rubnih čvorišta zagrebačkog područja, sl. 1 (Mraclin, Jertovec, Rakitje).

Ispitivanja na modelu sistema pokazuju da se vod Botinec — TE TO termički preopterećuje pri ispadu obiju trojki voda Tumbri — Mraclin, a Botinec — Jarun ispadom obje trojke voda Tumbri — Rakitje*. Grana Tumbri — Rakitje preopterećuje se ispadom voda Tumbri — Botinec. Dakle, ispod svake od 110 kV-nih veza TS Tumbri s mrežom izaziva termička preopterećenja! Ugrožen je i vod Botinec — Jarun: preopterećuje se u slučaju da je TE — TO izvan pogona i da ispadne vod Botinec — TE TO.

Istraživano je dalje koliki bi trebao biti udio napajanja iz Mraclina pa da se ne pojave preopterećenja pri spomenutim kvarovima. Pokazuje se da je dovoljno oko 100 MW iz 220 kV mreže za ispade veza Tumbri — Mraclin te Tumbri — Botinec, ali preopterećenje voda Botinec — Jarun ispadom veze Tumbri — Rakitje ostaje i pri 300 MW iz Mraclina. Većim napajanjem iz pravca Vinodola ili Jertovca (reda veličine 50 MW), umjesto iz 220 kV mreže u Mraclinu, ne otklanjaju se preopterećenja nastala ispadanjem vodova iz TS Tumbri za Rakitje odnosno Mraclin. Znači da nam je u ovakvoj elektroenergetskoj situaciji bitan upravo doprinos 220 kV veze Cirkovci—Mraclin, i njenim isključivanjem ili ispadom sigurnost opskrbe zagrebačkog područja energijom bitno je narušena. Nezavisno od toga treba osigurati vod Botinec — Jarun: bilo formiranjem rasklopišta Botinec, čime bi se ugrožena veza udvostručila, bilo povećanjem voda pouzdanosti veze Tumbri — Rakitje presijecanjem voda Zdenčina — Rakitje, a možda i onog Vinodol — Rakitje, te njihovim uvođenjem u TS Tumbri. Time bi ujedno TS Tumbri postala sjeverna pojna točka karlovačke regije.

Nova konfiguracija s pojačanjem pravca Tumbri — Rakitje, međutim, ne utječe na spašavanje voda Botinec — TE TO od preopterećenja u slučaju prekida veze Tumbri — Mraclin. No dovoljno je samo 50 MW više iz Mraclina da se to preopterećenje izbjegne.

Formiranje rasklopišta Botinec, umjesto rekonstrukcije vodova s juga za Rakitje, u kojem energiju transportiranu teškim vodom iz TS Tumbri prihvaćaju dva voda za Jarun te po jedan za Sopot i TE TO, javljaju se u odgovarajućim pogonskim situacijama već konstatirana preopterećenja na vodovima Botinec — TE TO odnosno Tumbri — Rakitje — no koja bi se mogla, s obzirom na temperaturu okoline, tolerirati. Prag termičkog preopterećenja postavljen je, naime, prema temperaturi okoline 40 °C, kako je definirano našim propisima. Malo intenzivniji dotok snage iz Mraclina ta preopterećenja eliminira.

Može se općenito zaključiti da bi usprkos eventualno provedenim rekonstrukcijama ili učvršćivanjima u zagrebačkoj mreži u havarijskim slučajevima bilo potrebno iniciranje snage iz 220 kV mreže u Mraclinu, iako u znatno manjem iznosu nego u mreži bez tih zahvata.

Mrežu 220 kV treba oživiti i aktivirati. Alternativa izvorima je interkonekcija sa 400 kV mrežom. Ona je umjesnija to više što danas od TS Tuzla, odnosno TS Mostar (južni krak 400 kV mreže nije u pogonu), do TS Beričevo nema transformacije 400/220 kV! Nedostaju nam komparativni pokazatelji iz evropske prakse o odnosu 400 kV i 220 kV dionica, ali sigurno je da bi te dvije superponirane naponske razine, više-manje paralelne, na tom sjevernom potezu negdje trebalo učvoriti.

Načelno su ispitivani efekti potencijalne 400/220 kV transformacije oko Mraclina — i to je povezivanje dalo dobre rezultate. Transformirana snaga rasporedi se između Tumbra i Mraclina približno 60% : 40%, veza 110 kV između te dvije transformacije postaje rezervna, gubici modela su 2,4 MW manji nego u poznom stanju prema slici 1. Neraspoloživost vodova na zagrebačkom području ne izaziva poteškoće.

* Neraspoloživost dvostrukih DV-a 110 kV moguća je kako zbog neraspoloživosti voda tako i zbog smetnji u odgovarajućim poljima (u oba krajnja postrojenja) koja su smještena jedno pokraj drugog.

U promatranom stanju jednako bi tako povoljno djelovalo (s gledišta 110 kV mreže) postojanje TS 400/110 kV Zagreb — Istok: ona bi dobro supstituirala 220 kV međutrasformaciju. Napajanje zagrebačkog područja rasporedi se približno pola-pola između dvije 400 kV stanice, iz čega slijedi i povoljna raspodjela u 110 kV mreži, a gubici modela su 3,4 MW manji nego u polaznom stanju prema slici 1. Ispitivanja pokazuju da teški vod Mraclin — TE TO postaje prijenosno neiskorišten pa postaje rezervni, a to bi dozvoljavalo pomišljanje i na njegovu rekonstrukciju (u vezi moguće dalje izgradnje proizvodnih kapaciteta na lokaciji TE TO).

Vremensko približavanje TS 400/220 kV Zagreb — Istok ili interkonekcija 400/220 kV na zagrebačkom području alternative su trećem transformatoru od 300 MVA u TS Tumbri, i perspektivno sistemski prihvatljivije. Za neposrednu budućnost treba Rakitje, kao zapadno težište zagrebačkog konzuma i čvorište međurepubličke razmjene (umanjene za potrošnju Samobora), učvrstiti na TS Tumbri i formirati čvorište Botinec barem kao rasklopište.

KEY WORDS:

TRANSMISSION GRID, TRANSFORMER 400/220 kV, DISTURBANCES IN EL POWER SYSTEM

DISTURBANCES IN ELECTRIC POWER GENERATION AND PROBLEMS OF ELECTRIC POWER DISTRIBUTION ON THE AREA OF ZAGREB CITY

On an concrete example of 110 kV network of Zagreb area some consequences of disturbances in the distribution system caused by supply unbalance between two supergrid stations are analyzed.

STÖRUNGEN IN DER ELEKTRISCHEN ENERGIEERZEUGUNG UND UBERTRAGUNGSPROBLEME IN BEREICH ZAGREB

Anhand tatsächlich vorliegender Fäalle im 110 kV Netz im Versorgungsgebiet von Zagreb werden die Folgen von Störungen im Übertragungssystem, die durch ungleichmässige Belastung in der Ebene des überlagerten 400 kV und 200 kV Netzes auftreten, untersucht.

НАРУШЕНИЯ В ВЫРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕДАЧИ В ОБЛАСТИ г. ЗАГРЕБ

На конкретном примере сети 110 кВ загребской области анализируются последствия возмущений в системе передачи электроэнергии, вызванных явно неуравновешенностью нагрузок суперпонированнох сетей 400 и 220 кВ.

Naslov pisaca:

Božidar Radmilović, dipl. ing. Elektroprenos, 41000, Zagreb

mr Zdenko Tonković, dipl. ing. Institut za elektroprivredu, 41000, Zagreb, Proleterskih brigada 37

Uredništvo primilo rukopis
1982 — 09 — 06



INA INŽENJERING

RO u sastavu SOUR-a INA INDUSTRIJA NAFTE ZAGREB
s osnovnim organizacijama udruženog rada

Zagreb,
Proleterskih
brigada 78

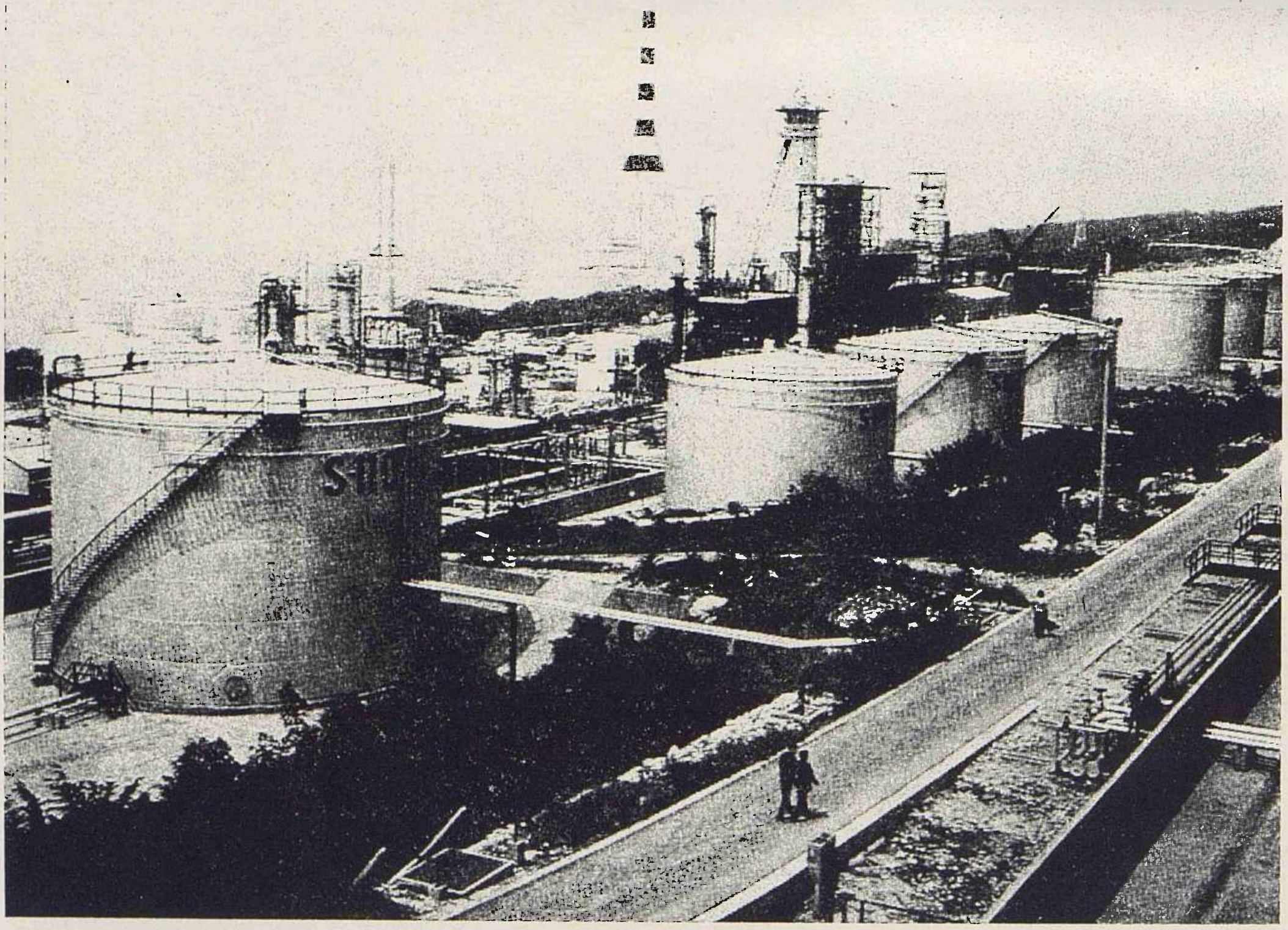
— PROJEKTIRANJE — tel. (041) 516-411
— KONZALTING — tel. (041) 673-711
— IZGRADNJA — tel. (041) 673-711
— i RADNOM ZAJEDNICOM — tel. (041) 516-411

pruža kompletne inženjersko-komercijalne usluge u izgradnji naftne, petrokemijske i kemijske industrije te energetike.

Naši stručnjaci sudjelovali su u ostvarenju: Rafinerije Rijeka, Rafinerije Sisak, Rafinerije Zagreb, Tvornice čađe Kutina, Tvornice vapna Kutina, Tvornice umjetnih gnojiva Kutint, Skladišta amonijaka Obilić, te niza drugih postrojenja i instalacija.

Sredinom 1980. godine izvršena je između INA INŽENJERINGA, OOUR-a Izgradnja i ELEKTROPRIVREDE Rijeka primopredaja TE RIJEKA 320 MW koju je sagradio po sistemu »ključ u ruke« konzorcij AMN Italija, Waagner-Biró, Austrija i INA INŽENJERING.

INA INŽENJERING najaktivnije je uključen u proširenje rafinerije u Pančevu, Rijeci i Sisku, te tvornice umjetnih gnojiva u Kutini i petrokemijskog kompleksa DINA na Krku.



Gradilište RN Rijeka (Konzalting), u pozadini TE Rijeka 320 MW
(IZGRADNJA — ključ u ruke)

TOPLINSKOENERGETSKI SISTEM

Franjo Černohous, Zagreb

UDK 621.311.22
Stručni rad

S obzirom na izrazite prednosti daljinske opskrbe toplinom, posebno u vezi s racionalnim korištenjem primarne energije, obrađuju se sa .avni dijelovi toplinskoenergetskog sistema i osnovni kriteriji i smjernice za njihovo odabiranje. Daje se informacija o TES-ima Banje Luke, Beograda, Ljubljane, Skopja i Zagreba, kao i o TES-u Zapadnog Berlina koji predstavlja specifično rješenje. Obrađuje se i osnovna analogija toplinskoenergetskog i elektroenergetskog sistema.

Ključne riječi: Toplinskoenergetski sistem, odabiranje, smjernice, kriteriji, analogija, opskrba

1. UVOD

Zametak toplinskoenergetskog sistema nastao je u onom trenutku prapovijesti kada je čovjek došao do vatre i počeo je koristiti i za zagrijavanje, loženjem ognjišta na otvorenom prostoru ili u prirodnim zaklonima. U toku milenija razvijao se je taj najstariji način zagrijavanja vrlo sporo u tom smislu što je obično ognjište u početku bez dimnjaka, a zatim s dimnjakom preneseno u primitivne nastambe.

Tek u antičko doba Rimljani upotrebljavaju jednu vrstu zračnog grijanja, tzv. hipokaust — vrstu niskog zasvođenog podruma ispod prostorija koje treba grijati. Podzemno ložište izvan zgrade spajali su s hipokaustom kanali, a tok dimnih plinova vođen je preko hipokausta vertikalnim kanalima kroz zidove u gornje prostorije. Nakon gašenja vatre kroz hipokaust se uvodio svježi zrak, gdje se zagrijao i odvodio drugim kanalima u prostorije. Kod Rimljana su postojali i drugi načini kanalskog grijanja, koji su se, usavršeni, zadržali u upotrebi sve do prošlog stoljeća.

Poslije ovih načina grijanja pojavljuju se kamini, koji se intenzivno razvijaju od X stoljeća. U XIV stoljeću pojavljuje se kaljeva peć koja stalno evoluira, pa danas uz ostale peći najrazličitijih vrsta ima važno mjesto u tehnici zagrijavanja prostorija (lokalno grijanje). Na prijedlog Cooka počinje 1745. godine primjena parnog grijanja, koje se u XIX stoljeću širi najprije u Francuskoj i Njemačkoj, a zatim po čitavom svijetu.

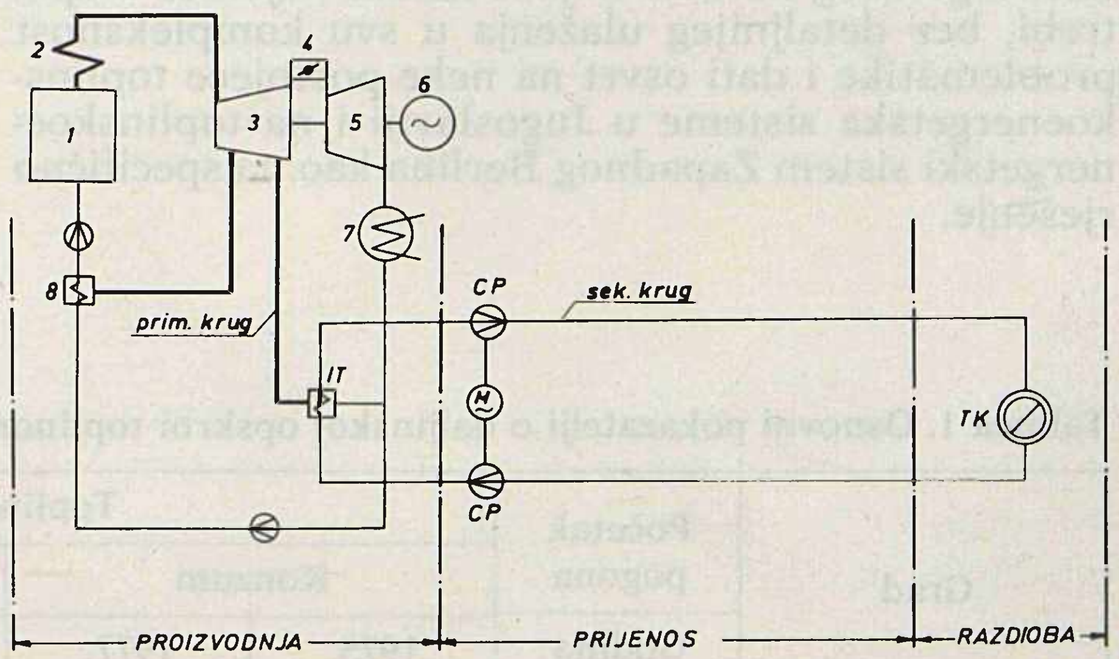
Nešto poslije parnog grijanja razvija se vodeno grijanje. U tu svrhu korištena je u početku voda vrelih izvora na dosta primitivan način, dok je prvu stvarnu instalaciju vodenog grijanja sa svim osnovnim elementima primijenio Bonnemain 1777. godine, doduše samo za potrebe inkubatora. Nakon primjene u rasadnicima ovo se grijanje primjenjuje za zagrijavanje zgrada u cijelom svijetu. Posebno mjesto u tehnici grijanja ima od 1931. godine varijanta grijanja s pregrijanom vodom ili, poznatije, s »vrelom vodom«.

Razvoj privredne i industrijske djelatnosti i potreba za civiliziranijim i kulturnijim komforom dovodi do stalnog porasta potrošnje toplinske energije, koji s obzirom na rezerve svih vrsta goriva u svijetu, traži racionalniji način korištenja proizvedene toplinske energije. Uz napuštanje lokalnih uređaja za proizvodnju toplinske energije i usavršavanje postojećih sistema grijanja, daljnji je korak na tom putu koncentrirana proizvodnja toplinske energije za veći broj potrošača. Centralizirana proizvodnja toplinske energije za pojedine četvrti i područja grada ili čak za čitav grad, koja uključuje prijenos i razdiobu toplinske energije, dovela je do formiranja toplinsko-energetskog sistema koji se često susreće i pod imenom daljinskog grijanja, ogrjevne mreže ili toplifikacije. Toplinsko-energetski sistemi formirani su najprije u Americi krajem prošlog stoljeća, a zatim se početkom ovog stoljeća postepeno šire u Evropi.

Elektrifikacija i toplifikacija razvijaju se danas najčešće istovremeno, a elektroenergetski i toplinskoenergetski sistem se u nužnoj međusobnoj povezanosti dopunjuju i čine jedinstvenu cjelinu.

2. TOPLINSKOENERGETSKI SISTEM

Toplinskoenergetski sistem čini, analogno kao i elektroenergetski sistem, niz međusobno povezanih elemenata za proizvodnju, prijenos i razdiobu toplinske energije, i to na takav način da su uvjeti iskorištenja pojedinih elemenata neposredno zavisni jedan od drugoga (slika 1).



Sl. 1. Principijelna shema toplinsko-energetskog sistema 1-parogenerator, 2-pregrijač, 3-NT-turbina, 4-prigušna zaklopka, 5-VT-turbina, 6-generator, 7-kondenzator, 8-VT-zagrijač, IT-izmjenjivač topline, CP-cirkulacione pumpe, M-elektromotor, TK-toplinski konzum

S obzirom na vrstu konzuma toplinskoenergetski sistem (TES) se susreće i pod imenom:

— daljinsko grijanje, ogrjevna mreža, kada sadrži samo ogrjevni konzum (grijanje stanova, priprema potrošne tople, tzv. sanitarne vode)

— daljinska opskrba toplinom, centralizirana opskrba toplinom, toplifikacija kada uz ogrjevni sadrži i industrijski konzum (tehnološka para za potrebe procesa proizvodnje, grijanja, klimatizacije).

Izrazite prednosti daljinske opskrbe toplinom iskazuju se uštedom primarne energije, mogućnošću korištenja svih vrsta energenata, smanjenjem investicionih troškova stambenih i poslovnih zgrada, smanjenjem troškova transporta goriva i rasterećenjem prometa, pozitivnim doprinosom u ekološkom i termičkom opterećenju okoline i slično.
Relativno veće investicije u početnoj fazi izgradnje, mogućnost prekida isporuke topline zbog kvarova i problem opskrbe toplinom u izvanrednim uvjetima, negativnost su daljinske opskrbe toplinom.

Za donošenje odluke o realizaciji daljinske opskrbe toplinom moraju biti ispunjeni određeni tehno-ekonomski uvjeti, npr. klimatski uvjeti, gustoća stanovanja, godišnje trajanje iskorištenja kapaciteta itd. Te uvjete zadovoljava niz gradova u Jugoslaviji, u kojima je daljinska opskrba toplinom već realizirana ili se nalazi u fazi realizacije. U tablici 1. dani su najosnovniji pokazatelji daljinske opskrbe toplinom nekih gradova s prognozom konzuma do 2000. godine i vrstom korištenog goriva.

Prema podacima iz 1977. godine ukupna snaga toplinskoenergetskih sistema iznosi u SSSR-u 243 600 MW_t, SR Njemačkoj 23 200 MW_t, Poljskoj 19 720 MW_t, ČSSR-u 17 400 MW_t, SAD 17 400 MW_t, Danskoj i Švedskoj po 9 860 MW_t, Švicarskoj 5 800 MW_t. Od navedenih zemalja potrebno je posebno spomenuti Švedsku i Dansku jer imaju najveću gustoću daljinskog grijanja; u njima ima gradova u kojima stanovništvo sudjeluje sa 90 % u daljinskom grijanju (grad Västeras sa 93 %). Te zemlje karakterizira visok tehnički nivo opremljenosti toplinskoenergetskih sistema i veličina toplifikacionih turbina koje spadaju među najveće u svijetu (370 MW_t i 270 MW_e).

U nastavku će se razmotriti sastavni dijelovi toplinskoenergetskog sistema koji se nalaze najčešće u upotrebi, bez detaljnijeg ulaženja u svu kompleksnost problematike i dati osvrt na neke postojeće toplinskoenergetske sisteme u Jugoslaviji i na toplinskoenergetski sistem Zapadnog Berlina kao na specifično rješenje.

2.1. Sastavni dijelovi toplinskoenergetskog sistema

Gotovo polovica potrebne energije upotrebljava se u Evropi za grijanje prostorija i pripremu sanitarne vode. Veći dio te energije primjenjuju još uvijek individualna grijanja s pećima, etažna grijanja i centralna grijanja, a preostali dio se koristi za istu svrhu koncentracijom proizvodnje toplinske energije na jednom mjestu — centrali. Već prema tome da li se u takvoj centrali proizvodi samo toplinska ili toplinska i električna energija u tzv. spojenom vezanom ili kombiniranom procesu, govori se o toplani ili termoelektrani — toplani. Obje vrste izvora toplinske energije dijele se s obzirom na korištenu vrstu goriva na konvencionalne (fosilna goriva) i nuklearne (nuklearna goriva). Proizvedena toplinska energija u vrelovodnim ili (i) parnim kotlovima toplane transportira se do potrošača ili direktnim sistemom u kojem nosilac topline (vrela voda ili para) prolazi kroz kotlove i instalacije potrošača u primarnom krugu ili indirektnim sistemom u kojem nosilac topline, npr. para, prolazom kroz izmjenjivač topline u primarnom krugu predaje toplinu drugom nosiocu topline, npr. vodi u sekundarnom krugu (slika 1).
U nastavku će se obraditi samo najbitnije značajke sastavnih dijelova toplinskoenergetskog sistema, i to u najnužnijem opsegu s potrebnim komparacijama.

2.1.1. Proizvodnja toplinske energije

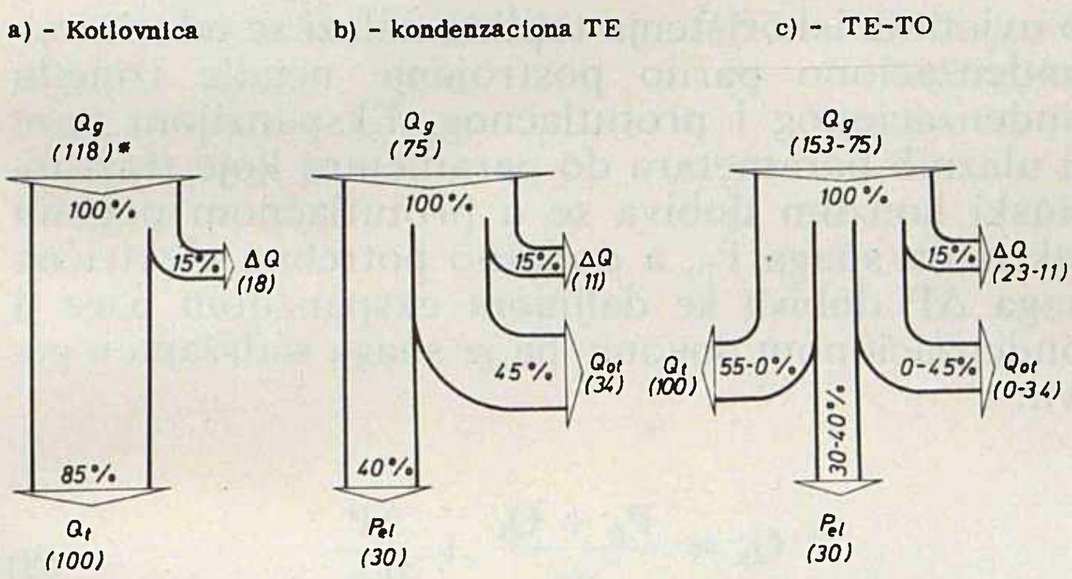
Za odvojenu proizvodnju toplinske energije u toplanama služe najrazličitiji tipovi vrelovodnih i parnih kotlova koji se najčešće nalaze u sastavu blokovskih ili rajonskih kotlovnica kao glavni izvori, a ulaze i u sastav toplinskoenergetskog sistema najčešće kao vršni kapaciteti. Dobar vrelovodni i parni kotao ima stupanj djelovanja otprilike 85 %.
Za spojeni proces proizvodnje toplinske energije u vidu pare ili (i) vrele vode u termoelektranama — toplanama i industrijskim elektranama stoje na raspolaganju različite varijante s parnim i plinskim turbinama, kao i kombinirana parna i plinska turbinska postrojenja koja mogu pokriti široko područje snage. Svaka varijanta s obzirom na vrstu goriva, troškove za proizvedenu toplinsku i električnu energiju, vrstu spoja i područje snage ima svoju prednost. Kombinirano postrojenje najčešće je najekonomičnije rješenje.

Tablica 1. Osnovni pokazatelji o daljinskoj opskrbi toplinom nekih gradova u Jugoslaviji

Grad	Početak pogona	Toplinska snaga MWt					Upotrebljavano gorivo
		Konzum		Izvori	Prognoza konzuma		
	Godina	1975.	1977.	1975.	1985.	2000.	
Zagreb	1954.	310	417	464	960	1 900	mazut, plin
Velenje	1958.	79	87	93	127	174	ugljen
Beograd	1961.	445	743	920	2 080	4 650	mazut, plin
Ljubljana	1961.	330	394	355	870	1 740	ugljen, mazut, plin
Osijek	1963.	68,5	84,7	105	139	232	mazut, plin
Skopje	1965.	168	232	240	487	930	mazut
Novi Sad	1966.	191	255	232	520	930	mazut, plin
Banja Luka	1973.	93	127,5	130	140	290	mazut

2.1.1.1. Prednosti spojenog procesa

Prednosti spojene proizvodnje toplinske i električne energije u odnosu na odvojenu proizvodnju toplinske i električne energije objašnjavaju Sankey-dijagrami na slici 2. gdje veličine u zagradama označavaju odgovarajuće snage u MW. Slike 2.a i 2.b pokazuju bilance snage za slučaj odvojene proizvodnje toplinske energije s $\eta = 85\,\%$ i odvojene proizvodnje električne energije u kondenzacionoj termoelektrani s $\eta = 40\,\%$. Iz bilance snage na slici 2.c za kombiniranu proizvodnju toplinske i električne energije u termoelektrani — toplani s parnom protutlačnom turbinom i parogeneratorom s $\eta = 85\,\%$ proizlazi da je za istu korištenu toplinsku (100 MW), i električnu



Sl. 2. Sankey dijagrami odvojene i kombinirane proizvodnje toplinske i električne energije

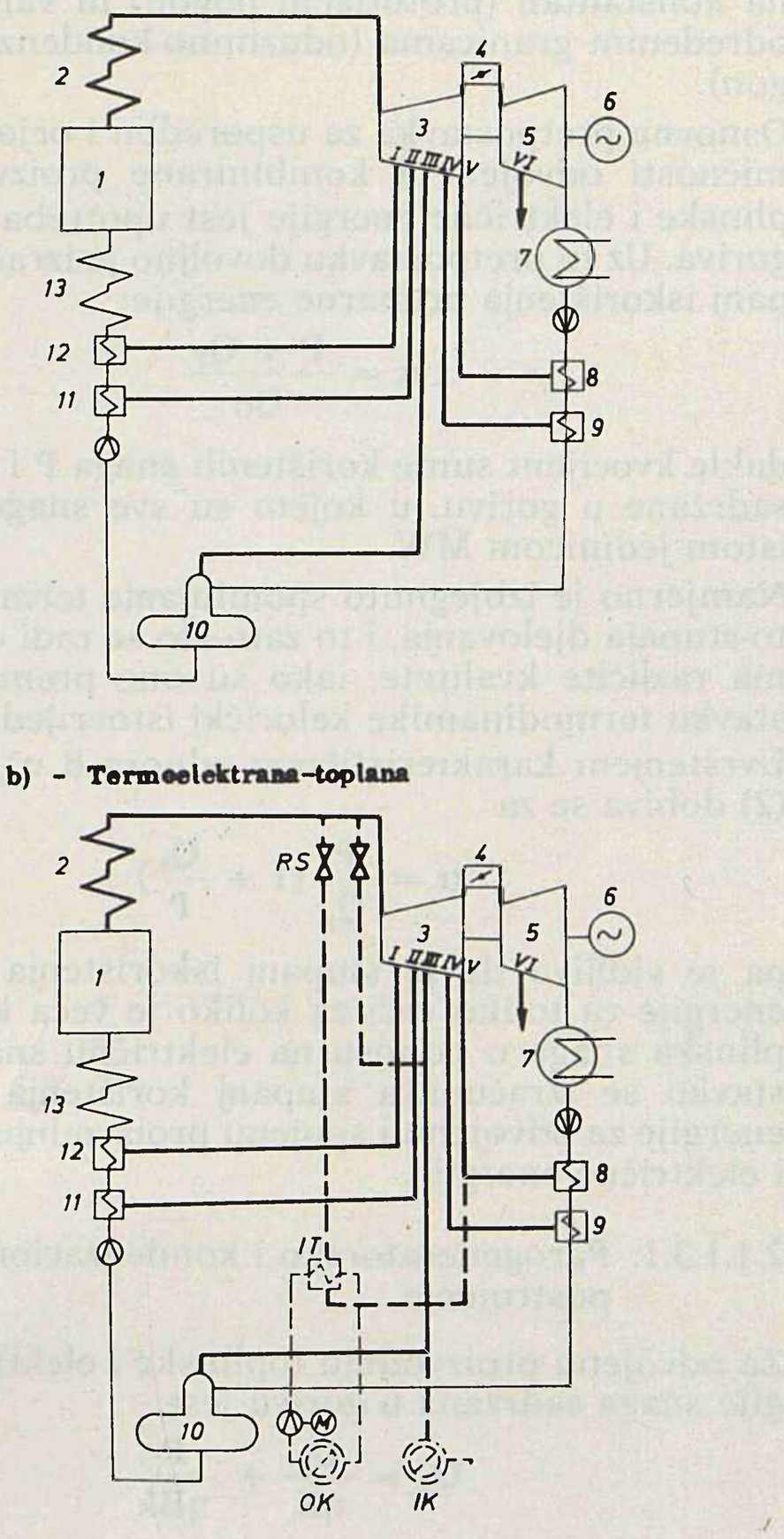
Q_g-snaga sadržana u gorivu, Q_t-toplinska snaga, P_{el}-električna snaga, Q-gubici snage, Q_{ot}-snaga sadržana u otpadnoj toplini, ( )-snage u MW*

snagu (30 MW), potrebna snaga od 153 MW sadržana u gorivu za 25 % manja od snage 118+75=193 MW sadržane u gorivu za odvojenu proizvodnju. Spojeni proces daje, dakle, znatnu uštedu goriva, koja s obzirom na samu izvedbu procesa može iznositi od 20 do 40 %.

2.1.1.2. Razlika između kondenzacionog i toplanskog bloka

Razlika između kondenzacione termoelektrane i termoelektrane — toplane vidljiva je na slici 3. koja prikazuje pojednostavljene toplinske sheme oba postrojenja na primjeru bloka 32 MW u TE–TO Zagreb. Kod kondenzacionog bloka na slici 3.a napaja parogenerator dvokućišni turboagregat. Para se nakon ekspanzije u turbini ukapljuje u kondenzatoru, a kondenzat se preko NT-zagrijača, spremnika napojne vode, VT-zagrijača i ekonomajzera vraća u parogenerator.

Kod dvokućišnog oduzimno-kondenzacionog ili toplanskog bloka na slici 3.b crtkano su označeni dodatno potrebni dijelovi postrojenja za toplifikaciju. U prestrujnom vodu između VT-dijela i NT-dijela turbine nalazi se prigušna zaklopka. Iz III oduzimanja opskrbljivanje se toplinom industrijski konzum, a iz V preko izmjenjivača topline ogrjevni konzum. Pregrijana para koja dolazi iz parogeneratora struji kroz dva paralelno spojena brzozatvarajuća ventila i šest paralelno spojenih regulacionih ventila u VT-dio turbine. Iz VT-dijela struji para dalje kroz četiri paralelno spojena regulaciona ventila u ST-dio turbine. Ti se ventili otvaraju djelovanjem regulatora tlaka III



Sl. 3. Razlika između kondenzacionog i toplinskog bloka

1-parogenerator, 2-pregrijač, 3-NT-turbina, 4-prigušna zaklopka, 5-VT-turbina, 6-generator, 7-kondenzator, 8-NT-zagrijač, 9-NT-zagrijač, 10-spremnik napojne vode, 11-VT-zagrijač, 12-VT-zagrijač, 13-ekonomajzer, RS-redukciona stanica, IT-izmjenjivač topline, M-cirkulaciona pumpa s elektromotorom, OK-ogrjevni konzum, IK-industrijski konzum,

oduzimanja. Zaklopka za prigušivanje u prestrujnom vodu prema NT-dijelu turbine regulira ovisno o tlaku u vodu V oduzimanja količinu pare koja odlazi u NT-dio turbine i napokon u kondenzator.

U slučaju ispada iz pogona turboagregata, oba se toplinska konzuma opskrbljuju preko redukcionih stanica.

2.1.1.3. Približna ocjena ekonomičnosti i uštede primarne energije

Zahtjevi potrošača toplinske i električne energije različite su s obzirom na potrebnu snagu. Odvojena postrojenja za proizvodnju ovih vrsta energije mogu međusobno neovisno mijenjati snagu prema zahtjevima potrošača. U spojenom procesu je odnos korisne električne snage P i toplinske snage Q_t:

$$\beta = \frac{P}{Q_t} \qquad (1)$$

karakterističan, što znači da je već prema vrsti pogona konstantan (protutlačni pogon) ili varijabilan u određenim granicama (oduzimno-kondenzacioni pogon).

Osnovna pretpostavka za usporedbu i ocjenu ekonomičnosti odvojene i kombinirane proizvodnje toplinske i električne energije jest upotreba iste vrste goriva. Uz tu pretpostavku dovoljno je izračunati stupanj iskorištenja primarne energije:

$$\alpha = \frac{P + Q_T}{Q_G} \qquad (2)$$

dakle kvocijent sume korištenih snaga P i Q_t i snage sadržane u gorivu, u kojem su sve snage izražene istom jedinicom MW.

Namjerno je izbjegnuto spominjanje termičkog bruto-stupnja djelovanja, i to zato što se radi o energijama različite kvalitete, iako su one prema drugom stavku termodinamike kalorički istovrijedne.

Uvrštenjem karakterističnog odnosa β u jednadžbu (2) dobiva se za

$$\alpha = \frac{P}{Q_g}\left(1 + \frac{Q_t}{P}\right) \qquad (3)$$

pa je vidljivo da je stupanj iskorištenja primarne energije za toliko veći za koliko je veća korisna toplinska snaga u odnosu na električnu snagu. U nastavku se izračunava stupanj korištenja primarne energije za odvojenu i spojenu proizvodnju toplinske i električne energije.

2.1.1.3.1. Parogeneratorsko i kondenzaciono postrojenje

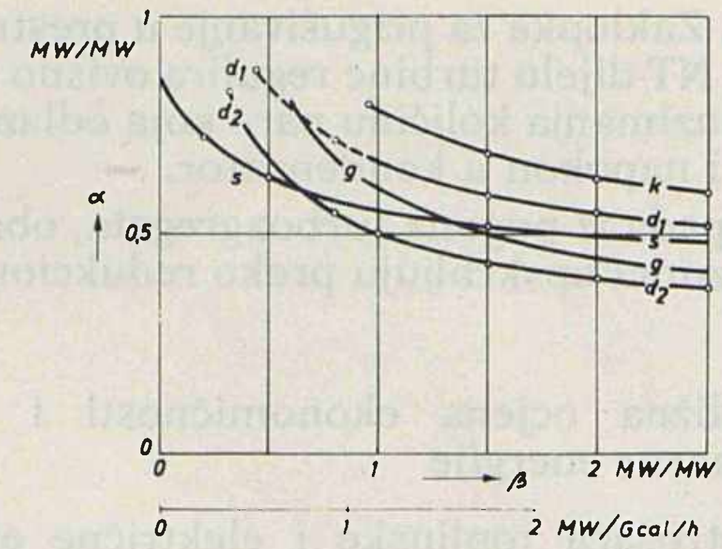
Za odvojenu proizvodnju toplinske i električne energije snaga sadržana u gorivu jest:

$$Q_g = \frac{Q_t}{\eta K} + \frac{P}{\eta Bk} \qquad (4)$$

pa se primjenom $\beta = \frac{P}{Q_t}$ dobiva uvrštavanjem u (2):

$$\alpha = \eta_K \eta_{Bk} \frac{\beta + 1}{\eta_{Bk} + \beta\eta_K} \qquad (5)$$

Sa stupnjem djelovanja parogeneratora $\eta_K = 0{,}85$ i stupnjem djelovanja kondenzacionog postrojenja $\eta_{Bk} = 0{,}41$ dobiva se za stupanj iskorištenja primarne energije krivulja »s« na slici 4.



Sl. 4. Stupanj iskorištenja primarne energije različitih postrojenja sa spojenim procesom

s-odvojena proizvodnja toplinske i električne energije, d_1-parne turbine velike snage s međuprегrijanjem, d_2-parne turbine srednje snage, g-plinske turbine, k-kombinirano postrojenje s parnim i plinskim turbinama

2.1.1.3.2. Protutlačno postrojenje

Protutlačno parno postrojenje klasični je spojeni proces, a mana mu je nepromjenljiv odnos električne i toplinske snage β, što znači da proizvodnja toplinske energije nije moguća bez proizvodnje električne energije. Kako je toplinska snaga sadržana u gorivu:

$$Q_g = \frac{P + Q_t}{\eta_K} \qquad (6)$$

uvrštenjem u (2) proizlazi da je stupanj iskorištenja primarne energije:

$$\alpha = \eta_K \qquad (7)$$

2.1.1.3.3. Oduzimno-kondenzaciono postrojenje

Po uvjetima iskorištenja topline nalazi se oduzimno-kondenzaciono parno postrojenje negdje između kondenzacionog i protutlačnog. Ekspanzijom pare od ulaznih parametara do parametara koje traži toplinski konzum dobiva se u protutlačnom pogonu električna snaga P_p, a dodatno potrebna električna snaga ΔP dobiva se daljnjom ekspanzijom pare u kondenzacionom pogonu, pa je snaga sadržana u gorivu:

$$Q_g = \frac{P_p + Q_t}{\eta_K} + \frac{\Delta P}{\eta_{bk}} \qquad (8)$$

Kako je za protutlačni pogon karakteristični odnos:

$$\beta_o = \frac{P_p}{Q_t} \qquad (9)$$

a za cijeli blok:

$$\beta = \frac{P_p + \Delta P}{Q_t} = \beta_o + \frac{\Delta P}{P_p}\beta_o \qquad (10)$$

to uvrštenjem u (2) proizlazi da je stupanj iskorištenja primarne energije:

$$\alpha = \frac{\beta + 1}{\eta_{Bk}(\beta_o + 1) + \eta_K(\beta - \beta_o)}\eta_K \eta_{Bk} \qquad (11)$$

2.1.1.3.4. Postrojenje s plinskim turbinama i kombinirano postrojenje s plinskim i parnim turbinama

Kod potpunog iskorištenja otpadne topline, koje je zbog izbjegavanja korozije ipak ograničeno temperaturom dimnih plinova na 160 °C za fosilna goriva s uobičajenim sadržajem sumpora i na 110 °C za goriva sa zanemarivim sadržajem sumpora, uz uvažavanje gubitka snage Q_{dp} sadržanog u dimnim plinovima, potrebna je snaga sadržana u gorivu:

$$Q_g = P_p + Q_t + Q_{dp} \qquad (12)$$

S karakterističnim odnosom $\varphi_o = \frac{Q_{dp}}{Q_t}$ koji je poznat i iznosi približno 0,4, dobiva se uvrštenjem u (2) za stupanj iskorištenja primarne energije:

$$\alpha = \frac{\beta_o + 1}{\beta_o + 1 + \varphi_o} \qquad (13)$$

Kod djelomičnog iskorištenja topline dodatno potrebna električna snaga ΔP dobiva se strojevima iste

vrste u kondenzacionom pogonu, pa potrebna snaga sadržana u gorivu sada iznosi:

$$Q_g = P_p + Q_t + Q_{dp} + \frac{\Delta P}{\eta_{Bk}} \qquad (14)$$

Upotrebom jednadžbi (9) i (10) dobiva se za stupanj iskorištenja primarne energije:

$$\alpha = \frac{\beta + 1}{(\beta_o + \varphi_o + 1)\,\eta_{Bk} + \beta - \beta_o}\,\eta_{Bk} \qquad (15)$$

2.1.1.3.5. Analiza stupnja iskorištenja primarne energije

Da bi se mogla ocijeniti ekonomičnost, potrebno je sve varijante spojenog procesa usporediti s osnovnom krivuljom »s« na slici 4. koja pripada odvojenoj proizvodnji toplinske i električne energije. Ova osnovna krivulja, kao i ostale krivulje na slici, proračunate su na bazi podataka danas realiziranih postrojenja. Izuzetak je crtkani dio krivulje »d_1« koji je nastao teoretski. Za svaku vrstu postrojenja optimum predstavlja najveći stupanj iskorištenja primarne energije.

Za praktičnu upotrebu važno je područje malog karakterističkog odnosa β, tj. područje u kojem je električna snaga manja u odnosu na toplinsku snagu. U tom području imaju prednost parna postrojenja srednje snage »d_2« i postrojenja s plinskim turbinama »g«.

Parna postrojenja srednje snage imaju u optimumu velik stupanj iskorištenja primarne energije ($\alpha = 0{,}83$) u odnosu na odvojenu proizvodnju toplinske i električne energije »s« ($\alpha = 0{,}675$), koji je za 23 % veći kod istog karakterističnog odnosa β. Međutim, ta se prednost potpuno gubi kod $\beta = 0{,}61$ MW/MW.

Postrojenja s plinskim turbinama i parogeneratorima koji koriste otpadnu toplinu dimnih plinova imaju u optimumu za 31 % veći stupanj iskorištenja primarne energije u odnosu na odvojenu proizvodnju toplinske i električne energije. Ta prednost iznosi kod $\beta = 1$ MW/MW samo 9 % i potpuno se gubi kod $\beta = 1{,}35$ MW/MW.

Parna postrojenja velike snage s međupregrijanjem »d_1« imaju u optimumu najveći stupanj iskorištenja primarne energije ($\alpha = 0{,}87$) u odnosu prema ostalim vrstama postrojenja, ali on, na žalost, pripada crtkanom dijelu krivulje koji ima teoretski karakter i vrlo teško ga je realizirati. U području karakterističnog odnosa β od 1 do 2 MW/MW stupanj iskorištenja primarne energije još je uvijek za 10 — 20 % bolji nego kod odvojene proizvodnje toplinske i električne energije.

Kombinirano postrojenje s plinskim i parnim turbinama »k« ima s obzirom na upotrebljavano gorivo (dizel-gorivo, kerozin, zemni plin) iste mane kao i postrojenje s plinskim turbinama, ali i izrazitu prednost u spojenom procesu proizvodnje toplinske i električne energije. Stupanj iskorištenja primarne energije u optimumu ($\alpha = 0{,}80$) je za 44 % veći nego kod odvojene proizvodnje toplinske i električne energije, a kod $\beta = 2$ MW/MW smanjuje se ta prednost na 25 %. Zbog tako povoljnog stupnja iskorištenja primarne energije kombinirano je postrojenje najbolja investicija za spojenu proizvodnju toplinske i električne energije.

2.1.2. Prijenos toplinske energije

U prijenosu toplinske energije upotrebljava se kao nosilac topline za industrijski konzum vodena para potrebnih parametara, a topla ili vrela voda i rjeđe vodena para raznih parametra za ogrjevni konzum. Kada temperatura vode ne prelazi 110 °C, govori se o prijenosu topline s toplom vodom, a kada je temperatura veća od 110 °C, govori se o prijenosu topline s vrelom (pregrijanom) vodom. Obje vrste prijenosa topline imaju određene specifične prednosti i mane, pa se izbor nosioca topline obavlja na temelju detaljne analize.

Za potrebe grijanja uobičajene su polazne temperature u prijenosu topline do 150 °C, a iznimno u slučaju prijenosa na veće udaljenosti do 180 °C. Najčešće se te temperature nalaze u intervalu od 110 °C do 130 °C. Zbog povećanih troškova prijenosne mreže veće temperature nisu ekonomski opravdane. Povratne temperature ovise o povratnim temperaturama postrojenja potrošača, a obično iznose od 50 do 70 °C.

2.1.2.1. Izvedba prijenosne mreže

Prijenosnu mrežu čine magistralni vodovi koji se najčešće izvode u vidu jednocijevnog, dvocijevnog, trocijevnog ili višecijevnog zatvorenog sistema. Jednocijevni sistem je doduše najjeftiniji, ali se malo upotrebljava jer nema povrata nosioca topline, pa je neekonomičan u eksploataciji. Polazna temperatura nosioca topline je konstantna, a regulira se kod potrošača miješanjem s hladnijim nosiocem topline u povratu.

Dvocijevnu mrežu čini polazni vod — polaz i povratni vod — povrat, u kojima cirkulira jedna vrsta nosioca topline. Temperatura se regulira promjenom temperature polaza u ovisnosti o vanjskoj temperaturi, a može se vršiti i kod potrošača ventilima za miješanje, prigušnim zasunima i sl.

Trocijevna mreža ima dva polazna voda različitih parametara i zajednički povratni vod. Jedan polazni vod sa npr. maksimalnom polaznom temperaturom od 110 °C i s regulacijom temperature u ovisnosti o vanjskoj temperaturi služi isključivo za grijanje prostorija, a drugi polazni vod s konstantnom temperaturom u toku od npr. 90 °C cijele godine služi za pripremu sanitarne vode.

Četverocijevna mreža upotrebljava se u onom slučaju opskrbe toplinom ogrijevnog i industrijskog konzuma kada se različiti nosioci topline po vrsti i po parametrima. Može se svesti na trocijevnu mrežu ako se za industrijski konzum upotrijebi jednocijevni sistem.

Prema svrsi korištenja prijenosne mreže mogu biti komunalne, industrijske i kombinirane, a prema obliku zrakaste, prstenaste i zamkaste. S obzirom na

mogućnost višestrane opskrbe toplinom zamkaste mreže pružaju potrošaču najveću sigurnost opskrbe.

2.1.2.2. Način pogona prijenosne mreže

Mreža za daljinsko grijanje u pogonu je kao zatvoreni sistem pod tlakom. Toplina se prenosi vrlo rijetko gravitacionom, a najčešće prisilnom cirkulacijom kada je nosilac topline vruća voda, odnosno djelovanjem tlaka samog nosioca topline ako se radi o pari. Pogonski tlak u mreži daljinskog grijanja općenito određuju statički tlak (koji se održava posebnim uređajem, a mora biti veći od parcijalnog tlaka zagrijane vode na najvišoj točki postrojenja da bi se spriječilo isparavanje), gubici tlaka u izvoru, mreži daljinskog grijanja i postrojenju potrošača, te razlika geodetskih visina izvora i najvišeg potrošača. Za izbor nazivnog tlaka mjerodavni su pogonski tlak, pogonska temperatura i dozvoljena čvrstoća upotrebljavanog materijala. Nosilac topline sadrži toplinsku snagu:

$$Q = G\,\Delta i = G\,(i_1 - i_2) \qquad (16)$$

Ovdje je:
- G — maseni protok nosioca topline
- i_1 — entalpija nosioca topline u polazu
- i_2 — entalpija nosioca topline u povratu.

Prenesena energija za neki konačni vremenski interval $t = t_k - t_o$ jednaka je:

$$W_t = \int_{t_o}^{t_k} Q\,dt \qquad (17)$$

t_o — početak vremenskog intervala
t_k — kraj vremenskog intervala

Kada je nosilac topline voda, ovisna je entalpija direktno o temperaturi, pa jednadžba (16) glasi:

$$Q = G\,(t_1 c_1 - t_2 c_2) \qquad (18)$$

Ovdje je:
- G — maseni protok vode
- t_1 — temperatura polaza
- t_2 — temperatura povrata
- c_1 — srednja specifična toplina za temperaturu t_1
- c_2 — srednja specifična toplina za temperaturu t_2.

Uz pojednostavljenje $c_1 = c_2 = 1$ jednadžba (18) dobiva praktičan oblik:

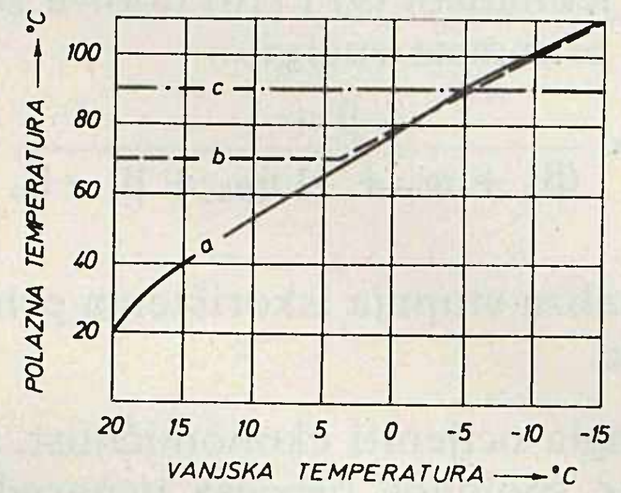
$$Q = kG\,(t_1 - t_2) \qquad (19)$$

k — konstanta

Iz te jednadžbe proizlazi da se regulacija toplinske snage, odnosno isporučivane toplinske energije može obavljati promjenom protoka nosioca topline uz konstantnu polaznu temperaturu, promjenom polazne temperature uz konstantnu protoku ili kombinirano.

Mreže daljinskog grijanja svrstane su s obzirom na način pogona u ove tri grupe:

a) Polazna temperatura mreže regulira se u ovisnosti o vanjskoj temperaturi, a količina vode u cirkulaciji je konstantna (slika 5, krivulja »a«). Ova tzv regulacija intenziteta primjenjuje se u dvocijevnoj ogrjevnoj mreži koja je u pogonu samo za vrijeme ogrjevne sezone i u hladnim danima izvan ogrjevne sezone, te u polaznom vodu trocijevne mreže koji služi za grijanje.



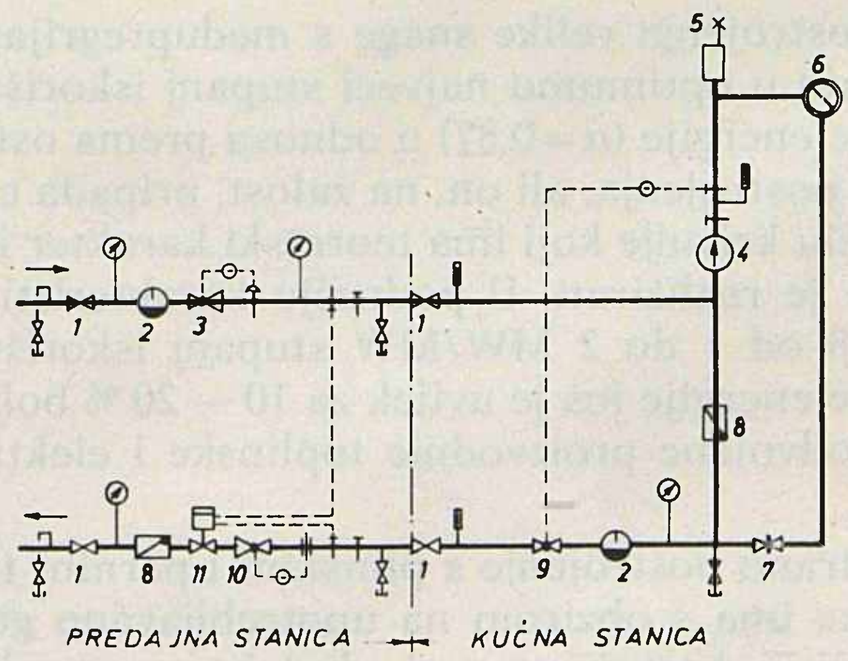
Sl. 5. Načini pogona mreže daljinskog grijanja

b) Polazna temperatura je konstantna do određene temperature, a zatim se regulira o ovisnosti o vanjskoj temperaturi (slika 5, krivulja »b«). Ovaj se način pogona primjenjuje u dvocijevnoj mreži.

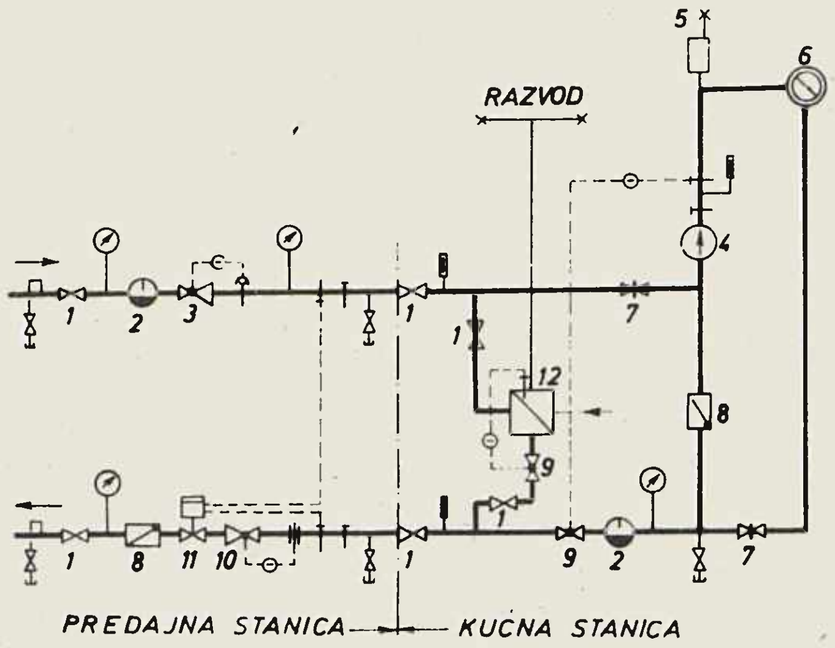
c) Polazna temperatura ostaje konstantna kod svih vanjskih temperatura, a povećava se količina vode u cirkulaciji s opadanjem vanjske temperature (slika 5, pravac »c«). Ova tzv. regulacija količine primjenjuje se u polaznom vodu trocijevne mreže koji služi za pripremu sanitarne vode, za potrebe postrojenja klimatizacije i za grijanje onih postrojenja čije ogrjevne karakteristike bitno odstupaju od normalne karakteristike.

2.1.3. Razdioba toplinske energije

Postrojenja potrošača (kućne stanice) preuzimaju toplinu iz prijenosne mreže putem kućnog priključka, čiji je oblik određen vrstom i kvalitetom nosioca topline, sistemom prijenosne mreže, vrstom postrojenja potrošača i slično. Na mrežu daljinskog grijanja priključuju se potrošači direktno (slika 6) ili indirektno (slika 7). Pri direktnom priključku nosilac topline



Sl. 6. Kućna toplinska stanica — direktni priključak
1-zaporni organ, 2-sakupljač nečistoća, 3-redukcioni ventil, 4-cirkulaciona pumpa, 5-odzračivanje i dozračivanje, 6-potrošač, 7-regulacioni organ, 8-povratna zaklopka, 9-regulator temperature, 10-ograničavač protoka, 11-brojilo



Sl. 7. Kućna toplinska stanica — indirektni priključak 12-izmjenjivač topline (ostale oznake kao na sl. 6)

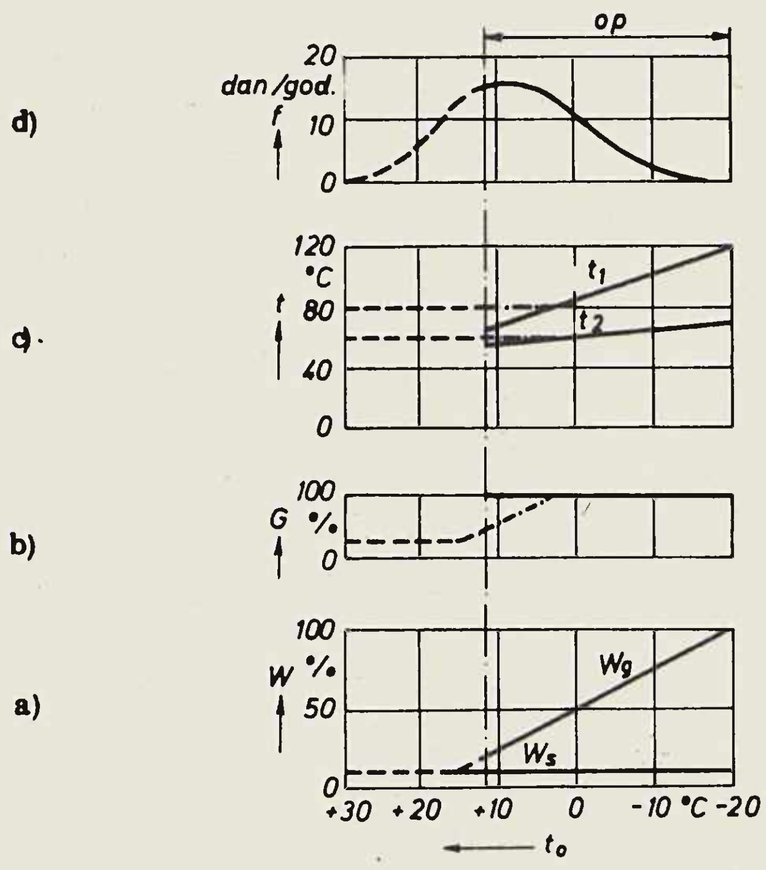
ulazi u kućno postrojenje direktno iz mreže, a pri indirektnom priključku kućna je stanica odvojena od prijenosne mreže putem izmjenjivača topline. Kućna toplinska stanica sastoji se od predajne stanice i kućne stanice. Predajna stanica je vlasništvo isporučioca topline, ima zadaću da potrošaču stavi na raspolaganje potrebnu ogrjevnu toplinu neovisno o postojećem tlaku i temperaturi u mreži daljinskog grijanja, a bez opasnosti za postrojenje potrošača i prema dogovorenim uvjetima isporuke topline. Kućna stanica je vlasništvo potrošača, u njoj su smješteni svi dijelovi potrebni za besprijekorni rad postrojenja potrošača (izmjenjivač topline, cirkulacione pumpe, regulacioni uređaji), kao i potrebni zaporni uređaji. Obaveza je potrošača da se brine o besprijekornom radu svog postrojenja i o samom razvođenju topline.

Obračun isporučene topline potrošačima može se vršiti na tri načina:

— prema zakupljenoj snagi i radu
— prema mjerenoj količini topline
— paušalno (po m² stambene površine, prema priključnoj snazi ili ugovorenoj snazi).

2.2 Osnovni kriteriji i smjernice za projektiranje TES-a

Za izbor sastavnih dijelova TES-a i njihovih ekonomičnih parametara mjerodavne su krivulje potrošnje ogrjevne topline i tehnološke pare, kao i krivulje temperature. Potrošnja topline za grijanje prostorija Wg ovisi o vanjskoj temperaturi, koja se za vrijeme ogrjevnog perioda može mijenjati za 30 — 40 °C (slika 8.a). Ovoj potrošnji topline pribrojena relativno mala i tokom godine praktički konstantna toplina Ws za pripremu sanitarne vode daje ukupnu potrošnju topline Wg+Ws. Uz konstantnu količinu vrele vode u cirkulaciji (slika 8.b) mora se polazna temperatura u toplani stalno udešavati prema vanjskoj temperaturi. Da temperatura u polaznom vodu za pripremu sanitarne vode ne padne ispod minimalno dozvoljene, regulira se količina topline i promjenom količine vrele vode u cirkulaciji pomoću cirkulacionih pumpi s reguliranim brojem okretaja.



Sl. 8. Tipični dijagrami evropskih sistema daljinskog grijanja

W-potrošnja topline ili opterećenje, W_g-potrošnja topline za grijanje, W_s-potrošnja topline za pripremu sanitarne vode, G-količina vrele vode u cirkulaciji (protok), t_1-polazna temperatura vrelovoda, t_2-povratna temperatura vrelovoda, f-učestalost vanjskih temperatura, op-ogrjevni period

Potrošnju topline u vidu tehnološke pare diktiraju zahtjevi industrijskih potrošača.

Izbor polazne temperature rezultat je optimiranja. S jedne strane ova temperatura mora biti što je moguće niža kako bi para prije oduzimanja iz turbine proizvela što više električne energije, a s druge strane mora biti što je moguće viša kako bi količina vrele vode pri istoj toplinskoj snazi i istoj povratnoj temperaturi, a time i troškovi vrelovoda i pumpi mogli zadržati što manjima.

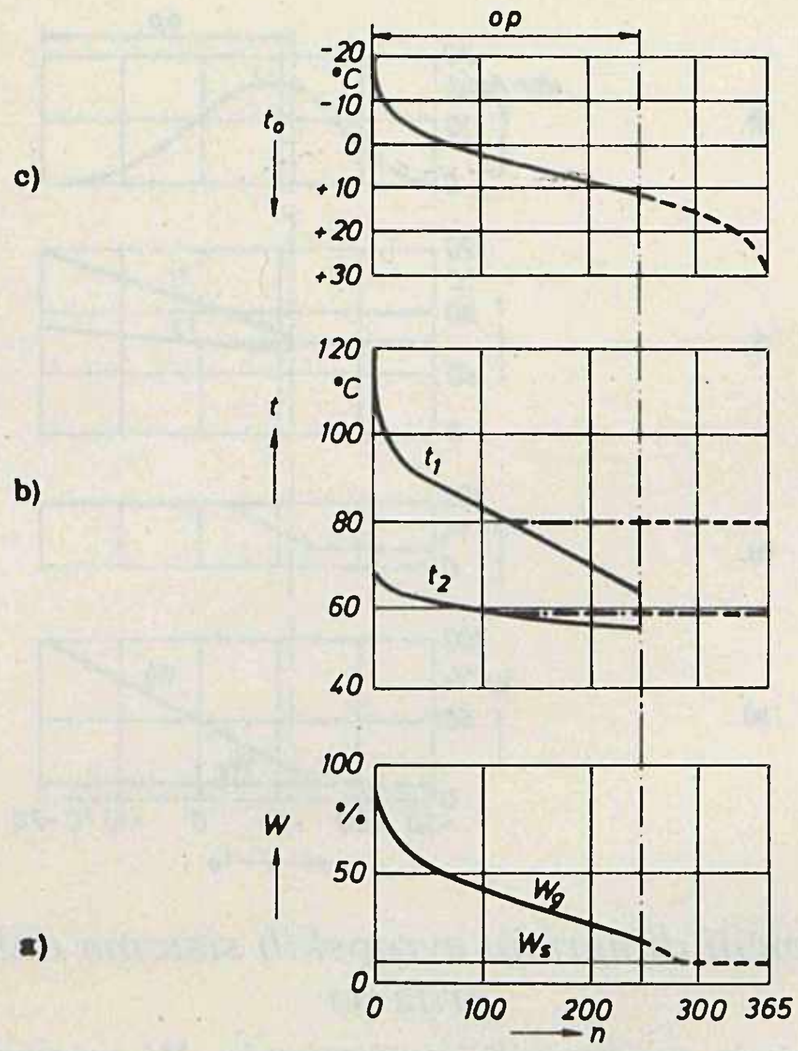
Zadovoljavajuće nisku temperaturu u povratnom vodu uvjetuju gubici temperature u prijenosu toplinske energije, stupnjevanost predajnih stanica i konstrukcija grijaćih tijela kod potrošača.

Na slici 8.c prikazan je tok polazne i povratne temperature u primarnom krugu prijenosa za tipično srednjoevropsko, odnosno sjevernoevropsko postrojenje. Konstantni dio krivulje polazne temperature određuje tražena temperatura za pripremu sanitarne vode, koja ovdje iznosi 80 °C.

Za projektiranje postrojenja daljinskog grijanja potrebno je točno odrediti potrošnju topline u toku godine. U tu svrhu mora postojati krivulja godišnje učestalosti srednjih dnevnih vanjskih temperatura u području potrošnje za duže vremensko razdoblje (slika 8.d). Na temelju te krivulje izvedena krivulja trajanja srednjih dnevnih vanjskih temperatura (slika 9.c) uz pomoć krivulje trajanja polazne i povratne temperature (slika 9.b) određuje potrošnju topline (slika 9.a) kao osnovnu podlogu za konstruktivno rješavanje.

2.2.1. Proizvodnja toplinske energije

Zahtjev vezan za pogonsku spremnost toplana i termoelektrana — toplana jest u odnosu na termoelek-



Sl. 9. Krivulja trajanja potrošnje topline evropskih sistema daljinskog grijanja
n-broj dana godišnje, t_o-vanjska temperatura (ostale oznake prema sl. 8)

trane znatno naglašeniji s obzirom na činjenicu da TES praktički ne posjeduje rezervu snage, odnosno energije koja potrošaču mora biti osigurana u svakom slučaju.

Prvi blok nove toplane treba imati dva parogeneratora za ukupno opterećenje, kako bi u slučaju kvara jednog drugi mogao zadovoljiti maksimalnu potrošnju topline s reduciranom svježom parom. Ako prvi blok ima samo jedan parogenerator za ukupno opterećenje, nužno je izgraditi pomoćne izvore topline onog kapaciteta koji će u slučaju kvara parogeneratora moći udovoljiti potražnji topline. Pomoćni izvor može biti vrelovodni kotao koji nakon izgradnje drugog bloka u toplani služi za pokrivanje vršnog opterećenja ili transportabilni (kontejnerski) kotao koji se premješta na neku drugu lokaciju. Drugi blok u toplani treba osigurati potrebnu rezervu.

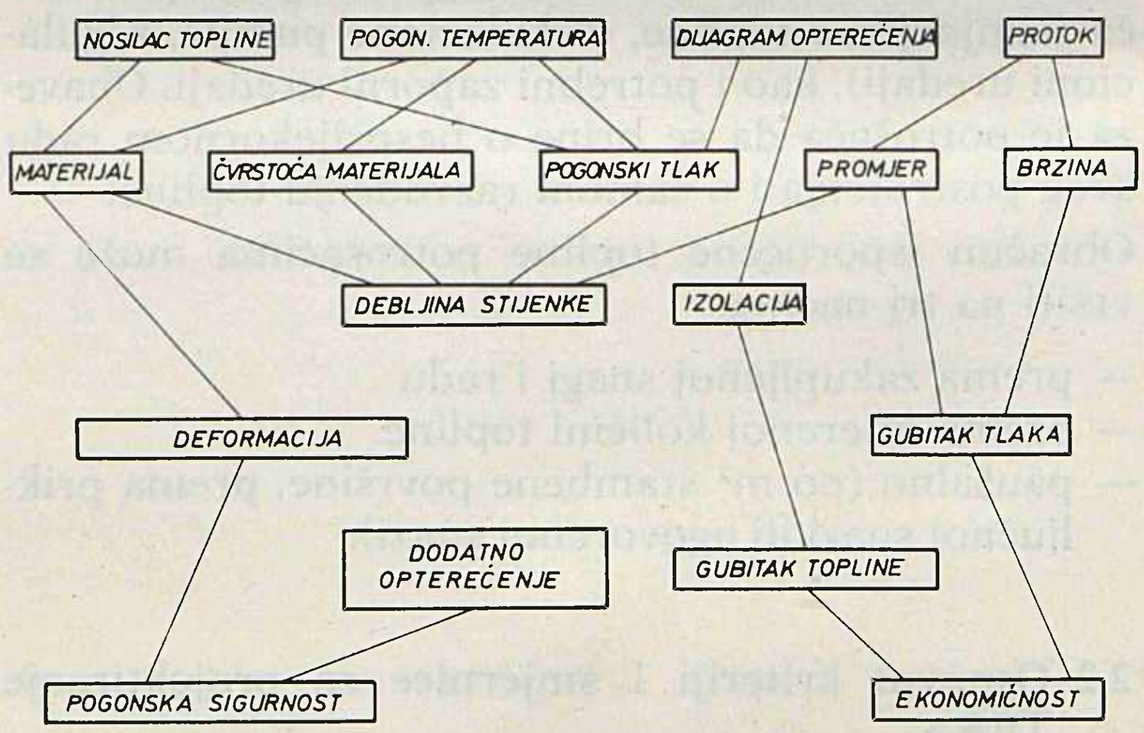
Veći stupanj sigurnosti opskrbe potrošača dobiva se međusobnim povezivanjem više izvora topline na relativno širem području. Povezivanje je moguće kada udaljenosti nisu prevelike i kada se na spojni vod mogu priključiti novi potrošači. Izvor oduzimno-kondenzacionog turboagregata u termoelektrani — toplani uvjetuje smanjenje električne snage za vrijeme vršnog toplinskog opterećenja (karakteristični odnos β). Djelomična kompenzacija ovog smanjenja električne snage može se postići isključivanjem VT-zagrijača. Na taj način poveća se protok pare kroz turbinu za količinu pare VT-oduzimanja, pa i električna snaga. Zbog pada temperature napojne vode koji je time uzrokovan dimenzionira se ložište za 8 — 15 % preopterećenja, ali se pri tome moraju imati na umu teškoće vezane za održavanje manjih opterećenja parogeneratora, posebno kod korištenja krutog goriva s tekućom otpremom šljake. Promjena električne snage općenito se vrši promjenom protoka svježe pare, a konstantan pritisak oduzimanja održava se prigušnim zaklopkama. Kako turboagregat samo kod jednog opterećenja osigurava prirodni pritisak oduzimanja, to se mjesto oduzimanja kod projektiranja odabire tako da zbog gubitaka prigušivanja i miješanja nastali gubici rada budu minimalni za period ogrjevne sezone.

Veća električna snaga uz istu količinu svježe pare može se dobiti i višestepenim zagrijavanjem vrele vode. Već prema nivou dogrijavanja vrele vode i veličini parametara svježe pare, ekonomski optimalna dvostepena izvedba daje 3 — 5 % dodatne snage. Postrojenja male snage imaju općenito jednostepeno zagrijavanje, a postrojenja srednje i velike snage dvostepeno. Ekonomski je opravdano da se i sama turbina konstruira za toplinsku snagu koja iznosi 50 — 70 % od maksimalno potrebne snage, a da se relativno rijetka vršna opterećenja pokrivaju pomoćnim izvorima topline.

2.2.2. Prijenos toplinske energije

Od ukupnih troškova postrojenja daljinskog grijanja veći dio otpada na prijenosnu mrežu, pa izbor izvedbe te mreže ima posebnu važnost.

Najznačajnije veličine za projektiranje, koje radi iznalaženja optimalnog rješenja treba razmotriti s tehničkog i ekonomskog gledišta, prikazuje u njihovoj međusobnoj ovisnosti slika 10. Poznati su: nosilac



Sl. 10. Značajne veličine za izbor prijenosne mreže i njihova međusobna ovisnost

prijenosa topline, pogonske temperature i dijagram opterećenja, a time i količina vrele vode u cirkulaciji (protok). Treba utvrditi položaj izvora topline i položaj potrošača. Na temelju poznatih veličina izračunava se unutrašnji promjer cjevovoda i pad tlaka. Na troškove prijenosne mreže utječu razlika temperatura ($t_1 - t_2$), pogonski tlak i eventualno potrebna dodatna stanica cirkulacionih pumpi za povećanje tlaka na trasi vrelovoda. Instaliranje dodatne stanice ima smisla u mnogim slučajevima zbog mogućnosti priključivanja udaljenijih potrošača i smanjenja troškova, a posebno kada omogućava upotrebu cirkulacionih pumpi manje snage kod izvora topline i izvedbu vrelovoda manjeg promjera. S obzirom na povećane troškove održavanja i ovdje se traži optimum.

Velika razlika temperatura daje malen promjer cjevovoda, manje stalne troškove i manje troškove vezane za cirkulaciju vrele vode, ali i veće gubitke topline, pa time i veće troškove vezane za izolaciju, te općenito i veće troškove za kućne toplinske stanice.

I uz veći pad tlaka može se odabrati manji promjer cjevovoda koji daje manje stalne troškove, ali treba uzeti u obzir povećane troškove električne energije vezane za cirkulaciju vrele vode. Izbor materijala bitno utječe na pogonsku sigurnost, a izvedba prijenosne mreže na ekonomičnost. Konačno rješenje je rezultat optimiranja.

3. TOPLINSKOENERGETSKI SISTEMI U JUGOSLAVIJI

Daljinsku opskrbu toplinom imaju danas u Jugoslaviji gradovi: Banja Luka, Beograd, Celje, Karlovac, Kragujevac, Kranj, Ljubljana, Maribor, Niš, Novi Sad, Osijek, Priština, Rijeka, Sisak, Skopje, Subotica, Velenje, Zagreb, Zenica i Zrenjanin. U fazi idejnog rješavanja daljinske opskrbe toplinom još je niz gradova: Mladenovac, Nikšić, Slavonski Brod, Valjevo itd. Toplinskoenergetski sistemi formirani su u Beogradu, Ljubljani, Novom Sadu i Zagrebu. U nastavku se daje osvrt na TES-e Banje Luke, Beograda, Ljubljane, Skopja, Zagreba i Zapadnog Berlina.

3.1. TES Banja Luke

Izgradnja toplane snage 2×6,96 MWt s pripadajućom vrelovodnom mrežom počela je u Banjoj Luci neposredno nakon potresa 1969. godine, a već 1970. godine priključuje se naselje Borik.

Daljinska opskrba toplinom cijelog područja grada počinje 1973. godine, kada je u Toplani pušten u pogon vrelovodni kotao snage 58 MWt. Današnja instalirana snaga Toplane iznosi 186 MWt. Povezivanjem Toplane i Energane »Incel« formiran je 1978. godine TES instalirane snage 244 MWt i 55 MWe. Do 1990. godine predviđa se izgradnja TE-TO toplinske snage 220 MWt i električne snage 135 MWe.

Dvocijevna vrelovodna mreža ima temperaturni režim 130/73 °C i regulaciju polazne temperature u ovisnosti o vanjskoj temperaturi. Potrošači se priključuju direktno i indirektno. Parna mreža obuhvaća samo područje »Incela«.

3.2. TES Beograda

Daljinsko grijanje realizirano je u Beogradu 1961. godine izgradnjom privremene kotlovnice i pripadajuće vrelovodne mreže na području Novog Beograda. Godine 1964. započeta izgradnja većih prigradskih naselja uvjetovala je parcijalno rješavanje daljinskog grijanja u vidu stalnih ili privremenih rajonskih vrelovodnih kotlovnica (RVK) vezanih za određena područja, čije su instalirane snage i pripadajući konzum navedeni u tablici 2. prema stanju 1978. godine. Prema usvojenoj koncepciji, koja se realizira sa zakašnjenjem zbog čestih promjena urbanističkog plana i razvoja grada, uže područje Beograda snabdjevat će se toplinskom energijom iz TES-a Novi Beograd i Dunav, a ostala, udaljenija područja iz RVK-a.Vrelovodne mreže čine zatvoreni dvocijevni sistemi s temperaturnim režimom 140/70 °C za područje Novi Beograd i Gornji Zemun i 150/75 °C za ostala područja i s regulacijom temperature u ovisnosti o vanjskoj temperaturi. Potrošači se priključuju direktno i indirektno.

3.2.1. TES Novi Beograd

TES Novi Beograd ima danas električnu snagu plinskih agregata 3×32 MWe i toplinsku snagu 5×116 MWt. Daljnjom izgradnjom na bazi spojenog procesa povećat će električnu snagu za 2×135 MWe i toplinsku snagu za 346 MWt. Toplinskom energijom opskrbljuje područje Novog Beograda, Donjeg Zemuna i desne savske padine.

3.2.2. TES Dunav

Na području budućeg TES-a Dunav instalirana RVK Konjarnik toplinske snage 116 MWt ostat će s toplinskom snagom 232 MWt u sastavu TES-a, čija se instalirana snaga treba povećati daljnjom izgrad-

Tablica 2. Izvori toplinske energije na području Beograda sa stanjem 1978. godine

Područje	Izvor toplinske energije	Instalir. topl. snaga MWt	Konzum MWt	Opaska
Novi Beograd	Toplana N. Beograd	580	555	stalna
Konjarnik	RVK Konjarnik	116	106	stalna
	RVK Mirijevo	9,3	8,8	privremena
Voždovac	RVK B. Jerković	22,1	21,8	privremena
	RVK Kumodraž II	6,96	6,96	privremena
	RVK Voj. Stepe	6,96	6,96	privremena
Kijevo	RVK St. Rakovica	21,8	8,2	privremena
	RVK Kijevo I	11,6	11,6	privremena
Gornji Zemun	RVK G. Zemun	32,5	27,8	privremena
Dunav	RVK Dorćol	3,48	3,48	privremena
Kanarevo Brdo	RVK Kanar. brdo	60	55,6	stalna
Banovo Brdo	RVK Banovo brdo	69,6	44,0	stalna
Medaković	RVK Medaković	20,8	13,9	stalna

njom na bazi spojenog procesa za 2 × 135 MWe i 812 MWt. Toplinskom energijom opskrbljivat će uže izgrađeno područje starog dijela Beograda i nova stambena područja Konjarnik, Šumice, Mirijevo i druga.

3.2.3. Rajonske vrelovodne kotlovnice

Na području preostalog dijela Beograda, gdje je planirana intenzivna stambena izgradnja, potrošači će se opskrbljivati toplinskom energijom iz RVK-a, čija će instalirana snaga iznositi kako slijedi:

RVK Kijevo	174	MWt
RVK Gornji Zemun	232	MWt
RVK Voždovac	232	MWt
RVK Banovo Brdo	69,6	MWt
RVK Miljakovac	58	MWt
RVK Medaković	31,3	MWt

3.3. TES Ljubljane

Daljinsko grijanje realizirano je u Ljubljani 1961. godine priključenjem prvih potrošača na rekonstruiranu staru termoelektranu u Slomškovoj ulici. TES je formiran 1966. godine puštanjem u pogon TE-TO Ljubljane (TOL). U sastav TES-a ulazi 1972. godine Toplana Šiška (TOŠ). Ovaj se jedinstveni TES početkom ogrjevne sezone razdvaja, pa TOŠ opskrbljuje toplinskom energijom sjeverno, a TOL preostalo područje grada.

Toplinska energija za grijanje i za potrebe industrije proizvodi se u spojenom procesu i u kotlovskim postrojenjima. Dvocijevna vrelovodna mreža ima temperaturni režim 130/70 °C i regulaciju polazne temperature u ovisnosti o vanjskoj temperaturi. Priključak potrošača uglavnom je indirektan.

TOL ima u spojenom procesu instaliranu električnu snagu 2 × 32 MW i ukupnu toplinsku snagu 144,8 MWt. Snaga parnih i vrelovodnih kotlova iznosi 91,81 MWt, a sveukupna instalirana toplinska snaga 236,6 MWt (za ogrjevni konzum 174,45 MWr i za industrijski konzm 62,16 MWt). Pred ulaskom u pogon je toplinski blok električne snage 50 MW i toplinske snage 150 MWt.

TOŠ ima instaliranu toplinsku snagu vrelovodnih kotlova 232 MWt (4 × 58 MWt) i parnih 33,66 MWt (2 × 16,83 MWt), odnosno ukupno 265,66 MWt.

3.4. TES Skopja

Realizacija daljinske opskrbe toplinom

Skopju počinje nakon katastrofalnog potresa 1963. godine. S obzirom na usvojenu koncepciju da se na srušenom centralnom području grada izgrade stambeni i javni objekti, a u novim naseljima stambeni i ostali objekti visoke gradnje, ispunjeni su potrebni uvjeti.

Danas se veći dio područja grada opskrbljuje iz sistema daljinskog grijanja u čijem su sastavu toplane »Istok« i »Zapad«, a manji dio iz RVK »11. oktobar«. Instalirana snaga vrelovodnih kotlova u toplanama iznosi:

TO Istok:	3 × 46,4	MWt
	2 × 69,6	MWt
TO Zapad:	2 × 5,8	MWt
	2 × 23,2	MWt
RVK »11. oktobar«:	2 × 6,96	MWt
	1 × 16,24	MWt

Instalirana snaga obaju sistema daljinskog grijanja iznosi 366,58 MWt.

Dvocijevna vrelovodna mreža ima temperaturni režim 130/70 °C i regulaciju polazne temperature u ovisnosti o vanjskoj temperaturi. Potrošači se priključuju direktno i indirektno. Na priključak spremno netoplificirano sjeverno područje grada opskrbljivat će se energijom iz TO Istok nakon njezine dogradnje sa snagom 2 × 116 MWt, a TES će se formirati predviđenom izgradnjom TE-TO još nedefinirane snage.

3.5. TES Zagreba

Daljinsko grijanje realizirano je u Zagrebu 1954. godine puštanjem u pogon vrelovoda »Elektrana-Toplana« — tvornica »R. Končar«. To je ujedno i prva realizacija takvog grijanja u Jugoslaviji. Intenzivnija toplifikacija grada počinje 1964. godine, godinu dana nakon puštanja u pogon izgrađene TE-TO Zagreb. Danas se potrošači toplinske energije grada opskrbljuju iz dva odvojena toplinsko-energetska sistema, od kojih TES TE-TO pokriva potrebe istočnog, a TES EL-TO potrebe zapadnog područja grada. Predviđeno povezivanje ovih TES-a u jedinstven TES nije još uvijek realizirano. Toplinska energija za grijanje i za potrebe industrije proizvodi se u spojenom procesu i u zasebnim kotlovskim postrojenjima. Svaki TES ima odvojenu vrelovodnu i parnu mrežu. Dvocijevne vrelovodne mreže imaju projektirani temperaturni režim 150/70 °C (u pogonu 120/70 °C) i regulaciju polazne temperature u ovisnosti o vanjskoj temperaturi. Većina potrošača ima dodatnu regulaciju putem regulatora temperature i uređaj za pripremu potrošne tople vode. Uz većinom direktni sistem dovoda topline potrošačima primjenjuje se i indirektni sistem. Parne mreže su u pogonu s parom tlaka 6 — 8 bara i temperaturom 200 — 230 °C.

3.5.1. TES EL-TO

TES EL-TO ima u spojenom procesu instaliranu električnu snagu 1 × 12 MW i 1 × 30 MW i ukupnu toplinsku snagu 171,2 MWt.

Snaga parnih i vrelovodnih kotlova iznosi 140,5 MWt, a sveukupna instalirana toplinska snaga 311,7 MWt (za ogrjevni konzum 129 MWt i za industrijski konzum 182,7 MWt).

3.5.2. TES TE-TO

TES TE-TO ima u spojenom procesu instaliranu električnu snagu 2 × 32 MW i 1 × 120 MW i ukupnu toplinsku snagu 413 MWt. Snaga parnih i vrelovodnih kotlova iznosi 283,6 MWt, a sveukupna instalirana toplinska snaga 696,6 MWt (za ogrjevni konzum 516,2 i za industrijski konzum 180,4 MWt).

4. TES ZAPADNOG BERLINA

Elektrifikacija Berlina počela je 1. 8. 1900. godine, kada je puštena u pogon TE Charlottenburg snage 1,5 MW sa stapnim parnim strojevima. Do 1913. godine elektrana povećava instaliranu snagu na 21,65 MW i zamjenjuje dio pogonskih stapnih parnih strojeva parnim turbinama. Godine 1922. TE Charlottenburg preuzima firma BEWAG (i danas nosilac elektrifikacije i toplifikacije Zapadnog Berlina), vrši rekonstrukciju, povećava instaliranu snagu parnih turbina na 50 MW, instalira protutlačni agregat snage 6 MW, počinje izgradnju mreže daljinskog grijanja s parom kao nosiocem topline i do 1929. godine završava ovu fazu izgradnje instaliranjem baterije od 16 stojećih Ruthovih akumulatora topline s dvije parne turbine ukupne snage 50 MW. S punim Ruthovim akumulatorima topline agregati mogu proizvesti 73 MW električne energije. To postrojenje je danas tako izvedeno da u slučaju raspada EES-a i većih poremećaja automatski ulazi u pogon i nakon 15 sekundi daje snagu od 40 MW, pa omogućava brzu normalizaciju pogona.

Godine 1925. realizirano daljinsko grijanje s priključnom snagom 1,7 MWt i s parom kao nosiocem topline povećava tu snagu 1929. godine na 42 MWt. Godine 1926. realizira se rajonsko daljinsko grijanje vezano na TE-TO Steglitz s trocijevnom mrežom i vrelom vodom kao nosiocem topline. Utjecajem drugoga svjetskog rata smanjila se je 1945. godine priključna snaga gradskog grijanja na 19,7 MWt.

Intenzivna toplifikacija Berlina počinje 1950. godine. Prema usvojenoj koncepciji izgrađuje se trocijevna zamkasta mreža s vrelom vodom, s projektiranim temperaturnim režimom 160/70 °C i regulacijom polazne temperature u ovisnosti o vanjskoj temperaturi.

Do 1945. godine Berlin je 2/3 potrošnje električne energije osiguravao iz vlastitih izvora, a 1/3 je preuzimao iz EES-a. Godine 1952. Zapadni Berlin je iz poznatih razloga odvojen od EES-a DR Njemačke, pa je BEWAG dobio zadatak da opskrbljuje potrošače električnom i toplinskom energijom u otočnom pogonu na ograničenom prostoru od 480 km² sa 2,2 milijuna stanovnika. Razvoju autonomnog EES-a i TES-a stajale su na putu razne teškoće kao ograničena količina rashladne vode, ograničena izgradnja dimnjaka viših od 100 m zbog tri aerodroma, transport goriva, prijenos energije, zaštita okoline, koje su uvjetovale specifična rješenja. Navedene okolnosti su omogućile da se energetski problem relativno slabo industrijaliziranog Zapadnog Berlina studira i rješava u idealnom obliku, pa kao takav predstavlja školski primjer rješenja, koji dakako ima i svoju cijenu.

TES instalirane snage 780 MWt formiran je 1957. godine povezivanjem mreža daljinskog grijanja termoelektrana — toplana Charlottenburg i Moabit. Do 1975. godine ulaze u sastav TES-a TE-TO Steglitz, Reuter, Lichterfeld, pa te godine ima TES zajedno s elektranama Oberhavel i Rudowo · instaliranu toplinsku snagu 1 660 MWt i električnu snagu 2 000 MWe. Do 1985. godine očekuje se udvostručenje toplinske i električne snage.

5. ANALOGIJA TOPLINSKOENERGETSKOG I ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

TES i EES razlikuju se i prema definiciji samo s obzirom na vrstu energije. Oba sistema su u složenosti praktički identična, a u eksploataciji direktno povezana i međusobno ovisna barem u dijelu koji se odnosi na vlastit potrošak električne energije toplana. TES je u odnosu na EES ograničen na prostorno znatno uže područje jer je vezan isključivo na veće urbane anglomeracije, ali zato ima veliku gustoću proizvodnje i potrošnje. Instalirana toplinska snaga TES-a Zagreba iznosi npr. danas približno 30 % od instalirane električne snage EES-a SR Hrvatske, a vršno opterećenje TES-a približno 50 % vršnog opterećenja EES-a.

Dnevno vršno opterećenje TES-a realizira se najčešće u ranim jutarnjim satima, dakle ne istovremeno s dnevnim vršnim opterećenjem EES-a, a direktno je ovisno o vanjskoj temperaturi. Odnos maksimalnog i minimalnog dnevnog toplinskog opterećenja TES-a TE-TO Zagreb i električnog opterećenja TS 110/30 kV TE-TO Zagreb naveden je u tablici 3.

Tablica 3. Odnos maksimalnog i minimalnog dnevnog opterećenja TES TE-TO Zagreb

	Vrste konzuma	Vremenski period	
		Zima	Ljeto
Odnos opterećenja $\frac{P_{max.}}{P_{min.}}$	ogrjevni	1,27	1,50
	industrijski	1,13	1,57
	ukupni toplinski konzum	1,21	1,73
	električni	1,82	2,10

Godišnje vršno opterećenje TES-a realizira se na najhladniji dan, u pravilu u prvoj ili drugoj polovici siječnja, a EES-a u pravilu oko 25. prosinca.

Analize pokazuju da se u razdoblju od 8 do 10 godina vršno toplinsko opterećenje industrijskog konzuma udvostručuje kao i vršno opterećenje EES-a, dok se vršno opterećenje ogrjevnog konzuma u istom razdoblju udvostručuje ili čak utrostručuje (ovisno o intenzitetu stambene izgradnje koja ima dominantan utjecaj na porast opterećenja).

U tablici 4. obrađena je osnovna analogija TES-a i EES-a s razloga što se praktički ne susreće u literaturi, a sa svrhom da se olakša uvođenje u kompleksnu problematiku toplinarstva.

6. ZAKLJUČAK

Toplinskoenergetski sistem predstavlja složen sistem, pa se pri realizaciji daljinske opskrbe toplinom moraju uzeti u obzir svi utjecaji koji određuju optimalnu eksploataciju, a prije svega veličina i karakter konzuma, trajanje ogrjevne sezone, vrsta i iskorište-

Tablica 4. Osnovna analogija TES-a i EES-a

T E S	E E S
Parogenerator Turbina	Generator
Cjevovodi (vrelovodi, parovodi)	Vodovi
Izmjenjivač topline Toplinska stanica Redukciona stanica	Transformator Transformatorska stanica
Dodatna pumpna stanica	Kompenzator
Hidrauličke prilike	Naponske prilike
Temperatura ϑ (°C)	Potencijal (V)
Razlika temperatura $\Delta\vartheta$ (°C)	Napon U (V)
Toplinski tok $\phi = \frac{\Delta\vartheta}{R_t}$ (W) (J)	Struja I (A)
Otpor $R_t = \frac{\Delta\vartheta}{\phi}$ (°C/W)	$R = \frac{U}{I}$ (Ω)
Snaga $\phi = c_v G \Delta\vartheta$ (W) $\phi = G \Delta i$ (W) c_v – specifična toplina (J/kg,°C) G – protok (kg/s) i – entalpija (J/kg)	P = I U (W)
Energija $Q = \phi t$ (Ws) (J) t – vrijeme	W = P t (Ws) (J)
Entropija S (J/K)	Kapacitet C (F)
Termička vremenska konstanta $\tau = R_t S$ (s)	Vremenska konstanta $\tau = R C$ (s)
Zakon čvorišta $\Sigma G = o$	I. Kirchhoffov zakon $\Sigma I = o$
Zakon zamke $\Sigma \Delta p = o$	II. Kirchhoffov zakon $\Sigma E = \Sigma I R$
Otpor cjevovoda $Rc = \frac{\lambda}{d} \frac{v^2}{2g}$ λ – koeficijent trenja d – unutrašnji promjer (m) v – brzina strujanja (m/s) g – ubrzanje (m/s^2)	Otpor vodiča $R_v = \frac{1}{\kappa A} (\frac{\Omega}{m})$ κ – vodljivost (S/m) A – presjek (m^2)
Pad tlaka $\Delta p = \gamma R_c 1$ (Pa) 1 – dužina cjevovoda (m) γ – specifična težina vode kod određene temperature (kg/m^3)	Pad napona $\Delta U = I R_v 1$ (V) 1 – dužina vodiča (m)

nje goriva, uvjeti transporta, zaštita čovjekove okoline itd.

Budući da kombinirana proizvodnja toplinske i električne energije daje znatnu uštedu goriva i da je štednja primarne energije imperativ našeg vremena, treba graditi termoelektrane — toplane svuda gdje za to postoje potrebni uvjeti. Opskrba potrošača toplinskom energijom iz centraliziranih izvora smanjuje potrošnja goriva, pa i ta činjenica obvezuje elektroprivredu da u svoj plan razvoja sve više uvrštava izgradnju takvih izvora.

Napokon treba reći da je ova tema posvećena 20. obljetnici toplinarstva u gradu Zagrebu.

KEY WORDS:

REMOTE HEAT SUPPLY, SYSTEM FOR HEATAND ELECTRIC POWER PRODUCTION, ELECTRICAL SISTEM

Sysdtems for Heat and Electric Power Production

In the article are analised some components of system for heat and electric power production as vell as criteria and guides for their selection in view of great advantage of remote heat supply due to rationalize in use of primary energy. Some informations of system for heat and Zagreb as well as specific system of W. Berlin are given. Also, a basic analogy between heat and electric power system is eleborated.

ÜBER VÄRMEENERGETISCHE SYSTEME

Mit rücksicht auf die endeutigen Vorteile der Fern–Warmwasserversorugung und besonders der Kopplung mit der wirtschaftlichen Nutzung der Primärenergie, werden die einzelnen Anlageteile des wärmewirtschaftlichen Systems und die grundlegenden Gesichtspunkte und Richtlinien für deren Wahl behandelt.Die Bericht beruht auf Unterlagen des wärmewirtschaftlichen Systems der Städte Banja Luka, Belgrad, Ljubljana, Skopje, Zagreb und Berlin–West als Beispiel einer grundlegenden, speziefischen Lösung. Erör tert werden die für derarige Lösungen erforderlichen Voruntersushungen für die grundlegenden Daten zur Analogie des wärmeenergetischen und elektrischen Verbundsystems.

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Учитывая ярко выраженные преимущества дальнего теплоснабжения, особенно в связи с рациональным использованием первичной энергии, обработаны составные части теплоэнергетической системы (ТЭС) и основные критерии и директивы для их отбора. Приводится информация о ТЭС Баня Лука, Белграда, Любляны, Скопля и Загреба, а также Западного Берлина, представляющей специфичное решение. Обрабатывается и основная аналогия теплоэнергетической и электроэнергетической систем.

Naslov pisca:

Franjo Černohous, dipl. ing.
TE-TO 41000 Zagreb,
Kušeračka 1 bb

Uredništvo primilo rukopis
1982 — 08 —30

UNIVERZALNA RJEŠENJA STUPOVA U OKVIRU TIPIZACIJE SREDNJONAPONSKIH VODOVA*

Stjepan Bilić, Zagreb

UDK 621.315.2
Stručni rad

U članku je dan kratak pregled univerzalnog rješenja linijskih ili nosivih stupova za srednjonaponsku mrežu 20 kV i 10 kV koje je autor obradio u sklopu šire razrade tipizacije srednjonaponskih vodova. Na temelju analize i kritike tehničkih i ekonomskih nedostataka u dosadašnjoj praksi izgradnje 10 kV vodova, naročito onih većih presjeka, kao i na temelju suvremenih pogleda na ovu problematiku, autor izgrađuje koncepciju univerzalnog rješenja stupa. Univerzalnost rješenja očituje se u mogućnosti različitog zavješenja vodiča, primjeni različitih presjeka vodiča sa i bez zaštitnog užeta, ugradnji različitih oblika glave stupa, primjeni u raznim klimatskim uvjetima, u mogućnosti izvedbe različitih otcjepa i dr., i to sve s malim brojem tipiziranih i tvornički pripremljenih elemenata.

Ključne riječi: tipizacija, standardizacija, univerzalnost rješenja, srednjonaponski vodovi, tehnički podaci,ekonomski podaci, katalog stupova

1. UVOD

Problematika srednjonaponskih vodova postaje sve aktualnija: s jedne strane radi raznolikih koncepcija i rješenja stupova, a s druge strane radi osjetnog povećanog energetskog konzuma koji više ne mogu zadovoljiti dosad uobičajeni manji presjeci vodiča.

U okviru elektrodistribucije do sada su građeni vodovi nazivnog napona uglavnom 10 kV i 35 kV. Međutim, razvoj elektrodistribucije diktira izgradnju 20 kV vodova na račun 10 kV i 35 kV koji se postupno napuštaju.

U pogledu vodiča dosadašnja rješenja 10 kV vodova primjenjivala su ove presjeke:

Al/Fe uže 35/6 mm², Al/Fe uže 50/8 mm², Al/Fe uže 70/12 mm².

U pogledu konstrukcije stupova koriste se tri osnovne vrste različite po materijalu:

drveni stupovi,
armiranobetonski stupovi,
čeličnorešetkasti stupovi.

Osnovna karakteristika drvenih i armiranobetonskih stupova jest njihovo zadovoljavanje u pogledu nosivosti i ekonomičnosti za manje presjeke vodiča, do uključivo Al/Fe 70/12 mm², dok za presjek Al/Fe 95/15 mm² drveni stupovi u pravilu ne zadovoljavaju (bez specijalnih rješenja), a armiranobetonski zadovoljavaju uvjetno (manji mehanički rasponi i upotreba čeličnorešetkastih stupova za veće kutove i čvrste točke).

Međutim, za presjek Al/Fe 120/20 i 150/25 mm² armiranobetonski i drveni stupovi ne mogu zadovoljiti tehničke ekonomske zahtjeve, a pogotovo ne potrebe moderne koncepcije projektiranja i izgradnje srednjonaponskih vodova povećanih presjeka vodiča.

Čeličnorešetkasti stupovi koji se primjenjuju u izgradnji ovih vodova dvojaki su po osnovnim karakteristikama : prepravljeni stupovi 35 kV vodova i stupovi projektirani upravo za tražene presjeke vodiča, ali po koncepciji i rješenjima starih prosječno desetak godina.

Predmet ovog članka su samo linijski ili nosivi stupovi koji čine veliku većinu stupova na trasi.

Zatezni stupovi koji su informativno prikazani u grafičkim prilogu imaju slična osnovna svojstva kao i linijski stupovi osim geometrije, funkcije na trasi i oblika.

Radi nedostatka raspoloživog prostora u ovom tekstu neće se obraditi zatezni tipovi stupova, ali se ipak radi kompletnijeg razumijevanja cjelokupne tipizacije navode osnovne karakteristike zateznih stupova:

- silhueta stupa skošena je od temelja prema vrhu i zajednička je za sve tipove stupova
- tlocrtni oblik stupa je kvadratičan
- sistemna i vijčana širina svih tipova stupa tako je odabrana da se pojedini elementi konstrukcije mogu zamijeniti jednim tipom na drugi tip
- broj pozicija dijagonala svih tipova stupova mnogostruko je manji od dosadašnje tehnologije
- svi dijagonalni štapovi su u vijčanoj izvedbi
- geometrija i tehnologija stupova riješeni su tako da omogućuju niz specijalnih rješenja (prijelaz zračnog voda u kabel, zračni otcjep, rastavljač na vrhu stupa, dvostruki zračni otcjep s linijskim rastavljačem i dr.), i to na način da se jedno takvo rješenje bez dorade može realizirati na drugim tipovima stupova.

---

* Ova rješenja odnosno tipizacija pod nazivom »Univerzalna rješnja stupova za 20 kV i 10 kV vodove« autorski su zaštićena, objavljena uz suglasnost TEH – PROJEKTA, a njihova upotreba regulirana je Zakonom.

Prema zaključcima Savjetovanja elektrotehničkih inženjera i tehničara SR Hrvatske 1980. godine u vezi sa standardizacijom i tipizacijom opreme za gradnju dalekovoda i distributivnih mreža i prema već poznatoj koncepciji elektrodistributivnih organizacija, kao prioritetni srednjonaponski vodovi usvojeni su vodovi nazivnog napona 20 kV.
Kakopostavke,rješenja i rezultati rada autora na ovom području odgovaraju navedenoj koncepciji i očekivanjima elektrodistribucije, naša se radna organizacija pridružila naporima autora i u praksi realizirala takva rješenja, od tehničke dokumentacije, tehnologije, proizvodnje do plasmana stupova, koji zajedno s tipskim temeljima nove generacije predstavljaju dugo očekivanu tipizaciju i standardizaciju građevinskih elemenata srednjonaponskih vodova.
TEH – PROJEKT
Rijeka

2. OSNOVNI NEDOSTACI POSTOJEĆIH RJEŠENJA

Analizom postojećih tehničkih rješenja koja su do sada primijenjena na vodovima 10 kV, uočavaju se ovi osnovni nedostaci:

2.1. Postojeća tehnička rješenja stupova za 10 kV vodove prilagođena su manjim presjecima vodiča koji su donedavno i bili aktualni. Ovakva rješenja u obliku drvenih i armiranobetonskih stupova ne mogu se bez posebnih zahvata uspješno koristiti za povećane presjeke vodiča.

2.2 Postojeća novija tehnička rješenja čeličnorešetkastih stupova za predmetne presjeke vodiča (prvenstveno Al/Fe 95/15 i 120/20 mm²) u tehničkom pogledu zadovoljavaju, ali ne i u ekonomskom, jer su količine ugrađenog materijala po jedinici dužine voda praktički jednake kao i za 35 kV. Ovome je uzrok klasična i zastarjela koncepcija projektiranja stupova velikih mehaničkih raspona, neprikladnih geometrijskih oblika i ograničenosti primjene pojedinog tipa stupa.

2.3. Takozvana klasična koncepcija projektiranja čeličnih stupova sastoji se u tome da se za određene, odabrane i jednoznačne parametre opterećenja dimenzionira jedan, određen tip stupa, čime je primjena takvog »tipa« stupa jednokratno definirana. Osim u pogledu parametara opterećenja, tako i u pogledu svakog oblika glave stupa, odnosno rasporeda vodiča i zaštitnog užeta, stup ima »jednokratnu« mogućnost primjene samo za te karakteristike. Promjenom bilo presjeka vodiča, bilo oblika glave stupa ili pojedinog parametra opterećenja (vjetrovna zona, mehanički raspon, naprezanje užeta i sl.) određeni tip stupa mora se zamijeniti drugim, što povećava broj tipova i različitih rješenja.

2.4. Takozvani klasični pristup projektiranju srednjonaponskih vodova (sada aktualnih 20 kV) prenesen je s vodova 35 kV i 110 kV, što se očituje u skupim istražnim radovima, dugotrajnom projektiranju, potrebnom vremenu za proizvodnju i cinčanje, isporuku stupova i, napokon, izgradnju. Takva organizacija projektiranja i realizacija vodova neprikladna je i skupa.

2.5. Način tretiranja faktora sigurnosti voda odnosno prekid vodiča na linijskim (nosivim) stupovima dovodi u praksi do neusklađenosti mehaničke sigurnosti konstrukcije stupova i vodiča s pripadnim ovjesnim materijalom, i to na račun onih prvih. Posljedica ovakve prakse, bolje reći navike, u pravilu je rušenje stupova zajedno s vodičima.

Brojne havarije (podsjetimo se zadnje katastrofalnih dimenzija u Lici 80/81. godine) čine previsok račun elektrodistribuciji i konačno cjelokupnoj zajednici samo u ime »striktnog držanja propisa«, pri čemu se zanemaruju nove teorijske spoznaje, iskustva iz prakse i tehnička logika iz istih propisa.

Naime, stručnim je osobama iz ovog područja dobro poznata činjenica da se konstrukcija stupova dimenzionira s faktorom sigurnosti 1,5 (normalno stanje opterećenja) odnosno 1,1 (izvanredno stanje opterećenja), dok vodiči i ovjesni materijal imaju faktor sigurnosti 2,5 do 3,0 (ovisno o elementu). Stoga je jasno zašto svaka havarija na vodičima u pravilu povlači rušenje niza linijskih, a ponekad i zateznih stupova.

3. KONCEPCIJA I KARAKTERISTIKE PREDMETNIH RJEŠENJA

3.1. Osnovnu koncepciju rješenja ovakve tipizacije karakterizira:

- univerzalnost po tretmanu stupova na tržištu (stup je proizvod)
- univerzalnost rješenja u pogledu različitih kriterija zavješenja vodiča (A, B, C)
- univerzalnost rješenja u pogledu primjene različitih presjeka vodiča (od Al/Fe 70/12 do Al/Fe 150/25 mm²) sa i bez zaštitnog užeta
- univerzalnost rješenja u pogledu primjene svih oblika glava stupova
- univerzalnost rješenja u pogledu primjene za sve klimatske zone u zemlji
- univerzalnost rješenja u pogledu specifičnih tehničkih zahtjeva
- univerzalnost primjene visećih i potpornih izolatora
- jedinstvenost tehnologije za sve tipove stupova (posebno za linijske i posebno za zatezne).

3.1.1. Univerzalnost u pogledu tretmana stupova na tržištu očituje se u usvajanju konstrukcije stupa kao proizvoda. U tom smislu nakon svestrane računske obrade stup se definira za sve granice primjene, za sve oblike glava, moguće kriterije zavješenja vodiča, te se nakon usvajanja jedinstvene tehnologije (kao i za ostale tipove) izrađuje prototip. On se ispituje u pogledu zadovoljavanja postavljenih mehaničkih karakteristika, o čemu se izdaje atest. Zatim se stup serijski proizvodi i uskladištava.

Svi tehnički podaci i granice primjene svakog pojedinog tipa stupa nalaze se u katalogu stupova, te se prema njemu za potrebe idejnog rješenja, planiranja, projektiranja i izvedbe stupovi jednostavno naručuju sa skladišta.

3.1.2. Univerzalnost rješenja u pogledu različitih kriterija zavješenja vodiča na linijskim (nosivim stupovima) očituje se u elastičnom tretiranju pojma prekida vodiča, tako da jedan tip stupa zadovoljava za jedan ili za dva različita kriterija, ovisno o ostalim parametrima opterećenja. Ukratko, uvođenjem kriterija zavješenja uvodimo u praksu osigurač na spoju vodiča i stupa kojim se štite stupovi.

- Kriterij zavješenja A: Umjesto »klasične« prekidne sile uvodi se konstruktivna sila u smjeru trase voda, koja treba spriječiti proklizavanje vodiča zbog otpadanja leda u susjednim rasponima. Osiguranje stupa od prekoračenja ove sile postiže se dimenzioniranjem odgovarajućeg veza na izolatoru odnosno stezaljci.

Primjena: za blaže i normalne klimatske uvjete.

— Kriterij zavješenja B: Stup podnosi pojavu reducirane »klasične« prekidne sile, što omogućuje stupu da podnosi do određenog stupnja razliku naprezanja vodiča u susjednim rasponima. U slučaju prekoračenja ove sile (npr. kod stvarnog prekida vodiča) otpusna stezaljka (klizni ili iskočni tip) automatski omogućuje proklizavanje vodiča što dovodi do smanjenja sile u liniji trase. Time se havarija voda svodi samo na havariju veza (uvjetno rečeno) koja se sanira jednostavom intervencijom. U svakom slučaju stupovi su očuvani od većih oštećenja i deformacija i nakon intervencije na vezovima opet preuzimaju svoju ulogu nošenja.

Primjena: za teže i najteže klimatske uvjete.

— Kriterij zavješenja C: Stup se dimenzionira za punu vrijednost prekidne sile propisane tehničkim normativima za linijske (nosive) stupove.

Primjena: za teže i najteže klimatske uvjete.

3.1.3. Univerzalnost rješenja u pogledu primjene različitih presjeka vodiča sa zaštitnim užetom i bez, očituje se u činjenici da je gotovo svaki tip linijskih stupova iz tipizacije primjenljiv za dva do tri različita presjeka vodiča uz primjenu zaštitnog užeta ili bez njega. Za ilustraciju ove višeznačne i svestrane primjenljivosti u grafičkom dijelu članka priloženi su listovi iz kataloga stupova s granicom primjene za pojedine tipove linijskih stupova.

Univerzalnost rješenja u pogledu primjene različitih oblika glava stupova, očituje se u mogućnosti upotrebe različitih glava stupova (po obliku i tipovima) s visećim ili potpornim izolatorima za jedan te isti tip stupa. To je postignuto takvim tehnološkim rješenjem (u pogledu siluete i odabiranju sistemne i vijčane linije pojasnika) koje se bitno razlikuje od dosadašnjih, uobičajenih rješenja dalekovodnih stupova svih nivoa napona.

3.1.5. Univerzalnost rješenja u pogledu primjene za sve klimatske uvjete očituje se u mogućnosti svakog tipa stupa da se koristi za različite granice primjene mijenjanjem pojedinih parametara opterećenja.

Novost u koncepciji u odnosu na dosadašnja rješenja dalekovodnih stupova sastoji se u tome da se pojedini tip stupa nakon dimenzioniranja za odabrane parametre opterećenja (presjek vodiča, vjetrovna zona, naprezanje vodiča, mehanički raspon oblik glave i kriterij zavješenja) podvrgne kompleksnoj kontroli nosivosti konstrukcije za ostale najrazličitije uvjete opterećenja, čime se utvrđuju i ostale granice primjene koje prethodno dimenzionirani i odabrani tip može zadovoljiti. Ta višeznačnost nosivosti i primjenljivosti svakog tipa stupa ilustrirana je u grafičkom prilogu u vidu granice primjene za tri tipa linijskih stupova.

3.1.6. Univerzalnost rješenja u pogledu potrebe specifičnih tehničkih zahtjeva očituje se u tome da se bez posebne razrade i dorade osnovnog tipa stupa omogućuju ova specifična tehnička rješenja:

— kabelski otcjep s linijskim rastavljačem i odvodnicima prenapona
— zračni otcjep
— zračni otcjep s linijskim rastavljačem
— glava stupa za veće mehaničke raspone itd.

3.1.7 Univerzalnost primjene visećih i potpornih izolatora očituje se u jednostavnom izboru tipa glave za pojedinu vrstu i tip izolatora bez ikakvih dorada i izmjene konstrukcije stupa.

3.1.8 Jedinstvenost tehnologije za sve tipove stupova koja je postignuta ovim rješenjima stupova omogućuje da se tipovi stupova proizvode na različitim lokacijama a od raznih proizvođača. Time se prevladavaju lokalne, regionalne barijere u pogledu organizacija, tehnologije i ekonomije uopće, čime je omogućeno svođenje jediničnih cijena ovih vodova na zajednički nazivnik i realne usporedbe.

4. OSNOVNI TEHNIČKI PODACI

4.1. Općenito

Tipski linijski (nosivi) stupovi sastoje se od unificiranog, jednoznačno definiranog trupa stupa i više vrsta i tipova glava stupova.

Trup konstrukcije stupa kao i pripadne glave konstruirani su s jedinstvenom siluetom paralelnih pojasnika, i to u dvije varijante širine stranice x (ravnina okomita na liniju trase).

Grupa stupova uže siluete projektirana je za blaže klimatske zone, s osnovnim opterećenjem vjetra do 0,75 kN/m². Grupa stupova šire siluete projektirani su za normalne i teže klimatske zone s osnovnim opterećenjem vjetra do 1,10 kN/m².

Važno je obratiti pozornost na koncepciju tipizacije koja predviđa u pravilu primjenu stupova ukupne visine do 15,0 m iznad tla, čime se računske vjetrovne zone povećavaju za jednu zonu, odnosno za jednu kategoriju. Tako se npr. stupovi proračunati na vjetrovnu zonu od 1,10 kN/m² mogu primijeniti u osnovnoj vjetrovnoj zoni od 1,30 kN/m², prema članu 12, tablica 1. »Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova«.

Osnovni oblici glava stupova koje se mogu primijeniti na istom tipu stupa označene su kao DELTA, JELA, KAPA, TRAPEZ i BAČVA, čime se mogu zadovoljiti svi dosad primijenjeni rasporedi vodiča.

Iz izvoda iz kataloga stupova (Granice primjene za stup L1, L4 i L11) vidljivo je da promjena određenih parametara opterećenja (presjek vodiča, glava stupa i vjetrovna zona) direktno utječe na računski mehanički raspon, čime se postiže višeznačna primjena svakog tipa stupa širokog, praktički univerzalnog karaktera.

4.2. Materijal konstrukcije

Kao osnovni materijal koriste se vruće valjani profili i limovi prema JUS C. B0. 500. Sve mehaničke i kemijske karakteristike definirane su oznakom materijala ČN 24-B1, odnosno po JUS-u Č.0361.

Kao spojna sredstva koriste se vijci opće namjene prema JUS M. B1. 023, kvalitete definirane klasom čvrstoće 4.6 (uglavnom) i 5.6 (iznimno).

Osim vijaka za spajanje elemenata koriste se varovi čije se konstruiranje, proračun, izrada i kontrola vrše prema tehničkoj dokumentaciji i odgovarajućim tehničkim propisima.

4.3. Tehnologoija

Tehnološka rješenja karakterizira prilagođavanje konstrukcije proizvođaču i montažeru, jer jednostavnom tehnologijom koja je ostvarena utječe se na cijenu proizvodnje i montaže uz svođenje eventualnih grešaka u izradi i ugradnji na minimum, čime se postiže viši stupanj kvalitete od dosad uobičajenog.

Svi pojasnici izvedeni su od L-profila kao i dijagonale stranice x. Dijagonale stranice y izvode se od L-profila, pljosnog čelika ili okruglog punog čelika. Dijagonalni štapovi šire stranice u pravilu su spojeni jednim zajedničkim vijkom, čime se broj vijaka svodi na minimum.

Dijagonalni štapovi uže stranice (ili horizontale) u pravilu su na pojasnik spojeni zavarivanjem, osim za neke podtipove stupova gdje su spojevi izvedeni vijcima. Glave stupova izvedene su u kombinaciji U-profila i L-profila.

Dijagonalni štapovi stranice x radi odabrane vijačne, odnosno sistemne širine praktički su jednaki u geometrijskom, a većinom i u dimenzionalnom smislu za sve tipove 1. grupe (uža silueta) odnosno 2. grupe (šira silueta) stupova, čime se broj pozicija ovih štapova od nekoliko stotina (za dosad uobičajenu tehnologiju sličnih stupova) do svega desetak za ovu tipizaciju. Time se pojednostavljuje izrada, montaža i ukupni troškovi konstrukcije. Ovo svojstvo osjetno manjeg broja pozicija i dimenzija velikog broja elemenata posebno je važno za održavanje vodova, odnosno držanje potrebne rezerve konstrukcije, kao i za potrebe brzih intervencija radi sanacije.

Odabiranjem jednakog razmaka, vijčanih i zavarenih spojeva uzduž pojasnika omogućena je primjena automatizirane ili poluautomatizirane proizvodnje, a kod manufakturne proizvodnje pojednostavljuje pripremu i izradu.

Zbog prije navedenih svojstava, naročito dijagonala stranice x koje su montažne, omogućena je jednostavna zamjena bilo kojeg štapa jednog tipa stupa štapom s drugog stupa.

Prema interesu investitora i potencijalnih proizvođača ova tipizacija sa svojim rješenjima omogućuje daljnja poboljšanja u smislu težine i cijene primjenom hladno oblikovanih profila (HOP-profili), a posebno je zanimljiva upotreba profila od nerđajućeg čelika (kod nas proizvodi Željezarna u Jesenicama), čija je analiza pokazala očigledne prednosti u pogledu cijene u odnosu na klasične valjane profile naknadno pocinčane. Međutim, cijela problematika upotrebe antikorozivnih čelika za dalekovode zasebno je područje koje traži naknadnu stručnu obradu.

4.4. Uskladištenje

Uskladištenje konstrukcije stupova ima posebno značenje u cjelokupnoj tipizaciji. U velikoserijskoj ili manjeserijskoj ali permanentnoj proizvodnji pojedine etaže stupova zavarene na užoj stranici rešetke nakon vrućeg cinčanja otpremaju se u skladište gdje se kao jednostavni ravninski nosači poput paleta slažu jedni na druge po visini uz prethodno označavanje svake etaže njezinim brojem i brojem tipa stupa. Dijagonale šire stranice koje su vijčane izvedbe vežu se u zasebne »omote« i tako skladište također s oznakama etaže i tipa stupa. Samo skladište predviđeno je ili kao potpuno zatvoren i natkriven prostor ili kao slobodan, samo natkriven prostor. Unutrašnji transport vrlo je važan, a obavlja se uglavnom viličarima.

Nakon primitka narudžbe viličar iz naslaganih »polica« uzima potreban broj etaža traženog tipa stupa i utovaruje ih u otpremno vozilo zajedno s »omotima« vijčanih dijagonala i konzola.

Tretman stupa kao proizvoda osjetno smanjuje i put i vrijeme od projekta do ugradnje na trasi.

5. OSNOVNI EKONOMSKI PODACI

Aktualni 20 kV vodovi nesumnjivo će postupno zamijeniti dosadašnje 35 kV vodove na način da će se projektirati i izvoditi za jednake ili čak povećane presjeke vodiča, te će po prijenosnoj snazi biti u najmanju ruku isto vrijedni vodovima nazivnog napona 35 kV. Stoga se i sve eventualne usporedbe ekonomskih troškova 20 kV vodova mogu vršiti u odnosu na postojeće vodove 35 kV.

Zbog očite činjenice da će materijal električkog dijela voda za isti presjek vodiča praktički biti jednaki bilo za 20 kV ili 35 kV, to ostaje kao mjerodavan pokazatelj ekonomičnosti gradnje potreban materijal građevinskog dijela voda.

Zbog svojih svojstava univerzalnosti predmetni stupovi osim za gradnju novih vodova naročito su pogodni za rekonstrukciju i sanaciju postojećih 35 kV vodova.

5.1. Vod 20 kV, vodiči 3 x Al/Fe 95/15 mm², vjetar o,60 kN/m², normalno temeljno tlo, glava delta, jela ili kapa:

Čelična konstrukcija:	3,0 do 4,2 tona/km
	20 do 28 m³/km

5.2. Vod 20 kV, vodiči 6 × Al/Fe 95/15 mm², vjetar 0,60 kN/m², normalno temeljno tlo, glava bačva:

Čelična konstrukcija:	5,6 do 6,6 tona/km
Beton temelja:	28 do 36 m³/km

5.3. Vod 20 kV, vodiči (3+1) Al/Fe 95/15 mm², vjetar 1,10 kN/m², vrlo dobro temeljno tlo, glava trapez:

Čelična konstrukcija:	6,2 do 6,8 tona/km
Beton temelja:	28 do 34 m³/km

5.4. Za vodove s presjecima vodiča Al/Fe 120/20 mm² količine navedene u točkama 5.1; 5.2 i 5.3 povećavaju se za prosjećno 20% do 25%.

Pri određivanju stvarne vrijednosti voda, odnosno realne uštede u odnosu na klasične vodove 35 kV valja uzeti u obzir jednostavnost izrade i montaže kon-

strukcije, primjenu standardiziranih tipskih temelja, kratko vrijeme od plana do realizacije voda i dr.

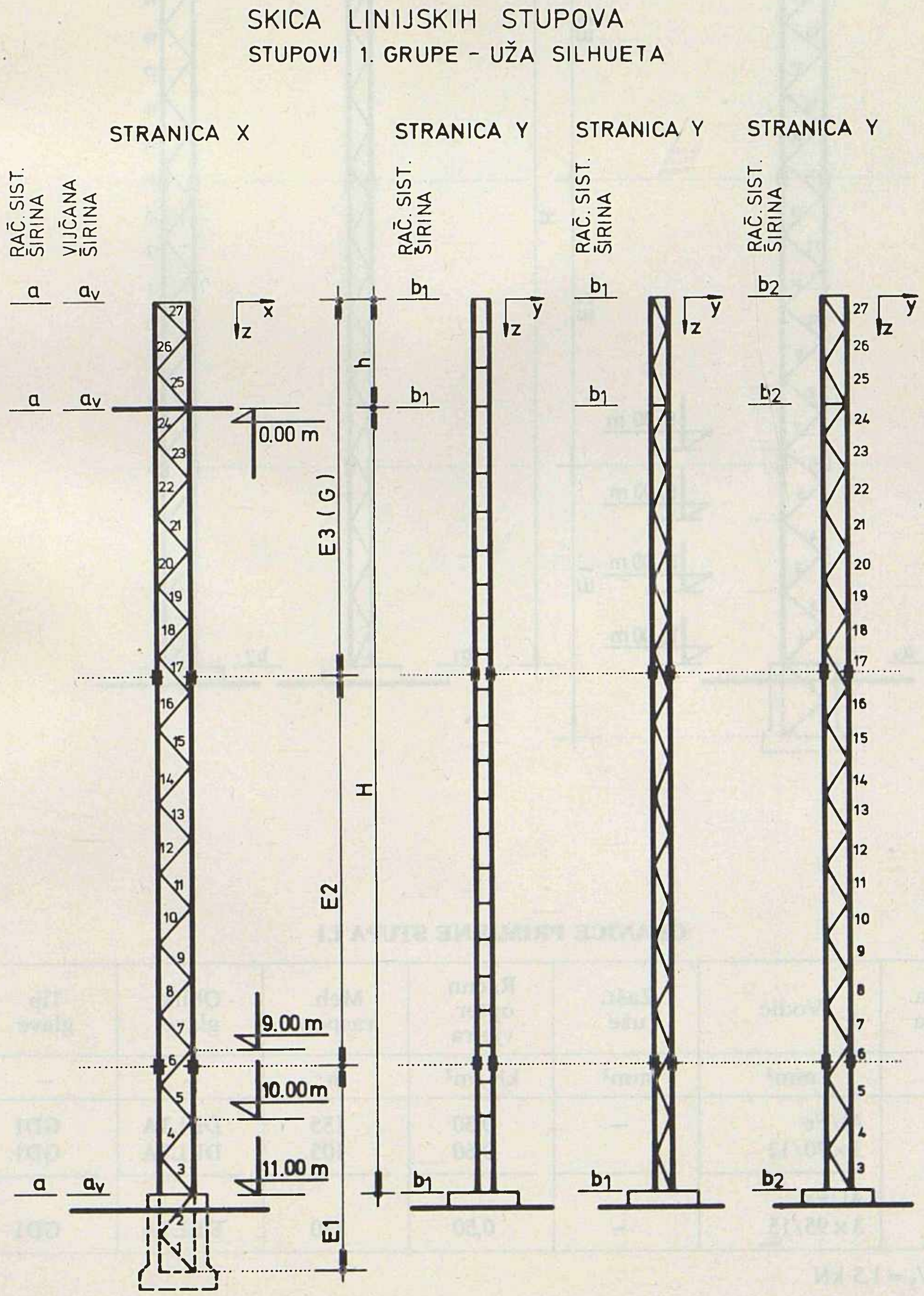
6. GRAFIČKI PRILOZI

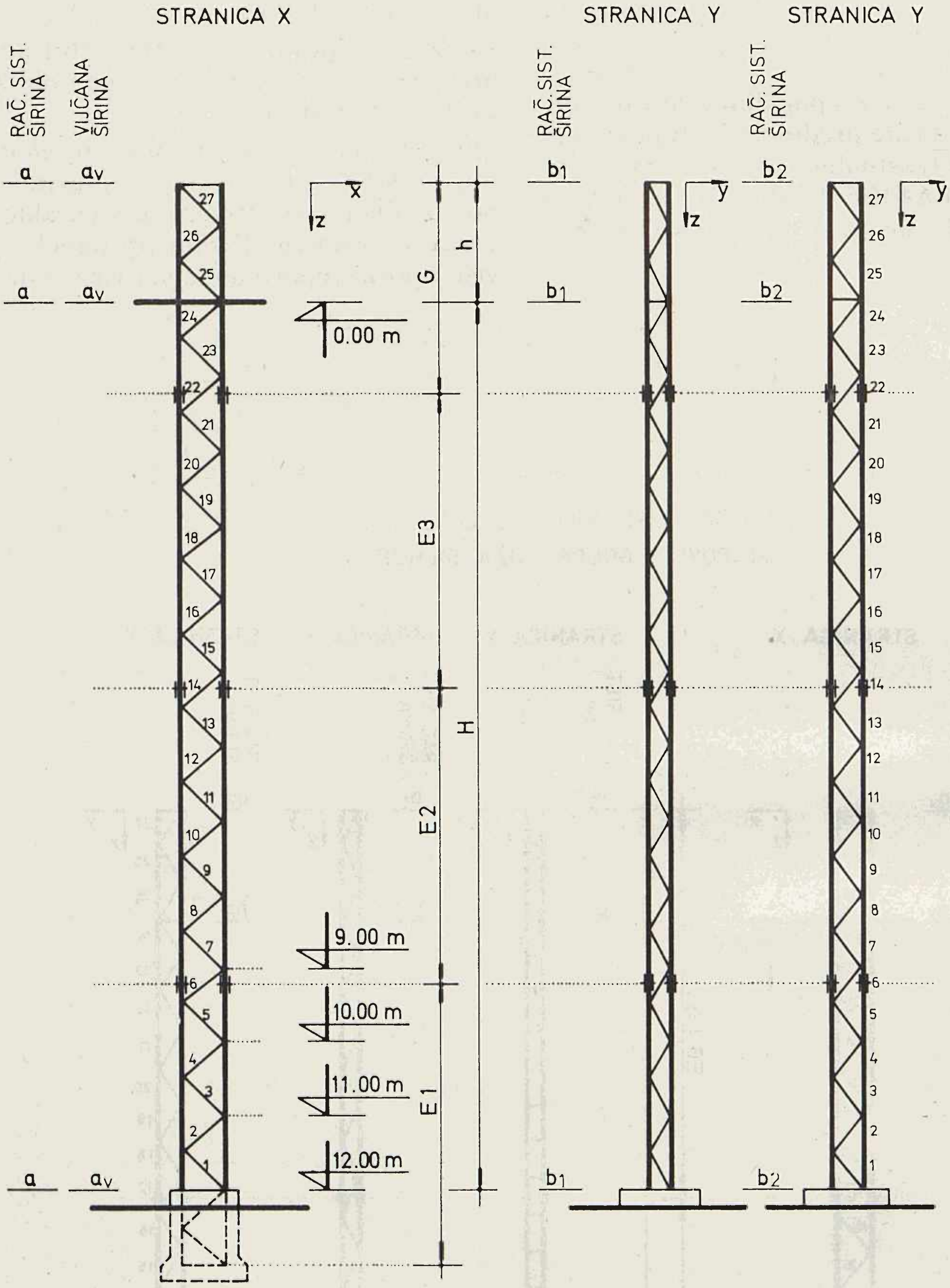
Za ilustraciju prilažu se samo pojedini crteži iz gotove tehničke dokumentacije predmetnih stupova radi lakšeg razumijevanja tekstualnog dijela. Uz crteže su priloženi i listovi GRANICE PRIMJENE pojedinih stupova koji su inače sastavni dijelovi KATALOGA STUPOVA.

Važno je napomenuti da se 13 tipova stupova, koliko ih je sadržano u tipizaciji, u praksi svodi na 6-7 tipova stupova koji zadovoljavaju četiri presjeka vodiča, gotovo sve klimatske zone u zemlji i više različitih oblika glava stupova.

Zateznih stupova ima 7 osnovnih tipova za jednake presjeke vodiča, klimatske zone i oblike glava, kao i za linijske stupove.

Tipski temelji koji ovdje nisu obrađeni zbog potrebnog prostora, kao i za stupove, razrađeni su adekvatno stupovima, tj. riješeni su s karakteristikama univerzalne primjene (jedan tip temelja primjenljiv za više tipova stupova temelja i više vrsta tala).





GRANICE PRIMJENE STUPA L1

Oznaka tipa	Oznaka podtipa	Vodič	Zašt. uže	Račun opter. vjetra	Meh. raspon	Oblik glave	Tip glave	Kriterij zavješenja
–	–	mm^2	mm^2	kN/m^2	m	–	–	–
L1	L1.1	Al/Fe 3×70/12	–	0,50 0,60	155 105	DELTA DELTA	GD1 GD1	A
	L1.2	Al/Fe 3×95/15	–	0,50	130	DELTA	GD1	A

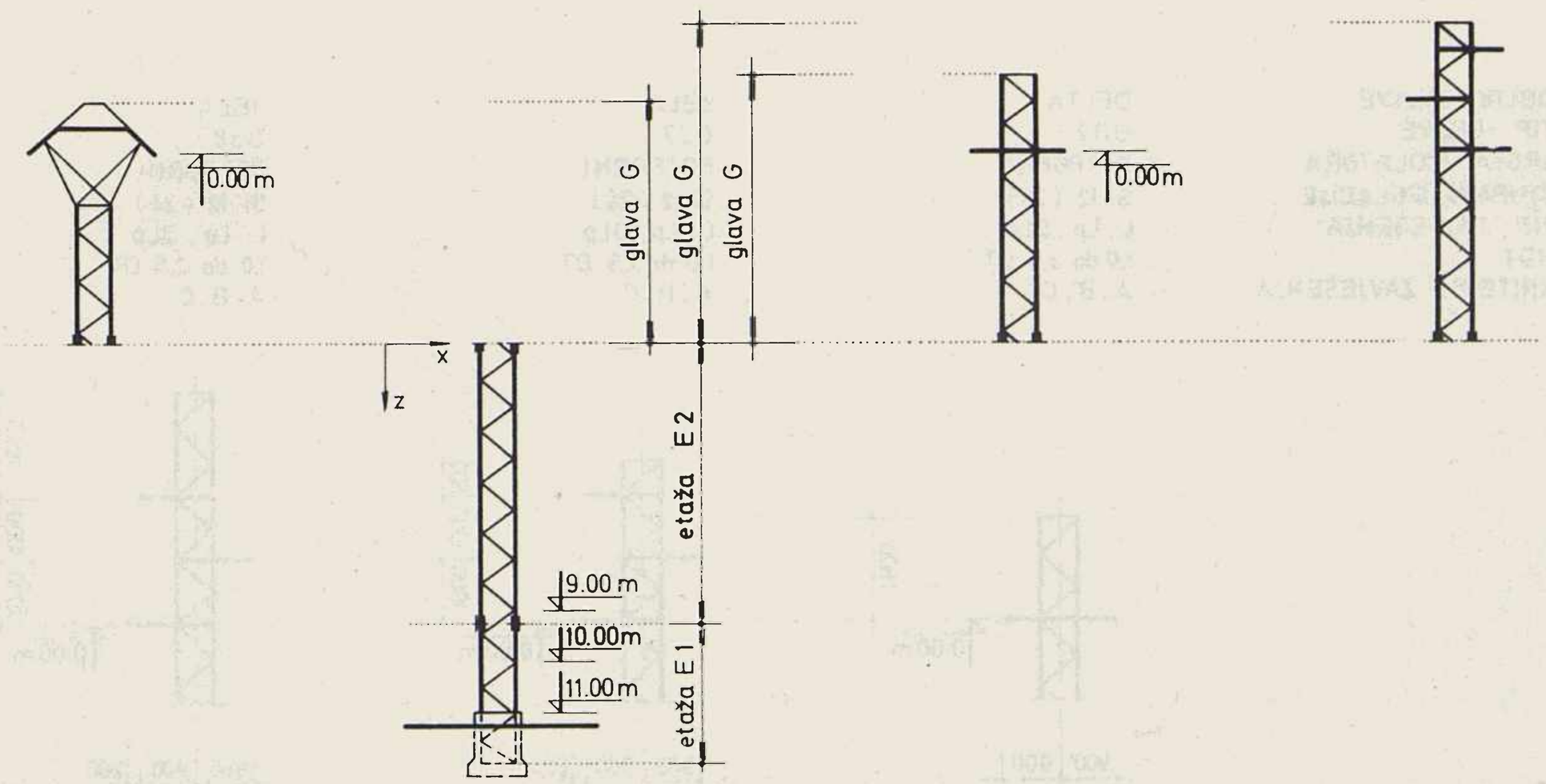
Kriterij zavješenja A: $V_y = 1{,}5$ kN

GRANICE PRIMJENE STUPA L4

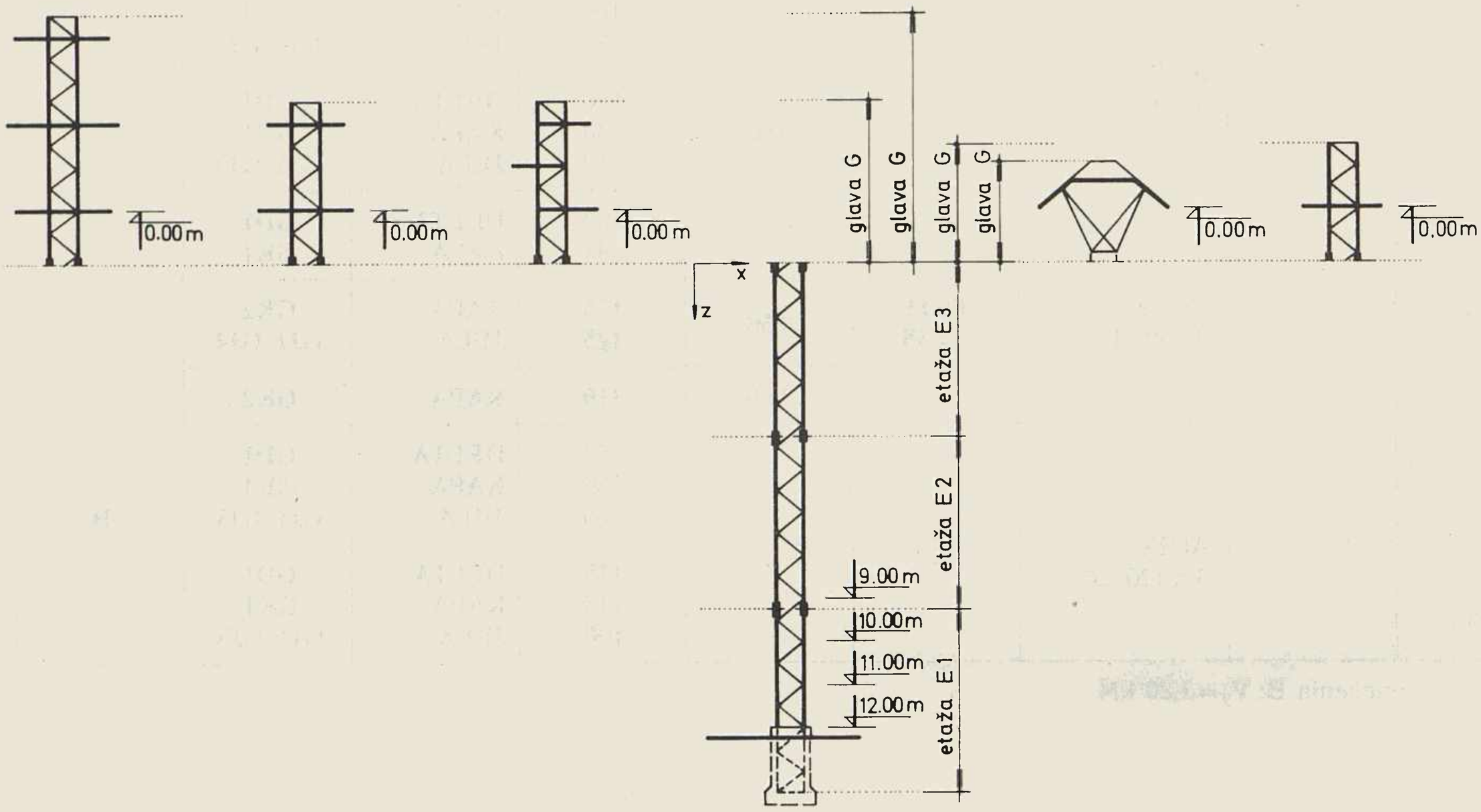
Oznaka tipa	Oznaka podtipa	Vodič	Zašt. uže	Račun opter. vjetra	Meh. raspon	Oblik glave	Tip glave	Kriterij zavješenja
–	–	mm²	mm²	kN/m²	m	–	–	–
L4	–	Al/Fe 3×95/15	–	0,50	165 165 150	DELTA KAPA JELA	GD1 GK1 GJ1, GJ3	
				0,60	130 130 110	DELTA KAPA JELA	GD1 GK1 GJ1, GJ3	
				0,75	100 95	DELTA KAPA	GD1 GK1	
		Al/Fe 3×95/15	Fe 11 1×35	0,50	135 125	KAPA JELA	GK2 GJ1, GJ4	
				0,60	110	KAPA	GK2	
		Al/Fe 3×120/20	–		150 150 130	DELTA KAPA JELA	GD1 GK1 GJ1, GJ3	B
					115 115 100	DELTA KAPA JELA	GD1 GK1 GJ1, GJ3	

Za kriterij zavješenja B: $V_y = 3{,}80$ kN

UNIVERZALNA PRIMJENA TRUPA STUPA
(E1 + E2) ZA RAZLIČITE GLAVE
GRUPA STUPOVA UŽE SILHUETE

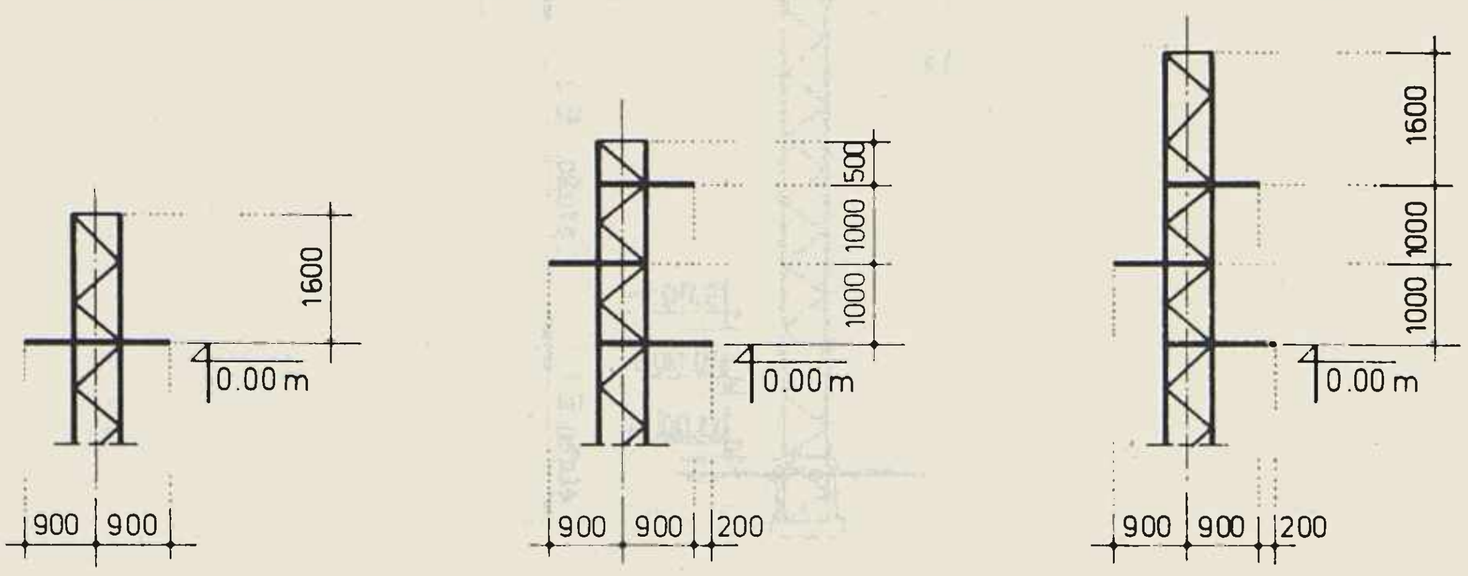


UNIVERZALNA PRIMJENA TRUPA STUPA
(E1 + E2 + E3) ZA RAZLIČITE GLAVE
GRUPA STUPOVA ŠIRE SILHUETE



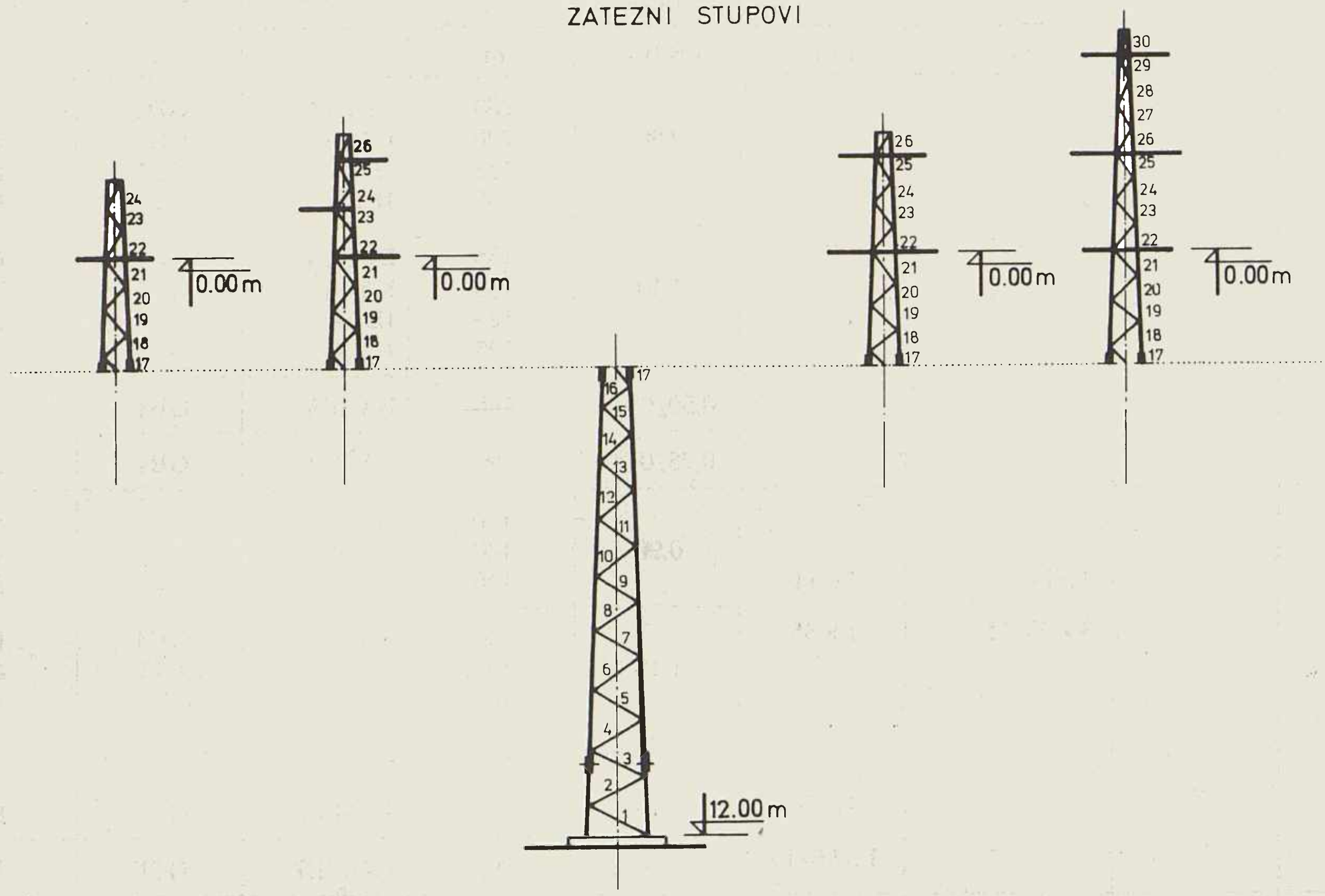
PREGLED OSNOVNIH GLAVA STUPOVA 2. GRUPE (ŠIRA SILHUETA)
POTPORNI IZOLATORI

OBLIK GLAVE	DELTA	JELA	JELA
TIP GLAVE	GD2	GJ7	GJ8
VRSTA IZOLATORA	POTPORNI	POTPORNI	POTPORNI
STUPANJ IZOLACIJE	Si 12 (24)	Si 12 (24)	Si 12 (24)
TIP ZAVJEŠENJA	L , Lp , DLp	L , Lp , DLp	L , Lp , DLp
NDT	1,0 do 2,5 DT	1,0 do 2,5 DT	1,0 do 2,5 DT
KRITERIJ ZAVJEŠENJA	A , B , C	A , B , C	A , B , C



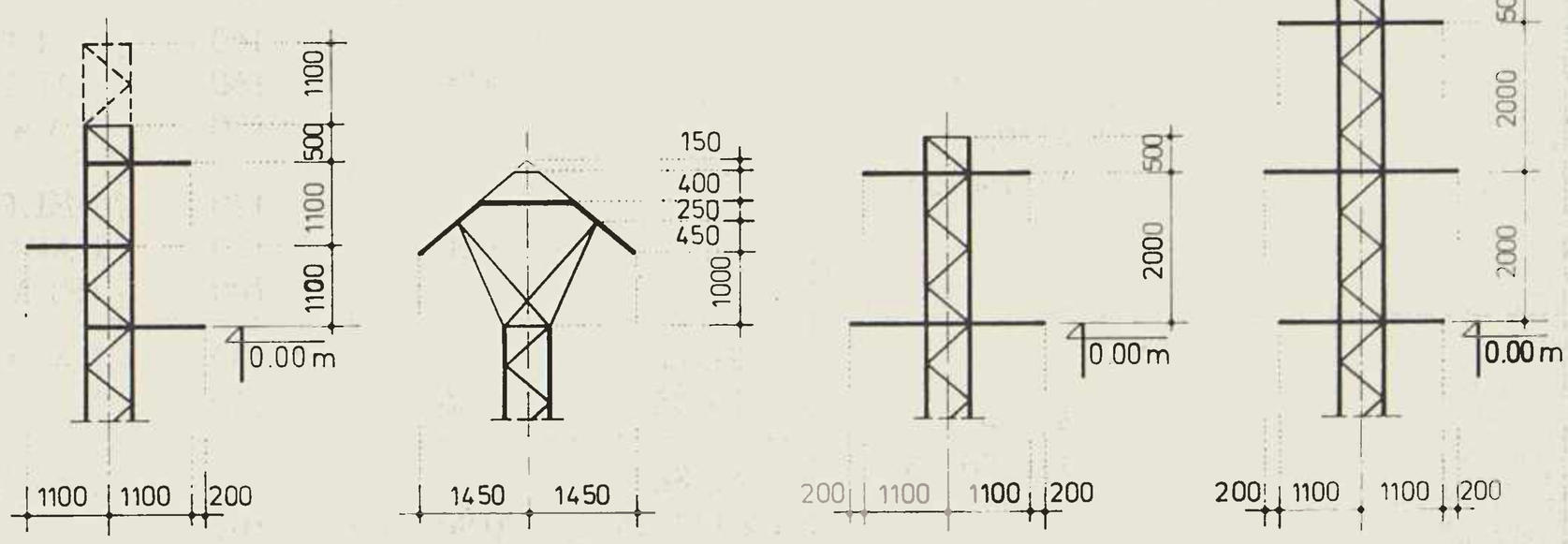
UNIVERZALNA PRIMJENA TRUPA STUPA
(E1 + E2) ZA RAZLIČITE GLAVE

ZATEZNI STUPOVI



PREGLED OSNOVNIH GLAVA STUPOVA 2. GRUPE (ŠIRA SILHUETA)
VISEĆI IZOLATORI

OBLIK GLAVE	JELA	KAPA	TRAPEZ	BAČVA
TIP GLAVE	GJ9 (GJ10)	GK3	GT1	GB1 (GB2)
VRSTA IZOLATORA	VISEĆI	VISEĆI	VISEĆI	VISEĆI
STUPANJ IZOLACIJE	Si 12 (24)	Si 12 (24)	Si 12 (24)	Si 12 (24)
TIP ZAVJEŠENJA	L (2 x KT 120)	L (2 x KT 120)	L (2 x KT 120)	L (2 x KT 120)
NDT	1,0 do 2,5 DT	1,0 ; 1,6 DT	1,0 ; 1,6 DT	1,0 ; 1,6 DT
KRITERIJ ZAVJEŠENJA	A , B , C	A , B , C	B , C	A , B , C



GRANICE PRIMJENE STUPA L11

Oznaka tipa	Oznaka podtipa	Vodiči	Zašt. uže	Račun opter. vjetra	Meh. raspon	Oblik glave	Tip glave	Kriterij zavješenja
—	—	mm²	mm²	kN/m²	m	—	—	—
L11	—	Al/Fe 3×95/15	—	0,90	200	DELTA	GD2	C
					200	KAPA	GK3	B
					165	JELA	GJ7	C
					165	JELA	GJ9	B
				1,10	155	DELTA	GD2	C
					155	KAPA	GK3	B
					125	JELA	GJ7	C
					125	JELA	GJ9	B
				0,50/0,60	155	BAČVA	GB1	B
				0,75/0,90	90	BAČVA	GB1	B
		Al/Fe 3×95/15	Fe 11 1×35	0,90	170	KAPA	GK4	B
					140	JELA	GJ8	C
					140	JELA	GJ10	B
				1,10	130	KAPA	GK4	B
					100	JELA	GJ8	C
					100	JELA	GJ10	B
				0,50/0,60	140	BAČVA	GB2	B
			Al/Fe 1×95/15	0,90	130	TRAPEZ	GT1	B
				1,10	95	TRAPEZ	GT1	B
		Al/Fe 3×120/20	—	0,90	180	DELTA	GD2	C
					180	KAPA	GK3	B
					140	JELA	GJ9	B
				1,10	140	DELTA	GD2	C
					140	KAPA	GK3	B
					110	JELA	GJ9	B
				0,50/0,60	125	BAČVA	GB1	B
		Al/Fe 3×120/20	Fe 11 1×35	0,90	150	KAPA	GT1	B
					125	JELA	GJ10	B
				1,10	120	KAPA	GK4	B
				0,50/0,60	100	BAČVA	GB2	B
			Al/Fe 1×95/15	0,90	115	TRAPEZ	GT1	B
		Al/Fe 3×150/25	—	0,90	160	DELTA	GD2	B
					160	KAPA	GK3	B
					130	JELA	GJ9	B
				1,10	120	DELTA	GD2	B
					120	KAPA	GK3	B
					100	JELA	GJ9	B
		Al/Fe 3×150/25	Fe 11 1×35	0,90	130	KAPA	GK4	B
					110	JELA	GJ10	B
			Al/Fe 1×150/25	0,90	100	TRAPEZ	GT1	B

Kriterij B: $V_y = 4{,}50$ kN ... za sve vodiče
Kriterij C: $V_y = 5{,}22$ kN ... za Al/Fe 95/15
$V_y = 6{,}72$ kN ... za Al/Fe 120/20

7. PRIMJENA U PROJEKTIRANJU

Prezentirana univerzalna rješenja stupova kao sastavnog dijela tipizacije 20 (10) kV vodova, radi svojih tipiziranih i standardiziranih dijelova ne samo konstrukcije stupova i temelja, već i građevinskog dijela tehničke dokumentacije, daju novu dimenziju i kvalitetu projektiranja.

Naime, korištenjem pojedinih dijelova tehničke dokumentacije tipskih stupova i temelja može se jednostavno i brzo za svaki potrebni objekt izraditi građevinski dio projekta kao gotov »paket« koji se prilaže uz električki dio. Rad na izradi građevinskog dijela tehničke dokumentacije svodi se praktički na nulu, ali ne na račun kvalitete rješenja, već naprotiv. Samo za pojedine slučajeve (specijalni uvjeti temeljenja, izuzetno teški klimatski uvjeti, naročite visine stupova i dr.) potrebno je angažirati specijaliziranu odgovornu stručnu osobu građevinske struke, ako takvi slučajevi nisu već obrađeni u tipizaciji.

Osim minimalnog vremena za projektiranje ovi gotovi dijelovi građevinskog projekta (»paketi«) omogućuju permanentnu kontrolu i uvid u raspoloživa tehnička rješenja i projektantu voda daju sve podatke o količinama materijala za ekonomske podatke, te se praktički i prije projekta može ustanoviti kvaliteta i cijena objekta.

8. ZAKLJUČAK

Neposrednom primjenom podataka iz tipizacije čiji je pregled dan u katalogu stupova i temelja te primjenom standardizirane spojne i ovjesne opreme (što nije predmet ovog članka) povećat će se efikasnost u projektiranju, isporuci i ugradnji pojedinih elemenata voda, a naročito stupova. Osim osjetnog skraćenja potrebnog vremena od projektiranja do realizacije voda, primjenom ovakve tipizacije ostvaruje se bolja tehnička kontrola tipiziranih elemenata, povećava razina kvalitete i, napokon, sigurnost voda.

Konzultanti: Ivan Đuranović, dipl. ing. el.
Zvonko Markov, tehn. el.

KEY WORDS:

STANDARDISATION VNIVERSAL SOLUTION, MEDIUM VOLTAGE LINES TECHNICAL DATA, ECONOMICAL DATA, CATALOG OF TOWERS

AN UNIVERSAL SOLUTION FOR TOWERS IN THE SCOPE OF MEDIUM VOLTAGE TOWERS STANDARDISATION

In the article is given a brief rewiew of an universal solution for line and suspension medium voltage towers that have been eleborated in scope of medium voltage tower standardisation. On the base of analyses and some critics of technical and economical disadvantages in now – a – days practice of 10 kV lines construction, especialy of greater cross section as well as on basis of modern aspects for that field, an concept of universal solution for towers is given by author. Universlity is evident on possibilities of diverse suspension of diverse suspension of lines application of various line cross section with and without grounding wire, construction of various shape of towers, application in various climatic conditions, possibilitiy for use of various branches, etc. and that construction is possible with small number of standardised and factory made elements.

ALLGEMEINE LOSUNGEN FÜR LEITUNGSMASEN IM RAHMEN DER VEREINHEITLICHUNG (TIPISIERUNG) VON LEITUNGSMASTEN FÜR MITTELSPANNUNGSLEITUNGEN

Der Artikel bietet einen kurzen Überblick der Ausführung von Leitungsmasten oder Tragmasten für Mittelspannungsleitungen 20 kV und 10 kV, die vom Verfasser im Rahmen einer Studie der Typisierung von Masten für Mittelspannungleitungen erarbeitet wurde. Anhand dieser Untersuchung und Kritik technischer und wirtschaftlicher Mängel in der bisherigen Praxis beim Bau von 10 kV Leitungen, besonders solcher mit grösseren Querschnitten, wie auf auf Grund zeitgemässer Bearbeitung derartiger Gragen, bearbeitet der Verfasser die Konzepetion einer allgemein geltenden technischen Lösung eines Leitungsmastes. Die Allgemeingiltigkeit der Konzeption wird offensichtlich durch die Möglichkeit der verschiedenen Aufhängungsmöglichkeiten, der verschiedenen Leitungsquerschnitte, verschiedener Ausführungen von Mastköpfen bei schiedenen klimatischen Bidingungen beeinflusst. Ausser dem bestehen stets verschiedene Abzweigungsmöoglichkeiten usw. und zwar mit einer kleinen Zahl verschiedener genormter und werksmässig hergestellter Einzelteile.

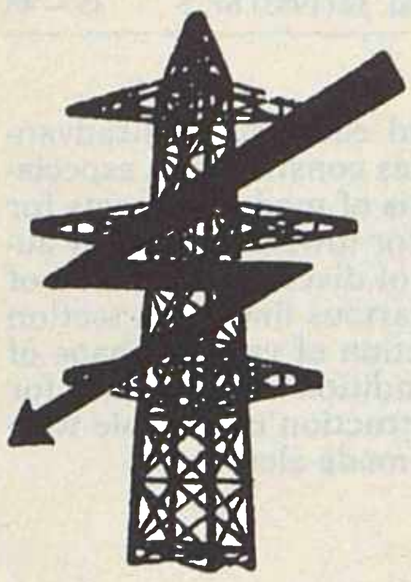
УНИВЕРСАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ОПОР В РАМКАХ ТИПИЗАЦИИ ОПОР ЛИНИЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Встатье дается краткий обзор универсального решения линейных и промежуточных опор сетей 20 и 10 кВ, разработанного автором в рамках разработок типизации линий среднего напряжения. На базе анализа и критики технических и экономических недостатков предшествующей практики сооружения линий 10 кВ, особенно больших сечений, а также на базе современных взглядов на данную проблематику, автор создает концепцию универсального решения опоры. Универсальность решения выражена возможностью разнообразного подвеса проводов, применения разных сечений проводов с грозозащитным тросом и без него, монтаже разных форм головы опоры, применения в различных климатических условиях, возможности выполнения разнообразных ответвлений и др. причем с небольшим числом типизированных фабрично подготовленных деталей.

Naslov pisca:

Stjepan Bilić, dipl. ing.
Elektroprojekt – Zagreb
TEH – PROJEKT – Rijeka

Uredništvo primilo rukopis
1982 – 08 – 20



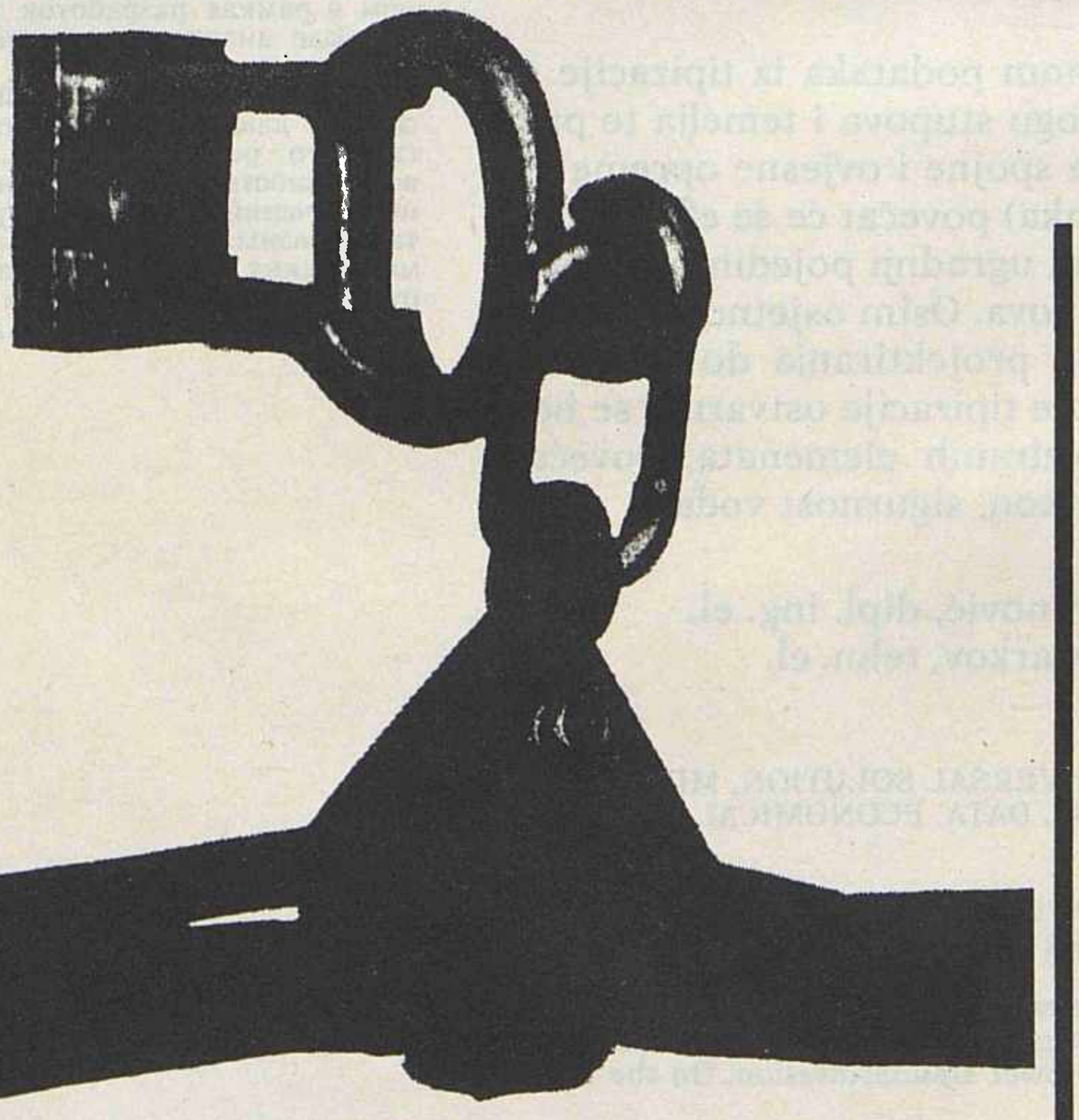
„Struja“

ZAGREB, GUNDULIĆEVA 16

TELEFON: 449-702, 449-486, 416-209
DIREKTOR: 410-408,

Proizvodni program:

- **kompletni montažni pribor za priključak mreže**
- **univerzalni osigurači za ELKALEX kabele**
- **spojni pribor za priključke i mreže za Elkalex mreže i priključke**
- **razvodni ormari i pribor**
- **gromobranska oprema i pribor**
- **pribor za samonosive kabele**
- **stupne krak lampe za uličnu rasvjetu**
- **kompletna oprema za NN mreže na betonskim stupovima**
- **specijalni EZ elementi sa stopicama za prelaz bakar-aluminij i obrnuto**
- **izvođenje elektroinstalacija i investiciono i tekuće održavanje**



UNIVERZALNI OSIGURAČ ZA ELKALEX I OSTALE KABELE

ZA SVE OSTALE INFORMACIJE IZ PROIZVODNJE IZVOLITE SE OBRATITI DIREKTNO NA »STRUJA« ZAGREB, GUNDULIĆEVA 16

PREGRIJAČKA KLOPKA

Stjepan Herr, Zagreb

UDK 621.315
Stručni rad

Opisano je oštećenje cijevi pregrijača pare nastalo zbog premale gustoće protoka. Navedeni su rezultati mjerenja temperature stijenke cijevi. Dane su detaljne upute za proračun temperature stijenke cijevi.

Ključne riječi: pregrijač pare, gustoća protoka, cijevi,oštećenja

(Prilog proračunu temperatura stijenke cijevi pregrijača pare)

UVOD

Neobičan naslov za stručan način izražavanja. Odabran je da se naglasi opasnost koja postoji pri projektiranju, odnosno konstruiranju pregrijača pare pri relativno niskim tlakovima (5 do 25 bar) i niskim temperaturama pregrijane pare (250 – 350 °C), ali i kod drugih parametara.

Za kotao ložen ugljenom na roštilju ovih tehničkih karakteristika:

D = 26,5	t/h	najveća trajna proizvodnja
p = 16,7/14, 2/13	bara	koncesioni, radni i tlak na izlazu pregrijača pare
t = 280 °C		temperatura pregrijane pare (zahtijevena)

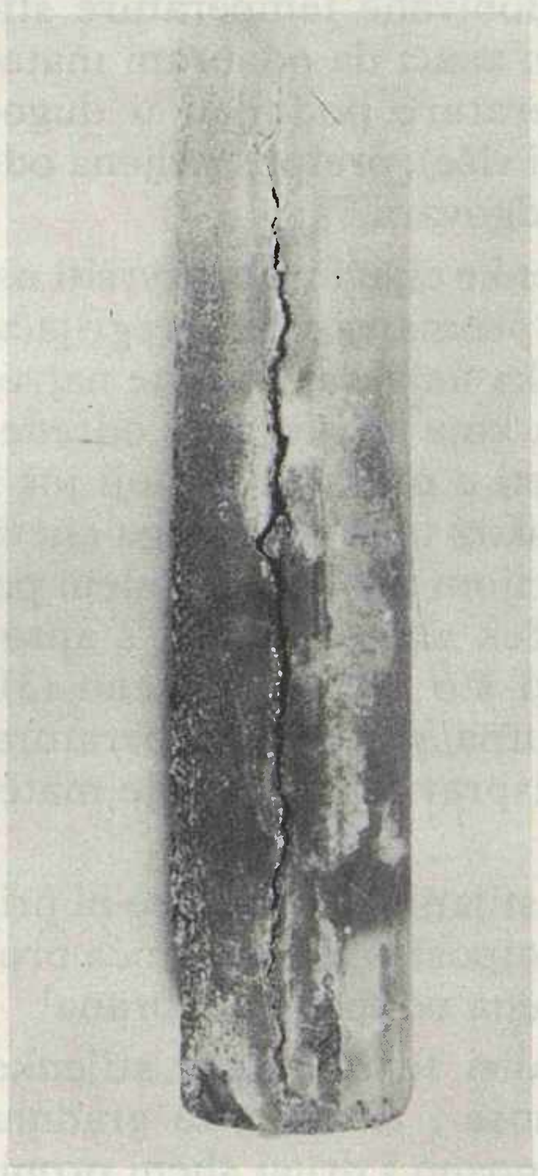
izveden je pregrijač pare sa srednjom ulaznom brzinom zasićene pare u pojedine vijuge od oko 11 m/s. Nakon otprilike 1600 pogonskih sati oštetila se jedna vijuga, i to na njezinom izlaznom dijelu.

Budući da je pregrijač pare izveden u protustruji, to se najveća temperatura pare i najveća temperatura dimnih plinova podudaraju. Oštećenje cijevi pojavilo se na tom kritičnom mjestu, i to neposredno prije izlaska viseće vijuge iz struje dimnih plinova, a na dužini oko 350 mm.

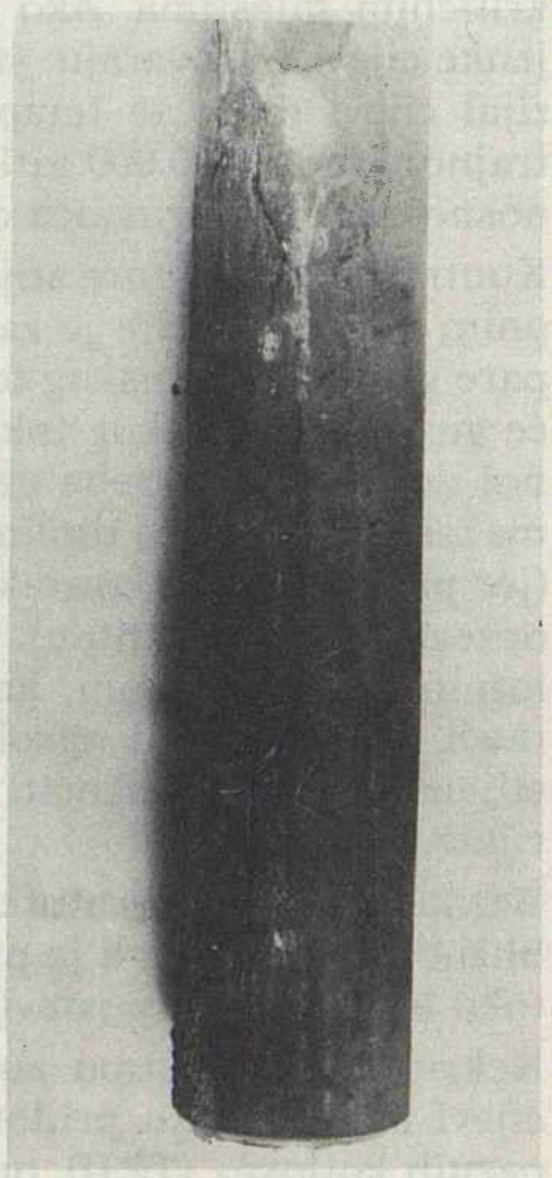
Na oštećenom mjestu (Sl. 1 i 2) vidljive su uzdužne pukotine različitih dužina (30 – 150 mm), a na vanjskoj i unutarnjoj strani cijevi (Sl 3.) ustanovljen je oksidni sloj debljine 0,6 – 2,1 mm. Vanjski promjer cijevi povećan je na 35 mm (nazivni 31,8 mm).

Vizualnim pregledom ostalih cijevi nisu se utvrdila nikakva daljnja oštećenja. Međutim, sudeći po dobivenim rezultatima mjerenja temperatura stijenke, nema sumnje da se je i na tim cijevima stvorio oksidni sloj, pa je samo pitanje vremena kada će i te cijevi na kritičnim mjestima početi propuštati.

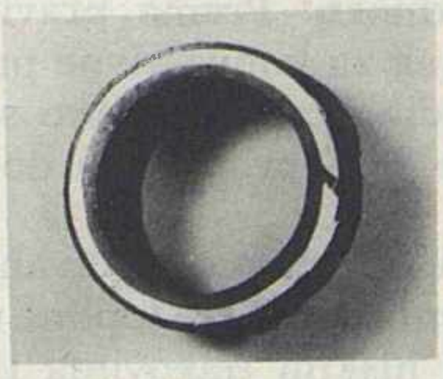
Izgled oštećenja ukazivao je jednoznačno da je temperatura stijenke cijevi morala znatno prekoračiti 500 °C, koja se temperatura smatra krajnjom gornjom granicom koju može podnijeti upotrijebljeni materijal St 35.8 (DIN 17175) u trajnom pogonu. Stoga se moralo zaključiti da je odabrana brzina strujanja premalena, tj. koeficijent prijelaza topline sa stijenke cijevi na paru premalen.



Sl. 1.



Sl. 2.



Sl. 3.

OSNOVNI PODACI ZA PRORAČUN

U praksi se računa s iskustvenim podacima, ali se često ne uzima u obzir da su takvi podaci vezani za određene uvjete. Tako su na primjer, navedene brzi-

ne strujanja u (1) ili (2) odnosno i u drugim izvorima stare više od 30 godina. U to doba pregrijači pare bili su kod kotlova loženih ugljenom smješteni u znatno nižem temperaturnom području dimnih plinova (naročito kod roštiljnih kotlova) nego što se danas izvode. Nadalje, u ono doba primjene tekućeg i plinovitog goriva gotovo i nije bilo. Danas se kod tih goriva temperatura dimnih plinova ispred pregrijača pare penje čak do 1300 °C.

Lako se može izračunati da će srednje toplinsko opterećenje kod loženja tekućih i plinovitih goriva biti gotovo 2,5 puta veće nego kod roštiljnih kotlova građenih prije više od tri desetljeća. Prema tome je očito da se moraju kritički primijeniti podaci navedeni u literaturi, odnosno raznim priručnicima.

No ne želi se reći da se ti iskustveni podaci ne mogu primijeniti kao polazni u proračunima. Kritička primjena znači da treba na osnovi pretpostavljene brzine strujanja, odnosno jednoznačnije gustoće protoka pare izračunati temperature stijenke cijevi na kritičnim mjestima. Ako dobivene temperature stijenke cijevi odgovaraju, što znači da odabrani materijal cijevi može te temperature podnijeti u dugotrajnom radu (100.000 sati i više), pretpostavljena odnosno odabrana gustoća odgovara.

Kontrolu temperature stijenke cijevi treba izvršiti na onim mjestima gdje je za promatran dio pregrijača pare gustoća toplinskog toka najveća. Osim te najveće gustoće toplinskog toka koja se javlja na određenoj dužini vijuge treba uzeti u obzir da postoji još i maksimum gustoće toplinskog toka po opsegu cijevi (jer prolaz topline konvekcijom kao i isijavanjem po opsegu nije konstantan). Tek ako se računa s apsolutnim maksimumom, kao što je to navedeno (3), moći će se utvrditi apsolutna najveća temperatura stijenke i time omogućiti ispravno odabiranje materijala.

Bez kontrole temperature stijenke ne može se ni približno zaključiti da li je pretpostavljena gustoća protoka ispravno pretpostavljena odnosno odabrana!

Nekritičnom pristupu analizi temperature stijenke cijevi u neku ruku pridonose i »Pravila za gradnju parnih kotlova« (TRD), odnosno i drugi slični propisi, jer neiskusan projektant ili konstruktori dodatke za utvrđivanje temperature stijenke navedene u pravilima smatraju dovoljnima.

To, međutim, nije točno jer su propisani dodaci najmanje vrijednosti. Prema pravilima (TRD 300) najmanji dodatak za konvektivne pregrijače pare iznosi 35 °C, a radiacione 50 °C. Ako su računske nadtemperature veće od propisanih dodataka, treba ih uzeti u račun.

Treba navesti i problem određivanja pomoću dijagrama koeficijenta prijelaza topline sa stijenke cijevi na paru α_2 pri niskim tlakovima i temperaturama pregrijane pare. Naime, ovo određivanje vrlo je nepouzdano jer se parametri često nalaze u donjoj granici očitavanja ili čak izvan nje. U takvim slučajevima treba pretpostaviti x puta veće gustoće protoka $G_x = xG$ /kg/m²/s i bez problema očitati iz dijagrama pripadajući koeficijent prolaza topline α_x. Zatim izračunati α_2 sa stvarnom gustoćom protoka G prema izrazu $\alpha_2 = \alpha_x \cdot x^{-n}$. Naravno, eksponent n mora biti poznat. Već prema izvoru i autoru eksponent se kreće između 0,75 – 0,80.

Vrlo prikladan dijagram za određivanje koeficijenta prijelaza topline sa stijenke cijevi na paru α_2 nalazi se u /4/.

Koeficijent prijelaza topline α_2 /W/m²K/ može se naći i analitičkim putem pomoću poznatih formula, na primjer prema /5/ kako slijedi:

$$\alpha_2 = 0{,}02\ d_v^{-0{,}2}\ \lambda^{-0{,}5}\ c_p^{-0{,}42}\ \eta^{-0{,}38}\ G^{-0{,}8}$$

gdje je

d_v	(m)	unutarnji promjer cijevi
λ	$(\frac{W}{mK})$	koeficijent toplinske vodljivosti
c_p	$(\frac{J}{kgk})$	stvarna specifična toplina pri konstantnom tlaku
η	(PA S)	dinamička žilavost
G	$(\frac{kg}{m^2\ s})$	gustoća protoka

Za kritično mjesto najveća gustoća toplinskog toka iznosi: $\hat{q} = (\hat{t}_{pl} - \hat{t}_p)\ \hat{k}$ /W/m²/

gdje je

$\hat{t}_{pl}$	°C	najveća temperatura dimnih plinova
$\hat{t}_p$	°C	korespodentna najveća temperatura pregrijane pare
$\hat{k}$	W/m²K	apsolutno najveći koeficijent prolaza topline

U toplinskom proračunu računa se sa srednjom temperaturom dimnih plinova $\bar{t}_{pl}$. Razlika između srednje i najveće temperature može iznositi $\Delta t_1 = \pm 50^0$ C i više.

Temperatura pregrijane pare može odstupati u pojednim vijugama do $\Delta t_1 = \pm 30^0$ C, ali i više od srednje vrijednosti $\bar{t}_p$ i to kod dobro izvedenih pregrijača pare, tj. onih kod kojih se nastojalo iskompenzirati hidraulička i termička nejednolikost.

Zbog toga treba računati sa $\hat{t}_{pl} = \bar{t}_{pl} + \Delta t_1$ i $\hat{t}_p = \bar{t} + \Delta t_2$

Apsolutni najveći koeficijent prelaza topline $\hat{k}$ može se prema izloženom u /13/ izračunati prema formuli.

$$\frac{1}{\hat{k}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{f_k \bar{\alpha}_k + f_{isij}\ \bar{\alpha}_s} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\bar{\alpha}_2}\right)}$$

gdje je

f_k		korekcijski faktor kod prijelaza topline konvekcijom
f_{isij}		korekcijski faktor kod prijelaza topline isijavanjem
$\bar{\alpha}_k$	W/m² k	srednji koeficijent prijelaza topline konvekcijom
$\bar{\alpha}_s$	W/m²k/	srednji koeficijent prijelaza topline isijavanjem
s	m	debljina stijenke cijevi
μ	W/mK	koeficijent toplinske vodljivosti materijala cijevi
$\bar{\alpha}_2$	W/m²K	srednji koeficijent prijelaza topline sa stijenke cijevi na paru

PRIMJER

Radi uvida u red veličine pokazat će se na primjeru pregrijača pare (niskog tlaka i pregrijanja) tehničkih parametara navedenih u uvodu kakve nattemperature, odnosno temperature stijenke cijevi treba očekivati u pogonu.

Zadano je ili toplinskim proračunom definirano:

$d_v = 31{,}8$ mm — $\bar{\alpha}_k = 64{,}9$ W/m²K
$s = 3{,}2$ mm — $f_k = 1{,}65$
Materijal St35.8 — $\bar{\alpha}_s = 30{,}8$ W/m²K
$G = 86{,}4$ kg/m²sek — $f_s = 2{,}16$
$t_{pl} = 845\,^0$C — $\gamma = 40{,}7$ W/mK
$t_p = 300\,^0$C (izmjereno)

pa se može naći da je
$\hat{\alpha}_1 = 172{,}5$ W/m²K, $\bar{\alpha}2 = 407{,}1$ W/m²K i $\bar{k} = 120{,}7$ W/m²K.

Pretpostavi li se da je
$\bar{t}_{pl} = \bar{t}_{pl} + 50 = 895\,^0$C ond. $\bar{t}_p = \bar{t}_p = t_p + 20\,^0\text{C} = 320\,^0$C
može se izračunati najveća gustoća toplinskog toka uz sigurnost od 20%, tj. $\hat{q} = 83\,300$ W/m².

Konačno, prema (3)mogu se izračunati temperature stijenke na unutrašnjoj i vanjskoj strani cijevi kako slijedi: $t_n = \bar{t}_p + \frac{\hat{q}}{\bar{\alpha}_2}\frac{d_v}{d_n} = 320 + 256{,}2 = 576{,}2\,^0$C

$$t_v = \bar{t}_p + \frac{q}{\bar{\alpha}_2}\frac{d_v}{d_n} + \frac{\hat{q}}{\lambda}\frac{d_v}{2}\ln\frac{d_v}{d_n} = 320 + 256{,}2 + 7{,}3 = 583{,}5\,^0\text{C}$$

Stvarne temperature stijenke cijevi na kritičnom mjestu (nastrujavana, tj. čeona strana cijevi, i to prije izlaza vijuge iz struje dimnih plinova), manje su od izračunanih jer je u računu zanemaren tangencijalni odvod topline. Međutim, one su sigurno veće od 500 °C (jer inače ne bi došlo do opisanog oštećenja) pa se može pisati da je

$500 < t_n < 576{,}2\,^0$C ili $180 < \Delta t_n < 256{,}2\,^0$C odn.
$500 < t_v < 583{,}5$ ili $180 < \Delta t_v < 263{,}5\,^0$C

gdje su Δt_n i Δt_v nadtemperatura na unutarnjoj i vanjskoj strani cijevi.

Očito je, dakle, da odabrana brzina pare na ulazu u vijuge odnosno gustoća protoka nisu dovoljni jer daju premalen koeficijent prijelaza topline. Nadalje je vidljivo da su izračunane odnosno i stvarne nadtemperature znatno veće od 35 °C, tj. najmanje šest puta veće od propisanog najmanjeg dodatka za konvektivne pregrijače pare kakav imamo u promatranom slučaju.

Izvedeni primjer pokazuje kako i u području niskih tlakova i temperatura pregrijane pare formalistički i nekritički pristup rješavanju problema može donijeti fatalne pogreške!

Ako bi temperatura dimnih plinova iznosila $\bar{t}_{pl} = 750$, nadtemperature bi se smanjile na 75% gore izračunanih vrijednosti. Odabere li se gustoća protoka prema iskustvenim podacima sa $G = 122$ kg/m²s, može se lako izračunati da bi računska nadtemperatura stijenke uz $\bar{t}_{pl} = 890\,^0$C, iznosila oko 180 °C tj. uz $\bar{t}_p = 320\,^0$C bi računske temperature stijenke bile na granici primjene materijala St35.8. Drugim riječima ni ta gustoća protoka ne bi sa sigurnošću zadovoljila, pa bi se morala odabrati veća gustoća protoka pare!

MJERENJA

Radi dobivanja realne slike o temperaturama stijenke, kao i temperaturama pare u pojedinim vijugama obavljena su ispitivanja kod 110% opterećenja kotla.

Rezultati ispitivanja (jednog od izvršenih mjerenja) navedeni su u tablici.

Budući da se radi o konvektivnom, a ne o radijacionom pregrijaču pare, najveće temperature stijenke javljaju se kod najvećeg još dopuštenog opterećenja kotla. Rezultati predispitivanja pri opterećenju od 40% su to i potvrdili.

Za mjerenje temperatura upotrijebljeni su termoparovi NiCr–Ni, a registracija je izvršena pomoću 6 odnosno 12 kanalnih kompenzacionih pisača.

Na mjernim mjestima »A« pričvršćeni su termoparovi pomoću vijka, dok su na mjernim mjestima »B« zavareni na čeonoj strani cijevi. Temperatura dimnih plinova mjerena je samo na nekoliko mjesta, i to u sredini dimnog kanala (tri mjesta po visini) kao i bočno (po jedno mjesto u visini mjernog mjesta »B«).

Dok se temperature pare na izlazu iz pojedinih vijuga pregrijača pare mnogo ne razlikuju, tj. najveća razlika iznosi 30 °C, to nije slučaj kod temperatura stijenke cijevi. Kod ovih najveća razlika iznosi oko 160 °C. Ta razlika je uvjetovana relativno velikom razlikom u temperaturi dimnih plinova po širini kanala (prouzrokovanom nejednolikim opterećenjem roštilja i nejednolikim izgaranjem po širini kotla).

Izmjerene temperature stijenke cijevi znatno su veće nego što su dobivene računom. Te razlike potpuno su realne jer stvoreni oksidni sloj na unutarnjoj i vanjskoj strani cijevi (sl. 3) djeluje izolirajuće. Naime, koeficijent vodljivosti željeznih oksida manji je oko 50 puta nego onaj neoštećenog materijala cijevi. Stoga računske temperature stijenke cijevi vrijede samo uz uvjet da je materijal cijevi neoštećen.

ZAKLJUČAK

Podatke (iskustvene) navedene u literaturi treba kritički primjenjivati. To znači da oni mogu poslužiti samo kao polazni u proračunima. Međutim, bez kontrolnog proračuna temperature stijenke cijevi ne može se utvrditi da li su brzina pare ili gustoća protoka ispravno odabrani niti da li će predviđeni materijal podnijeti u trajnom pogonu izračunane temperature stijenke.

Naravno, za što sigurnije određivanje temperatura stijenke cijevi, ne smiju se pretpostaviti idealna, nego što realnija stanja. To znači da treba pretpostaviti moguće ekstreme u temperaturi dimnih plinova po presjeku dimnog kanala, kao i ekstremna odstupanja od srednje računske temperature pare u pojedinim vijugama, i to na kritičnim mjestima svakog pojedinog pregrijača pare.

Nadalje, ne smije se zaboraviti da postoji hidraulička nejednolikost na strani pare. Taj faktor može biti

Red cijevi po dubini	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	1	1
Red cijevi po širini — izvučen	1		4	6	8		11		14	17		21	23	25		28
Red cijevi po širini — uvučen		2				9		14			21				28	
Temp. pare (mjerno mjesto A)	289	290	288	300	295	310	309	308	310	300	290	300	—	280	280	290
Temp. stijenke (mjerno mjesto B)			695		774	733		680	760		735	710		616		
Temp. dimnih plinova — gore			804					820						730		
— sredina								804								
— dolje								865								

Primjedba: Izmjereno kod 110% opterećenja kotla.

vrlo opasan jer ga je teško procijeniti, a kamoli računati. Zato treba svesti tu nejednolikost a priori na najmanju mjeru, što se može postići ispravnom konstukcijom.

Budući da koeficijenti prelaza topline (konvekcijom i isijavanjem) nisu po obodu cijevi konstantni, treba ove računati za kritično mjesto, tj. za čelo cijevi okrenuto nastrujavanju odnosno isijavanju, Koeficijent prijelaza topline sa stijenke na paru treba što točnije odrediti jer on bitno utječe na proračun nadtemperature stijenke cijevi.

Samo ispravno i s određenom sigurnošću izračunana najveća gustoća toplinskog toka dat će rezultat na strani dovoljne sigurnosti.

Ne smije se računati s najmanjim propisanim dodacima prema »Pravilima za gradnju parnih kotlova« ako nisu provjereni kontrolnim proračunom temperatura stijenke cijevi, jer se može vrlo lako učiniti ogromna pogreška (kao što je vidljivo iz opisanog primjera gdje je $t_p + 35^0$ C « t_v).

KEY WURDS:

STEAM REHEATER, FLOK DENSYTY
TUBE FAILURES

AREHEATER TRAP

In the article are described some steam reheater tube failures caused by low density of steam flow. Some results of tube temperature measurement are presented and some guides for calculation of tube temperature are given.

DIE ÜBERHITZERFALLE

Es wurde die Schadenstelle beschrieben welche durch ungenügenden Massestrom enstanden ist. Die gemessenen Rohrwand temperaturen sind angegeben.Es ist detailierte Anleitung für die Berechnung der Rogrwandtemperatur gegeben.

ЛОВУШКА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

Описано повреждение труб пароперегревателя, вызванное недостаточной плотностыо расхода. Приводятся результаты измерений температуры стенок труб. Даны подробные рекомендации по расчету температуры стенок труб.

LITERATURA

[1] M. Ledinegg »Dampferzeugung« 1952
[2] Walther — Taschenbuch (1955)
[3] S. Herr »Temperature stijenke cijevi i rebro«, »Strojarstvo« 1979 br. 1
[4] Hidrovličeskiji raščet kateljnjih agregatov (normativni metod) 1978
[5] Steinmüller — Taschenbuch »Dampferzeugertechnik« 1974

Naslov pisca:

Stjepan Herr, dipl. ing
TPK 41000 Zagreb, Žitnjak bb

Uredništvo primilo rukopis
1982 — 07 — 26

»OSVRT NA OSVRT«

Glavnom uredniku časopisa »Energija«

U časopisu »Energija« broj 9-10 od 1982. godine objavljen je tekst pod naslovom »Osvrt na članak (studiju) – Temeljna obilježja sistema financiranja proširene reprodukcije u elektroprivredi Hrvatske u planskom razdoblju 1976-1980. godine , čiji je autor D. Stanić.

Budući da se u pojedinim dijelovima objavljenog teksta daje netočna interpretacija pojedinih nalaza i zaključaka koji su dani u studiji »Analiza sistema financiranja proširene reprodukcije u elektroprivredi Hrvatske u razdoblju od 1976-1980. godine«, te pošto se nekim navodima u spomenutom tekstu dovodi u pitanje sama korektnost i postupci autora kojima se koristio u izradi predmetne studije, to sam prisiljen da ovim putem odgovorim drugu Staniću na njegov objavljeni tekst.

Doduše, drug Stanić se i sam u uvodnom dijelu svojega teksta ispričava ako se možda »načinom svojeg izlaganja, upotrijebljenom terminologijom ili na bilo koji drugi način nekom zamjerio ili bilo koga povrijedio«. Samim tim je, izgleda, drug Stanić svjestan činjenice da objavljivanjem predmetnog teksta i vrijeđa i povređuje, a ipak ga objavljuje. Inače, ako su navodi u objavljenom tekstu temeljeni na stvarnim činjenicama, onda takve napomene nisu ni uobičajene, ni potrebne.

Međutim, ta unaprijed dana isprika druga Stanića svakako nije dovoljna, pa vas molim da u jednom od narednih brojeva vašeg časopisa objavite sljedeće:

(1) Prvo, u točki 2.1. Stanićevog teksta navodi se da u predmetnoj studiji obrađuje istovjetna materija koja je već obrađivana u studiji »Društveno-ekonomski odnosi u elektroprivredi Hrvatske«, te s tim u vezi zaključuje (citiram): »Mislim da čitaocu navedenih tekstova neće promaći činjenica da novom studijom naručilac nije dobio ni nova saznanja ni nova rješenja u odnosu na ona koja je do sada imao.

Uostalom, zar i niz doslovno prenesenih (prepisanih) dijelova, pasusa, pa i ukupnih stranica iz ranije studije (bez naznake studije, obrađivača i drugih podataka) ne upućuje na takav zaključak.«

S tim navodima druga Stanića i dobronamjerni se čitalac dovodi na pomisao da se je autor ove studije prilikom njenog pisanja bavio i nekom vrstom »resavske škole«, jer po drugu Staniću na to upućuje niz doslovno prenesenih (prepisanih) dijelova, pasusa, pa i ukupnih stranica iz ranije studije, i to bez naznake studije, obrađivača i drugih podataka. Po Staniću, čista krađa.

Ali, drug Stanić je morao i trebao znati da je autor tih prenesenih (ili prepisanih stranica) isti autor i u jednoj i u drugoj studiji. Drug Stanić je to morao znati jednostavno zato što su ista polazna stajališta autora objavljena i u članku »Financiranje proširene reprodukcije u elektroprivredi Hrvatske u planskom razdoblju 1981-1985. godine«, na koji članak se drug Stanić i poziva u točki 2.3.4, ali na žalost, samo u onom kontekstu koji njemu odgovara. Ovo prešućivanje autorstva u najmanju ruku se ne može prihvatiti kao dobronamjerno. Naprotiv...

U studiji »Društveno-ekonomski odnosi u elektroprivredi Hrvatske« dane su samo **osnove** sistema financiranja (10-12 stranica) i prirodno je da su te osnove iste i u studiji »Analiza sistema financiranja proširene reprodukcije u elektroprivredi Hrvatske«, gdje se problemi funkcioniranja sistema razrađuju na 66 stranica i dvadesetak stranica dokumentacije (ako ta kvantiteta išta znači).

Da, ali te osnove se razlikuju u samo jednom bitnom elementu i drug Stanić u već spomenutoj točki 2.3.4. postavlja pitanje i ispravno napada kako je do toga došlo, ali one osnove koje su iste – to naziva »prepisivanjem«, ne trudeći se da čitatelju kaže da li se kod toga možda radi o istim stajalištima istog autora.

Nadam se da su čitatelji časopisa »Energija« čitajući objavljene članke u brojevima 3-4 i 5-6 sami mogli doći do spoznaje da li se predmetnom studijom dobivaju neke nove spoznaje i neka nova rješenja. Drug Stanić u njima ne vidi ni nove spoznaje, ni nova rješenja, ali to ne treba sugerirati čitateljima časopisa »Energija« niti naručitelju studije. S tim u vezi je potrebno reći da je Savjet studije jednoglasno prihvatio nalaze i zaključke studije na temelju preostala četiri stručna izvještaja iz kojih navodim samo dva citata: »1) Smatram da je studija napravljena stručno i kvalitetno. Podržavam osnovne postavke i prijedloge studije, te predlažem Stručnom savjetu da je pozitivno ocijeni i prihvati. Smatram da bi njezinim prihvaćanjem ZEOH i RSLZ potrošača elekritične energije dobili solidnu stručnu osnovu za poduzimanje konkretnih akcija za rješavanje sistema financiranja proširene reprodukcije u elektroprivredi Hrvatske.« »2) Mišljenja samo da bi se sa razultatima ove studije trebali upoznati i organi upravljanja elektroprivrede i samoupravne interesne zajednice potrošača i da se jedan dio zaključaka iz ove studije prihvati i ugradi u rješenja već ove godine, kada se budu donosile odluke o privremenom planu i planu izgradnje za 1982. godinu.«

(2) Drugo, drug Stanić u točki 2. svojega teksta nastoji dovesti u pitanje određene subjektivne slabosti koje su evidentno bile prisutne (i još su) u poslovanju elektroprivrednih organizacija. Kod pokušaja da te

subjektivne slabosti dovede pod znak pitanja, drug Stanić nastoji analizom ostvarenog priljeva i utroška financijskih sredstava dokazati da tih slabosti nije bilo, i to posebno ne kod proizvodno-prijenosnih organizacija, jer je postotak učešća utrošenih sredstava mnogo veći kod proizvodno-prijenosnih organizacija nego kod distributivnih. Čak kod toga drug Stanić ide tako daleko pa dovodi u pitanje autorovo poznavanje propisa o osiguranju plaćanja između korisnika društvenih sredstava, jer inače ne bi upadao u takve zablude.

U nastavku u točki 2.2.3. drug Stanić kaže da nije prihvatljivo mišljenje da su se pri financiranju programa razvoja elektroprivrede pretpostavljali interesi sistema užim interesima elektroprivrednih organizacija, odnosno interesima regionalnih i lokalnih društveno-političkih zajednica, pa zaključuje: »Ocjena ovakovog karaktera zahtijeva da se istodobno kaže u kojoj mjeri su se ti interesi iskazivali i putem kakvih su se pojavnih oblika manifestirali.«

Za dobronamjernog čitatelja autor studije je bio dosta jasan kada je na istoj stranici koju spominje drug Stanić (strana 15. studije) rekao: »Iako su elektroprivredne proizvodno-prijenosne organizacije donosili zajednički plan izgradnje, on se u svojoj realizaciji nije pojavljivao kao zajednički (jedinstven), nego se je njegova realizacija de fakto odvijala kroz četiri regionalne proizvodno prijenosne organizacije, kod čega je svaka organizacija nastojala staviti u prvi plan i osigurati sredstva za onaj dio zajedničkog plana koji se realizira na njenom području, zanemarujući ili ne sagledavajući u dovoljnoj mjeri nužnost sinhronog i zajedničkog razrješavanja ovog problema. Upravo je to dovodilo da su se kod zatvaranja konstrukcije financiranja pojedinih objekata koristila i kratkoročna bankarska i druga kreditna sredstva u većem iznosu nego je to planom bilo predviđeno.«

Slijed toga, izgradnja proizvodnih elektroprivrednih objekata u SR Hrvatskoj je otprilike sljedeći:

I faza: zajednički plan
II faza: regionalna izgradnja
III faza: zajednička eksploatacija.

Pa zar ova druga faza – faza regionalne izgradnje – stvarno ne upada u oči.

U pravilu se u svakom srednjoročnom planu u SR Hrvatskoj gradi desetak novih objekata, a svaki je težak po nekoliko stotina starih milijardi dinara. Ako bilo zbog subjektivnih ili objektivnih razloga dođe do pomicanja rokova izgradnje jednog od ovih objekata (npr. HE Čakovec), onda to nužno zahtijeva pomicanje rokova iz zajedničkog plana za objekte koji slijede (npr. HE Obrovac). Upravo zbog regionalne izgradnje ovih objekata ta se koordinacija i usklađivanje teško ostvarivalo. Pa zar se to nije događalo i s objektima koji su navedeni u zagradama. Veći broj regionalnih interesa ili regionalni i zajednički interesi, kako to god zvali, teško su se usuglašavali. Pa zar nije u svrhu privemenog rješavanja ovih konfliktnih situacija Izvršno vijeće Sabora SR Hrvatske još 1971. godine bilo prisiljeno donijeti »Odluku o utvrđivanju prioriteta izgradnje hidroelektrane Orlovac« po kojoj se dio sredstava prikupljen na području Zagreba, Osijeka i Rijeke, (ostalih regionalnih proizvodno-prijenosnih područja) za izgradnju proizvodno-prijenosnih objekata morao obavezno usmjeriti u HE Orlovac koja se nalazila na području proizvodno-prijenosne organizacije iz Splita.

Uvjeren sam da su ti problemi poznati drugu Staniću. Čak me ne interesiraju ni motivi njihova prešućivanja. Ove pojavne oblike putem kojih su se manifestirale te subjektivne slabosti navodim isključivo radi čitalaca.

Prema nalazima studije postotak utroška financijskih sredstava ne može dobiti, niti je u studiji dobio prioritetno mjesto u razmatranju subjektivnih slabosti. Ali, ako postoji određen dio neutrošenih financijskih sredstava, i to ne privremeno, nego stalno – iz godine u godinu, istovremeno se koriste kratkoročna kreditna sredstva za plaćanje situacija za izvedene radove, i to daleko iznad planom predviđenih, onda svakako to ukazuje na prisutnost određenih subjektivnih slabosti.

U studiji nigdje nije rečeno da subjektivnih slabosti nije bilo i u organizacijama udruženog rada distributivne djelatnosti. Samo, one su se iskazivale u drugim oblicima. Drug Stanić ih svakako traži na pogrešnom mjestu kada ih pokušava pronaći u manjem postotku utroška sredstava. Svođenjem, na primjer, pod isti znak jednakosti stupanj izvršavanja investicija u proizvodnoj djelatnosti koja u jednom srednjoročnom razdoblju gradi desetak elektrana »teških« po nekoliko stotina milijardi starih dinara i distributivne objekte kojih u istom razdoblju na području SR Hrvatske ima i više od desetak tisuća, pojedinačno »teških« samo desetak milijuna starih dinara, mislim da također nije potrebno komentirati.

Na prisutnost ovog problema u izvršenju plana investicija najbolje je ukazao na Stručnom savjetu stručni izvjestitelj iz prijenosne djelatnosti. S tim u vezi citiram: »Što se tiče zaostajanja obima izgradnje u izvršenju, s obzirom na plan, treba reći da je ta konstatacija točna, ali je to posljedica zakonske procedure. Trebalo bi težiti na tome da se donese **jedan investicioni program** za grupu objekata. To je izuzetno važno za prenosnu djelatnost. Tako bi se u prenosnoj djelatnosti tridesetak sadašnjih investicionih programa moglo svesti na 6 investicionih programa, i to:

— 1 investicioni program za DV 380 kV
— 1 investicioni program za DV 220 kV
— 1 investicioni program za DV 110 kV
— 1 investicioni program za TS 380 kV
— 1 investicioni program za TS 220 kV
— 1 investicioni program za TS 110 kV«

A kakav tek problem s tim u vezi postoji kod distributivne djelatnosti, npr. na objektima 0,4 kV napona – mislim da nije potrebno ni komentirati.

(3) Treće, u točki 2.3.4. svojega teksta drug Stanić u dijelu koji se odnosi na sredstva prikupljanja instrumentom naknada kaže (citiram): »Međutim, nije jasno zbog čega obrađivač (ranije i sada) sredstva naknada izuzima i tretira izvan tog sistema, pretpostavljajući institut samoupravnog udruživanja sredstava

obveznom (zakonom) reguliranom udruživanju (potcrtao J. Š.) i to u vrijeme kada se opravdanost i zakonitost ovog oblika udruživanja rješava na Ustavnom sudu (sada je ta odluka Ustavnog suda poznata i njome se zahtijeva temeljita »rekonstrukcija« danas SAS-om uspostavljenih odnosa.«

Najprije treba reći da sam dio studije koji se odnosi na sredstva naknada nekoliko puta pročitao i nigdje nisam mogao pronaći niti riječ »obavezno«, niti riječ »zakonom regulirano«. Ne znam gdje je to drug Stanić pročitao.

Iz teksta studije proizlazi da na obavezu plaćanja naknade treba gledati kao na običan ugovoreni odnos, pa čak i kao neposrednu – direktnu razmjenu rada i sredstava između korisnika i davalaca usluga, ali ne preko SIZ-a. Osim toga, čisto ekonomski razlozi govore o nužnosti ovog instrumenta u sistemu financiranja razvoja elektroprivrede. Ovaj instrument i putem njega direktna »participacija« potrošača u razvoju elektroprivrede dovela je već sada do vrlo racionalnog ponašanja potrošača u svojim zahtjevima za novo angažiranom snagom na mreži elektroprivrede.

Drug Stanić u svojem tekstu često poziva na Ustav i ZUR i na njihovim principima slobodnu razmjenu rada, a da nigdje ujedno ne postavlja pitanje u kojoj mjeri su ti odnosi i u konkretnoj praksi ostvareni. Da li slobodna razmjena rada, koja je u praksi provedena na mehanički način preko SIZ-ova, dovodi do racionalnijeg ponašanja davalaca i korisnika usluga ili se to postiže u većoj mjeri instrumentom naknada, shvaćajući je kao instrument neposredne razmjene rada i sredstava, a ne zakonom reguliranom udruživanju, kakav joj atribut daje drug Stanić.

(4) Četvrto, drug Stanić na dva mjesta svojega teksta, doduše u bilješkama, napominje da je informiran (ali ne kaže od koga) da je autor studije u obrani svojih stajališta koristio i »moje ranije stavove i ocjene... Nije mi poznato u kojem kontekstu i na koji način su interpretirani ti moji raniji stavovi...«. Pa pošto drug Stanić ne zna u kojem kontekstu i na koji način, a nije našao za shodno da tu informaciju primi od autora studije, dužan sam to navesti. Ali zato u prvoj bilješci ne zaboravlja da kaže kako »i to upućuje na način prilaza izradi ove studije, odnosno na pomanjkanje analitičkog i istraživačkog pristupa obrađivača«. Vjerojatno drug Stanić ima razloga da se ljuti na to što sam citirao neka njegova ranija stajališta – jer im je vjerojatno i namjera i svrha bila druga – pa su zato vjerojatno i u potpunoj suprotnosti s onim što o tome piše u stručnom izvještaju, pa i svojem »osvrtu«. Zbog toga ću i navesti (citirati) dio teksta iz studije da drug Stanić zna u kojem su kontekstu ti njegovi »raniji stavovi« upotrijebljeni, ali i ta njegova »ranija stajališta«. Izloženi su u članku »Poteškoće i slabosti u funkcioniranju elektroenergetskog sistema Hrvatske«, (Energija 3-4/1980), kako bi usporedba bila moguća.

Na strani 14. studije u vezi s prisutnošću subjektivnih slabosti u poslovanju elektroprivrednih organizacija kaže se. »Ovo nedvojbeno pokazuje da u proteklom planskom razdoblju nije bilo razloga da izgradnja elektroenergetskih objekata kasni zbog nedostatka financijskih sredstava. Ako je do toga u praksi i dolazilo, onda razloge za to treba tražiti u subjektivnim slabostima u poslovanju elektroprivrednih organizacija. S jedne strane su na to zakašnjenje utjecali razlozi što nisu prethodno bili izvršeni temeljiti studijski, istražni i pripremni radovi za početak izgradnje, kao i sva investiciona – tehnička i projektna dokumentacija, a s druge strane, u neadekvatnom udruživanju i koncentraciji ovih sredstava unutar same elektroprivrede. Takav zaključak svakako nameće i činjenica da su se kod zatvaranja konstrukcije financiranja pojedinih objekata koristila i kratkoročna bankarska i druga kreditna sredstva u većem iznosu nego je to bilo planom predviđeno, dok je istovremeno elektroprivreda kao cjelina iz godine u godinu raspolagala sa značajnim iznosima neutrošenih financijskih sredstava.«

Iz navedenog citata svakako se vidi da se (kondicionalno) u studiji navode i drugi, možda i mnogo bitniji subjektivni razlozi koji su dovodili do produženja rokova izgradnje elektroenergetskih objekata (neadekvatni studijski, istražni i drugi pripremni radovi, zatim investiciono-tehnička i projektna dokumentacija) ali se u studiji nastavno daje širi osvrt na one subjektivne slabosti koje više proizlaze iz postupaka provedbe samog financiranja tih objekata, što je i u skladu sa samim nazivom i obuhvatom studije.

Međutim, i u svojem izvještaju za Stručni savjet i u tekstu koji je objavljen u časopisu »Energija« broj 9-10 od 1982. godine, drug Stanić tvrdi da ta ocjena nije »detaljno analizirana i argumentirano dokazana, te da ocjena ovakvog karaktera zahtijeva da se istodobno kaže ...putem kakvih pojavnih oblika su se manifestirali«.

U vezi s prije navedenim citatom iz studije, a i u vezi sa stajalištem druga Stanića da ta ocjena nije analizirana i argumentirano dokazana, ja sam citirao stajališta druga Stanića iz njegova članka »Poteškoće i slabosti u funkcioniranju elektroenergetskog sistema Hrvatske«. Evo tih citata, odnosno evo tih stajališta druga Stanića o subjektivnim slabostima u elektroprivredi Hrvatske: »1) Planovi se zaista sporo i teško donose. Razlozi su i u tome što su pojedine organizacije od samog početka zajedničkog rada u prvi plan stavljale svoje pojedinačne interese. Otuda borba za vlastite pozicije i vlastite objekte... Svaki naš objekat nosi ime neke naše poznate, ličnosti. 2) »Nedovoljan stupanj pripreme objekata upravo je odgovarao investitorima da uz nerealno niske cijene ugu-raju objekt u program. Za sve ostalo nakon toga vrijedila je deviza: lako ćemo.« 3) Ali untoč tome elektroprivreda se svake godine zadužuje i opterećuje skupim kratkoročnim kreditima radi premoštenja nesklada između priliva sredstava i izvršenja radova. Međutim, radi neshvaćanja zajedničkih i širih društvenih interesa elektroprivredne organizacije nisu pokazale interes da putem drugačije organizacije i disponiranja osiguranih sredstava ublaže, a kamoli da riješe ta pitanja. 4) Planovi i programi ne sadrže i utvrđene prioritete izgradnje, što znači da se u slučajevima manjka sredstava, tj. nemogućnosti zatvaranja konstrukcije financiranja, ne ide na dovrše-

nje objekata koji se u okviru raspoloživih sredstava mogu dovršiti i uključiti u elektroenergetski sistem, nego se ide na smanjenje ulaganja gotovo skoro svih objekata iz plana, iako može biti i onih čija izgradnja uopće nije otpočela. (Tu drug Stanić navodi primjer HE Čakovca i HE Obrovca – opaska J. Š. 5) Nema sumnje da je uspostavljenim sistemom financiranja proširene reprodukcije u elektroprivredi učinjeno mnogo, ali istodobno postoje ocjene i mišljenja da su boljom organizacijom financiranja i disponiranja sredstvima, većim razumjevanjem zajedništva i širih društvenih interesa efekti mogli i trebali biti veći. 6) Raskorak između priliva sredstava i izvršenja radova investitori su rješavali pomoću skupih komercijalnih kredita, umjesto drugačijom organizacijom usmjeravanja raspoloživih sredstava. Ne tvrdim da bi time bila u cijelosti eliminirana potreba za kratkoročnim kreditnim sredstvima, ali da bi ona bila neuporedivo manja u to sam siguran. 7) Moram istaći da investitori često pribjegavaju plaćanju putem avansa da bi time opravdali veća angažirana sredstva, nego to mogu fizički realizirati, i to smatraju utrošenim sredstvima, premda radovi nisu izvršeni.«

Evo druže Staniću, to je »samo« sedam citata koje sam koristio iz vašeg članka (uz onaj osmi koji ste naveli u vašoj bilješci), pa da znate u kojem kontekstu ih je autor studije koristio. Mislim da ih nije ni potrebno komentirati, jer dovoljno govore sami o »evoluiranju« vaših stajališta. Pa i sada samo mogu dodati: Prepuštam ocjeni čitalaca da usporede ova vaša stajališta sa stajalištima u vašem tekstu objavljenom u »Energiji« broj 9-10 od 1982. godine. Također ovom prilikom moram napomenuti drugu Staniću da su »informacije« koje je primio iz neke druge ruke u vezi s mojim izlaganjem na Stručnom savjetu u najmanju ruku nepotpune i u nekim elementima diskutabilne. Ali, ipak treba reći da autor studije ne vidi razlike (ni sada, ni prije) u subjektivnim slabostima o kojima je riječ u studiji. Možda Vi više ne stojite iza tih subjektivnih slabosti koje su navedene u citatima? Ili ih, se možda, samo privremeno odričete, do nove prilike i situacije gdje će ponovno biti »valjani«?

(5) Peto, u zadnjem dijelu točke 2.3.3. svojeg teksta drug Stanić navodi da je u dvjema (različitim) studijama (istog) obrađivača (Instituta za elektroprivredu Zagreb) došla do izražaja dilema »kakav tretman dati sredstvima koja se danas osiguravaju na temelju određenog postotka od dohotka«, iako u vremenu između ovih dviju studija (u razmaku od jedne i pol godine) nije došlo do novih sistemskih mjera »koje bi opredjeljivale druga rješenja«.

Moram priznati da drug Stanić u ovoj konstataciji ima pravo, i tu moram reći: moj grijeh. Ali, i nešto o tome kako je do toga došlo.

Kod izrade studije »Društveno-ekonomski odnosi u elektroprivredi Hrvatske« dio problema oko sistema financiranja proširene reprodukcije trebali su obraditi suradnici Ekonomskog instituta iz Zagreba. Budući da se ta suradnja sa Ekonomskim institutom teško ostvarivala (drug Stanić također kao suradnik na ovoj studiji to dobro zna) i kako je izrada studije zbog toga dobrano kasnila, zamoljen sam od jednog od koordinatora na izradi ove studije, akademika, Požara, da taj dio materije ja obradim. Nakon dostave predmetnog teksta prof. Požar me je nazvao i rekao (otprilike): »Slažem se s predloženim tekstom, s tim što sam učinio dvije manje 'intervencije' u predloženom tekstu, ali o tome ćemo još raspraviti u okviru radne grupe«. Jedna od tih intervencija je bila: »Ne vidi se ekonomsko-energetsko opravdanje zadržavanja udruživanja sredstava na temelju određenog postotka od dohotka, jer dohodak nije ni u kakvoj vezi s potrošnjom električne energije. Zbog toga se smatra da bi taj iznos trebalo uključiti u postotak od iznosa računa za potrošenu električnu energiju.« Zbog objektivnih razloga (bolest i zauzetost na radnom mjestu) nisam prisustvovao zadnjim sjednicama Radne grupe, pa je tako i spomenuto stajalište ostalo u tekstu. Međutim, na moju veliku žalost, kod pripreme članka »Financiranje proširene reprodukcije u elektroprivredi Hrvatske u planskom razdoblju od 1981-1985. godine«, za koji sam u većem dijelu koristio svoje tekstove pisane za studiju o društveno-ekonomskim odnosima, mojom nepažnjom objavljen je i u članku tekst s naprijed navedenom konstatacijom. Iako sam bio u dilemi da ovo obrazloženje navedem u jednoj od bilježaka u studiji »Analiza sistema financiranja proširene reprodukcije u elektroprivredi Hrvatske u razdoblju 1975-1980. godine«, to ipak nisam učinio. Danas mi je to svakako žao. U predmetnoj studiji sam naveo i još dodatne argumente u prilog daljnjeg zadržavanja ovog instrumenta, posebno što se tiče redistributivnih efekata koji se njime postižu.

Nadam se da će čitatelji prihvatiti ovo moje obrazloženje, a nedoumice druga Stanića će vjerojatno i nakon svega ovoga ostati. U motive Stanićevih nedoumica i u odnosu na autora, i u odnosu na obrađivača i u odnosu na naručitelja ja ne bih želio ulaziti, ali sam siguran da te nedoumice druga Stanića ne nalaze svoj izvor u studiji o kojoj je riječ. Bar ne u jednom velikom dijelu.

Naslov pisca:

Doc. dr Jure Šimović,
Viša upravna škola, Gundulićeva 10
41000 Zagreb

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U SRH DO 1990. GODINE

Dr Goran Granić, Zagreb

UDK 621.31

PRETHODNO PRIOPĆENJE

U radu je napravljena projekcija budućeg razvoja potrošnje električne energije u SRH do 1990. godine. Predviđanje potrošnje izvršeno je na temelju korelacije potrošnje električne energije i društvenog proizvoda (minimalni nivo potrošnje) i prema općoj zakonitosti potrošnje električne energije (maksimalni nivo potrošnje). Očekivana varijanta potrošnje određena je kao prosjek minimalnog i maksimalnog nivoa potrošnje električne energije.

Ključne riječi: SR Hrvatske, električna energija, potrošnja.

1. UVOD

Gotovo svaka studija koja obrađuje potrošnju električne energije krije u sebi veliku neizvjesnost. Ako se to može reći za bilo koje vrijeme predviđanja, u sadašnjem trenutku prije navedena konstatacija ima posebnu težinu.

U poslijeratnom razdoblju, pa sve do početka »energetske krize«, potrošnja električne energije ostvarivala je visok porast (do 10,0%), karakterističan za zemlje u razvoju. Takav dinamičan porast potrošnje odvijao se po zakonu udvostručenja potrošnje električne energije za svakih sedam godina. Energetska kriza je nešto prigušila porast potrošnje, tako da se u razdoblju od 1975. do 1980. godine porast potrošnje kretao u granicama od 5% do 7,7%, odnosno po prosječnoj stopi od 6,5%. Znatan pad porasta potrošnje ostvaren je u prošloj godini (1981), a prema dosadašnjem ostvarenju i u ovoj se godini ne očekuje ništa veći porast.

Smanjenje porasta potrošnje u prošloj i ovoj godini posljedica je, u prvom redu, smanjenja privredne aktivnosti. K tome se može dodati i prigušivanje potrošnje redukcijama zbog poznatih problema u opskrbi termoelektrana tekućim gorivom. I tako vrlo tešku elektroenergetsku situaciju učinila je još težom neusuglašenost u opskrbi potrošača ostalim oblicima energije. Naime, u nedostatku tekućeg, a djelomično i krutog goriva, velik broj domaćinstava orijentirao se na električno grijanje stambenih prostora. Promjena u strukturi potrošnje u korist opće potrošnje (ili potrošnje osobnog standarda) nepovoljne su u ovom trenutku za razvoj privrednog sustava (a prema tome i elektroenergetskog sustava), jer se sve više energije troši za stvaranje društvenog proizvoda.

U sagledavanju potrošnje do 1990. godine, pa i dalje, jedno je od osnovnih pitanja u kojem će se vremenskom razdoblju realizirati dugoročni program stabilizacije i potrošnja električne energije vratiti na nivo potrošnje koji odgovara sadašnjem stupnju razvoja našeg društva.

Često se prave usporedbe s razvijenim zemljama koje imaju nizak porast potrošnje električne energije (3 do 4% godišnje), a stabilni privredni rast, misleći pri tome da je moguće i kod nas tako nešto ostvariti. Pri tome se zaboravlja na jednu vrlo važnu činjenicu: da je takav mali porast potrošnje električne energije u funkciji ukupnog razvoja društva, odnosno stupnja razvijenosti i privrednog potencijala zemlje.

U studiji »Potrošnja električne energije u SRH do 2000. godine« napravljen je pokušaj da se odredi prirodna zakonitost potrošnje električne energije. Za tu svrhu korišteni su podaci o potrošnji električne energije po stanovniku za 23 zemlje ili grupe zemalja u velikom rasponu razvijenosti. Rezultat istraživanja je vremenski pomak potrošnje u SRH u odnosu na ostale promatrane zemlje. U sljedećoj tablici navedeni su rezultati istraživanja. Predznak (+) znači da je promatrana zemlja ostvarila takav nivo potrošnje u odnosu na SRH ranije, a predznak (−) da potrošnja u promatranoj zemlji nije dosegla nivo potrošnje u SRH.

Vremenski pomak potrošnje po stanovniku za više zemalja svijeta u odnosu na potrošnju električne energije u SRH

Zemlje	Vremenski pomak	Zemlje	Vremenski pomak
svijet	6,03	Portugal	− 4,34
razvijene zemlje	20,62	Grčka	−5,57
zemlje u razvoju	− 18,62	Španjolska	2,96
SAD	30,25	Bugarska	−3,89
Zapadna Evropa	14,97	Čehoslovačka	13,13
Danska	9,91	DR Njemačka	17,92
Francuska	14,53	Mađarska	5,54
SR Njemačka	16,56	Poljska	6,57
Italija	9,77	Rumunjska	−3,16
Austrija	15,04	SSSR	9,16
Finska	16,68	Jugoslavija	−3,24
Švicarska	26,95		

Sadašnji nivo potrošnje u SRH odgovara potrošnji koju je SR Njemačka ostvarila prije 16.56 godina, Francuska prije 14.53 ili SAD prije 30.25 godina. Razvoj potrošnje električne energije u SRH dobro se uklapa u takvu zakonitost potrošnje i ako bi se po-

trošnja u SRH i dalje odvijala prema općoj zakonitosti potrošnje, u sadašnjem trenutku porast potrošnje trebao bi iznositi oko 6%, a u 1990. godini oko 5%.

Sagledavajući u potpunosti situaciju u kojoj se naše društvo nalazi, a prema tome i elektroenergetski sustav, nerealno je i pogrešno očekivati (predviđati) da će se u 1983. godini ostvariti porast potrošnje oko 6% Jednako tako je pogrešno, pod pritiskom sadašnjih problema, očekivati da će se moći osigurati daljnji privredni razvoj društva ako se potrošnja ne vrati na nivo koji joj pripada prema razvijenosti društva.

Iz svega ovog proizlazi da je prije sagledavanja budućeg razvoja potrošnje potrebno odgovoriti na pitanje trajanja perioda stabilizacije u kojem će se uspostaviti normalan privredni rast. Također se mora dati odgovor na pitanje osiguravanja dovoljnih količina primarnih oblika energije za proizvodnju električne energije (prvenstveno mazuta), jer to može direktno utjecati na ostvarenje prethodnog. Treće pitanje koje traži odgovor jest utjecaj usporavanja izgradnje proizvodnih i prijenosnih kapaciteta zbog smanjenja društvene akumulacije iz koje se financira njihov razvoj.

Budući da ima velik broj utjecajnih faktora koji su međusobno povezani, teško je utvrditi jedan nivo potrošnje za koji se može smatrati da ima veliku vjerojatnost da će se ostvariti. Korektnije je odrediti granice u kojima se može ostvariti potrošnja pod određenim uvjetima.

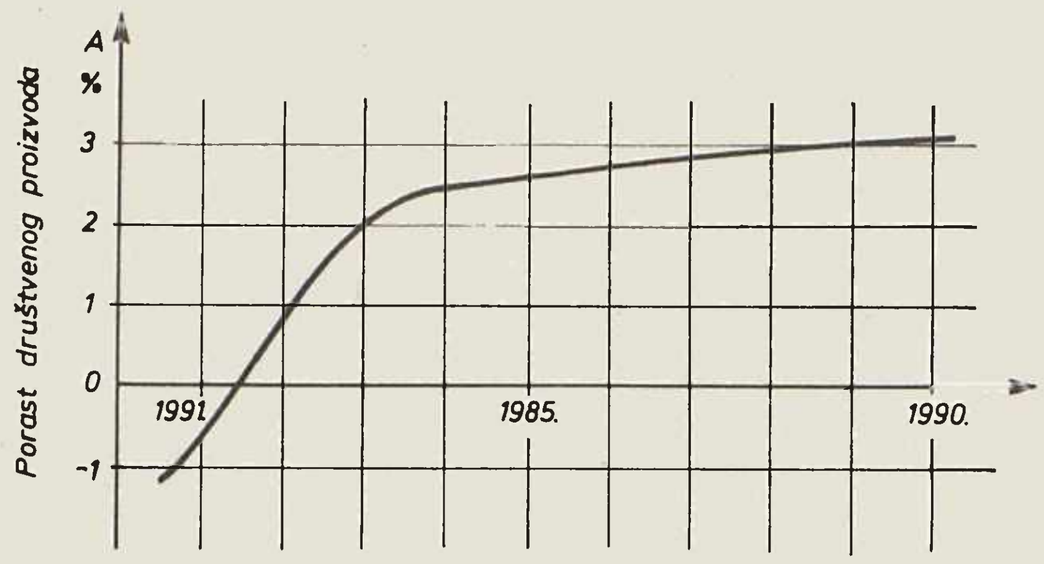
2. PREDVIĐANJE POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Predviđanje potrošnje nezavisnim metodama, kod kojih se koristi matematički postupak ekstrapolacije ostvarenja potrošnje u prošlosti, ne mogu se u ovom trenutku koristiti za sagledavanje budućeg razvoja potrošnje električne energije. Razlog za to je u utjecaju visokih stopa u prošlosti na buduće stope rasta. Zbog toga se nameće jedina mogućnost da se buduća potrošnja procijeni preko rasta društvenog proizvoda, jer će se na taj način najbolje povezati realizacija programa stabilizacije i potrošnja električne energije.

Kod korištenja zavisnih metoda za predviđanje potrošnje električne energije bitno je važna projekcija utjecajnih faktora za razdoblje planiranja. U ovom slučaju radi se o projekciji društvenog proizvoda.

Prema informacijama iz Republičkog zavoda za planiranje u razdoblju 1981. do 1985. godine očekuje se porast društvenog proizvoda po prosječnoj stopi od 1,3%. Za razdoblje nakon 1985. godine za sada nema nikakvih sagledavanja.

Kako je u 1981. godini ostvaren pad od 1,1% u odnosu na 1980. godinu, a u 1982. godini predviđa se nulti porast (stanje 1980. godine), prosječni porast od 1,3% raspoređen je na preostale tri godine kao što je prikazano na sl. 1. Kod toga je napravljena pretpostavka da će se u 1985. godini ostvariti porast društvenog proizvoda od 2,5%.



Sl. 1. Projekcija porasta društvenog proizvoda za razdoblje 1981-1990.

Za razdoblje nakon 1985. godine pretpostavljen je daljnji rast društvenog proizvoda po nešto višim stopama, tako da bi u 1990. godini dosegao iznos od 3%.

Na temelju takvih pretpostavki napravljeno je predviđanje potrošnje električne energije prema analitičkom izrazu korelacije

$$W_t = a + b \cdot t + c \cdot DP_t + d \cdot DP_{t-1},$$

gdje su:

a, b, c, d	—	koeficijenti korelacije
W	—	potrošnja električne energije u periodu t
t	—	promatrana godina
Dp	—	društveni proizvod u godini t
DP1	—	društveni proizvod u godini t – 1

Rezultati proračuna navedeni su u sljedećoj tablici.

Potrošnja električne energije u SRH za razdoblje 1981-1990. dobivena na temelju korelacije s društvenim proizvodom.

	Potrošnja GWh	Porast %
1981.	11 868,0	
1982.	12 170,0	2,54
1983.	12 573,9	3,32
1984.	13 024,3	3,58
1985.	13 504,2	3,68
1986.	13 998,7	3,66
1987.	14 505,4	3,62
1988.	15 026,2	3,59
1989.	15 566,5	3,59
1990.	16 109,5	3,48

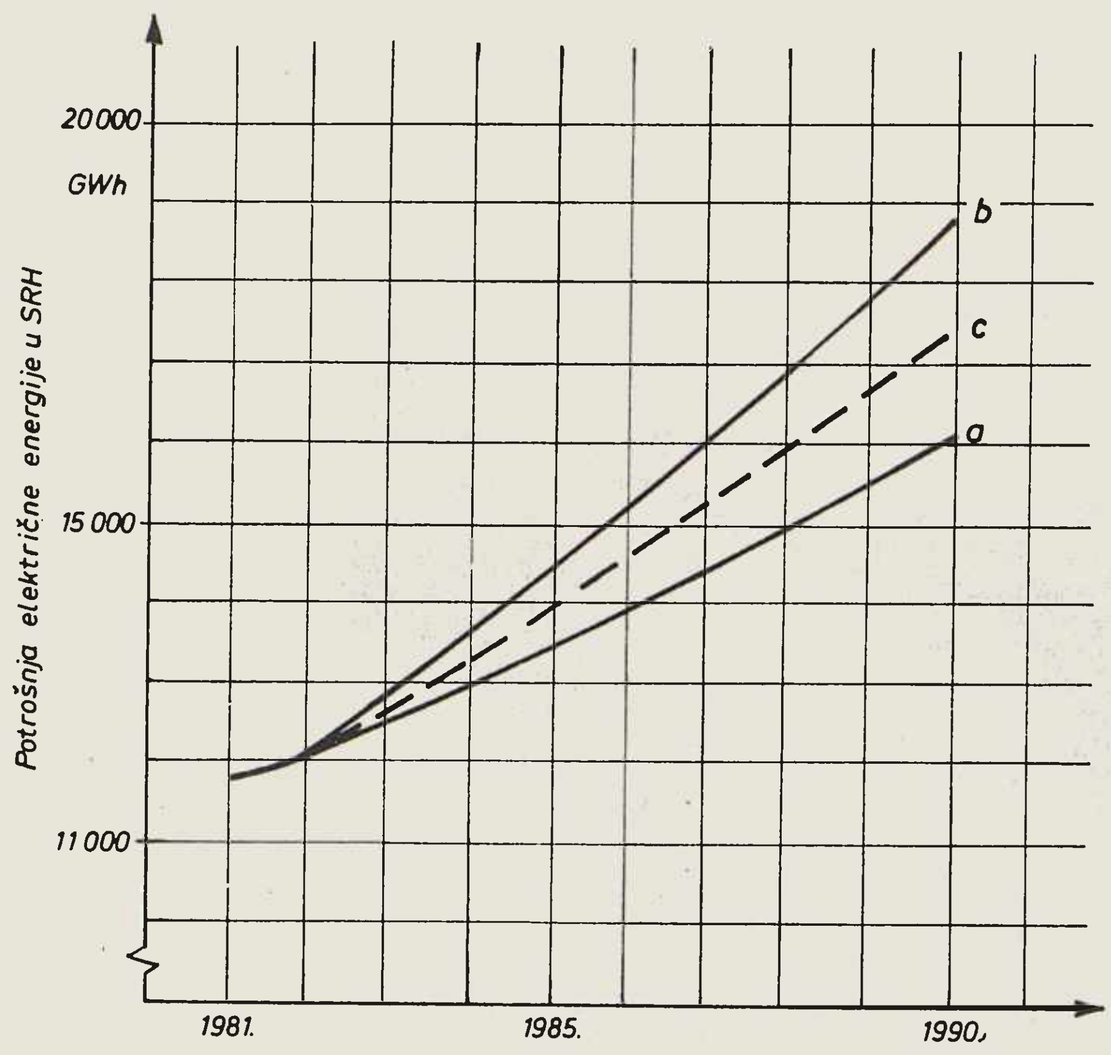
Potrošnja električne energije u sadašnjem trenutku, kao što je već navedeno, ima nešto veći porast nego što to proizlazi iz same korelacije s društvenim proizvodom zato što se zbog nesređenih energetskih prilika i nedostataka ostalih energenata dio ukupne energetske potrošnje prebacuje na potrošnju električne energije. Zbog toga se potrošnja koja je navedena u gornjoj tablici može smatrati donjom granicom potrošnje električne energije za razdoblje 1981-1990. godine.

Gornja granica potrošnje, koja odgovara mogućnostima razvoja društva s obzirom na njegovu razvijenost može se odrediti prema općoj zakonitosti potrošnje električne energije dobivenoj na temelju analize razvoja potrošnje električne energije za više zemalja svijeta (L 2).

Potrošnja električne energije u SRH za razdoblje 1981-1990. dobivena na temelju opće zakonitosti potrošnje

	Potrošnja GWh	Porast %
1981.	11 868,0	
1982.	12 170,8	2,54
1983.	12 918,1	6,14
1984.	13 690,6	5,98
1985.	14 484,6	5,8
1986.	15 300,1	5,63
1987.	16 137,0	5,47
1988.	16 995,5	5,32
1989.	17 875,9	5,13
1990.	18 778,6	5,05

Za očekivani razvoj potrošnje električne energije za razdoblje 1981-1990. godine može se uzeti prosjek graničnih stanja. U sljedećoj tablici i na sl. 2. navedena su i prikazana granična stanja i očekivani nivo potrošnje za promatrano razdoblje.



a - potrošnja dobijena na temelju korelacije s porastom društvenog proizvoda; b - potrošnja dobijena na temelju projekcije porasta prema općoj zakonitosti rasta potrošnje; c - očekivana potrošnja.

Sl. 2. Granične vrijednosti predviđanja potrošnje električne energije u SRH za razdoblje 1981-1990.

Potrošnja električne energije u SRH do 1990. godine

	Minimalna GWh	Maksimalna GWh	Očekivana GWh
1981.	11 868,0	11 868,0	11 868,0
1982.	12 170,7	12 170,7	12 170,7
1983.	12 573,9	12 918,1	12 746,0
1984.	13 024,3	13 690,6	13 357,4
1985.	13 504,2	14 484,6	13 994,4
1986.	13 998,7	15 300,1	14 649,4
1987.	14 505,4	16 137,0	15 321,4
1988.	15 026,2	16 995,5	16 010,8
1989.	15 560,5	17 875,9	16 718,2
1990.	16 109,5	18 778,6	17 444.0

3. ZAKLJUČNE NAPOMENE

Rezultati predviđanja odraz su sadašnjeg trenutka ukupnih odnosa u društvu. Kako je u ovom trenutku veoma teško procijeniti kojom će se dinamikom ostvarivati program dugoročne stabilizacije, tako je jednako teško odgovoriti na pitanje koja varijanta razvoja potrošnje ima najveću vjerojatnost da se ostvari. Iz tog razloga, kao što je već prije rečeno, i minimalnoj i maksimalnoj varijanti potrošnje dana je jednaka težina, pa je očekivana varijanta određena kao prosjek jednog i drugog nivoa potrošnje električne energije.

Ovakva situacija s potrošnjom električne energije i velika neizvjesnost njezina budućeg trenda nameće potrebu kontinuiranog praćenja, kako bi se na vrijeme moglo reagirati i korigirati sve aktivnosti koje su u funkciji razvoja potrošnje električne energije.

LITERATURA

[1] G. Granić: »Potrošnja električne energije u SRH do 2000. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1981.

[2] B. Udovičić, N. Bilčar, G. Granić, Š. Alerić, N. Komerički: »Elektroenergetske podloge za Samoupravni sporazum o osnovama razvoja elektroprivrede 1981-1985. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1982.

KEY WORDS:

CROATIA, ELECTRIC ENERGGY, DEMAND

ELETRIC ENERGY DEMAND IN SRH TILL 1990

In this work the project of future electric energy demand development in SRH till 1990 is done. Demand forecasting is done on the basis of correlation between elelctric energy demand and gross national product (gnp) minimum demand level) and considering general lawfulness of electric energy demand (maximum demand level). Expected demand variant is determined as the average of minimum and maximum electric energy demand level.

DIE ELEKTROENERGIEBEDARFS PROGNOSE INE SRG BIS JAHRE 1990.

In diesem Arbeit wurde eine Elektroenergiebedarfs Prognose in SRH bis Jahre 1990. dircjgeführt. Die Energiebedarfs Prognose wurde auf der Korrelations basis zwischen dem Elektroenergiebedarf und das brutto national Einkommen (das minimale Energiebedarf Niveau) und auf der allgemeine Gesetzlichkeitbasis der Elektroenergiebedarfs Prognose (das maximale Energiebedarfs Niveau) durchgeführt. Der erwartete Energiebedarf ist als der Durchschnittswert von der minimalen und maximalen Energiebedarfs Niveau gerechnet.

ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СР ХОРВАТИИ ДО 1990 года

В работе сделана проекция будущего развития потребления электроэнергии в СР Хорватии до 1990 года. Прогноз потребления осуществлен на базе корреляции потребления электроэнергии и общественного продукта (минимальный уровень потребления) и общей закономерности потребления электроэнергии (максимальный уровень потребления). Ожидаемый вариант потребления определен как среднее минимального и максимального уровней потребления электроэнергии.

Naslov pisca:

Dr. Goran Granić, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu,
Proleterskih brigada 37,
41000 Zagreb

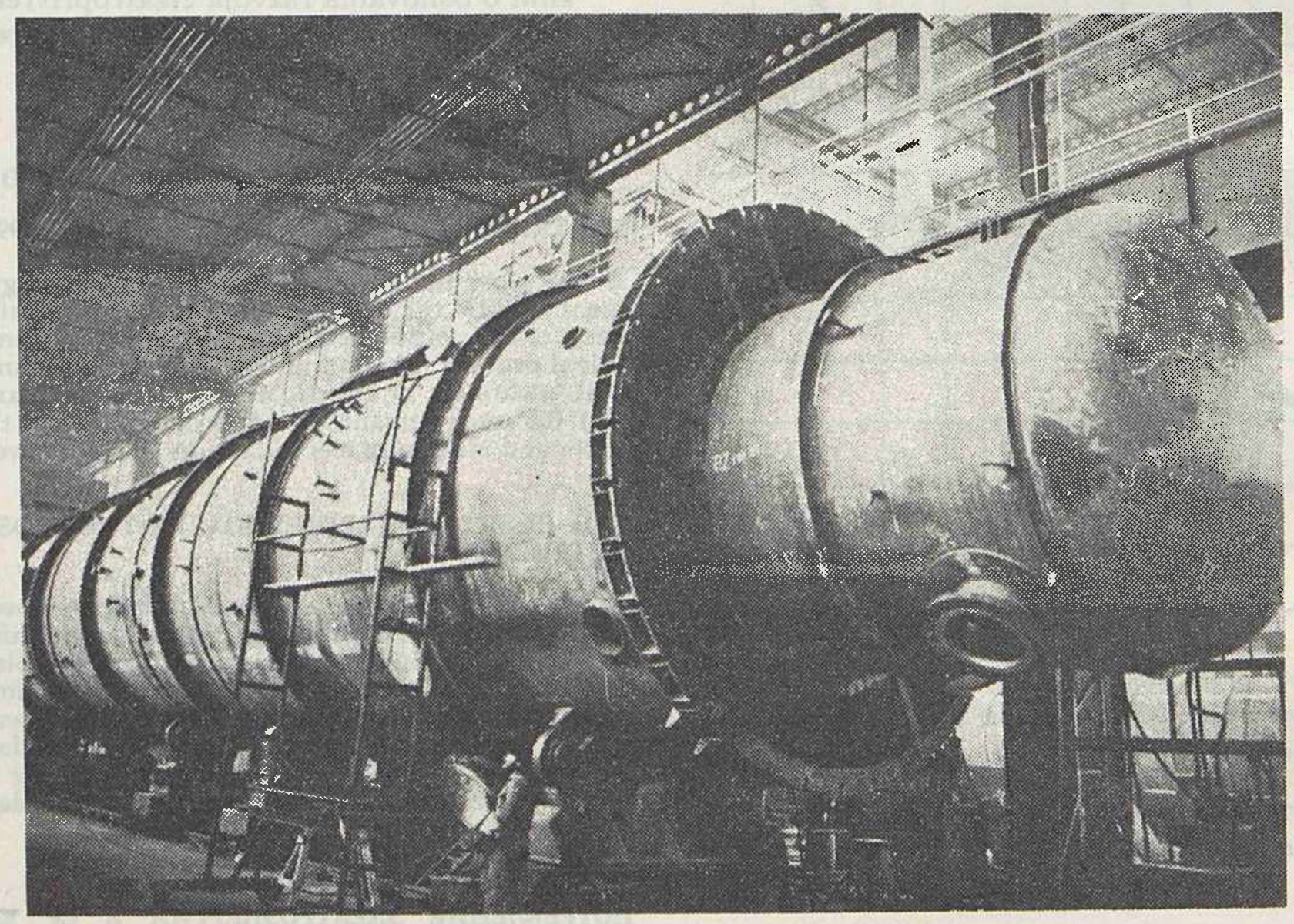
ĐURO ĐAKOVIĆ

SLAVONSKI BROD – JUGOSLAVIJA

TELEFON: (055) 231-011
TELEX: 28521 YU LOKOM

PROIZVODNI PROGRAM SOUR-a

KOMPLETNA INDUSTRIJSKA POSTROJENJA — ŠEĆERANE, CEMENTARE, KREČANE
OPREMA I UREĐAJI ZA PROCESNU INDUSTRIJU
OPREMA ZA PETROKEMIJU
KOTLOVSKA I ENERGETSKA POSTROJENJA — STEAMBLOC — VAPORAX, THERMOPAC — C-12
KOMPLETNE PRENOSNE I KONTEJNERSKE KOTLOVNICE
KOMPENZATORI ZA CJEVOVODE
ČELIČNI MOSTOVI I KONSTRUKCIJE — DIZALICE
LOKOMOTIVI — DIZEL S ELEKTRIČNIM, HIDRAULIČNIM I MEHANIČKIM PRIJENOSOM SNAGE
VAGONI
MOTORNI VLAKOVI
TRAMVAJSKA MOTORNA KOLA I PRIKOLICE
GRAĐEVINSKI STROJEVI — VIBRACIONI VALJCI I MOTORNI UTOVARIVAČI TOČKAŠI, BAGERI
BEŠAVNE ČELIČNE BOCE
SVE VRSTE I TIPOVI VENTILA
BUTAN/PROPAN BOCE OD 10 KILOGRAMA
KAMP OPREMA
SVE VRSTE I TIPOVI PRIKLJUČAKA ZA BUTAN/PROPAN
RONILAČKA OPREMA
DIŠNI APARATI ZA ZATROVANE PROSTORE
STABILNI PROTUPOŽARNI UREĐAJI
UREĐAJI ZA PLINSKO ZAVARIVANJE, LEMLJENJE I REZANJE
BATERIJE BOCA ZA RAZLIČITE PLINOVE I SVRHE



RO PROIZVODNJA ENERGETSKIH POSTROJENJA

PROIZVODNI PROGRAM:

Industrijski kotlovi i kotlovi za toplane
Strmocijevni kotlovi
Kutnocijevni kotlovi (parni i vrelovodni)
Paketni kotlovi loženi krutim gorivom — ugljenom
Integral (paketni) kotlovi loženi tekućim i plinovitim gorivom
Steambloc kotlovi (parni i vrelovodni)
Kotlovi C-12 za centralna grijanja
Kotlovi i oprema za potrebe elektroprivrede
Visokotlačni kotlovi i dijelovi kotlova za TE
Ložišni uređaji za plin, ulje i ugljen
Regenerativni zagrijači zraka (LJUNGSTROEM), uređaji za odšljakivanje i ostala pomoćna oprema za konvencionalne i nuklearne elektrane
Brodski pogonski i pomoćni kotlovi
Kotlovi za iskorištenje otpadne topline
Kotlovi za spaljivanje gradskog i industrijskog otpada
Kotlovi za spaljivanje drveta i drvnog otpada
Uređaji za kemijsku i termičku pripremu napojne vode
Uređaji za pripremu tehnološke vode
Pomoćni uređaji za industrijske kotlovnice
Uređaji za pripremu otpadnih voda

Vijesti iz elektroprivrede

PUŠTENA U POGON HE ČAKOVEC

U povodu Dana Republike svečano je 26. studenog 1982. godine puštena u redovnu proizvodnju nova hidroelektrana »Čakovec«. Svečanosti je prisustvovao Jure Bilić, predsjednik CK SKH, narodni heroji Karlo Mrazović i Antun Biber, zatim predstavnici JNA, društveno-političkih organizacija, privrednog života republike, te članovi radnog kolektiva, predstavnici elektroprivrede, izvođači radova, projektanti, isporučioci opreme i mnogobrojni drugi gosti.

Prisutne učesnike pozdravio je Đuro Kovač, predsjednik Skupštine općine Čakovec, a o razvoju izgradnje elektrane opširan prikaz dao je Ivan Varga, rukovodilac izgradnje HE »Čakovec«. Sa svečanosti je upućeno pozdravno pismo Predsjedništvu SFRJ i Predsjedništvu SR Hrvatske.

HE »Čakovec« je druga elektrana na rijeci Dravi u području Hrvatske, čija je gradnja počela 1975. godine. Preostalo je još da se izgrade hidroelektrane na Dravi u Hrvatskoj HE Dubrava, HE Đurđevac, HE Barč, HE »Moslavina« i HE »Osijek«. SR Slovenija i susjedna Austrija u cijelosti su iskoristili hidroenergetski potencijal Drave izgradnjom 16 elektrana.

Kapacitet nove hidroelektrane

Novosagrađena HE »Čakovec« raspolaže s dva agregata snage po 40 MW, ukupno 80 MW, koja će u punom pogonu godišnje proizvoditi oko 415 GWh električne energije. Velika prednost HE »Čakovec«, u usporedbi s većinom drugih hidroelektrana jest u tome što u ljetnim mjesecima, kad drugi vodotoci presuše ima dovoljno vode za redovan rad. Izgradnjom ove elektrane oslobodit će se jedno veliko područje Međimurja poplava i podzemnih voda, trajno će se osigurati veći dio najvrjednijeg međimurskog poljoprivrednog zemljišta.

U pripremama za gradnju HE »Čakovec« izrađen je i okvirni plan prostornog razvoja, u koji su uključene i bitne pojedinosti razvoja infrastrukture i pratećih privrednih djelatnosti. Predviđen je niz sportskih, rekreacijskih, ugostiteljskih i turističkih sadržaja i objekata.



Osnovni podaci o postrojenju

Hidrologija — oborinsko područje Drave do Varaždina 15.632 km², srednji godišnji protok, 1926.-1975 325 m³/s

Energetski podaci — instalirani protok Q_I = 500 m³/s, bruto pad za Q_I : 18,4 m i neto pad za Q_I : 17,24 m

Jezero — dužina jezera 8,7 km, površina jezera 11,9 km², zapremina jezera 51 milijun m³ vode.

Betonski dio brane — dužina u smjeru toka 36 m, širina 112 m

Nasuti dio brane — dužina 300 m, najveća visina 15,6 m.

Elektrostrojarska oprema brane — četiri segmentne zapornice dužine 22,0 m, visina 12,30 m, mase 1079 t. Cijevni agregat u lijevom upornjaku snage 1,1 MW za korištenje žive vode od 10 m³/s.

Derivacijski kanal — dužina dovodnog 2,0 km, odvodnog 6,5 km.

Brzina vode u dovodnom kanalu za normalni uspor i protok od 500 m³/s: do 1,26 m.

Najveća brzina vode u odvodnom kanalu je 1,39 m/s.

Strojarnica — Dužina 76,4 m, širina 56,66 m. Prostorija za strojeve s kranom je tlocrtne veličine 15,8 × 30,9 m, visine 13,60 m.

Elektrostrojarska oprema strojarnice — Dvije proizvodne jedinice, cijevne izvedbe s vodoravnom osovinom.

Turbine s pokretnim lopaticama, nazivni protok 250 m³/s, konstruktivni pad 17,50 m, 125 o/min, snaga 40,3 MW, promjer radnog kola 5,40 m.

Generatori hlađeni zrakom, snage 42 MVA, napon 6,3 kV, faktor snage 0,95.

Transformatori snage 43 MVA, prijenosnog odnosa 6,3/115 kV.

Izvođači radova i proizvođači opreme

Glavni investitor HE »Čakovec«, RO »Elektroprivreda« Zagreb veći dio radova je povjerio domaćim poduzećima, a sudjelovalo je i nekoliko inozemnih tvrtki.

Glavni projektant je »Elektroprojekt« Zagreb, a izvođač glavnih radova Hidroelektra, Zagreb. U građevnim radovima sudjelovala su i građevna poduzeća iz Čakovca, Zagreba, Ljubljane, Varaždina, a od inozemnih partnera Centrozap — Katowice, Poljska.

Isporučioci opreme su domaći i inozemni proizvođači: »Litostroj«, »Rade Končar« Zagreb, »Prva Petoletka« — Trstenik i »Goša« Smederevska Palanka. Strani proizvođači su tvrtke: »Neyrpic« — Grenoble, Francuska i »Ałsthom – Atlantique — Belfort, Francuska.

Kontrolu svih radova i opreme obavili su stručnjaci Instituta za elektroprivredu i Građevinski institut, Zagreb. Montažne radove izveli su isporučioci opreme i poduzeće »Dalekovod« iz Zagreba.

I. R.

PROŠIRENJE HE ĐERDAP I

Jugoslavenska i rumunjska elektroprivreda sporazumjele su se o proširenju proizvodnih kapaciteta u postojećoj HE Đerdap I. Planirana je ugradnja još po dva agregata na našoj i rumunjskoj strani, svaki snage 190 MW, čime bi se snaga elektrane uvećala za više od 700 MW. Takvim rješenjem na našoj strani povećala bi se proizvodnja električne energije za oko 300 milijuna kWh.

Ugradnja agregata na već postojećem postrojenju ne traži velika ulaganja.

Stručnjacima »Energoinvesta« povjerena je izrada studije o povećanju snage u jugoslavenskom dijelu HE Đerdap I. Utvrđeno je da studija mora biti izrađena najkasnije do sredine 1984. godine. Nakon izbora odgovarajuće varijante pristupit će se izradi glavnih i izvedbenih projekata.

I. R.

PLAN GRADNJE PRIJENOSNIH POSTROJENJA U ISTRI

Prema prvoj varijanti plana izgradnje prijenosnih objekata za srednjoročno razdoblje 1981-1985. godine planirano je da se u Istri izgrade tri transformatorske stanice 110/35 (20) kV s instaliranom snagom 120 MVA, te pet dalekovoda napona 220 kW i 110 kW, ukupne dužine 150 km.

Planom je predviđena prioritetna gradnja transformatorske stanice za potrebe proširenih istarskih ugljenokopa, koji će osiguravati gorivo za rad buduće TE Plomin 2. Ubrzano je trebalo pristupiti i gradnji transformatorske stanice na Krku, za potrebe petrokemije. Nakon restrikcija sredstava moralo se pristupiti reduciranju plana izgradnje navedenih objekata. Reduciranim planom izgradnje prijenosne mreže u Istri smanjio bi se opseg izgradnje dalekovodne mreže za 50 posto, a transformatorske stanice za 70 posto.

I. R.

ELEKTROPRIVREDA I INA – ZAJEDNIČKA GRADNJA

RO »INA — Naftaplin« i Elektroprivreda Hrvatske zajedničkim sredstvima gradit će DV 110 kV Koprivnica — Virje i TS 110/35 kV Virje. Za ove objekte projekte će izraditi stručnjaci Elektroprojekta i Dalekovoda iz Zagreba. Gradnja ovih prijenosnih objekata od velike je važnosti za sigurnost opskrbe konzumnog područja sjeverne Hrvatske, osobito za proizvodne pogone »INA — Naftaplin« na tom području.

Postignuta je suglasnost da po završetku izgradnje objekti postaju osnovna sredstva Elektre – Koprivnica i OOUR-a »Elektroprenos« Zagreb, koji preuzimaju i sve obveze nasale gradnjom dalekovoda i transformatorskih stanica.

I. R.

MOGUĆNOST GRADNJE HE MOSTAR

Elektroprivreda SR Bosne i Hercegovine početkom 1983. godine planira gradnju HE »Mostar«. To bi bila treća elektrana u srednjem toku rijeke Neretve. Nova hidroelektrana treba omogućiti što racionalniji i ekonomičniji rad HE »Rama«, HE Jablanica, HE Grabovica i HE Salakovac, i ublažiti oscilaciju vode.

Buduća HE »Mostar« projektirana instaliranom snagom od 75 MW, proizvodila bi godišnje oko 300 GWh električne energije.

Prema današnjim cijenama i kalkulacijama za izgradnju ove hidroelektrane potrebne su investicije od oko 58 milijardi dinara.

GRADIT ĆE SE TE TUZLA B

Na području tuzlanskog rudarskog bazena postoji jaka sirovinska baza za izgradnju nove termoelektrane koja bi raspolagala s četiri agregata ukupne snage 2000 MW. Utvrđena je lokacija buduće nove termoelektrane u Živinicama kraj Tuzle. Taj projekt nazvan TE »Tuzla B« gradila bi se u četiri etape s po 500 MW. Gradnja prve etape počela bi 1984. a završila 1989. godine.

Sredstva za taj ambiciozan projekt koji je po snazi dva puta veći od našeg dijela HE »Đerdap«, udružili bi »Elektrogospodarstvo« iz SR Slovenije, Elektroprivrede Bosne i Hercegovine, Titovi rudnici ugljena Tuzla, a vjerojatno i SAP Vojvodine. Prema sudjelovanju investitora obavit će se i preraspodjela kapaciteta. Za TE »Tuzla B« osigurana su bogata ležišta ugljena na području općine Živinica.

I. R.

RHE BAJINA BAŠTA U POGONU

Nakon probnog rada od tri mjeseca, u okviru proslave Dana Republike, 27. studenog 1982. godine puštena je u redovnu proizvodnju reverzibilna hidroelektrana »Bajina Bašta«.

RHE »Bajina Bašta«, instalirane snage 2×315 MW, te proizvodnje 1068 GWh i potrošnje 1.430 GWh iz sistema u pumpnom režimu rada spada u vrlo vrijedni elektroenergetski objekt u našem elektroenergetskom sistemu.

U izgradnji RHE »Bajina Bašta« sudjelovalo je više građevnih i montažnih poduzeća, a radovi su trajali nekoliko godina, jer je izvedba nekih objekata bila vrlo složena. To se odnosi na gradnju akumulacijskog jezera na Tari zapremine 170 milijuna m^3 vode i tunela dugačkog oko 5 km. Zajedno s gradnjom elektrane izgrađeni su i prilazni putovi u dužini od oko 40 km. Nadalje, izvršena su i preseljavanja čitavih naselja i drugih pratećih objekata.

Dobar dio opreme i montažni radovi djelo su naših stručnjaka, a turboagregate je isporučila »Tošiba« proizvodna tvrtka iz Japana.

I. R.

HIDROELEKTRANA ĐALE NA CETINI

Elektroprivreda Hrvatske je prihvatila program daljnjeg iskorištenja hidropotencijala rijeke Cetine i njezinog sliva. U prvi plan uvrštena je gradnja HE Đale, instalirane snage $2 \times 23{,}5$ MW. Idejnim projektom HE Đale je predviđena za korištenje na padu od Sinjskog polja do kompenzacijskog bazena Prančevići. Uzvodno od buduće hidoelektrane Đale su akumulacije Peruča u kanjonu Cetine i Buško Blato u Livanjskom polju, na kojima su izgrađene HE Peruča, odnosno HE Orlovac.

Nizvodno od HE Đale je kompenzacijski bazen Prančevići kojim se regulira zahvat vode u HE Zakučac. Izgradnjom bazena HE Đale postiže se, osim korištenja pada na rijeci Cetini od Sinjskog polja do bazena Prančevići, i povećanje kompenzacijskog bazena za HE Zakučac, koji je nakon izgradnje druge etape ove hidroelektrane postao premalen za iskorištenje varijabilnog rada.

Zahvaljujući spomenutim akumulacijama, odnosno reguliranim protocima planirana gradnja HE Đale predstavlja vrlo vrijedno energetsko postrojenje s godišnjom proizvodnjom od oko 160 milijuna kWh električne energije.

I. R.

OBAVIJEST

Sekcija toplana Jugoslavije pri SKGOJ organizira V savjetovanje toplana Jugoslavije u svibnju 1983. u Osijeku. Savjetovanje treba omogućiti sudionicima zajedničku raspravu o aktualnim problemima opskrbe gradova i naselja toplinskom energijom iz centraliziranih toplinskih sistema i blokovskih toplana, direktnu izmjenu informacija i iskustava te upoznavanje s novitetima u toplinarstvu, kao i uvid u proizvodne programe proizvođača opreme za toplinska postrojenja. Na osnovi iskustava s prethodnih savjetovanja, kao i uz puno uvažavanje aktualnosti pojedinih problema Organizacijski odbor V savjetovanja sastavio je uz suglasnost Sekcije toplana sljedeći popis tematskih područja koje bi trebale biti predmet rasprave na Savjetovanju:

1. Usmjeravanje daljeg razvoja toplifikacije u gradovima i naseljima Jugoslavije s obzirom na mogućnost korištenja domaćih izvora goriva i s osvrtom na problematiku pojedinih gradova i naselja.
   — Kritička ocjena valjanosti izgrađenih toplifikacijskih sistema u Jugoslaviji u svjetlu suvremenih gledanja na štednju energije.
2. Tehničko-ekonomski uvjeti mjerenja i obračuna toplinske energije.
3. Unifikacija, tipizacija i standardizacija u toplinarstvu.
4. Financiranje izgradnje objekata za proizvodnju i prijenos toplinske energije.
5. Pogonska iskustva toplana u proizvodnji, transportu i distribuciji toplinske energije.

Pozivamo sve zainteresirane da sudjeluju u radu Savjetovanja kao učesnici, autori ili izlagači i tako daju svoj prilog uspješnosti rada Savjetovanja. Rok za prijavu tema s obaveznim sažetkom jest 15. listopad 1982, a krajnji rok dostave radova jest 15. ožujak 1983.

Prihvaćeni radovi bit će honorirani sa 3 000 dinara neto i bit će štampani u Zborniku radova koji će biti podijeljeni sudionicima Savjetovanja.

Autori tema moći će na Savjetovanju usmeno iznijeti sažetke svojih radova. Privredne organizacije mogu uz uplatu kotizacije u iznosu od 20 000 dinara u predvorju dvorane izložiti eksponate i prospekte te u trajanju od 10 minuta usmeno informirati učesnike Savjetovanja o svojim proizvodima. Kotizacija za sudjelovanje na Savjetovanju iznosi 3 000 dinara po učesniku, što uključuje i Zbornik radova.

Prijave i eventualne upite izvolite uputiti na adresu:

»ELEKTROSLAVONIJA« — OSIJEK
OOUR TERMOELEKTRANA – TOPLANA
54000 OSIJEK
M. Oreškovića 3
(za V savjetovanje toplana Jugoslavije)

ENERGETIKA

»Atomska energija je gotovo jedina mogućnost«. Pod dojmom čestih demonstracija protiv upotrebe atomske energije — čak i za dobivanje električne struje — u mnogim zapadnoevropskim zemljama u posljednje vrijeme može se smatrati posebno zanimljivim osvrt na međunarodnu konferenciju o korištenju atomske energije koji je održan sredinom rujna 1982. u Beču. Uz naslov osvrta zanimljiv je i podanslov: Opasnosti od nesreća u reaktorima nisu alarmirajući.

Na toj konferenciji skupilo se nekih 1 500 energetskih stručnjaka i političara iz 52 zemlje svijeta. Osnovna je tema bila: »Opasnosti kod dobivanja atomske energije«. Konferencija u organizaciji Internacionalne atomske komisije (IAEO) preuzela je kao zadatak analizu stanja korištenja atomske energije i bavila se je prije svega preispitivanjem pouzdanosti, ekonomičnosti i sigurnosti proizvodnje atomske električne struje. U svemu tome prevladavalo je kod stručnjaka uvjerenje da je atomska energija »gotovo jedina mogućnost« da se širom svijeta — kako u industrijskim, tako i u zemljama u razvoju — može nastaviti privredni, industrijski i socijalni razvoj.

Današnji otpor protivnika atomske energije protiv izgradnje atomskih elektrana, što postoji gotovo u svim industrijskim zemljama s iznimkom Francuske i zemalja istočnog bloka, doveo je doduše do jakog odgađanja nacionalnih programa atomske energetike, ali čini se da su poteškoće manje u borbi atomske energije s mišljenjem javnosti u zapadnim industrijskim zemljama. Jedan razlog za ovo jest, po mišljenju stručnjaka, činjenica da se, kao alternativa atomskoj energiji, hvaljeno dobivanje energije iz ugljena pokazalo kao jači ugroživač čovjekove okoline od električne struje iz atoma. Poznate »kisele kiše« i odumiranje šuma dovode do promjene mišljenja.

Osim toga, pod pritiskom dugotrajnije privredne krize točnije se ispituju cijene energije nego prije. Ovdje je također atomska energija prednost. Studije prikazane na bečkoj konferenciji utvrdile su da je proizvodnja električne struje iz atomskih elektrana u Evropi i Kanadi ekonomičnija od one iz termoelektrana na ugljen. Ne tako alarmantno kao prije gleda se i na opasnosti od nesreća u reaktorima. Pomoću kompjutora izrađene sigurnosne analize, o kojima se raspravljalo na konferenciji u Beču, dovele su do zaključka da su radioaktivna zračenja što nastupe kod jakog udesa reaktora dosad bila precijenjena za 20 do 30 puta.

Koliko će trajati da se takve spoznaje stručnjaka prihvate u javnosti, nije lako predvidjeti. Da se je psihološka klima prema korištenju atomske energije nešto poboljšala, može se zaključiti i po tome što je Savezna Republika Njemačka ove godine nakon šestogodišnjeg prekida opet izdala građevne dozvole za podizanje atomskih elektrana.

Trenutno je u pogonu širom svijeta 281 atomska centrala s ukupnim kapacitetom od više nego 161 000 MW; 238 ih je u gradnji. Oko 10% ukupne svjetske proizvodnje električne struje u svijetu dolazi iz atomskih elektrana.

(»Die Kernenergie ist fast die einzige Altenartive«. Konferenz in Wien. Gefahren bei Reaktorunfällen »nicht alarmierend««. 'Frankfurter Allgemeine Zeitung', Nr. 217, S. 5, 20. 9. 1982.)

Dr Z. K.

Iz strane stručne literature

O EKONOMIČNOSTI ULIČNE RASVJETE

U SR Njemačkoj se, zbog energetske krize razmatra mogućnost da se upola smanji nivo rasvjete. U članku se ukratko razmatraju posljedice takvog zahvata s obzirom na svrhu ulične rasvjete.

Najprije se analiziraju zadaci i ciljevi ulične rasvjete. Osim što omogućuje sigurnost u prometu vozilima i prolaznicima, ulična rasvjeta štiti i od prometnih nesreća i osigurava javni red. Naročito se ističe da se pri reduciranju rasvjete ne konzultiraju stručnjaci za rasvjetu.

Ekonomičnost, odnosno racionalizacija rasvjete, postiže se na ove načine: upotrebom odgovarajućih sijalica, odgovarajućih rasvjetnih tijela za koja ne postoje ekstremni zahtjevi, redovnim održavanjem, stupnjevanje uklapanja, ako ne treba puna snaga u svim vremenskim i noćnim uvjetima, i slično.

Zatim se navode podaci o potrošnji za rasvjetu u SR Njemačkoj. Ona iznosi oko 2,6 TWh, odnosno 0,77% ukupne potrošnje. Na svakog stanovnika otpada oko 50 kWh/god, dok se u kućanstvima troši oko 1500 kWh/god, po stanovniku. Istu količinu primarne energije potroše osobni automobili, ako prijeđu samo 350 km u godini. Međutim, činjenica je da instalirana snaga za rasvjetu iznosi oko 700 MW, što predstavlja snagu jedne termoelektrane.

Interesantni su podaci o troškovima za rasvjetu koji iznose 7 DM po stanovniku za električnu energiju i 20 DM za troškove pogona.

Na kraju se, kao najinteresantnije, analiziraju troškovi prometnih nesreća u večernjim satima. Analiza postoji za grad Hamburg. Prema statistici oko 44% smrtnih slučajeva i 30% svih nesreća s ozlijedama nastaje u vrijeme rasvjete. Prema gruboj računici troškovi tih nesreća iznose za Hamburg 88 Mio DM u godini dana.

Ušteda od smanjene rasvjete na pola iznosila bi u tom gradu oko 2% od troškova za prometne nesreće u večernjim satima.

Autor se pita tko bi imao hrabrosti smanjiti rasvjetu, ako će se zbog toga povećati broj nesreća?

Za nas je članak interesantan zbog toga, jer se kod nas stalno štedi na rasvjeti ulica, a nije se pokušalo utvrditi kakve su posljedice toga u negativnom smislu.

Elektrizitätswirtschaft; Jg. 81 (1982), Heft 3 — G. Reck

R. S.

RAZVOJ KONSTRUKCIJA 20 kV I 110 kV POSTROJENJA BELG-a

U članku se opisuje razvoj konstrukcija 20 kV i 110 kV postrojenja na području Bavarske od 1948. god.

Razvoj je počeo 1948. god. kada je zajedno s proizvođačem počela izrada nove konstrukcije 20 kV postrojenja s dvostrukim sabirnicama, ali u izvedbi bez rastavljača. S obzirom na primjeru porculana i zraka kao izolatora sabirnica, širina polja iznosila je 1,4 m.

Daljnji razvoj predstavljala je primjena umjetnih smola i PVC-a, pa se uspjela smanjiti širina polja na 0,8 do 1 m. Podrumski dio je još uvijek klasičan i u njemu su strujni i naponski transformatori i rastavljači za uzemljenje. Smanjenje polja i konstruktivni razlozi doveli su do smještaja zaštite i upravljanja u centralnu prostoriju.

Posljednji napredak je pojava 20 kV kabela od polietilena i umreženog polietilena pred 15 god. U to vrijeme je i prodor elektronike u zaštitu i upravljanje, što je također dovelo do daljnjeg napretka. Posljednja konstrukcija, koja je i danas u primjeni napravljena je prije 10 god.

Spoznaja da će 110 kV napon biti potreban i u distribuciji dovela je do toga da se distribucija od 1960. god. počela pripremati na vlastitu proizvodnju 110 kV postrojenja i dalekovoda.

U 1969. god. bilo je potrebno jedno 40 kV postrojenje zamjeniti 110 kV s istim brojem polja i građevinskom površinom. To je dovelo do izvlačive izvedbe bez primjene rastavljača. Usprkos takve neuobičajene konstrukcije i teških klimatskih uvjeta ta se izvedba potvrdila i postala standardnom.

Za današnja 20 kV postrojenja može se zaključiti:

- još uvijek se koriste dvostruke sabirnice ali sve rjeđe i na mjestima koja to zahtijevaju
- 20 kV polje je izvlačivo svestrano izolirano i sastoji se od fiksnog dijela (kabelskog priključka, strujnog transformatora, sklopke za uzemljenje i kliznog kontakta) i pokretnog malouljnog prekidača
- zbog sigurnosti konstrukcija je od lima i većim dijelom tvornički izvedena
- svi priključci su kabelski s izolacijom od umreženog polietilena. Oni se direktno spajaju na 20 kV polje, pa se time znatno štedi na podrumskom dijelu
- sekundarna struja strujnih transformatora iznosi 1 A
- od 1973. god. upotrebljava se elektronska zaštita u izvlačivoj tehnici i smještena je u svakom polju
- kompletno 20 kV rasklopište (postrojenje i građevinski dio) nastojalo se izvesti u tvornici ali se u tome nije sasvim uspjelo
- postrojenje dozvoljava i daljnja unapređenja, pa je najnovije postrojenje metalom oklopljeno sa SF_6 izolacijom i vakuumskim prekidačima.

Za današnje 110 kV postrojenje vrijedi:

- standardna izvedba se nije bitno mijenjala 14 godina. To je klasično postrojenje bez rastavljača i izvlačivim 110 kV prekidačem
- sabirnice su jednostruke s nedužnim rastavljanjem u cijevnoj izvedbi
- u konačnoj izvedbi se predviđaju 4 vodna i 2 transformatorska polja za transformatore 31,5 i 40 MVA
- prednost izvlačive izvedbe je u manjim građevinskim troškovima i površini
- do 1978. god. ugrađivala se samo mehanička zaštita a tada se počela ugrađivati elektronska, kao i kod 20 kV postrojenja. Zaštita vodova je distantna.

To su očito 110 kV i 20 kV postrojenja za pokrajinske mreže i ne vrijede za grad München.

Članak je interesantan zbog usporedbe rješenja jer se kod nas gradi sve više ovakvih transformatorskih stanica.

Elektrizitätswirtschaft, Jg. 81 (1982), Heft 16 — F. Fendt, H. Kohl

R. Š.

NOVE KNJIGE

Dipl. inž. V j e k o s l a v S r b , viši predavač na Elektrotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu: » E l e k t r i č n e i n s t a l a c i j e i n i s k o n a p o n s k e m r e ž e « ; Tehnička knjiga, Zagreb, 1982.
Format: 17 × 24 cm. 230 strana, polutvrdi uvez, cijena: 750. dinara.

Već znani nam autor »Kabelske tehnike« i »Elektromonterskog priručnika« javlja se ponovo pred našom stručnom javnosti svojom novom knjigom »Električne instalacije i niskonaponske mreže«.

Knjiga je rezultat dugogodišnjeg iskustva autora, onog praktičnog (rukovodilac je RO za proizvodnju kabelske i instalacione opreme) i onog znanstveno – pedagoškog (viši je predavač na Elektrotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu), složenog u suvislu i optimalnu cjelinu. Upravo taj srednji spoj »prakse i teorije« za koji bismo mogli kazati da je u knjizi »opipljiv«, čini knjigu izuzetno vrijednom i korisnom. Unijevši suvremen pristup i svježinu u stara, već klasična znanja, obradivši mnoštvo novih područja, nadopunivši tehničke i ostale podatke starih i novih elemenata instalacija i mreža, obrađujući niz statističkih energetskih, gospodarstvenih, financijskih i ostalih podataka veoma praktičkih i korisnih za svakodnevo komuniciranje, autor je ovu knjigu namijenio i mladima i starima: prvima da sistematično i temeljito savladaju svoju struku, a drugima da obnove svoja ranija znanja i prihvate ona koja sobom donosi vrijeme i tehnološki razvoj.

Nešto iz sadržaja knjige:

1. UVOD (pojmovi, definicije, nazivi i simboli)
2. ELEKTROTEHNIČKA REGULATIVA (standardi, propisi — domaći i strani)
3. UTJECAJ OKOLINE (klima, atmosfera, otpori, prenaponi)
4. TROŠILA I POTROŠAČKA POSTROJENJA
   (vrste trošila, struktura, diagrami i prognoziranje potrošnje, modeliranje potražnje)
5. ZAŠTITA OD DIREKTNOG I INDIREKTNOG DODIRA
   (čovjek i struja, ciljevi i vrste zaštita, kritička analiza zaštitnih mjera i njihovo ispitivanje),
6. VODOVI I MREŽE NISKOG NAPONA
   (kabelski, zračni i instalacioni vodovi, mreže niskog napona)
7. SKLOPNI APARATI I RAZVODNI UREĐAJI

(E. Š.) Širola Edo, dipl. inž. el.

ŠTEDNJA I RACIONALNA POTROŠNJA ENERGIJE

I. Cvitan, M. Fiala, M. Horžić i V. Paškvalin

Savez energetičara Hrvatske, DESBR Sisak, 1982, 202 str. 69 slika, 25 lit, meki uvez, format 16 × 23 cm, cijena 300 d.

Danas, u doba energetske krize, knjiga o štednji i racionalnoj potrošnji energije na našem jeziku, vrlo je aktualna i neophodna. Smatramo da je Savez energetičara Hrvatske, a posebno Društvo energetičara sisačko-banijske regije, kao izdavač ove korisne knjige, u pravom trenutku pružio vrlo važnu publikaciju svima kojima problem štednje i racionalne potrošnje može biti interesantan, a takvih je danas veliki broj. Posebna vrijednost je u tome što se obuhvaćaju svi oblici energije, gotovo podjednako zastupljeni u sadržaju, pa stručnjaci raznih profila mogu upoznati osnovne probleme štednje i racionalne potrošnje ostalih oblika energije. To se postiglo objedinjavanjem tekstova četiriju autora, no pažljivi čitač neće opaziti da je knjiga plod rada više autora. Pažljivo jer je vrlo ujednačena u svim dijelovima.

Materija u knjizi je podijeljena u 16 poglavlja, s dodatkom 17. poglavlja s 25 navedenih literarnih izvora i 18. poglavljem oglasnog dijela.

Prva dva poglavlja su uvodna poglavlja u kojima je izložen problem potrošnje energije u svijetu i u nas, te problem energetske krize. Treće poglavlje izlaže osnovne pojmove o mjernim jedinicama za energiju, snagu, temperaturu i tlak u takvoj mjeri da se može lako pratiti daljnji slijed izlaganja. U četvrtom poglavlju definirani su i objašnjeni neki važniji pojmovi i definicije iz energetske problematike, što treba olakšati rad i ukazati na postizanje rezultata štednje i racionalne potrošnje energije. Ti pojmovi su potrošač, trošilo, tarifni stavovi, dvotarifno brojilo, sezonske tarife, vršno ili maksimalno opterećenje, obračunsko razdoblje, naplata električne energije, specifična potrošnja električne energije, upotrebno vrijeme, toplinska vrijednost goriva, masa plina (N m^3), te pojmovi široke potrošnje i velikih potrošača.

Peto poglavlje pokazuje odnose u potrošnji energije u nas i u svijetu, te odnosu među pojedinim oblicima energije, kao i o mogućnostima daljnjeg korištenja energenata u nas, s osvrtom na neiskorištene nekonvencionalne izvore energije.

Slijedi 6. poglavlje u kojem se kaže što je štednja i 7. poglavlje što je racionalna potrošnja, te 8. poglavlje koje opisuje što je ograničenje potrošnje energije (redukcija ili restrikcija), da bi u 9. poglavlju bilo prikazano kakvi su problemi i štete od ograničenja isporuke električne energije.

U 10. poglavlju opisane su mogućnosti racionalne potrošnje električne energije u širokoj potrošnji. Ukazano je na značaj racionalne potrošnje u širokoj potrošnji zbog velikog broja potrošača — kućanstava, te su posebno opisane mogućnosti koje postoje kod rasvjete prostorija, rasvjete stepeništa, vanjske rasvjete, električnog štednjaka i kuhanja hrane, kod korištenja električnog bojlera, kod hlađelja živežnih namirnica, te kod smrzavanja živežnih namirnica, kod korištenja električnih peći za grijanje prostorija, kod korištenja stroja za pranje posuđa, usisača prašine i ostalih sitnijih trošila.

11. poglavlje opisuje racionalnu potrošnju energije kod velikih potrošača, a u 12. poglavlju je za velike potrošače opisana racionalna potrošnja električne energije za rasvjetu prostorija, elektromotorne pojave, opisani su načini pravilnog izbora energetskih transformatora, pravilnog kompenziranja jalove snage, izravnanje dijagrama opterećenja, mogućnosti korištenja tempom potrošača. Opisana je povezanost racionalne potrošnje električne energije s remontom industrijskih postrojenja. Opisani su gubici električne energije u mrežama, kao i održavanje električnih postrojenja i mreža.

Plinu kao gorivu posvećeno je 13. poglavlje. Opisane su njegove osobine i mogućnost racionalne potrošnje, dana je podjela plinskih goriva, i mogućnosti racionalnog korištenja plinskih goriva. Opisan je problem trajno upaljenih pripalnih plamenika, te neracionalno korištenje plina na plinskim štednjacima, kao i način racionalne upotrebe protočnih plinskih aparata za pripremu tople vode. Posebno je opisano grijanje plinskim pećima kao cirko i kombi aparati za toplovodno grijanje.

U 14. poglavlju riječ je o grijanju prostorija, o problemu mikroklime u prostorijama, o grijanju prostorija pećima na kruga goriva, o izgaranju i loženju peći na kruta goriva. Posebno je opisano centralno grijanje, vrste i prednosti takvog grijanja, regulacija grijanja, rad kotlovnica, problemi prijenosa topline, čuvanje topline u prostorijama.

Racionalna potrošnja energije u prometu opisana je u 15. poglavlju, gdje je pokazano kako proizvođači mogu utjecati na manju potrošnju energije kod motornih vozila, zatim ka-

ko vozači mogu utjecati na isto smanjenje, govori se o utjecaju načina vožnje na racionalnu potrošnju energije, o utjecaju indvidualnog načina vožnje na potrošnju goriva, o utjecaju održavanja motora i motornih vozila na ekonomičnost potrošnje goriva, o utjecaju svjećica na potrošnju goriva, o kutu paljenja smjese, o potrošnji goriva kod praznog hoda motora, o prečistaču zraka i platinskom prekidaču, o gubicima radi popuštanja goriva na spojevima, o rasplinjaču i neudešenim ventilima, te o načinu štednje i racionalne potrošnje goriva kod osobnih automobila.

Šesnaesto je završno poglavlje u kojem se u obliku zaključka nabrajaju sve mjere koje ukazuju kako postići povoljne rezultate štednje i racionalne potrošnje energije kod svih potrošača.

Ova knjiga se može preporučiti energetičarima, svim stručnim licima koja se bave problemima energije, ali je prema načinu pisanja i razumljivosti posebno preporučujemo nastavnicima tehničkog odgoja u srednjim školama, te nestručnjacima, koji u njoj mogu naći mnogo korisnoga i primjeniti u svakodnevnom životu. Stručnu recenziju ove knjige dao je Prof. dr Milan Crlenjak, dipl. ing, što je također garancija kvalitete.

J. Moser

UDK 621.31

ENJAAC 32 (2) – (1983) 77-160

YU ISSN 0013-7448

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

energija

Izdavači:

Združeno poduzeće »Elektroprivreda«, Rijeka
Združeno poduzeće »Elektroprivreda Dalmacije«, Split
SIZ za znanstveni rad SR Hrvatske
Elektra, Karlovac
Elektroslavonija, Osijek
Elektroistra, Pula
Elektroprimorje, Rijeka
Elektrodalmacija, Split
Elektra, Zagreb
Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos
Institut za elektroprivredu, Zagreb

Godište 32 (1983) Zagreb 1983 Br. 2

SADRŽAJ

Nevečerel D.: Proračun kratkog spoja na digitalnom elektroničkom računalu (Orig. znan. rad) . . . 79

Ćurković J.: Radiološki utjecaj na okolinu zbog ispuštanja plinovitih efluenata u akcidentalnim situacijama NE (Orig. znan. rad) 89

Granić G.: Potrošnja električne energije u SRH od 1991. do 2000. godine (Prethodno priopćenje) . 103

Kavur V. i Baranović N.: Raspodjela zadataka i baze podataka između centralne i periferne stanice u sistemu daljinskog vođenja (Pregledni rad) . . 107

Begović K.: Osnovna tehnička koncepcija pumpene hidroelektrane Vinodol (Pregledni rad) . . . 113

Milanović Z.: 75 godina rada i razvoja »Elektrane – Toplane« Zagreb 129

Vijesti iz elektroprivrede 145

Nove knjige 148

IZDAVAČKI SAVJET

Dragutin *Stanić,* dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Združeno poduzeće, Split — Enco *Tirelli* i Boris *Simončić,* dipl. ing. »Elektroprivreda« Rijeka — Josip *Brkljačić,* dipl. ing., HE Senj — Petar *Kuzele,* dipl. ing., »Elektra«, Zagreb — Ivo *Božin,* dipl. ing., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Zorko *Cvetković,* Elektroprenos, Zagreb — Šimun *Šimundža,* dipl. ing., »Elektrodalmacija«, Split — Anđelko *Dujmović,* dipl. ing., »Elektroslavonija«, Osijek — »Elektroistra«, Pula — Branko *Mrakovčić,* dipl. ing., »Elektroprimorje«, Rijeka — Marko *Šimunović,* dipl. ing., »Elektra«, Karlovac

GLAVNI UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: Boris *Markovčić,* dipl. ing. — Urednik: Zdenka *Jelić,* dipl. fil. — Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola *Bilčar,* dipl. ing. — »Hidroelektrane«, Đuro *Hatić,* dipl. ing. — »Termoelektrane i Toplane«, Mladen *Nadinić,* dipl. ing. — Prijenos električne energije, Zorko *Cvetković,* dipl. ing., Zagreb — Josip *Nevešćanin,* dipl. ing., Split — »Razvod, distribucija i potrošnja električne energije«, Tomislav *Balen,* dipl. ec., Jure *Šimović,* dipl. ec., Petar *Kuzele,* dipl. ing. — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslovanja«. — Tehnički urednik: Zlatko *Orban.*

Redakcija završena 1983 — 04 — 05

Časopis je oslobođen plaćanja poreza na promet rješenjem Republičkog sekretarijata za prosvjetu, kulturu i fizičku kulturu SR Hrvatske broj 886/1-1979.

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 511-455, 513-822 (328)

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300 dinara, a za poduzeća i ustanove 1500 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 200 dinara.

Za inozemstvo $ 80 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

Institut za elektroprivredu (za »Energiju«) broj 30101-603-565

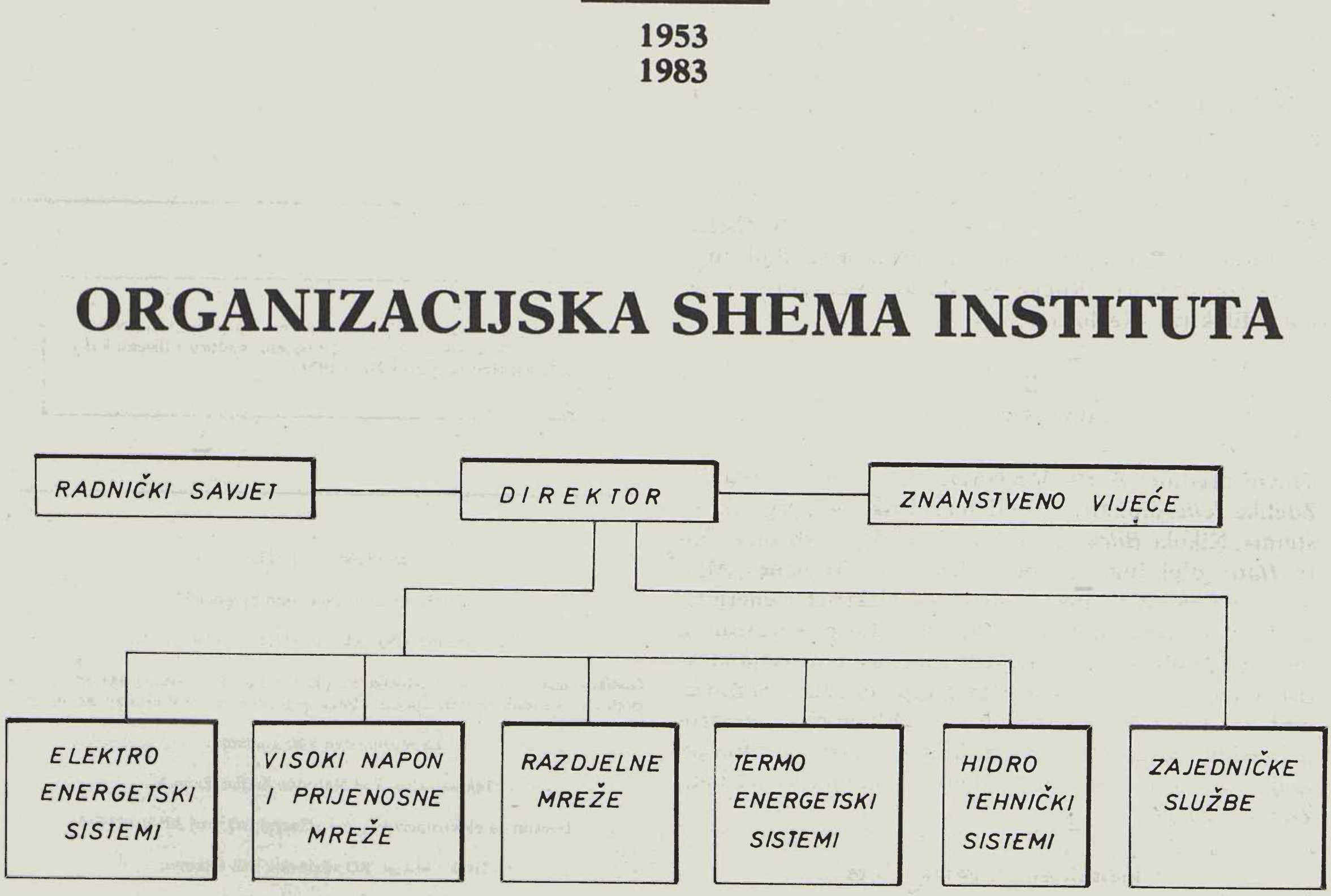
Tisak i klišeji: RO »Zrinski« TIZ Čakovec

Trideset godina
Instituta
za elektroprivredu Zagreb



1953
1983

ORGANIZACIJSKA SHEMA INSTITUTA



PRORAČUN KRATKOG SPOJA NA DIGITALNOM ELEKTRONIČKOM RAČUNALU

Davor Nevečerel, Zagreb

UDK 621. 3. 01: 681. 31

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Inverzija matrice je prilično neefikasna metoda za proračun matrice impedancije čvorova za velike i rijetke matrice visokonaponskih elektroenergetskih mreža. Stoga program za proračun kratkog spoja koristi matematičke postupke koji su karakteristični za proračune rijetkih (sparse) matrica. Pri tom se postižu značajne koristi u brzini, potrebnoj memoriji računala i smanjenju pogrešaka zaokruživanja.
Dan je matematički model s opisom programa i numerički primjer.

Ključne riječi: kratki spoj, rijetke matrice, elektroničko računalo.

UVOD

Obično je predmet matrične analize elektroenergetskih mreža određivanje inverzne matrice sistema linearnih algebarskih jednadžbi. Budući da je kod takvih analiza matrica sistema prilično rijetka, sasvim sigurno se mogu ostvariti znatne prednosti u brzini računanja, povećanju točnosti i uštede u memoriji računala, kada se inverzija rijetke matrice može izraziti kao produkt faktora rijetke matrice. Mogu se očekivati značajnije prednosti prema postupku direktne inverzije matrice admitancije čvorova (L. 2) zahvaljujući shemi sređenih operacija kojima je cilj očuvanje praznina originalne matrice, a zasniva se na pretpostavci da je raspored elemenata različitih od nule simetričan.

Općenito nije vrijedno razmatrati izloženi postupak ako nije najmanje 80% elemenata jednako nuli, što zadovoljavaju konkretni slučajevi naših elektroenergetskih mreža.

MATEMATIČKI MODEL

Matematički model izloženog proračuna kratkog spoja bazira se na poznatoj metodi čvorišta (L. 7) koja opisuje elektroenergetske mreže pomoću sustava linearnih algebarskih jednadžbi. Proračun se bazira na sljedećim pretpostavkama:

1. Stanje prije nastanka kvara jest mreža u praznom hodu.
2. Matrica admitancija grana jest dijagonalna matrica.
3. Čvor 0 je neutralna točka i nema numeriranog čvora iza generatorske impedancije.
4. Izvori su modelirani pomoću idealnih izvora napona i kombinacije pasivnih elemenata.

Nakon učitavanja ulaznih podataka provodi se renumeracija čvorova u oblik prikladan za računanje po izloženom postupku. Zatim se određuje matrica admitancija čvorišta, a u nastavku se inverzija rijetke matrice izražava kao produkt faktora rijetke matrice.

Optimalna numeracija mreže

Kada je matrica koju treba transformirati rijetka, poredak u kojem su reci razvijeni utječe na broj članova različitih od nule u rezultantnom gornjem trokutu. Budući da poredak u kojem su reci razvijeni utječe na broj potrebnih operacija kao i na broj elemenata različitih od nule, evidentno je da za svaku matricu admitancija mreže mora postojati razvijeni poredak koji zahtijeva najmanje računskih operacija kao i najmanje memorije. Taj problem je široko istraživan (L. 1, L. 2) i zaključeno je da su rješenja za velike matrice u praktičnoj primjeni prekomplicirana. Međutim, moguće je pomoću jednostavne logike ostvariti poredak blizu optimalnog. Taj postupak se temelji na broju grana po čvoru originalne matrice admitancija. Za ovaj račun izostavljene su grane koje predstavljaju izvore, jer njihova reprezentacija ne zahtijeva neki posebni vandijagonalni član.

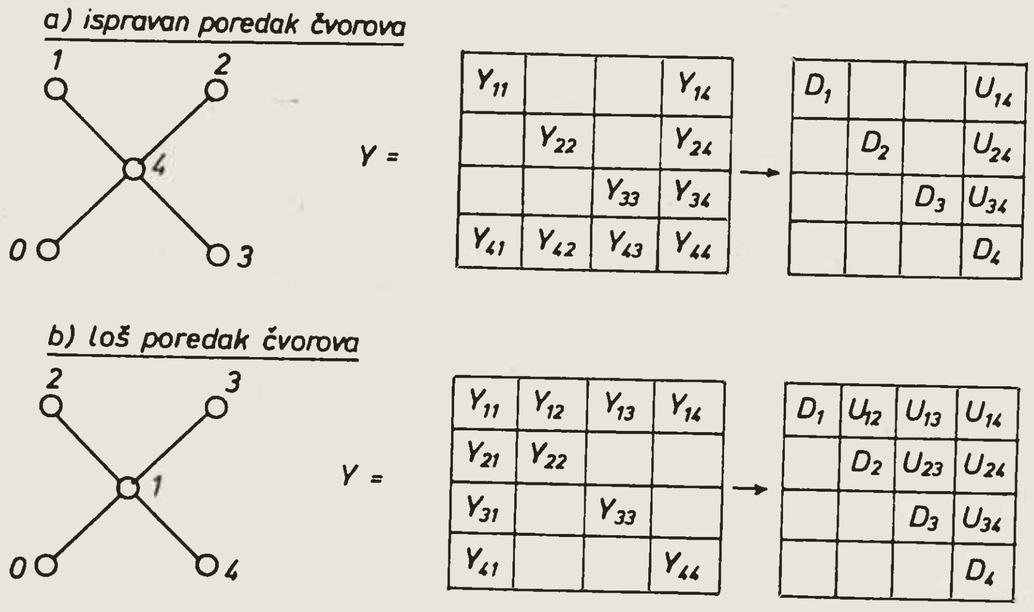
Čvorovi sa samo jednom granom pridruženi su najmanjim rednim brojevima. Efekt eliminacije tih čvorova je u smanjenju mreže sa eliminacijom jedne grane po čvoru. Zatim se eliminiraju čvorovi sa dvije grane. Svaki čvor koji je eliminiran u tom koraku briše dvije stvarne grane i uvodi jednu novu granu, ili, ako se kao rezultat tog koraka pojavljuje paralela, modoficira jednu staru granu. Na kraju tih operacija reducirana mreža će imati manje grana nego prije. Broj grana koje završavaju na preostalim čvorovima još će se slagati s originalnim brojem, osim u slučaju ako se pojavi paralela, kada će se broj za neke čvorove smanjiti. Zatim, reci koji odgovaraju čvorovima sa tri grane u originalnoj mreži (neki od njih mogu imati sada dvije!) eliminirani su, brišući tri stvarne grane i uvodeći tri nove grane ili manje. Na kraju tih eliminacija mreža neće imati više grana nego prije, a

može imati manje. Dalje će operacije eliminacija neophodno uvesti pridružene grane u mreži sve dok postupak nije završen.

Efikasnost metode je funkcija konfiguracije i veličine mreže.

Primjer

Na jednom jednostavnom primjeru pokazat će se kako djeluje poredak u numeraciji čvorova na broj operacija redukcije, kao i na broj članova u rezultirajućoj tablici faktora (vidi sl. 1).



Sl. 1. Djelovanje poretka u numeraciji čvorova

Zadana je jedna jednostavna mreža sa tri grane, četiri čvora i jednim izvorom. U primjeru a) sl. 1. pokazan je ispravan način numeracije čvorova mreže, u skladu sa gore iznesenom shemom. Tablica faktora rezultira sa tri vandijagonalna člana, za razliku od primjera b) sl. 1. koji rezultira sa čak šest vandijagonalnih članova (veći zahtjevi u opsegu računanja i memorije).

U stranoj literaturi problemu optimalne mumeracije mreže poklonjena je znatna pažnja. Razvijene su različite sheme numeriranja blizu optimalne (L. 2), (L. 5). Djelotvornost optimalnog sređenja mreže može se izraziti kao omjer između broja vandijagonalnih članova različitih od nule u tablici faktora i brojeva vandijagonalnih članova u originalnoj matrici. Minimum tog omjera jest jedinica. Kod nekih se razvijenih programa kreće između 1, 2 i 2, 5 za matrice admitancija čvorova elektroenergetskih mreža do 1000 čvorova (L. 2). Omjer više ovisi o topologiji mreže nego o veličini sistema.

Proračun tablice faktora

Ovaj dio obrađuje prvi dio metode i općenito vrijedi za određivanje matrice brojeva iz nesingularne matrice A, koja može biti realna i kompleksna, rijetka ili puna, a koja se dalje može upotrijebiti za dobivanje inverzne, transponirane, inverzne transponirane ili izvjesne dvostruke hibridne kombinacije tih matrica.

Ovdje će se razmatrati dobivanje inverzne matrice.

Shema koja će biti ovdje izložena slična je metodama pod raznim imenima (Gauss, Doolittle, Choleski, Banachiewicz i dr.), a koje su razne matematičke varijante računanja osnovnog procesa trokutizacije matrice pomoću ekvivalentnih transformacija.

Osnovna shema rastavljanja u trokut Gaussovom metodom eliminacije jest poznata i široko opisana u literaturi. Uobičajeno se rastavljanje provodi eliminacijom elemenata ispod glavne dijagonale. Međutim, sa stajališta kompjutorskog programiranja za rijetke matrice mnogo je efikasniji postupak eliminacija po recima.

Taj manje poznati, ali matematički ekvivalentni postupak bit će izložen ovdje i bit će najprije opisan na punoj matrici, a tek kasnije će biti izložena metoda iskorištenja rijetkosti matrice admitancija i postupak sređenja matrice za određivanje poretka blizu optimalnog.

Polazimo od nesingularne matrice n-tog reda A, izraz (2.1):

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{vmatrix} \qquad (2.1)$$

Prvi korak je dijeljenje elemenata prvog retka sa a_{11}:

$$a_{1j}^{(1)} = (1/a_{11})\, a_{1j} \qquad j = 2, n \qquad (2.2)$$

Drugi korak je eliminacija člana a_{21} iz drugog retka s linearnom kombinacijom sa izvedenim prvim retkom i dijeljenjem preostalih elemenata drugog retka svojim izvedenim dijagonalnim elementom.

$$\begin{vmatrix} 1 & a_{12}^{(1)} & a_{13}^{(1)} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1n}^{(1)} \\ & 1 & a_{23}^{(2)} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2n}^{(2)} \\ & & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{vmatrix} \qquad (2.3.a)$$

$$\begin{aligned} a_{2j}^{(1)} &= a_{2j} - a_{21} a_{1j}^{(1)} \qquad j = 2, \ldots, n \\ a_{2j}^{(2)} &= (1/a_{22}^{(1)})\, a_{2j}^{(1)} \qquad j = 3, \ldots, n \end{aligned} \qquad (2.3.b)$$

Treći korak predstavlja eliminaciju elemenata lijevo od dijagonale trećeg retka i u dijeljenju preostalih elemenata retka izvedenim dijagonalnim članom.

$$\begin{vmatrix} 1 & a_{12}^{(1)} & a_{13}^{(1)} & a_{14}^{(1)} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1n}^{(1)} \\ & 1 & a_{23}^{(2)} & a_{24}^{(2)} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2n}^{(2)} \\ & & 1 & a_{34}^{(3)} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{3n}^{(3)} \\ & & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & a_{n4} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{vmatrix} \qquad (2.4.a)$$

$$\begin{aligned} a_{3j}^{(1)} &= a_{3j} - a_{31} a_{1j}^{(1)} \qquad j = 2, \ldots, n \\ a_{3j}^{(2)} &= a_{3j}^{(1)} - a_{32}^{(1)} a_{2j}^{(2)} \qquad j = 3, \ldots, n \\ a_{3j}^{(3)} &= (1/a_{33}^{(2)}) a_{3j}^{(2)} \qquad j = 4, \ldots, n \end{aligned} \qquad (2.4.b)$$

Nastavljajući tako, dobijemo nakon n-tog koraka izraz za sistem n-tog reda:

$$\begin{vmatrix} 1 & a_{12}^{(1)} & a_{13}^{(1)} & a_{14}^{(1)} & . & . & . & a_{1n}^{(1)} \\ & 1 & a_{23}^{(2)} & a_{24}^{(2)} & . & . & . & a_{2n}^{(2)} \\ & & 1 & a_{34}^{(3)} & . & . & . & a_{3n}^{(3)} \\ & & & . & . & . & . & . \\ & & & & . & . & . & . \\ & & & & & . & . & . \\ & & & & & & . & . \\ & & & & & & & 1 \end{vmatrix} \qquad (2.5.a)$$

Važno je napomenuti da je nakon k-tog koraka postupak s recima od 1 do k završen, dok reci od k+1 do n nisu još ušli u proces ni na koji način.

Kada je matrica A puna (reda n), može se dokazati da je broj računskih operacija množenja+dijeljenja za trokutnu rastavu približno jednak $n^3/3$ prema n^3 kod pune inverzije (L. 3).

Konačni rezultat trokutne rastave simetrične nesingularne matrice, kao i zapisivanje ranijih operacija, dan je u izrazu (2.6).

$$\begin{matrix} d_{11} & u_{12} & u_{13} & . & . & . & u_{1n} \\ l_{21} & d_{22} & u_{23} & . & . & . & u_{2m} \\ l_{31} & l_{32} & d_{33} & . & . & . & u_{3n} \\ \\ l_{n1} & l_{n2} & l_{n3} & . & . & . & d_{nn} \end{matrix} \qquad (2.6)$$

Elementi iz (2.6) mogu se izraziti izrazima (2.7):

$$\begin{aligned} d_{ii} &= 1/a_{ii}^{(i-1)} \\ u_{ij} &= a_{ij}^{(i)} \qquad i<j \\ l_{ij} &= a_{ij}^{(j-1)} \qquad i>j \end{aligned} \qquad (2.7)$$

U (2.7) posljednji izraz definira članove lijevo od glavne dijagonale i u stvari predstavlja zapis ranijih operacija. Prema tome je lijevi donji trokut pomoćno polje i u konačnom razmatranju simetričnih matrica neće biti iskazan u rezultatu.

Matrična uglata zagrada u (2.6) namjerno je ispuštena da istakne kako poredak nije striktno matrica u istom značenju kao i u (2.1)–(2.5), nego samo shema zapisa. U literaturi je taj rezultat često dan kao rastav inverzne matrice u produkt donje i gornje trokutne matrice, ali za ova razmatranja mnogo je zgodnije smatrati je tablicom faktora.

Računanje direktnog rješenja osniva se na činjenici da se inverzija rijetke matrice može izraziti kao produkt faktora rijetke matrice. Ovdje se neće dublje ulaziti u teoretsku podlogu niti u izvode konačnih izraza za direktno rješenje. U (L. 2) je ona široko izložena, gdje su dana četiri ekvivalentna postupka za određivanje direktnog rješenja koji vrijede za sasvim općenite slučajeve.

Proračun matrice impedancija čvorova

Matrica impedancija čvorova slijedi iz tablice faktora uz primjenu sljedećih dvaju teorema:

1. Inverzija produkta nesingularnih matričnih elemenata jest produkt inverznih faktora u obrnutom poretku.
2. Transpozicija matričnog produkta jest produkt transponiranih faktora u obrnutom poretku.

Ako je A simetrična matrica, trebamo samo d_{ii} i u_{ij} izraze iz tablice faktora. U (L. 2) je izveden konačni izraz za inverznu matricu.

$$U_1U_2 \dots U_{n-2}U_{n-1}D_1D_2 \dots D_nU_{n-1}^t \dots U_2^tU_1^t = A^{-1} \qquad (2.8)$$

gdje su:

D_i: redak i = $(0, 0, \dots, 0, d_{ii}, 0, 0, \dots, 0)$

U_i: redak i = $(0, 0, \dots, 0, 1, -u_{i,i+1}, -u_{i,i+2}, \dots, -u_{i,n-1}, -u_{i,n})$

U_i^t: stupac i = $(-u_{1,i}, -u_{2,i}, \dots, -u_{i-1,i}, 1, 0, \dots, 0, 0)^t$

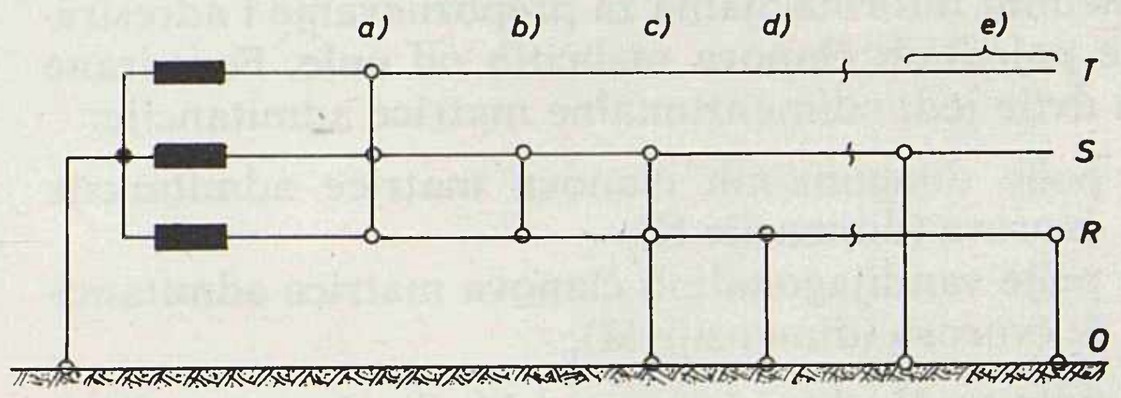
D_i, U_i i U_i^t su specijalne matrice koje su izražene u govoru elemenata tablice faktora, (2. 6). To su nesingularne matrice koje se razlikuju od jediničnih matrica jedino u označenom retku i stupcu.

PRORAČUN KRATKOG SPOJA

U trofaznim elektroenergetskim mrežama razlikujemo pet vrsta kratkih spojeva, ovisno o broju kratkospojenih faza u kombinaciji spoja sa zemljom (vidi sliku 2).

a) tropolni kratki spoj,
b) dvopolni kratki spoj,
c) dvopolni kratki spoj s istovremenim spojem sa zemljom,
d) jednopolni kratki spoj,
e) dvostruki zemljospoj.

Tropolni kratki spoj je simetričan kvar i jednostavno se može matematički opisati na osnovi jednopolne sheme. Ostali kvarovi b) do e) su nesimetrični kvarovi i njihova matematička formulacija je znatno složenija i osniva se na proračunu simetričnih komponenata, gdje se nesimetrični sistem nadomješta sa tri simetrična sistema, direktnim, inverznim i nultim.



Sl. 2. Vrste kratkih spojeva u trofaznim elektroenergetskim mrežama

Uvažavajući statističke podatke o omjeru pojedinih vrsta kratkih spojeva, uz razmatranje o opasnostima pojedinih vrsta kratkih spojeva, dalje se razmatraju proračuni tropolnog i jednopolnog kratkog spoja.

Budući da su izrazi za struje i napone kod tropolnog i jednopolnog kratkog spoja poznati, navest ćemo ukratko najvažnije:

Tropolni kratki spoj

$$\bar{I}_k = \frac{\bar{E}_k}{\bar{Z}_{kk}}$$ — struja tropolnog kratkog spoja u čvoru »k«

$$\dot{I}_{kn} = \frac{\dot{Z}_{kk} - \dot{Z}_{kn}}{\dot{Z}_{k-n}} \cdot \dot{I}_k$$ — udio struje tropolnog kratkog spoja u čvoru »k« iz susjednog čvora »n«

$$\dot{I}_{mn} = \frac{\dot{Z}_{mk} - \dot{Z}_{nk}}{\dot{Z}_{m-n}} \dot{I}_k$$ — struja tropolnog kratkog spoja u vodu $\dot{Z}_{m-n}$ pri kvaru u čvoru »k«

$$\dot{V}_i = (\dot{Z}_{kk} - \dot{Z}_{ik})\ \dot{I}_k$$ — naponi u svim čvorovima (i = 1, ..., n) pri kvaru u čvoru »k«

Jednopolni kratki spoj

$$\dot{I}_k^d = \dot{I}_k^i = \dot{I}_k^0 = \frac{\dot{E}_k}{2 \cdot \dot{Z}_{kk}^d + \dot{Z}_{kk}^0}$$ — direktna (inverzna) odn. nulta struja jednopolnog kratkog spoja u čvoru »k«

Izrazi za struje u granama imaju identični oblik kao i kod tropolnog kratkog spoja, posebno za direktnu i nultu mrežu. Isto vrijedi i za napone u čvorištima (i = 1, ..., n) pri kvaru u čvoru »k«, za direktnu mrežu, dok se u inverznoj i nultoj mreži uzima da je $\dot{Z}_{kk} = 0$.

PROGRAM ZA PRORAČUN KRATKOG SPOJA

Na osnovi matematičke podloge izložene u prvom dijelu studije izrađen je program za proračun kratkog spoja. Program je pisan u DEC FORTRAN IV PLUS koji približno odgovara FORTRANU V.

Opis programa

Kao što je istaknuto u drugom poglavlju članka zahtjev iskorištenja prednosti proračuna rijetkih matrica reducira uobičajeni pristup iz sustava dvodimenzionalnih matrica na jednodimenzionalne matrice s paralelnim informacijama za prepoznavanje i adresiranje pojedinih članova različitih od nule. Formirane su dvije jednodimenzionalne matrice admitancije:

1. polje dijagonalnih članova matrice admitancije čvorova (dimenzije N),
2. polje vandijagonalnih članova matrice admitancije čvorova (dimenzije M),

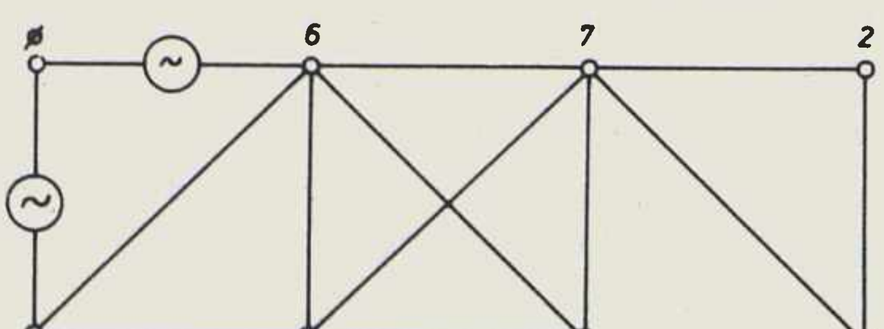
gdje su: N – broj čvorova, a M – broj grana zadane mreže.

I – ta lokacija u tablici dijagonalnih članova matrice admitancije čvorova sadrži član Y_{ii} i lokaciju prvog Y_{ij} člana retka I u tablici vandijagonalnih članova matrice admitancija. Tablica vandijagonalnih članova sadrži redom vandijagonalne članove Y_{ij} matrice admitancije čvorova i paralelno indekse I od člana Y_{ij}.

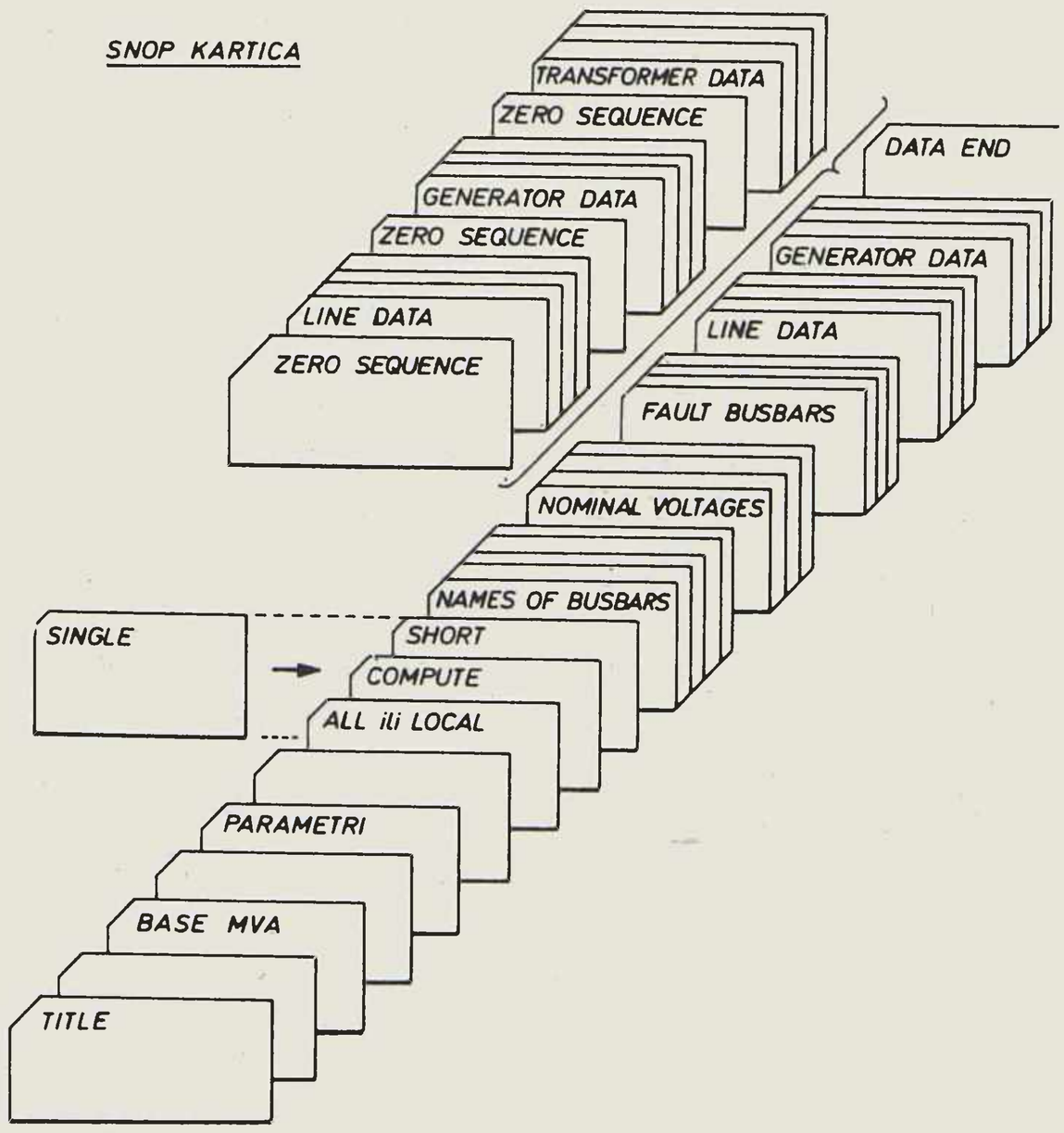
Budući da je izloženi matematički pristup označavanja članova matrice admitancija od izuzetnog značenja za daljnja razmatranja, slijedi ilustrativni primjer mreže sa 7 čvorova, 11 grana i 2 generatora.

I	Dijagolni članovi	ID(I)	Vandijagonalni članovi	IK(I)	
1	Y_{11}	1	1	Y_{12}	2
2	Y_{22}	3	2	Y_{17}	7
3	Y_{33}	4	3	Y_{27}	7
4	Y_{44}	6	4	Y_{35}	5
5	X_{55}	9	5	Y_{36}	6
6	Y_{66}	11	6	Y_{45}	5
7	Y_{77}	12	7	Y_{46}	6
			8	Y_{47}	7
			9	Y_{56}	6
			10	Y_{57}	7
			11	Y_{67}	7

Na ekvivalentan način kasnije će biti sastavljena i tablica faktora (vidi poglavlje 2.2), koja će se također sastojati od dvije tablice, tj. od D-tablice, koja odgovara dijagonalnim članovima, i U-tablice, koja odgovara vandijagonalnim članovima matrice admitancija čvorova.



Sl. 3 Mreža sa 7 čvorova, 11 vodova i 2 izvora



Sl. 4. Snop kartica sa podacima potrebnim za izvršenje proračuna kratkog spoja sa programom »RIMA«

```
TITL
    MREZA HRVATSKE 1985. - RN II/0176 - A

BASE
 1000.0

PARA
  300   109    32    71     1

LOCA

COMP

SING
```

```
NAME
   1 ZG40JG          23 ZGZAPA          45 KUTINA          67 PSLATI          89 PRIJF1
   2 MRAC22          24 ZGCENT          46 SISAK1          68 NAŠICE          90 TOPULA
   3 SISA22          25 JARUN           47 SIRAFI          69 NACFME          91 B.BROD
   4 MEDJ22          26 ZGJUG1          48 SIŽFLJ          70 SLPO21          92 BRČKO
   5 ZG11JG          27 ZGJUG2          49 SICENT          71 SLPO22          93 GRADAC
   6 MRAC11          28 ZGTETO          50 PETRNJ          72 SLBR-1          94 ORR40R
   7 SISA11          29 VGORIC          51 GLINA           73 SLBR-2          95 SID
   8 MEDJ11          30 RESNIK          52 BJELOV          74 ANDRIJ          96 NEKRŠK
   9 KLARA           31 TJERTO          53 VIRJE           75 DJAKOV          97 CIRK22
  10 KARL01          32 NEDELJ          54 VIROVI          76 VINKOV          98 TREST
  11 KARL02          33 IVANEC          55 DARUVA          77 ŽUPANJ          99 FORMIN
  12 HGOJAK          34 HVARA1          56 NGRADI          78 VUKOV1         100 CIRK11
  13 ZDENČI          35 HVARA2          57 PRELOG          79 VUKOV2         101 KIDRIČ
  14 RAKITJ          36 ČAKOVE          58 ERNE40          80 NIJEMC         102 PTUJ
  15 SAMOBO          37 VARAŽD          59 DJAK22          81 VRBOVS         103 LJUTOM
  16 ZAPREŠ          38 HČAKOV          60 ERNE11          82 SOJTOR         104 CVOR-1
  17 PODSUS          39 LUDBRE          61 DJAK11          83 TUGLJE         105 CVOR-2
  18 ZABOK           40 D.SELO          62 OSIJF1          84 PRIJ40         106 CVOR-3
  19 STRAŽA          41 KRIŽEV          63 OSIJE2          85 TUZL22         107 CVOR-4
  20 ZGELTO          42 KOPRIV          64 OSIJE3          86 PRIJ22         108 CVOT-5
  21 ZGSJEV          43 IVANIĆ          65 BMANAS          87 JAJC22         109 MRACZV
  22 ZGDUBR          44 LUDINA          66 VALPOV          88 BDUBIC         110 ......

NOMI
   6   400.0     1  58  83  84  94  96
   9   220.0     2   3   4  59  85  86  87  93  97
  15   110.0     5   6   7   8   9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19
  15   110.0    20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34
  15   110.0    35  36  37  38  39  40  41  42  43  44  45  46  47  48  49
  15   110.0    50  51  52  53  54  55  56  57  60  61  62  63  64  65  66
  15   110.0    67  68  69  70  71  72  73  74  75  76  77  78  79  80  81
  15   110.0    82  88  89  90  91  92  95  98  99 100 101 102 103 104 105
   4   110.0   106 107 108 109

FAUL
   3

LINE
     1     1    58   4.359000E-02   4.795300E-01   0.000000E-01
     2     1    84   2.250000E-02   2.475000E-01   0.000000E-01
     3     1    96   4.780000E-03   4.989000E-02   0.000000E-01
   300    98    99   3.060964E+01   2.840848E+01   0.000000E-01

GENE
     1     3   8.940000E-02   1.278500E+00
     2     7   8.438000E-02   1.206670E+00
    32   109   4.220000E-01   6.035000E+00

ZERO
LINE
     1     1    58   3.778100E-01   1.104380E+00   1.004400E-01
     2     1    84   1.950000E-01   5.700000E-01   5.184000E-02
     3     1    96   6.961000E-02   2.300400E-01   2.294400E-02
   300    98    99   2.919820E+02   4.781453E+02   0.000000E-01

ZERO
GENE
     1     3   3.376000E-02   4.828200E-01
     2     7   2.846000E-02   4.070100E-01
    32   109   1.000000E+08   1.000000E+08

ZERO
TRAN
     1     8   1.847500E-01   2.641970E+00
     2     9   4.756200E-01   6.801570E+00
    71   109   1.049000E-01   1.558000E+00

DATA
```

Naredba NOMINAL VOLTAGES

Naredba pridružuje čvorovima nominalne napone u skladu s pravilima proračuna per unit i omogućuje predstavljanje izlaznih rezultata u fizikalnim veličinama (naponi u kV, struja u kA).

Za naredbe opisa programa općenito vrijedi da moraju sadržavati bar jedan numerički podatak, da svi podaci moraju biti u skladu s naredbom PARAMETRI i odgovarajući numerički podatak mora biti jednoznačan, tj. ne smije se pojaviti više puta, s istim ili različitim brojčanim iznosom.

Upravljačke naredbe

Naredba ALL CURRENTS

Ako je naredba ALL CURRENTS prisutna, bit će štampane vrijednosti napona i struja u svim elementima mreže za svaki pojedinačni kratki spoj na određenoj sabirnici, odnosno čvoru mreže.
Naredba je obavezna u alternaciji s naredbom LOCAL.

Naredba LOCAL

Ako je zadana naredba, biti će štampani izlazni rezultati napona i struja koje se odnose na grane koje se neposredno stječu u promatrano čvorište, gdje je nastao kratki spoj.
Naredba je obavezna u alternaciji s naredbom ALL CURRENTS.

Naredba COMPUTE

Naredba upućuje da treba obaviti proračun kratkog spoja. Treba je slijediti jedan od naredbi SHORT ili SINGLE, koja specificira vrstu kratkog spoja.
Naredba je obavezna.

Naredbe SHORT i SINGLE su obavezne u alternaciji i moraju biti prethođene naredbom COMPUTE. Ako je navedena naredba SHORT, traži se proračun tropolnog kratkog spoja. Ako se u alternaciji pojavljuje naredba SINGLE, traži se proračun jednopolnog kratkog spoja koji će slijediti proračun tropolnog kratkog spoja. Dakako, u tom slučaju moraju biti zadani podaci nulte mreže.

Naredba ZERO SEQUENCE

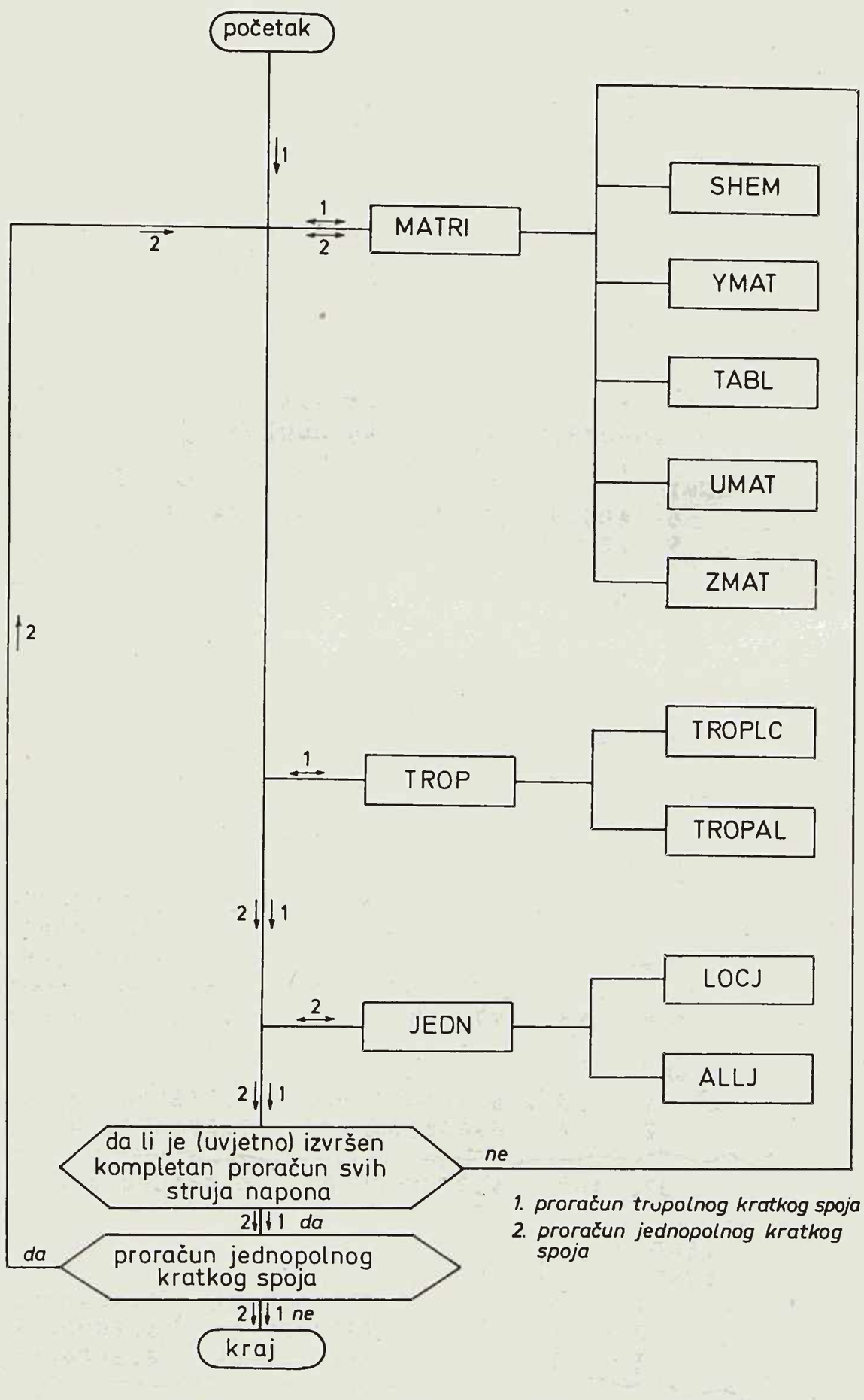
Naredba prethodi jednoj od naredbi LINE DATA, GENERATOR DATA ili TRANSFORMER DATA i naznačuje da slijede odgovarajući podaci nulte mreže.

Naredba DATA ENDS

Gornjom naredbom završavaju svi podaci potrebi za izvršenje proračuna kratkog spoja.

Blok shema programa

Blok shema programa RIMA prikazana je na slici 5. Vidljivo je da je program koncipiran kao preklopni zbog uštede u zahtijevanoj memoriji. Sastoji se od glavnog (vodećeg) programa koji poziva potprograme MATRI, TROP, i JEDN. Potprogram MATRI jednostavno sekvencijalno poziva potprograme SHEM, YMAT, TABL, UMAT i ZMAT i rezultat cijelog ciklusa je matrica impedancija čvorova, spremljena na disk. Zatim potprogrami TROP i JEDN čitaju sa diska podatke potrebne za konkretan proračun tropolnog i jednopolnog kratkog spoja. Grananja nastupaju kad se određuje da li se traži preračun tropolnog ili jednopolnog kratkog spoja. Ako se traži proračun tropolnog kratkog spoja, program će ići petljom 1, a u slučaju proračuna jednopolnog kratkog spoja program će ići petljama 1 i 2.
Proračun se ponavlja ako se traži proračun svih struja i napona, ovisno o zadanom broju čvorova gdje je nastupio kvar.



Sl. 5. Blok-shema preklopnog programa RIMA

PRIMJER PRORAČUNA

Za primjer proračuna je odabrana mreža SR Hrvatske 1985. godine prema studiji (L.15):

D. Nevečerel, »Optimiranje elektroenergetskog sistema Hrvatske – Proračun kratkog spoja«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1981.

Ulazni podaci za program RIMA organizirani su kao serija blokova podataka, koji su predvođeni alfabetičnim naredbama za podatke. **Upravljačke naredbe,** koje nemaju pridruženih podataka, vode izvršenje programa u željenom pravcu, dok **naredbe opisa programa** prethode numeričkim podacima. Svaka naredba, upravljačka ili naredba opisa programa, počinje od prvog stupca i FORTRAN COMPILER čita prvih osam znakova.

Organizaciju i poredak ulaznih podataka prikazuje slika 4. Budući da se Institut za elektroprivredu u dosadašnjoj praksi koristio programom za proračun kratkog spoja »ICL 1900 Series Power System Analysis Short Circuit Program«, a još se i sada njime koristi, nastojalo se organizirati ulazne podatke tako da budu kompatibilni za oba programa. Otuda su sve upravljačke naredbe i naredbe za podatke na engleskom jeziku, što međutim ne unosi nikakve poteškoće u praktičnoj primjeni.

Svi se numerički podaci, kojima se zadaju elementi mreže, zadaju u per unit sistemu, uvodeći jednoobraznost u prikazu ulaznih podataka.

Pregled naredbi kojima se vodi izloženi program za kratki spoj

Naredbe opisa programa

Naredba TITLE

Naredba je obavezna. Nakon naredbe TITLE slijedi zapis od maksimalno 80 znakova, koji će biti štampan na početku studije kao naslov proračuna.

Naredba BASE MVA

Naredba je obavezna i treba je slijediti brojčani iznos bazne snage u MVA.

Naredba PARAMETRI

Naredba je obavezna i treba je slijediti zapis koji daje osnovne brojčane podatke o mreži i sastoji se od pet integer konstanti (po redu), koje mogu biti u slobodnom formatu.

M – broj grana mreže
N – broj čvorova mreže
G – broj izvora u mreži
T – broj transformatora tereta u mreži
F – broj čvorova u kojima treba računati kratki spoj

Ako treba računati samo tropolni kratki spoj, stavi se T = 0.

Naredba LINE DATA

Naredba prethodi podacima o granama mreže. To su vodovi i transformatori na nominalnom prijenosnom omjeru. Broj grana je već učitan naredbom PARAMETRI. Zapis svake grane počinje od novog retka i sastoji se od sljedećih veličina:

1. Redni broj grane
2. } Redni brojevi krajnjih čvorova grane
3. }
4. Rezistencija grane u per unit
5. Reaktacija grane u per unit
6. Ukupna koncentrirana susceptancija u per unit

Maksimalni broj zadanih grana ne smije biti veći od 250 grana. Grana koja se pojavljuje u direktnoj i nultoj mreži (proračun jednopolnog kratkog spoja) mora imati identične brojeve čvorova. Podaci o nultoj mreži moraju biti prethođeni naredbama:

ZERO SEQUENCE
LINE DATA

i moraju odgovarati po redu i broju.

Naredba GENERATOR DATA

Naredba prethodi podacima o izvorima u mreži. Broj izvora mora biti specificiran u naredbi PARAMETRI. Zapis svakog izvora počinje od novog retka i sastoji se od ovih veličina:

1. Redni broj izvora
2. Redni broj čvora na koji je izvor priključen
3. Rezistancija izvora u per unit
4. Reaktancija izvora u per unit.

Pretpostavlja se da nema čvora iza generatorske impedancije, pa navedeni podaci odgovaraju reduciranoj impedanciji izvora na zadane sabirnice.

Maksimalan broj izvora ne smije biti veći od 50.

Podaci o nedomjesnim impedancijama izvora u nultoj mreži moraju biti prethođeni naredbama

ZERO SEQUENCE
GENERATOR DATA

i moraju odgovarati po redu i broju

Naredba TRANSFORMER DATA

Naredba prethodi podacima o transformatorima tereta u nultoj mreži. Zapis svakog transformatora počinje od novog retka i sastoji se od sljedećih veličina:

1. Redni broj transformatora tereta
2. Redni broj čvora na koji je transformator tereta priključen
3. Suprotni krajnji čvor se zada jednak nuli
4. Rezistencija transformatora tereta u per unit
5. Reaktancija transformatora tereta u per unit.

Maksimalni broj transformatora tereta ne smije biti veći od 100.

Naredba NAMES OF BUSBARS

Naredba se upotrebljava za dodjeljivanje imena čvorovima mreže. Svaki podatak se sastoji od rednog broja čvora i imena u slobodnom razmaku. Ime čvora se može sastojati od bilo kakvog alfanumeričkog zapisa, ali će samo prvih osam znakova biti zapamćeno.
Maksimalni broj čvorova je ograničen na 120.

Naredba FAULT ONLY BUSBARS

Naredba određuje čvorove za koje će biti štampani izlazni rezultati proračuna kratkog spoja. Ukoliko je bio izvršen proračun svih struja i napona u mreži, naredba ujedno određuje i opseg u kojem je proračun izvršen.
Jedan zapis može sadržavati do ukupno 20 podataka.

MREZA HRVATSKE 1985. - PN II/0176 - A

SNAGE TROPOLNOG KRATKOG SPOJA I SVIM CVORISTIMA MREZE /MVA/

1	ZG40JG	12441.9	23	ZGZAPA	3304.5	45	KUTINA	2075.4	67	PSLATI	727.4	89	PRIJE1	1753.8
2	MRAC22	4725.0	24	ZGCENT	4499.1	46	SISAK1	3612.8	68	NASICE	1890.6	90	TOPOLA	1194.5
3	SISA22	3933.1	25	JAPUN	4737.2	47	SIMAFI	3070.7	69	NACEME	1613.1	91	B.BROD	1481.3
4	MEDJ22	3052.7	26	ZGJUG1	3546.4	48	SIZELJ	3315.2	70	SLP021	1200.5	92	BRCKO	808.7
5	ZG11JG	6549.5	27	ZGJUG2	4857.6	49	SICENT	1758.5	71	SLP022	1273.9	93	GRADAC	4525.3
6	MRAC11	5478.5	28	ZGTETO	4932.5	50	PETRNJ	1910.8	72	SLBR-1	1902.2	94	OBR40B	21221.1
7	SISA11	3766.1	29	VGORIC	3598.4	51	GLINA	769.4	73	SLBR-2	1859.5	95	SID	1013.5
8	MEDJ11	2622.4	30	RESNIK	4077.6	52	BJELOV	747.0	74	ANDRIJ	1589.1	96	NEKRSK	12463.6
9	KLARA	3319.8	31	TJERTO	1979.8	53	VIRJE	518.6	75	DJAKOV	2916.2	97	CIRK22	3844.0
10	KARL01	1723.9	32	NEDELJ	1831.9	54	VTROVI	639.5	76	VINKOVM	2579.6	98	TRFST	3109.3
11	KARL02	1230.1	33	IVANEC	1101.0	55	DARUVA	841.2	77	ZUPANJ	929.9	99	FORMIN	2169.1
12	HGCJAK	1168.5	34	HVARA1	1338.2	56	NGRADI	1273.7	78	VUKOV1	1879.3	100	CIRK11	1341.0
13	ZDENCI	2149.5	35	HVARA2	1338.2	57	PRELOG	958.0	79	VUKOV2	1790.1	101	KIDRIC	1294.6
14	RAKITJ	5014.4	36	CAKOVE	1265.2	58	ERNE40	8553.7	80	NIJEMC	933.6	102	PTUJ	1143.3
15	SAMOBO	2775.9	37	VARAZD	1344.0	59	DJAK22	3421.5	81	VRBOVS	1523.8	103	LJUTOM	1488.5
16	ZAPRES	2721.7	38	HCAKOV	1363.1	60	ERNE11	4720.6	82	SOJTOR	318.7	104	CVOR-1	978.3
17	PODSUS	3576.5	39	LUDBRE	968.1	61	DJAK11	3322.9	83	TUGLJE	11290.8	105	CVOR-2	7496.0
18	ZABOK	1562.3	40	D.SELO	1627.2	62	OSIJE1	3641.9	84	PRIJ40	6912.5	106	CVOR-3	878.5
19	STRAZA	899.7	41	KRIZEV	857.1	63	OSIJE2	3242.1	85	TUZL22	9341.4	107	CVOR-4	942.7
20	ZGELTO	4520.0	42	KOPRIV	956.4	64	OSIJE3	2916.8	86	PRIJ22	3020.9	108	CVOT-5	4514.8
21	ZGSJEV	1777.9	43	IVANIC	1026.1	65	BMANAS	971.7	87	JAJC22	2258.6	109	MRACZV	10586.3
22	ZGDUBR	2519.5	44	LUDINA	1287.8	66	VALPOV	1054.2	88	BOSNIC	964.2	110		0.0

TROPOLNI KVAR U CVORU 3 SISA22

VOD	OD	DO	STRUJA / A/	NAPON /KV/
0	IZVOR		2047.7 / -86.00	
4	MRAC22	SISA22	3628.6 / -80.50	68.26 / -1.29
			3628.6 / -80.50	0.00 / 0.00
7	MEDJ22	SISA22	2321.1 / -79.45	44.66 / -0.23
			2321.1 / -79.45	0.00 / 0.00
136	SISA11	SISA22	4934.3 / -84.90	30.44 / 3.65
			2467.1 / -84.90	0.00 / 0.00
	SUMA		10453.0 / -82.38	

MREZA HRVATSKE 1985. - PN II/0176 - A

SNAGE JEDNOPOLNOG KRATKOG SPOJA U SVIM CVORISTIMA MREZE /MVA/

1	ZG40JG	10790.5	23	ZGZAPA	2589.9	45	KUTINA	1992.4	67	PSLATI	658.4	89	PRIJE1	1153.3
2	MRAC22	4028.9	24	ZGCENT	4893.7	46	SISAK1	3823.5	68	NASICE	1624.7	90	TOPOLA	980.5
3	SISA22	4220.9	25	JAPUN	4893.6	47	SIMAFI	3204.3	69	NACEME	1363.2	91	B.BROD	1282.1
4	MEDJ22	2872.3	26	ZGJUG1	2953.3	48	SIZELJ	3505.7	70	SLP021	1218.7	92	BRCKO	834.3
5	ZG11JG	7196.0	27	ZGJUG2	4679.0	49	SICENT	1113.3	71	SLP022	1197.1	93	GRADAC	3692.0
6	MRAC11	5043.6	28	ZGTETO	5354.7	50	PETRNJ	1724.2	72	SLBR-1	1776.5	94	OBR40B	22085.5
7	SISA11	4440.5	29	VGORIC	2866.9	51	GLINA	667.6	73	SLBR-2	1718.8	95	SID	857.3
8	MEDJ11	2844.1	30	RESNIK	3638.3	52	BJELOV	708.5	74	ANDRIJ	1180.2	96	NEKRSK	10339.3
9	KLARA	2722.8	31	TJERTO	2007.1	53	VIRJE	474.7	75	DJAKOV	2699.5	97	CIRK22	3254.5
10	KARL01	1541.4	32	NEDELJ	1984.3	54	VTROVI	634.6	76	VINKOVM	2278.0	98	TRFST	2601.6
11	KARL02	1029.8	33	IVANEC	943.1	55	DARUVA	735.5	77	ZUPANJ	797.2	99	FORMIN	1116.9
12	HGCJAK	1175.8	34	HVARA1	1299.8	56	NGRADI	1054.2	78	VUKOV1	1715.9	100	CIRK11	723.7
13	ZDENCI	1628.2	35	HVARA2	1299.8	57	PRELOG	848.1	79	VUKOV2	1607.8	101	KIDRIC	700.6
14	RAKITJ	4742.3	36	CAKOVE	1192.6	58	ERNE40	7894.2	80	NIJEMC	781.2	102	PTUJ	634.0
15	SAMOBO	2232.7	37	VARAZD	1369.8	59	DJAK22	2636.4	81	VRBOVS	1307.8	103	LJUTOM	789.7
16	ZAPRES	2325.0	38	HCAKOV	1457.2	60	ERNE11	5570.3	82	SOJTOR	204.8	104	CVOR-1	969.9
17	PODSUS	2969.2	39	LUDBRE	835.3	61	DJAK11	3310.7	83	TUGLJE	11035.1	105	CVOR-2	2399.1
18	ZABOK	1335.8	40	D.SELO	1360.4	62	OSIJE1	3700.5	84	PRIJ40	6553.1	106	CVOR-3	872.8
19	STRAZA	741.6	41	KRIZEV	760.7	63	OSIJE2	3332.2	85	TUZL22	10193.7	107	CVOR-4	7.6
20	ZGELTO	4848.2	42	KOPRIV	913.8	64	OSIJE3	2609.1	86	PRIJ22	3047.2	108	CVOT-5	3683.5
21	ZGSJEV	1349.6	43	IVANIC	832.7	65	BMANAS	862.9	87	JAJC22	2214.9	109	MRACZV	7195.3
22	ZGDUBR	1994.0	44	LUDINA	868.5	66	VALPOV	917.1	88	BOSNIC	608.7	110		0.0

JEDNOPOLNI KVAR U CVORU 3 SISA22

TABELA LOCAL NAPONA

BROJ	IME	UA /KV/	UB /KV/	UC /KV/	U1 /KV/	U2 /KV/	U0 /KV/
3	SISA22	0.00 / 174.64	123.93 /-116.83	122.87 / 117.08	82.15 / 0.14	44.87 / 179.75	37.29 /-179.39
2	MRAC22	75.76 / -1.17	122.06 /-115.47	121.71 / 119.55	106.24 / -0.24	20.77 /-178.74	9.77 /-176.22
4	MEDJ22	57.16 / -1.02	120.38 /-112.51	119.15 / 112.96	97.93 / 0.04	29.09 / 179.87	11.73 /-174.40
7	SISA11	34.66 / 2.35	61.36 /-114.61	59.93 / 115.24	51.82 / 0.91	11.72 / 176.40	5.49 /-179.44

TABELA LOCAL STRUJA

BROJ	OD	DO	IA / A/	IB / A/	IC / A/	I1 / A/	I2 / A/	I0 / A/	3I0 / A/
1	IZVOR	SISA22	3038.2 /-85.80	868.6 /-84.67	868.6 /-84.67	723.3 /-96.25	723.3 /-86.25	1591.7 /-85.39	4775.2
4	MRAC22	SISA22	3026.9 /-79.94	819.7 / 96.24	819.7 / 96.24	1281.7 /-80.75	1281.7 /-80.75	465.2 /-75.46	1395.5
			3025.2 /-79.94	821.4 / 96.23	821.4 / 96.23	1281.7 /-80.75	1281.7 /-80.75	463.5 /-75.41	1390.4
7	MEDJ22	SISA22	2062.6 /-79.07	397.9 / 97.02	397.9 / 97.02	819.9 /-79.70	819.9 /-79.70	423.3 /-76.61	1269.9
			2060.8 /-79.06	399.7 / 96.99	399.7 / 96.99	819.9 /-79.70	819.9 /-79.70	421.5 /-76.56	1264.4
136	SIS411	SISA22	5933.3 /-84.62	706.3 /279.32	706.3 /279.32	1742.9 /-85.16	1742.9 /-85.16	2447.7 /-83.87	7343.2
			2966.6 /-84.62	353.2 /279.32	353.2 /279.32	871.5 /-85.16	871.5 /-85.16	1223.9 /-83.87	3671.6
	UKUPNO	SISA22	11077.0 /-82.63	0.0 / 0.00	0.0 / 0.00	3692.3 /-82.63	3692.3 /-82.63	3692.3 /-82.63	11077.0

DATA

Mreža je presječena na dva dijela (verzija A i B) i ovdje će biti prikazani razultati proračuna kratkog spoja u mreži A, koja odgovara područjima EP Zagreb i EP Osijek veličine 109 čvorova i 145 stvarnih + 155 nadomjesnih (redukcija susjednih mreža!) = 300 grana, što predstavlja popunjenje od 300/(109(109-1)/2) = 5,1%, tj. veoma praznu mrežu, prikladnu za provedbu izloženog proračuna kratkog spoja.

Slijedi primjer proračuna tzv. lokalnih struja i napona kod kvara na sabirnicama 220 kV u TE Sisak koji je dovoljno ilustrativan o mogućnostima programa za kratki spoj. Nakon ispisa ulaznih podataka slijede tablice osnovnih podataka o zadanoj mreži (koje ovdje ne navodimo,zbog ograničenog prostora) i zatim pregledni rezultati proračuna tropolnog i jednopolnog kratkog spoja. Oni se sastoje od:

1. tablice snaga tropolnog, odnosno jednopolnog kratkog spoja u svim čvorištima mreže,
2. tablice tzv. lokalnih rezultata tropolnog odnosno jednopolnog kratkog spoja (struje i naponi) za svaki čvor koji je u kvaru. (Alternativa ispisa lokalnih rezultata kratkog spoja po principu: čvorišta u kvaru + prvi susjedni čvor.)

(Ako bi se tražio proračun svih struja i napona u svim granama odnosno čvorištima mreže kod tropolnog ili jednopolnog kvara, zbog velike količine podataka posebno se tabeliraju:

a) svi naponi u mreži nakon kvara u zadanom čvorištu,
b) struje svih izvora u mreži,
c) struje svih grana u mreži,
d) struje svih transforamtora tereta u mreži (jednopolni kratki spoj).

Slijedi primjer proračuna kratkog spoja s pripadnim protokolima računskog stroja, koji se sastoje od:

1. ulaznih podataka,
2. proračuna tropolnog kratkog spoja u TE Sisak 220 kV,
3. proračuna jednopolnog kratkog spoja u TE Sisak 220 kV.

ZAKLJUČAK

Pošto je iznesena teoretska podloga na kojoj se bazira program za računski stroj, dan je opis programa s pripadnom blok-shemom programa. Matematički model je izložen u sustavu dvodimenzionalnih matrica, gdje se adresa svakog člana matrice u memoriji računala može jednostavno dovesti u vezu s indeksima njegova retka i stupca. To je uobičajeni pristup problemima analize elektroenergetskih mreža i programiranje je u tom slučaju prilično lako. Međutim, ako se žele iskoristiti prednosti proračuna rijetkih matrica, potrebno je problem reducirati na jednodimenzionalne matrice s paralelnim informacijama za prepoznavanje i adresiranje pojedinih članova različitih od nule. Dakako da je u tom slučaju programiranje mnogo teže i može se izgubiti mnogo od potencijalnih prednosti u loše programiranom programu.

Dalje je značajno istaknuti da program za računski stroj baziran na izloženoj matematičkoj podlozi kojoj je cilj očuvanje praznine originalne matrice vrlo brzo i jednostavno producira rezultate proračuna kratkog spoja koji se odnose na mjesto kratkog spoja i udio iz prvog susjednog čvora (tzv. lokalni rezultati kratkog spoja). Budući da je ušteda u memoriji računskog stroja izvan svake diskusije, ovdje treba istaknuti da se u tom slučaju rješenje Z – matrice može dobiti u približno $n^{1,4}$ operacije prema $n^{2,2}$ operacija pri punoj inverziji Y matrice (L.12)

Ako treba, u stanovitim slučajevima (npr. udešenje relejne zaštite), računati puni stupac Z matrice, rezultat se može dobiti u približno $n^{1,4}$ operacija. (Pod operacijama se ovdje misli na računske operacije zbrajanja, oduzimanja, množenja i dijeljenja.)

Daljnje prednosti programa RIMA sastoje se u činjenici da je program prikladan u različitim specifičnim praktičkim slučajevima, kao npr. proračuni koji daju bazne podatke za relejnu zaštitu i slično.

Program RIMA je dalje prikladan za primjenu na različitim računskim strojevima (univerzalnost i pouzdanost), što može biti vrlo značajno u nekim izvanrednim situacijama.

Napokon, perspektivno će se program moći kombinirati s drugim programima iz područja analize elektroenergetskih mreža što će predstavljati jednu sasvim novu kvalitetu u odnosu na sadašnji nivo proračuna u elektroenergetskim mrežama.

Literatura

[1] N. Sato i W. Tinney – »Techniques for exploiting the sparsity of the network admittance matrix«, IEEE Tran. Power Apparatus and Systems, vol. 82, december 1963.

[2] W. F. Tinney i W. Walker – »Direct solutions of sparse network equations by optimally ordered triangular factorization«, Proceedings of IEEE, vol. 55, No 11, November 1967.

[3] A. Ralston – »A First Course in Numerical Analysis«, New York, Mc. Graw – Hill, 1965.

[4] E. C. Ogbuobiri, W. F. Tinney, J. W. Walker – »Sparsity – Directed Decomposition for Gaussian Elimination on Matrices«, IEEE Trans. Power Apparaturs and Systems, vol 89, january 1970,

[5] B. Scott, E. Hobson —»Solution of large power – system networks by ordered elimination: a comparison of ordering schemes«. Proc. IEEE Vol. 118, No 1., january 1971.

[6] B. Stefanini – »Prenos elektri.ne energije II dio – Mreže«, Zagreb Elektrotehnički fakultet – Zagreb, 1971.

[7] B. Stefanini, Babić S, M. Urbiha – Feuerbach – »Matrične metode u analizi električnih mreža« Zagreb, Školska knjiga – Zagreb, 1975.

[8] H. Požar — »Visokonaponska rasklopna postrojenja« Zagreb, Tehnička knjiga Zagreb, 1967.
[9] Roeper — »Short — Circuit Currents in Three — Phase Network«, Siemens Aktiengesellschaft, Pitman Publishing, 1972.
[10] ICL Power System Analysis Package — A.C. load flow and short circuit analysis, priručnik izdan 1972.
[11] VDE 01 02; Dio 2/4. 64. — »Upute za izračunavanje struja kratkog spoja« (prijevod), Zagreb 1975.
[12] F. L. Alvarado: »Computational complexity in power systems«, IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol. PAS — 95 , no.4., July/August 1976.
[13] M. Jung: »Metodologija proučavanja kratkog spoja«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1962.
[14] I. Šantl: »Magistarsko delo«, Ljubljana, Fakultet za elektrotehniko, 1974.
[15] D. Nevečerel: »Optimiranje elektroenergetskog sistema Hrvatske. Proračun kratkog spoja«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1981.

KEY WORDS: SHORT CIRCUIT, SPARSE MATRIX, COMPUTOR

A calculation of Short Circuit on Computer

Matrix inversion is rather unefficient method for calculation of node impedance matrix for large and sparse matrix for high voltage networks. Becouse of that a programe for calculation of short circuit is based on mathematical methods for calculation of sparse matrix. That program benefits in speed, working memory and decrease in round errors. In the article is given a mathematical model with description of program as well asa numerical example.

KURZSCHLUSSBERECHNUNG MIT EINER DIGITALEN EDV — ANLAGE

Die Inversion der Matrix ist eine unvorteilhafte Methode der Matrizenrechnung für die Ermittlung der Impedanz von Kontenpunkten in Hochspannungsüberlandleitungen bzw. Überlandverteilungsnetzen für umfangreiche und nicht alltägliche Matrizen. Daher werden zur Kurzschlussberechnung mathematische Verfahren angewendet, die zur Berechnung von nicht alltäglichen Matrizen (Sparmatrizen) charakteristisch sind. Dabei werden wesentliche Vorteile in Bezug auf Schnelligkeit der Berechnung, erforderliche Speicherung der Daten und Abrundungsfehler erreicht. Gezeigt wird ein mathematisches Modell und das Programm mit einem nummerischen Beispiel.

РАСЧЕТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЦЭВМ

Инверсия матрицы является довольно неэффективным методом для расчета матрицы полного сопротивления узлов для больших и неплотных матриц высоковольтных электросетей. Поэтому програма расчета короткого замыкания использует математические действия, характерные для расчета неплотных матриц. При этом достигаются заметные выгоды в скорости, необходимой объеме запоминющего устройства ЭВМ и снижении ошибок от закруглений. Даны математическая модель с описанием программы и численный пример.

Naslov pisca:

Mr Davor Nevečerel, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, 41000 Zagreb, Proleterskih brigada 37

Uredništvo primilo rukopis 1982 — 08 — 02

RADIOLOŠKI UTJECAJ NA OKOLINU ZBOG ISPUŠTANJA PLINOVITIH EFLUENATA U AKCIDENTALNIM SITUACIJAMA NUKLEARNE ELEKTRANE

Mr Jure Ćurković, Zagreb

UDK 621.039.58
ORIGINALNI – ZNANSTVENI RAD

Opisane su metode za procjenu radijusa ekskluzivne zone i zone niske naseljenosti te minimalne udaljenosti grada s više od 25000 stanovnika. Za procjenu navedenih udaljenosti koriste se različite pretpostavke koje su obuhvaćene s razvijenim računskim modelom AKCDOZ.

Ključne riječi: nuklearna elektrana, plinoviti efluenti, radiološki utjecaj, okoliš.

UVODNE NAPOMENE

U ovom radu razmotrit će se radiološki utjecaj na okolinu zbog ispuštanja plinovitih efluenata u akcidentalnim situacijama nuklearne elektrane. U akcidentalnim situacijama moguća su značajnija ispuštanja radionuklida u okolinu. Pri tome je vjerojatnost ispuštanja određene količine radionuklida obrnuto proporcionalna s njihovom aktivnosti. U najvećim nezgodama potencijalne količine radionuklida ispuštene u okolinu mogu biti vrlo visoke. Međutim, vjerojatnost takvih nezgoda je izuzetno mala.

Da bi dospio u okolinu, određeni radioizotop treba da prođe barem tri ozbiljne i podjednake prepreke od kojih već prolaz kroz prvu prepreku predstavlja akcidentalnu situaciju. Zbog toga postoji vrlo mala vjerojatnost da, ako se nezgoda i dogodi, znatnije količine radionuklida prodru u okolinu. To je donekle potvrđeno i nezgodom na nuklearnoj elektrani Three Mile Island u SAD koju mnogi svrstavaju u tzv. IX stupanj, dakle u nezgode koje se događaju izuzetno rijetko (jedna pojava na 20 milijuna efektivnih radnih sati), pa ipak radioaktivnost ispuštena u okolinu bila je gotovo beznačajna.

Pri ocjeni radioloških posljedica potrebno je prihvatiti numeričke pretpostavke. U brojčanim primjerima te su pretpostavke rezultat krajnje konzervativnih prosuđivanja. Činjenica je da mnoge fizikalne pojave, pogotovo transport fisijskih produkata u stanju nezgode, još ni danas nisu razjašnjene toliko da bi se mogle izraditi točnije prognoze. Klasifikaciju pojedinih nezgoda određuje prije svega vrsta uzetih pretpostavki.

NRC* klasifikacija akcidentalnih situacija

NRC klasificira akcidentalne situacije na ovaj način:

1 – Trivijalni incidenti, npr. rutinski ispusti radioaktivnosti iz elektrane
2 – Mali ispusti radioaktivnost izvan containmenta, npr. ispuštanje radioaktivnosti kroz parne odušne ventile, male pukotine i slične otvore
3 – Kvar na sistemu za obradu radioaktivnih otpadaka
  3.1 – greška na opremi sistema za obradu radioaktivnog otpada
  3.2 – ispuštanje sadržine spremnika za skladištenje plinovitog otpada
  3.3 – ispuštanje sadržine spremnika za skladištenje tekućeg otpada
4 – Prodiranje fisijskih produkata u primarni sistem (BWR)
  4.1 – defekti na košuljici goriva
  4.2 – konstrukcijske greške koje uzrokuju greške na gorivu iznad očekivanih
5 – Prodor fisijskih produkata u primarni i sekundarni sistem (PWR)
  5.1 – defekti košuljice goriva i propuštanje parogeneratora
  5.2 – konstrukcijske greške koje uzrokuju greške na gorivu i propuštanje parogeneratora
  5.3 – pucanje cijevi parogeneratora
6 – Nezgode pri izmjeni goriva
  6.1 – pad gorivog elementa
  6.2 – pad teškog predmeta na gorivo u jezgri
7 – Nezgode pri rukovanju isluženim gorivom
  7.1 – pad gorivog snopa u bazen za isluženo gorivo
  7.2 – pad teškog predmeta na kolica za transport isluženog goriva
  7.3 – pad bačve za isluženo gorivo
8 – Nezgode koje se smatraju kao konstukcijska osnova u sigurnosnom izvještaju
  8.1 – izostanak funkcije hlađena (LOCA*)
  8.1.a – kidanje kabela za instrumente koji se nalaze u primarnom sistemu (PWR)
  8.2.a – nezgoda pri izvlačenju kontrolne šipke (PWR)
  8.2.b – nezgoda pri izvlačenju kontrolne šipke (BWR)
  8.3.a – pucanje parovoda (PWR – izvan containmenta)
  8.3.b – pucanje parovoda (BWR)

1.2 ANS** klasifikacija akcidentalnih situacija

ANS akcidentalne situacije svrstava u četiri kategorije s obzirom na pretpostavljenu učestalost kvara i s obzirom na potencijalne radiološke posljedice po stanovništvo i okolicu, i to:

* NRC – Nuclear Regulatory Commission

* LOCA – Loss – Of – Colant – Accident
** ANS – American Nuclear Society

a) stanje 1 – normalan rad i pogonske prijelazne pojave,
b) stanje 2 – kvarovi umjerene učestalosti,
c) stanje 3 – rijetke nezgode,
d) stanje 4 – granični kvarovi.

1.2.1. Stanje 1 – normalan rad i pogonske prijelazne pojave

događaji stanja 1 jesu oni koje se očekuje često ili redovno pri radu na snazi, izmjeni goriva, održavanju ili manevriranju s postrojenjem. Događaji stanja 1 prilagođeni su tako da postoji sigurnosni razmak između svakog parametra nuklearne elektrane i vrijednosti tog parametra koje bi zahtijevale bilo automatsku, bilo ručnu zaštitnu akciju.

Ako događaji stanja 1 nastupaju često ili redovito, treba ih razmatrati s gledišta njihova utjecaja na posljedice akcidentalnih situacija stanja 2,3 i 4. S tim u vezi analiza bilo kojeg opisanog stanja kvara općenito se zasniva na mnoštvu konzervativnih početnih uvjeta što odgovaraju najnepovoljnijim uvjetima, koji bi mogli nastupiti tokom pogona u stanju 1.

Karakteristična lista događaja stanja 1:

1.1 Operacije u stacionarnim stanjima i pri obustavljenom reaktoru

a) rad na snazi (od cca 15 do 100% pune snage),
b) pokretanje (ili stanje pripravnosti), (kritičan, 0 do 15% pune snage),
c) stanje vrućeg gašenja (potkritičan, sistem za odvod ostatne topline je u radu),
d) stanje hladnog gašenja (potkritičan, sistem za odvod ostatne topline je izdvojen),
e) izmjena goriva.

1.2 Rad s dozvoljenim odstupanjem

Razna odstupanja do kojih može doći za vrijeme kontinuiranog rada prema tehničkim specifikacijama nuklearne elektrane treba razmotriti zajedno s drugim načinima rada. Ta odstupanja uključuju:

a) rad s komponentama ili sistemima izvan pogona,
b) ispuštanje iz goriva s oštećenom oblogom,
c) radioaktivnost u reaktorskom hladiocu
   — fisioni produkti
   — korozioni produkti
   — tricij,
d) rad s generatorom pare koji ispušta do maksimalne vrijednosti koju dopuštaju tehničke specifikacije,
e) ispitivanja koja dopuštaju tehničke specifikacije.

1.3. Pogonske prijelazne pojave

a) grijanje i hlađenje postrojenja,
b) skokovite promjene opterećenja (do ± 10%,)
c) postepene promjene opterećenja (do 5% na minutu),
d) rasterećenje do uključivo s projektnim prijelaznim pojavama kod rasterećenja.

1.2.2. Stanje 2 – kvarovi umjerene učestalosti

Ove nezgode u najgorem slučaju dovode do obustave reaktora, pri čemu je postrojenje sposobno za ponovi rad. Po definiciji se takvi kvarovi ne šire, pa ne uzrokuju teže kvarove, tj. stanja 3 ili 4. Osim toga, pri nastupu događaja stanja 2 ne očekuje se kvar šipki goriva ili prekomjerni tlak u sistemu reaktorskog hladioca. U ovu kategoriju uvrštavaju se sljedeće situacije:

— nekontrolirano izvlačenje grupe regulacionih snopova u podkritičnom stanju
— nekontrolirano izvlačenje grupe regulacionih snopova kada je reaktor na snazi
— neporavnanost regulacijskih snopova
— nekontrolirano razređenje bora
— djelomični gubitak prisilnog protoka reaktorskog hladioca
— stavljanje u pogon neaktivnog kruga reaktorskog hladioca
— ispad vanjskog električnog napajanja
— ispad glavnih napojnih pumpi
— zamračenje elektrane (ispod vanjskog i rezervnog napajanja)
— prekomjerno odvođenje topline zbog pogrešnog djelovanja sistema napojne vode
— prekomjerni porast opterećenja
— nezgode s uređajem za rasterećenje tlaka sistema reaktorskog hladioca
— nezgoda s tlačnim rasterećenjem sistema glavnog parovodnog sistema
— nepoželjno djelovanje ECCS* kod rada reaktora na snazi.

1.2.3. Stanje 3 – rijetke nezgode

Po definiciji događaja stanja 3 jesu nezgode do kojih rijetko dolazi u životnoj dobi elektrane. To su kvarovi samo manjeg dijela šipki goriva, ako nastlo oštećenje goriva može spriječiti ponovni pogon za dulje vrijeme. Ispuštanje radioktivnosti nije toliko da bi sprečavalo javnu upotrebu područja izvan ekskluzivne zone. Nezgoda stanja 3 ne uzrokuje sama po sebi nastanak kvara stanja 4 i zbog nje ne dolazi do gubitka funkcije reaktorskog rashladnog sistema niti barijera containmenta. U ovu kategoriju akcidentalnih situacija svrstane su sljedeće nezgode:

— gubitak reaktorskog hladioca radi lomova manjih cijevi ili pucanja većih cijevi koje pokreću prisilno hlađenje jezgre
— manji lomovi cijevi u sekundarnom sistemu
— nenamjerno stavljanje elemenata goriva u nepravilni položaj
— potpuni gubitak prisilnog protoka reaktorskog hladioca
— pucanje posuda za raspad plinova
— izvlačenje pojeidnog regulacionog snopa kod rada na punoj snazi.

1.2.4. Stanje 4 – granični kvarovi

Događaji stanja 4 jesu kvarovi koji se ne očekuju, ali se analiziraju jer kod njihova nastupanja može doći do oslobađanja znatne količine radioaktivnih materijala. To su najdrastičnije nezgode koje projekt mora još podnijeti, te tada predstavljaju granične projektne slučajeve. Kvarovi stanja 4 ne smiju prouzročiti takvo oslobađanje fisijskih produkata u okolini koje bi prouzročilo nedopušteni rizik za zdravlje i sigurnost stanovništva iznad vrijednosti iz 10 CFR 100. Pojedini kvar stanja 4 nije takav da bi prouzročio ispad zahtijevanog djelovanja onih sistema koji se suprostavljaju kvaru, uključivši i sistem za prisilno hlađenje jezgre i containmenta. U ovu kategoriju nezgoda uvrštavaju se sljedeći kvarovi:

*ECCS – sistem za prisilno hlađenje jezgre u nuždi

— veći lomovi cijevi u sistemu reaktorskog hladioca (nezgoda s gubitkom hladioca)
— veći lomovi cijevi sekundarnog sistema
— lom cijevi generatora pare
— blokiranje rotora pojedine pumpe reaktorskog hladioca
— nezgoda kod manipulacije s gorivom
— lom kućišta pogonskog mehanizma regulacione šipke (izbacivanje regulacionog snopa).

2. ATMOSFERSKI DISPERZIJSKI MODEL ZA PROCJENU POSLJEDICA POTENCIJALNIH AKCIDENATA U NUKLEARNOJ ELEKTRANI

Za određivanje faktora razrjeđenja (X/Q) u akcidentalnim situacijama pretpostavlja se prizemno ispuštanje radioaktivnih plinovitih efluenata. Prizemne vrijednosti faktora razrjeđena (X/Q), (—prizemna koncentracija, —veličina emisije) mogu se odrediti Gaussovim modelom transporta i difuzije za kontinuirani točkasti izvor ako se raspolaže s podacima dobivenim s meteorološkog tornja ili korištenjem preporuka danih u Regulatory Guide 1.4 ko se ne raspolaže kvalitetnim podacima za određivanje stabilnosti atmosfere. U razvijenom modelu koji je opisan u ovom radu mogu se računati faktori razrjeđenja na oba navedena načina.

2.1. Atomsferski difuzijski model prema Regulatory Guide 1.145 (Gaussov model)

Osnovna pretpostavka modela je prostorna konstantnost smjera i brzine vjetra kao i stabilnosti. Veličine (X/Q) određuju se u centru dimne struje, gdje je koncentracija najviša, i to na udaljenostima od 100 do 10000 metara s korakom od: 100 m do 3000 m, 200 m do 5000 i 500m do 10000 metara. Udaljenosti su odabrane tako da se može odrediti radijus ekskluzivne zone (Exclusion area, EA), radijus zone niske naseljenosti (Low population zone, LPZ), udaljenosti na kojima treba očekivti maksimalne prizemne koncentracije kod pojedinih stanja stabilnosti atmosfere te udaljenost najbližeg populacijskog centra (Population Center Distance, PDC).

U američkoj regulativi definirana su tri pojma vezana za naseljenost u okolini neklearne elektrane, i to na sljedeći način (10 CFR Part 100. App.A, 100.3 i 100.11):

1. Ekskluzivna zona (Exslusion area, EA) predstavlja područje koje neposredno okružuje reaktor. U toj zoni ne može biti stalno naseljenih ljudi, ali mogu prolaziti javne komunikacije, ako se može u najkraćem roku efikasno izvršiti evakuacija i spriječiti dalji promet.
2. Zona niske naseljenosti (Low population zone, LPZ) obuhvaća ekskluzivnu zonu;) ona može biti naseljena. razmještaj stanovništva u ovoj zoni mora biti takav da je u slučaju nezgode moguće intervenirati na odgovarajući način i izvršiti zaštitu ili evakuaciju stanovništva.
3. Udaljenost najbližeg populacijskog centra (Population center destance, PCD) znači udaljenost od reaktora do najbližeg ruba gusto naseljenog centra (grada) s više od 25000 stanovnika.

Za određivanje radijusa EA, LPZ i PCD koriste se također pretpostavke o ispuštanju radioaktivnih materijala u uvjetima najtežih nezgoda u elektrani i uz prepostavku ekstremno loših meteoroloških prilika. Za određivanje nezgoda najtežeg tipa koriste se različite pretpostavke koje su vrlo konzervativne, a sve uključuju izostanak funkcije hlađenja (tzv. Loss of Coolant Accident, LOCA).

Pri takvim pretpostavkama minimalni radijus ekskluzivne zone treba da proizlazi iz uvjeta da čovjek koji se nalazi i ostane kroz period od dva sata na rubu te zone ne primi radioaktivnu dozu veću od 25 rema (za čitavo tijelo), odnosno 300 rema (žlijezda štitnjača).

Najmanji radijus zone niske naseljenost slijedi iz uvjeta da u slučaju pretpostavljenog akcidenta čovjek koji se nalazi na rubu te zone kroz cijeli period prolaska radioaktivnog oblaka ne primi, bez obzira na meteorološke i druge prilike, navedene radioaktivne doze.

Udaljenost najbližeg populacijskog centra mora biti barem za 1/3 veća od radijusa zone niske naseljenosti, a ako se radi o velikim gradovima, i proporcionalno veća.

Za svaki sektor u smjeru vjetra treba izračunati vrijednost (X/Q) (za svaku značajniju točku ispuštanja) na granici EA i na vanjskoj granici LPZ. Za svaki od 16 sektora udaljenost za granicu EA ili vanjsku granicu LPZ kod izračunavanja vrijednosti (X/Q) treba biti minimalna udaljenost od dimnjaka ili u slučaju ispuštanja kroz ventilacijski otvor ili penetracije zgrade najbliža točka na zgradi, granici EA ili vanjskoj granici LPZ.

Za slučaj ispuštanja plinovitih efluenata kroz visoki dimnjak nuklearne elektrane maksimalna prizemna koncentracija u sektoru može se pojaviti izvan granice EA ili vanjske granice LPZ. Zbog toga za ispuštanje kroz dimnjak vrijednosti (X/Q) treba izračunati u svakom sektoru za granicu udaljenosti EA, vanjsku granicu udaljenosti LPZ i na različitim udaljenostima izvan ovih granica da bi se odredila maksimalna relativna koncentracija.

Satne vrijednosti (X/Q) mogu se uzeti prema lit. 2, 9, ujedno kao i dvosatne. Izračunavanje vrijednosti (X/Q) zasnovano je na prosječnim meteorološkim podacima za period od jednog sata, a može se koristiti i za period od dva sata. Ta pretpostavka je razložno konzervativna jer se pretpostavljaju male varijacije vrijednosti (X/Q) izračunate s prosječnim meteorološkim podacima za period od dva sata u odnosu na one izračunate za period od jednog sata.

U nastavku se daje procedura za izračunavanje »dvosatnih« vrijednosti (X/Q).

2.1.1. Ispuštanje kroz ventilacijski otvor ili penetracije zgrada

U ovaj tip svrstavaju se sve točke ispuštanja niže od 2,5 visina okolnih zgrada (lit. 2). Za ovaj tip ispuštanja dimno nadvišenje se ne proračunava. Da se dobiju što realnije vrijednosti relativnih koncentracija (X/Q), potrebno je definirati dva tipa meteoroloških uvjeta, i to:

a) Za vrijeme neutralnih (D) ili stabilnih (E, F i G) atmosferskih uvjeta, kada je brzina vjetra na 10 m iz-

nad tla (U_{10}) manja od 6 m/s, te kada se uzme u obzir horizontalno krivudanje (meander) perjanice, veličina relativne koncentracije (X/Q) na nivou zemlje ispod centralne osim perjanice može se odrediti selektivnom upotrebom jednadžbi (1), (2) i (3) koje glase:

$$\left(\frac{X}{Q}\right) = \frac{1}{U_{10}(\pi \sigma_Y \sigma_Z + A/2)} \quad (1)$$

$$\left(\frac{X}{Q}\right) = \frac{1}{U_{10}(3\pi \sigma_Y \sigma_Z)} \quad (2)$$

$$\left(\frac{X}{Q}\right) = \frac{1}{U_{10}\pi \Sigma_Y \sigma_Z} \quad (3)$$

gdje je:

$\left(\frac{X}{Q}\right)$ (s/m³) — relativna koncentracija

U_{10} (m/s) — prosječna brzina vjetra na 10 m iznad tla

σ_Y (m) — difuzijski koeficijent u smjeru okomitom na smjer vjetra

σ_Z (m) — difuzijski koeficijent u vertikalnom smjeru

A (m²) — površina vertikalnog presjeka reaktorske zgrade

Σ_Y (m) — vrijednost koja je ovisna o brzini vjetra i udaljenosti od reaktora

$$\Sigma_Y = M \cdot \sigma_Y \qquad \text{za } X \leq 800 \text{ m}$$
$$\Sigma_Y = (M-1)\sigma_{Y\,800\,m} + \sigma_Y \qquad \text{za } X > 800 \text{ m}$$

M — korekcijski faktor zbog meandriranja zračnih strujanja.

Smanjenjem brzine vjetra koncentracije rastu. Međutim, kod veoma slabih vjetrova javlja se tzv. meandriranje, odnosno pojava izrazite promjenjivosti smjera vjetra. Ono djeluje u smislu smanjenja prizemnih koncentracija, a uvodi se u modele umjetnim povećanjem lateralne disperzije. Preporuke za uvažavanje meandriranja nisu usklađene. U lit. 1 uvodi se korekcijski faktor M = 4, tako da je modificirani lateralni koeficijent disperzije:

$$\sigma_Y' = 4\,\sigma_Y \quad (4)$$

pri čemu su σ_Y vrijednosti dobivene pomoću Pasquillovih krivulja.

Korekcija se provodi za U < 2,0 m/s. Preporuka NRC u lit. 2 jest da se korekcijski faktor M promatra kao funkcija stabilnosti i kao funkcija brzine, pri čemu se meandriranje razmatra sve do U = 6 m/s (sl. 1).

Međutim, u slučaju obiju modifikacija dolazi do diskontinuiteta kod gornjih graničnih brzina, tako da se daljnjim porastom brzine, ali bez korekcije M u modelu, koncentracije povećavaju u nekom intervalu brzina. Budući da je takva pojava fizikalno neopravdana, uveden je u ovom modelu takav korekcijski faktor koji će zadržati karakteristike faktora M u lit. 2, ali koji će istovremeno omogućiti kontinuiran prijelaz od modela s uključenim efektom meandriranja na model s većim brzinama gdje nema korekcijskog faktora. To je, u skladu s lit. 2, izvedeno za klase stabilnosti G, F, E i D, pri čemu je u ovom modelu uveden za:

— donji prag brzine U = 0,3 m/s
— gornji prag brzine U = 4 m/s

što određuje interval brzina za koji se uvažava meandriranje. Korekcijski faktori pri tome su različiti za pojedine klase stabilnosti, a određuju se iz općeg oblika jednadžbe:

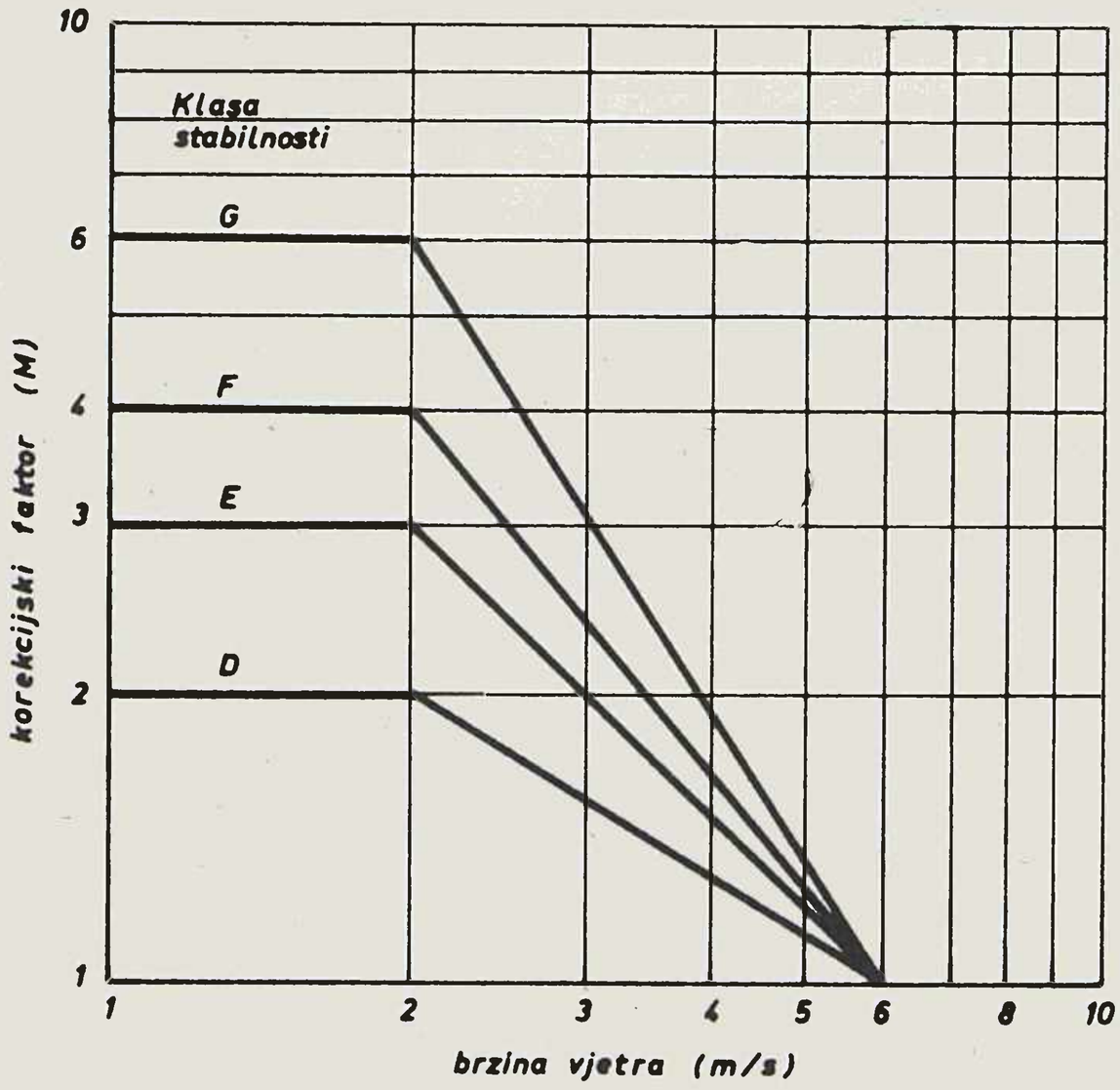
$$M = a \cdot U^{-b} \quad (5)$$

gdje je M — vrijednost faktora iz lit. 2 za određenu brzinu vjetra (U), (sl. 1), dok (a) i (b) treba odrediti iz graničnih uvjeta.

Općenito, najveća je korekcija uz stabilnost G i brzinu vjetra 0,3 m/s (M = 6). Kod drugih stabilnosti uzeto je prema lit. 2, M = 4 (S = F), M = 3 (S = E) i M = 2 (S = D).

Veličina A/2 u izrazu (1) uzima se u obzir utjecaj zgrade reaktora na širenje efluenata (tzv. wake–effect). Površina poprečnog presjeka reaktorske zgrade (A) iznosi za elektrane PWR tipa snage oko 1000 MW oko 2500-3000 m².

Relativna koncentracija (X/Q) računa se po jednadžbi (1), (2) i (3). Viša od vrijednosti dobivenih iz jednadžbi (1) i (2) usporedi se s vrijednosti iz (3) i niža vrijednost se usvaja kao mjerodavna za određivanje relativne koncentracije (X/Q).



Sl. 1. Korekcijski faktor M

Utjecaj vrtloženja i meandriranja zračnih strujanja na atmosfersku disperziju uzima se u obzir korištenje jednadžbi (1), (2) i (3). Jednadžbe (1) i (2) godinama su korištene za evaluaciju lokacija nuklearnih elektrana, ali u novije vrijeme se našlo da one daju previsoke procjene prizemnih koncentracija za vrijeme slabih vjetrova i stabilnih (E, F, G) ili neutralnih (D) atmosferskih uvjeta za jednosatno trajanje ispuštanja.

Jednadžba (3) je empirijska formulacija za računanje relativnih koncentracija (X/Q), temeljena na analizi

atmosferske difuzije, korištenjem eksperimentalnih rezultata. Mjerenjem prizemne koncentracije eksperimentalno je određena veličina lateralnog rasipanja perjanice zbog meandriranja zračnih strujanja i utjecaja zgrada (Σ_Y). Jednadžba (3) opisuje konzervativnu kombinaciju efekata meandriranja i utjecaja zgrada na atmosfersku difuziju u lateralnom smjeru za vrijeme slabih vjetrova i stabilnih (E, F, G) ili neutralnih (D) atmosferskih uvjeta (sl. 1).

Selektivna upotreba jednadžbi (1), (2) i (3) razmatrana je zbog:

1. horizontalnog meandriranja perjanice i sklonosti dominantnoj disperziji za vrijeme slabih vjetrova i stabilnih ili neutralnih atmosferskih uvjeta,
2. utjecaja zgrada zbog vrtloženja zračnih strujanja na disperziju efluenata, jer zbog prirasta brzine vjetra atmosferski uvjeti postaju manje stabilni.

Primjeri selektivne upotrebe difuzijskih jednadžbi (1), (2) i (3) dani su u lit. 2, Appendix A.

b) Za vrijeme nestabilnih (A, B, C) atmosferskih uvjeta, brzine vjetra 10 m iznad tla, jednake ili više od 6 m/s ($U_{10} \geq 6$ m/s), te kada se ne uzima u obzir horizontalno krivudanje perjanice, relativna koncentracija radioaktivnih plinovitih efluenata određuje se tako da se usvaja viša vrijednost dobivena iz jednadžbi (1) i (2).

2.1.2. Ispuštanje kroz visoki dimnjak

U ovaj tip svrstavaju se sve točke ispuštanja više od 2,5 visina okolnih zgrada (lit. 2). Za određivanje relativne koncentracije (X/Q) treba odvojeno uzimati u obzir uvjete **bez** zadimljenja i **sa** zadimljenjem.

a) Za uvjete **bez zadimljenja** (non fumigation) jednadžba za računanje prizemne relativne koncentracije ispod centralne osi perjanice, za ispuštanje kroz visoki dimnjak glasi:

$$\left(\frac{X}{Q}\right) = \frac{1}{\pi U_h \sigma_Y \sigma_Z} \exp\left(-\frac{H_e^2}{2\sigma_Z^2}\right) \qquad (6)$$

gdje je:

U_h (m/s) — brzina vjetra na nivou ispusta
H_e (m) — efektivna visina dimnjaka $H_e = h_s - h_t$
h_s (m) — inicijalna visina perjanice (obično stvarna visina dimnjaka) iznad kote elektrane
h_t (m) — maksimalna visina terena iznad kote elektrane za točku od interesa ($h_t \geq 0$).

Ostali parametri imaju isto značenje kao i u prethodnim jednadžbama.

b) Za atmosferske uvjete **zadimljenja** (fumigation) matematička formulacija za određivanje relativne koncentracije na nivou zemlje ispod osi perjanice glasi:

$$\left(\frac{X}{Q}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\, U_{He}\, \sigma_Y\, H_e}, \qquad H_e > 0 \qquad (7)$$

gdje je:

U_{He} (m/s) — reprezentativna brzina vjetra na visini H_e

Ostali parametri imaju isto značenje kao i u prethodnim jednadžbama.

Jednadžba (7) može se primijeniti imajući na umu to da izračunate vrijednosti relativne koncentracije (X/Q) postaju korištenjem ovog izraza nerealno velike ako je H_e malen (do reda veličine 10 m). Vrijednosti relativne koncentracije (X/Q) određene korištenjem izraza (7) treba da budu ograničene određenim fizičkim ograničenjima. Najviše prizemne vrijednosti relativne koncentracije (X/Q) iz visokih ispusta treba očekivati za vrijeme stabilnih atmosferskih uvjeta i pri malim brzinama vjetra, kada perjanica nailazi na zapreke u okolini elektrane (tj. kada je $H_e = 0$). Međutim, uzdignute perjanice difundiraju kroz stabilni sloj prema gore, kao i prema dolje kroz zadimljeni sloj atmosfere. Prema tome, prizemne relativne koncentracije (X/Q) za visoke ispuste, pri uvjetima zadimljene atmosfere, ne mogu biti više od onih izazvanih s nezadimljenim stabilnim atmosferskim uvjetima s $H_e = 0$. Za slučaj zadimljenja, (F) stabilnost i brzina vjetra (2 m/s), jednadžba (6) može se koristiti umjesto jednadžbe (7) na udaljenostima većim od udaljenosti kod koje su vrijednosti relativne koncentracije (X/Q) određene korištenjem izraza (6) s ($H_e = 0$) i izraza (7), jednake.

2.1.3. Korekcija za male brzine

Korekcija za male brzine uvodi se kod parametara horizontalne difuzije σ_Y tako da za:

$$0{,}3 < U < 4{,}0 \text{ m/s}$$

u formulu se ulazi s σ_Y koji je:

$$\sigma_Y' = a_s \cdot \sigma_Y \qquad (8)$$

Faktor korekcije (a_s) uvodi se za stabilnost s = G, F, E, D i jednak je:

$$\begin{aligned} a_G &= 2{,}61 \cdot U^{-0{,}63} \\ a_F &= 2{,}10 \cdot U^{-0{,}54} \\ a_E &= 1{,}80 \cdot U^{-0{,}42} \\ a_D &= 1{,}45 \cdot U^{-0{,}27} \end{aligned} \qquad (9)$$

U navedenim izrazima brzina vjetra (U) je bez indeksa da bi se naznačilo da je korekcija jednaka za brzinu na bilo kojoj visini.

2.1.4. Određivanje maksimalne sektorske vrijednosti relativne koncentracije (X/Q)

U nastavku se daje način računanja »sektorske vrijednosti (X/Q)« i »maksimalne sektorske vrijednosti (X/Q)« za granicu ekskluzivne zone (EA) i zone niske naseljenosti (LPZ).

Granica ekskluzivne zone (EA)

A) Opća metoda

Koristeći računane vrijednosti (X/Q) za svaki set podataka, treba odrediti kumulativnu distribuciju vjerojatnosti (X/Q) za svaki od 16 sektora. Svaku distribuciju treba opisati terminima vjerojatnosti danih vrijednosti (X/Q) koje su računane u tom sektoru to-

kom promatranog vremenskog intervala. Kada se raspolaže s vjerojatnosti pojavljivanja određene vrijednosti (X/Q) može se nacrtati krivulja ovisnosti (X/Q) u odnosu na pripadajuću vjerojatnost za svaki sektor, za gornju i donju granicu vrijednosti podataka.

Na taj način se dobije 16 krivulja, pomoću kojih se odredi vrijednost (X/Q), (0,5%)* koju premaši 0,5% vrijednosti u promatranom vremenskom intervalu. Najviša od tih vrijednosti definira se kao maksimalna sektorska vrijednost (X/Q), (0,5%).

B) Uvjeti zadimljenja (fumigation) za visoki ispust

U nastavku se daju pretpostavke za uzimanje u obzir uvjeta zadimljenja, na lokacijama u unutrašnjosti i na obali mora ili velikih jezera.

a) Lokacije u unutrašnjosti: Za ispuštanja kroz visoki dimnjak, na lokacijama udaljenim 3 200 m ili više od obale mora ili velikih jezera, pretpostavljaju se uvjeti zadimljenja u prvih 0,5 sati trajanja akcidenta. Za prva dva sata trajanja akcidenta, u prvih 0,5 sati računa se (X/Q) za uvjete zadimljenja, a u vremenu od 0,5 – 2 sata računa se (X/Q) za uvjete bez zadimljenja. Na taj način se dobije 16 sektorskih vrijednosti (X/Q). Ako je za prvih 0,5 sati izračunati (X/Q) za uvjete zadimljenja manji od (X/Q) za uvjete bez zadimljenja, pretpostavlja se trajanje uvjeta bez zadimljenja kroz cijeli period (0 – 2 sata).

Na taj način dobije se 16 vrijednosti (X/Q), a najviša među njima predstavlja maksimalnu sektorsku vrijednost (X/Q).

b) Lokacije na obali: Za ispuštanje plinovitih efluenata kroz visoki dimnjak na lokacijama udaljenim manje od 3 200 m od obale mora ili velikih jezera, za računanje (X/Q) pretpostave se uvjeti zadimljenja na granici ekskluzivne zone (EA), u vremenu 2 sata nakon akcidenta. Za svaki sektor računa se relativna koncentracija (X/Q) u atmosferskim uvjetima **sa** i **bez** zadimljenja za vremenski period 0 – 2 sata nakon akcidenta, i viša izračunana vrijednost se usvaja. Na taj način dobije se 16 vrijednosti (X/Q), a najviša među njima predstavlja maksimalnu sektorsku vrijednost (X/Q).

Granica zone niske naseljenosti (LPZ)

A) Opća metoda

Sektorska vrijednost (X/Q) za granicu zone niske naseljenosti (LPZ) računa se za različite vremenske periode. Vremenski periodi (0 – 8 sati, 8 – 24 sata, 1 – 4 dana i 4 – 30 dana) predstavljaju odgovarajući meteorološki režim (Regulatory Guide 1.70, lit. 10). Za dani se sektor srednja vrijednost (X/Q) za različite vremenske periode aproksimira logaritamskom interpolacijom između 2 – satne sektorske vrijednosti (X/Q) i godišnje (8760 sati) srednje vrijednosti (X/Q) za taj sektor. Za svaki vremenski period određuje se najviša od 16 sektorskih vrijednosti (X/Q). Na taj način dobiju se 4 vrijednosti (X/Q) (za svaki vemenski period po jedna), a najviša među njima predstavlja maksimalnu sektorsku vrijednost (X/Q).

B) Uvjeti zadimljenja (fumigation) za visoki ispust

Određivanje sektorske vrijednosti (X/Q) za uvjete zadimljenja na granici zone niske naseljenosti (LPZ) obavlja se uvažavajući pretpostavke o trajanju zadimljenja na lokacijama u unutrašnjosti i obali mora ili velikih jezera.

a) Lokacije u unutrašnjosti: Za ispuštanje kroz visoki dimnjak na lokacijama udaljenim 3 200 ili više m od obale mora ili velikih jezera, pretpostavlja se da se akcident dogodio u uvjetima zadimljenja i da ti uvjeti traju sljedećih 0,5 sati. Sektorska vrijednost (X/Q) određuje se identično kao u točki 2.1.4, 1 B.

b) Lokacije na obali: Za ispuštanja kroz visoki dimnjak na lokacijama udaljenim manje od 3 200 m od obale mora ili velikih jezera pretpostavlja se da se akcident dogodio u uvjetima zadimljenja i da ti uvjeti kontinuirano traju sljedeća 4 sata. Sektorska vrijednost (X/Q) određuje se isto kao u točki 2.1.4, 1 B.

2.1.5. Određivanje 5% vrijednosti (X/Q)

U nastavku se daje način određivanja vrijednosti (X/Q), (5%) koju premaši 5% vrijednosti relativne koncentracije u promatranom vremenskom intervalu na granici ekskluzivne zone (EA) i na vanjskoj granici zone niske naseljenosti (LPZ). Koristeći izračunate vrijednosti (X/Q), kumulativnu distribuciju vjerojatnosti treba odrediti za sve kombinirane smjerove. Dvosatna vrijednost (X/Q), koja se premaši u 5% vremenskog intervala, treba se izdvojiti iz ove krivulje kao disperzija uvjeta koje određuje tip ispuštanja što se promatra. Za svaki od 16 sektora srednja vrijednost (X/Q) za različite vremenske periode (lit. 10) aproksimira se s logaritamskom interpolacijom između 2 – satne i srednje godišnje sektorske vrijednosti (X/Q).

2.1.6. Selektivna upotreba vrijednosti (X/Q)

Vrijednost (X/Q) za granicu ekskluzivne zone (EA) ili vanjsku granicu zone niske naseljenosti (LPZ) dobije se uspoređujući vrijednosti (X/Q), (0,5%) i (X/Q) (5%). Viša od te dvije vrijednosti usvaja se kao mjerodavna za daljnje proračune.

Da bi se navedena procedura kvalitetno obavila, potrebno je raspolagati satnim vrijednostima (X/Q) najmanju toku jednogodišnjeg razdoblja. Na jednom mjestu to je ukupno 365 × 24 = 8760 godišnje satnih vrijednosti (X/Q). Iz tog skupa podataka određuje se vrijednost (X/Q) (0,5%) i (X/Q) (5%). Za vanjsku granicu zone niske naseljenosti treba izračunati smanjenje relativne koncentracije nakon 8 sati, 24 sata, 4 dana i 30 dana, koristeći se logaritamskom interpolacijom. Opisani postupak treba provesti za svaku udaljenost u svih 16 sektora.

0,5%* — dio od ukupnog vremena za koje se vrši analiza

2.2. Atmosferski difuzioni model prema Regulatory Guide 1.4 (PWR)

Model polazi od pretpostavke o konstantnosti smjera i brzine vjetra te stabilnosti atmosfere. Veličina (X/Q) određuje se u osi dimne struje gdje je koncentracija najveća i to na udaljenostima 100 do 10000 m. Osnove koje se daju u lit. 3 ne uključuju korekciju relativne koncentracije zbog utjecaja reaktorske zgrade, pa se u ovom modelu razmatraju dvije varijante:

a) kada se ne uzima korekcijski faktor zbog utjecaja reaktorske zgrade, izračunava se relativna koncentracija (X/Q) i s njom se radi kao s konačnom veličinom,

b) kada se uzima u obzir korekcijski faktor zbog utjecaja reaktorske zgrade, izračunava se relativna koncentracija i s njom se radi kao s konačnom veličinom

Uvažavajući navedeno, osnovna jednadžba atmosferske difuzije za prizemni izvor glasi:

$$\left(\frac{X}{Q}\right) = \frac{1}{\pi\, U\, \sigma_Y\, \sigma_Z} \qquad (10)$$

$$\left(\frac{X}{Q}\right) = \frac{1}{U\,(\,\pi\, \sigma_Y\, \sigma_Z + A/2\,)} \qquad (11)$$

Značenje pojedinih parametara u jednadžbama (10) i (11) isto je kao i u jednadžbi (1).

yJednadžba (10) uvažava izneseno pod a), a jednadžba (11) uvažava izneseno pod b). Jednadžbe (10) i (11) vrijede do 8 sati nakon akcidenta. Za vremena duža od 8 sati nakon akcidenta mora se uzeti u obzir šetanje osi perjanice po sektoru od 22,5⁰ tako da se po čitavom sektoru pretpostavlja maksimalna koncentracija radioaktivnih plinovitih efluenata.

Osnovna jednadžba atmosferske difuzije za navedeni slučaj glasi:

$$\left(\frac{X}{Q}\right) = \frac{2}{\sqrt{2\,\pi\, \sigma_z \cdot U \cdot X \cdot \Theta}} \qquad (12)$$

$$\left(\frac{X}{Q}\right) = \frac{2}{\sqrt{2\,\pi}\, U\, \Theta\,(\,\sigma_z \cdot X + A/2\,)} \qquad (13)$$

gdje je:

X — udaljenost od izvora emisije (m)
Θ — kut između radijalnih linija pomaknutih za 22,5⁰ (2 π/16 radijana).

Značenje pojedinih parametara u jednadžbama (12) i (13) isto je kao i u jednadžbi(1).

Jednadžba (12) ne uzima u obzir korekciju zbog utjecaja reaktorske zgrade, dok jednadžba (13) uzima uobzir navedenu korekciju.

Iako se u lit. 3 preporučuje uzimanje u obzir utjecaja reaktorske zgrade na atmosfersku difuziju samo za prvih 8 sati nakon akcidenta, u ovom radu je dan utjecaj reaktorske zgrade na atmosfersku difuziju za sve udaljenosti i za sve analizirane vremenske cikluse nakon akcidenta. U lit. 2 uzima se u obzir korekcija atmosferske difuzije zbog utjecaja reaktorske zgrade za sve vremenske cikluse i sve udaljenosti od izvora radioaktivnog oblaka. Ovdje je ovaj utjecaj usvojen u skladu s lit. 2.

Uzimanje u obzir ovog utjecaja s povećavanjem udaljenosti od izvora emisije (600 – 1000 m zavisno od poprečnog presjeka reaktorske zgrade) gubi svoj smisao.

Ovakav model se upotrebljava ako se ne raspolaže kvalitetnim meteorološkim podacima s lokacije nuklearne elektrane. Ako se raspolaže kvalitetnim podacima s lokacije, upotrijebit će se model opisan u točki 2.1.

Ovaj model se upotrebljava uvažavajući sljedeće pretpostavke:

0 – 8 sati nakon akcidenta pretpostavlja se stabilnost atmosfere (F), brzina vjetru U = 1 m/s, istog smjera

8 – 24 sati nakon akcidenta pretpostavlja se stabilnost atmosfere (F), brzina vjetra U = 1 m/s, varijabilnog smjera u sektoru od 22,5⁰

1 – 4 dana nakon akcidenta uzima se:
a) 40% stabilnosti atmosfere (D) i brzina vjetra U = 3 m/s
b) 60% stabilnosti atmosfere (F) i brzina vjetra U = 2 m/s
c) smjer vjetra šeta po sektoru od 22,5⁰

4 – 30 dana nakon akcidenta uzima se:
a) 33,3% stabilnosti atmosfere (C) i brzina vjetra U = 3 m/s
b) 33,3% stabilnosti atmosfere (D) i brzina vjetra U = 3 m/s
c) 33,3% stabilnosti atmosfere (F) i brzina vjetra U = 2 m/s
d) 33,3% frekvencije smjera vjetra šeta po sektoru od 22,5⁰

Ovaj model ima svojih prednosti i nedostataka. Jedna od najvećih prednosti ovog modela jest njegova jednoznačnost i jednostavnost. Velik nedostatak ovog modela jest taj što atmosferska difuzija ne ovisi o lokaciji, čime gube lokacije s boljim atmosferskim parametrima.

Ovakav model se upotrebljava dok se ne uspostavi rad meteorooškog tornja i dok se ne skupi dovoljan broj relevantnih meteoroloških podataka.

3. METODE ZA PRORAČUN DOZA ZRAČENJA U AKCIDENTALNIM SITUACIJAMA NUKLEARNE ELEKTRANE

Ovdje se daju metode koje su korištene za proračun doza zračenja izvan lokacije nuklearne elektrane, do kojih dolazi radi ispuštanja radioaktivnih materija kod nastupa različitih pretpostavljenih nezgoda. Pretpostavljene nezgode za koje ove metode vrijede jesu:

1) nesreće pri manipulaciji s gorivom,
2) pucanje posude za raspad plinovitih otpadaka,
3) pucanje cijevi generatora pare,
4) pucanje cjevovoda,
5) ispad napajanja s izmjeničnom strujom,

6) nezgoda s izbacivanjem šipke,
7) zostanak funkcije hlađenja (LOCA).

Polazi se od ovih pretpostavki:

1) Neposredno zračenje iz točkastih izvora zanemareno je u usporedbi s isijavanjem gama-zraka i beta-zraka radi potapanja u pobjegli radioaktivni oblak.

2) Sva ispuštanja radioaktivnih materija razmatraju se kao da nastupaju pri tlu, i to bez obzira na mjesto ispuštanja.

3) Prijemnik doze je standardni čovjek kojeg definira Međunarodna komisija za radiološku zaštitu (ICRP).

4) Radioaktivno raspadanje od mjesta ispuštanja do prijemnika doze zanemareno je.

5) Podaci o izotopima, kao npr. raspadne konstante i odavanja energije pri raspadu, uzeti su iz tablica izotopa (lit. 11).

3.1. Doza gama-zraka i beta-zraka

Doza gama-zraka i beta-zraka koju primi prijemnik doze dobije se s pretpostavkom da je prijemnik doze potopljen u radioaktivni oblak koji je beskonačan u svim smjerovima iznad ravnine tla, tj. da je potopljen u beskonačan, polukuglasti oblak. Računa se da je koncentracija radioaktivnih materija u tom oblaku homogena i jednaka najvećoj prizemnoj koncentraciji koja bi nastupila u oblaku na dotičnoj udaljenosti od mjesta ispuštanja.

Doza beta-zraka posljedica je zračenja beta-zraka izvana (gledajući na prijemnik doze), a doza gama-zraka posljedica je zračenja vanjskih gama-zraka. Pri izračunavanju doza za dano vremensko razdoblje upotrijebljene su jednadžbe koje opisuju beskonačni polukuglasti oblak, i to (lit. 3, 7):

$$DG_i = 0{,}25 \cdot \left(\frac{X}{Q}\right)_t \sum_i A_i \, EG_i \qquad (14)$$

$$DB_i = 0{,}23 \left(\frac{X}{Q}\right)_t \sum_i A_i \, EB_i \qquad (15)$$

gdje je:

DG_i, DB_i — doza gama (beta)-zraka od radionuklida **i** (rema)

$\left(\frac{X}{Q}\right)_t$ — faktor atmosferskog razrjeđenja za dano vremensko razdoblje (s/m^3)

A_i — aktivnost izotopa **i** koji se ispusti u danom vremenskom razdoblju, (Ci)

EG_i, EB_i — prosječna energija gama (beta) zraka koju pri raspadu isijava izotop **i**, (MeV/raspad).

3.2. Doza štitnjače radi inhalacije radiaktivnih materija

U vremenskom razdoblju (t) štitnjača primi dozu koja se izračuna iz sljedećeg izraza (lit. 7):

$$D_i = \left(\frac{X}{Q}\right)_t (BR) \sum_i Q_i (DCF)_i \qquad (3.3.)$$

gdje je:

D_i — doza štitnjače radi inhalacije radionuklida **i** (rema)

$\left(\frac{X}{Q}\right)_t$ — faktor atmosferskog razrjeđenja za dano vremensko razdoblje (s/m^3)

(BR) — količina udahnutog zraka (m^3/s)

Q_i — ukupna aktivnost izotopa joda **i** koji se ispusti u vremenskom intervalu **t** (Ci)

$(DCF)_i$ — pretvorbeni faktor doze na jodov izotop **i** (rema/inhaliranom Ci).

Podaci o izotopima dani su u tablici 1.

Tablica 1. Fizikalni podaci za izotope

Izotop	Konstanta raspada (sat^{-1})	Energija gama zraka, EG_i (MeV/raspadu)	Energija beta zraka, EB_i (MeV/raspadu)	Pretvorbeni faktor doze $(DCF)_i$ (rem/Ci)
I – 131	3,5856 E – 3*	0,371	0,197	1,48
I – 132	2,9700 E – 1	2,400	0,448	E – 6**
I – 133	3,3100 E – 2	0,477	0,423	5,35 E – 4
I – 134	7,9200 E – 1	1,939	0,455	4,00 E – 5
I – 135	1,0300 E – 1	1,779	0,308	2,50 E – 4
Kt – 85	7,9500 E – 6	0,002	0,223	1,24 E – 5
Kt – 85 m	1,4900 E – 1	0,151	0,233	–
Kr – 87	5,3300 E – 1	1,375	1,050	–
Kt – 88 m	2,5000 E – 1	1,743	0,341	–
Xe – 133	5,4700 E – 3	0,030	0,146	–
Xe – 133 m	1,2600 E – 2	0,033	0,155	–
Xe – 135	7,6000 E – 3	0,246	0,322	–
Xe – 135 m	2,7200 E – 0	0,422	0,097	–
Xe – 138	2,4500 E – 0	2,870	0,800	–

* 3.5856 E – 3 = 3,5856 × 10^{-3}
** 1,48 E – 6 = 1,48 × 10^{6}

Količine udahnutog zraka za »standardnog čovjeka« dane su u tablici 2.

Tablica 2.

Vremensko razdoblje (sati)	Količina udahnutog zraka ($m^3\ s^{-1}$)
0 – 8	3,47 E – 4
8 – 24	1,75 E – 4
24 – 720	2,32 E – 4

Energija gama-zraka, EG_i u tablici 1, uključuje rendgenske zrake i aninhalacijske gama-zrake ako one izlaze u elektroenergetskom spektru. Energije beta-zraka EB_i prosječne su količine u onom smislu da su energija zajedničkog spektra beta-zraka uzete u obzir kao da imaju 1/3 maksimalne energije beta-zraka.

4. AKCDOZ — MODEL ZA RAČUNANJE PRIMLJENE DOZE ZRAČENJA U AKCIDENTALNIMSITUACIJAMA NUKLEARNE ELEKTRANE

AKCDOZ je računski model za određivanje parametara atmosferske difuzije i računanje primljene doze zračenja u akcidentalnim situacijama u okolini nuklearne elektrane. Kao što se vidi iz blok-dijagrama (sl. 2), obuhvaćene su dvije metode za određivanje atmosferske difuzije (MRG = metoda koja slijedi iz interpretacije Regulatory Guide 1.4 i MG = metoda koja slijedi iz interpretacije Regulatory Guide 1.145) i metode za računanje doza zračenja u akcidentalnim situacijama (usp. t. 3. ovog rada). Računski model AKCDOZ razvijen je uz uvažavanje preporuka i uputa danih od IAEA (lit. 1) i NRC (lit. 2, 3, 4, 5, 6, 10).

Računski model AKCDOZ sastoji se od:

a) Datoteke s ulaznim podacima METEO. DAT u kojoj su dani ulazni podaci kako slijedi:

   — satne vrijednosti brzine i smjera vjetra. Za brzine i smjer vjetra trebaju se znati srednje satne vrijednosti, izmjerene anomografom na 10 metara iznad tla (analogni zapis). Potrebno je da instrument počinje mjerenje kod brzine vjetra ($U = 0{,}5\ m\ s^{-2}$). Manje brzine od navedenih priključuju se slučajevima tišina. Tišine se uključuju u model na način opisan u lit. 1.

   — Za vertikalni temperaturni gradijent ($\Delta T/\Delta Z$) treba da bude poznata srednja satna vrijednost, izmjerena instrumentom za mjerenje razlike temperatura, koji može imati odstupanje od $\pm$ 0,1 K, a razmak osjetnika treba da bude minimalno 40 metara. Ako se ne raspolaže izmjerenim vrijednostima ($\Delta T/\Delta Z$) mogu se koristiti i drugi podaci relevantni za klasifikaciju stabilnosti atmosfere.

   — Količina ispuštanja pojedinih radionuklida (Q_i) (Source Term akcidentalnih situacija) uzeta je u ovom radu za akcident koji uključuje izostanak funkcije hlađenja (LOCA), jer se na temelju njega određuju radijus EA, LPZ i PCD na način opisan u t. 2.1.

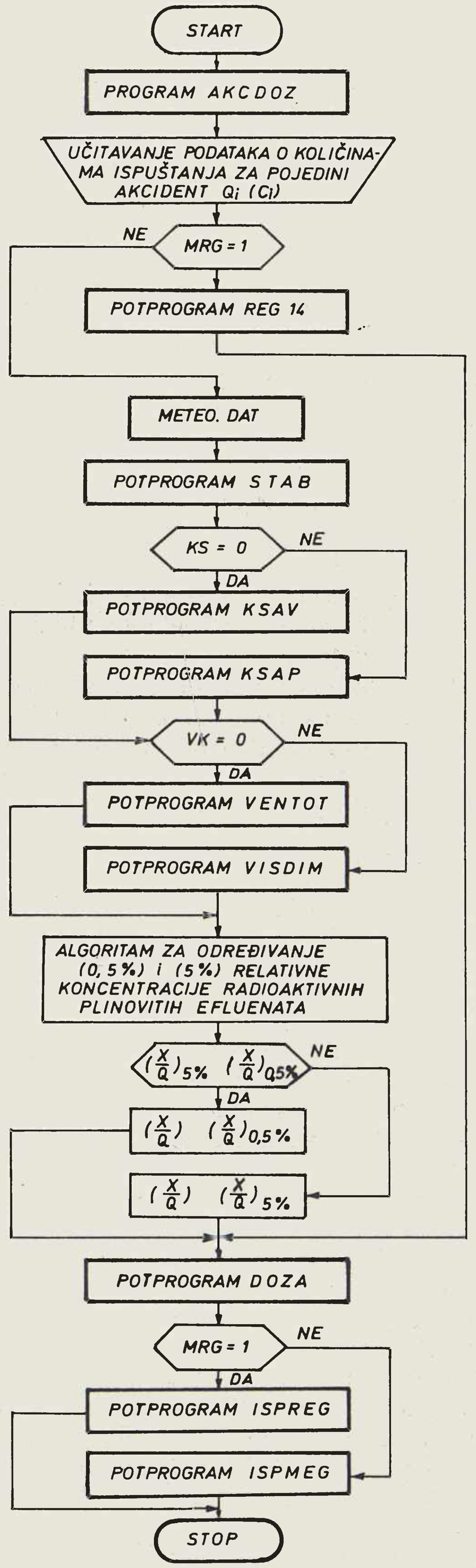
b) Potprogram REG 14 s kojim se određuje relativna koncentracija (X/Q) na temelju metode opisane u Regulatory Guide 1.4. (lit. 3). Ova metoda se koristi ako se ne raspolaže s kvalitetnim meteorološkim podacima s lokacije nuklearne elektrane. Osnove ove metode dane su u t. 2.2.

c) Potprogrami KSAV i KSAP koriste se za računanje koeficijenata stabilnosti atmosfere σ_Y i σ_Z. Potprogram KSAV koristi se za računanje koeficijenata stabilnosti atmosfere metodom Vogta, a potprogram KSAP metodom Pasquilla.

d) Potprogram VENTOT i VISDIM koriste se za računanje relativne koncentracije plinovitih efluenata (X/Q), ovisno o tome da li se plinoviti efluenti ispuštaju kroz ventilacijski otvor (VENTOT) ili visoki dimnjak (VISDIM). Osnove navedenih potprograma dane su u t. 2.

e) Način računanja relativne koncentracije (X/Q) (0,5% i 5%) opisan je u t. 2.1.4. i 2.1.5, pog. 2). Selektivno korištenje izračunanih vrijednosti (X/Q) (0,5 ili 5%) dano je u t. 2.1.6.

f) Potprogram DOZA koristi se za računanje doza od gama-zraka i beta-zraka te doze štitnjače koju primi standardni čovjek uronjen u oblak radioaktivnih plinovitih efluenata. Metodologija određivanja navedenih doza zračenja dána je u t. 3.



Sl. 2

g) Potprogrami ISPREG i ISPMEG koriste se za ispisivanje izlaznih podataka. Potprogram ISPREG koristi se za ispisivanje izlaznih podataka ako se za procjenu relativne koncentracije radioaktivnih plinovitih efluenata koristi metoda dana u Regulatory Guide 1.4 (lit. 3), a potprogram ISPMEG koristi se za ispisivanje izlaznih podataka ako se za procjenu relativne koncentracije radioaktivnih plinovitih efluenata koristi metoda dana u Regulatory Guide 1.145 (lit. 2).

Izlazni podaci su:

RK — relativna koncentracija (s/m³) izračunata prema Regulatory Guide 1.4 ako se zanemari utjecaj reaktorske zgrade na atmosfersku difuziju,

RKK — korigirana relativna koncentracija (s/m³) izračunata prema Regulatory Guide 1.4 ako se uzme u obzir utjecaj reaktorske zgrade na atmosfersku difuziju,

XQ — relativna koncentracija (s/m³) izračunata prema modelu danom u RG 1.145 (lit. 2)

D(I)* — doza štitnjače (rema) radi inhlacije radionuklida **i**

DKO (I) — doza štitnjače (rema) radi inhlacije radionuklida **i** ako se uzme u obzir RKK,

DGAM (I)* — doza gama zraka (rema) zbog potopljenosti u radioaktivni oblak, od radionuklida **i**

DGAMK (I) — doza gama-zraka (rema) zbog potopljenosti u radioaktivni oblak, od radionuklida **i** ako se uzme u obzir RKK,

DBET (I)* — doza beta-zraka (rema) zbog potopljenosti u radioaktivni oblak, od radionuklida **i**

DBETK (I) — doza beta-zraka (rema) zbog potopljenosti u radioaktivni oblak, od radionuklida **i** ako se uzme u obzir RKK.

5. NUMERIČKI PRIMJER ZA PROCJENU RADIOLOŠKOG UTJECAJA NA OKOLINU ISPUŠTANJA PLINOVITIH EFLUENATA U AKCIDENTALNIM SITUACIJAMA NUKLEARNE ELEKTRANE

Numerički primjer ima svrhu da prikaže korištenje metoda za procjenu doza zračenja u akcidentalnim situacijama nuklearne elektrane danih u ovom radu. Primjena navedenih metoda dat će se za nuklearnu elektranu tipa PWR, nazivne snage 1000 MW. Za procjenu relativne koncentracije radioaktivnih plinovitih efluenata koristit će se metoda koja slijedi iz interpretacije Regulatory Guidfe 1.4 (lit. 3), a ne metoda koja sliedi iz interpretacije Regulatory Guide 1.145 (lit. 2), jer se ne raspolaže kvalitetnim meteorološkim podacima s neke od lokacija nuklearnih elektrana. Za određivanje radijusa EA, LPZ i PCD (uspr. t. 2.1) korištene su pretpostavke o količinama ispuštanja pojedinih radionuklida (Q_i) za akcidentalnu situaciju koja uključuje izostanak funkcije hlađenja (LOCA), što je u skladu s lit. 9.

5.1 Ulazni podaci

a) Količine ispuštanja pojedinih radionuklida (Q_i) za akcidentalnu situaciju koja uključuje izostanak funkcije hlađenja, i to za nuklearnu elektranu tipa PWR nazivne snage 1000 MW dane su u tablici 3, a dobivene su korištenjem računskog modela AKCIDENT razvijenog za potrebe NE Krško.

b) Površina vertikalnog presjeka reaktorske zgrade za nuklearnu elektranu tipa PWR nazivne snage 1000 MW kreće se između 2500 – 3000 m². U ovom radu uzeta je površina vertikalnog pesjeka reaktorske zgrade 2750 m².

5.2 Izlazni podaci

Izlazni podaci iz računskog modela AKCDOZ dani su za udaljenosti 100 do 10000 m s korakom od: 100 m do 3000 m, 200 m do 5000 m i 500 m do 10000, i vre-

TABLICA 3 KOLIČINE ISPUŠTANJA ZA LOCA (PWR – 1000 MW)

Nuklid	Količina ispuštanja Q_i (Ci)				
	0-2 sata	2-8 sati	8-24 sati	1-4 dana	4-30 dana
I – 131,E*	1,35 E2**	9,01 E0	2,31 E1	4,43 E1	1,25 E2
I – 132, E	1,93 E2	3,45 E0	6,72 E – 1	2,72 E – 3	9,64 E – 13
I – 133, E	3,08 E2	1,79 E1	3,35 E1	2,18 E – 1	2,09 E0
I – 134, E	3,31 E2	1,03 E0	8,57 E – 3	1,20 E – 8	1,14 E – 33
I – 135, E	2,83 E2	1,18 E1	1,11 E1	1,32 E0	7,24 E – 4
I – 131, O	3,21 E1	3,96 E1	1,01 E2	1,95 E2	5,49 E2
I – 132, O	4,15 E1	1,52 E1	2,95 E0	1,20 E – 2	4,24 E – 12
I – 133, O	7,27 E1	7,87 E1	1,47 E2	9,58 E1	9,17 E0
I – 134, O	6,21 E1	4,52 E0	3,77 E2	5,26 E – 8	5,03 E – 33
I – 135, O	6,51 E1	5,21 E1	4,90 E1	5,79 E0	3,18 E3
I – 131, P	3,53 E1	3,71 E1	9,51 E1	1,83 E2	5,41 E2
I – 132, P	4,62 E1	7,38 E1	2,77 E0	1,12 E – 2	4,18 E – 12
I – 133, P	8,01 E1	4,24 E0	1,37 E2	8,98 E1	9,04 E0
I – 134, P	7,05 E1	4,88 E1	3,53 E – 2	4,93 E – 8	4,96 E – 33
I – 135, P	7,19 E1	3,57 E2	4,59 E1	5,42 E0	3,1 E – 3
Kr – 85	8,34 E1	4,79 E3	1,39 E3	3,59 E3	2,88 E4
Kr – 85 M	2,19 E3	1,73 E3	4,11 E3	,75 E2	2,21 E – 3
Kr – 87	3,20 E3	8,60 E3	1,03 E2	1,53 E – 2	6,78 E – 20
Kr – 87	5,60 E3	5,32 E4	3,65 E3	5,86 E1	6,71 E – 7
Xe – 133	1,27 E4	1,30 E3	1,96 E5	4,03 E5	7,44 E5
Xe – 133 M	3,21 E2	3,48 E4	4,42 E3	6,90 E3	4,14 E3
Xe – 135	1,13 E4	3,21 E0	6,21 E4	1,77 E4	5,82 E1
Xe – 135 M	1,02 E3	2,11 E1	6,46 E – 7	2,11 E – 25	0,00 E0
Xe – 138	3,61 E3		2,38 E – 5	7,77 E22	0,00 E0

* Sufiks E, O, P uz element znači elementarni, organski, u obliku čestica joda.
** 1.35 E2 = 1.35×10^2

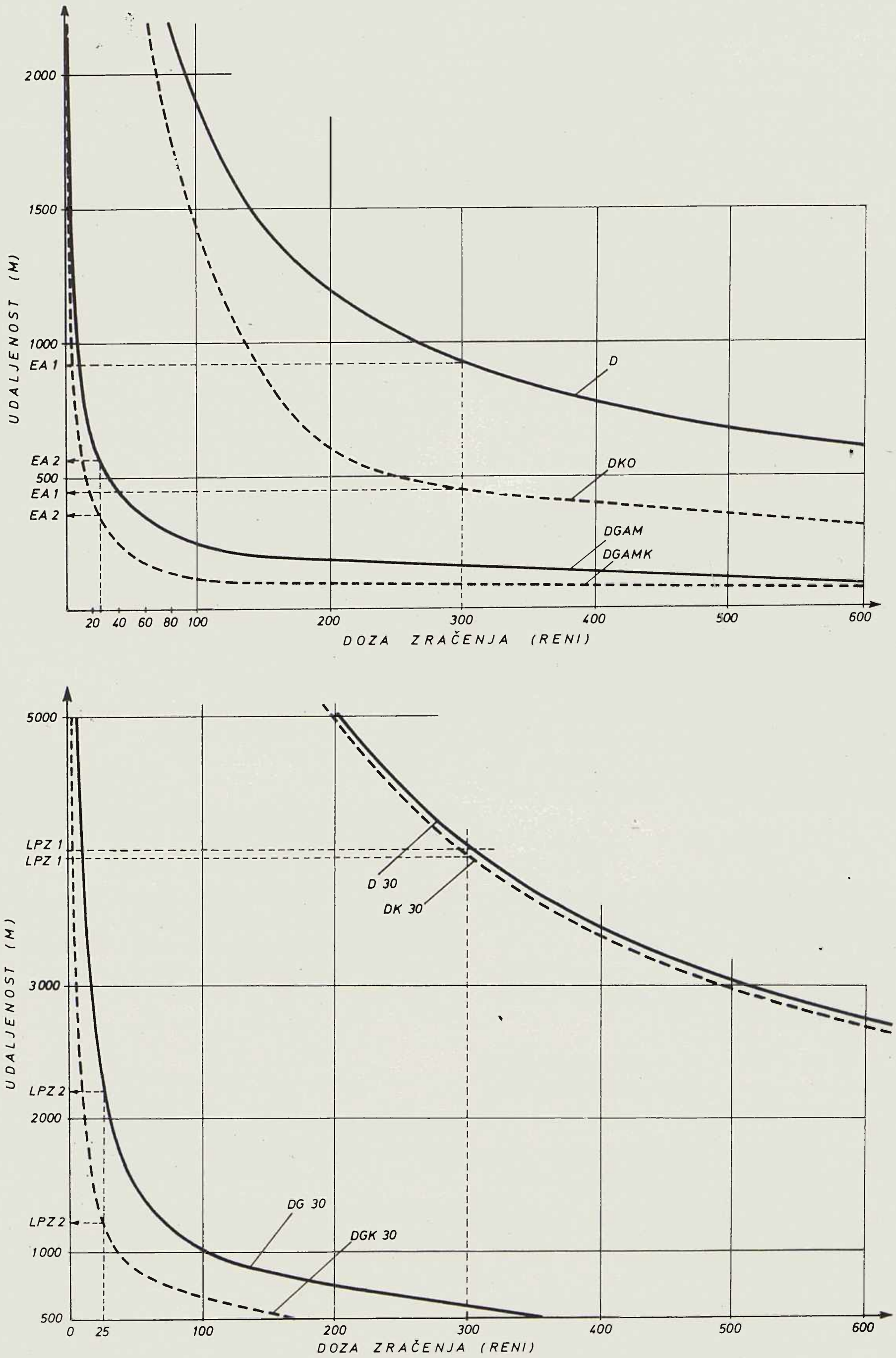
* Navedene doze računaju se s relativnom koncentracijom izračunatom ili prema RG 1.4 ili prama RG 1.145.

mena protekla nakon akcidenta 0 – 2 sata, 2 – 8 sati, 8 – 24 sata, 1 – 4 dana i 4 – 30 dana.

Rezultati dobiveni korištenjem navedenog računskog modela prikazani su dijagramom na slikama 3. i 4.

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Jedan od glavnih ciljeva analize doze zračenja zbog akcidentalnih situacija jest ocjena radijusa eksklu-



ziuvne zone (EA), radijusa zone niske naseljenosti (LPZ) i udaljenosti najbližeg populacijskog centra s više od 25000 ljudi (PCD). Za određivanje EA, LPZ te PCD koriste se pretpostavke dane u 10 CFR 100 (lit. 9) o ispuštanjima radioaktivnih sastojaka u uvjetima najtežih zamislivih nezgoda u nuklearnoj elektrani. Navedene pretpostavke su uglavnom konzervativne i sve uključuju nezgodu s gubitkom funkcije hlađenja (LOCA).

Za ocjenu EA, LPZ te PCD razvijen je računski model AKCDOZ, koji na temelju podataka o atmosferskoj difuziji i količina ispuštanja radioaktivnih plinovitih efluenata za pretpostavljenu akcidentalnu situaciju daje procjenu primljene doze zračenja za ukupno tijelu i štitnjaču na udaljenostima 100 do 10000 m od nuklearne elektrane. Koristeći i izlazne podatke iz ovog modela, koji su dobiveni na način opisan u t. 5. ovog rada, mogu se nacrtati dijagrami (sl. 3 i 4) s kojih se precizno može očitati radijus ekskluzivne zone (sl. 3) i radijus zone niske naseljenosti (sl. 4).

Uvažavajući uvjete dane u t. 2.1, a koji slijede iz 10 CFR 100 (lit. 9), na dijagramu sl. 3. naznačeni su radiusi ekskluzivne zone (EA 1, EA 2, EA 1' i EA 2'), a na dijagramu sl. 4. naznačeni su radijusi zone niske naseljenosti (LPZ 1, LPZ 2, LPZ 1' i LPZ 2'), koji su izračunani s (EA 1', EA 2', LPZ 1' i LPZ 2') ili bez (EA 1, EA 2, LPZ 1 i LPZ 2) uzimanja u obzir utjecaja reaktorske zgrade na atmosfersku difuziju. Prema Regulatory Guide 1.145 (lit. 2) i 1.4. (lit. 3), te prema IAEA Safety Guide (lit. 1) treba se uzeti u obzir utjecaj reaktorske zgrade na atmosfersku difuziju. Prema tome, u numeričkom primjeru (t. 5) mjerodavni su izračunati radijusi (EA 1', EA 2', LPZ 1' i LPZ 2'), dok se radijusi (EA 1, EA 2, LPZ 1 i LPZ 2) daju da bi se istakao red veličine utjecaja reaktorske zgrade na atmosfersku difuziju, a kroz nju i na radijuse navedenih zona.

Prema preporukama iz 10 CFR 100 (lit. 9) od izračunane vrijednosti radijusa ekskluzivne zone i zone niske naseljenosti EA 1' i LPZ 1' kada se uzme u obzir doza zračenja za štitnjaču i EA 2' i LPZ 2' kada se uzme u obzir doza zračenja za čitavo tijelo, bira se veća. Uvažavajući navedeno iz numeričkog primjera (t. 5), slijedi minimalan radijus ekskluzivne zone EA = 450 m (usp. sl. 3). U i minimalan radijus zone niske naseljenosti, LPZ = 3980 m (usp. sl. 4). Prema definiciji iznesenoj u t. 2.1, udaljenost najbližeg populacijskog centra s više od 25000 ljudi iznosi 5367 m.

EA 1— radijus ekskluzivne zone s obzirom na dozu štitnjače ako se ne uzima u obzir utjecaj reaktorske zgrade na atmosfersku difuziju

EA 1'— radijus ekskluzivne zone s obzirom na dozu štitnjače ako se uzima u obzir utjecaj reaktorske zgrade na atmosfersku difuziju

EA 2— radijus ekskluzivne zone s obzirom na dozu ukupnog tijela ako se ne uzima u obzir utjecaj reaktorske zgrade na atmosfersku difuziju

EA 2'— radijus ekskluzivne zone s obzirom na dozu ukupnog tijela ako se uzima u obzir utjecaj reaktorske zgrade na atmosfersku difuziju

LPZ 1— radijus zone niske naseljenosti s obzirom na dozu štitnjače ako se ne uzima u obzir utjecaj reaktorske zgrade na atmosfersku difuziju

LPZ 1'— radijus zone niske naseljenosti s obzirom na dozu štitnjače ako se uzima u obzir utjecaj reaktorske zgrade na atmosfersku difuziju

LPZ 2— radijus zone niske naseljenosti s obzirom na dozu ukupnog tijela ako se ne uzima u obzir utjecaj reaktorske zgrade na atmosfersku difuziju

LPZ 2'— radijus zone niske naseljenosti s obzirom na dozu ukupnog tijela ako se uzima u obzir utjecaj reaktorske zgrade na atmosfersku difuziju

LITERATURA

[1] IAEA Safety Guide No. 50–SG–S3, Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting, Vienna 1980.

[2] USNRC Reg. Guide 1.145, Atmospheric Dispersion Models for Potential Accident Consequence Assessments at Nuclear Power Plants, August 1979.

[3] USNRC Reg. Guide 1.4, Assumptions Used for Evaluating the Potential Rediological Consequences of a loss of Coolant Accident for PWR, Rew. 2., June 1974.

[4] USNRC Reg. Guide 1.23, Meteorological Programs in support of Nudear Power Plants, September 1980.

[5] USNRC Reg. Guide 4.2, Preparation of Environmental Reports for Nuclear Power Stations, Rev. 2, July 1976.

[6] USNRC Reg. Guide 8.8, Information Relevant to Ensuring that Ocuupationan Radiation Exposures at Nuclear Power Stations Will be As low As Reasonably Achievable

[7] G. Koval, Calculation of Total Dove–Accident Conditions, IAEA Training Course, Argone 1979.

[8] NEK, Final Satety analyses report, Accident Analyses (knjiga 15) and Radioactive Waste Management (knjiga 11)

[9] 10 CFR 100, Population Center Distance of Reactor Site Criteria, 1976.

[10] USNRC Reg. Guide 1.70, standard Format and Content of Satety Analisis Reports for Nuclear Power Plants, Rev. 3, 1978.

[11] C. M. Leaderer, et. al., Table of Isotopes, 6 th edition, 1968.

KEY WORDS: NUCLEAR POWER PLANT, RADIATION INFLUENCE, GASEOUS EFFLUENTS, ENVIRONMENT

RADIATION INFULENCE ON A SURROUNDING IN CASE OF ACCIDENTAL GASEOUS RELEASES IN NUCLEAR POWER PLANT

In the article are described methods for estimation of exclusive zone radius and zone of low population as well as minimal distance to city with more than 25000 inhabitants. For estimation of distances several presumptions that are included in developed computer programe AKCDOZ. are used.

DIE STRAHLUNGSEINWIRKUNG DER UMGEBUNG DURCH GASAUSSTROMUNGEN BEI UNFALLEN IN KERNKRAFTWERKEN

Beschrieben werden Methoden zur Schätzung der Bestimmung des Umkreises von Exklusivbereichen und des geringeren Besiedlungsgebietes, sowie des geringsten Abstandes von Orten über 25000 Einwohner. Zur Schätzung dieser Bereiche werden verschiedene Voraussetzungen angenommen, die mit dem EDV–Modell AKCDOZ ermittelt wurden.

РАДИОЛОГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ НА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Описаны методы оценки радиуса особой зоны и зоны малой населенности, а также минимального расстояния до населенных пунктов с населением свыше 25.000 человек. Для оценки упомянутых расстояний используются различные предпосылки, охваченные развернутой математической моделью АКЦДОЗ.

NASLOV PISCA:

MR JURE ĆURKOVIĆ, DIPL. INŽ.
INSTITU ZA ELEKTROPRIVREDU
41000 ZAGREB, PROLETERSKIH BRIGADA 37

UREDNIŠTVO PRIMILO RUKOPIS
1982 – 08 – 30

ISPRAVAK IZ PROŠLOG BROJA

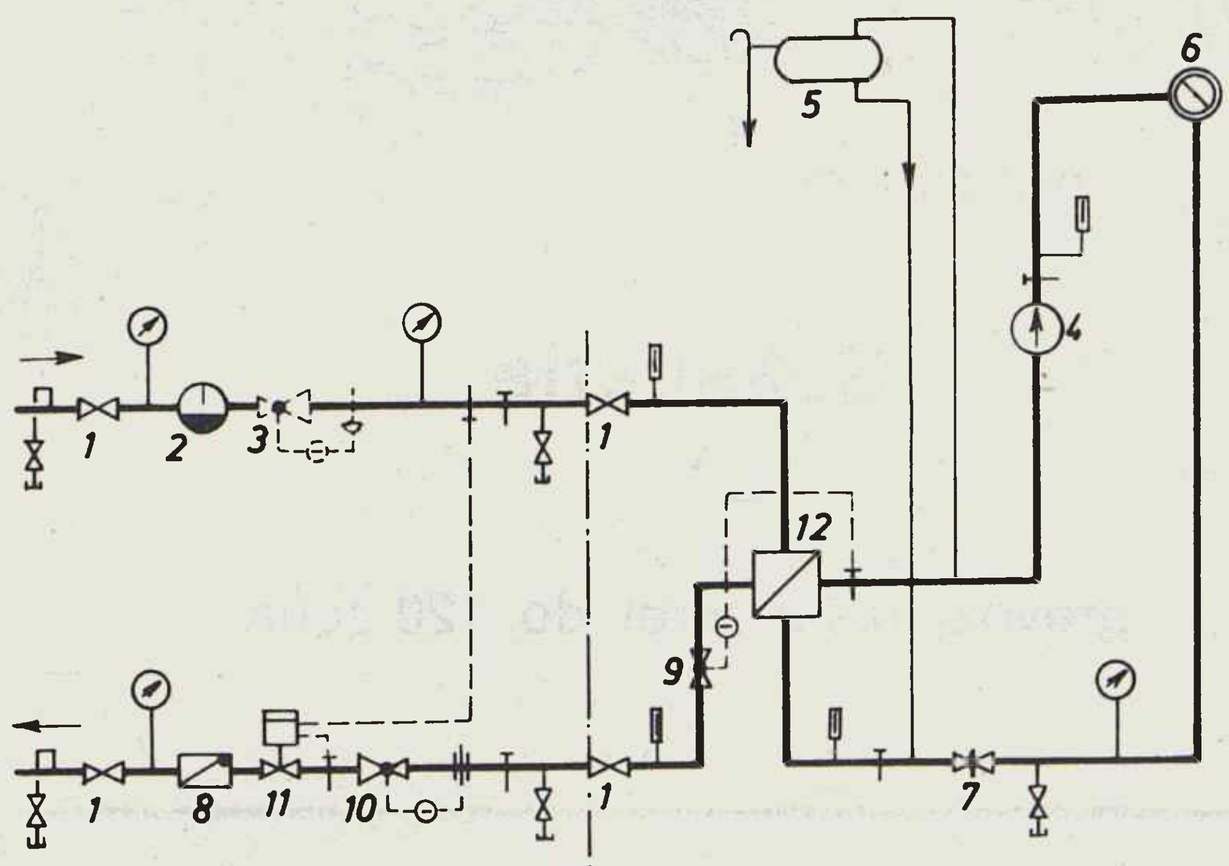
Zbog tehničkih poteškoća oko tiskanja broja 1/83. izostao je u članku inž. Franje Černohousa prikaz ove literature:

Literatura:

1. K. Bers: Heizkraftwerk Lichterfelde der BEWAG, Energie br. 3/1972.
2. F. Černohous: Analiza vršnih opterećenja elektroenergetskog sistema zapadne Hrvatske, Energija br. 5 – 6/1964.
3. M. Garms: Handbuch für den Heizungsingenieur
4. B. Gersdorff: Berlin – Beispiel der Elektrizitätsversorgung eines Ballungsgebietes, Energie br. 10/1974.
5. M. Haase: Einfluss der Kraft – Wärme – Kopplung auf die Kraftwerkstechnik, Mitteilungen der VGB 49, br. 5/1969.
6. M. Haase: Die Erweihrung des Bewag – Kaftwerkes Reuter, Energie br. 3/1970.
7. M. Haase: BEWAG – Heizkraftwerk Charlottenburg, Energie br. 3/1974.
8. H. Mühlhäuser: Dampfturbinen in konventionellen Fernheizkraftwerken, BBC Mitteilungen br. 9/1977.
9. P. Pantelić: Razvoj daljinskog grijanja u Beogradu, iskustva i značaj i dalje perspektive, III. Savjetovanje Toplana
10. Recknagel – Sprenger: Taschenbuch für Heizung, Lüftung und Klimatechnik
11. A. Schwarzenbach: Grundsätzliche Uberlegungen zur Strom – Wärme – Kupplung, BBC Mitteilungen br. 3/1980.
12. A. Schwarzenbach: Paritätsfaktoren für Wirtschaftlichkeitsvergleiche bei Strom – Wärme – Kupplung, BBC Mitteilungen br. 3/1980.
13. Ziegler – Eisenhauer: Rohrleitungen und Zubehör für Fernwärmenetze – Planung, Konstruktion, Berechnung
14. VDEW: Technische Richtlinien für Hausanschlüsse an Fernwärmenetze
15. Prospekti

a umjesto sl. 7 trebala je biti ova slika pod istim nazivom i istim brojem.

Slika 7 - Kućna toplinska stanica - indirektni priključak



5 - ekspanziona posuda

12 - izmjenjivač topline

Ostale oznake prema slici 6.

Ispričavamo se i autoru i čitateljima.

Uredništvo

ELEKTROPRIVREDA ZAGREB

OOUR **Elektroprenos**

ZAGREB

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti: prijenos električne energije, izraduje studije, razvoj i projektiranje, izgradnju i nadzor izgradnje elektroprijenosnih postrojenja i telekomunikacionih uređaja, te svojim vozilom marke

Kaelble

i prikolicom

Scheuerle

prevozi teški teret do 120 tona.

OOUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB

Proleterskih brigada 37 - Tel.: 513-822 i 511-455

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U SRH OD 1991. DO 2000. GODINE

Dr Goran Granić, Zagreb

UDK 621.31

PRETHODNO PRIOPĆENJE

U radu je napravljena projekcija budućeg razvoja potrošnje električne energije u SRH od 1991. do 2000. godine. Predviđanje potrošnje obavljeno je na temelju korelacije potrošnje električne energije i društvenog proizvoda (minimalni nivo potrošnje) i prema općoj zakonitosti potrošnje električne energije (maksimalni nivo potrošnje). Osim toga analiziran je utjecaj mogućeg razvoja potrošnje električne energije do 1990. godine na promatrani period.

Ključne riječi: Hrvatska, električna energija, potrošnja.

Uvod

Ako je sagledavanje potrošnje električne energije do 1990. godine složeno zbog poteškoća u kojima se cjelokupno društvo nalazi, a što se snažno odražava na potrošnju električne energije, onda je složenost predviđanja za 2000. godinu dvostruko, trostruko ili višestruku veće nego što je to slučaj za razdoblje do 1990. godine. Razlog tome je što se pogreške s godinama multipliciraju.

Prema predviđanjima koja su napravljena u studiji »Elektroenergetske osnove za 15-godišnji plan razvoja potrošnje i izgradnje izvora električne energije u Hrvatskoj do 1995. godine s osvrtom na 2000. godinu«, očekivala se u 2000. godini potrošnja oko 45000 GWh. Osnova takve prognoze bio je dotadašnji dinamični razvoj društva, a prema tome i visok porast potrošnje električne energije, te pretpostavke da će se zakonitosti iz prošlosti produžiti i u budućnost.Rezultati istraživanja razvoja potrošnje električne energije u studiji »Potrošnja električne energije u SRH do 2000. godine« pokazali su da se u razdoblju od 1975. do 1980. godine (analizirani su podaci za razdoblje 1960-1980. godine) nije ostvario očekivan prirast potrošnje električne energije. Osim toga za sagledavanje buduće potrošnje u razdoblju od 1981. do 2000. godine pretpostavljeno je da će društveni proizvod rasti po stopi od 4,0 do 5,0%, što je znatno niže od prije korištenih stopa (7%). Uz takve pretpostavke predviđena je potrošnja za 2000. godinu u iznosu od 33944,5 GWh ili u granicama od 30444 GWh, odnosno 37445 GWh.

Daljnje povećanje privrednih poteškoća i slabi rezultati u ostvarivanju mjera stabilizacije utjecali su na još veće smanjenje porasta potrošnje električne energije, što s aspekta sadašnjeg sagledavanja čine nivo potrošnje od 34000 GWh u 2000. godini malo vjerojatnim, iako bi se ona mogla ostvariti ako bi se u potpunosti iskoristile mogućnosti društva.

Kronologija predviđanja potrošnje do 2000. godine, koja su napravljena u posljednjih pet-šest godina, navedena su da se upozori na veliku ovisnost napravljenih pretpostavki na rezultate predviđanja, kao i na neizvjesnost u njihovu sagledavanju.

Razvoj potrošnje do 2000. godine

U L3, za predviđanja do 1990. godine, napravljen je scenario za porast društvenog proizvoda, u kojem on u posljednjoj godini promatranog razdoblja doseže vrijednost 3%. Za daljnje analize u ovom radu pretpostavljeno je da će se on zadržati na tom nivou do 2000. godine.

Na temelju takvih pretpostavki i niza podataka iz pošlosti od 1960. do 1981. godine određena je zavisnost potrošnje i društvenog proizvoda prema izrazu:

$$W_t = a + b \times t + c \times DP_t + d\ DP_{t-1},$$

gdje je:
- W_t — potrošnja u periodu t
- t — promatrani period
- DP_t — društveni proizvod u period t
- DP_{t-1} — društveni proizvod u periodu t−1
- a,b,c,d — koeficijenti korelacije.

Rezultati proračuna navedeni su u tablici 1 u drugoj koloni (A).

Tabl. 1. Potrošnja električne energije u razdoblju 1991-2000. godine dobivena na temelju korelacije s društvenim proizvodom

	Potrošnja električne energije GWh		
	A	B	C
1991.	16651,9	18046,8	19469,9
1992.	17213,2	18660,2	20168,7
1993.	17784,8	19283,4	20874,8
1994.	18365,0	19915,7	21587,8
1995.	18953,6	20556,5	22307,5
1996.	19550,9	21205,6	23033,6
1997.	20156,9	21862,4	23765,0
1998.	20772,2	22527,0	24504,6
1990.	21396,7	23199,1	25249,3
2000	22030,9	23878,7	26000,0

Uz porast društvenog proizvoda od 3% u razdoblju 1991-2000. godine potrošnja bi rasla po prosječnoj stopi od 3,16%, i to u prvim godinama nešto većom stopom od prosječne, a u posljednjim godinama nešto manjom od prosječne.

Rezultat predviđanja od 22030,9 lu 2000. godini predstavlja minimalni nivo potrošnje koji se može očekivati u toj godini, i u isto vrijeme malo vjerojatni zato što su pretpostavke na kojima se temelji u skladu s najpesimističnijim sagledavanjem programa stabilizacije.

Postavlja se pitanje na koji način bi realizacija ostvarenja potrošnje u razdoblju od 1983. do 1990. godine utjecala na nivo potrošnje u 2000. godini. Za analizu tog utjecaja pretpostavljeno je da bi društveni proizvod rastao po istim stopama kako je to napravljeno u prethodnoj analizi, a da se u razdoblju 1983.-1990. godine ostvarila potrošnja u iznosima i varijantama kao što je to izračunbato za taj period u L3. Tako je promatrana varijanta s »očekivanom« potrošnjom (potrošnja u 1990. godini 17444.0 GWh) i varijanta s »maksimalnom« potrošnjom (potrošnja u 1990. godini 18778,6 GWh). Rezultati proračuna navedeni su u tablici 1:

— »očekivana« potrošnja kolona 3 (B)
— »maksimalna« potrošnja kolona 4 (C).

Prvo što se može uočiti jest da je nivo potrošnje u 2000. godini u slučaju »očekivane« potrošnje za 1847,8 GWh, a u slučaju »maksimalne« potrošnje za 3969,1 GWh veći nego u osnovnoj varijanti. To je posljedica nivoa potrošnje u 199o. godini jer se prosječni porast u sve tri varijante minimalno razlikuje:

— varijanta A 3,16
— varijantaB 3,16
— varijanta C 3,26.

Buduća potrošnja električne energije ovisi o realizaciji programa stabilizacije. Uspostavljanjem normalnih uvjeta privređivanja može se očekivati da bi se potrošnja vratila na nivo koji joj prema razvijenosti privrednog i društvenog potencijala pripada, a to znači da bi rasla po znatno višim stopama nego što to proizlazi iz korelacije s društvenim proizvodom. Ako bi se trend koji je određen za razdoblje 1981-1990. iz L3 produžio i za period 1991-2000. godine (»maksimalna varijanta potrošnje), u 2000. godini ostvarila bi se potrošnja od 29030,4 GWh. Rezultati predviđanja po godinama navedeni su u tablici 2:

Tabl. 2. Potrošnja električne energije u razdoblju 1991-2000. godine dobivena na temelju opće zakonitosti potrošnje

God.	Potrošnja GWh	Porast %
1991.	19704,4	4,93
1992.	20654,1	4,82
1993.	21627,9	4,715
1994.	22625,0	4,61
1995.	23644,3	4,505
1996.	24684,6	4,40
1997.	25744,8	4,295
1998.	26823,5	4,19
1999.	27919,3	4,085
2000.	29030,4	3,98

Potrošnja u 2000. godini od 29030,4 GWh ostvarila bi se uz prosječan godišnji porast od 4,4%.

U dosadašnjoj praksi za dugoročno predviđanje najčešće se koristila logistička krivulja, koja po svojim karakteristikama najbolje opisuje zakonitost razvoja potrošnje. Međutim, stagniranje rasta potrošnje u posljednjih nekoliko godina utječe na rezultate proračuna na taj način da se iskazuje prijevremeno zasićenje rasta potrošnje, iako smanjenje rasta potrošnjenije posljedica prirodne zakontiosti usporavanja potrošnje, već privrednih poteškoća u kojima se društvo trenutno nalazi. Utjecaj usporavanja rasta potrošnje električne energije za predviđanje u 2000. godini najbolje se može ilustrirati putem analize različitih vremenskih nizova koji se međusobnorazlikuju u broju promatranih godina. Tako se analizom niza podataka.

— od 1960. do 1980. u 2000. godini dobiva potrošnja 30568, 6 GWh
— od 1960. do 1981. u 2000. godini dobiva potrošnja 28584,9 GWh
— od 1960. do 1982. u 2000. godini dobiva potrošnja 26480,9 CWh.

Iz ta tri podatka o potrošnji u 2000. godini može se zaključiti da primjenjivost logističke krivulje, a isto tako i realnost rezultata proračuna ovisi o tome kako će se kretati potrošnja u periodu do 1990. godine. Za sagledavanje tog utjecaja pretpostavljeno je da je ostvarena potrošnja u razdoblju od 1983-1990. godine jednaka predviđenoj potrošnji za taj period (u tri varijante), a prognozirao se samo period nakon 1990. godini. Sve tri varijante analizirane su sa po četiri niza podataka (1965 – 1990, 1970 – 1990, 1975-1990. i 1980 – 1990) kako bi se obuhvatio i utjecaj niza podataka na prognozirane vrijednosti potrošnje električne energije u 2000. godini.

Rezultati proračuna za varijantu s »minimalnim« nivoom potrošnje do 1990. godine navedenu su u tablici 3:

Tabl. 3. Potrošnja električne energije u SRH određena logističkom krivuljom uz pretpostavku da će se do 1990. godine ostvariti najniži nivo potrošnje

	Potrošnja GWh			
	1965 – 1990.	1970 – 1990.	1975 – 1990.	1980 – 1990.
1991.	16353,5	16095,7	16181,3	16480,2
1992.	16723,3	16409,6	16532,3	16993,3
1993.	17674,8	16705,6	16865,9	1514,5
1994.	17408,2	16982,6	17182,5	18043,7
1995.	17723,8	17241,4	17482,5	18580,7
1996.	18022,2	17482,6	17766,3	19125,4
1997.	18303,9	17707,3	18034,4	19677,5
1998.	18569,4	17916,3	18287,5	20236,8
1999.	18819,4	18110,4	18525,9	20803,1
2000.	19054,4	18290,5	18750,4	21376,3

Pretpostavka da će se potrošnje u razdoblju do 1990. godine ostvariti kao što je predviđeno u varijanti s

minimalnim porastom potrošnje, a što se dobro uklapa u realizirane poraste potrošnje u posljednjih nekoliko godina, rezultirala je vrlo niskim nivoom potrošnje u 2000. godini i jednako tako niskim porastom potrošnje (oko 1,7%). Nizak porast potrošnje u razdoblju do 1990. godine uvodi logističku krivulju u područje zasićenja potrošnje, ondosno prirodnog postupnog usporavanja rasta potrošnje. Kako sadašnje usporavanje potrošnje električne energije kod nas nije posljedica prirodnog zasićenja, nego odraz privrednih poteškoća u kojima se društvo nalazi, rezultati proračuna potrošnje do 2000. godine nisu realni i znatno su ispod objektivnog očekivanog nivoa potrošnje za to vremensko razdoblje. To se posebno odnosi na prva tri niza podataka. Nešto objektivniji nivo potrošnje daje četvrti niz podataka koji se temelji na podacima od 1980. go 1990. i nivo potrošnje 21376,3 GWh odgovara predviđanju prema korelaciji potrošnje električne energije i društvenog proizvoda.

Može se očekivati da bi nešto veći porast potrošnje od »minimalnog« rezultirao s većim nivoom potrošnje u 2000. godini. U tablici 4. navedeni su rezultati proračuna za slučaj kada je pretpostavljeno da će se potrošnja u razdoblju do 1990. godine ostvariti prema »očekivanom« nivou potrošnje.

Tabl. 4. Potrošnja električne energije u SRH određena logističkom krivuljom uz pretpostavku da će se do 1990. godine ostvariti »očekivani« nivo potrošnje

	Potrošnja GWh			
	1965 – 1990.	1970 – 1990.	1975 – 1990.	1980 – 1990.
1991.	17507,2	17457,7	17824,3	17894,3
1992.	17992,8	17 933,6	18437,0	18559,2
1993.	18461,3	18391,9	19047,6	19232,2
1994.	18912,4	18832,6	19654,9	19912,8
1995.	19345,9	19255,4	20258,1	20600,4
1996.	19761,9	19660,5	20856,4	21294,2
1997.	20160,8	20047,9	21449,2	21993,6
1998.	20541,3	20417,8	22035,6	22698,1
1999.	20905,3	20770,5	22615,1	23406,9
2000.	21252,3	21106,4	2386,9	24119,4

Nešto veći porast potrošnje do 1990. nego u varijanti s »minimalnim« porastom potrošnje uzrokovao je da se je u 2000. godini nivo potrošnje povećao za 2000 – 3000 GWh. Međutim, kako su i u varijanti s »očekivanom« potrošnjom stope rasta znatno manje nego u prošlosti, tako je i ovdje, kao i u prvoj varijanti, prisutno znatno zasićenje potrošnje, tako da se rezultati proračuna, posebno prvatri niza podataka, ne mogu smatrati realnima. U posljednjem nizu podataka (1980 – 1990.) nema utjecaja visokoh stopa rasta iz prošlosti, pa je rezultat posljedica sagledavanje mogućeg rasta potrošnje do 1990. godine. Rezultat od 24119,4 GWh u 2000. godni blizak je rezultatu dobivenom korelacijom potrošnje i društvenog proizvoda s promatranjem istog utjecaja (utjecaja porasta potrošnje do 1990. godine prema varijanti s»očekivanim« nivoom potrošnje).

Usporedbom rezultata proračuna u varijantama s »minimalnim« i »očekivanim« nivoom potrošnje može se zaključiti da će se uz pretpostavku ostvarenja potrošnje do 1980. godine prema »maksimalnom« nivou potrošnje u 2000. godini doseći najviši nivo potrošnje. Rezultati proračuna za treću varijantu navedeni su u tablici 5.

Tabl. 5. Potrošnja električne energije u SRH određena logističkom krivuljom uz pretpostavku da će se do 1990. godine ostvariti najviši nivo potrošnje

	1965 – 1990.	1970 – 1990.	1975 – 1990.	1980 – 1990.
1991.	18722,2	18919,5	199327,6	19411,6
1992.	19345,6	19598,5	20180,4	20284,0
1993.	19955,9	20269,4	21051,1	2114,9
1994.	20552,2	20930,9	21939,2	22083,4
1995.	21133,7	21582,2	22843,9	23008,8
1996.	21699,8	22222,1	23784,6	23950,4
1997.	22249,8	22849,7	24700,5	24907,3
1998.	22783,5	23464,3	25650,7	25878,6
1999.	23300,4	24065,6	26614,6	26863,4
2000.	23800,3	24652,5	27591,3	27860,9

Odbacivanjem podataka iz prošlosti smanjuje se utjecaj visokih stopa porasta potrošnje, tako da iz varijante u varijantu u 2000. godini raste nivo potrošnje.

Zaključne napomene

Već je prije rečeno da je predviđanje neizvjestan proces, pogotovo u današnje vrijeme kada je vrlo teško cijeniti u kojem vremenskom razdoblju će se realizirati program stabilizacije, tj. normalizrati uvjeti privređivanja i vratiti potrošnja električne energije na nivo koji joj prema stupnju razvijenosti društva pripada.

Korelacija s društvenim proizvodom dala je nizak nivo potrošnje (22030,3GWh u 2000. godini) i s očekivanjem da će se s programom stabilizacije privrede krenuti može se za taj nivo potrošnje reći da predstavlja niži nivo potrošnje i ujedno i najmanji vjerojatni nivo potrošnje.

Tabl. 6. Minimalni, maksimalni i očekivani nivo potrošnje u SRH za razdoblje 1991-2000. godine

	Minimalni GWh	Maksimalni GWh	Očekivani GWh
1991.	16651,9	19704,4	18178,2
1992.	17213,2	20654,1	18933,6
1993.	17784,8	21627,9	19706,4
1994.	18365,0	22625,0	20495,0
1995.	18953,6	23644,3	21298,9
1996.	19550,9	24684,6	22117,7
1997.	20156,9	25744,8	22950,8
1998.	20772,2	26823,5	23797,8
1999.	21396,7	27919,3	24658,0
2000.	22030,9	29030,4	25530,6

Takva tvrdnja temelji se na tome da su porasti potrošnje vrlo niski (u prosjeku 3,17%), te da se očekuju efekti programa stabilizacije. Osim toga, zbog sve ve-

ćeg učešća električne energije u zadovoljavanju ukupnih energetskih potreba može se očekivati i s tog naslova nešto brži rast potrošnje.

Maksimalni nivo potrošnje (kolona 2 u tablici 6) ima svoju težinu u procjeni realnih mogućnosti prirodnog rasta potrošnje, a na temelju stupnja razvijenosti društva i zakonitosti razvoja ostalih razvijenih zemalja. Nivo od 29030,4 nije nerealan iako promatranjem u 2000. godini kroz trenutne poteškoće možda i izgleda.

Očekivani nivo potrošnje (kolona 3 u tablici 6) jest prosjek minimalnog nivoa potrošnje, pa kao i svaki prosjek ima najveću vjerojatnost da se ostvari. U kojoj će mjeri biti ostvaren, primarno ovisi o razvoju potrošnje do 1990. godine.

LITERATURA

[1] G. Granić, »Potrošnja električne energije u SRH do 2000. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1981.
[2] B. Udovičić, N. Bilčar, G. Granić, S. Alerić, N. Komerički, »Elektroenergetske podloge za Samoupravni sporazum o osnovama razvoja elektroprivrede 1981.-1985. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1982.
[3] G. Granić, »Potrošnja električne energije u SRH do 1990. godine«, Energija, 1983, br. 1-2

**KEY WORDS: CROATIA
ELECTRICAL POWER
CONSUMPTION**

Electric Power CONSUMPTION in SR Croatia in period 1991-2000 year

In the article is given a projection of electric power consumption growth in SR Croatia in period 1991-2000 year. Forecast of consumption is based on correlation of electric power consumption and national income (minimal level of consumption) and on the general low for electric power consumption (maximal level of consumption). In addition an analyses of electric power consumption till 1990 year influence on given period is presented.

STROMVERBRAUCH DER SR KROATIEN IM ZEITABSCHNITT 1991-2000.

Der Bericht ist eine Vorermittlung des zukünftigen elektrischen Energie-verbrauchs in der SR Kroatien für die Jahre 1991-2000. Die Schätzung erfolgte anhand der bisherigen Wechselbeziehungen des Stromverbrauchs zum Nationaleinkommen (im geringsten Verbrauchsbereich) unter Berücksichtigunt des allgemeinen gesetzmässigen Verbrauchszuwachses. Ausserdem erfolgt eine Analyse des Einflusses der möglichen Verbrauchsentwicklung der elektrischen Energie bi zum Jahre 1990 auf den untersuchten Zeitabschnitt.

ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СР ХОРВАТИИ С 1991 по 2000 гг

В работе сделана проекция будущего развития потребления электроэнергии в СР Хорватии с 1991 по 2000 год. Прогноз потребления осуществлен на базе корреляции потребления электроэнергии и общественного продукта (минимальный уровень потребления) и общей закономерности потребления электроэнергии (максимальный уровень потребления). Наряду с этим произведен анализ влияния возможного развития потребления электроэнергии до 1991 года на рассматриваемый период.

Naslov pisca:

**Dr Goran Granić, dipl. inž,
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih brigada 37**

Uredništvo primilo rukopis 1982–11–01

RASPODJELA ZADATAKA I BAZE PODATAKA IZMEĐU CENTRALNE I PERIFERNE STANICE U SISTEMU DALJINSKOG VOĐENJA

Mr Vladimir Kavur i mr Neven Baranović, Zagreb

UDK 621.316.1: 681.31
PREGLEDNI RAD

U članku se govori o ovisnosti kapaciteta računala o razini vođenja i strukturi elektroenergetskog sistema. Ukazuje se na raspodjelu poslova (programa) i baze podataka izmedu računala u centralnoj i perifernoj stanici. Daju se i konkretni primjeri.

Ključne riječi: vođenje elektroenergetskog sistema, baza podataka, programski zadaci, centralna i periferna stanica, informacijski volumen.

UVOD

Danas, sve više akutan problem vođenja elektroenergetskog procesa na svim razinama elektroenergetskog sistema (EES) uvjetuje uvođenje inteligentnog sistema daljinskog vođenja (SVD). Pod pojmom inteligentnog SDV pri tome se razumijeva takav sistem koji u sebi ujedinjuje svojstva računala na svim svojim hijerarhijskim razinama, od periferne stanice do centralnog sistema dispečinga na razini određene elektroenergetske cjeline. U članku se govori o SDV pridruženom distributivnom EES. SDV rečene namjene uključuje u sebi podsistem perifernih stanica i podsistem centralne stanice. Razmatraju se ove discipline unutar sistema:

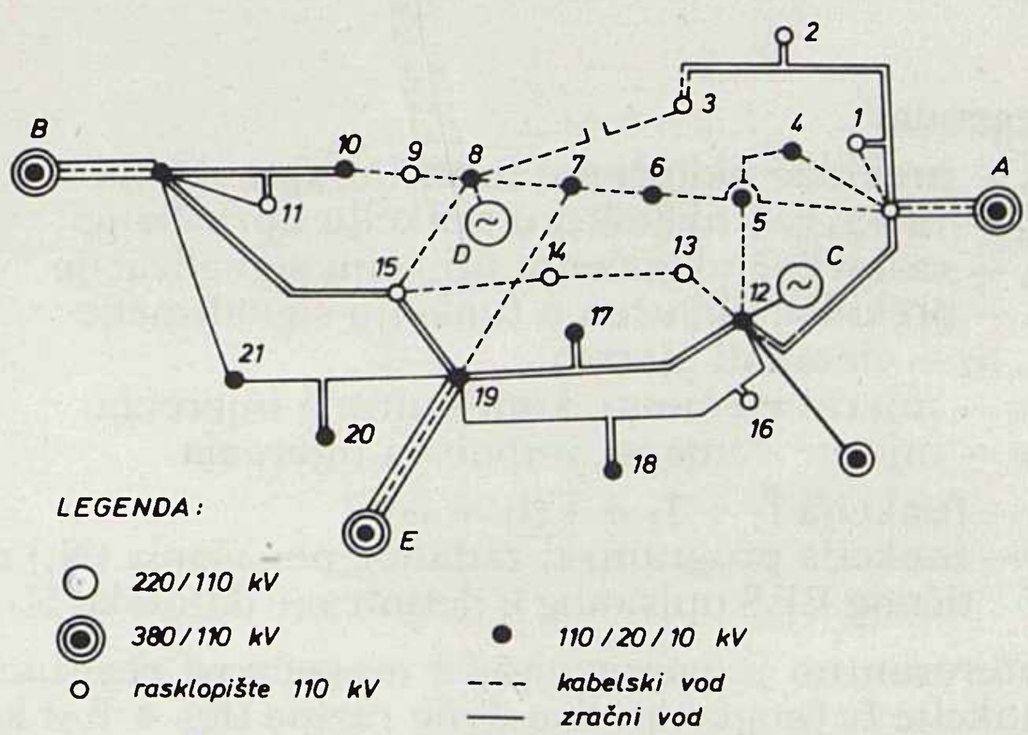
- zadaci postavljeni pred programsku podršku s obzirom na upravljanje, nadzor i vođenje
- vrste, sadržaj i namjena baze podataka
- raspodjela zadataka između podsistema periferne i centralne stanice
- zahtjevi postavljeni na SDV u realizacije funkcije vođenja EES.

KARAKTERISTIKE VOĐENJA DISTRIBUTIVNOG ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Karakteristike EES s gledišta vođenja smatraju se konfiguracija elektroenergetske mreže (EEM) i sheme spoja elektroenergetskog postrojenja (EEP). Naime, tim dvjema karakteristikama definiramo upravljivost i osmotrivost pojedinog EEP, odnosno mogućnost uspostavljanja određenog uklopnog stanja EEM. Definiranjem navedenih svojstava određujemo i mogućnost vođenja procesa u EES.

Navedeno je prisutno u svim nivoima EES-a, pa se i proučavanje problema vođenja može provesti na sličan način. Daljnja razmatranja u referatu bit će potkrijepljena konkretnim elementima distributivnog EES-a (DEES) kakav je planiran za područje grada Zagreba.

Prva karakteristika DEES-a je konfiguracija EEM koja je u danom primjeru kombinacija prstenaste mreže i mreže s više pojnih točaka (slika 1). Sljedeća karakteristika DEES-a jesu sheme spoja EEP. Iako nisu sva EEP potpuno energetski indentična, karakteristike bitne sa stajališta vođenja mogu se definirati jednoznačno. Te karakteristike jesu: shema spoja, elementi upravljanja, elementi nadzora, elementi alarma i mjerni elementi za karakteristična polja 110 kV i 20 kV. Navedeno je prikazano slikom 2. Definirajući EEP na način prikazan slikom 2, moguće je za DEES definirati skup informacija potreban za realizaciju upravljanja, nadzora i vođenja.



Sl. 1. Shema distributivne 110 kV mreže Zagreba

DEFINIRANJE FUNKCIJE VOĐENJA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Izbor razine vođenja procesa u EES-u rezultira dvama mogućim načinima rada:

- radom u otvorenoj petlji, i
- radom u petlji s povratnom vezom.

Način rada (slika 3) ovisan je pak o:

- vremenu odziva na smetnju u procesu (ovo vrijeme se za EES zada unaprijed)
- broju otklonjivih smetnji koje utječu na proces.

Analiza načina rada rezultira ili funkcijom nadzora/upravljanja:

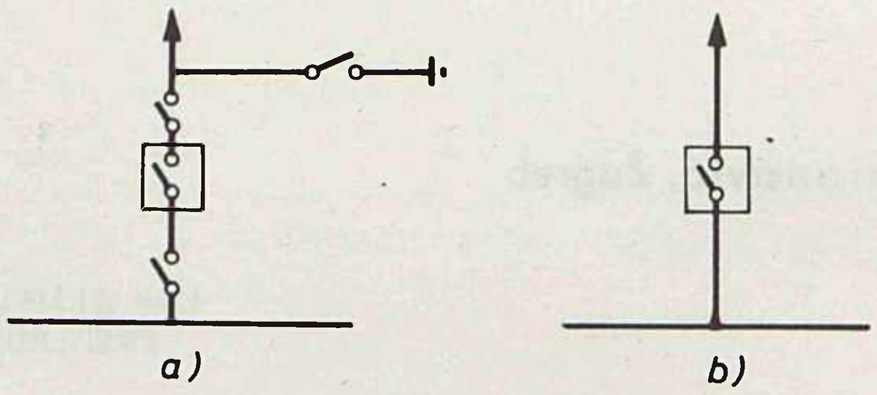
$$f_{NU} = f_2(k, S) + f_2(SA, M) \quad (3.1)$$

ili funkcijom vođenja:

$$f_V = f_3(K, S, SA, M) + f_4(N_z + N_d), \quad (3.2)$$

pri čemu su:

f_1 — funkcija nadzora i upravljanja
f_2 — funkcija »pokazatelja« smetnje



Sl. 2. Karakteristična polja DEEP

a) Karakteristično polje VN strane

upravljanje (K) $= 2\,(P_u + R_u)$
nadzor (S) $= 2\,(P_s + R_s)$
alarm (SA) $= a_1$
mjerenje (M) $= m_{k1} + m_I$

b) Karakteristično polje SN strane

upravljanje (K) $= 2\,P_u$
nadzor (S) $= 2\,(P_s + S)$
alarm (SA) $= a_2$
mjerenje (M) $= m_{k2}$

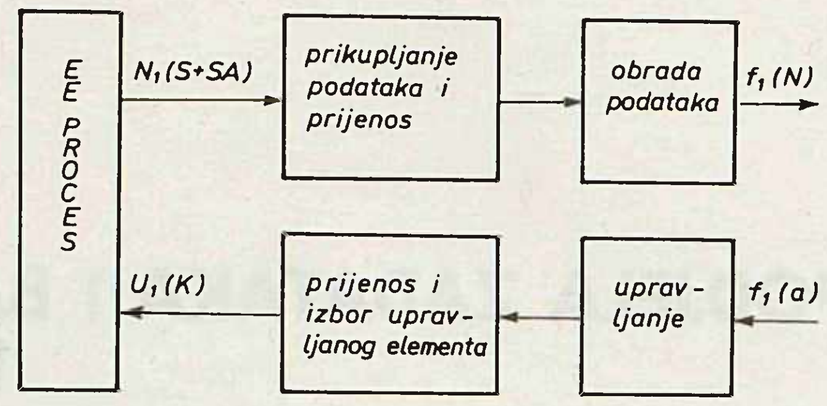
Legenda:

P_u — prekidač uključen u funkciju upravljanja
R_u — rastavljač uključen u funkciju upravljanja
R_s — rastavljač uključen u funkciju signalizacije
P_s — prekidač uključen u funkciju signalizacije
a_1, a_2 — elementi alarma
m_k — mjerni elementi, kontinuirana mjerenja
m_I — mjerni elementi, impulsna mjerenja
f_3 — funkcija $f_1 + f_2 + f\,(f_1 + f_2)$
f_4 — funkcija programski zadanog ponašanja (N_z) dotičnog EES upisanog u definirane datoteke N_d.

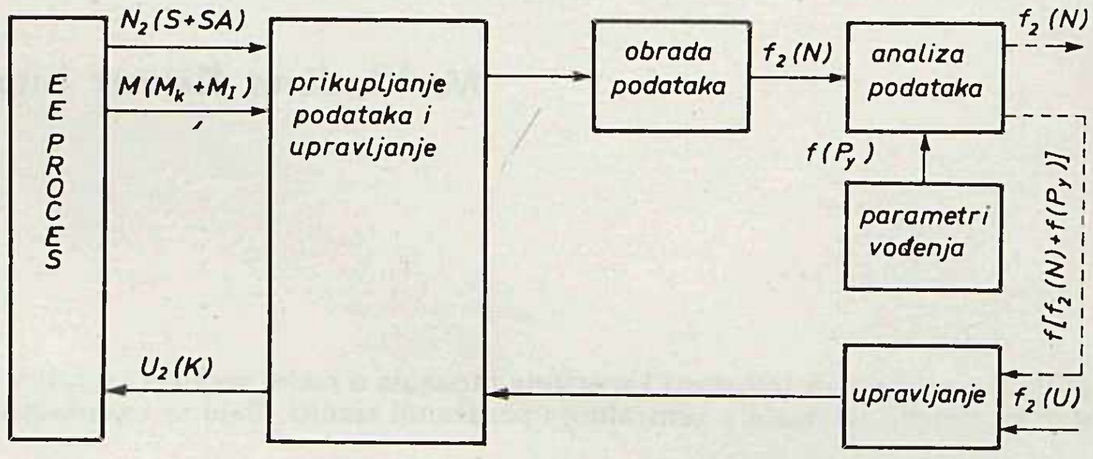
Interesantno je napomenuti i mogućnost realizacije funkcije f_V (poglavlje 6) u dvije razine ($f_{V1} + f_{V2}$) kod uvođenja inteligentnih SDV u perifernu i centralnu stanicu (distribucija funkcija).

Rečeno pojasnimo primjerom. Ako bi DEES bio građen kao dio sistema sa slike 1, koji bi uključivao izvor A i EEP 1, 2 i 3, tada se SDV realizira funkcijom $f_{NU} = f_1\,(K, S)$, pri čemu bi karakteristična polja opisali sa $f_{NU} = 2\,(2P_s + 2P_u)$. Dodavanje izvora C i EEP 4, 5, 6, 7, 8 i 12 uvjetovalo bi prijelaz na poboljšanu funkciju $f_{NU} = f_1\,(K, S) + f_2\,(SA, M)$. U tom slučaju opisali bismo karakteristična polja: $f_{NU} = 2\,(P_u + 2R_u) + (P_s + 3R_s) + P_u + P_s + S + (a_1 + a_2) + m_{K1} + m_{K2} + m_I$.

Za DEES prikazan slikom 1. očito moramo uvesti i funkciju povratne veze, što dovodi do funkcije f_V. Uvođenjem ove funkcije od interesa je razmatranje njezina nepoznatog dijela f_4, što je i predmet daljnje diskusije. Razmatranje funkcije povratne veze uključuje dva zadatka:



a) Otvorena petlja (upravljanje i nadzor)



b) Petlja s povratnom vezom (vođenje)

Sl. 3. Načini rada praćenja elektroenergetskog procesa

— sagledavanje i definiranje programskih zadataka N_z i potrebnih datoteka N_d, i
— dodjela nadležnosti za obavljanje pojedinih radnji i njihova distribucija između centralne i periferne stanice.

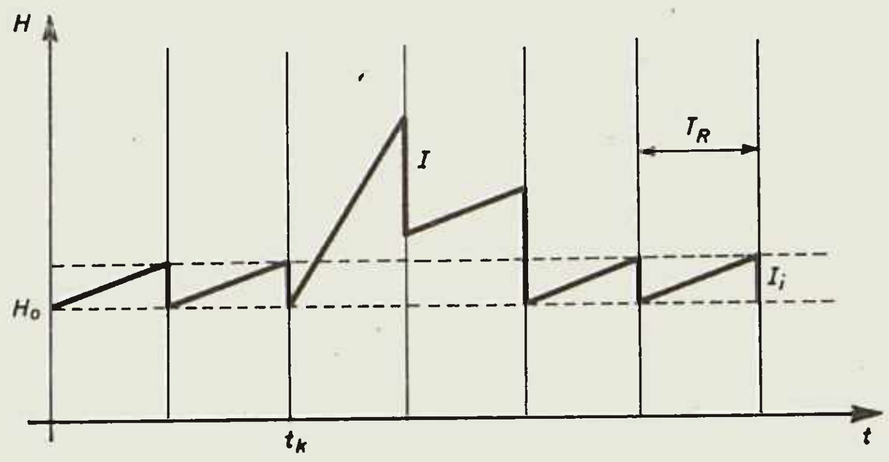
INFORMACIJSKI VOLUMEN SISTEMA

Uspješna realizacija funkcije vođenja razumijeva potpun uvid u stanje DEES-a u svakom vremenskom trenutku. Stanje DEES-a je zapravo minimalan skup informacija kojim je u potpunosti opisan DEES. Funkcija vođenja zahtijeva određenu količinu informacija, što se reflektira na konačan informacioni volumen sistema. U DEES-u postoji uvijek neizvjesnost o ponašanju samog procesa i mogućim prijelazima u druga stanja, koja se izražava entropijom H_o. Zbog djelovanja smetnji (kvarova ili radova) DEES može prijeći iz jednog stanja u drugo kontrolirano ili nekontrolirano. Posljedica je nepoznavanja ponašanja sistema ta da se mora na proces djelovati s većim sadržajem informacija I, kako bi se očuvala zadana entropija H_o (slika 4). U stacionarnom stanju u svakom taktu rada računala T_R u sistem će se predavati sadržaj informacija I_i koji je potreban da bi se kompenziralo povećanje entropije zbog utjecaja smetnji.

U slučaju vođenja DEES-a očito da je neizvjesnost u pogledu ponašanja i stanja sistema manja, tj. entropija $H_V < H_u$. Slijedi da je potrebno na sistem djelovati sa većim sadržajem informacija nego u slučaju upravljanja/nadziranja.

Ako u trenutku t_x dođe do nekontrolirane promjene stanja za oba razmatrana slučaja, cilj je u što kraće vrijeme uspostaviti stacionarno stanje H_u ili H_V. U slučaju vođenja porast entropije će biti manji, a kad se djeluje s većim sadržajem informacija, i stacionarno stanje će se dostići prije. Prirast sadržaja informacije za jedan takt računala je po definiciji

$$C_R = \left(\frac{I}{T_R}\right)_{max} \quad (4.1)$$



Sl. 4. Entropija sistema

Ova se tvrdnja može pokazati i kroz izraz za informacioni volumen sistema:

$$H = c(B \cdot D \cdot T \cdot P), \qquad (4.2)$$

gdje je: c — konstanta
B — frekventni opseg T — vrijeme
D — dinamika P — prostor.

Veličine B i D određene su karakteristikama računala i binarnim prikazom. Nivo vođenja nužno rezultira povećanjem vremena obrade (odziva) T ili prostora P. Vrijeme odziva je bitna kvaliteta i nastoji se boljim iskorištenjem računala smanjiti njegova vrijednost. Logično i jedino rješenje jest povećanje prostora računala. Slijedi da vođenje zahtijeva veći informacioni kapacitet računala, odnosno veći prostor.

PROGRAMSKI ZADACI I BAZA PODATAKA

U daljnjem tekstu se razmatraju programski zadaci i baze podataka pridruženi određenoj razini vođenja DEES-a. Ovisno o karakteristikama DEES-a koje diktiraju razinu vođenja, postavljaju se na računarski sistem centralne stanice SDV određeni zahtjevi primijenjeni danoj razini vođenja.

Razina nadzora i upravljanja DEES

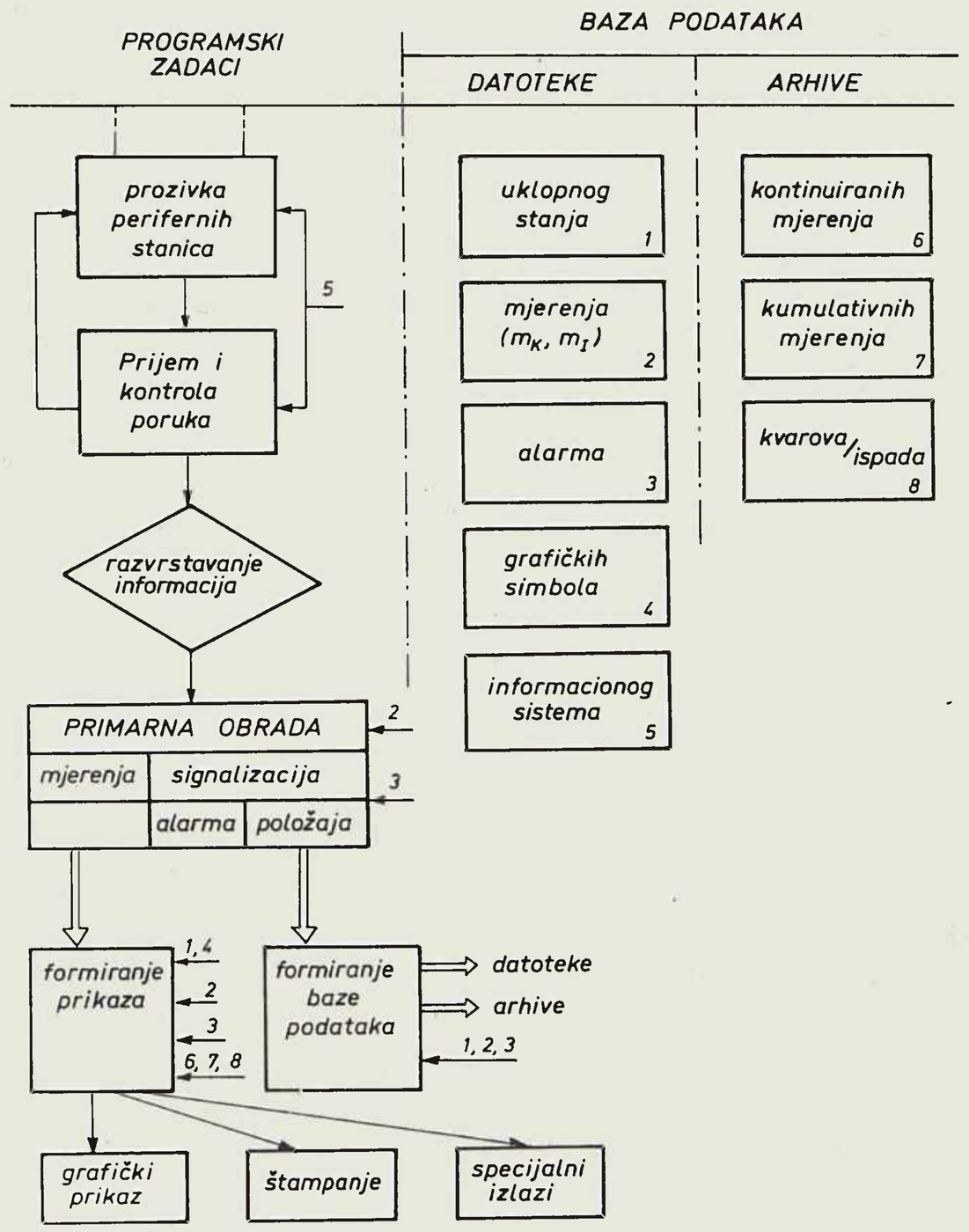
Razina nadzora i upravljanja rezultira programskim zadacima i bazom podataka prikazanim na slici 5. Iz slike su odmah vidljive dvije bitne funkcije sistema: komunikacija s perifernim stanicama i komunikacija s operatorom. Tim funkcijama podređena su sva svojstva računarskog sistema u centralnoj stanici.

Prvi zadatak računala, komunikacija s perifernim stanicama, realizira se kroz dva programska zadatka: komunikacioni ciklus »prozivke« perifernih stanica i prijem poruka, provjera njihove ispravnosti i raspoznavanje sadržaja. Ovaj zadatak podržan je datotekom informacionog sistema u kojoj se nalaze svi potrebni parametri komunikacije. Za izvršenje drugog zadatka, komunikacije čovjek – sistem, nužno je: raspoznavanje vrsta informacija, te primarna obrada pojedine vrste informacija u smislu njihova upisa u bazu podataka, odnosno adekvatnog prikaza.

Nužnost izvršenja navedenih zadataka jest prisutnost određenih datoteka (slika 5), ali i arhivskih datoteka koje se nameću same po sebi iako za ovu razinu vođenja nisu neophodne.

Iz rečenog je vidljivo sljedeće:

— u slučaju primjene računala funkcija upravljanja/nadzora rješava se isključivo na nivou centralne stanice, i to u obliku danom izrazom 3.1
— programski zadaci su relativno jednostavni, te će zadano vrijeme odziva na smetnju biti sigurno ispunjeno. Broj i vrijeme otklonivih smetnji ovisit će ponajviše o čovjeku — dispečeru
— baza podataka može biti promjenljive veličine, ali će sigurno i za ekstremni slučaj moći zadovoljiti jer nam je jedini dinamički faktor prostor P (izraz 4.2), što se relativno jednostavno rješava.



Sl. 5. Programski zadaci i baza podataka sistema za nadgledanje i upravljanje

Razina vođenja DEES-a

Rezultati simulacija u vođenju predstavljaju onaj dodatni sadržaj informacija (s obzirom na f_{NU}) kojim se djeluje na DEES radi smanjenja entropije i bržeg povratka u stacionarno stanje nakon djelovanja smetnje. Simulacijom se slijede vremenske promjene dinamičkog modela razmatranog sistema. Ponašanje DEES-a opiše se kao skup logičkih uvjeta koje je potrebno ispuniti da bi se pojavili određeni događaji, te je moguće slijediti i analizirati promjene u sistemu koje nastaju kao rezultat slijeda događaja. Na taj način moguće je za realni sistem prognozirati događaje, moguće prijelaze, pa čak i vrijeme nastupa pojedinih događaja. Bitno je napomenuti da je realni DEES opisan slučajnim varijablama te se za njegovo opisivanje u postupku simulacije koriste statističke metode. Rezultati simulacija također imaju karakter statističkih veličina i s tom težinom ih treba tretirati.

Prvi korak u definiranju funkcije f_V jest određivanje kriterija provedbe:

— raspoloživost i pouzdanost DEES-a (DEEM i DEEP)
— prioritetna opskrba potrošača
— stabilnost DEES-a
— optimalna raspodjela opterećenja
— minimalni troškovi distribucije električne energije

— minimalni gubici (ekonomski dispečing)
— očuvanje nominalnih vrijednosti napona
— rezerva u DEES-u i optimiziranje vršnih opterećenja.

Navedene kriterije provedbe nije uvijek jednostavno postići, pogotovo ako se želi postići ekstremna vrijednost funkcije cilja. Zato se obično definira funkcija vođenja s obzirom na izabrani kriterij provedbe.

Shodno rečenome za prikazani DEES zacrtani su ovi **programski zadaci:**

— simulacija
— proračuni
— prognoze
— planiranje.

Kategorija proračuna razumijeva zadatke: proračun tokova snaga, dijagrama opterećenja, stabilnosti sistema, kratkog spoja, gubitaka zbog ispada, raspoloživosti i pouzdanosti sistema.

Prognoziranje obuhvaća prognoze: uklopnog stanja, potrošnje, rezerve u sistemu. Tako koncipiran informacioni sistem omogućuje **planiranje** optimalnog uklopnog stanja s najpovoljnijom raspodjelom snage u sistemu, uklopnog stanja u izvanrednim uvjetima (ispad jednog od izvora, redukcija i sl.), održavanje i drugo.

Podrška iznesenim programskim zadacima, rezultati izvršenja pojedinih zadataka, ulazni podaci i podaci o samom DEES-u pohranjeni su u **datotekama,** prema slici 6. Adekvatno su namijenjene i **arhivske datoteke** koje omogućuju potpuniji uvid u ponašanje DEES-a. Velika količina spremljenih podataka nužna je kako bi statistički uzorak kojim opisujemo DEES bio što potpuniji, odnosno kako bi dinamički model DEES-a, građen na tim podacima, za potrebe simulacije bio što realniji.

Opis programskih zadataka i baze podataka upućuju da je za realizaciju funkcije vođenja potreban znatno veći informacioni volumen nego u slučaju upravljanja/nadziranja. Kod realnog računala postoje određena ograničenja, te se veličine T i P (izraz 4.2) ne mogu promatrati nezavisno, nego se razmatra produkt $T \cdot P$. Zaključak je da se povećanjem informacionog volumena pri vođenju DEES-a povećava i vrijeme odziva i prostor računala, a time se narušava zahtjevano vrijeme odziva na smetnju. Rješenje ovog problema postiže se distribucijom informacionog volumena između centralne stanice i perifernih stanica.

DISTRIBUCIJA INFORMACIONOG VOLUMENA IZMEĐU CENTRALNE I PERIFERNIH STANICA

Osnovni razlozi raspodjele zadataka i baze podataka između centralne i perifernih stanica u slučaju vođenja mogu se svrstati u tri kategorije:

— kraće vrijeme odziva na smetnju u DEES-u
— rasterećenje i smanjenje informacionog volumena računala u centralnoj stanici
— povećanje raspoloživosti informacionog sistema.

Dodjeljivanjem inteligentnih svojstava računalu periferne stanice može se dio zadataka primarne obrade distribuirati između centralne i periferne stanice. Na taj način oslobađa se dio informacionog volumena centralnog računala za složenije zadatke, a istovremeno se smanjuje vrijeme odziva. Vrijeme odziva lišava se kritičnog udjela vremena prijenosa i vremena donošenja odluke. Kao posljedica javlja se pak veći informacioni volumen računala periferne stanice, te stroži zahtjevi na njezinu kvalitetu i pouzdanost.

Svjesni smo činjenice da postoji nepovjerenje u autonomni rad i »samostalno« odlučivanje periferne stanice koje proizlazi iz navedenog. U daljnjem se tekstu zato opisuju programski zadaci i datoteke za koje smatramo da se mogu pridijeliti perifernoj stanici s pozicija svojstava razmatranog informacionog sistema. Većinu tih zadataka obavlja kroz funkciju upravljanja/nadziranja centralna stanica, dok periferna stanica za tu razinu obavlja: komunikaciju s centralnom stanicom i prikupljanje informacija o EEP. U vođenju DEES-a perifernoj se stanici, međutim, mogu pridijeliti sljedeći zadaci:

— obrada mjerenja (sumiranje, uspoređivanje, izračunavanje ekstrema i sl.)
— nadgledanje mrtve zone, gradijenta i pragova mjernih veličina
— superponirana zaštita
— logička obrada podataka o stanju elemenata VN postrojenja i zaštite
— automatski ponovni uklop
— upravljanje paralelnim radom transformatora
— regulacija napona i kompenzacije
— kontrola vremena uklapanja i sklapanja rasklopnih elemenata
— lociranje mjesta kvara i
— nadzor (i upravljanje) pomoćnim elementima EEP.

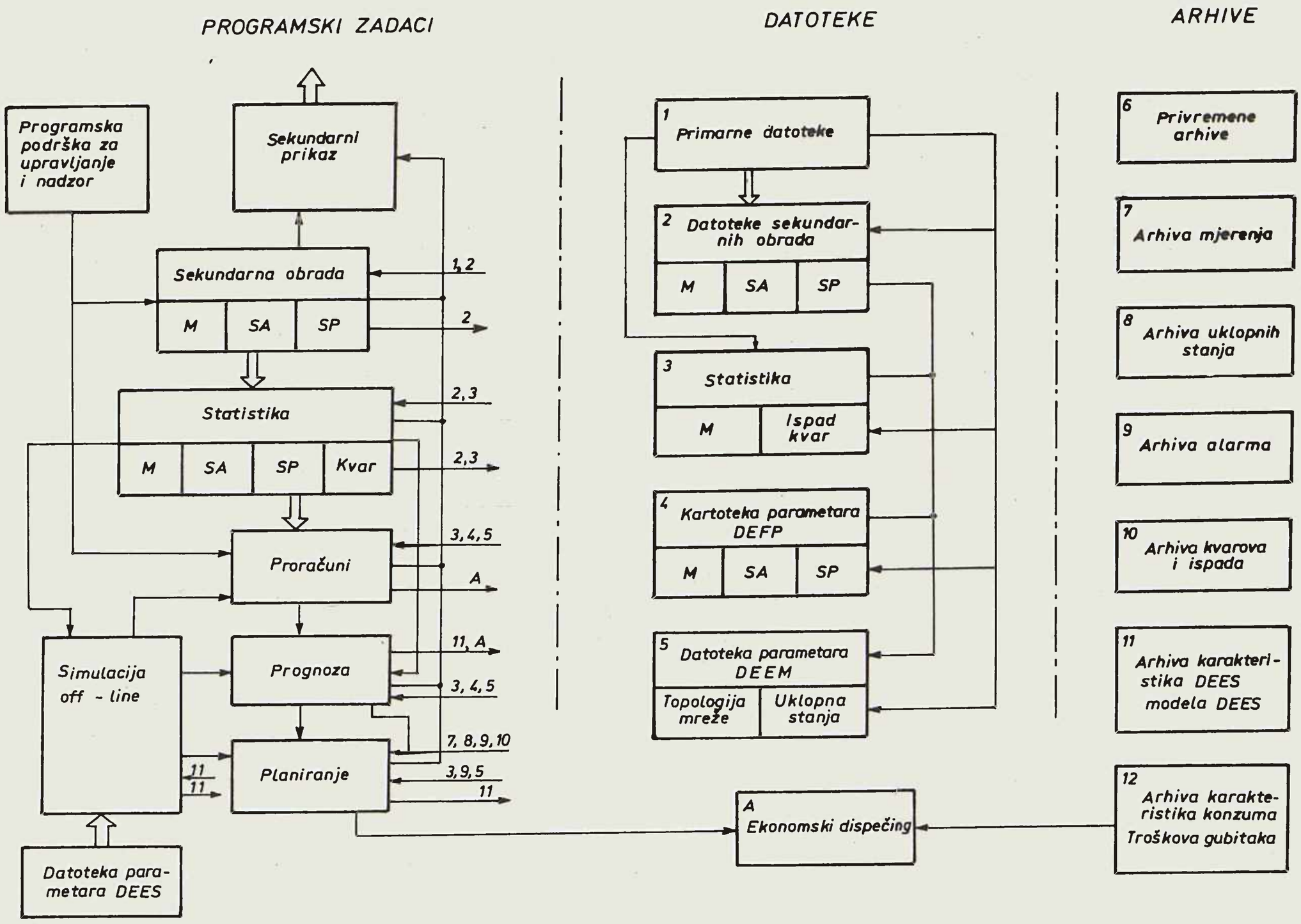
Za realizaciju navedenih zadataka potrebno je formirati bazu podataka periferne stanice sa sljedećim datotekama:

— postavnih veličina elemenata upravljanja i nadzora
— broja uklopa/isklopa rasklopnih aparata
— karakteristika zaštite
— karakteristika mjernih veličina
— djelovanja s obzirom na funkciju superponirane zaštite.

Neke datoteke sadržane su djelomično i u bazi podataka centralne i periferne stanice, ali je rasterećenje centralne stanice ipak značajno ako se u obzir uzme broj perifernih stanica (vidi bazu centralne stanice, slika 6). Za potrebe simulacija centralna stanica preslikava potrebne dijelove datoteka iz periferne u trenutku smanjenog intenziteta prometa informacija. Efikasnost informacionog sistema se ne narušava, ali se informacioni volumen ravnomjernije raspodjeljuje te se postižu željeni pozitivni efekti.

REZIME

Umjesto zaključnog razmatranja potkrijepit će se provedena razmatranja sa SDV pridružen prikazom DEES-u. Unaprijed napominjemo da se starta s razine upravljanja/nadziranja s prisutnom tendencijom k funkciji vođenja. Zorni prikaz iznesene tvrdnje dan je niže navedenim tabličnim dijelom.



Sl. 6. Programski zadaci i baza podataka sistema za vođenje DEEP

RAZINA RADA	PROGRAMSKI ZADACI	
	Centralna stanica	Periferna stanica
UPRAVLJANJE I NADZOR	— komunikacija s perifernim stanicama — raspoznavanje vrste informacije — primarna obrada — reakcija po obradi — prikaz (štampanje, ekranski) — zapis u bazu podataka	— komunikacija s centralnom stanicom — prikupljanje informacija
VOĐENJE I faza	— sekundarna obrada informacija — statističke obrade — proračuni	— nadgledanje mrtve zone — nadgledanje pragova — automatski ponovni uklop
VOĐENJE II faza	— planiranje — prognoziranje	— kontrola gradienta — superponirana zaštita
VOĐENJE III faza	— prema članku	— prema članku

RAZINA RADA	BAZA PODATAKA	
	Centralna stanica	Periferna stanica
UPRAVLJANJE I NADZOR	— datoteka uklopnog stanja — datoteka grafičkih simbola — datoteka mjerenja — datoteka infor. sistema — arhiva mjerenja	— datoteka trenutnog stanja EEP
VOĐENJE I faza	— datoteka statističkih podataka — datoteka parametara DEES — arhiva uklopnog stanja — arhiva alarma — arhiva kvarova	— datoteka parametara EEP — datoteka lokalnih funkcija
VOĐENJE II faza	— datoteka modela DEES — arhiva prognoze DEES	
VOĐENJE III faza	— prema članku	— prema članku

LITERATURA

[1] R. Schenner, STUDIJA OSNOVNOG RJEŠENJA 110 kV i 30 kV ELEKTROENERGETSKE MREŽE ZAGREBA, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1980.
[2] V. Kavur, DIGITALNO UPRAVLJANJE DISTRIBUTIVNOM MREŽOM, mag. rad, Elektrotehnički fakultet Zagreb, 1977.
[3] x x x MIPRO 82, I Jugoslavensko savjetovanje o mikroprocesorskim sistemima, Rijeka, 1982.
[4] PROJEKTIRANJE INFORMACIONIH SISTEMA, skripta, Sveučilište u Zagrebu, 1974.
[5] x x x ON-LINE OPERATION AND OPTIMISATION OF TRANSMISSION AND DISTRIBUTION SYSTEMS, IEEE Conference Publication No 140, 1976.

KEY WORDS: CONTROL OF ELECTRICAL SYSTEM, DATA BASE PROGRAMS, CENTRAL AND TERMINAL STATIONS, VOLUME OF INFORMATIONS

Distribution of Work and Data Base between Central and Terminal Stations in a System of Remote Controle

In the article is discused about dependance of computer capacity of level of controle and structure of electric power transmission system. It is discused about distribution of work (programs) and data base between central and terminal stations. A concrete example is also presented.

AUFGABENVERTEILUNG UND UNTERLAGENDATEN ZWISCHEN ZENTRALEN UND PERIFEREN SCHALSTATIONEN IN FERNSTEUERUNGSSYSTEMEN

Die Arbeit behandelt die Leistungsfähigkeit einer EDV-Anlage vom Steuerungs niveau und dem Aufbau eines Verbundsystems. Gezeigt wird die Aufteilung der Arbeitsbereiche (Programme) und Datengrundlagen zwischen der Rechenanlage in der zentralen Schaltstation und den Aussenstationen mit Darstellung von praktischen Beispielen.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАНИЙ И БАНКА ДАННЫХ МЕЖДУ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ПЕРЕФЕРИЙНОЙ СТАНЦИЯМИ В СИСТЕМЕ ДИСТАНТНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В статье говорится о емкости ЭВМ, об уровне управления и структуре электромагнитной системы. Указывается на распределение заданий (программ) и банка данных между ЭВМ на центральной и переферийной станциях. Приведен конкретный пример.

Naslov pisaca:
Mr Vladimir Kavur, dipl. inž.
Mr Neven Baranović
»Elektra«, 41000 Zagreb,
Gundulićeva 38

Uredništvo primilo rukopis
1982 – 11 – 03

OSNOVNA TEHNIČKA KONCEPCIJA PUMPNE HIDROELEKTRANE VINODOL

Krunoslav Begović, Zagreb

UDK 621.311.21:621.221.4

PREGLEDNI RAD

Opisan je projekt PHE Vinodol sa svim rješenjima i ocjenom troškova investicija za konačno rješenje.

Ključne riječi: reverzibilna hidroelektrana, dvostepeni hidraulički stroj, gornji i donji bazen.

UVOD

Višegodišnjim radom na projektu PHE Vinodol došlo je do značajnih promjena početnih koncepcija, što je uvjetovalo i potrebu noveliranja projekta nakon stanja iz 1974. godine.

Svrha je ove analize da se dade sveobuhvatan prikaz svih rješenja koja su se, uglavnom parcijalno, radila u sedmogodišnjem razdoblju, te ocjena troškova investicija za takvo konačno rješenje prema aktualnim cijenama opreme i radova.

Sva dokumentacija na kojoj se zasniva novelacija stručno je recenzirana i prihvaćena, pa se u ovom prikazu daje uglavnom kritički osvrt na rješenja koja su detaljno analizirana u okviru elaborata koji ih obrađuju (Elektroprojekt, Zagreb). To se posebno odnosi na karakteristike proizvodnih jedinica, osnovnu jednopolnu shemu i osnovne elemente te sheme (veza s mrežom, način zaleta, opskrba vlastite potrošnje), opskrbu rashladnom vodom, izvedbu vodova generatorskoga napona i rješenje strojarnice.

Osnovna tehnička koncepcija PHE Vinodol

U shematskom prikazu u sl. 1. s desne su strane objekti pumpne hidroelektrane (PHE) Fužine i hidroelektrane (HE) Vinodol, koja se već 25 godina nalazi u pogonu. S lijeve strane te sheme dani su objekti PHE Vinodol koje treba izgraditi, a crtkano su prikazani objekti PHE Razromir, koja bi se izgradila kasnije, te bi na gornjim horizontima povezivala hidrotehničke objekte HE Vinodol i PHE Vinodol.

Donja stepenica HE Vinodol jest vršna elektrana s bazenom za godišnje izravnavanje. Gornja stepenica je PHE Fužine s jednom grupom turbina — pumpa — električni stroj. Koristi se dotokom u jezero Lokvarka na padu prema bazenu Bajer, te služi za dizanje vode iz tog bazena u jezero Lokvarka kad dotok u bazen Bajer prijeđe ograničeni akumulacioni kapacitet tog bazena i potrošak Pelton-turbine u HE Vinodol.

Objekti koje treba izgraditi u okviru PHE Vinodol jesu:

- gornji bazen »Razromir« (bez prirodnog dotoka)
- tlačni dovod (kraći tunel, vodna i zasunska komora, te podzemni tlačni cjevovod)
- strojarnica i rasklopno postrojenje, te veza s mrežom 220 kV
- donji bazen »Tribalj« (vec u izgradnji za potrebe vodoopskrbe)
- pumpna stanica Tribalj.

Uspor vode u bazenu »Tribalj« nešo je viši od vodostaja u odvodnom kanalu HE Vinodol. Budući da je prirodni dotok u taj bazen u sušno doba zanemarljiv, to je potrebno za prvo punjenje i za nadoknađivanje gubitaka vode i potroška oduzimanja pumpama dizati vodu iz odvodnog kanala u bazen, što zahtijeva izgradnju pumpne stanice (PS) Tribalj.

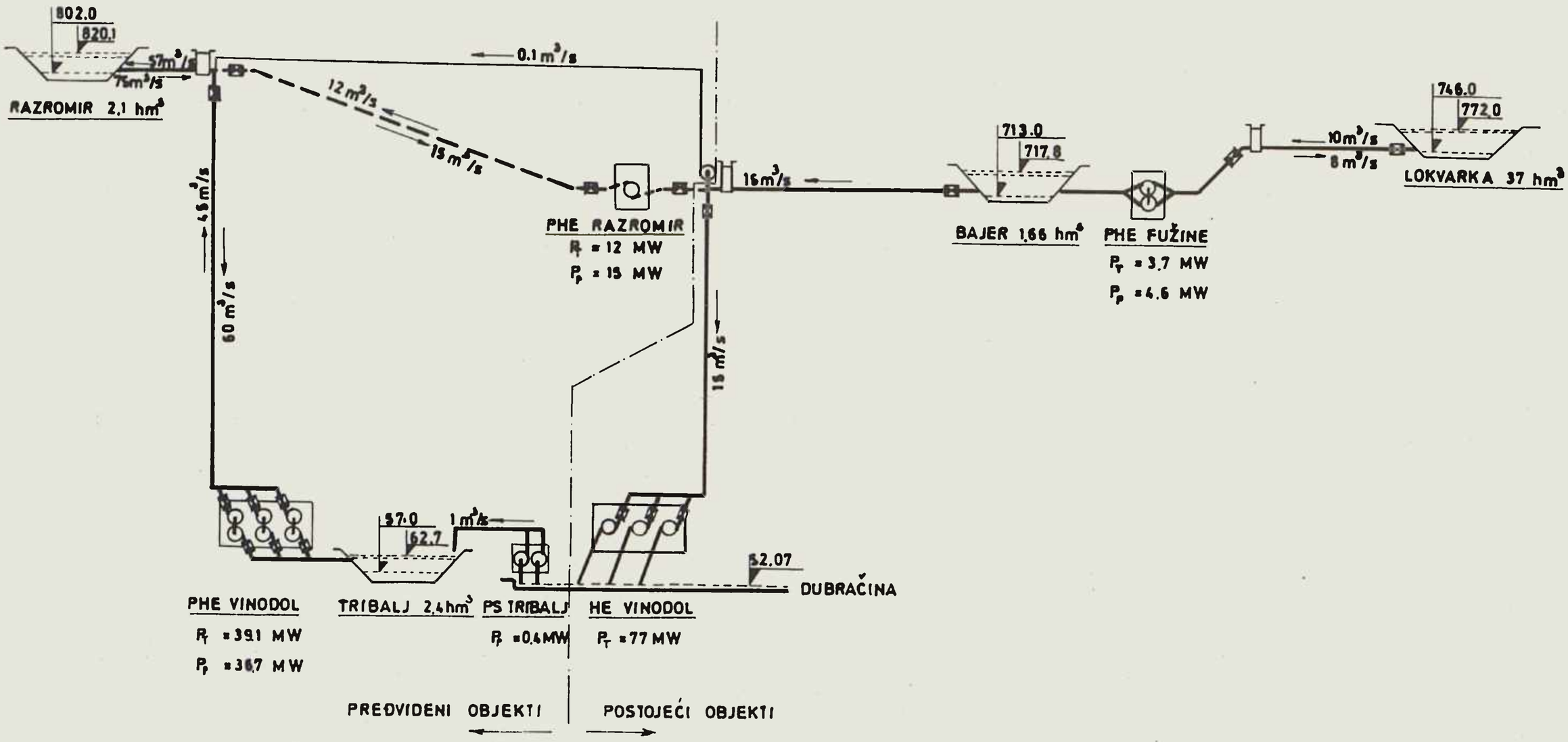
PHE Razomir imat će jednu reverzibilnu grupu, koja će na upojnoj strani biti povezana s tlačnim dovodom HE Vinodol ispod vodne komore.

Gornji bazen »Razromir« izgradio bi se izgradnjom nasute dolinske pregrade i imao bi korisni volumen 2,10 hm^3 između uspora 802,0 i 820,1 m n.m. U redovnom pogonu u bazenu će se čuvati rezerva 0,3 hm^3 vode, koja bi se koristila za turbinski pogon u izvanrednim okolnostima potreba u mreži. Radi eventualnog pražnjenja mrtvoga prostora predviđa se temeljni ispust, kroz koji se voda ispušta u kršku vrtaču. Otješnjenje površina u dodiru s vodom izvelo bi se asfalt-betonom. Oborinsko područje bazena je neznatno, pa se ne računa s prirodnim dotokom.

Tlačni dovod započinje dovodnim tunelom s ulaznim uređajem (ulazno grlo s rešetkom i tablasti zatvarač na početku dovodnog tunela). Dužina dovodnog tunela je oko 980 m, a promjer 4,5 m.

Vodna komora sastoji se od okna ϕ 4,5 i visine 10,8 m, donje komore ϕ 4,5 m i dužine 110 m u padu 2%, okna ϕ 4,5 m i visina 59,8 m s preljevom na vrhu, te gornje komore u obliku okruglog rezervoara promjera ϕ 25 m i visine 6,8 m.

Na početku tlačnog cjevovoda je poluukopana zasunska komora s leptirastim zatvaračom ϕ 3,5 m.



Sl. 1. Hidraulična shema hidroenergetskog sustava Vinodol

Zasunska komora će se vjerojatno napustiti iz više razloga.

Tlačni cjevovod je predviđen kao ubetonirana čelična cijev promjera ϕ 3,5 m, 3,4 m, 3,3 m, a izvedena u tunelskom iskopu pod kutom 32°. Završava horizontalno, gdje se predviđa betoniranje cijevi u otvorenom iskopu. Ukupna dužina tlačnog cjevovoda je oko 1 690 m.

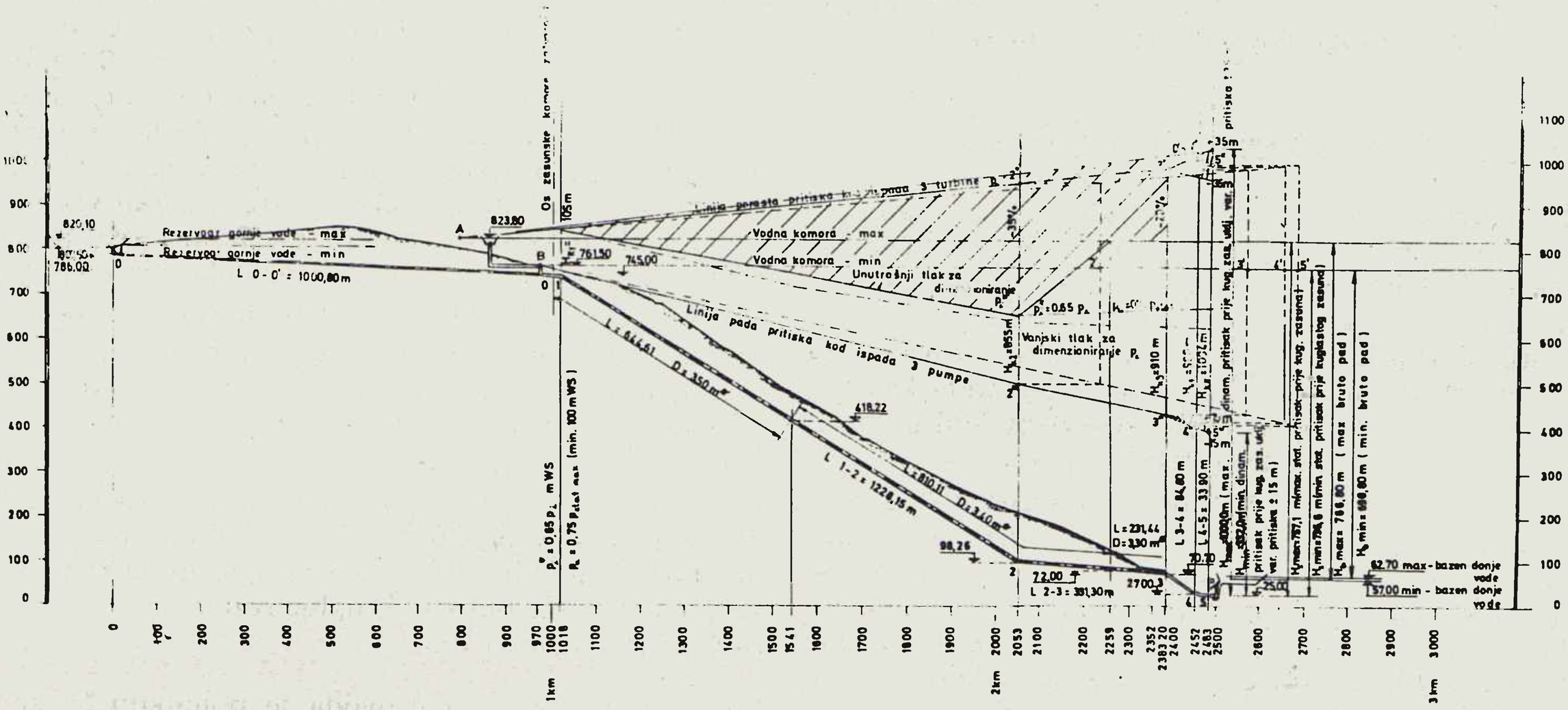
Na cjevovod se nadovezuje račva sa zasebnim odvodima do svake od tri pumpne turbine (sl. 2).

Strojarnica je smještena u oknu, s nadzemnim završetkom povezanim s montažnim prostorom i jednokatnom prigradnjom u kojoj su predviđene pogonske i uredske prostorije. U strojarnici će se ugraditi tri vertikalna reverzibilna proizvodna agregata, svaki generatorske snage 145 MVA. Dubina ukupnoga dijela je oko 47 m, a svijetli promjer 30,5 m.

Uzvodno od strojarnice i prigradnje jest prostor blok-transformatora i prostorije nekih pogonskih uređaja i postrojenja, a iznad toga rasklopno postrojenje 220 kV s tri polja blok-transformatora i dva dalekovodna polja za priključak dalekovoda do TS Melina.

Upojne cijevi pumpnih turbina završavaju u odvodnom kanalu kojim se spaja strojarnica s donjim bazenom »Tribalj«. Kanal je otvoren, promjenjivog trapeznog poprečnog presjeka. Preko njega prolazi most na cesti Tribalj — Križišće. U kanalu se predviđa zahvat rashladne vode.

Donji bazen je korisnog volumena 2,45 hm³, dobiven pregrađivanjem doline Dubračine nasutom pregradom. Dno bazena je nepropusno. Radi pražnjenja bazena predviđen je temeljni ispust kroz nasip pregrade, koji zajedno s kružnim preljevom tvori jedinst-



Sl. 2. Poprečni presjek kroz postrojenje (tlačni cjevovod)

ven objekt. Kružni preljev odvodi velike vode Dubračine u regulirano korito nizvodno od pregrade.

Strojarnica PHE Vinodol locirana je uz cestu Križišće — Tribalj — Crikvenica, gotovo neposredno uz objekte postojeće HE Vinodol.

VELIČINA IZGRADNJE I BROJ PROIZVODNIH GRUPA

Veličina izgradnje

Idejnim projektom iz 1974. godine (Elektroprojekt-Zagreb) utvrđena je veličina izgradnje PHE Vinodol sa oko 428 MVA generatorske snage, ukupnim protokom u turbinskom pogonu 60 m^3/s i ukupnim protokom u pumpnom pogonu 44 m^3/s, s obzirom na potrebe vršne snage u zapadnom elektroenergetskom sistemu Jugoslavije, odnosno sistema SRH.

Kasnijim razradama na projektu PHE Vinodol, koje su prethodile licitacionoj dokumentaciji, za glavnu opremu zadržane su približno iste vrijednosti, samo se mijenjao broj proizvodnih jedinica.

Tako je konačno usvojeno da je ukupan turbinski protok elektrane 60 m^3/s, ukupan pumpni protok 45 m^3/s, korisni volumen gornjeg bazena 2,10 hm^3 i korisni volumen donjeg bazena 2,45 hm^3.

Zbog toga se u donjem bazenu predviđa rezervni prostor, kako bi se ta količina vode primila bez prelijevanja. Gubici vode koji se očekuju odnose se samo na isparavanje, te bi se nadoknađivali u donjem bazenu crpkama u CS Tribalj iz odovodnog kanala HE »Nikola Tesla«.

Tip proizvodnih jedinica

Idejni projekt iz 1974. godine razmatrao je četiri tipa proizvodnih jedinica: **trojne grupe vertikalne** i **horizontalne izvedbe** i **reverzibilne grupe sa i bez regulacije** (sl. 3. i 4). Konačna odluka je bila: **reverzibilne grupe bez regulacije s različitim brojem stupnjeva za turbinski i pumpni pogon.** Sva rješenja i zaključci bili su bitno uvjetovani tadašnjim mogućnostima proivođača hidrauličkih strojeva u svijetu i u nas.

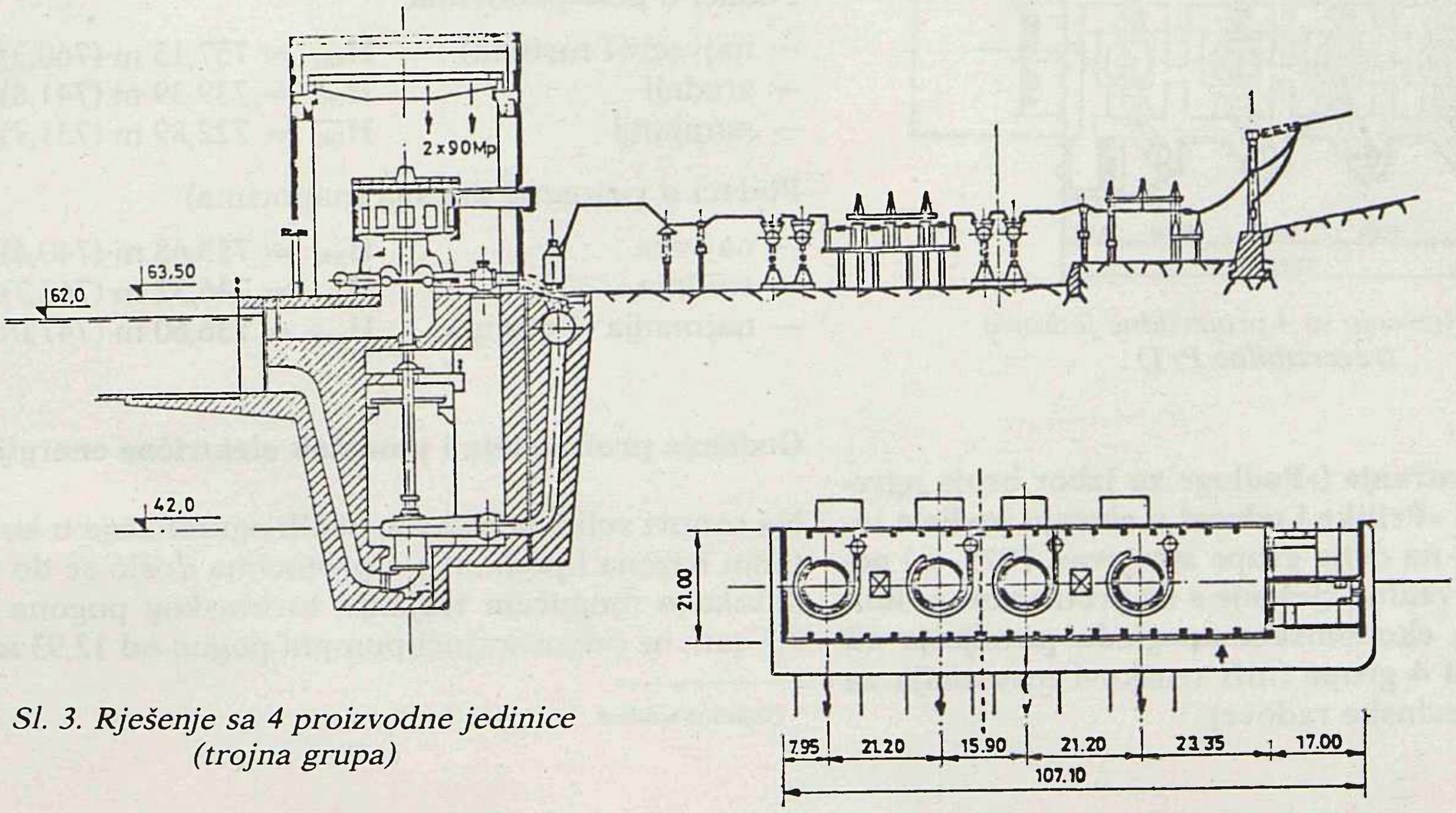
Daljnjim radovima na projektu, studijama i konzultacijama koje su provedene zajednički s potencijalnim proizvođačima strojeva za predviđene uvjete, pretkvalifikacionim natječajem za PHE Vinodol (s najvećim svjetskim tvornicama P/T) radom na licitacionoj dokumentaciji i pojedinim analizama došlo se do novih spoznaja koje su dovele do odluke da se primijene strojevi **veće jedinične snage, dvostepeni, dvostruko regulirani,** a što se tiče broja okretaja ostajalo se u granicama predviđenoga idejnim projektom iz 1974. godine: 750 o/min i alternativno 600 o/min.

Sve provedene analize pokazale su da za PHE Vinodol dolazi u obzir jedino rješenje s reverzibilnim, vertikalnim, dvostepenim, hidrauličkim strojem. U pogledu regulacije realno je predvidjeti jednostruku regulaciju u spiralnome stupnju, jer bi prihvaćanje dvostruke regulacije kod ovako velikih jedinica bilo presmjelo s obzirom na to da ni proizvođači nemaju praktičnih iskustava, a **energetski doprinos** (poboljšanje stupnja djelovanja u većem dijapazonu) **nije mogao opravdati povećane investicije.** U pogledu broja okretaja (alternative sa 600 i 750) **rješenje sa 600 o/min daje određene prednosti u pogledu dinamičkih uvjeta osovinskoga sloga i u pogledu dopuštene dubine ukopa** (iznad 17,00 m n.m.). Dinamički uvjeti su važni zbog kritične brzine grupe. **Odnos između statičkog pobjega i kritične brzine osnovnog sloga definira se spektrom frekvencije i gradijentom vibracije u blizini rezonantne frekvencije. Taj odnos može biti:**

$n_f = (1{,}05 - 1{,}1)$ odn. $(0{,}9 - 0{,}95)$. n_{kr}.

Iako u ovom pogledu nema zamjerki za rješenje za 750 o/min, rješenje sa 600 o/min je na strani sigurnosti.

U pogledu režima rada strojevi moraju zadovoljavati u režimu turbinskog, pumpnog i kompezantorskih pogona u obadva smjera vrtnje.



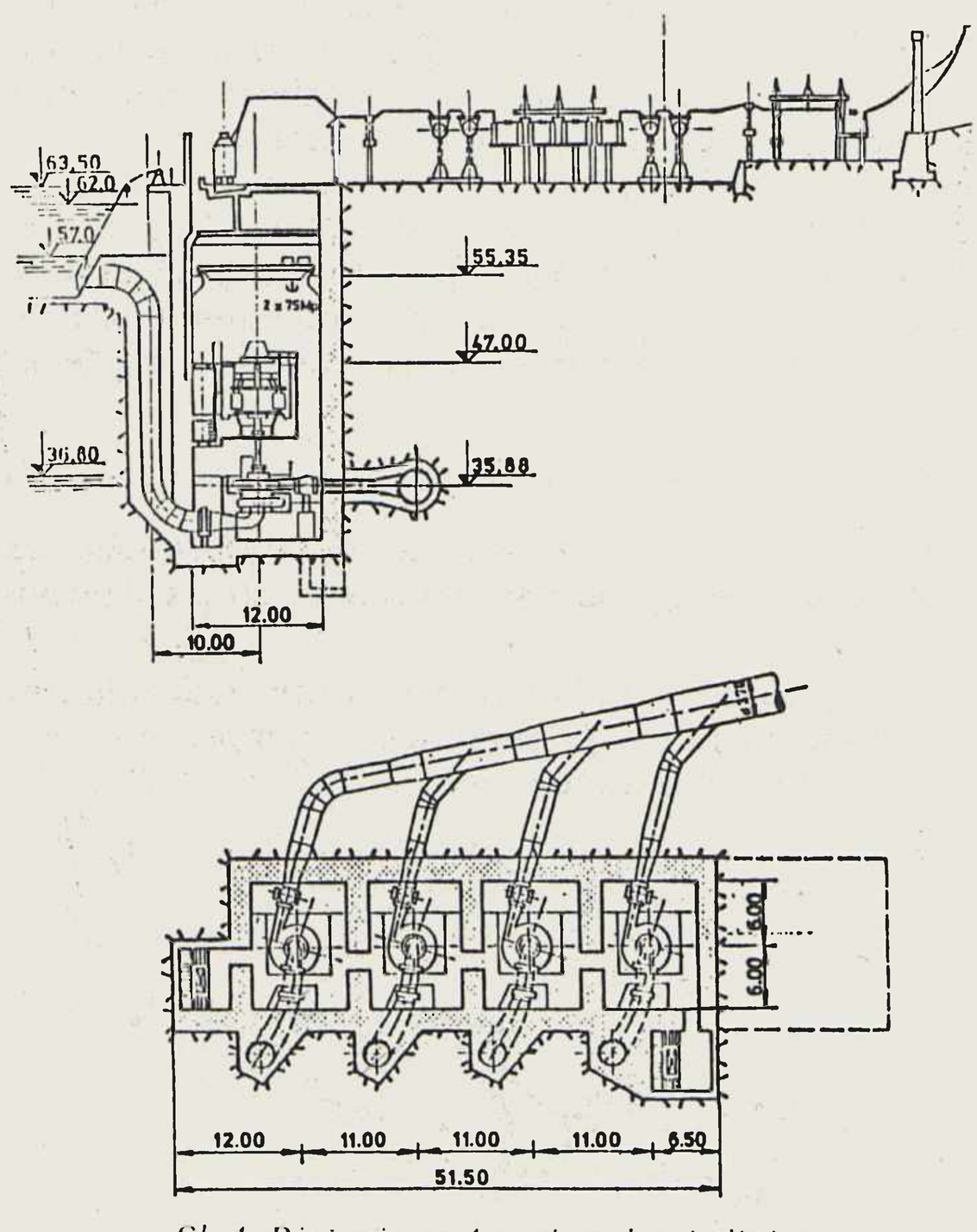
Sl. 3. Rješenje sa 4 proizvodne jedinice (trojna grupa)

Električni stroj može biti jedino sinkroni generator — motor, predviđen za kompenzatorski pogon u obadva smjera.

U pogledu zaleta u pumpni (motorski) pogon predviđa se kao osnovni sinkroni (ili polusinkroni) zalet jedne jedinice drugom (back-to back) dok se za posljednju jedinicu predviđa tzv. frekventni zalet frekventnim pretvaračem napajanim iz postojeće HE Vinodol. Eventualno dolazi u obzir i sinkrono (ili polusinkrono) jednom jedinicom iz HE »Nikola Tesla«. Pri zalijetanju posljednje jedinice pumpa svakako mora biti odvodnjena (uvjeti potrebne snage i momenta). Kod razmatranja zaleta uzet je u obzir i asinkroni zalet. Međutim, problemi i nedovoljna iskustva s ovom vrstom zaleta takvi su da se ne bi mogao primijeniti za ovako velike i značajne jedinice.

Broj proizvodnih jedinica

U idejnom projektu iz 1974. godine prihvaćeno je rješenje sa 4 proizvodne jedinice. Pri tome je bio odlučan utjecaj tadašnjih mogućnosti proizvođača strojeva (granične snage za dani broj okretaja).



Sl. 4. Rješenje sa 4 proizvodne jedinice (reverzibilne P/T)

Naknada razmatranja (»Podloge za izbor broja agregata«, 1975. g. i »Prilike i odnosi u slučaju podjele instalirane snage na dvije grupe strojeva«, 1979. g.) pokazala su da je realno rješenje s tri proizvodne jedinice, koje je i u ekonomskom pogledu povoljnije od rješenja sa 2 ili 4 grupe (niži troškovi investicija za opremu i građevinske radove).

PROIZVODNJA I POTROŠNJA ENERGIJE

Stupnjevi djelovanja

Krivulje stupnjeva djelovanja strojeva prilično su ovisne o isporučiocu, posebice za hidraulički stroj.

Približne prosječne najveće vrijednosti stupnjeva djelovanja su:

— za hidraulički stroj u turbinskom pogonu:	$\eta_t = 0{,}896$
— za hidraulički stroj u pumpnom pogonu:	$\eta p = 0{,}893$
— za električki stroj u generatorskom pogonu:	$\eta_G = 0{,}987$
— za električki stroj u motorskom pogonu:	$\eta_M = 0{,}989$
— bloktransformator:	$\eta_T = 0{,}99$

Protoci i padovi

Podaci o gornjem bazenu:

— korisni volumen	$V_{kg} = 2{,}10\ hm^3$
— nivo vode: najviši	$GV_M = 820{,}10$ m n.m.
srednji energetski	$GV_s = 815{,}40$ m n.m.
najniži	$GV_m = 802{,}00$ m n.m.

Podaci o donjem bazenu:

— korisni volumen	$V_{kd} = 2{,}45\ hm^3$
— nivo vode: najviši	$DV_M = 62{,}70$ m n.m.
srednji energetski	$DV_S = 60{,}00$ m n.m.
najniži	$DV_m = 57{,}00$ m n.m.

Podaci o protocima:

— najveći ukupni zaturbinski pogon	$Q_{it} = 60\ m^3/s$
— najveći ukupni za pumpni pogon	$Q_{ip} = 45\ m^3/s$
— broj hidrauličkih strojeva	$i = 3$
— protok po stroju za turbinski pogon	$Q_t = 20\ m^3/s$
— protok po stroju za pumpni pogon	$Q_p = 15\ m^3/s$

Podaci o neto-padovima

— najveći (1 turbina)	$H_{tM} = 757{,}13$ m (760,3)*
— srednji	$H_{tS} = 739{,}39$ m (741,8)
— namjanji	$H_{tm} = 722{,}89$ m (731,7)

Podaci o visinama dizanja (naporima)

— najveća	$H_{pM} = 753{,}68$ m (740,4)*
— srednja	$H_{ps} = 746{,}32$ m (762,7)
— najmanja (1 pumpa)	$H_{pm} = 736{,}60$ m (747,0).

Godišnja proizvodnja i potrošak električne energije

Na osnovi veličina bazena, nekih ograničenja u korištenju bazena i podataka o protocima došlo se do podataka o mogućem trajanju turbinskog pogona od 9,7 sati, uz odgovarajući pumpni pogon od 12,93 sati.

* Podaci iz tendera

Uz normalni rad gornjeg i donjeg bazena **računa se s turbinskim radom sva tri stroja po 5,86 sati, dok je pumpni rad sva tri stroja predviđen sa po 7 sati dnevno radnim danima, te 8,5 sati subotom i 9,57 sati nedjeljom.**

No, navedena dnevna trajanja pogona PHE Vinodol samo su moguća trajanja nazivom dobavom i potroškom, a stvarno **trajanje turbinskog i pumpnog pogona punom snagom ocjenjuje se s oko 1 000 sati (turbinski pogon) i 1 350 sati (pumpni pogon).**

Stvarna trajanja uveliko će ovisiti o mogućnostima i potrebama mreže i ocjeni elektroprivredne dispečarske službe. Sadašnje »viđenje« toga problema obrađeno je studijom vrijednosti i doprinosa CHE Vinodol u elektroenergetskom sustavu (Institut za elektriprivredu — Zagreb, 1980).

Iz svega navedenoga slijedi da je proračun vjerojatne proizvodnje i potroška moguće dati samo približno, ali dovoljno točno za ovaj nivo razrade.

U idejnom projektu (Elektroprojekt — Zagreb, 1974) **računalo se s proizvodnjom od 711,8 GWh i potroškom od 963,2 GWh.**

VEZA S MREŽOM I OSNOVNA ELEKTRIČKA SHEMA ELEKTRANE

Veza elektrane s mrežom

Detaljnom analizom uklapanja PHE Vinodol u elektroenergetsku mrežu donešena je odluka o povezivanju elektrane s mrežom 220 kV putem dva dalekovoda priključena na TS Melina 380/220/110 kV. Time se osigurava dovoljno sigurno i kvalitetno povezivanje elektrane s velikim čvorištem u gotovo neposrednoj blizini, dakle i plasman proizvedene energije i korištenje viškova energije, odnosno predviđeno funkcioniranje PHE Vinodol. Udaljenost PHE Vinodol od TS Melina jest oko 14 km (v.sl. 5).

Za potrebe zaleta posljednje jedinice u PHE Vinodol predviđa se priključak jednoga odvoda 10 kV na generatorske sabirnice u postojećoj HE »Nikola Tesla«. Ovaj se odvod dimenzionira za oko 8 MVA.

Za potrebe opskrbe vlastite potrošnje elektrane predviđa se priključak transformatora 2,5 MVA, 35/0,4 kV na postrojenje 35 kV u HE »Nikola Tesla«.

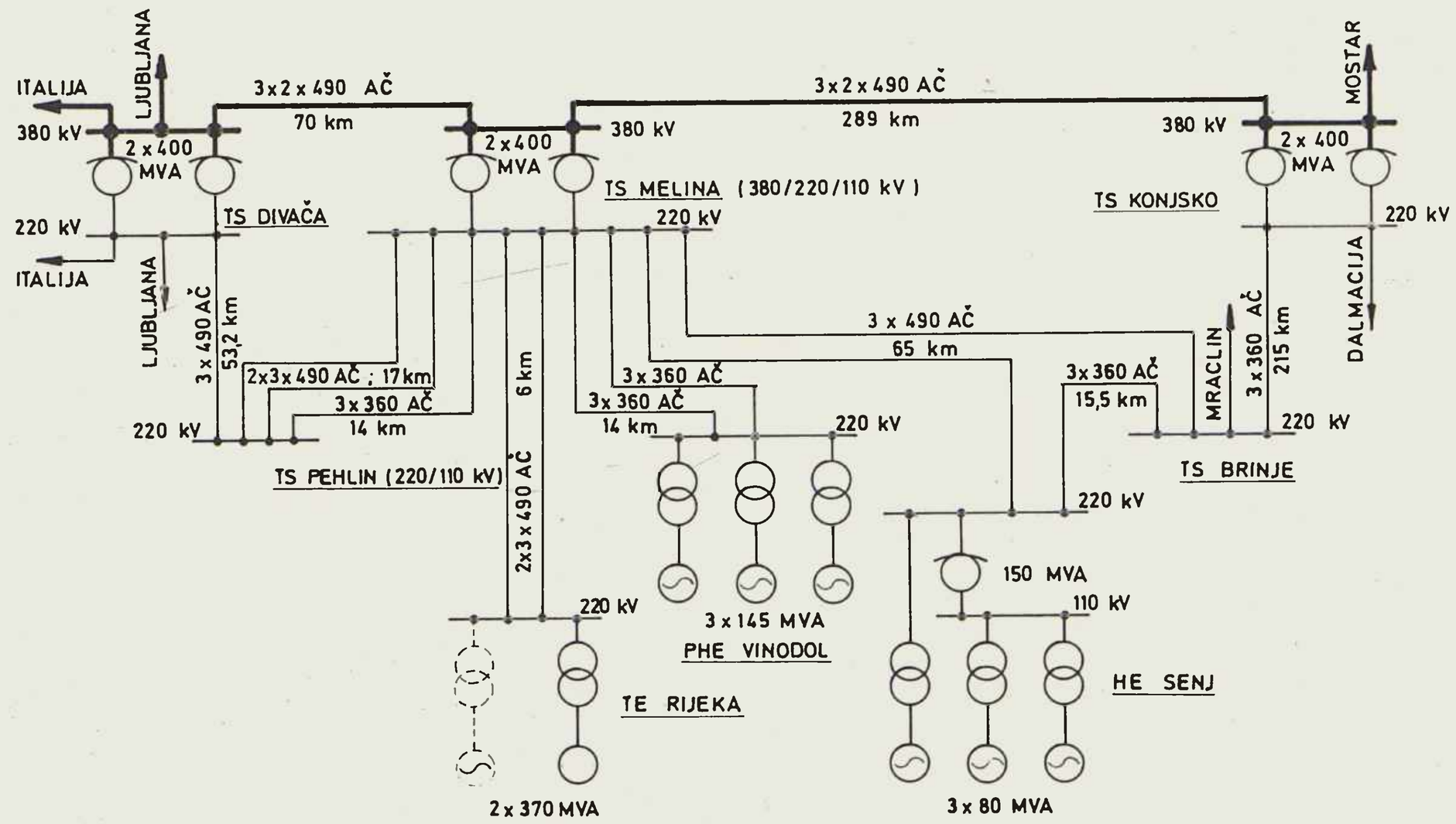
Osnovna električka shema elektrane

Problem osnovne sheme elektrane evoluirao je tijekom vremena, usporedo sa saznanjima o drugim elementima elektrane koji su s njom u tijesnoj vezi.

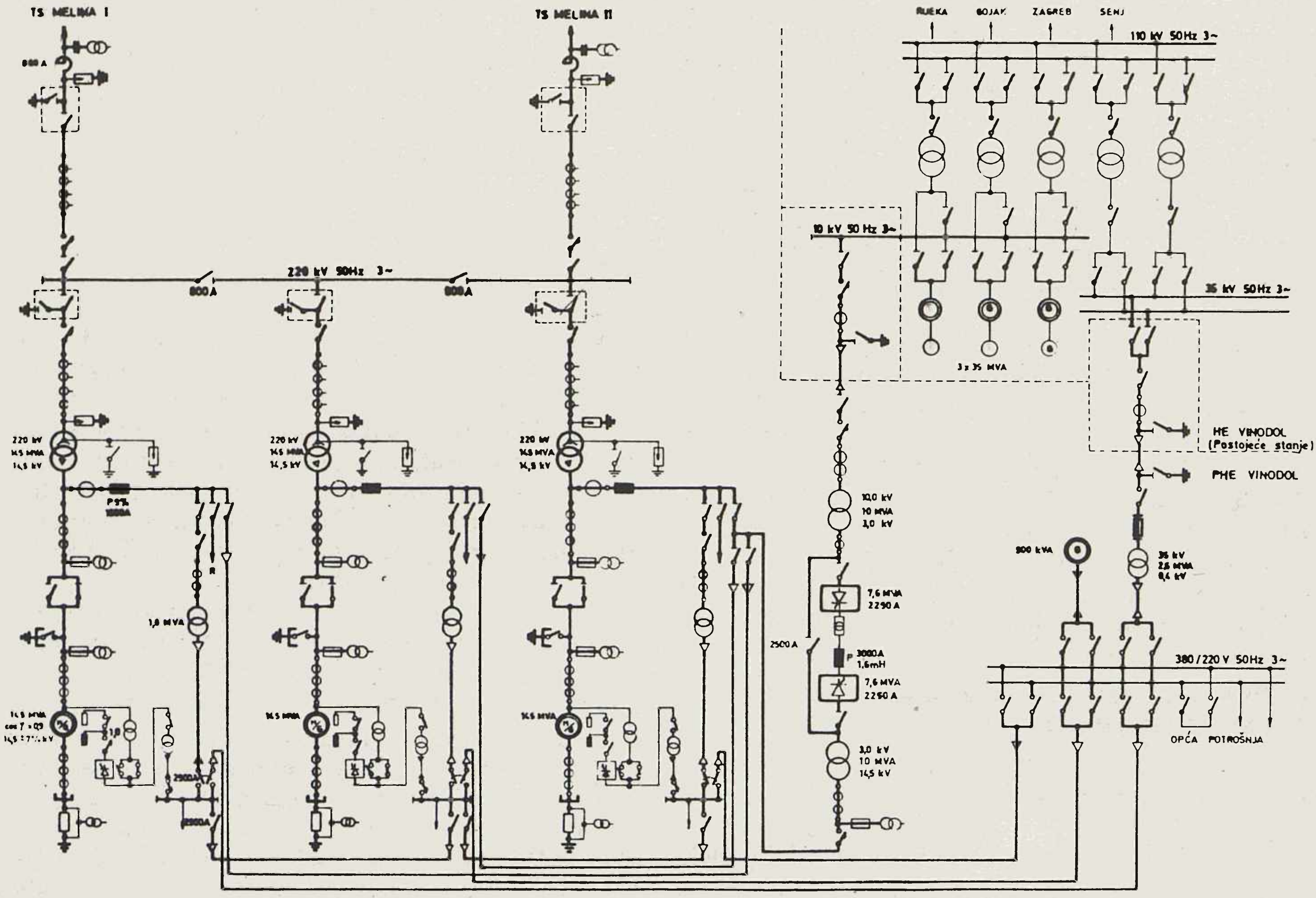
Postrojenje 220 kV, s dva dalekovodna polja i tri polja blok-transformatora, predviđa se s jednostrukim, dvaput sekcioniranim sabirnicama (sekcijski rastavljači između priključaka polja blok-transformatora). Spoj blok-transformatora na postrojenje 220 kV izveo bi se cijevnim vodičima.

Zalet strojeva sinkronim (ili polusinkronim) načinom izvodio bi se preko sabirnica 220 kV, dok bi se za posljednju jedinicu koristio priključak s frekventnog pretvarača na otcjepe u blok-spojevima (v.sl. 6).

Vlastita potrošnja agregata napajat će se putem transformatora 1,6 MVA u otcjepima blok-spojeva. Pojedinačni razvodi svake od grupa spojeni su međusobno i s razvodom 0,4 kV opće potrošnje. Razvod opće potrošnje napaja se iz postrojenja 35 kV u HE »Nikola Tesla« i osigurava napajanje potrošača agregata kod zaleta i ostalih potrošača u elektrani. Ovaj razvod bi se izveo u dijelu dovoda i odvoda na razvode agregata s dvostrukim sabirnicama, dok bi se pojedini opći potrošaći priključivali na jednu od sabirnica. Za osiguravanje održavanja pogona i opskrbu potrošača koji i kod mirovanja elektrane moraju imati osiguranu opskrbu predviđa se dizel-agregat snage 500 kVA, a priključuje se na razvod »Opće po-



Sl. 5. Veza PHE Vinodol s mrežom (energetskim sistemom)



Sl. 6. Jednopolna električna shema

trošnje«. Time je osigurana i nužna rezerva kod radova na dovodu 35 kV iz postrojenja postojeće elektrane.

Predviđeni generatori — motori su u blok-spoju s blok-transformatorima. Nazivni napon generatora — motora bit će 14,5 ± 7% kV, a prijenosni omjer blok-transformatora 14,5/220 kV.

O električkoj shemi i odgovarajućoj opremi više u točki 8.

Račun kratkog spoja

Ulazni podaci za račun kratkog spoja jesu:

— generatori — motori (G/M): $S_n = 145$ MVA, $X''_d = 21\%$
— blok-transformatori (BT): $S_n = 145$ MVA, $U_k = 12{,}5\%$
— prigušnica (P): $S_p = 25{,}1$ MVA, $U_k = 5\%$
— transformatori (TKI), (TKII), (TKIII): $S_n = 1{,}6$ MVA, $U_k = 6\%$
— transformator (TK): $S_n = 2{,}5$ MVA, $U_k = 6{,}5\%$
— transformator (TP1): $S_n = 10$ MVA, $U_k = 8\%$
— sabirnice 220 kV PHE Vinodol: $S_{k220} = 10\,000$ MVA
— sabirnice 10 kV u HE »Nikola Tesla«: $S_{k10} = 250$ MVA
— sabirnice 35 kV u HE »Nikola Tesla«: $S_{k35} = 500$ MVA

Rezultati računa dani su u tablici:

Mjesto kratkog spoja	S''_k (MVA)	I''_k (kA)	I_u (kA)
1. sabirnica 220 kV	10 000	26,3	66
2. blok-spoj 14,5 kV	1 125	44,8	112
3. odcjep blok-spoja 14,5 kV	427	17,0	42,5
4. sabirnica 0,4 kV preko 1,6 MVA	27,5	39,8	95,5
5. sabirnica 0,4 kV preko 2,5 MVA	39	56,3	135
6. frekventni pretvarač 3 kV	88,7	29,6	74

Pri proračunu snaga kratkoga spoja nisu uzeti u obzir otpori spojnih vodiča (golih ili kabelskih) koji povezuju elemente uzete u proračunu, a također ni utjecaji predviđenih osigurača na 35 kV, što utječe na smanjenje danih veličina i naročito je zanimljivo na naponu 0,4 kV.

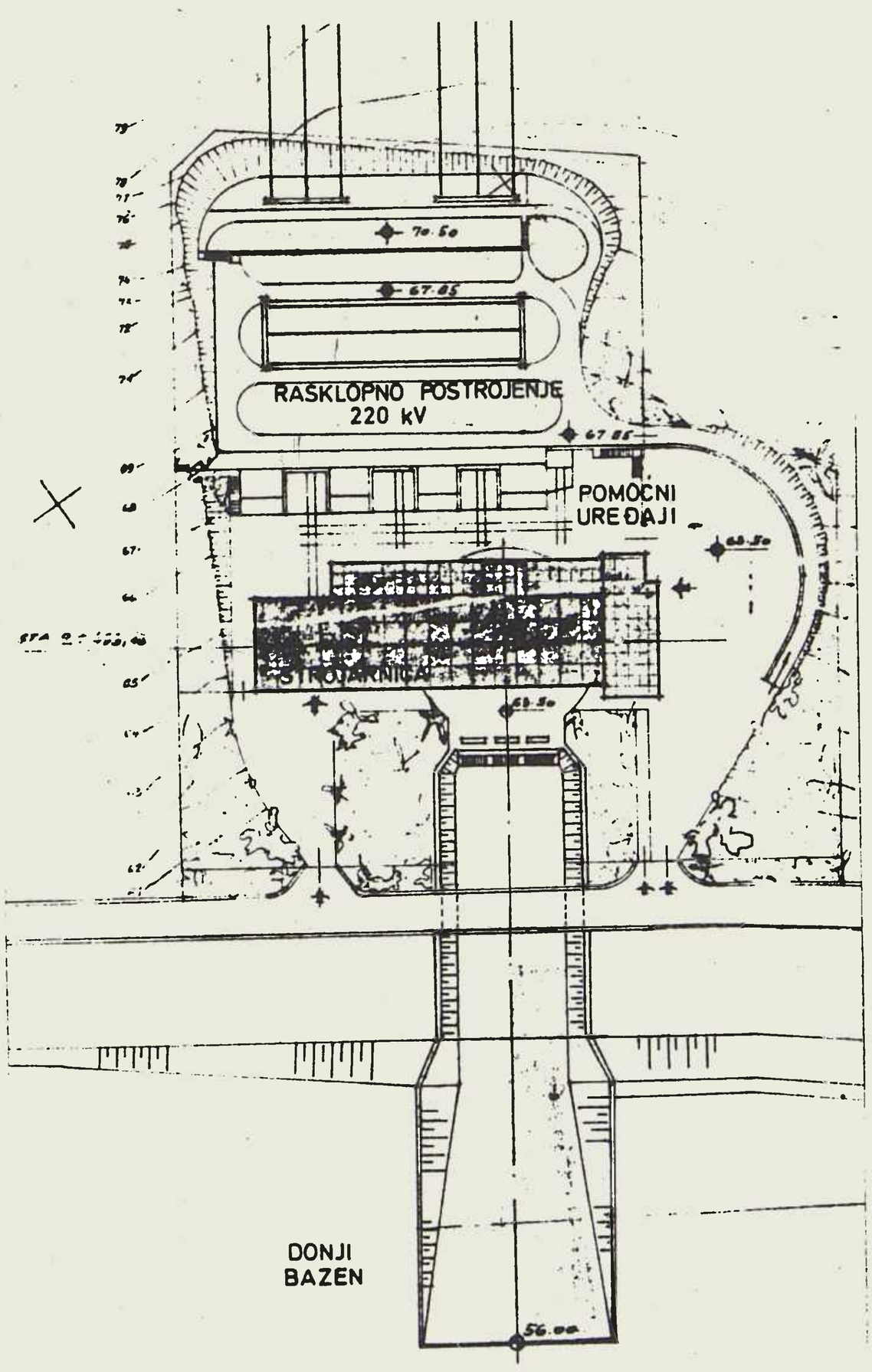
OSNOVNA DISPOZICIJA STROJARNICE I SMJEŠTAJ OPREME

Predviđena je vanjska strojarnica ukopane izvedbe u laporotivom materijalu kojim je prekrivena dolina. Smještaj u kaverni nije uzet u obzir, jer bi se u propusnom vapnencu, sigurno, naišlo na podzemnu vodu.

Strojarnica je rješena u obliku bunara potrebne dubine zbog statičkih i ostalih uvjeta. Svijetli promjer je 30,5 m. U strojarnici će se ugraditi tri grupe s pumpnim turbinama i sinkronim generatorima — motorima.

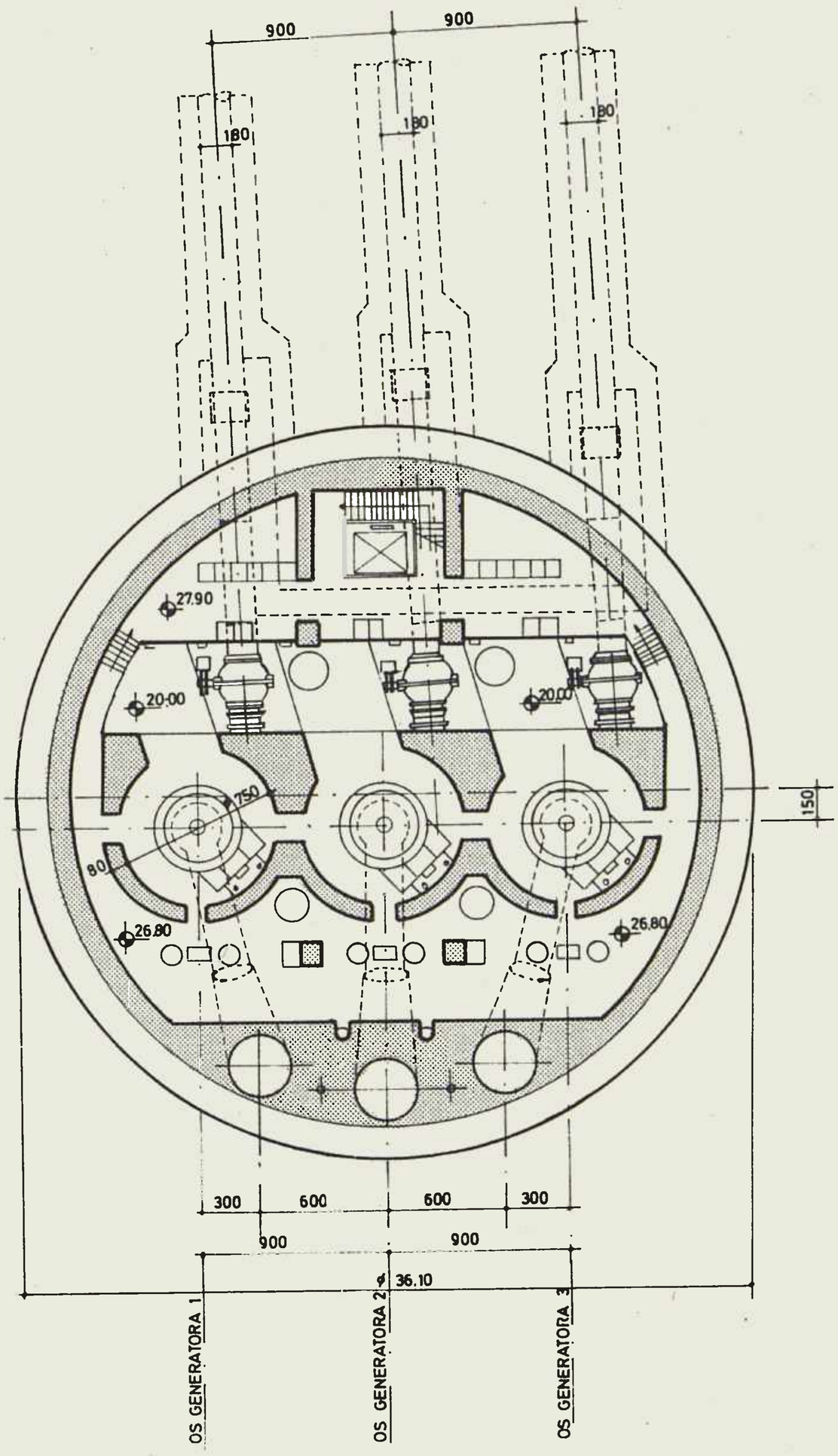
Smjer vrtnje strojeva, gledano odozgo u turbinskom radu, jest u smjeru hoda kazaljke na satu.

Osnovni podaci o predviđenom načinu izgradnje i dispozicije objekata čvora strojarnice prikazane su u priloženim slikama 7, 8,9,10. i 11.



Sl. 7. Situacioni plan (čvor strojarnice) (kota 63,5)

Predviđa se bunar strojarnice kružnog presjeka s vanjskim i unutarnjim betonskim cilindrom. Vanjski cilindar se izgrađuje gore, pa se u više sekcija spušta potkopavanjem. Kad je vanjski cilindar dovoljno spušten, izrađuje se dno, a zatim i unutarnji cilindar sa svim armiranobetonskim konstrukcijama.



Sl. 8. Tlocrt turbinskog kata (kota 26,80)

Rješenje s bunarom usvojeno je nakon opsežnih analiza koje su uzele u obzir i konstruktivne prednosti, statičke uvjete, stabilnost, način gradnje i optimalno iskorištenje potrebnog volumena.

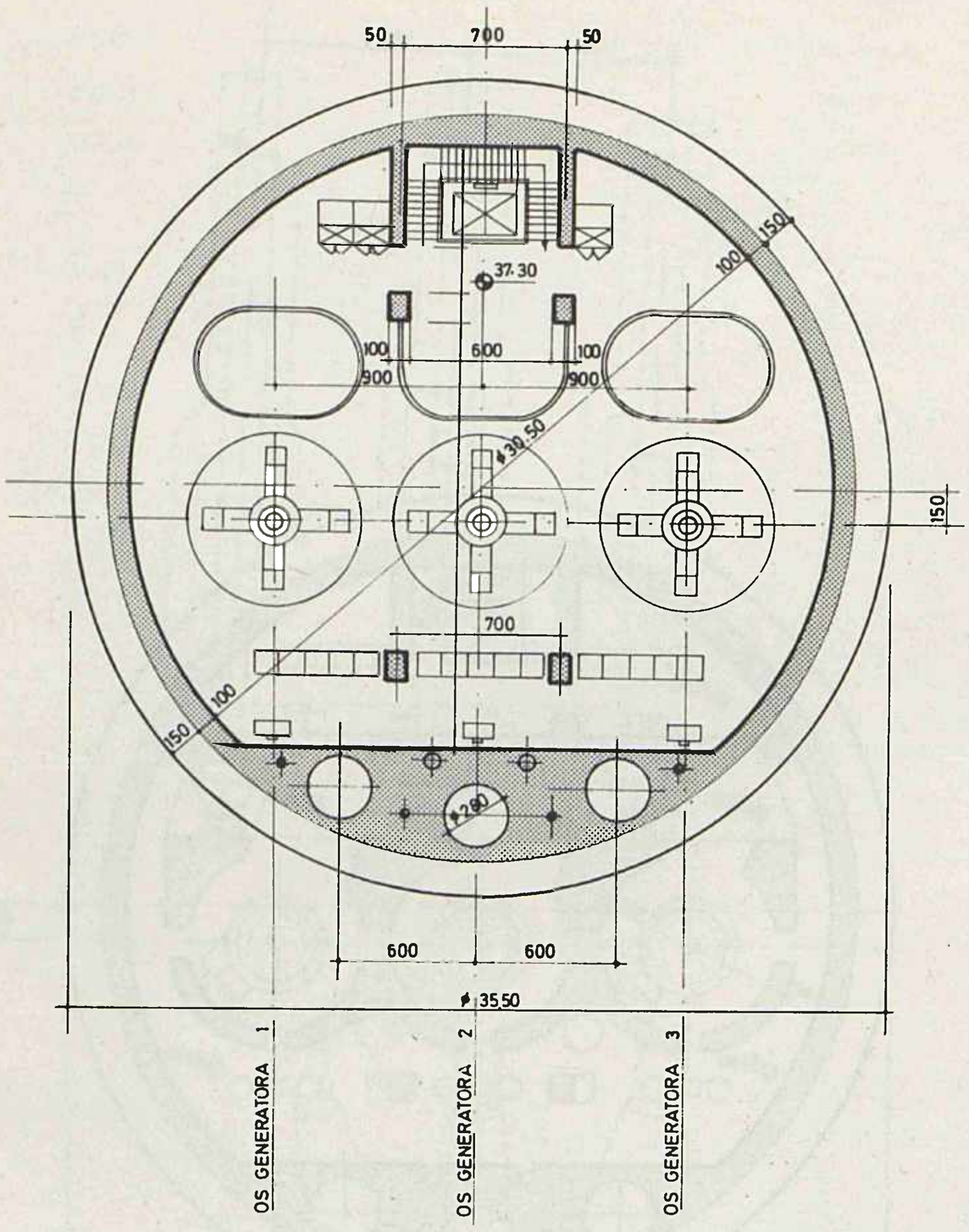
Prostori s uzvodne i nizvodne strane bunara bit će podijeljeni u etaže i koristit će se za smještaj pomoćnih pogona, električnih uređaja i nusprostorija. Po čitavoj visini bunara izgradit će se četiri armiranobetonska stupa na kojima leže jaki gradni nosači, a iz ovih izlaze stupovi nadzemnog dijela strojarnice s grednim nosačima za stazu dizalica.

Srednji prostor iznad strojeva i zatvarača visokog pritiska jest slobodan, tako da su na dohvatu montažnih dizalica. S uzvodne strane je stubište s liftom ispred kojih vode hodnici u svim etažama. Veza s nekim prostorima na nizvodnoj strani ostvaruju se prolazima uz oblogu bunara s obje bočne strane.

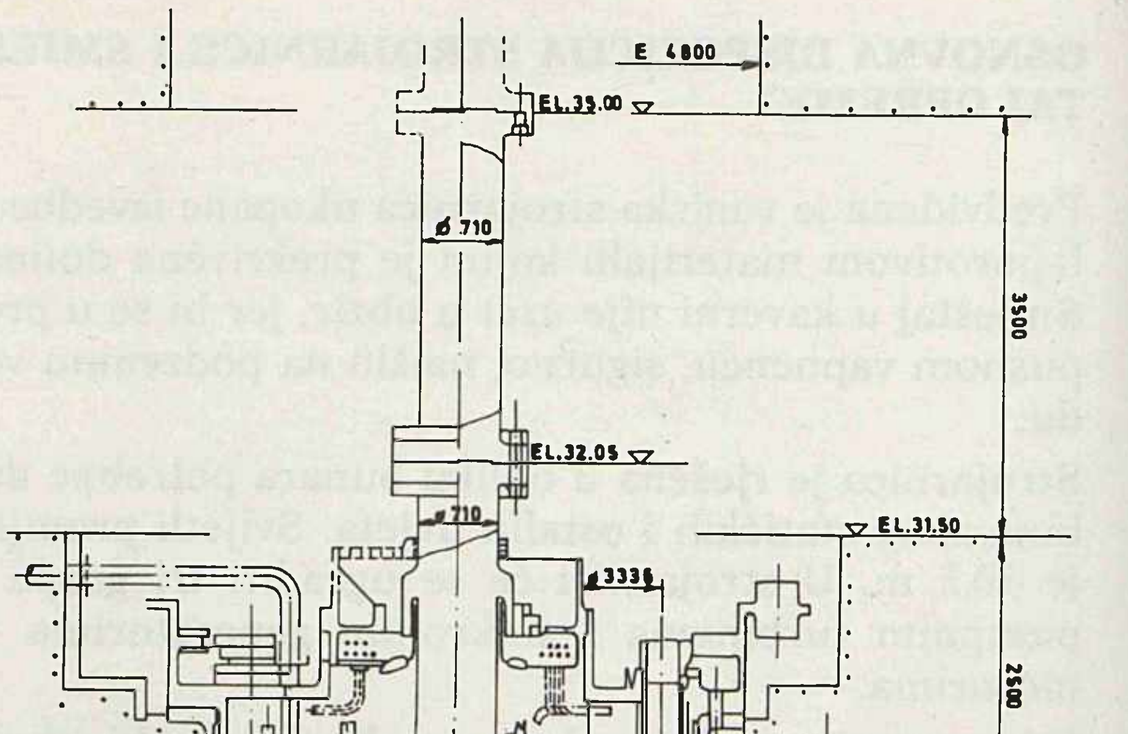
Predviđa se i vertikalna komunikacija kao izlaz u nuždi.

U bunaru strojarnice, počevši odozdo, nalaze se ove etaže:

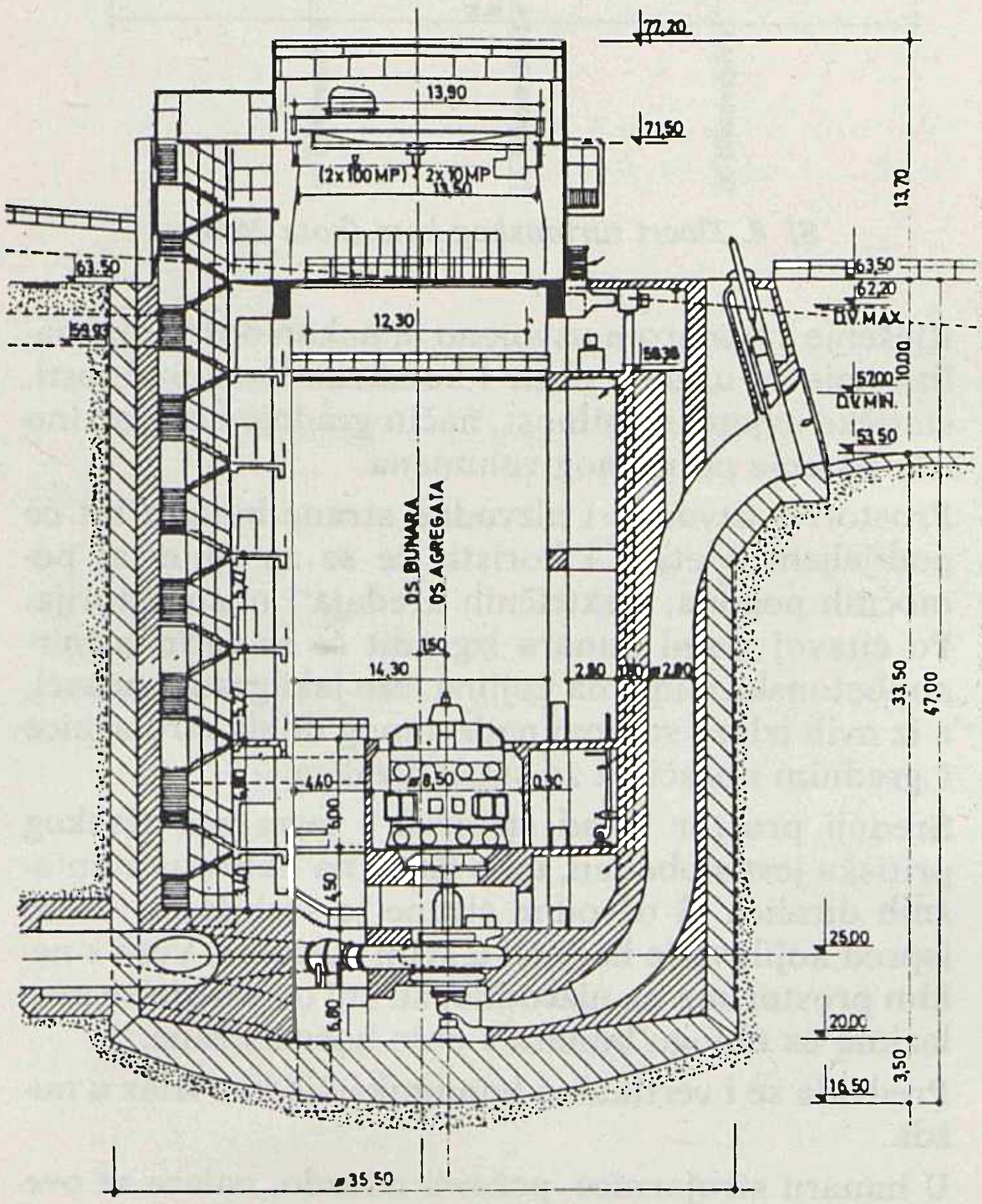
— kat zatvarača i upojnih cijevi



Sl. 9. Tlocrt strojarnice (kota 37,30)



Sl. 11. Presjek kroz pumpnu turbinu (P/T)



Sl. 10. Poprečni presjek (strojarnica)

— kat pumpnih turbina
— kat generatora — motora
— kat statičke uzbude,
— eventualno slobodna visina
— kat klimatizacije i uljnih uređaja zatvarača na upojnim cijevima.

Nadzemni je dio strojarnice u jednoj etaži, a prigradnje imaju prizemlje i prvi kat.

Prostori uzvodno od strojarnice pred rasklopnim postrojenjem sadrže blok-transformatore na slobodnom i dio razvoda generatorskog napona i kućne transformatore u prizemnom objektu.

Tlačni cjevovod završava kod površine terena uzvodno od razvoda 220 kV. Tu bi se izvela trokraka račva te bi tri cijevi do pumpnih turbina prolazile kroz paralelne tunele. Prije uzlaza u bunar svaka od te tri cijevi prolazi kroz komoru za elastičnu vezu s cijevima u bunaru strojarnice.

Upojne cijevi pumpnih turbina nakon potrebne dužine prelaze u vertikalne cijevi koje završavaju grlom u donjoj vodi. Te posebno oblikovane cijevi ugradit će se u prošireni beton unutarnje obloge bunara. Na grlima bit će postavljeni brzi zatvarači i guste rešetke.

PROIZVODNE GRUPE (STROJEVI)

Hidraulički stroj

Hidraulički stroj je vertikalna, reverzibilna, dvostepena pumpna turbina tipa Francis s jednostrukom regulacijom u spiralnom stupnju.

Predviđa se direktni spoj pumpne turbine s generatorom — motorom, s time da će se ugraditi međuosovina koja pripada u isporuku pumpne turbine. Generator — motor postavlja se iznad pumpne turbine i opreme gornjim kombiniranim nosećim i vodećim i donjim vodećim ležajom.

Hidraulički stroj ima dva vodeća ležaja: gornji na gornjem poklopcu i donji ispod upojne cijevi, predviđene za dva smjera vrtnje.

Najniža kota ugradnje stroja ne treba biti ispod 17,0 m n.m. Hidraulički stroj predviđa se za kompenzatorski pogon u obadva smjera vrtnje i zalet u pumpni pogon s odvođenim i neodvođenim rotorima. Za potrebe ododnjavanja predviđa se kompresorsko postrojenje za proizvodnju koprimiranog zraka kojima se potiskuje voda iz stroja.

Regulacioni privodni alat služi za regulaciju protoka. Pogon je servomotorima s tlačnim uljem.

Strojevi se opremaju elektrohidrauličkim regulatorima broja okretaja s elektroničkim upravljačkim komponentama, predviđenjima za grupni rad i sekundarnu regulaciju.

Zbog potreba automatizacije pogona strojevi će se opremiti potrebnim davačima mjernih veličina ili položaja, te priključcima za mjerenja naprezanja, deformacija, pomaka, oscilacija i sl.

U pogledu demontaže stroj je koncipiran tako da se demontaža provodi bez demontaže električnog stroja, a montažne naprave uključuju se u isporuku hidrauličkog stroja.

Zatvarači na obadva kraja pumpne turbine uključuju se u automatiku proizvodne grupe.

Svaka turbina oprema se zasebnim sistemima opskrbe tlačnim uljem i zrakom i uljem za podmazivanje. Opskrba rashladnom vodom zajednička je za svaku grupu hidraulčki stroj — električni stroj.

Prilike kod hidrauličkog udara

Prilike kod hidrauličkog udara, koji nastupa kod nagle obustave turbinskog ili pumpnog pogona, definirane su sljedećim parametrima:

(1) Ukupna dužina dovoda $L = \Sigma(L_i) = 1723{,}0$ m

(2) Ukupni produkt $(L \cdot v) = \Sigma(L_i \cdot v_i)$:
— za turbinski pogon $(L \cdot v)_t = 11319{,}0\ (m^2/s)$
— za pumpni pogon $(L \cdot v)_p = 8488{,}6\ (m^2/s)$

(3) Ekvivalentna brzina $v_o = (Q_o \cdot \frac{L_i \cdot v_i}{L_i \cdot A_i})\ 1/2$
— za turbinski pogon: $v_{ot} = 6{,}53$ (m/s)
— za pumpni pogon: $v_{op} = 4{,}89$ (m/s)

(4) Ekvivalentni promjer cjevovoda $D_o(\frac{4Q_o}{\pi\ 16\ v_o})\ 1/2$
$D_o = 3{,}43$ (m)

(5) Brzina širenja vodnog vala od predturbinskog zatvarača do osi okna vodne komore

$$a_o = \frac{L}{\Sigma(L_i \cdot a_i)} = 1270{,}0\ (m/s)$$

gdje je $a_i \doteq \frac{1420}{\sqrt{1 + \frac{D_i}{S_i \cdot 100}}}$

D_i — unutarnji promjer dionice cjevovoda (m)
S_i —debljina stijenke (m).
Protoci Q_{ot} i Q_{op} vrijede za oba režim rada uz neto-padove iz točke 3.2.

Proračun prilika pritiska u cjevovodu proveden je uz ove veličine:

(6) Zamašni moment proizvodne grupe
$GD_1^2 = 1\,000\ (10^4 N.m^2)$

(7) Zamašni moment 3 grupe
$GD_3^2 = 3\,000\ (10^4\ N.m^2)$

(8) Nazivni broj okretaja grupe $n = 600\ (min^{-1})$

(9) Turbinske snage: $P_{t1} = 130$ MW, $P_{t3} = 390$ MW

(10) Pumpne snage: $P_{p1} = 123$ MW, $P_{p3} = 369$ MW.

Rezultati računa daju ove veličine:

(11) Vrijeme zaleta grupe u turbinski i pumpni pogon:

$$T_{At} = \frac{GD_1^2 \cdot n^2}{0{,}37 \cdot P_{t1}} \cdot 10^{-6} = 7{,}48\ (s)$$

$$T_{Ap} = \frac{GD_1^2 \cdot n^2}{0{,}37 \cdot P_{p1}} \cdot 10^{-6} = 7{,}91\ (s)$$

(12) Trajanje faze kolebanja: $2.L/a_0 = 2{,}70$ (s)

(13) Karakteristična vremena cjevovoda za oba režima:

$$tc_t = \frac{(L \cdot v)_t}{g \cdot H_{tM}} = 11319{,}0/9{,}81.757{,}1 = 1{,}52\ (s)$$

$$tc_p = \frac{(L \cdot v)_t}{g \cdot H_{pM}}\ 8488{,}6/9{,}81.753{,}7 = 1{,}15\ (s)$$

(14) Izraz $K \cdot \frac{2 \cdot L}{a_o} = \frac{L}{T_A \cdot Q_o}$; $K = \frac{1}{2 \cdot T_A} = 0{,}07$, odn. 0,06

$$K \cdot \frac{2L}{a_o} = \frac{L}{T_{Ap} \cdot a_o} = \frac{1723{,}0}{7{,}91.1270} = 0{,}17$$

(15) Izraz $2\rho = \frac{a_o \cdot v_o}{g \cdot H_n}$ iznosi: (v.J. Parmakian, Water hammer Analysis)

$2\rho = \frac{a_o \cdot v_{op}}{g \cdot H_{pM}} = 0{,}84$, pa se dobiva:

(16) Najveće sniženje pritiska na donjem kraju cjevovoda, kod otvorenog predturbinskog zatvarača, kod ispada 3 grupe:

$-\Delta H/H_{pM} \doteq -44\%, -\Delta H =$
$= 0{,}44 \cdot 754 \doteq -332{,}0$ m

Najveće povišenje povratnog pritiska na donjem kraju cjevovoda uz uvjete kao gore:

$+\Delta H/H_{pM} = 9{,}5\%,$
$+\Delta H = 0{,}095.754 = +72{,}0$ m

(17) Vrijeme inverzije protoka: $t_{q=0} = 3{,}1.1{,}35 = 4{,}2$ s
(Od $Q_{op} = 45\ m^3/s$ do $Q_{op} = \phi$)

Vrijeme do trenutka n = ϕ:
$t_{n=o} = 8 \cdot L/a_o = 8.1,35 = 10,8$ s, tj. grupe rade kao pumpe »ukočene«.

(18) Vrijeme postizanje najvećeg broja okretaja
$t_{n=max.} = 18.1,35 = 24,3$ s,
tj. period rada grupa »kao turbina«.

(19) U našem slučaju je:

$$t_{n=0} - t_{q=o} = 6,6 \text{ s} > \frac{2L}{a_o} = 2,7 \text{ s},$$

pa treba uzeti u obzir dodatni porast pritiska:

$$(\frac{\Delta H}{H_{pM}})^* = \frac{v_{op}}{t_{q=o}} \cdot \frac{L}{g \cdot H_{pM}} = \frac{4,89}{4,20} \cdot \frac{1723,0}{9,81.754} =$$

$= 0,27 = 27\%$

$(\frac{\Delta H}{H_{pM}}) = 0,27.754 = 204,5$ m

(20) Najveći pritisak iznosi:
$H_{max} = HpM + 204,5 = 985,5$ m

Za proračun cjevovoda je radi sigurnosti pretpostavljen maksimalni natpritisak 246,0 m. Ta je vrijednost usvojena za daljnje proračune cjevovoda.

Električki stroj

Električki stroj je vertikalan, trofazni sinkroni generator — motori noseći i vodeći, a donji vodeći. Kombinirani ležaj postavlja se na armiranobetonsku temeljnu ploču.

Dva stroja zaliječu se u motorski (pumpni) pogon s neodvodnjenim pumpnim turbinama polusinkrono (ili sinkrono) pomoću treće grupe u turbinskom pogonu, a treći s odvodnjom pumpnom turbinom pomoću frekventnog pretvarača napajanog iz HE Vinodol ili jednim strojem u HE Vinodol. Sve tri pumpne turbine predviđene su za obadva načina zaleta.

Strojevi se predviđaju za kompenzatorski pogon u obadva smjera vrtnje.

Predviđa se opseg regulacije nazivnog napona ± 7%.

Izolacija statorskog i rotorskog namota jest u klasi F. Priključne stezeljke izvoda generatora moraju biti predviđene za priključak vodiča iz aluminija. Predviđa se rotorski kompenzacioni namot koji mora biti dimenzioniran za nesimetrije do 16% inverzne struje i uvjete kod zaleta.

Predviđa se električno kočenje kratkim spajanjem izvoda generatora. Generator se oprema i mehaničkim kočnicama za zaustavljanje s pogonom na komprimirani zrak.

Hlađenje se predviđa sistemom sa zatvorenim cirkulacionim ciklusom s izmenjivačima topline zrak — voda i ventilatorima za osiguranje cirkulacije rashladnog zraka.

Kod obustave pogona predviđa se grijanje cijevnim grijačima da bi se spriječila kondenzacija.

Uzbuda stroja je statička s reguliranim tiristorima. Napaja se s izvoda generatora — motora preko fransformatora 1 000 kVA.

Stroj se oprema uređajem automatske regulacije napona i jalove snage.

Za potrebe automatizacije pogona strojevi se opremaju potrebnim davačima mjernih veličina ili položaja aparata.

Blok-transformatori

Svakoj proizvodnoj grupi pridružuje se odgovarajući blok-transformator snage 145 MVA.

Predviđen je za vanjsku montažu, trofazne izvedbe, uljni s hlađenjem OFAF (prisilna cirkulacija ulja, s ventilatorima za prisilnu cirkulaciju zraka).

Prenosni omjer 14,5/220 kV odgovara naponu generatora — motora, a iako je bez regulacije, odgovara i naponskim prilikama u mreži s obzirom na regulaciju napona ± 7%. U_n na generatoru — motoru.

Izvodi višenaponske i niženaponske strane predviđaju se za priključak golih aluminijskih vodiča.

Predviđena je grupa spoja YNd5. Zvjezdište višenaponske strane izvodi se i predviđa za kruto uzemljenje.

Oprema transformatora je standardna za transformatore toga tipa i snage.

Za unutarnji transport opreme u stojarnici i montažnom prostoru prilikom dopreme, montaže ili demontaže predviđa se dvostruka mosna dizalica, odnosno dvije mosne dizalice koje se prilikom prijevoza samo najtežih dijelova opreme mogu spojiti, pa je tada nosivost dvostruka. Dizalica se kreće duž cijele strojarnice i montažnog prostora. Duljina staze je oko 63 m, a raspon mosta dizalice 13,9 m.

Svaki most je predviđen s jednim glavnim vitlom nosivosti 1 000 kN i jednim pomoćnim vitlom nosivosti 100 kN.

HIDROMEHANIČKA OPREMA STROJARNICE

Hidromehanička oprema strojarnice obuhvaća opremu strojeva. Ostala hidromehanička oprema odnosi se na gornji i donji bazen te zasunsku komoru na početku tlačnoga cjevovoda.

Reverzibilni hidraulički strojevi opremaju se sa dva zatvarača, od kojih je jedan na tlačnoj strani, a drugi na usisnoj strani pumpe. Rad ovih zatvarača uključuje se u automatiku rada prozvodne grupe.

Predviđen je na tlačnoj strani kuglasti zatvarač s hidrauličkim servomotornim, pogonima uljem i vodom. Od tog se zatvarača zahtijeva da u svim pogonskim uvjetima osigurava prekidanje pogonskog protoka. Otvaranje i zatvaranje ovog zatvarača mora biti usklađeno s radom reguliranoga privodnog aparata, a također mora biti prilagođeno proračunatim prilikama hidrauličkog udara.Brtvljenje u zatvorenom položaju mora biti praktički bez propuštanja, a konstrukcija takva da se omogući zamjena pogonskoga brtvila remontnim brtvljenjem uz pun tlačni cjevovod. Zatvarač također treba biti opremljen by-pass ventilom.

Zatvarač na usisnoj strani koristi se za izoliranje strojeva kod vrtnje u zraku atmosferskoga tlaka te kod montaže i remonta. Također se i od ovoga zatva-

rača zahtijeva zatvaranje slobodnog istjecanja u slučaju kvara na stroju koji do toga dovodi. Predviđa se mogućnost podjele ovih funkcija na dva zatvarača, tako da je jedan na ulazu difuzorske cijevi sigurnosni i remontni, a drugi na upojnoj cijevi za izoliranje stroja. Time se skraćuje vrijeme prijelaza na zalet ili vrtnju stroja u zraku. Zatvarač na upojnoj cijevi uključuje se u automatiku rada proizvodne grupe. Pogoni ovih zatvarača su hidraulički, tlačnim uljem.

OSNOVNE ELEKTRIČNE SHEME

Glavne karakteristike električne sheme spoja elektrane

U elektrani se predviđa više naponskih nivoa izmjeničnih napona:

- 220 kV: za priključak PHE Vinodol na prijenosnu mrežu
- 14,5 kV: generatorski napon (M/G)
- 35 kV: napajanje vlastite potrošnje iz HE »Nikola Tesla«
- 10 kV: napajanje frekventno-pretvarača za zalet treće grupe
- 0,4 kV: za potrošače vlastite potrošnje
- 220 V, 50 Hz, stabilizirano: za uređaje automatike i obrade podataka (napaja se s razvoda 220 V = preko pretvarača =/~).

Generatorski nazivni napon je 14,5 kV, diktiran optimalnom konstrukcijom M/G. U izvodima do nul-točke predviđeni su strujni mjerni transformatori za priključak zaštita.

Nul-točka je uzemljena preko otpornika kojemu je paralelno priključen naponski transformator (koristi se za priključak zaštite do dozemnog spoja statora). Izvodi generatora previđaju se kao cijevni aluminijski vodiči za najveću nazivnu struju 6 200 A.

Izvodi generatora bit će opremljeni strujnim i naponskim mjernim transformatorima, rastavljačima za zamjenu faza ovisno o smjeru vrtnje grupe i rastavljačem za kratko spajanje kod kočenja. Direktno s izvoda predviđeni su priključci transformatora 1 MVA za uzbudu. U otcjepima spoja M/G — blok-transformator predviđaju se priključci transformatora 1,6 MVA za vlastitu potrošnju agregata, jedan rezervni odvod i dovod s frekventnog pretvarača za zalet M/G kao treće grupe. U otcjepu za ove odvode predviđa se prigušnica za smanjenje struje kratkoga spoja. Bez prigušnice je rasklopna snaga kratkoga spoja na otcjepu oko 1 550 MVA, dok se ugradnjom prigušnice 5%, 1 kA smanjuje na oko 410 MVA.

Odvodi za transformatore vlastite potrošnje opremaju se rastavljačem, prekidačem i strujnim mjernim transformatorom, dok se u dovodima s frekventnog pretvarača predviđaju samo rastavljači.

Blok-transformatori su grupe spoja YNd5. U nul-točki se predviđa odvodnik prenapona 110 kV, 10 kA i uzemljivač reda 123 kV za direktno uzemljenje nul-točke. Blok-transformatori su smješteni uz rasklopište 220 kV, a spojni vodiči do potpornih izolatora bi će aluminijske cijevi.

Postrojenje 220 kV predviđa se s jednostrukim, dva puta sekcioniranim sabirnicama. Postrojenje ima dva polja dalekovoda i tri polja blok-transformatora. Polja dalekovoda opremljena su sabirničkim rastavljačima jednopolne izvedbe, prekidačima, strujnim mjernim transformatorima, izlaznim rastavljačima s noževima za uzemljenje na strani dalekovoda, VF-prigušnicama, kapacitivnim naponskim mjernim transformatorima i odvodnicima prenapona. Polja blok-transformatora opremljena su sabirničkim rastavljačima s noževima za uzemljenje na strani sabirnica, prekidačima, strujnim mjernim transformatorima i odvodnicima prenapona. Svako od polja blok-transformatora priključeno je na jednu sekciju sabirnica.

Predviđaju se dva načina zaleta agregata u pumpni pogon. Prva dva stroja se upuštaju sinkrono (»back to back«) ili kombinirano asinkrono — sinkrono trećim strojem koji je u turbinskom pogonu, dok se treći stroj upušta frekventnim pretvaračom, napajanim iz postojeće HE Vinodol. Zalet prvih dvaju agregata provodi se spojem preko sabirnica 220 kV.

Za sinkronizaciju koriste se naponski transformatori dalekovodnim poljima i u blok-spoju (na generatorskom naponu), a kao sinkronizacioni prekidači koriste se prekidači u dalekovodnim poljima za prva dva stroja i prekidač u polju blok-transformatora za treći stroj.

Kod zaleta prva dva stroja pumpa je neodvodnjena, a treći stroj (upuštan frekventnim pretvaračem) mora biti odvođen (zbog ograničenja snage frekventnog pretvarača).

Sva tri stroja izvest će se i opremiti za obadvije vrste zaleta, pa je predviđen i priključak s frekventnog pretvarača na otcjep u blok spoju sinkroni stroj — blok-transformator svih triju grupa. Ovi su dovodi opremljeni rastavljačima na svakom otcjepu, a agregati 1 i 2 još i rastavljačima uz dovod na otcjep agregata 3 (zbog dislokacija svakoga od njih). Frekventni pretvarač napaja se s generatorskih sabirnica 10 kV u HE Vinodol (3 × 35 MVA). Spoj do HE Vinodol je kabelski. U dovodu su predviđeni rastavljači, prekidači i strujni mjerni transformator. Za transformaciju na napon uređaja frekventnog pretvarača predviđa se energetski transformator 10/3 kV, 10 MVA (s uređenim strujnim transformatorima i izvodima niženaponske strane).

Energetski krug pretvarača sastoji se od ispravljača (s potrebnim mjernim transformatorima), prigušnice Is — limitera i invertora (s potrebnim strujnim transformatorom). Iza invertora predviđaju se rastavljač, energetski transformator 3/14,5 kV MVA, strujni i naponski transformatori i prekidač. Paralelno spojenim rastavljačem omogućeno je prespajanje cijeloga kruga iza invertora do odvoda na otcjep blok-spojeva sinkroni stroj — blok-transformator. Za ostvarenje priključka na generatorske sabirnice u HE Vinodol potrebno je izvesti produljenje sabirnica i opremiti jedno polje za odvod (rastavljač, prekidač, strujni transformator, kabelski izvod).

Vlastita potrošnja elektrane dijeli se na vlastitu potrošnju agregata i opću potrošnju elektrane. Svakom

agregatu pridjeljuje se po jedan razvod napajan s otcjepa na generatorskom naponu putem transformacije 1,6 MVA, 14,5/0,4 kV. Razvodi vlastite potrošnje agregata međusobno su povezani, a svaki je još priključen i na razvod opće potrošnje, tako da je osigurano napajanje svakoga razvoda s razvoda opće potrošnje ili susjednog agregata, a i obratno. Na razvode agregata priključuju se potrošači toga agregata i po jedna drenažna crpka. Razvod opće potrošnje predviđa se s dvostrukim sabirnicama. Odvodi na razvode agregata i dovodi priključeni su na obadva sistema sabirnica, dok su ostali potrošači razdijeljeni i priključeni na jedan od sistema sabirnica. Opća potrošnja elektrane napaja se s razvoda 35 kV u postojećoj HE Vinodol, putem transformacije 2,5 MVA; 35/0,4 kV. Na ovaj razvod se priključuje i dizel-agregat 500 kVA, koji zadovoljava potrebe važnih optrošača opće potrošnje i jednoga agregata, tako da je rad elektrane omogućen i kod nestanka napajanja opće potrošnje i vlastite potrošnje jednog agregata.

Od istosmjernih razvoda predviđaju se razvodi 220 $V^{=}$ i 48 $^{=}$. Svaki od tih razvoda ima dvije sekcije koje napajaju pripadni ispravljač i akumulatorska baterija u »full-float« spoju, a svaka grupa potrošača je priključena na obadvije sekcije preko dioda, tako da je napajanje svake grupe potrošača neprekidno. Izmjenično napajanje ispravljača predviđeno je s razvoda opće potrošnje. Zasebni sistem 48 $V^{=}$ predviđa se za uređaje telekomunikacije.

Stabilizirani napon 220 V, 50 Hz predviđa se za potrebe napajanja uređaja za obradu podataka. Invertor 10 kVA priključuje se na razvod 220 $V^{=}$.

Svi odvodi s niskonaponskih izmeničnih i istosmjernih napona su kabelski, a osigurani su automatskim prekidačima s termomagnetskim okidačima ili instalacionim automatima.

Postrojenje 220 kV

Oprema postrojenja 220 kV predviđena je za vanjsku montažu. Nazivni napon je 220 kV, 50 Hz. Mreža 220 kV s direktno uzemljenom neutralnom točkom. Sva oprema je reda 245 kV (BIL 1050 kV ili BIL 900 kV), a treba u kratkom spoju izdržati struje I_u = 66 kA.

Ostala oprema je klasična (konvencionalna), u skladu sa zahtjevima JUGEL-a i ZEOH-a.

Izvedba postrojenja je poluvisoka. Portali sabirnica su visine 10 m, a izlazni portali 11 m, s produženjem stupova za ovjes zaštitne užadi visine 3 m. Zbog uvjeta terena predviđa se smještaj postrojenja na dvije terase (viša (k.70,50) : izlazni portali dalekovoda i oprema dalekovodnih polja iza prekidača; (k. 67,85) : sva ostala oprema osim opreme zvjezdišta blok-transformatora i samih blok-transformatora).

Blok-transformatori se smještaju u komore na koti 63,50. Cijevima se izvodi priključak na postrojenje i opremu nul-točke, smještena na pregradnim zidovima trafo-komora. U nul-točki se predviđaju jednopolni noževi za uzemljenje i ventilski odvodnici prenapona za prenaponsku zaštitu nul-točke.

Postrojenje generatora napona

Nazivni generatorski napon je 14,5 kV, a nazivna struja 5 774 A. Podaci kratkoga spoja na blok-spoju 14,5 kV su: S''_k = 1 125 MVA, I''_k = 44,8 kA, I_u = 112 kA.

Strujni i naponski transformatori odabrani su u skladu s potrebama zaštite i mjerenja. Nazivna primarna struja strujnih transformatora je 6 000 A.

Rastavljači za kratko spajanje izvoda kod kočenja i rastavljači za promjenu okretnog polja (zamjenu faza) kod generatorskog ili motorskog rada električkog stroja proizvodne jedinice predviđeni su za nazivnu struju 6 000 A.

Spojni vodovi G/M — blik-transformator predviđaju se kao goli vodovi s aluminijskim cijevnim vodičima specijalne izvedbe. Predviđa se da cijevi budu promjera 200 mm. Vođenje cijevi je ili u jednoj ravnini ili s rasporedom u trokut, s međufaznim izolatorima specijalne izrade i obujmicama za pričvršćenje cijevi na međufazne izolatore za jedan ili drugi način vođenja. Ovjesno ili potporno pričvršćenje ovih vodova izvodilo bi se standardnim potpornim izolatorima u razmacima 7,5 do 10 m. Izvedba ovih vodova omogućava ugradnju sastavljenih trofaznih sekcija, pa se smanjuju troškovi i trajanje montažnih radova, a znatno je jeftinija od drugih mogućih rješenja s kojima je uspoređivana (**kabeli, SF_6 oklopni vodovi, klasični oklopljeni vodovi, standardni goli vodovi**).

Vodovi blok-spoja vode se u strojarnici okomito uz stubište, s obje strane, a zatim u kanalu do prostora uz blok-transformatore.

Postrojenje frekventnog pretvarača

Postrojenje frekventnog pretvarača predviđa se za potrebe zaleta posljednje jedinice u pumpni pogon, s time da je pumpna turbina odvodnjena. Tom uvjetu je prilagođena predviđena snaga pretvarača (7,6 MW) i ulaznih i izlaznih transformatora (10 MVA).

Trofazni mostovi ispravljača i izmjenjivača pretvarača predviđaju se s upravljivim tiristorima. U istosmjernom krugu predviđa se strujni limitar i prigušnica.

Pretvarač se napaja s generatorskih sabirnica 10 kV u HE Vinodol. Predviđeno je kabelsko povezivanje s dva kabela presjeka 3 × 150 mm^2. Oprema dovoda smještena je u ćeliji u prostoriji uz blok-transformator grupe 3. Spoj na ulazni transformator 10 MVA, 10/3 kV bi se izveo golim vodom. Ispred i iza pretvarača predviđaju se rastavljači za njegovo odvajanje, a paralelno spojeni rastavljač omogućuje zalet koji bi se izveo jednim generatorom u HE Vinodol. Na izlazu se predviđa transforamtor 10 kV, 3/14,5 kV i oprema odvoda 14,5 kV.

Predviđenim priključkom odvoda pretvarača na otcjepe sva tri bolok-spoja osigurava se mogućnost da se bilo koja proizvodna jedinica koristi za sinkroni (ili poslusinkroni) zalet druge dvije jedinice, a da se najzad i ona može upustiti putem frekventnog pretvarača.

Postrojenje vlastite potrošnje

Predviđeno je postrojenje vlastite potrošnje elektrane podijeljeno na tri razvoda vlastite potrošnje agregata i jedan razvod opće potrošnje.

Na razvode vlastite potrošnje agregata priključuju se samo potrošači vezani uz rad tih agregata, dok razvod opće potrošnje opskrbljuje ostale potrošače u elektrani, a predviđeni su i priključci na razvode vlastite potrošnje agregata. Razvodi vlastite potrošnje agregata međusobno su spojeni, tako da su putovi napajanja višestruko osigurani i omogućuju različite kombinacije.

Izvori napajanja razvoda vlastite potrošnje jesu:

- transformator 35/0,4 kV, snage 2,5 MVA, priključen na sabirnice 35 kV u HE Vinodol kabelom presjeka $3 \times (1 \times 95\ mm^2)$ smješten u prostoriji između blok-transformatora grupe 2 i 3, a također kabelima 1 kV priključen na dvostruke sabirnice razvoda opće potrošnje.
- transformatori 14,5/0,4 kV, snage 1,6 MVA, priključeni na otcjepe blok-spojeva svake grupe golim vodovima, smješteni u prostorijama uz blok-transformatore, a kabelima 1 kV priključeni svaki na razvod vlastite potrošnje pripadnog agregata.
- dizel-generator 0,4 kV, 500 kVA, priključen na dvostruke sabirnice razvoda opće potrošnje.

Snage izvora napajanja određene su na osnovi predviđenih potrošača i iskustva za slične objekte, s time da su uključene i potrebne rezerve, s obzirom na moguće putove napajanja pojedinih razvoda (osigurano napajanje za slučaj ispada transformatora 2,5 MVA ili jednoga od transformatora 1,6 MVA).Dizel-generator je rezervni izvor napajanja za slučaj nestanka napajanja preko transformatora 2,5 MVA i obustavljenoga pogona elektrane, odnosno i za stavljanje ili održavanje pogona bez transformatora 2,5 MVA. U slučaju napajanja putem dizel-generatora mora se provesti selekcija potrošača koji i u tom slučaju moraju imati osigurano napajanje.

Razvodi vlastite potrošnje predviđeni su u izvedbi niskonaponskih sklopnih blokova s automatskim prekidačima u odvodima i dovodima. Svi su dovodi i odvodi kabelski.

Razvod opće potrošnje smjestio bi se u nadzemnom dijelu strojarnice uz kabelski prostor ispod komande, na koti 63,65.

Razvodi vlastite potrošnje agregata smjestili bi se na turbinskoj etaži u strojarnici, na koti 27,90.

U pogledu upravljanja predviđa se ručno lokalno upravljanje i ručno upravljanje iz komande samo dovodima na razvode.

S glavnih razvoda napajaju se razvodi pojedinih grupa potrošača — podrazvodi ili direktno pojedinačni potrošači.

Stabilizirani izmjenični napon

Postrojenje stabiliziranoga napona 220 V, 50 Hz predviđeno je za potrebe opskrbe nekih dijelova uređaja obrade podataka i automatike koji su osjetljivi na oscilacije napona. Snaga je određena prema podacima za slične uređaje i iznosila bi 10 kVA, a jednako tako i predviđenih pet odvoda s automatima nazivne struje 20 A. Zbog osiguranja neprekinutoga napajanja odabrano je rješenje s pretvaračem koji se napaja s istosmjernoga razvoda 220 $V^{=}$. Oprema odvoda smjestila bi se u ormar pretvarača. Predviđa se pretvarač statičke izvedbe.

UREĐAJI UPRAVLJANJA, AUTOMATIKE, ZAŠTITE, SIGNALIZACIJE, MJERENJA I OBRADE PODATAKA

Idejnim projektom iz 1974. godine za PHE Vinodol i HE Vinodol predviđen je potpuno automatizirani pogon, vođen procesnim računalom pomoću kojega se s jednoga mjesta (komandni pult i računalo) upravlja cijelom elektranom davanjem pogonskih naloga i skupljanjem pogonskih podataka. Predviđena su dva procesna računala srednje veličine (centralna jedinica 8-12 K), koja bi vodila automatski pogon, služila za registraciju pogonskih podataka i optimizaciju cijelog hidroenergetskog sustava Vinodol. Jedno računalo s jednom pomoćnom memorijom (12-16 K) stalno bi radilo u on-line sistemu, dok bi drugo računalo i druga memorija bila 100%-tna rezerva. Za proizvodne grupe predviđeni su sekventni programski automati (PSA) za start u turbinski, pumpni i kompenzatorski pogon (smjer turbina), za stop iz ovih pogona, te za prelazak iz turbinskog u kompenzatorski pogon i obratno. Provođenje i nadzor povjereno je računalima (Computer) koje svojim ulaznim i izlaznim interfaceima upravlja procesom. Kompletno upravljanje proizvodnih grupa i postrojenja PHE Vinodol i HE VInodol predviđeno je iz centralne komande PHE, i to automatski s obadvije elektrane, a ručno s PHE, dok bi se HE ručno vodila iz njezine komande. Svi uređaji PHE predviđeni su s lokalnim ručnim upravljanjem. Režim upravljanja birao bi se preklopkom na komandnom pultu. U automatskom režimu procesi se odvijaju po čvrsto definiranim programima, inicirani pritiskom na tipkalo željenoga programa, a izvršenje se prati na sijalicama na komandnom pultu ili na ekranu. U slučaju zastoja predviđen je prijelaz na ručni režim. Prijelaz iz ručnog režima u automatski moguće je tek nakon završetka procesa, u stabilnim stanjima proizvodne grupe.

U pogledu sustava signalizacije predviđen je jedan zajednički sustav za PHE i HE sa centralnim uređajem kao dijelom elektroničkog računala ili samostalnim uređajem sekventnoga tipa (praćenje slijeda po vremenskoj konstanti, kako su se jedan za drugim zbivali). Osim ove signalizacije predviđena je u komandi i dodatna signalizacija s upravljačkih organa pojedinih aparata. U HE se predviđalo zadržati postojeću signalizaciju i upravljanje za slučaj kvara i potrebe za ručnim upravljanjem.

U pogledu sustava za obradu podataka predviđeno je da taj sustav bude sastavni dio sustava digitalnog računala i da se provede zapis mjerenja i stanja brojila

(analogne i imipulsne informacije) i kronološki zapis događaja (digitalne informacije). Predviđeno je da bi se operiralo s 290 (200 PHE, 90 HE) analognih informacija, 900 (600 PHE, 300 HE) digitalnih informacija i 50 (40 PHE, 15 HE) impulsnih ulaza. Od izlaznih jedinica obrade podataka, priključenih preko zajedničkog izlaznog interfacea za obadva računala, predviđeni su pisač za zapis mjerenja, brzi pisač za kronološki zapis događaja, videoterminal za signalne i mjerne veličine PHE Vinodol i jedan videoterminal za signalne i mjerne veličina ostalih postrojenja sustava Vinodol.

U pogledu organizacije smještaja opreme je zamišljeno da su u komandnoj prostoriji: — komandni pult s mjernim instrumentima, tipkalima, prekopkama, signalnim sijalicama i videoterminalom za signalne i mjerne (po programu ili na zahtjev tražene) veličine PHE Vinodol i istom opremom, osim tipkala za ručno upravljanje, za HE Vinodol (s time da ovaj drugi videoterminal služi i za ostala postrojenja sustava Vinodol), te instrumentima ručne sinkronizacije,

- pult obrade podataka s pisačom za zapis mjerenja i brzim pisačom za kronološki zapis događaja,
- manipulativni stol uklopničara s telefonskim posrednikom.

U pogledu zaštite proizvodne grupe i važnijih uređaja elektrane predviđena je zaštitna oprema u skladu s potrebama i uobičajenim rješenjima za reverzibilne proizvodne grupe, odnosno druge uređaje elektrane. Pri tome su električki zaštitini releji proizvodne grupe odabrani u elektroničkoj izvedbi, smješteni u ormare koji se postavljaju uz proizvodnu grupu, u strojarnicu.

Godine 1979. izgrađen je glavni projekt automatskoga upravljanja i obrade podataka u HE Vinodol, a u toku je provedba rješenje prema tom projektu.

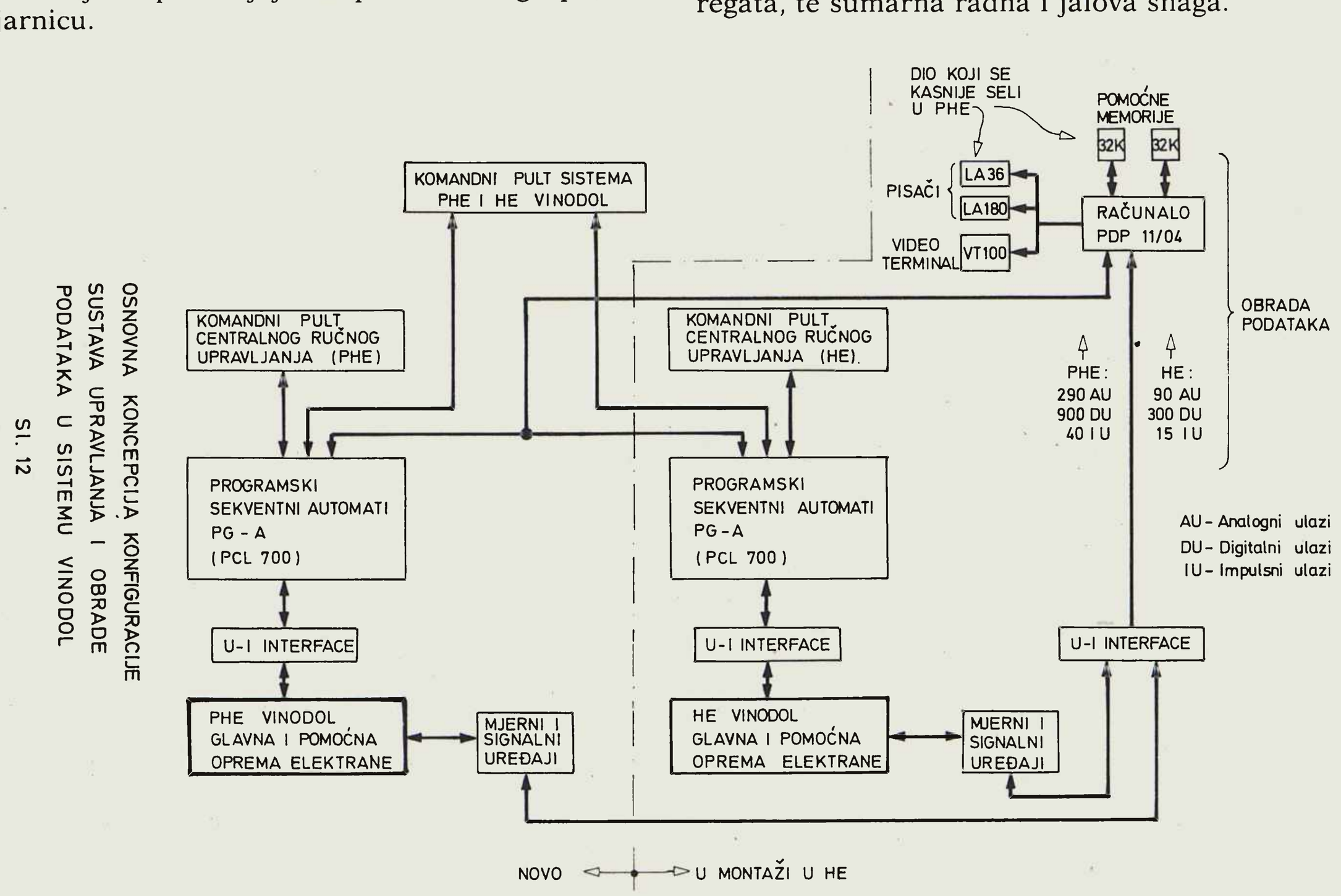
U HE Vinodol se izvodi centralizirano, automatsko i ručno, upravljanje s pulta u komandi. Uz pult se postavlja videoterminal obrade podataka. U elektrani se ugrađuje procesno računalo PDP 11/0,4 s memorijom 32 K i analogno/digitalnim podsistemom računala s 94 analogna ulaza, 363 digitalna ulaza i 8 impulsnih ulaza, dva pisača (jedan brzi), postrojenje 48 $V^{=}$ i 220 V, 50 Hz — stabilizirani, sekventna automatika proizvodnih grupa (PLC 700), električki uređaj sekventne signalizacije (JAL) s pripadnim signalnim tabloima na postojećoj komandnoj ploči, uređaji regulacije radne i jalove snage i uređaji grupnog upravljanja i sekundarne regulacije (na komandnome pultu) i automatski elektronički sinkronizator.

Predviđa se upravljanje radnom snagom iz elektrane na zahtjev sekundarne regulacije i daljinski iz Republičkog dispečerskog centra.

Predviđeno računalo PDP 11/04, odnosno njegov procesor, omogućuje priključak velikoga broja ulazno-izlaznih uređaja i uređaja interfacea, a zamišljeno je da se proširi s vanjskim magnetskim memorijama nakon preseljenja u PHE Vinodol, gdje bi se koristilo za obradu podataka i u tom postrojenju.

U pogledu uklapanja HE Vinodol u sustav daljinskog viđenja područja Rijeka predviđa se:

- upravljanje agregata: samo iz elektrane, a iz RDC se može regulirati samo radna snaga elektrane; iz elektrane se šalju uklopna stanja proizvodnih agregata, te sumarna radna i jalova snaga.



Sl. 12. Osnovna koncepcija konfiguracije sustava upravljanja i obrade podataka u sistemu Vinodol

— upravljanje ostalim poljima 110 kV: iz CDN Rijeka iz elektrane se šalju radna i jalova snaga (dvosmjerno) dalekovoda i naponi sabirnica, te signalizacije promjena stanja aparata, sumarni alarmi i poruke kronološkog zapisa (pojedinačni signali).

Upravljanje

Upravljanje će biti moguće na tri načina: lokalno, centralno i daljinski.

Lokalno upravljanje predviđa se na svim postrojenjima i uređajima i njime se omogućava vođenje tih postrojenja i uređaja, odnosno funkcija koje taj dio postrojenja ili uređaja obuhvaća ili na koje utječe. Ovaj način upravljanja se u normalnim okolnostima ne koristi. Predviđa se za slučajeve kvarova ili ispitivanja.

Centralno upravljanje jest upravljanje iz komande elektrane. Ono može biti ručno ili automatsko. Ručno se provodi s pulta centralnog ručnog upravljanja PHE Vinodol, a automatsko s pulta sistema Vinodol.

Daljinsko upravljanje iz centra daljinskog upravljanja predviđa se samo za dalekovodna polja i sekcijski rastavljač u postrojenju 200 kV, s time da se ono blokira prilikom puštanja proizvodnih agregata u pumpni pogon, zbog predviđenoga sinkronog (ili polusinkronog) načina zaleta dvaju agregata trećim preko sabirnica 220 kV. Zbog toga se za ovaj dio postrojenja, ispred glavne preklopke za izbor upravljanja treba predvidjeti dodatna preklopka »CENTRALNO-DALJINSKI«.

Na komandnom pultu sistema Vinodol, na dijelu za PHE Vinodol, predviđa se četveropoložajna preklopka za izbor upravljanja s položajima: 0-isključeno, RL-ručno centralno, A-automatski. U položaju »0« upravljačkim elementima nije doveden upravljači napon. U položaju »RL« upravljanje se obavlja sa samog postrojenja ili uređaja, a između ostaloga tim će se načinom moći upravljati turbinama — s ploča strojeva, uzbudom generatora — s pripadnih ormara i aparatima vanjskog postrojenja 220 kV — iz ormarića u postrojenju.Kod ovoga načina upravljanja svi su komandni uređaji blokirani preklopkama »LOKALNO-CENTRALNO« na mjestima lokalnog upravljanja. U položaju »RC« sve se komande zadaju s pulta centralnog upravljanja u komandi, a ovaj način se koristi u slučajevima kvarova automatike. Upravlja se posredstvom svijetlećih tipkala. U položaju »A« koristi se automatika agregata i drugih postrojenja i uređaja. Prebacivanje iz automatskog režima upravljanja u ručni moguće je uvijek, dok se obratno omogućuje tek nakon provedbe cijele sekvence (u stabilnim stanjima).

Automatika

S obzirom na suvremene zahtjeve, prihvaćena rješenja (i u okviru sistema Vinodol) i kompleksnost reverzibilne pumpne elektrane, u postrojenjima PHE Vinodol predviđa se visoki stupanj automatizacije.

A) Automatika slijeda proizvodnih grupa

Automati slijeda proizvodnih grupa (i pripadnih pogona, uređaja i postrojenja) preuzimaju upravljačku funkciju pri prelascima iz jednog pogonskog stanja u drugo. Detaljni i točni programi slijeda mogu se dati za poznatu, određenu opremu. Kod programa zaustavljanja uvijek se može, djelovanjem određene zaštite, prijeći u stop u nuždi.

Aktiviranje pojedinog programa obavlja se posredstvom odgovarajućih tipkala na komandnom pultu sistema Vinodol. Sve komande generirat će automat slijeda, uz stalnu vremensku kontrolu i kontrolu ispravnosti procesa po funkcionalnosti.

Programi »STOP« onemogućuju aktiviranje drugih programa, osim programa »STOP U NUŽDI«, a u toku odvijanja ovoga programa neće biti moguće aktiviranje ni jednog drugog programa.

Automati slijeda se predviđaju u poluvodičkoj tehnici, za svaku grupu zasebno. Napajaju se s istosmjernoga razvoda 48 $V^{=}$. Sastoje se od ulaznog i izlaznog stupnja, te centralne jedinice. Centralna jedinica će biti poluvodički programibilni logički automat koji sa softwareskom podrškom definira rad automata.

Ulazne informacije automata dolaze iz postrojenja preko odvojnih releja, a isto tako izlazne odlaze iz izlaznog stupnja na izlazne releje, preko čijih kontakata se ostvaruje veza s primarnim elementima (»led« diode) koji omogućuju uvid u stanja komandi upućenih u postrojenje i rezultirajuće signale potvrda iz postrojenja.

Osim automata slijeda, za potrebe vođenja elektrane, predviđa se opremanje proizvodnih grupa brzinskim relejom, kočnim automatom, te regulatorom radne i jalove snage, kao zasebnim dijelovima automata (mogu raditi neovisno o automatu slijeda), a u procesu prelaska iz jednog u drugo pogonsko stanje sudjeluju kao dijelovi automata slijeda.

U RCD se šalje informacija o pogonskoj spremnosti u uklopnim stanjima proizvodnih grupa.

B) Sinhronizacija

Osim ručne sinhronizacije, za koju se predviđaju instrumenti na komandnom pultu centralnog upravljanja, u jednom od ormara u prostoriji automatike, predviđa se i elektronički automatski sinhronizator koji se može koristiti u ručnom i automatskom startu proizvodne grupe.

C) Grupna regulacija

Proizvodna grupa predviđa se opremom za grupnu regulaciju radne snage, sekundarnu regulaciju i grupnu regulaciju napona (čime se osigurava ravnomjerna razdioba reaktivne snage električkih strojeva i polagani porast do odgovarajućeg iznosa ili polagano smanjivanje do nule).

(Može se regulirati iz nadređenog centra za upravljanje proizvodnje električne energije — Republičkog despečarskog centra.)

KEY WORDS:
REVERSIBILE HYDRO POWER PLANT
TWO STAGE HYDRAULIC MECHANISAM
UPPER AND LOWER BASIN

A Basic Technical Cincept of Pumpe Hydro Power Polant Vinodol

In the article is described a design of pump HPP Vinodol with all solutions and estimation of investment costs for final solution.

DIE TECHNISCHEN GRUNDLAGEN DES PUMPSPEICHERWERKS VINODOL

Beschrieben wird das Projekt des Wasserkraft-Pumpspei cherwerks »Vinodol« in allen Lösungsvarianten und den Anlagekosten für die endgültige Lösung.

ОСНОВНАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ »ВИНОДОЛ«

Описан проек ГАЭС »Винодол« со всеми решениями и оценкой капиталовложений по окончательному решению.

Naslov pisca:
Krunoslav Begović, dipl. inž.
»Glektroprojekt« 41000 Zagreb,
Proleterskih brigada 37

Uredništvo primilo rukopis
1982-09-02

Svojim suradnicima

i čitateljima čestitamo

praznik rada — 1. maj!

Uredništvo

75 GODINA RADA I RAZVOJA »ELEKTRANE-TOPLANE« ZAGREB

Mr Zlatko Milanović, Zagreb

I. UVOD

Elektrana-Toplana (»EL-TO«) Zagreb danas je osnovna organizacija udruženog rada, čiji je osnovni zadatak proizvodnja toplinske i električne energije. Udružena je u RO »Elektroprivreda Zagreb« zajedno s OOUR-ima: TE-TO, TE Sisak, Elektroprenos, PTE Jertovec, Toplinske mreže, HE Varaždin, HE Čakovec i HE Gojak, te RZ Zajednički poslovi.

EL-TO s ponosom, kao jedna od najstarijih postojećih elektrana, slavi 75-godina uspješnog rada i razvoja. U dosadašnjem razvoju EL-TO postoji niz pionirskih koraka koji su bitni za razvoj tehničkih grana u našim krajevima, a naročito za razvoj tehničkog (posebno elektroprivrednog i toplinskog) kadra.

Kad se govori o proteklom razdoblju, treba se podsjetiti najprije svih pojedinaca koji su svojim zalaganjem i mukotrpnim radom omogućili da EL-TO postane moderan i siguran energetski izvor. Nikada se ne bi smjeli zaboraviti neopisivi napori pojedinaca kod izgradnje ili puštanja u rad svakog novog dijela postrojenja, kod izvanrednih uvjeta rada prilikom ispada ili kvarova, kod popravaka još »vrućeg« kotla, kod vađenja šljake i sl. Mi, današnji radnici Elektrane, i ovom prilikom zahvaljujemo svim onim pojedincima koji su ovo postrojenje gradili i održavali, s kojim su živjeli, s kojim su propadali i s kojim su rasli i stvarali novi, bolji život cijelog našeg grada i našega društva.

Uspješan razvoj Elektrane, posebno zadnjih trideset godina, ne bi bio moguć bez pomoći naših instituta, fakulteta, izvođača radova i proizvođača opreme. Danas su naše osnovne proizvodne jedinice domaće proizvodnje. Dio domaće opreme proizvodnih postrojenja upravo je u Elektrani prvi put eksperimentalno ugrađen (npr. automatizacija kotlovskog postrojenja, turbina s ogrjevnim kondenzatorom, postrojenje za otpadne vode). Time se bitno pridonijelo bržem razvoju proizvodnje ove opreme u Jugoslaviji.

S ponosom ističemo da kvaliteta naše energetske opreme danas ne zaostaje bitno za kvalitetom opreme zapadnih zemalja.

Od samog početka razvoja do današnjih dana Elektrana je imala punu podršku i puno razumijevanje našega grada. Sa sigurnošću se može konstatirati da bez stalne pomoći gradske uprave i samih građana ne bi bilo ni današnjeg postrojenja Elektrane.

II. POČETAK PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Ipak, na samom početku razvoja elektrifikacija u Zagrebu nije imala podršku Gradskog poglavarstva. Zato su prije Zagreba mnogi naši gradovi pustili u rad javne elektrane, i to: Beograd 1892. godine, Sarajevo i Varaždin 1895, Ljubljana 1898, Dubrovnik 1900, Čakovec 1903. itd. Osnovni razlog odlaganja početka elektrifikacije Zagreba bila je veoma razvijena plinifikacija. Naime, 1862. godine sklopljen je između gradske općine i vlasnika Plinare famozni koncesioni ugovor na 95 godina, koji je bio vrlo povoljan za vlasnike, a nepovoljan u prvo vrijeme za Zagreb. Po tom ugovoru prvih 35 godina za troškove javne rasvjete grad je vlasnicima Plinare plaćao punu cijenu, za idućih 30 godina polovinu ondašnje cijene, a za narednih 30 godina trećinu cijene. Prema tom »genijalnom« ugovoru, Zagreb je tek nakon 1967. godine trebao imati »besplatnu« javnu plinsku rasvjetu!

Zagreb je oduvijek bio otvoren grad, koji je stalno pratio suvremena tehnička unapređenja. Tako se već 1877. godine govori u Zagrebu o električnoj rasvjeti na uglu Ilice i Gundulićeve ulice. Od tada pojedini strani kapitalisti (1887. godine F. Fischer, mjernik iz Beča) i domaći (1889. godine E. F. Bothe, vlasnik tvornice pokućstva i veletrgovine iz Zagreba) nude Zagrebu koncesiono uvođenje električne energije. Kod toga dolazi do bitnih tehničkih razmimoilaženja, jer Fischer nudi uvođenje istosmjernog, a Bothe izmjeničnog sistema razvođenja električne energije. Interesantno je da u prvi mah Odbor za elektrifikaciju obje ponude načelno prihvaća (Fischerova ponuda prihvaćena je 1888. godine, a Botheova 1891. godine), a zatim obje odbija, uz veliku asistenciju Plinare. U upravi grada tada dolazi do stvaranja grupa »plinaraca« i »boteovaca«. Radilo se isključivo o osobnim interesima domaćih i stranih kapitalista, i kao vlasnika Plinare i kao budućih koncesionara elektrifikacije. Da bi ovaj spor riješili, gradski zastupnici nude naivno i samoj Plinari koncesiju za uvođenje električne energije. Vlasnici Plinare nisu ni odgovorili na ovu ponudu.

Elektrifikacija se u to vrijeme pomiješala i s politikom. Tako su mađaroni bili protiv električne energije, a obzoraši za. Slobodno se može ustvrditi i da je posjet prjestolonasljednika princa Rudolfa 1888. godine direktno pridonio odlaganju elektrifikacije. U čast Rudolfa, koji je prilikom posjeta Zagrebu postavio kamen-temeljac nove pješadijske kasarne u današnjoj ulici Braće Oreški, utrošena su nepotrebno velika financijska sredstva (primjerice: postavljeni su privremeni imperatorski slavoluci), i to iz gradske blagajne!

Zagreb, međutim, za uvođenje elektrifikacije nije još uvijek imao dovoljno hrabrosti, te stalno osluškuje iskustva drugih gradova (Salzburga iz Austrije i Žiškova iz Češke). Godine 1892. u Zagreb je pozvan i slavni Nikola Tesla, koji je 24. svibnja na sjednici

Gradskog zastupstva održao predavanje o mogućnosti opskrbe Zagreba električnom energijom. Pri tome je iznio postavke koje su za ono vrijeme bile revolucionarno smjele:

— uvođenje izmjeničnog napona za potrebe industrije i domaćinstava, te istosmjernog napona za pogon tramvaja
— izgradnju hidroelektrane na Plitvicama snage čak 6 MW
— gradnju elektrane u vlastitoj režiji Grada.

Na zgradi stare Gradske vijećnice postavljena je spomen-ploča u povodu ovog predavanja na kojoj su uklesane Tesline riječi: »Smatram svojom dužnošću, da kao rođeni sin svoje zemlje pomognem gradu Zagrebu u svakom pogledu savjetom i činom.«

Međutim, ni Teslino predavanje nije pomoglo. Štoviše, idućih šest godina gotovo je zamrla svaka intenzivnija akcija za elektrifikaciju Zagreba. U to vrijeme dolazi do sudskog procesa između akcionara Plinare i grada Zagreba, te gradski oci nanovo zaboravljaju električnu centralu. Tek dolaskom dra Milana Amruša za gradonačelnika Zagreba, 1904. godine, izgradnja elektrane dobiva ponovo puno značenje.

Uskoro je Zagreb raspisao u bečkim i berlinskim novinama (ali ne i u budimpeštanskim) javni natječaj za izgradnju elektrane. U toku 1905. godine, na temelju pristiglih ponuda došlo je do novih tehničkih razmimoilaženja, što je još jednom odgodilo početak elektrifikacije Zagreba. Natječajne ponude nudile su ove varijante:

— termoelektranu u Zagrebu (tvrtke »Ganz i comp«, »Koblen«, »Siemens-Schukert«)
— termoelektranu u Konjščini (»Prvo zagorsko rudokopno društvo«)
— hidroelektranu na Savi kod Zagreba (tvrtke »Ganz i comp«)
— hidroelektranu na Savi kod Krškog (poduzetnik Josip Lenarčić iz Vrhnike)
— hidroelektranu na Kupi kod Ozlja, što je bila najzastarjelija varijanta, već u vrijeme boravka Tesle u Zagrebu (nekoliko različitih tvrtki).

Iz danas nepoznatih razloga Gradski električni odbor prihvatio je 10. X 1905. upravo najnepovoljniju varijantu: hidroelektranu kod Ozlja. Ova nerazumljiva odluka »zagrebačke gospode« uzrujala je, prema tadašnjem karlovačkom tjedniku »Glasonoši«, cjelokupno karlovačko građanstvo. Izbio je i pravi »vodeni rat« između Karlovca i Zagreba, u kojem su Karlovčani odlučili svim sredstvima braniti Ozaljski slap. Budući da je gradska općina Karlovac znatno prije počela pripreme za gradnju elektrane kod Ozlja, imala je sigurno veća moralna prava. Znajući to Zagreb je ponudio Karlovcu ortakluk u gradnji elektrane, što Karlovac prepotentno odbija odgovorom: »Izvedimo sami u Ozlju koliko i što nama treba.« Vodeni verbalni rat između Karlovca i Zagreba završen je 22. VII 1906, kada je županijska oblast definitivno odbila molbu Zagreba za gradnju sporne hidroelektrane. Međutim, godina dana ponovno je sasvim nepotrebno izgubljena, to više što će nekoliko desetaka godina kasnije doći do uske tehničke suradnje i izmjene proizvedene električne energije između zagrebačke termoelektrane i karlovačko-ozaljske hidroelektrane.

Početkom XX stoljeća Zagreb se intenzivno razvijao u moderan grad, koji je već imao vodovod, telefon, tramvaj i kanalizaciju, kao i dobre željezničke veze. Broj stanovnika naglo se povećavao. Godine 1907. Zagreb je imao 75.000 stanovnika. Opskrba vodom i plinom te konjski tramvaj doživljavaju već više godina opravdane kritike građana. Očito je bilo da treba što prije početi s elektrifikacijom ako se želi osigurati Zagrebu daljnji razvoj. Zbog toga je Zagreb odluku županijskih vlasti u vezi s elektranom kod Karlovca primio bez prigovora. Nije bilo vremena za bilo kakvo dokazivanje. Naime, upravo je trebalo za potrebe proširenja kapaciteta vodovodnih pumpi, koje su bile parne, početi graditi novu kotlovnicu. Utvrđeno je da je najpovoljnije u tom trenutku graditi nešto veću, novu kotlovnicu za potrebe električne centrale, a vodovodne crpke preurediti na električni pogon. Takvo rješenje tehnički je bilo sasvim opravdano jer vodovodne crpke troše najviše električne energije ljeti, a ne zimi kad je najveća potrošnja ostalih potrošača električne energije. Konačnu odluku o gradnji toplinske električne centrale na zemljištu vodovodnog crpilišta donijelo je Gradsko zastupstvo 29. kolovoza 1906. Tu odluku je Gradsko zastupstvo donijelo na osnovi prijedloga Odbora za elektrifikaciju i »gradskog« stručnjaka za elektrifikaciju (ovaj stručnjak, inž. F. Rossa iz Beča, angažiran od 1904. godine u Zagrebu na temelju preporuke gradova Brna i Bratislave, prilično se kompromitirao predlaganjem različitih tehnički neopravdanih odluka). Elektrifikacija Zagreba bila je stvarno u tom času jedini mogući izlaz i za vodovod, čija se potrošnja svake godine povećavala gotovo za 20 % (1906. godine potrošnja vode iznosila je 16 000 m³ dnevno), i za Plinaru, jer prije uvođenja električne energije čak 75 % proizvedenih količina plina koristilo se za rasvjetu, a samo 25 % za ostale tehničke svrhe i za konjski tramvaj — »filokseru« — koji se bez električne energije nije mogao modernizirati.

Odmah nakon donošenja odluke o gradnji raspisana je i »jeftimbena rasprava« za 30. VIII 1906. Na osnovi dobivenih ponuda Odbor za elektrifikaciju je predložio, a Skupština prihvatila, sljedeće isporučioce opreme za centralu i rekonstrukciju vodovodnih pumpi:

— strojevi za elektranu i vodovod »Prva praška tvornica strojeva« Prag
— kabeli »Felten — Guilleaume« — Budimpešta
— električni uređaji za elektranu i vodovod »Ganz« — Budimpešta.

»Prva praška tvornica strojeva« Prag
»Felten — Guilleaume« — Budimpešta

»Ganz« — Budimpešta.

Izgradnja objekata elektrane povjerena je zagrebačkom poduzetniku Ljudevitu Deutschu. Planiran je rok završetka 1. kolovoz 1907, a planirana cijena za gradnju toplinske elektrane i proširenje s rekonstrukcijom vodovoda iznosila je 1,2 milijuna kruna.

Energija God. 32 (1983) 2 129-144

Paralelno s početkom izgradnje elektrane, 18. veljače 1907. u Zagrebu počelé su i sveobuhvatne pripreme za korištenje električne energije: prihvaćen je statut gradskih poduzeća vodovoda, elektrane i plinare; otvoren je Instalacioni ured elektrane; uvodi se rasvjeta na glavne trgove, parkove i ulice; doneseni su »Propisi za izvođenje instalacija, koje se imaju priključiti na dovodnu mrežu zagrebačke gradske električne centrale«, otvorene su nove trgovine rasvjetnih tijela i elektromotora, te položeni potrebni kablovi.

Kako se to praktično odvijalo i kako se proživljavalo, opisuje tadašnji list »Obzor«, koji je zapisao: »Uvođenje električnog svijetla, tj. polaganje kabela kroz gradske ulice, silno napreduje. Tek što iskopaše jarke, već spuštaju kabel, a drugi ga ograđuju opekama, zasiplju zemljom i izravnaju ulice, a sve je to tako brzo da je gotovo nevjerojatno.«

I tada je Gradsko zastupstvo određivalo cijene i imalo s time problema. Kod donošenja prve cijene električne energije u Zagrebu, siječnja 1907. godine (dakle mjesec dana prije početka gradnje elektrane), jedan od protivnika brzopletog prihvaćanja cijena struje rekao je: »Sad ste prihvatili cijene, a onda bute pak špotali da je struja skupa.« Prve cijene električne energije u Zagrebu iznosile su za rasvjetu 120 kruna/kwh, a za motore 0,25 kruna/kWh. I u toku izgradnje Munjare u Zagrebu se vodila, danas sasvim nerazumljiva, kampanja protiv elektrifikacije. Primjerice, list »Novosti«, neposredno pred puštanje u rad Munjare, objavio je jedan jezovit članak o smaknuću na električnoj stolici, a drugi list »Obzor« u veoma dugačkom članku »stručno« dokazuje građanstvu kako će električna rasvjeta biti skuplja od plinske! Bilo je i velikih rasprava o uličnoj rasvjeti. Zagrepčani su primjerice prigovarali da se ulična rasvjeta postavlja samo kao ukras i luksus. Današnji Trg Republike dobio je najviše uličnih svjetiljki — čak četiri stupa (dva su bila postavljena na sredini trga, a po jedan stup na uglu Bakačeve i Radićeve ulice). Stupovi su bili od željeza, ukrašeni kao oni u Beču. Poteškoće u izgradnji povećane su i štrajkom zidara, što je za nekoliko mjeseci produžio planirani rok dovršenja.

Tako je uz dosta napora i nervoze, ipak relativno brzo, završena izgradnja Munjare 5. studenog 1907. U 18 sati i 30 minuta, prvi put u žaruljama javne rasvjete Zagreba zasjalo je električno svijetlo iz nove elektrane. Taj trenutak, list »Novosti« sutradan, ovako su opisale: »Oni nestrpljivci, koji su prigovarali zatezanju električne rasvjete, morali su sinoć uskliknuti — Ako je kasno, zato je časno. Bijeli naš Zagreb zasjao je kao preporođen. Tko je sinoć banuo na Jelačićev trg, pričinilo mu se da su palače što ga okružuju, zidovi, tlo, parketirano i ulašteno. Sve se odsijavalo. Izgledalo je kao velika krasna dvorana. Samo je trebalo još da muzika zasvira, pa bi mnogi šetajući parovi i zaplesali.«

III. RAZVOJ PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Tek što je krenula, elektrana se odmah i pokvarila, ali već sutradan je proradila, i opet se pokvarila. Međutim, od tog trenutka počeo je intenzivan razvoj Munjare i elektrifikacije grada. Koliko je Zagrebu bila potrebna električna energija, najbolje dokazuje činjenica da se već 1910. godine, dakle za dvije godine rada, moralo prići proširenju, koje je proizvodne kapacitete više nego udvostručilo. Te godine elektrificiran je i tramvaj. Povećanje snage i proizvodnje elektrane nastavilo se do danas gotovo nesmanjenim intenzitetom. Proizvodni proces praktično se nije prekidao, pa ni za vrijeme dva svjetska rata.

U prilogu 1. dani su osnovni tehnički podaci razvoja postrojenja Elektrane od 1907. godine do 1982. Iz ovih podataka vidi se, da je već 1910. godine trebalo udvostručiti postrojenje Munjare. Nova proširenja bila su zatim potrebna 1914, 1923. i 1926. godine. Brz razvoj postrojenja elektrane najrječitiji je dokaz koliko je električna energija bila potrebna Zagrebu. Svi protivnici električne energije, koji su direktno zaslužni da je Zagreb zaostao u početku razvoja elektrifikacije više od 25 godina, jednostavno su se izgubili.

16. III 1930. proradio je 56 km dug 30 kV dalekovod Zagreb — Karlovac, čime su u jedan elektroenergetski sistem povezane hidroelektrana Ozalj i termoelektrana u Zagrebu. U prosjeku Zagreb je iz Karlovca godišnje preuzimao 4 000 — 5 000 MWh »viškova noćne« električne energije po cijeni od 0,20 Din/kWh, a istovremeno Karlovac je od Zagreba godišnje prosječno preuzimao 1 000 do 2 000 MWh »dopunske i vršne« električne energije po cijeni 0,60 dinara/kWh. Time je nakon 25 godina, optimalno tehnički i ekonomski, riješen »vodeni rat« Zagreba i Karlovca. (Pri tome ne treba zanemariti ulogu hidroelektrane Ozalj u razvoju Karlovca.) Ovakav zajednički rad ostvaren je u okviru Udružene električne centrale (UEC) koja je osnovana 12. III 1929. Osim GEC Zagreb sa snagom 18,75 MW i HE Ozalj snage 2,6 MW, UEC je obuhvatio i dizel-elektranu Dubovec snage 0,75 MW.

Upravo 1930. godine počinju za GEC prvi ozbiljni problemi. Elektrana je tehnički zastarjela i Zagrebu se nude alternativna rješenja.

Konkretno, sama uprava GEC-a, 1931. godine ponudila je izgradnju nove termoelektrane snage 10 MW u Banovoj Jarugi, koja bi koristila zemni plin iz Bujevaca i Gojila. Uz izgradnju te termoelektrane morao bi se graditi i 100 kV dalekovod Banova Jaruga — Zagreb dug 90 km. Prema tadašnjim kalkulacijama zemni plin bio je dvostruko jeftiniji (2,7 pare za 1 000 kcal) od ugljena. Uz takve cijene goriva, izgradnja nove termoelektrane i dalekovoda u iznosu 52 milijuna dinara isplatila bi se već za 3 do 4 godine.

Ovaj prilično realan plan direktno je onemogućilo belgijsko društvo »Uritad«, koje je bilo dobavljač ugljena za zagrebačku elektranu. »Uritad« je ponudio, kao vlasnik ugljenokopa u Konjščini, izgradnju termoelektrane za potrebe Zagreba na rudniku Poljanice blizu Konjščine. Na osnovi dobrih političkih i financijskih veza u Beogradu ovo strano društvo

uspjelo je dobiti potpun monopol za elektrifikaciju cijele tadašnje Savske banovine. (Interesantno je istaći da je važnost ovog monopola poništena nakon 5 godina jer »Uritad« nije izvršavao svoje obaveze). U tom nadmetanju Zagreb je uspio da se iz monopola »Uritada« izuzme područje Zagreba s okolicom do 25 km.

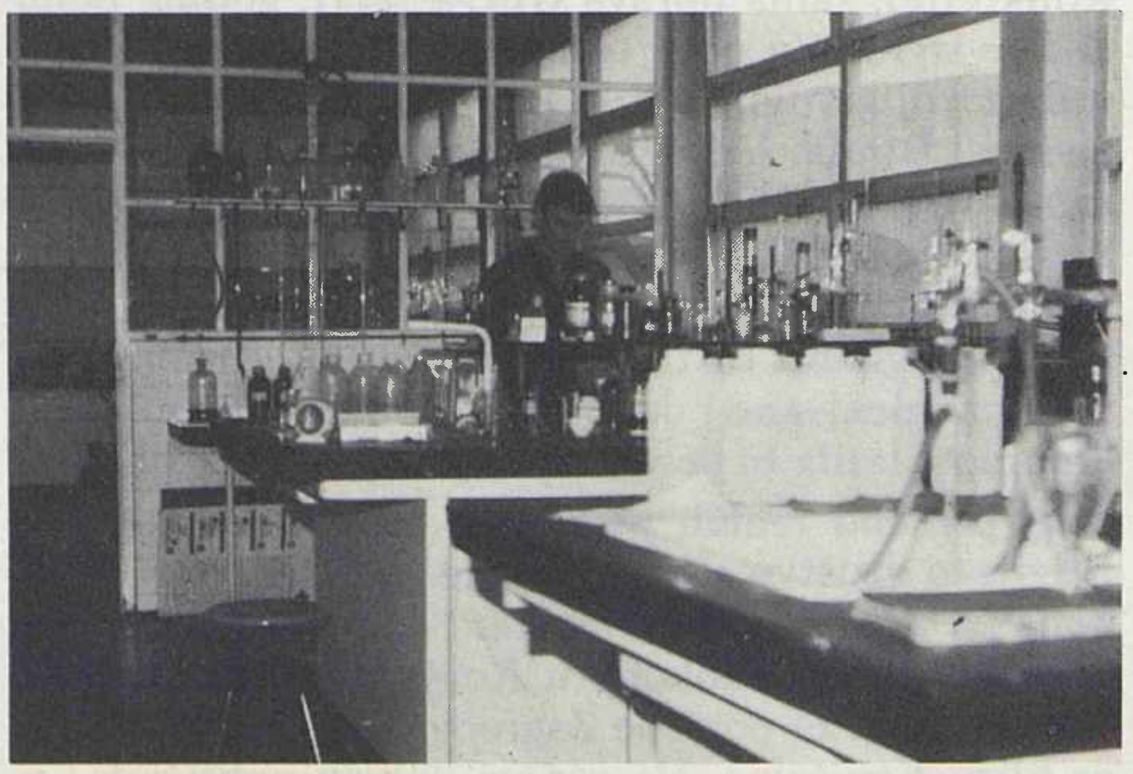
Nametnuti monopol »Uritada« omeo je i brži razvoj elektrifikacije cijele Hrvatske, jer je u to vrijeme GEC bila nosilac elektrifikacije i Zagreba i Hrvatske. Ograničavajući opseg djelovanja GEC-a na samo područje Zagreba, monopol »Uritada« zaustavio je, primjerice, izgradnju već trasiranog dalekovoda Zagreb — Koprivnica. Time je odgođena i elektrifikacija cijele Podravine.

Postojali su i planovi izgradnje novog, modernog opremljenog visokotlačnog bloka u GEC-u. I od tog se plana moralo odustati zbog ograničenog konzuma, te se u razdoblju od 1930. do 1934. godine prišlo VI etapnom proširenju postojećih postrojenja GEC-a.

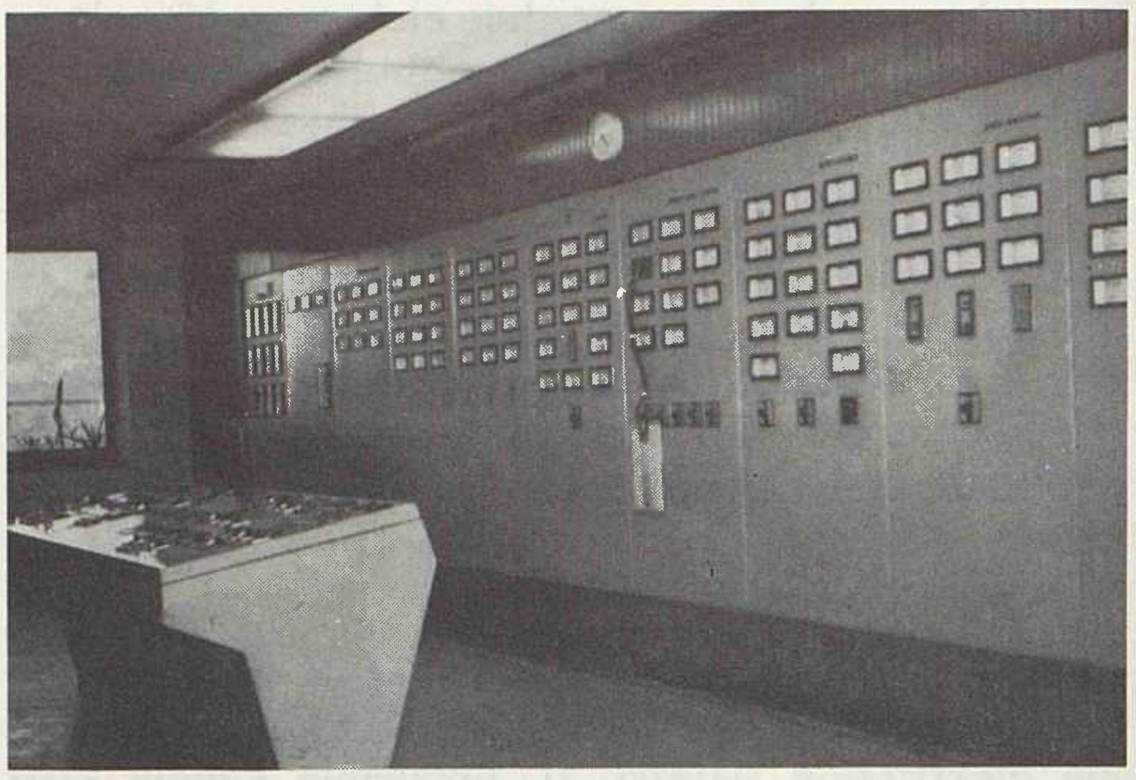
Tehnički činioci omeli su daljnja proširenja električne snage. Zato su u idućem periodu izgrađena samo dva nova kotla, koji su supstituirali dotrajale stare kotlove. Značenje elektrane i dalje je bilo veoma veliko. Ona je bila osnovna elektrana elektroenergetskog sistema Hrvatske.

Tek u srpnju 1937. godine osnovano je Banovinsko električno poduzeće (BEP), koje od GEC-a preuzima rukovodstvo elektroenergetskim sistemom Hrvatske.

BEP je proveo niz značajnih planova za razvoj elektrifikacije Hrvatske (elektrifikacija Posavine, Podravine i Hrvatskog Zagorja, pripremljena je izgradnja HE Vinodol). Pri tome jedan od najvažnijih zadataka, izgradnja 100 kV dalekovoda Zagreb — Reihenburg, kojim su povezani elektroenergetski sistemi Hrvatske i Slovenije, proveden je na osnovi ideje i projekta stručnjaka GEC-a. Između BEP-a i Elektrane Zagreb od prvog dana postojala su razna sasvim nepotrebna neslaganja. Ta su neslaganja dovela do tihog rata vodećih ljudi, koji je završio sklapanjem »ugovora o suradnji« 1943. godine između GEC-a i Državnog elektroprivrednog poduzeća (DEP) koje je u svibnju 1941. godine naslijedilo BEP.



KEM. LABORATORIJ (CENTRALNI)



TERMOKOMANDA KOTLA – 6

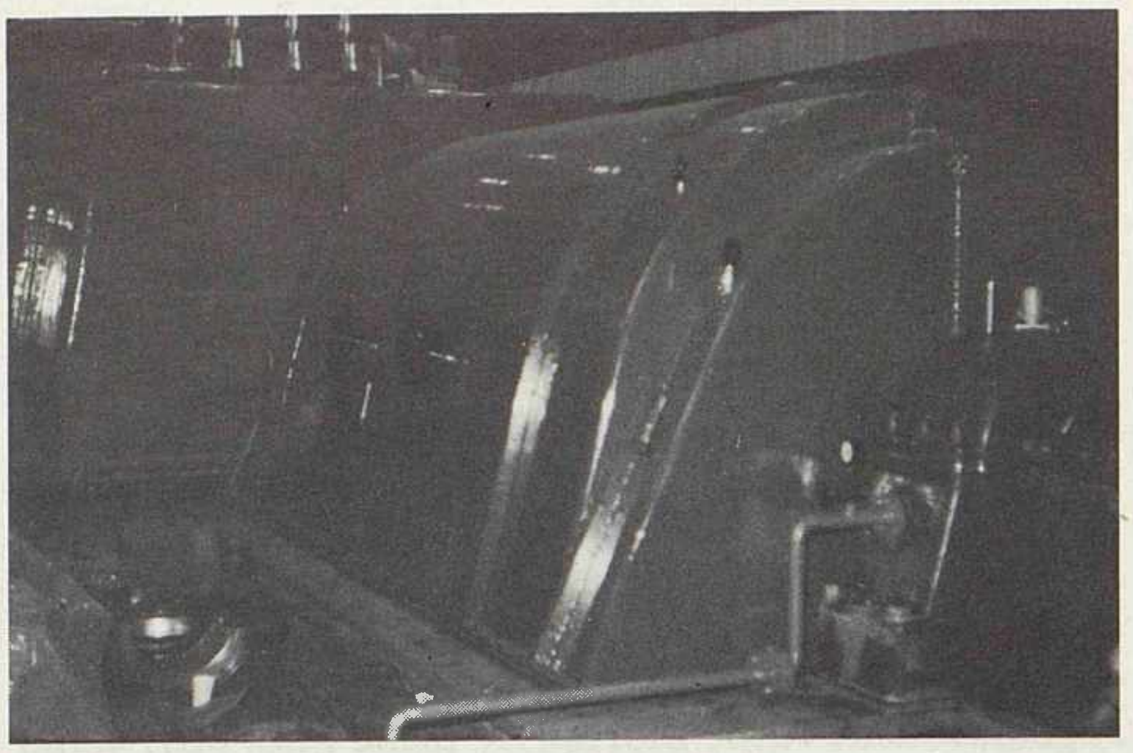
Godine 1940. ponovno je analizirana ideja izgradnje novih visokotlačnih kotlova i visokotlačne protutlačne predturbine u postojećoj Elektrani. Kalkulacije su, međutim, pokazale da su potrebne velike investicije, koje se ne mogu isplatiti. Elektrana je time bila osuđena »na laganu smrt«, iako će idućih 12 godina i dalje neprekidno raditi, proizvodeći maksimalne količine električne energije.

Nakon rata GEC postaje Električna centrala narodnog odbora Zagreba, a odmah zatim i član Električnog poduzeća Hrvatske (ELPOH), kao ELPOH-filijala Zagreb.

Ubrzanim razvojem i obnovom zemlje dolazi i do naglog porasta električnog konzuma Zagreba i Hrvatske. Bilo je to razdoblje sigurno najtežih tehničkih uvjeta rada Elektrane. Električna energija bila je nužna za ubrzanu obnovu zemlje, a postrojenje je bilo veoma staro. Zato se ponekad na uklanjanju kvarova radilo neprekidno i po 52 sata. Uz osiguranje redovite proizvodnje električne energije, Elektrana svoj stručni kadar koristi za organiziranje i vođenje izgradnje novih elektro energetskih objekata (Ozalj II, TE Jertovec, TS-110 kV Zagreb I — Rakitje, TS 110 kV Zagreb II — Resnik, te dalekovoda Zagreb — Jajce — Konjščina).

Nakon 1957. godine, puštanjem u rad novih, velikih i modernih hidroelektrana i termoelektrana (HE Vinodol 1952. godine i TE Jertovec 1954. godine) te izgradnjom dalekovoda Zagreb — Jajce 1957. godine naglo opada značanje Elektrane za elektroenergetski sistem. Iako je ona pedeset godina vjerno i pouzdano opskrbljivala električnom energijom Zagreb i okolicu, iako je odgojila niz elektroprivrednih generacija, iako je potakla osnivanje niza novih i danas poznatih i uglednih organizacija udruženog rada (1949. godine »Dalekovod« i »Elektroopskrba«, 1950. »Elektroprojekt«, 1951. godine »B. Kavurić«, 1952. godine Institut za elektroprivredu, 1954. godine TE Jertovec, 1957. godine Elektroprenos, 1963. godine TE-TO), zbog tehničko-ekonomskih razloga Elektrana je trebala prestati s radom. Međutim, i u tim, za Elektranu teškim trenucima, kolektiv je imao dovoljno snage i stručnosti da pokrene razvoj u Jugoslaviji, sasvim nove djelatnosti — centralizirane opskrbe toplinom.

Energija God. 32 (1983) 2 129-144



TURBINA 30 MW

IV. POČETAK RAZVOJA CENTRALIZIRANE OPSKRBE TOPLINOM

Prvi tehnički proračuni u vezi s mogućnostima daljinske opskrbe toplinom izvedeni su u Zagrebu još 1940. godine, prilikom planiranja rekonstrukcije GEC-a. Konkretan korak učinjen je nakon drugoga svjetskog rata, kada je tvornica »Rade Končar« započela s naglim razvojem. U okviru prvog petogodišnjeg plana ove tvornice trebalo se izgraditi niz novih, velikih tvorničkih hala, poslovnih prostorija i garderoba. Za grijanje novih prostora trebalo je ili izgraditi kompletno novu kotlovnicu ili se povezati s odgovarajućim toplinskim dalekovodom — vrelovodom s Elektranom. Grijanje toplinom iz Elektrane pokazalo se ekonomski opravdanijim, a za novu kotlovnicu nisu se ni mogli pravovremeno nabaviti kotlovi.

Odluka o opskrbi tvornice »Rade Končar« toplinom iz Elektrane donesena je u travnju 1947. godine. Prema tadašnjim planovima za grijanje »R. Končara« trebalo se 1947. godine oduzeti iz turbine 10 t/h pare, a u sezoni 1948/59. 20 t/h pare. Na žalost, ostvarenje tih planova znatno je zakasnilo. S jedne strane, »R. Končar« nije mogao na vrijeme osigurati uvoznu opremu (ventile, zasune, kondezne lonce i kontrolne instrumente). S druge strane, suprotno svim predviđanjima, Elektrana je imala sve značajniju ulogu u elektroenergetskom sistemu, prvenstveno zato što je znatno kasnila izgradnja novih elektrana.

Izgradnja vrelovoda između Elektrane i »R. Končara« započela je 17. VIII 1947, a završena je 1950. godine. Grijanje prostorija u tvornici »R. Končar« nije, međutim, moglo početi, jer u Elektrani nije postojala odgovarajuća toplinska stanica. Izgradnja toplinske stanice za zagrijavanje vrelovoda parom tekla je veoma sporo. Tehnički, toplinska stanica mogla se izvesti ili korištenjem pare oduzete iz najveće i najnovije turbine 16 MW ili korištenjem svježe pare iz kotlova 16 atp. Iako je korištenje pare oduzete iz turbine bilo tehnički i ekonomski povoljnije, zbog aktualne elektroenergetske krize moralo se prihvatiti drugo rješenje. Uz dosta nervoze i nakon bezbrojnih sastanaka, montaža toplinske stanice počela je i završila 1954. godine. Grijanje tvornice »R. Končar« počelo je u prosincu iste godine. Time je započeo intenzivan razvoj toplifikacije, koji je našem društvu donio velike uštede primarne energije.

Proizvodnja toplinske energije u Elektrani naglo raste, tako da je od 324 MWh u 1954. godini porasla na čak 15 154 MWh u 1957. godini. Istovremeno i dalje, suprotno svim očekivanjima i stručnim planovima, Elektrana je punom snagom proizvodila električnu energiju. Tako je 1956. godine Elektrana Zagreb proizvela čak 94 142 GWh električne energije, što nikada do tada nije uspjela. S tom proizvodnjom električne energije Elektrana Zagreb u 1956. godini bila je druga elektrana Hrvatske, odmah iza HE Kraljevac, a još uvijek ispred novih, modernih elektrana, prvenstveno HE Vinodol i TE Jertovec.

Ipak, bio je to samo »labuđi pjev«. Narednih godina rapidno se smanjivala proizvodnja električne energije. Stara je elektrana sve više stajala.

Godine 1960. donesena je na nivou elektroprivrede odluka da Elektrana postaje samo »hladna rezerva sistema«. Postrojenje je gotovo sasvim zaustavljeno, prvi put od 6. XI 1907. godine. Ostao je u pogonu samo jedan parni kotao za grijanje vrelovoda »R. Končar«. Broj radnika trebao se smanjiti sa 250 na 90. Još i danas stariji radnici sjećaju se onog prvog jutra kada su došli u zaustavljena postrojenja Elektrane.

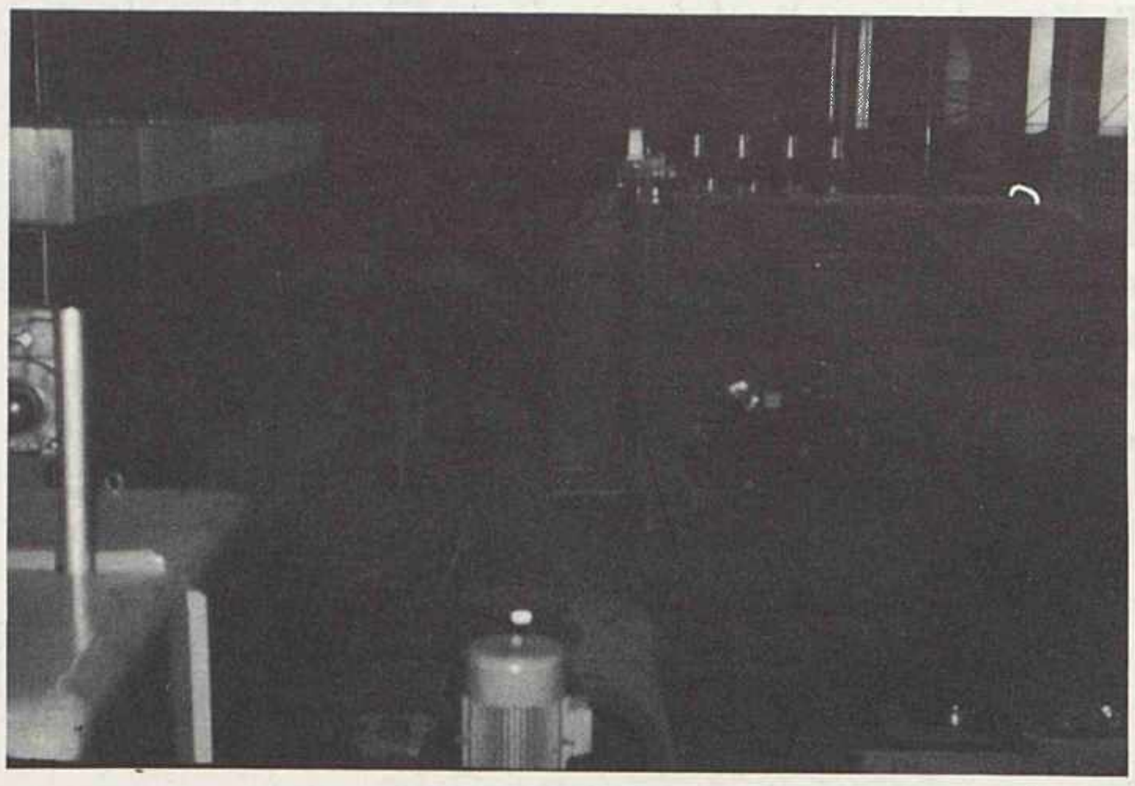
V. ŠIRI RAZVOJ CENTRALIZIRANE OPSKRBE TOPLINOM

Godine 1958. pušten je u pogon prvi javni parovod, kojim se počelo iz Elektrane toplinom opskrbljivati plivalište »Mladost«. Taj parovod, promjera svega 80 mm, veoma je malog kapaciteta. Zato je za daljnji razvoj Elektrane sudbonosno značenje imala tek izgradnja dva velika parovoda promjera 300 mm. Izgradnja tih parovoda kapaciteta 2 × 80 tona na sat počela je 1960. godine. Projekte parovoda izradio je »Mašinoprojekt«, a izvođači radova bili su »Hidroelektra« i »Braća Kavurić«.

Osnovni razlog izgradnje ovih parovoda bila je gradnja novih pogona tvornice »Pliva«. Uz »Plivu« na ove parovode priključene su odmah i druge veće tvornice Črnomerca: »Franck«, Pivovara, Tvorpam, te drugi objekti.



UKLOPNICA



STROJARNICA

U izgradnju ovih parovoda Elektrana je ušla s puno hrabrosti, potpisavši ugovore koji su oštro pogađali Elektranu za svako zakašnjenje. Uz dosta napora i usprkos brojnim problemima (posebno s uvozom armature i kompenzatora) parovodi su na vrijeme, u prosincu 1961. godine, pušteni u pogon. Sve tvornice priključene na nove parovode zaustavile su svoje kotlovnice. To im je donijelo znatne ekonomske uštede i osigurali mirniji rad, a i bitno pridonijelo stvaranju čistije atmosfere u gradu. Ujedno, postrojenja Elektrane ponovno su proradila punom snagom, ali uz preorijentaciju s proizvodnje električne energije na proizvodnju toplinske energije. Godine 1961. Elektrana usvaja i novo ime Elektrana-Toplana (EL-TO). Od 1968. godine EL-TO više ne proizvodi kondenzacionu električnu energiju, što znači da električna energija postaje sporedni proizvod.

Preorijentacija na proizvodnju toplinske energije ostvarena je uspješno i uz znatnu financijsku pomoć potrošaća topline. Primjerice, svi parovodi i priključci izgrađeni do 1965. godine financirani su čak sa 75 % sredstava potrošača, a Elektrana je ulagala svega oko 25 % sredstava. U daljnjem razvoju parni potrošači su još više pomagali izgradnju EL-TO, ulažući sredstva direktno i u izgradnju postrojenja. Osim potrošaća toplinske energije, razvoj Elektrane-Toplane financijski su pomogli Zavod za komunalne djelatnosti, Fond za stambenu izgradnju, USIZ komunalnih djelatnosti, USIZ stanovanja, Kreditna banka Zagreb, Privredna banka Zagreb, Elektroprivreda Hrvatske, RSIZ potrošaća električne energije i proizvođači opreme. Za razvoj centraliziranog sistema opskrbe toplinom u Zagrebu, pa i u Jugoslaviji, veoma je značajan i trenutak puštanja u pogon nove i velike Termoelektrane-Toplane na Žitnjaku u travnju 1963. godine. Kolektiv Elektrane bio je inicijator i voditelj od 1954. godine izgradnje ove nove toplane. S dvije velike toplane s kombiniranim procesom proizvodnje električne energije Zagreb je čvrsto preuzeo primat u razvoju centralizirane opskrbe toplinom. Svi veći gradovi u Jugoslaviji počinju slijediti primjer Zagreba u razvoju sasvim nove komunalne djelatnosti — centralizirane opskrbe toplinom. U tome su posebno uspjeha do danas imali Ljubljana i Beograd.

VI. UBRZANI RAZVOJ NOVIH POSTROJENJA U ELEKTRANI-TOPLANI

Puštanjem u rad dva nova parovoda 1961. godine povećala se proizvodnja toplinske energije sa 15 400 MWh na čak 226 823 MWh u 1964. godini. To udeseterostručenje proizvodnje stari kotlovi nisu mogli osigurati. Dolazilo je do ozbiljnih poremećaja u opskrbi toplinom. Odlučeno je da se 1964. godine od Jugoslavenske ratne mornarice hitno kupi novi veliki parni kotao »Babcock-Wilcox« kapaciteta 80 t/h pare. Kotao je pušten u pogon u velikoj žurbi 1965. godine.

U toku 1964. i 1965. godine glavni parni kotlovi (K3, K4 i K5) preuređeni su s loženja ugljenom na loženje srednjim i teškim loživim uljem. Za one prilike uspjeh je bio velik jer se potrošnja goriva znatno smanjila. Potrošnja goriva sa 1 200 kcal po kg pare smanjila se korištenjem mazuta na ispod 1 000 kcal po kg. Stupanj djelovanja kotlova povećao se sa 67 % na 85 %. Pregradnju kotlova izveli su sami radnici EL-TO. Od tada prestaje potrošnja ugljena i EL-TO se koristi samo mazutom, a od 1970. godine i zemnom plinom.

Godine 1964. katastrofalno su poplavljena sva naselja južne Trešnjevke. Na nivou grada je odlučeno da se na tom dijelu poplavljenog zemljišta sagrade nova naselja Kalinovica, Knežija i Srednjaci. Uspjelo se, nakon dugih rasprava, stručno dokazati da je ova nova naselja potrebno opskrbiti toplinom iz EL-TO. Time je osigurano daljnje proširenje stare elektrane.

Grijanje novih naselja južne Trešnjevke počelo je puštanjem u rad novog velikog vrelovoda promjera 2×400 mm snage 100 MWt u jesen 1966. godine. Nova priključna snaga vrelovodnih potrošača zahtijevala je istovremenu izgradnju nove velike toplinske stanice u EL-TO snage 70 MWt. Početkom 1967. godine ova toplinska stanica puštena je u pogon. U to vrijeme donesena je i odluka o izgradnji novog visokotlačnog bloka 12 MW_e s protutlačnom parnom turbinom. Blok 12 MW_e, pušten u rad 1970. godine, označio je u EL-TO prelazak na nov, suvremen, ekonomski i energetski izrazito povoljan način proizvodnje toplinske energije. Izgradnja novog bloka u EL-TO donijela je i novu afirmaciju domaće industrije energetske opreme, koja je isporučila i izvela kompletno postrojenje. Nosioci poslova bili su »Đuro Đaković« Slavonski Brod, »Rade Končar« Zagreb, »Jugoturbina« Karlovac i ATM Zagreb.

Godine 1969. dolazi do reorganizacije elektroprivrede. Formiran je novi OOUR Toplinske mreže zadužen za prijenos i distribuciju toplinske energije. EL-TO postaje osnovna organizacija udruženog rada, registrirana samo za proizvodnju električne i toplinske energije.

U razdoblju od 1970. godine do 1976. godine EL-TO gradi za podmirenje porasta proizvodnje toplinske energije tri nova vršna kotla proizvodnje TPK Za-

greb (2 generatora vrele vode snage 58 MW_t i 1 generator pare kapaciteta 64/80 t/h).

Za nastavak razvoja EL-TO zatim je bitna odluka donesena na nivou grada o gradnji novih naselja južne Trešnjevke: Jaruna, Vrbana i Staglišća. Za grijanje tih naselja bilo je potrebno sagraditi novi vrelovod promjera 2 × 500 mm i snage 120 MW_t(što su preuzele i uspješno završile Toplinske mreže), te proširiti proizvodne jedinice u EL-TO. U stručnim raspravama 1975. godine dokazalo se da je najpovoljnije u EL-TO izgraditi nov visokotlačni blok snage 30_e. Izgradnju bloka 30 MW_e financijski su pomogli, osim OSIZ-a stanovanja i RSIZ-a potrošača električne energije, potrošači tehnološke pare (»Pliva«, ZET, »Franck«, TKZ, Pivovara). Potrošači tehnološke pare bili su spremni kreditirati izgradnju jer je novi blok garantirao manji specifični potrošak goriva i time niže proizvodne troškove. Blok 30 MW_e, pušten u probni rad u veljači 1980. godine, također su isporučili domaći proizvođači energetske opreme (»Rade Končar«, »Jugoturbina«, ATM i TPK). Blok je izveden s dva visokotlačna parna kotla kapaciteta 2 × 100 t/h, te s protutlačnom parnom turbinom i ogrijevnim kondenzatorom. Izvedba parne turbine s ogrjevnim kondenzatorom prvi put je primijenjena u Jugoslaviji i omogućila je iskorištavanje otpadne kondenzacione topline za zagrijavanje vrelovoda. Time je osigurano veoma racionalno korišternje energije goriva, što u odnosu na referentnu kondenzacionu termoelektranu omogućuje godišnju uštedu i do 20 000 tona ekvivalent mazuta.

Paralelno s izgradnjom bloka 30 MW_e veći dio ostalog dijela postrojenja i opreme potpuno je rekonstruiran ili obnovljen (npr. izgrađen je novi armiranobetonski dimnjak visine 200 m, modernizirana je i proširena kemijska priprema vode, zajedno s »Plivom« obnovljen je i proširen vlastiti industrijski vodovod Knežija, rekonstruirana je cijela zgrada strojarnice, obnovljeno je mazutno gospodarstvo s istovarnim kolosijecima, obnovljena je željeznička pruga od Zapadnog kolodvora do EL-TO, izgrađena su dva nova hangar-skaldišta, obnovljena je kompletna kanalizacija, izgrađena je nova hidrantska mreža, iseljeni su privatni stanari, modernizirane su prometnice, potpuno je obnovljen vrelovodni kotao 1).

Zahvaljujući uspješnom dosadašnjem razvoju, danas je Elektrana-Toplana sasvim nov, moderan energetski izvor. Osnovne proizvodne jedinice nisu starije od 10 godina. Ukupna instalirana snaga iznosi 42 MW_e i 457 MW_t.

Ukupna godišnja proizvodnja 1982. godine iznosila je 907 875 MWh energije, od čega je proizvodnja topline na pragu 785 657 MWh_t ili 87 %, a proizvodnja električne energije na generatoru 122 218 MWh_e, odnosno 13 %. Praktički, danas se električna energija proizvodi samo onda i onoliko koliko omogućuju potrebe za proizvodnjom toplinske energije. Takav način rada omogućio je da ukupni stupanj djelovanja cijelog postrojenja u 1982. godini bude veoma visok i iznosi 84,93 %.

Ukupna vrijednost osnovnih sredstava u 1982. godini iznosila je dinara 763 579 107,21. U Elektrani-Toplani u istoj godini prosječno je bilo zaposleno 253 radnika. Zadnjih pet godina, osim uključivanja novih proizvodnih jedinica (blok 30 MW_e, kotlovnica Špansko,) ukupan broj zaposlenih radnika nije se bitno povećao. Uz ostvareno povećanje ukupne prosječne godišnje proizvodnje energije u EL-TO, omogućilo se i povećanje produktivnosti.

VII. DALJNJI RAZVOJ

Razvoj Elektrane-Toplane u idućem razdoblju direktno je vezan za daljnji razvoj centralizirane opskrbe toplinom u Zagrebu. Zato je gotovo sudbonosnog značenja bila toplifikacija Španskog, novog satelitskog naselja na zapadnom rubu Zagreba. Prema prvim planovima ovo naselje sa oko 6 000 stanova trebalo je biti plinificirano. Tek naknadnim dokazivanjem stručnjaci EL-TO uspjeli su dokazati sve prednosti toplifikacije Španskog. Špansko je udaljeno od EL-TO oko 4 km, te izgradnja odgovarajućeg novog vrelovoda promjera 2 × 650 mm i snage 250 MW_t traje nekoliko godina. Zato je 1980. godine odlučeno da EL-TO u naselju Špansko odmah izgradi lokalnu prijenosnu (kontejner) kotlovnicu. Kotlovnica se sastoji od tri vrelovodna kotla instalirane snage 3 × 7 MW_t. Prvi kotao je proradio 1981. godine. Prema planovima kotlovnica Špansko radit će do jeseni 1984. godine, kada treba da Toplinske moreže završe izgradnju magistralnog vrelovoda Špansko. Tada će se kotlovnica prenijeti u neko novo naselje u izgradnji (vjerojatno Oporovec), do kojeg neće odmah biti izgrađen vrelovod.

Izgradnja vrelovoda za Špansko omogućuje znatno proširenje centralizirane opskrbe toplinom, jer na ovaj vrelovod mogu se priključiti i sva buduća naselja uz njegovu trasu, a u krajnjoj točki omogućuje se i priključak već gotovog naselja Gajnice. Sve to zajedno više nego udvostručuje vrelovodni konzum EL-TO (iako je po dosadašnjim planovima razvoja konzum zapadnog dijela trebao stagnirati).

U zacrtanim planovima razvoja do 2000. godine izričito se predviđa dvostruko povezivanje vrelovodnih konzuma EL-TO i TE-TO u jedinstven toplifikacioni sistem. Instalirana toplinska snaga zagrebačkih toplana za potrebe vrelovodnih (ogrjevnih) potrošača trebala bi se sa 712 MW_t povećati na čak 2 150 MW_t 2000. godine. Na taj način postotni udio centraliziranog toplinskog sistema u ukupnim ogrjevnim potrebama 10 općina Zagreba povećao bi se sa 28 % na čak 51 %.

Parni konzum zbog dislokacije potrošača ostaje podijeljen na »zapadni«, koji se opskrbljuje tehnološkom parom iz EL-TO, i »istočni«, koji pokriva TE-TO. Prema planovima Toplinskih mreža instalirana tehnološko parna snaga EL-TO ne mora se povećati i ostaje do 2000. godine svega 200 MW_t. S druge strane, instalirana tehnološka parna snaga u TE-TO treba se povećati sa 172 MW_t 1981. godine na čak 730 MW_t 2000. godine. Postotni udio toplana Zagreba u zadovoljavanju ukupnih tehnoloških potreba za toplinom povećao bi se sa 48 % 1979. godine, na 67 % 2000. godine.

Ukupno gledano, centralizirani toplinski sistem (CTS) u Zagrebu treba se do 2000. godine intenzivno razvijati kako bi se ukupna instalirana snaga sa 1 084 MW_t povećala na 3 080 MW_t. Postotni udio topline proizvedene u CTS u odnosu na ukupnu potrošnju toplinske energije Zagreba trebao bi se povećati na 56,5 % u 2000. godini. Za pokrivanje tako velikog porasta konzuma predviđa se u Zagrebu do 1988. godine izgradnja jednog toplinskog bloka na ugljen, snage 200 MW_e i 260 MW_t, te oko 1995. godine dobivanje oko 850 MW_t ogrjevne topline iz NE Prevlaka.

Uz ovakav plan razvoja CTS do 2000. godine na lokaciji EL-TO trebalo bi:

— do 1985. godine sagraditi potpuno novu pumpno-toplinsku stanicu snage 465 MW
— do 1987. godine sagraditi novi generator vrele vode snage 116 MW_t
— do 1993. godine sagraditi novi generator pare kapaciteta 64/80 t/h
— do 1995. godine završiti primo-predajnu toplinsku stanicu NE Prevlaka.

Osim tih kapitalnih investicija Elektrana-Toplana u okviru vlastitog programa za racionalno korištenje energije planira niz unapređenja tehnološkog procesa proizvodnje toplinske energije.

U ovom času istražuje se i planira korištenje akumulatora topline (noć — dan), istražuje se primjena toplinske pumpe u napojnom sistemu toplane, razmatra se opravdanost ugradnje koncentratora solarne energije u toplanskom sistemu, te izrađuje elaborat o mogućnosti reciklaže energije iz komunalnih otpadaka Zagreba. Nadamo se da će se tim akcijama ostvariti nove uštede energije goriva i povećati sigurnost i kvaliteta rada.

VIII. ZAKLJUČNA RAZMIŠLJANJA

Na kraju, ponovno se vratimo na ljude koji su primjernim i bespoštednim zalaganjem zauvjek zadužili Elektranu i naše cijelo društvo. Mnogi od njih u Elektrani, za Elektranu i za naš samoupravni socijalizam dali su i svoje najveće, često puta i jedino bogatstvo — svoj život.

Praktički, od prvog dana Elektrana okuplja radnike koji se tek nakon prvoga svjetskog rata organizirano okupljaju i ujedno počinju organizirano djelovati. Prva pobjeda radnika Munjare, nakon četverodnevnog raspravljanja s upravom, ostvarena je 1919. godine uvođenjem 8-satnog radnog vremena i povećanjem plaća za 20 %. Tri godine kasnije radnici su se izborili za donošenjem Statuta radnika Gradske plinare, Munjare i Vodovoda, kojim se osigurala mirovina. Treba istaći da u to vrijeme 99 % ostalih radnika i službenika nije imalo pravo na mirovinu. Svi napredni radnici — komunisti i socijalisti GEC-a — bili su okupljeni u Ujedinjenom radničkom sindikatu (URS), a napredni službenici u Savezu bankovnih, obrtnihčkih, trgovačkih i industrijskih činovnika (SBOTIČ). U radu SBOTIČ-a posebno se isticao Stjepan Kavurić.

Godine 1933. organizirana je prva partijska ćelija komunalaca u koju su ušla uz dva radnika Gradske plinare i dva radnika GEC-a, i to Stjepan Kavurić i Ljubica Dobrinić. Osim njih u daljnjem partijskom radu, prije i u toku drugoga svjetskog rata, u okviru GEC-a istakli su se:

Marko Miličić, elektromonter, član KPJ od 1938. godine, sekretar jedne od dviju partijskih ćelija GEC-a i član Mjesnog komiteta Zagreb KPJ; ubijen je 1944. godine u Ulici 8. maja od ustaških agenata;

Zvonko Svjetličić, službenik, nekoliko puta hapšen i osuđivan na robiju; umro je u najtežim mukama 1942. godine u logoru Stara Gradiška, nakon 37 dana prisilne gladi;

Zvonko Kavurić, inž. građevinarstva, koji je kao sekretar partijske organizacije i tajnik NOO za Zagreb konspirativno radio u Elektrani sve do 1944. godine, kada je uhapšen, pretučen i sa slomljenom ključnom kosti obješen u Zaprešiću od Nijemaca.

Osim ovih revolucionara, u partijskom radu isticali su se i mnogi drugi radnici GEC-a. Upravo oganizirani partijski rad očuvao je Elektranu na kraju drugoga svjetskog rata od eventualnog njemačkog razaranja. Konkretno, u toku 1943. godine aktivisti Elektrane, na čelu sa inž. Zvonkom Kavurićem, poučeni iskustvima Staljingrada, gdje su Nijemci pri povlaćenju uništavali slične objekte, došli su na ideju da najveći agregat T-1 zazidaju kako bi onemogućili Nijemcima da ga pri povlačenju sruše. Treba naglasiti da je taj agregat električne snage 16 MW u to vrijeme bio jedan od najvećih u Evropi.

Inž. Kavurić uspio je tada uvjeriti upravu Elektrane da je potrebno obzidavanje agregata, s obrazloženjem da ga treba zaštititi od eventualnog angloameričkog bombardiranja. Na taj način turbina 1 opasana je armiranobetonskim zidom debljine 70 cm, s vrlo strmim krovom. Praktički, turbina je umrtvljena jer je ostao samo jedan mali otvor za kontrolu. Zbog toga je sljedeće dvije godine znatno smanjena proizvodnja električne energije. Odmah nakon oslobođenja Zagreba, udarničkim radom bez prekida, oslobođen je ovaj agregat, koji je proradio punom snagom u trenutku kada je to bilo i najpotrebnije — za obnovu zemlje.

S oslobođenjem u Elektranu je došao i novi život. Radilo se dan i noć, a radnici su u Elektrani jeli i spavali. 25 kolovoza 1950. među prvima u Jugoslaviji, radnici Elektrane formirali su Radnički Savjet. Time je uspješno završena jedna etapa dugogodišnje borbe radnika Elektrane za bolji i sigurniji život cijeloga našeg društva.

Svjesni sadašnjeg trenutka, radnici Elektrane-Toplane sigurno će i u ovom trenutku pokazati visoku socijalističku i samoupravnu svijest u provođenju politike ekonomske stabilizacije i u provođenju stavova i zaključaka 3. sjednice CK SKJ.

Zagreb, prosinca 1982.

PRILOG 1.

TEHNIČKI PODACI RAZVOJA ELEKTRANE — TOPLANE

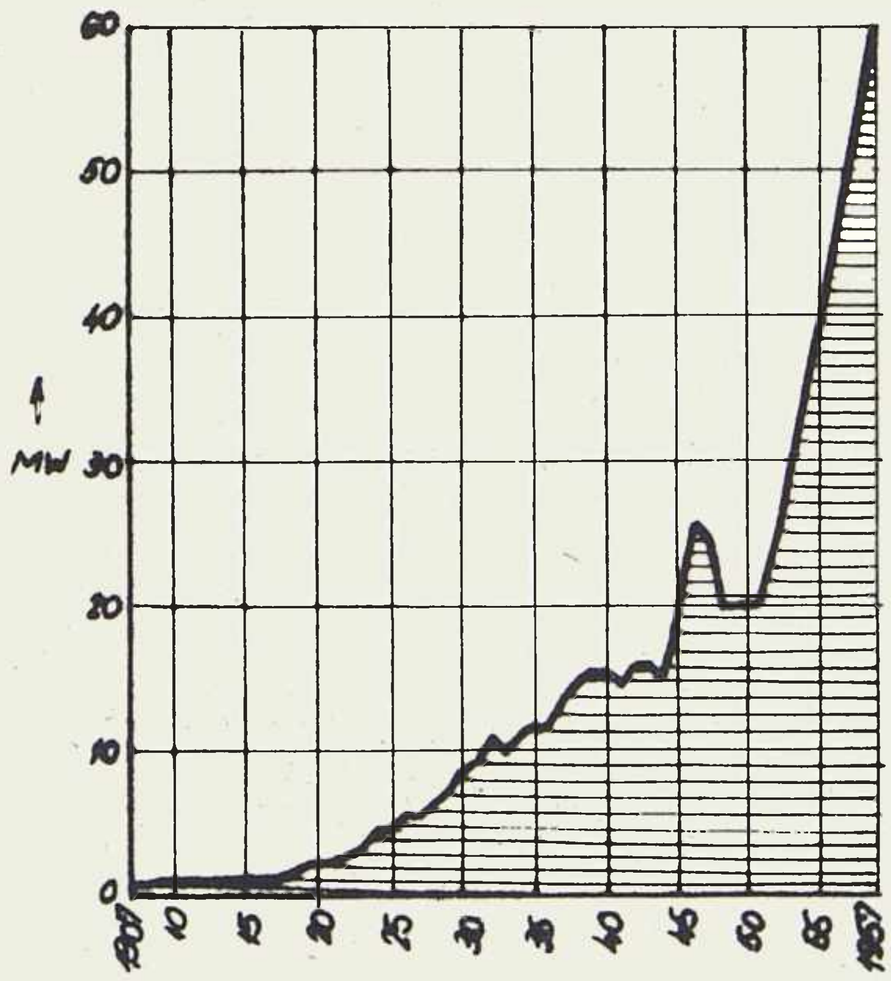
I — Izgradnja 1907. godine (snaga oko 0,8 MW_e)

— **3 parna kotla,** vodocijevna, po 3 t/h, sa 12 atp i 300 °C; sistem kotlova bio je Rautenkranz-Luk, s ogrjevnom površinom od 140 m²; loženje je bilo krupnim vrstama mrkog ugljena;
— **2 parna kondenzacijska stroja** »Prve praške tvornice strojeva«, snage od 800 KS pri 12 atp i 300 °C uz 125 okretaja u minuti;
— **1 generator trofazne struje** »Ganz«, direktno spojen na parni stroj, sa 865 kVA, 100 A, 5 000 V i 50 Hz;
— **1 generator istosmjerne struje** »Ganz«, direktno spojen na parni stroj, od 200 kW, 333/243 A i 600/820 V.

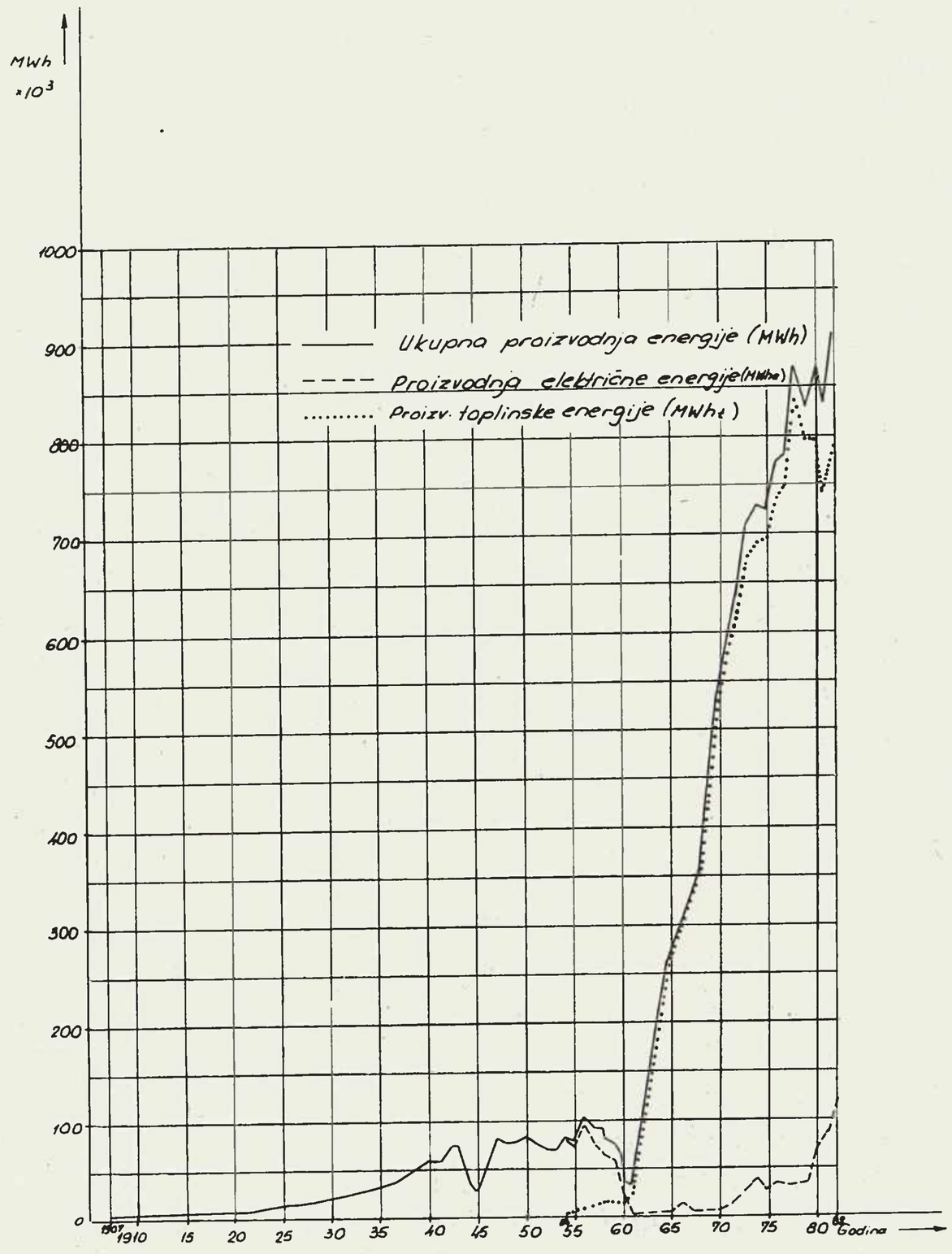
Trofaznom strujom napajala se visokonaponska gradska mreža od 5 kV, na koju su se direktno priključili motori vodovodnih pumpi, a preko transformatora 5 000/500 V bila je priključena srednjonaponska gradska mreža. Rasvjetni potrošači bili su preko kućnih transformatora 500/110/55 V priključeni na srednjonaponsku mrežu. Istosmjerna struja koristila se za napajanje mreže gradskog tramvaja.

II — Proširenje 1910. godine (ukupna snaga oko 2,0 MW_e)

— **2 parna, vodocijevna kotla,** sistema Rautenkranz-Luk, s kapacitetom 4 t/h uz 12 atp i 300 °C, ogrjevna površina 190 m²;
— **1 parna turbina** »AEG« Berlin, od 1 800 KS, kod 3 000 okretaja u minuti, s karakteristikama pare 12 ata i 300 °C;
— **1 generator trofazne struje** od 1 250 KVA, 144,5 A, 5 000 V, 50 Hz, (1 MW)
— **1 generator istosmjerne struje** od 200 kW, 364 A i 550 V.



Sl. 1. Dijagram porasta vršnog opterećenja električne mreže Zagreba od 1907. do 1957. godine.



Sl. 2. Proizvodnja električne i toplinske energije u EL-TO Zagreb od 1907. do 1982. godine.

Oba generatora bila su direktno spojena na parnu turbinu. Ovim proširenjem počinje potpuna elektrifikacija tramvaja u Zagrebu i podmiruju se naglo narasle potrebe grada za električnom energijom

III — Proširenje 1914. godine (ukupna instalirana snaga povećana na 4,4 MW_e)

— **1 parni, vodocijevni kotao** »Škoda-Plzen«, snage 9 t/h sa 12 atp i 350 °C, ogrjevna površina 450 m², mehanički roštilj;
— **1 parna kondenzaciona turbina,** »AEG« — Berlin, snage od 3 800 KS kod 3 000 o/min, s parom karakteristika 12 ata i 325 °C,
— **1 trofazni generator AEG,** od 3 000 kVA, 350 A, 5 000 V, 50 Hz, 2,4 MW.

Prije donošenja odluke o ovom proširenju najozbiljnije su razmatrane mogućnosti opskrbe Zagreba električnom energijom iz hidroelektrane na Dravi kod Varaždina, odnosno na Savi kod Sv. Nedelje. Zbog manjih investicija odlučilo se za proširenje Mujnare.

IV — Proširenje 1922 — 1923. godine (ukupna snaga povećana na 9,4 MW_e)

— **1 parni strmocijevni kotao** »Škoda«, ogrjevne površine 612 m², učina od 15 t/h, pare sa 14 atp i 350 °C, s roštiljem za loženje mrkih ugljena;
— **1 parna kondenzaciona turbina** »Škoda« snage 3 000 KS sa parom 12 atp i 350 °C

— **1 trofazni generator »Siemens — Schucker Wien»** od 6 250 kVA, 5 500 V, 50 Hz, (5 MW).

Nakon prvoga svjetskog rata Zagreb postaje glavni grad Hrvatske. Naglo širenje grada znatno je povećalo potrošnju električne energije. U 1922. godini električna mreža bila je preopterećena, te su bili veoma česti prekidi. Zato je te godine donesena odluka o novom proširenju, koje je završeno već krajem 1923. godine.

V — Proširenje 1926 — 1928. godine (ukupna instalirana snaga oko 19,0 MW_e)

Industrijalizacija i elektrifikacija Zagreba u velikom su usponu. Evidentni su ponovno manjkovi električne energije. U Zagrebu se još jednom razmišlja o alternativnim mogućnostima opskrbe električnom energijom. Posebno daleko se otišlo s pripremama za gradnju hidroelektrane na Savi kod Krškog, snage 18 000 KS (oko 13,5 MW). Za ovu varijantu Zagreb je već dobio koncesiju, a i sredstva su bila osigurana preko švicarske tvrtke »Motor — Columbus«.

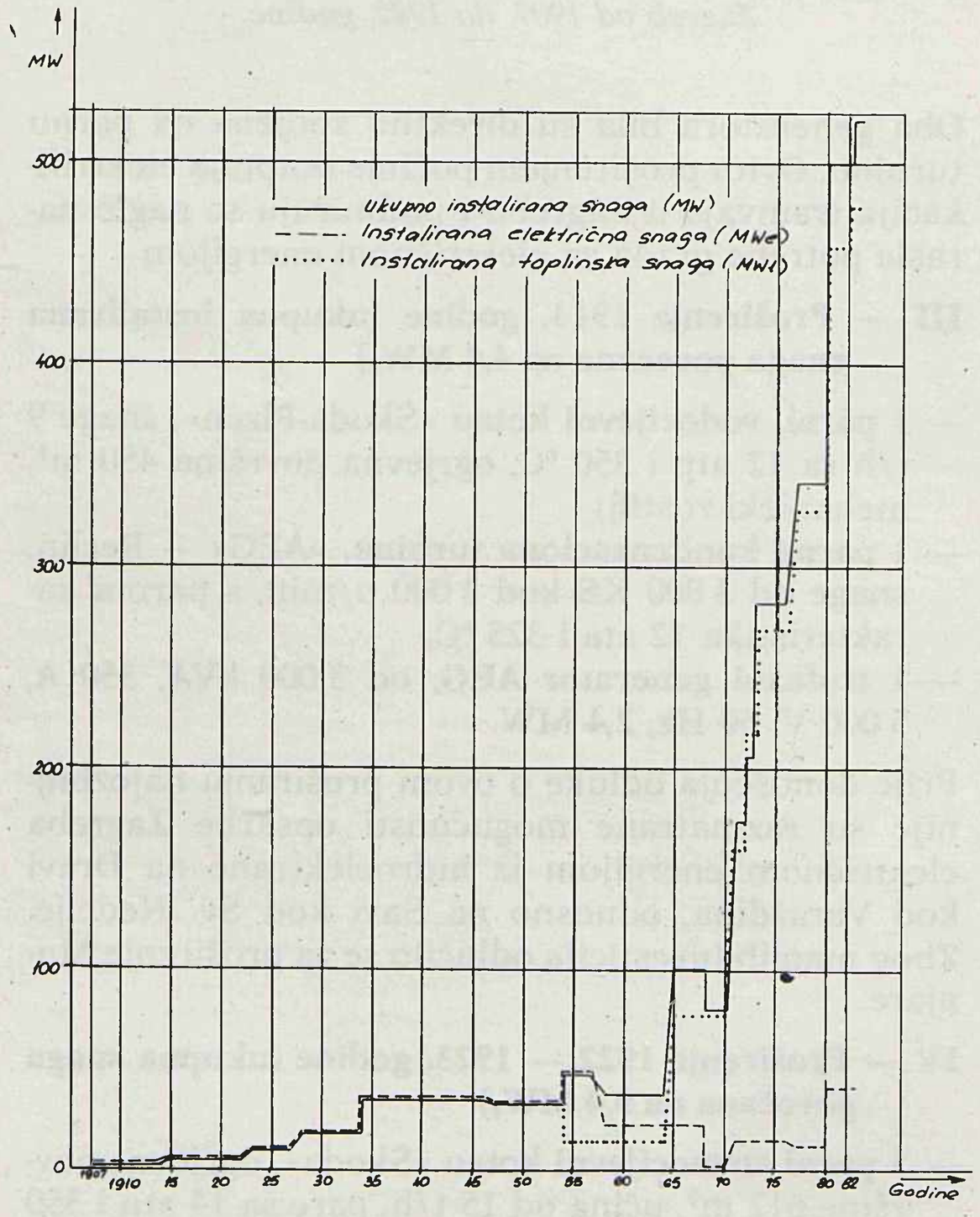
Međutim 1926. godine odlučilo se ipak za proširenje GEC-a, koje je završeno početkom 1928. godine.

— **1 parni kotao, strmocijevni** »Škoda« ogrjevne površine od 700 m², učina od 14/18 t/h uz 16 atp i 400 °C, s lančanim roštiljem za loženje mrkih ugljena
— **1 parni vodocijevni kotao, »Škoda«** površine 350 m², učina 7,5/9 t/h, uz 16 atp i 400 °C
— **1 parna turbina, kondenzaciona** »Škoda« snage od 14 000 KS uz 3 000 o/min, sa parom 13 atp i 325 °C
— **1 trofazni generator** »Siemens — Schucker — Wien« od 14 000 KVA, 5 500 V, 50 Hz (10 MW).

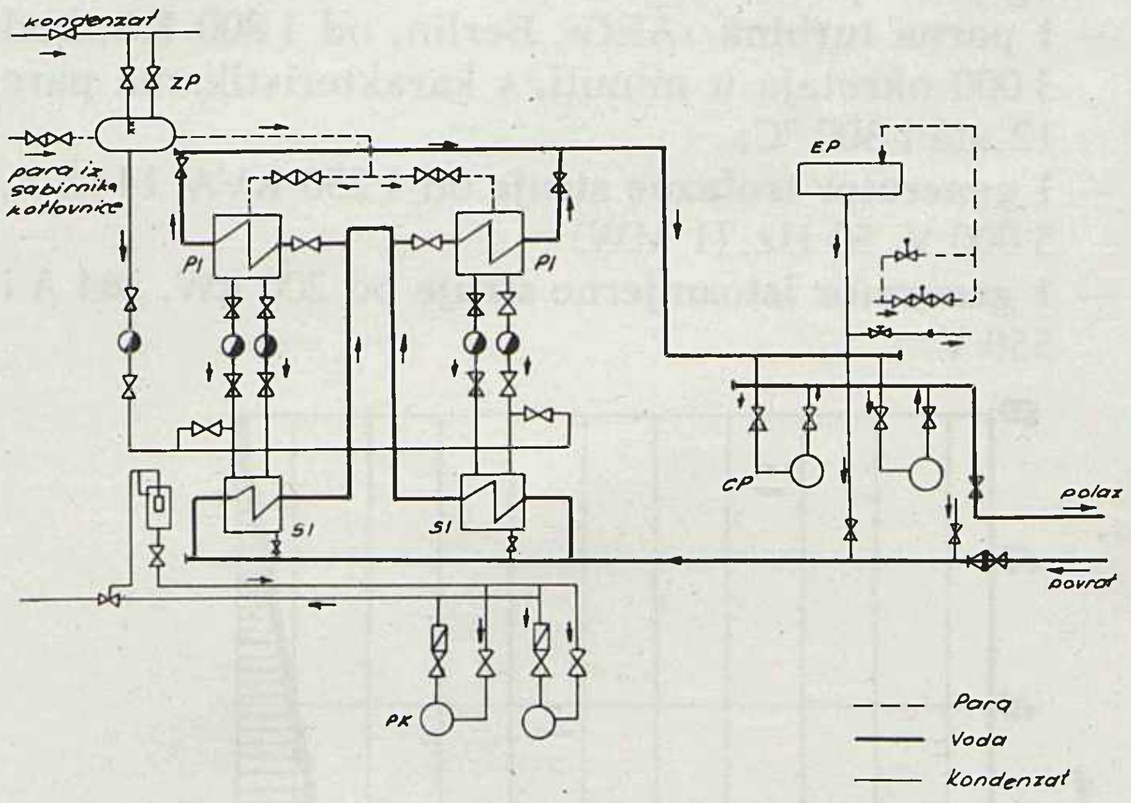
Kod ovog proširenja provedeno je i niz dodatnih adaptacija, rekonstrukcija i dogradnji. Konkretno prošireno je skladište ugljena, izgrađeni natkriveni bunkeri za ugljen, izgrađen novi zidani dimnjak visine 85 m, izgrađen novi rashladni toranj kapaciteta od 3 600 m³/h, izgrađeno novo 5 kV postrojenje, te izgrađena nova komandna ploča i uklopna komanda.

VI — Proširenje od 1930. god. do 1934. godine (ukupna instalirana snaga 34,6 MW_e)

— **1 parni kotao strmocijevni »Škoda«,** proizveden 1930. godine, ogrjevne površine 700 m², učina 23/26 t/h uz 16 atp i 400 °C, sa stepenastim roštiljem za loženje lignitom
— **2 sekciona parna kotla** »Prve brnjanske tvornice strojeva«, proizvedeni 1932. i 1934. godine, ogrjevne površine 650 m², učina od 20/30 t/h uz 16 atp i 400 °C, sa stepenastim roštiljem za loženje lignitom (1 od dva kotla i danas je pogonski spreman, K-3)
— **1 parna kondenzaciona turbina** »Prve brnjanske tvornice strojeva«, snage od 22 600 KS uz 3 000 o/min, proizvedena 1934. godine, ogrjevne površine 650 m², učina od 20/30 t/h, uz 16 atp i 400 °C, sa stepenastim roštiljem za loženje lignitom
— **1 trofazni generator »Siemens — Schuckert Wien«** od 20 000 kVA, 5 250 V, 50 Hz, 16 MW.



Sl. 3. Dijagram porasta instalirane snage u EL-TO Zagreb od 1907. do 1982. god.



Slika 4. Shema prve toplinske stanice snage 14,7 MW_t u Elektrani Zagreb, 1954. godine.

Toplinska stanica je ukupne instalirane snage 14,7 MW_t. Najprije se zagrijava povratna voda vrelovoda pomoću **2 sekundarna izmjenjivača** (PI), a zatim pomoću **2 primarna izmjenjivača** (PL). Primarni izmjenjivači, površine 2 × 27,5 m², zagrijavaju se zasićenom parom (16 atp, 200°C) koja se dobiva hlađenjem pregrijane pare (16 atp, 300°C) ubrizgavanje kondenzata u **zasićivaču pare** (ZP). Regulacija dovoda zasićene pare u primarne izmjenjivače vrši se ručnim ventilima. Kondenzat iz primarnih izmjenjivača služi za zagrijavanje sekundarnih izmjenjivača površine 2 × 22 m².

Na izlazu iz toplinske stanice 2 **cirkulacione pumpe (CP)** osiguravale su dobavnu količinu od 2 × 90 m³ vode uz dobavnu visinu 25 m. Maksimalna temperatura polaza bila je 140°C.

Dobiveni kondenzat iz sekundarnih izmjenjivača pomoću **2 pumpe kondenzata (KP)** vraćao se u pripremu vode. Na povratnom vodu priključena je **ekspanziona posuda** (EP) volumena 12 m³.

Ovim proširenjem GEC postaje jedna od većih elektrana u Evropi. I ovo proširenje električne snage također je zahtijevalo niz dodatnih adaptacija i dogradnji: proširena je strojarnica, podignut je krov kotlovnice, izgrađeni su kotlovski bunkeri za ugljen, i transportni most za ugljen, podignut je novi dimnjak visine 87 m i rashladni toranj kapaciteta 5 000 m³/h, rekonstruirani su cjevovodi za paru i vodu, postavljen je mali turboagregat snage od 300 kW za vlastite potrebe, modernizirana je kemijska priprema vode i uspostavljen vlastiti kemijski laboratorij za analize vode, ugljena i ulja. Obavljeno je i niz rekonstrukcija električnog dijela postrojenja od kojih su najvažniji ugradnja prigušnih svitaka u 5 kV kabelima, prošireno je 5 kV postrojenje elektrane i ugrađena su 3 nova živina ispravljača od 500 kW za potrebe tramvaja.

VII — Period usporene izgradnje od 1935. do 1954. (instalirana snaga od 34,6 MW_e smanjena na 33,4 MW_e)

U ovom razdoblju nije povećavana instalirana snaga, već se samo gradnjom novih kotlova i rekonstrukcijama povećavala sigurnost rada. Konkretno, umjesto starih kotlova IV i V sagrađena su dva nova kotla, i to:

— **1 strmocijevni parni kotao** »Škoda« učina 20/30 t/h, uz 19 atp i 400 °C, ogrjevna površina 790 m², sa stepenastim roštiljem za mrki ugljen, godina gradnje 1939. (ovaj kotao i danas je pogonski spreman, K-4).

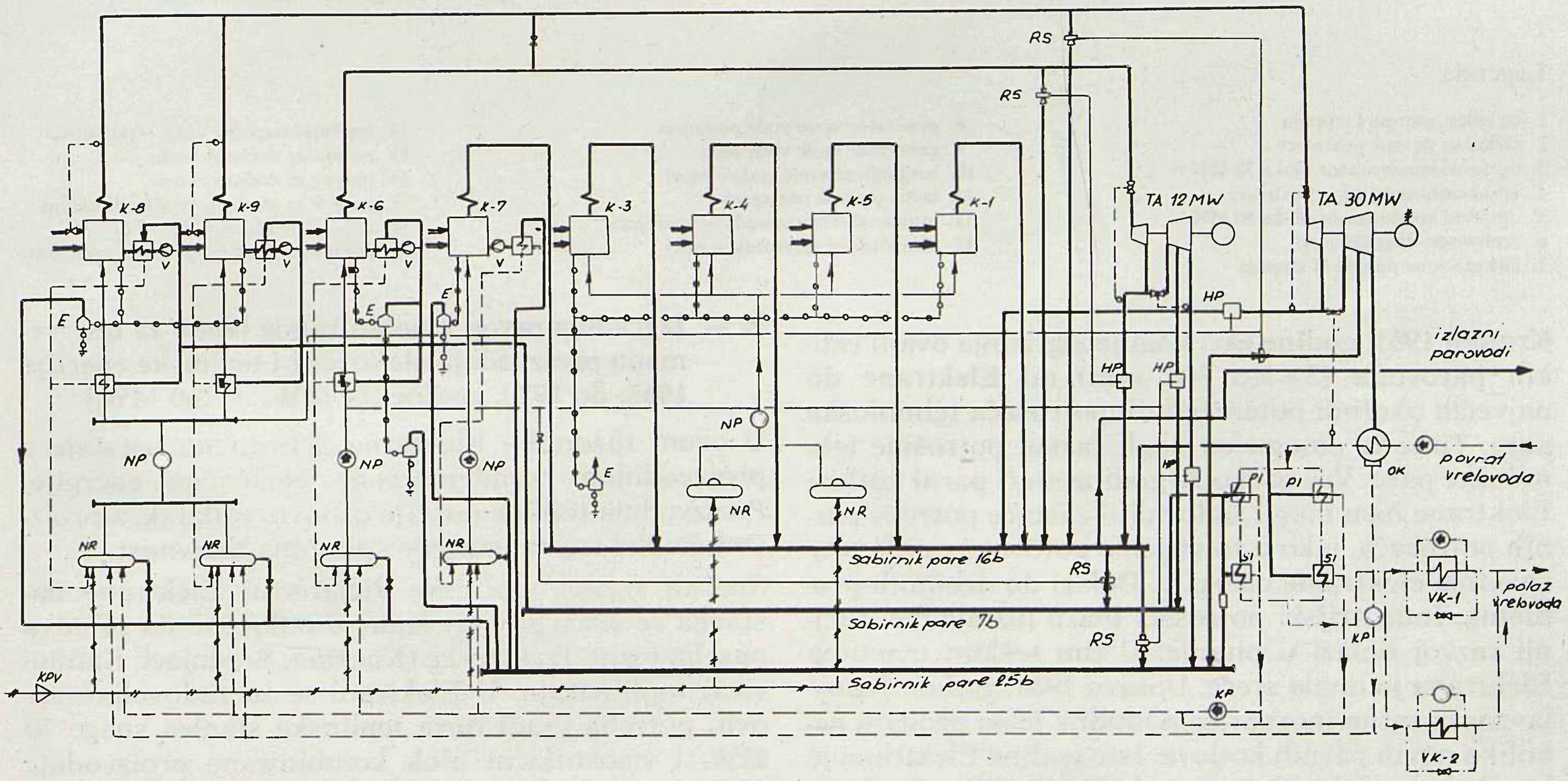
— **1 radiacioni parni kotao** »Prve brnjanske tvornice strojeva« učina 20/30 t/h, uz 19 atp i 400 °C, ogrjevna površina 550 m², s kombiniranim stepenastim roštiljem za lignit, godina gradnje 1947. (ovaj kotao i danas postoji, K5).

VIII — Početak toplifikcije 1954. godine (33,4 MW_e + novih 14,7 MW_t)

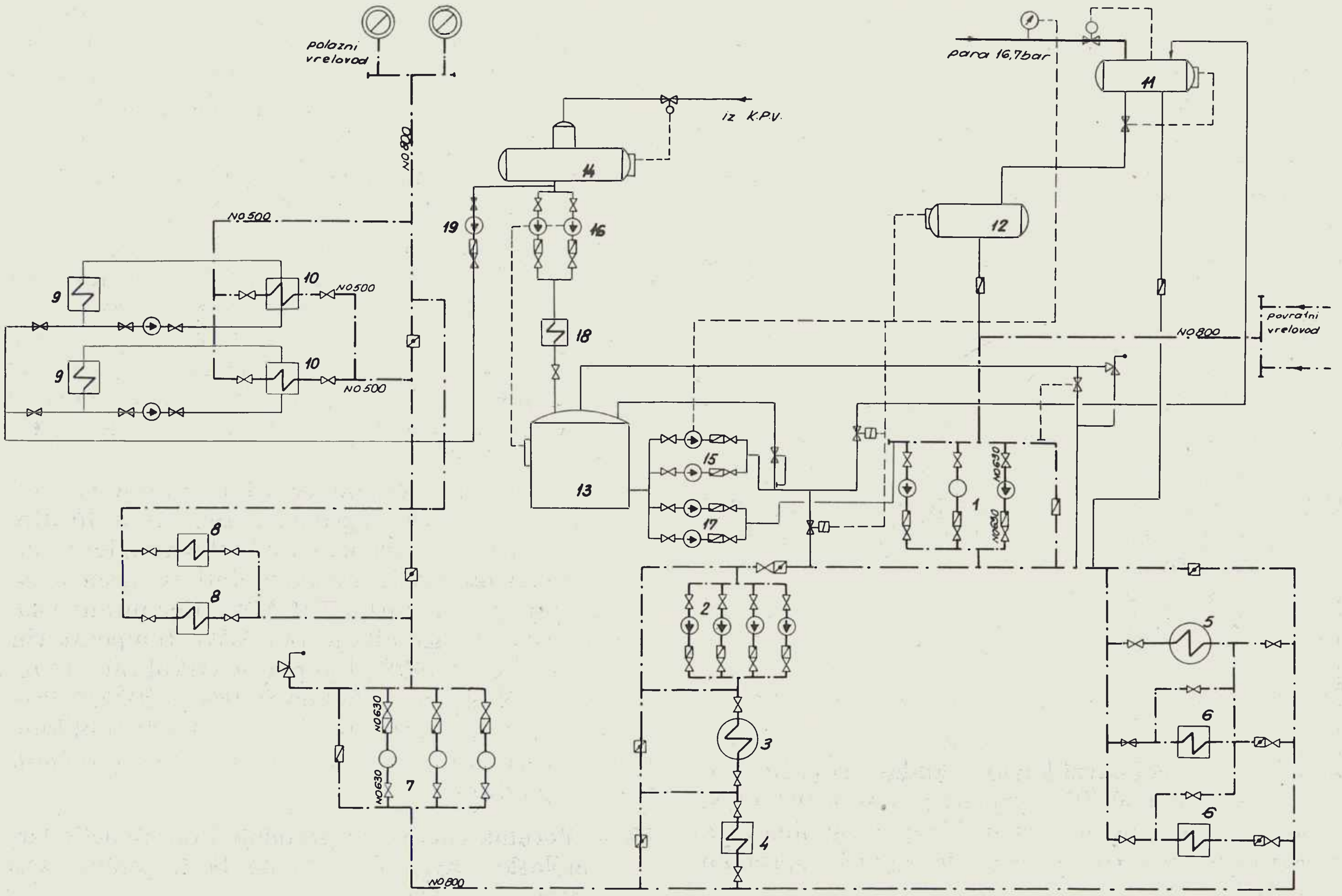
Razvoj toplinske djelatnosti u Elektrani počinje izgradnjom prve toplinske stanice. Tehničko rješenje i projekt toplinske stanice izradio je »Mašinoprojekt«, a montažu i izolaciju cjevovoda »Grijanje«. Iako dugo planirana (od 1947. godine), izgradnja toplinske stanice započela je i završena 1954. godine, kada se konačno mogla preseliti bravarska radionica Elektrane.

Shema prve toplinske stanice u Elektrani je na slici 4. Toplinska stanica zagrijavala se parom 16 atp, 360°C, iz glavnog sabirnika pare kotlovnice, jer se nije od Elektroprivrede mogla dobiti suglasnost za oduzimanje pare iz turbine 16 MW_e. Instalirana snaga toplinske stanice bila je 14,7 MW_t. Temperaturni režim rada je 70/140°C. Ukupno je cirkuliralo u vrelovodu »R. Končar« — Elektrana 180 do 200 m³. Proizvodnja topline kontrolirala se posebnim brojilom. U prvoj varijanti regulacija rada ostvarila se ručnim parnim ventilima.

IX — Početak razvoja proizvodnje i distribucije tehnološke pare, od 1961. do 1965. godine (23,4 MW_e + 77 MW_t)



Sl. 5. Pojednostavljena tehnološka shema postrojenja EL-TO Zagreb (stanje 1982. godina)



Slika 6. Idejno rješenje nove toplinsko-pumpne stanice EL-TO Zagreb, snage 465 MW

Legenda

1. cirkulac. pumpe I stupnja
2. cirkulac. pumpe postojeće
3. ogrjevni kondenzator bloka 30 MW
4. vrelovodni zagrijač — postojeći
5. ogrjevni kondenzator bloka 50 MW
6. vrelovodni zagrijač novi
7. cirkulacione pumpe II stupnja
8. generator vrele vode postojeći
9. generator vrele vode novi
10. izmjenjivač vrele vode — novi
11. lačna posuda postojeća
12. lompenzaciona posuda — postojeća
13. ekspanzioni spremnik — novi
14. otplinjač napojne vode — postojeći
15. pumpe za dodatnu vodu
16. pumpe za dodatnu vodu
17. pumpe za punjenje vrelovod. sistem
18. zagrijač napojne vode
19. pumpa za punjenje generat. vrele vode

Krajem 1961. godine završena je izgradnja dvaju velikih parovoda (2 × No 300 mm) od Elektrane do najvećih okolnih potencijalnih potrošača tehnološke pare. Time je omogućen nagli razvoj potrošnje tehnološke pare. Već preko 30 godina stari parni kotlovi Elektrane nisu mogli zadovoljiti rastuće potrebe parnih potrošača, iako u to vrijeme gotovo prestaje proizvodnja električne energije. Dolazi do ozbiljnih problema. Industrijski potrošači ulažu primjedbe. Daljnji razvoj dolazi u pitanje! U tim teškim uvjetima Elektrana je imala sreće. Upravo 1964. godine Jugoslavenska ratna mornarica ponudila je na prodaju nekoliko novih parnih kotlova. Iste godine Elektrana je kupila jedan od ovih kotlova i 1965. godine pustila ga u rad. Ovaj kotao i danas radi kao vršni izvor, sa sljedećim karakteristikama:

— današnja oznaka	K-1
— proizvođač	»Babcock-Wilcox«
— tip kotla	brodski parni kotao
— učin kotla	80 t/h, uz 16,5b i 360°C
— ogrjevna površina	1120 m²
— gorivo	lož ulje

X — Izgradnja prvog kombiniranog bloka za istovremenu proizvodnju električne i toplinske enertije 1965. do 1970. godine (14 MW_e + 160 MW_t)

U ovom razdoblju Elektrana definitivno prestaje s proizvodnjom kondenzacione električne energije. Proizvodnja topline postaje osnovni zadatak, a proizvodnja električne energije sporedna aktivnost.

Snažan razvoj toplinske djelatnosti Elektrane nastavlja se 1965. godine, kada je odlučeno da se nova naselja južne Trešnjevke (Knežina, Srednjaci, Kalinovica) toplificiraju. U Elektrani se za zadovoljavanje ovih potreba gradi nova teplinska stanica snage 70 MW_t i visokotlačni blok kombinirane proizvodnje električne i toplinske energije.

Toplinska stanica puštena je u rad 1967. godine, zajedno s novim vrelovodom za južnu Trešnjevku. Novi blok sastavnjen od visokotlačnog kotla (K6) i protutlačne turbine (TA-4) sa 2 oduzimanja, pušten je u pogon u rujnu 1970. godine. Osnovne karakteristike ovog bloka jesu:

— glavni isporučioci opreme	»Babcock — Đuro Đaković« »Jugoturbina«

	»Rade Končar«
	»A T M«3
— ogrjevna površina kotla	730 m²
— radni parametri	113 b, 520°C
— gorivo	lož ulje i zemni plin
— maksimalna el. snaga	11,5 MW_e
— regulirano oduzimanje	max 35 t/h, uz 16 b i 318°C
— neregulirano oduzimanje	max 40 t/h, uz 7 b i253°C
— protutlak	max 25 t/h, uz 3 b i165°C
— trofaz. sinhroni gener.	15 700 kVA, 5 250 V, 1 725 A,

Za EL-TO blok 12 MW_e značio je tehnički značajan napredak. Bio je to prvi visokotlačni moderno koncipiran blok u EL-TO.

Prilikom izgradnje bloka snage 12 MW_e zbog potrebe rekonstrukcije strojarnice srušene su dvije strane kondenzacione turbine.

Sheme toplinske stranice i bloka 12 MW_e nalaze se na slici 5.

XI — Period izgradnje novih vršnih toplinskih izvora od 1972. do 1980. godine (14 MW_e + 327 MW_t)

Izgradnjom bloka 12 MW_e osigurana je bazna proizvodnja toplinske energije u kombinaciji s proizvodnjom električne energije. U idućem razdoblju zato se grade samo tri vršne jedinice, koje prvenstveno pokrivaju vršna toplinska opterećenja, te supstituiraju stare i nepouzdane jedinice.

1972. godine pušten je u rad prvi generator vrelovode (VK-1) sa slijedećim osnovnim podacima:

— proizvođač	TPK Zagreb
— učin	58 MW_t
— radni pritisak	12,8 b
— ogrjevna površina	2 100 m²
— temperatura dogrijavanja	120/150°C
— gorivo	lož ulje i zemni plin

(Ovaj kotao 1982. godine potpuno je obnovljen i rekonstruiran.)

1973. godine pušten je u rad novi niskotlačni generator pare (K-7), čija je izgradnja počela 1967. godine. Osnovne karakteristike ovog kotla jesu:

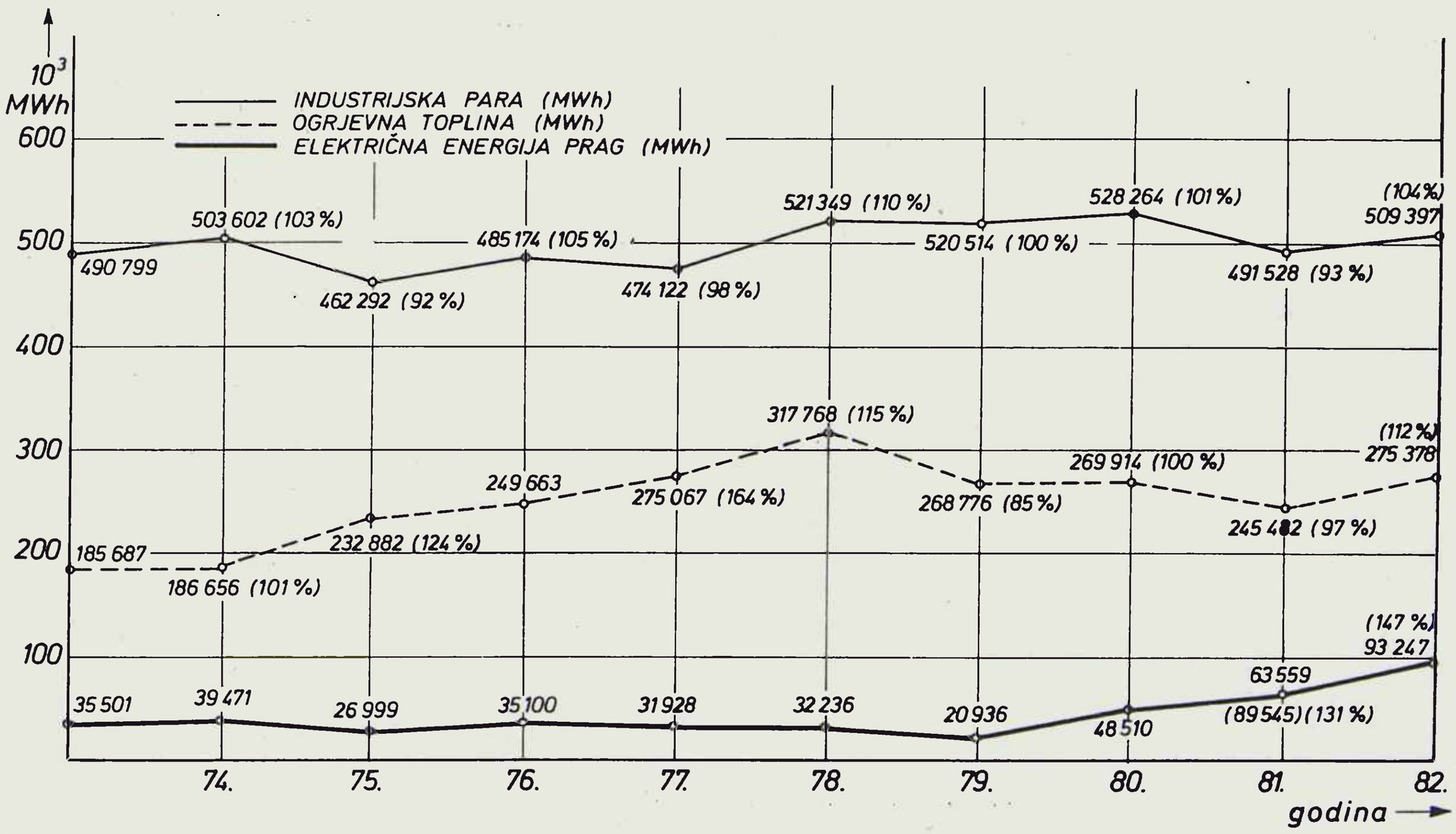
— proizvođač	TPK Zagreb
— učin kotla	64/80 t/h
— radni pritisak	18,5 b
— temperatura pregrijavanja	260°C
— ogrjevna površina	2 380 m²
— gorivo	lož ulje i zemni plin

1976. godine pušten je u rad još jedan generator vrelovode (VK-2) sasvim istih karkteristika kao i prvi (VK-1).

XII — Puštanje u rad bloka kombinirane proizvodnje električne i toplinske energije, snage 30 MW_e, 1980. godine (42 MW_e + 457,3 MW_t)

Puštanje u rad novog visokotlačnog bloka 30 MW_e omogućilo je Elektrani-Toplani razvoj u moderan energetski čvor. Odluka o izgradnji ovog bloka u EL-TO donesena je kada je grad odlučio graditi nova stambena naselja užne Trešnjevke (Jarun, Vrbani, Staglišće). Izgradnja je trajala od 1975. do 1980. godine. Osnovne karakteristike bloka, koji je izveden sa dva visokotlačna membranska kotla (K-8 i K-9) i s protutlačnom turbinom (TA-5) sa 2 oduzimanja i s ogrijevnim kondenzatorom jesu:

— glavni proizvođači opreme	»Waagner-Biro« — TPK«
	»Jugoturbina«
	»Rade Končar«
	»ATM«
— radni pritisak	113 b
— temperatura pregrijavanja	520°C



Sl. 7. PROIZVODNJA INDUSTRIJSKE PARE, OGRIJEVNE TOPLINE I ELEKTRIČNE ENERGIJE OD 1973. DO 1982. OOUR »EL-TO«

— ogrjevna površina kotlova 4 020 m²
— električna maksimalna snaga 30 MW_e
— regulirano oduzimanje max 150 t/h, uz 16,5 b i 253°C
— neregulirano oduzimanje max 20 t/h, uz 3 b i162°C
— ogrjevni kondenzator max 60 t/h, uz 0,3 do 0,93 b
— trofazni sinhroni generator 37,5 MVA, 10 500 V, 2 060 A,
— gorivo loživo ulje i zemni plin

Blok 30 MW_e označio je u Jugoslaviji posebno za toplinarstvo, novi tehnički napredak. Kod izvedbe turbine ovog bloka primijenjen je, prvi puta kod nas, ogrjevni kondenzator (OK). Ogrjevni kondenzator (slika 5) hladi se s povratnim vodom vrelovoda, tako da se topline kondenzacije u potpunosti iskorištava. Kako se temperatura polaza vrelovoda mijenja zavisno od vanjske temperature, može se promjenom pritiska u ogrjevnom kondenzatoru od 0,3 do 0,93 b, regulirati temperatura vrelovoda.

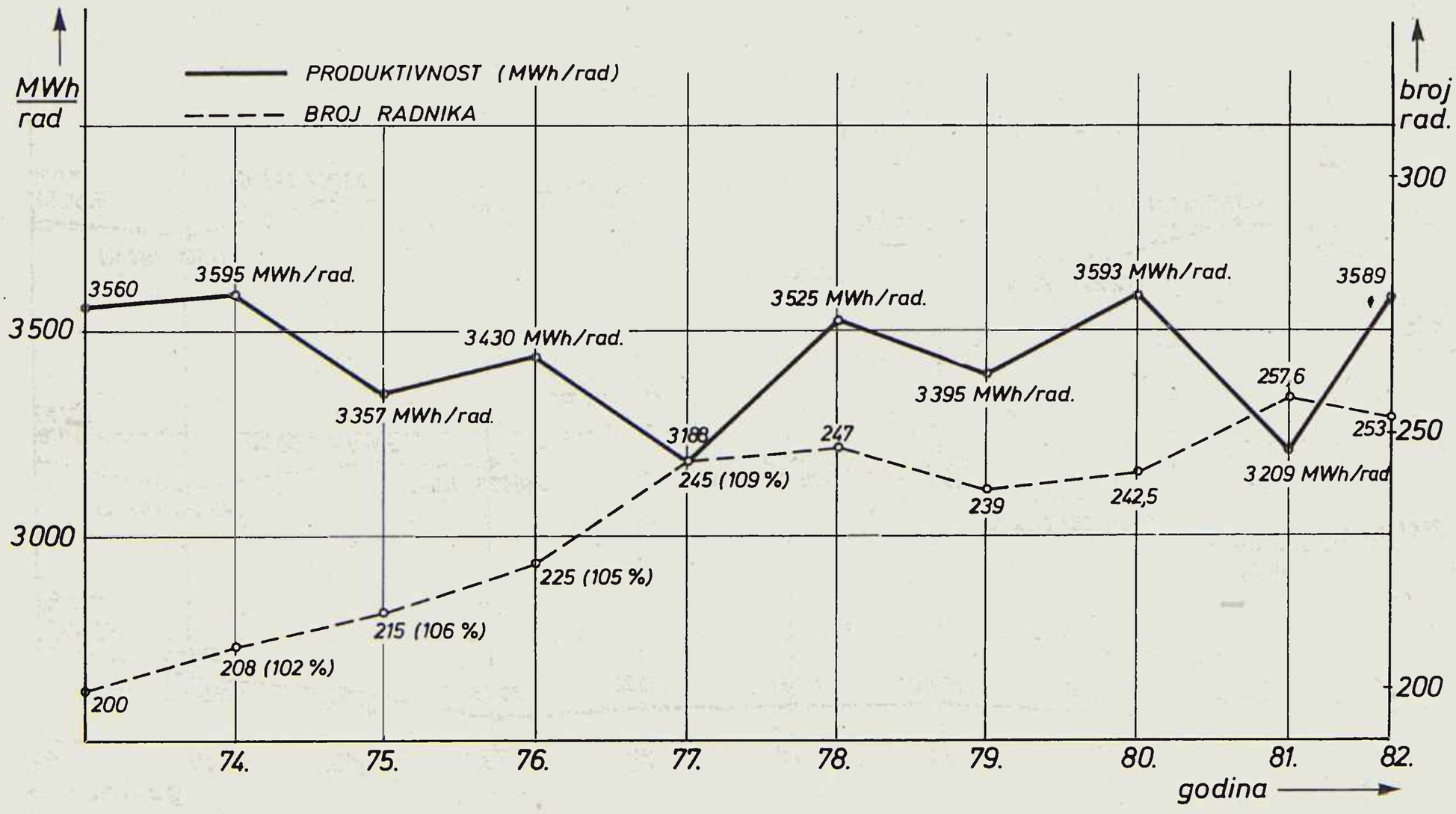
Izgradnja bloka 30 MW_e zahtijevala je u EL-TO niz pratećih investicionih aktivnosti i rekonstrukcija Konkretno: izgrađen je novi armiranobetonski dimnjak, visine 200 m; zajedno s Elektrom-Zagreb izgrađena je nova 30 kV Uklopno-transformatorska stanica; proširena je i rekonstruirana kemijska priprema vode; potpuno je rekonstruirano mazutno, gospodarstvo; potpuno je obnovljena željeznička pruga s istovarnim kolosijecima, izvedena je nova kanalizacija, izvedena je nova hidrantska mreža i zajedno sa »Plivom« izgrađen je novi industrijski vodovod. Sve to zajedno omogućilo je da je danas EL-TO novi tehniki primjerno riješen i siguran energetski izvor grada.

XIII — Planovi za daljnji razvoj

Iste godine (1980) kada je završen blok 30 MW_e EL-TO je preuzela obavezu da toplificira Špansko, novo veliko stambeno naselje na zapadnom rubu grada. Ovim smjelim zahvatom EL-TO je znatno proširio granice centraliziranog toplinskog sistema. Kada se 1985. godine završi izgradnja, Špansko će imati toplinsku snagu od oko 70 MW. To znači da bi se sadašnja snaga vrelovodnih potrošača, koji su vezani na EL-TO, povećala za 60%! Istovremenom izgradnjom magistralnog vrelovoda do Španskog omogućit će se i naknadni priključak budućih naselja uz trasu ovog vrelovoda, pa i njegovo produženje do stambenog naselja Gajnice.

Međutim, Špansko je oko 5 km udaljeno od EL-TO, te za izgradnju magistralnog vrelovoda Toplinske mreže treba nekoliko godina. Da bi se osiguralo grijanje gotovih objekata, EL-TO je u Španskom izgradio privremenu kotlovnicu. Kotlovnica Špansko sastoji se od 3 generatora vrele vode, proizvodnje TPK i snage 3 × 7 MW_t. Prvi kotao je proradio 1981. godine, drugi 1982, a treći početkom 1983. godine. Kotlovi su izvedeni u dimenzijama kontejnera, tako da se dovršenjem magistralnog vrelovoda Špansko mogu preseliti u drugo, novo stambeno naselje.

U EL-TO, za podmirenje novih toplinskih potreba (priključenje magistrale Špansko) treba izgraditi novu veliku toplinsko-pumpnu stanicu snage 465 MW_t (slika 6).



Sl. 8. PRODUKTIVNOST I BROJ RADNIKA 1973-1983. GOD. OOUR EL-TO

Tablica 1.

PROIZVODNJA ENERGIJE U »EL-TO« OD 1907. DO 1982. GODINE

Godina	Ukupna proizvodnja energije (MWh)	Proizvodnja el. energije na pragu MWh_e)	Ukupna proizvodnja topline na pragu (MWh_t)
1	2	3	4
1907.	230	230	
1908.	2 330	2 330	
1909.	2 488	2 488	
1910.	3 064	3 064	
1911.	4 614	4 614	
1912.	5 297	5 297	
1913.	5 621	5 621	
1914.	5 456	5 456	
1915.	6 079	6 078	
1916.	7 061	7 061	
1917.	7 304	7 304	
1918.	7 513	7 513	
1919.	7 590	7 590	
1920.	8 442	8 442	
1921.	8 913	8 913	
1922.	11 814	11 814	
1923.	13 495	13 495	
1924.	15 610	15 610	
1925.	17 819	17 819	
1926.	18 685	18 685	
1927.	18 285	18 285	
1928.	20 080	20 080	
1929.	22 251	22 251	
1930.	22 164	22 164	
1931.	27 475	27 478	
1932.	28 990	28 990	
1933.	28 548	28 548	
1934.	30 761	30 761	
1935.	36 643	36 643	
1936.	37 511	37 511	
1937.	40 742	40 742	
1938.	48 250	48 250	
1939.	55 515	55 515	
1940.	60 399	60 399	
1941.	58 167	58 167	
1942.	72 689	72 689	
1943.	67 178	67 178	
1944.	39 361	39 361	
1945.	31 060	31 060	
1946.	59 894	59 894	
1947.	83 736	38 736	
1948.	78 289	78 289	
1949.	81 160	81 160	
1950.	82 729	82 729	
1951.	77 193	77 193	
1952.	73 213	73 213	
1953.	73 333	73 544	
1954.	82 293	81 968	324
1955.	80 602	74 880	5 722
1956.	102 411	94 162	8 249
1957.	91 414	76 260	15 154
1958.	82 885	67 685	15 200
1959.	75 206	59 700	15 010
1960.	39 900	24 500	15 400
1961.	28 499	600	27 899
1962.	105 203	1 800	103 403
1963.	166 992	2 951	164 041
1964.	230 025	3 202	226 823
1965.	273 343	2 162	270 217
1966.	294 753	12 973	281 780
1967.	321 875	2 124	319 751
1968.	361 276	844	360 432
1969.	434 383	143	434 240
1970.	528 037	5 336	522 701
1971.	588 423	11 358	577 065
1972.	637 640	18 030	619 610
1973.	711 987	34 403	676 386
1974.	729 729	38 842	290 258
1975.	722 173	26 999	695 174
1976.	772 937	38 561	734 836
1977.	781 117	31 928	749 189
1978.	871 353	32 236	839 117
1979.	828 854	20 936 (38 773)	789 980
1980.	871 820	48 510 (73 062)	798 758
1981.	835 846	63 559 (89 545)	746 208
1982.	907 873	93 248 (122 218)	785 675

NAPOMENA: U zagradama je proizvodnja električne energije »na generatoru«.

Tablica 2.

INSTALIRANA SNAGA U EL-TO ZAGREB OD 1907. DO 1982. GODINE

Godina	Ukupno instalirana snaga MW	Instalirana električna snaga MW_e	Instalirana toplinska snaga MW_t
1	2	3	4
1907 – 1910.	0,8	0,8	—
1911 – 1914.	2,0	2,0	—
1915 – 1922.	4,4	4,4	—
1923 – 1925.	9,4	9,4	—
1926 – 1927.	9,0	9,0	—
1928 – 1932.	19,0	10,0	—
1933 – 1934.	18,6	18,6	—
1934 – 1946.	34,6	34,6	—
1947 – 1954.	33,4	33,4	—
1954 – 1957.	48,1	33,4	14,7
1958 – 1964.	38,1	23,4	14,7
1965 – 1968.	100,4	23,4	77,0
1968 – 1970.	79,0	2,0	77,0
1971 – 1972.	174,0	14,0	160,0
1972 – 1973.	232,0	14,0	218,0
1973 – 1976.	283,0	14,0	269,0
1977 – 1980.	341,0	12,0	327,0
1980 – 1982.	499,3	42,0	457,3
1982.	520,2	42,0	478,2

LITERATURA

[1] — »50 GODINA ELEKTROPRIVREDE GRADA ZAGREBA« izdavač »Energija«, Zagreb, 1958.

[2] — »PLAN RAZVOJA CENTRALIZIRANOG TOPLINSKOG SISTEMA« (CTS) GRADA ZAGREBA« izdala Elektroprivreda Zagreb, listopad 1982.

[3] Šercl Stjepan, »REFERAT 50. GODIŠNJICA ELEKTRANE ZAGREB«, održan u HNK-Zagreb, studenog 1957.

[4] Pem Mijo, »REKONSTRUKCIJA ELEKTRANE ZAGREB«, izvještaj o investicionim aktivnostima od kolovoza 1968.

[5] — »GODIŠNJACI ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE«, izdaje Zajednica elektroprivrednih poduzeća Hrvatske, Zagreb.

[6] — »10 GODINA TOPLINSKE DJELATNOSTI U ZAGREBU« izdavač Elektroprivreda Zagreb, Zagreb, studeni 1973.

[7] Krivak Ljudevit, »STATISTIČKI PODACI TOPLINSKE DJELATNOSTI«, izdavač OOUR »Toplinske mreže« Zagreb, listopad 1979.

[8] Petrović Ivan; »PRIKAZ RAZVOJA POTREBA VRELOVODNIH I PARNIH POTROŠAČA I IZVORA ZA POKRIĆE OVIH POTREBA ZA PERIOD DO 1990. GODINE NA PODRUČJU EL-TO ZAGREB«, izdavač RZ »Zajednički poslovi«, Zagreb, travanj 1982.

[9] — 70. GODIŠNJICA ELEKTRIFIKACIJE GRADA ZAGREBA«, izdavač »Elektra« Zagreb, Zagreb, studeni 1977.

[10] A. Gj. Bubnjar »ŽICOVODNA MREŽA«, »Večernji list«, Zagreb, 1977.

Također su korištena sjećanja: dipl. inž Šercl Stjepana, dipl. inž Petrović Ivana i inž Pavelić Juraja, dipl. inž Drumpatić S. i dipl. inž Parljaka.

Naslov pisca:
Mr Zlatko Milanović, dipl. inž
»Elektrana – Toplana«,
41000 Zagreb, Zagorska bb.

Uredništvo primilo rukopis 1982. — 12 — 06

OBAVIJEST

Sekcija toplana Jugoslavije pri SKGOJ organizira V savjetovanje toplana Jugoslavije u svibnju 1983. u Osijeku. Savjetovanje treba omogućiti sudionicima zajedničku raspravu o aktualnim problemima opskrbe gradova i naselja toplinskom energijom iz centraliziranih toplinskih sistema i blokovskih toplana, direktnu izmjenu informacija i iskustava te upoznavanje s novitetima u toplinarstvu, kao i uvid u proizvodne programe proizvođača opreme za toplinska postrojenja. Na osnovi iskustava s prethodnih savjetovanja, kao i uz puno uvažavanje aktualnosti pojedinih problema Organizacijski odbor V savjetovanja sastavio je uz suglasnost Sekcije toplana sljedeći popis tematskih područja koje bi trebale biti predmet rasprave na Savjetovanju:

1. Usmjeravanje daljeg razvoja toplifikacije u gradovima i naseljima Jugoslavije s obzirom na mogućnost korištenja domaćih izvora goriva i s osvrtom na problematiku pojedinih gradova i naselja.
   — Kritička ocjena valjanosti izgrađenih toplifikacijskih sistema u Jugoslaviji u svjetlu suvremenih gledanja na štednju energije.
2. Tehničko-ekonomski uvjeti mjerenja i obračuna toplinske energije.
3. Unifikacija, tipizacija i standardizacija u toplinarstvu.
4. Financiranje izgradnje objekata za proizvodnju i prijenos toplinske energije.
5. Pogonska iskustva toplana u proizvodnji, transportu i distribuciji toplinske energije.

Autori tema moći će na Savjetovanju usmeno iznijeti sažetke svojih radova. Privredne organizacije mogu uz uplatu kotizacije u iznosu od 20 000 dinara u predvorju dvorane izložiti eksponate i prospekte te u trajanju od 10 minuta usmeno informirati učesnike Savjetovanja o svojim proizvodima. Kotizacija za sudjelovanje na Savjetovanju iznosi 3 000 dinara po učesniku, što uključuje i Zbornik radova.

Prijave i eventualne upite izvolite uputiti na adresu:

»ELEKTROSLAVONIJA« — OSIJEK
OOUR TERMOELEKTRANA – TOPLANA
54000 OSIJEK
M. Oreškovića 3
(za V savjetovanje toplana Jugoslavije)

Energija God. 32 (1983) 2 145-147

Vijesti iz elektroprivrede

ELEKTROPRIMORJE — 35 GODINA USPJEŠNOG RADA

Članovi RO »Elektroprimorja« iz Rijeke obilježili su krajem 1982. godine 35. godišnjicu postojanja.

U poslјeratnom razdoblju na području Kvarnera, Istre i Gorskog kotara poslovalo je više elektroprivrednih organizacija. No, rješenjem Vlade SR Hrvatske od 6. kolovoza 1974. osniva se novo poduzeće »Elektroprimorje« — Rijeka, koje je obuhvatilo područje Hrvatskog primorja, Gorskog kotara i čitave Istre, osim »Zone B«, koja je bila pod upravom Jogoslavenske armije.U sastav poduzeća ušle su i termoelektrane Rijeka, Opatija, Fužine i Crikvenica, te plinska elektrana Ropci i hidroelektrana Zeleni Vir.



Pred novu organizaciju postavljeni su vrlo složeni i teški zadaci. Elektroenergetska situacija toga područja bila je vrlo neujednačena. Trebalo je brinuti o redovnom održavanju elektroenergetskih postrojenja, kao i izgradnji novih planiranih objekata.

Prvi važan zadatak bila je gradnja HE Vinodol — »Nikola Tesla«, te rekonstrukcija i proširenje mreže u Gorskom kotaru i Istri.

Osim ovih poteškoća mnogo problema bilo je oko elektrifikacije na području »Elektroprimorja«.

REORGANIZACIJA PODUZEĆA

Zbog glomaznosti poduzeća, 20. ožujka 1950. dolazi do njegove podjele. U sastavu »Elektroprimorja« ostaje područje Hrvatskog primorja i Gorskog kotara. Za područje Istre osniva se posebno poduzeće »Elektroistra« sa sjedištem u Puli. Istovremeno se izdvajaju i proizvodne jedinice — elektrane.

Od tada je »Elektroprimorje« distributivno poduzeće, a 10. prosinca 1956. proširuje svoju djelatnost na projektiranje distributivne mreže do, uključivši napon 35 kV.

U RO »Elektroprimorje« spadaju OOUR Elektrodistribucija Rijeka, Opatija, Crikvenica, Skrad, Cres — Lošinj i Rab.

POSTIGNUTI REZULTATI

U 35. godišnjem radu postignuti su značajni rezultati. O radnim uspjesima RO »Elektroprimorja« redovno smo pisali u našem časopisu.

No, posebno se vrijedi osvrnuti na rezultate ostvarene posljednjih godina. U razdoblju od 1977. do 1982. godine nabava električne energije porasla je za 36.8 post, a osjetan je i porast potrošnje, tako da konzum u 1982. godini iznosi oko 1.660 GWh električne energije. Ukupni prihod posljednjih pet godina porastao je za 314 posto, uglavnom zbog porasta cijena nabave i inflacije.

Tehnički razvoj poduzeća od 1977. do 1982. godine također je intenzivan. Tako je, primjerice, vršno opterećenje od 139 MVA u 1977. poraslo na 178 MVA u 1982. godini. Ukupna snaga transformacije 35/10 kV sa 257 MVA u 1977. na 290 MVA u 1982. godini. Izgrađeno je niz objekata nižih napona. Elektrifikacija naselja i svih kućanstava izvršena je 100 posto.

Godine 1977. uvodi se mrežno-tonfrekventna komanda. Na riječkom području ugrađena su dva odašiljača, u Crikvenici i upravljačkoj stanici Dispečarskog centra jedan.

Za uspjeh poduzeća zaslužan je i vrlo dobar stručni kadar. Od oko 1.200 zaposlenih dobar dio ima visoku stručnu spremu, višu spremu raznih profila, te visoku kvalifikaciju i dr. Malo zaposlenih je s nižom stručnom spremom i polukvalifikacijom. Velika pažnja se poklanja stručnom obrazovanju zaposlenih radnika.

I .R.

PROIZVODNJA HIDROELEKTRANA

Ukupno su u Hrvatskoj 1982. godine hidroelektrane ostvarile proizvodnju od 4.590 milijuna kWh električne energije. U odnosu na plan proizvodnje ostvareno je 93 posto. Podbačaj u proizvodnji iskazan je kod hidroelektrana na Cetini (HE Zakučac HE Orlovac i HE Kraljevac, dok je HE Peruča prebacila plan za 10 posto) i kod hidroelektrane Dubrovnik.

Zahvaljujući povoljnim hidrološkim uvjetima, kao i pogonskoj spremi, najbolje proizvodne rezultate ostvarile su hidroelektrane Senj (8,5 posto iznad plana), Vinodol »Nikola Tesla« (čak 25 posto više). Također su iznad plana ostvarile proizvodnju HE Gojak, HE Varaždin i HE Rijeka.

I. R.

ELEKTROENERGETSKA BILANCA HRVATSKE ZA 1983. GODINU

Na zajedničkoj sjednici Skupštine Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske i Republičkog SIZ-a potrošača električne energije usvojena je elektroenergetska bilanca Hrvatske za 1983. godinu. Ona je izrađena kao usklađena elektroenergetska bilanca elektroprivrednih organizacija udruženog rada za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije.

Planom potreba električne energije obuhvaćene su potrebe na mreži prijenosa distributivnih radnih organizacija, potrebe direktnih i specijalnih potrošača, te gubici u prijenosnoj elektroenergetskoj mreži.

Potreba električne energije	Plan 1983. godine
— distributivna potrošnja	9.604 GWh
— potrošnja direktnih i specijalnih potrošača	2.908 GWh
— gubici prijenosa	409 GWh
Ukupne potrebe	12.921 GWh

Distributivna potrošnja utvrđena je na temelju prijava organizacija udruženog rada distribucije. Planirana distributivna potrošnja je 9.604 GWh.

Za 1983. godinu potrošnja distribucije planirana je s porastom od 3,94 posto prema 1982. godini, iako prosječni porast za posljednje tri godine iznosi 5,94. Ovako nizak porast planiran je zato što se i u 1983. godini očekuje blaža stopa rasta društvenog proizvoda.

DIREKTNI I SPECIJALNI POTROŠAČI

Potreba direktnih i specijalnih potrošača planiraju se na temelju prijava samih potrošača koje trebaju biti u okviru izdanih elektroenergetskih suglasnosti. Plan za 1983. godinu je 2.908 GWh.

Od novih direktnih potrošača u pogon ulazi DINA — Petrokemija iz Omišlja s planiranom potrošnjom od 2,2GWh. Već postojeći potrošači najavili su značajnija povećanja preuzimanja u odnosu na 1982. godinu (Dalmacija, Dugi Rat, povećanje za 82,6 HWh; Jugovinil, povećanje za 8 GWh; TEF Šibenik, povećanje za 9 GWh).

U Tvornici Dalmacija, Dugi Rat u sedmom mjesecu ove godine ulazi u probni pogon peć za proizvodnju 75%-tnog Fe-Si, snage 16 MW i instalirane snage pomoćnog pogona od 3 MW (planirana potrošnja el. energije do kraja godine je 70,6 GWh). Također je pušten u redovnu proizvodnju pogon »Elektromehanika« s instaliranom snagom od 2 MW i godišnjom potrošnjom električne energije od 12 GWh. Da nema povećanog preuzimanja u Tvornici Dalmacija, Dugi Rat (82,6 GWh) porast potrošnje neposrednih i specijalnih potrošača iznosio bi u ovoj godini samo 0,5 posto.

Gubici prijenosa — Prema Metodologiji za izradu elektroenergetske bilance, gubici električne energije u prijenosnoj mreži planiraju se u istom iznosu u kojem su ostvareni u prethodnoj godini. Plan gubitaka za 1983. godinu iznosi 409,0 GWh ili 3,17 posto bruto potreba.

RASPOLOŽIVA ELEKTRIČNA ENERGIJA

Potrebe potrošača za električnom energijom podmiruju se proizvodnjom hidroelektrana, proizvodnjom termoelektrana, te isporukom električne energije iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama na temelju ugovora o dugoročnoj suradnji i izgradnji elektroenergetskih objekata.

Elektroenergetski sustav Hrvatske raspolagat će u 1983. godini sa snagom na pragu od 3538 MW u proizvodnim kapacitetima.

Proizvodnja hidroelektrana — Prema Metodologiji za izradu elektroenergetske bilance moguća godišnja proizvodnja hidroelektrana planira se na temelju ostvarenih prosječnih mjesečnih dotoka voda u nizu od 40 godina (1926. do 1965. godine). Plan proizvodnje hidroelektrana u 1983. godini iznosi 5.122 HWh (protočne HE 1.297 GWh, akumulacione HE 3394 GWh i HE Dubrovnik za ZEOH (28 posto) 431 GWh).

Proizvodnja termoelektrana — planirana je u 4,304 GWh. Korištenje termoelektrana (bez plinskih) planirano je u prosjeku sa 3326 sati rada godišnje, a prema kriteriju nisu angažirani kapaciteti za proizvodnju 3214 GWh u termoelektranama na tekuće gorivo.

Slobodni kapaciteti u termoelektranama na tekuće gorivo predstavljaju rezervu u slučaju podbačaja planiranih dotoka voda ili kvarova u drugim elektranama. Godišnja proizvodnja TE Plomin planirana je u iznosu od 500 GWh, jer se ocjenjuje da pri sadašnjem stanju postrojenja ne može postići veću proizvodnju.

Isporuke iz drugih termoelektrana — Plan isporuke iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama utvrđen je na temelju osnovnih ugovora o dugoročnoj suradnji i izgradnji elektroenergetskih objekata i to s:

— Elektroprivredom BiH za TE Tuzla IV, TE Kakanj i TE Gacko,
— Združenim elektroprivrednim preduzećem Beograd za TE Obrovac VI

Plan godišnjih isporuka:

— TE Tuzla	1200 GWh
— TE Kakanj	276 GWh
— TE Gacko	415 GWh
— TE Obrenovac	1680 GWh
Ukupno	3571 GWh

Isporuka iz TE Gacko počinje 1. travnja 1983. godine.

I. R.

25 OBLJETNICA JEDINSTVENOG ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Zajednica jugoslavenske elektroprivrede organizirala je 10. prosinca 1982. godine u Beogradu svečanu sjednicu u povodu značajnog jubileja — 25 godina od povezivanja parcijalnih republičkih elektroenergetskih sistema u jedinstveni jugoslavenski sistem elektroprivrede.

Godine 1957. prvo povezivanje je obavljeno dalekovodima napona 110 kV, tada ih je ukupno bilo 4.030 km, a najveći agregati u elektranama imali su snagu 30 MW. U to vrijeme ukupna snaga svih elektrana u zemlji iznosila je 1.760 MW, godišnja potrošnja električne energije bila je 6 milijardi kWh.

Elektroenergetski sistem Jugoslavije danas predstavlja jedinstveno tehničko-tehnološku cjelinu u koju je uključeno osam republičko-pokrajinskih elektro-ekonomskih sistema.

Razdoblje od 1960. do 1970. godine predstavlja početak izgradnje 220 kV mreže, zatim većih elektrana i jedinica. Paralelno s gradnjom tih prijenosnih objekata oni su uključivani u jedinstveni elektroenergetski sistem.

Među prvim izgrađenim DV 220 kV je Mostar — Split — Brinje s odvojcima za Zagreb i Matulje, te dalje prema Divači.

Daljnjom izgradnjom 220 kV mreže 1962. godine dolazi do značajnog pojačanja elektroenergetskog sistema na potezu jug — sjever stavljanjem u pogon DV 220 kV Titograd — Bajina Bašta — Srbobran, te DV 220 kV Bajina — Bašta — Beograd.

Poseban značaj za elektroenergetski sistem zemlje predstavlja povezivanje već postojećih podsistema SR Makedonije i AP Kosovo.

U razdoblju 1970. do 1980. godine dolazi do gradnje velikih proizvodnih jedinica 200, 300 MW i više. Nametnula se i potreba prelaska na viši naponski nivo 400 kV. U tom razdoblju počela je I. faza gradnje 400 kV mreže i već je realizirana. U I fazi izgrađeno je 3.243 km dalekovoda 400 kV s odgovarajućim brojem transformatorskih stanica. Učvršćenjem elektroenergetskog sistema Jugoslavije nastavljeno je s povezivanjem između elektroenergetskog sistema Jugoslavije i elektroenergetskih sistema susjednih država Italije, Mađarske, Grčke, Albanije i Bugarske.

I.R.

Energija God. 32 (1983) 2 145-147

GORIVO ZA TERMOELEKTRANE

Potrebe goriva za 1983. godinu za pojedine termoelektrane u Hrvatskoj utvrđene su na temelju njihove planirane proizvodnje na pragu elektrana i na temelju specifičnog potroška topline za kWh i toplinske vrijednosti goriva koje koristi.

Ukupne godišnje potrebe goriva:

— kameni ugljen (TH Plomin)	251.200 tona
— teško loživo ulje (TE Rijeka, TE Sisak, TE-TO Zagreb I, II i EL-TO Zagreb I, II)	601.800 tona
— zemni plin (TE-TO Zagreb i EL-TO Zagreb)	$146{,}8 \times 10^6$ m³
— koksni plin (TE Rijeka)	$69{,}4 \times 10^6$ m³

U TE-TO Zagreb i EL-TO Zagreb u ukupnim potrebama goriva iskazane su i količine potrebne za toplinsku energiju.

U NE Krško za jedno punjenje reaktora potrebno je 48 tona uranovog dioksida (UO_2). Svake godine se izmenjuje jedna trećina goriva, pa je za 1983. godinu potrebno osigurati 16 tona uranovog dioksida.

I. R

TERMOELEKTRANA GACKO U PROBNOM RADU

Nakon izvršenih potrebnih tehničkih ispitivanja termoelektrana Gacko s prvim blokom snage 300 MW, puštena je početkom veljače ove god. u probnu proizvodnju. Očekuje se da će sredinom ove godine elektrana biti uključena u redovnu proizvodnju i proizvoditi 1.650 GWh električne energije.

Uz elektranu već je ranije otvoren i rudnik lignita lociran u Gatačkom polju iz kojeg će se osigurati gorivo za elektranu čije će potrebe iznositi oko 1 milijun i 800 tisuća tona godišnje. Ispitane rezerve lignita na tom području iznose od 385 milijuna tona vrlo dobre kalorične moći od 2500 kalorija.

U investiranju izgradnje TE Gacko i rudnika lignita sudjelovale su elektroprivrede Bosne i Hercegovine i Hrvatske. Dvije trećine troškova osigurala je BiH a trećinu Hrvatska, pa se u tom omjeru i dijeli proizvedena električna energija.

Građevne radove na TE Gacko izvela su poduzeća »Bosna i Hercegovina« i »Tehnogradnja«. Poduzeće »Monter« iz Zagreba sa svojim kooperantima montirao je sve strojne elemente, a automatske uređaje Elektroenergo-montaža Sarajevo.

Oprema je 52 posto domaće proizvodnje, a 42 posto iz uvoza. Svi su objekti opremljeni za izvedbu drugog bloka snage 300 MW koji će se montirati u drugoj etapi izgradnje TE Gacko.

I. R.

KOMBINAT INA — NAFTAPLIN — PLAN PROIZVODNJE

Unatoč velikim poteškoćama koje su 1982. godine pratile sve OOUR-e INE, posebno nedostatak deviznih sredstava za opremu i rezervne dijelove, ostvareni su ovi proizvodni rezultati:

Proizvodnja nafte iznosila je 3,047.375 tona, a planirano je 3,048.000 tona. Proizvodnja tekućih plinova 116.000 tona. Tu je premašen plan za 317 tona. Proizvodnja prirodnog plina podbacila je za 5 posto, umjesto planiranih 1,908 milijardi m³, ostvareno je oko 1,807 milijardi m³.

Do smanjenja proizvodnje prirodnog plina je došlo zbog manje proizvodnje na polju Molve (Podravina), gdje su od četiri opremljene bile samo dvije bušotine.

I tu je do promašaja došlo, jer nisu bila osigurana devizna sredstva za potrebnu opremu.

Plan za 1983.

Za 1983. godinu kombinat »INA — Naftaplin« po prvi puta planira nešto manju proizvodnju nafte — od 2,960.000 tona. Prema sadašnjim procjenama proizvodnja takućih plinova bit će nešto veća od prošlogodišnje, oko 123.000 tone. Nadalje, prirodnog plina dobit će se oko 1,5 milijardu m³, te će se prvi put proizvesti 40 tisuća tona etilena. Savezni komitet za energetiku i industriju, koji je izradio prijedlog energetske bilance SFRJ, smatra da treba uvesti 9,3 milijuna tona nafte, a proizvodnja domaće nafte s naftonosnih polja u SR Hrvatskoj i AP Vojvodini predviđa se od 4,4 milijuna tona.

S klirinškog područja, prema prijedlogu Saveznog komiteta za energetiku, planira se uvoz 4,5 milijuna tona nafte, a ostatak od 4,8 milijuna tona s konvertibilnog tržišta.

Prema planu potrošnja derivata u 1983. godini doseći će 15.450 tisuća tona, a od toga bi se 13.340 tisuća tona dobilo iz naših rafinerija, a milijun tona uvozom. Prema predviđanjima organizacija udruženog rada naftne privrede, ta količina derivata neće biti dovoljna. Morat će se osigurati dodatna sredstva za uvoz nafte.

I. R.

NOVA TS 110/30 KV DUGO SELO

Novosagrađena transformatorska stanica 110/30/10 kV Dugo Selo puštena je u pogon 17. prosinca 1982. godine. Transformatorska stanica Dugo Selo opremljena je s dva transformatora 110/30 kV, 20 MVA i dva transformatora 30/10 kV, snage 8 MVA. U prvoj etapi u TS je uvedena dionica DV 110 kV Resnik — Dugo Selo. Predviđeno je da se nakon izgradnje druge dionice DV 110 kV Dugo Selo — Križevci i taj vod uvede u pripremljeno polje 110 kV.

Projektant i isporučitelj opreme je tvornica »Rade Končar«, dok su montažni radovi povjereni RO »Dalekovod«.

Uključivanjem ovih prijenosnih objekata u elektroenergetski sustav znatno će se rasteretiti istočno područje grada Zagreba i omogućiti daljnji razvoj cjelokupnog konzuma ovog područja. Financijska sredstva za izgradnju i transformatorske stanice i dalekovoda 110 kV osigurali su investitori RO »Elektroprenos«, Zagreb i OOUR »Elektra«, Dugo Selo.

I. R.

W. Aigner: *Nadzemni kabeli povoljno rješenje za niskonaponske mreže*

U članku se dosta detaljno opisuje nadzemna niskonaponska mreža uz primjenu kabela. Budući da se kod nas također izvode takve mreže, mogu oni koji se time bave usporediti svoja iskustva s austrijskim, i to iz područja Štajerske.

Zbog pomanjkanja prostora ovdje ćemo navesti samo osnovne stvari.

Primjena takvih rješenja počela je 1977. god. i do sada se izgradilo 142,7 km mreže. Od toga magistralnih vodova 30,2 km s presjekom 95 mm² Al (E-A2Y 4x95 mm² RM) i otcjepa, te priključaka 112,5 km presjeka 50 mm² Al.

Primjenjuje se tzv. skandinavski sistem s tri fazna i neutralnim vodičem iz aluminija.

Navode se uglavnom tehnički poznate prednosti. U opisanom kraju koriste se i stupovi i krovni nosači za pričvršćenje kabela. Kod nas se također ponegdje koriste krovni nosači, no još se zanemaruje prednost ovog rješenja iako manje opterećuje krovove.

Napravljena je i ekonomska analiza kod 6 rješenja. Prosječna prednost ove nove izvedbe u odnosu na klasičnu iznosi 18,6 %, maksimalno 21,9 % a minimalno 5 %.

OZE. Jg. 35. Heft 4. April 1982

I. Killman, W. Puschmann: *Nadzor mreže u distribuciji pomoću procesnog računala na primjeru centralne upravljačke stanice Feldbach distribucije STEWEAG*

U Članku se opisuju primjer organizacije i prva iskustva s nadzorom distributivne mreže procesnog računala na jednom dijelu distribucije Štajerske. U članku ima dosta detalja, koji mogu biti interesantni, ali se ne mogu iznositi ovdje.

Distributivna regija Štajerske, odnosno STEWEAG-a, organizirana je u sedam regionalnih područja. Za svako od njih predviđa se po jedna stanica za nadzor. U prosjeku u području ima 20.000 do 30.000 potrošača, 1.000 do 2.000 km niskonaponske mreže, 400 do 1.000 km srednjonaponske mreže, 300 do 700 transformatorskih stanica za niski napon, a cijela regija Štajerske ima oko 47 transformatorskih stanica višeg na srednji napon.

Osnovne zadaće stanica za nadzor su:

— tekući nadzor mreže, kontrola pogonskih podataka i registriranje alarma za smanjenje ispada
— nadzor i provedba prekapčanja u visokonaponskoj mreži
— prikupljanje pogonskih podataka za pogonsku statistiku kao podlogu za daljnje analize.

Zbog velikog porasta broja elemenata u mreži ti se zadaci ne mogu više obaviti klasičnim načinom, pa se primjenjuju procesna računala.

Prva iskustva s procesnim računalom u pogonu relativno su mala, ali se dosta učinilo na obuci kadrova.

Članak je interesantan zbog toga što se takav zahvat predviđa i kod nas, a iznosi se i dosta interesantnih detalja.

OZE. Jg. 35. Heft 8. August 1982

R. Š.

UDK 621.31

ENJAAC 32 (3) — (1983) 165-256

YU ISSN 0013-7448

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

energija

Izdavači:

Združeno poduzeće »Elektroprivreda«, Rijeka
Združeno poduzeće »Elektroprivreda Dalmacije«, Split
SIZ za znanstveni rad SR Hrvatske
Elektra, Karlovac
Elektroslavonija, Osijek
Elektroistra, Pula
Elektroprimorje, Rijeka
Elektrodalmacija, Split
Elektra, Zagreb
Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos
Institut za elektroprivredu, Zagreb

IZDAVAČKI SAVJET

Dragutin *Stanić,* dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Združeno poduzeće, Split — Enco *Tirelli* i Boris *Simončić,* dipl. ing. »Elektroprivreda« Rijeka — Josip *Brkljačić,* dipl. ing., HE Senj — Petar *Kuzele,* dipl. ing., »Elektra«, Zagreb — Ivo *Božin,* dipl. ing., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Zorko *Cvetković,* Elektroprenos, Zagreb — Šimun *Šimundža,* dipl. ing., »Elektrodalmacija«, Split — Anđelko *Dujmović,* dipl. ing., »Elektroslavonija«, Osijek — »Elektroistra«, Pula — Branko *Mrakovčić,* dipl. ing., »Elektroprimorje«, Rijeka — Marko *Šimunović,* dipl. ing., »Elektra«, Karlovac

GLAVNI UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: Boris *Markovčić,* dipl. ing. — Urednik: Zdenka *Jelić,* dipl. fil. — Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola *Bilčar,* dipl. ing. — »Hidroelektrane«, Đuro *Hatić,* dipl. ing. — »Termoelektrane i Toplane«, Mladen *Nadinić,* dipl. ing. — Prijenos električne energije, Zorko *Cvetković,* dipl. ing., Zagreb — Josip *Nevešćanin,* dipl. ing., Split — »Razvod, distribucija i potrošnja električne energije«, Tomislav *Balen,* dipl. ec., Jure *Šimović,* dipl. ec., Petar *Kuzele,* dipl. ing. — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslovanja«. — Tehnički urednik: Branko *Mališ.*

Redakcija završena 1983 — 05 — 28

Godište 32 (1983) Zagreb 1983 Br. 3

SADRŽAJ

Dvornik, V.: Izgradnja kabelskih mreža 10 kV u modernim gradskim aglomeracijama Srednje Dalmacije (Pregledni rad) 167

Potočnik, V.: Gradski otpaci — potencijalno gorivo za toplane (Pregledni rad) 175

Delbianco, L.: Prelazak razdjelne mreže »Elektroistre« Pula na uzemljenje zvjezdišta preko djelatnog otpora niske vrijednosti (Pregledni rad) 179

Piperski, D.: Automatsko upravljanje elektromotornim pogonima u savremenim termoelektranama (Pregledni rad) 191

Šimović, J.: Privredna infrastruktura i problemi njenog financiranja (Prethodno priopćenje) 199

Širom svijeta 217

Iz strane stručne literature 219

Statistički pregled elektroprivrede SR Hrvatske . . 221

Časopis je oslobođen plaćanja poreza na promet rješenjem Republičkog sekretarijata za prosvjetu, kulturu i fizičku kulturu SR Hrvatske broj 886/1-1979.

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 511-455, 513-822 (328)

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300 dinara, a za poduzeća i ustanove 1500 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 200 dinara.

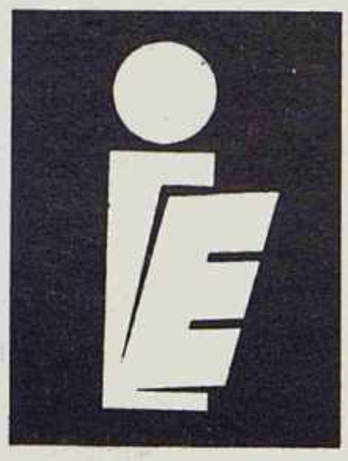
Za inozemstvo $ 80 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

Institut za elektroprivredu (za »Energiju«) broj 30101-603-565

Tisak i klišeji. RO »Zrinski« TIZ Čakovec

Trideset godina Instituta za elektroprivredu Zagreb



1953
1983

Djelatnost rada Instituta vrlo je široka, obuhvaća sva bitna pitanja iz područja energetike, a posebno elektroprivrede.

Pregled poslova kojima se bave stručnjaci Instituta dan je po grupama djelatnosti, a iza toga su navedeni karakteristični obavljeni radovi iz svakog od tih područja.

1. Opća energetika

- permanentno prikupljanje i sređivanje statističkih podataka
- analize potrošnje energije uz razradu i primjenu matematičkih modela
- izrada srednjoročnih i dugoročnih planova
- izrada optimalnih rješenja s obzirom na sveukupne društvene interese
- studij potrošnje energije
- istraživanje mogućnosti supstitucije novim izvorima energije
- usmjerenje opskrbe energijom u urbanim sredinama
- optimizacija toplinskih i plinskih mreža.

Karakteristični obavljeni radovi

- snimanje ostvarene potrošnje svih oblika energije za Hrvatsku (1971-1981)
- energetska bilanca u petogodišnjem razdoblju za Hrvatsku (1981-1985)
- dugoročne elektroenergetske bilance rađene za Jugoslaviju i SR Hrvatsku do 2 000. godine
- studije o usmjerenju opskrbe energijom, optimizaciji korištenja energetskih oblika i supstitucija pojedinih oblika energije, studije izrađene za Zagreb, Karlovac, Osijek, Slavonski Brod, Vukovar
- studije o optimizaciji korištenja energetskih izvora u industrijskim postrojenjima rađene za Željezaru Sisak, Tvornicu papira u Plaškom, za OKI Zagreb, Jugovinil, itd.

IZGRADNJA KABELSKIH MREŽA 10 kV U MODERNIM GRADSKIM AGLOMERACIJAMA SREDNJE DALMACIJE

Vojmir Dvornik, Split

UDK 621.315.2

PREGLEDNI RAD

S obzirom na to da je pod prometnicama gradova prostor zauzet najrazličitijim instalacijama, u članku se istražuje najoptimalniji način izgradnje kabelskih mreža 10 (20) kV u gradovima Srednje Dalmacije, s posebnim osvrtom na mogućnost opterećivanja kabelskih vodova, i to kako sa stajališta uvjeta na trasi, tako i sa stajališta usvojenih modela mreže.

Ključne riječi: Kabeli, električna mreža, električna opterećenja, troškovi mreže

1. UVOD

Moderne gradske aglomeracije odlikuje velika gustoća naseljenosti i vrlo veliki broj opskrbnih, uslužnih i kulturno-prosvjetnih sadržaja. Takve aglomeracije s visokorazvijenim potrošačkim mentalitetom postavljaju pred sve komunalne, pa dakle i distribucijske radne organizacije, naročite zahtjeve kako u pogledu prometa, opskrbe živežnim namirnicama, telefonskih veza, vodovodnih i kanalizacijskih usluga i uređaja, tako i u pogledu opskrbe električnom energijom.

Zahtijeva se konfornost, kvaliteta i neprekinutost u isporuci električne energije, što je i logično s obzirom na njezinu široku primjenu i velik utjecaj na život i rad gradskog stanovništva.

U takvoj situaciji distribucijska električna mreža, kao posrednik u dostavi električne energije između proizvođača i potrošača, dobiva posebno značenje pa se projektiranju, izgradnji i održavanju ovih mreža pridaje danas posebna pažnja.

S obzirom na spomenuto, kao i na činjenicu da se u urbaniziranim gradskim aglomeracijama radi o vrlo visokim gustoćama opterećenja, kompletna se električna mreža (bez obzira na naponsku razinu) izgrađuje kao kabelska — podzemna mreža. Opskrba ovakvih aglomeracija električnom energijom zahtijeva najčešće izgradnju jedne primarne transformatorske stanice (110/10(20) — 35/10 kV) ili njih više, te velikog broja sekundarnih trafo-stanica (10(20)/0,4 kV), pa se kao nužnost nameće i izgradnja guste kabelske mreže 10(20) kV-tne naponske razine. Kako se pored ove mreže, kao podzemne, danas realiziraju i instalacije vodoopskrbe, toplovoda, kanalizacije, telefona, televizije i ostale elektroenergeske instalacije (mreža 0,4 kV i mreža javne rasvjete), očito je da je prostor pod prometnicama i pločnicima postao tijesan. Ako tome pridodamo i eventualnu potrebu za izgradnjom kabelskog voda od 110 kV, situacija postaje još složenija.

Kvalitetno rješenje problema zahtijeva:

a) prethodni dogovor o raspodjeli prostora pod prometnicama i pločnicima;
b) izravnu i najtješnju suradnju projektanata svih podzemnih instalacija u toku izrade projekata;
c) izravnu i stalnu suradnju rukovodilaca izgradnje i nadzornih organa u toku izgradnje.

Članak se stoga bavi pitanjem kako sa što manjim brojem kabelskih vodova u što manjem podzemnom prostoru prenijeti energiju od primarne trafo-stanice do sekundarnih trafo-stanica tako da krajnji potrošač ne bude oštećen s obzirom na kvalitetu i neprekinutost isporuke električne energije. Očito, članak će se baviti izgradnjom distribucijskih kabelskih mreža 10 (20) kV, a naglasak je na usvojenim preporukama i uzancama područja »Elektrodalmacije« u Splitu.

2. IZBOR NAČINA IZGRADNJE KABELSKIH TRASA

S obzirom na velike snage primarnih gradskih distribucijskih trafo-stanica (TS 35/10 kV — 2(3) × 16 MVA; TS 110/10 kV — 2(3) × 40 MVA) pojavljuje se potreba i za velikim brojem izlaznih kabelskih vodova (obično od 15 do 50), pa je nužno prići izgradnji kabelskih trasa. Općenito one mogu biti realizirane u sklopu:

a) zemljanih kanala ili
b) betonskih tunela s policama.

U razmatranjima koja slijede svestrano će se analizirati problem izbora kabelske trase, pri čemu će se naglasiti prednosti i nedostaci svakog razmatranog slučaja.

2.1. KB trase u zemljanim kanalima

Prema načinu izgradnje trase i mogućnosti polaganja kabelskih vodova u njoj razlikujemo:

a) jednoslojno polaganje kabela u jedinstvenom zemljanom kanalu,
b) jednoslojno polaganje kabela u većem broju zemljanih kanala,
c) višeslojno polaganje kabela u jedinstvenom zemljanom kanalu.

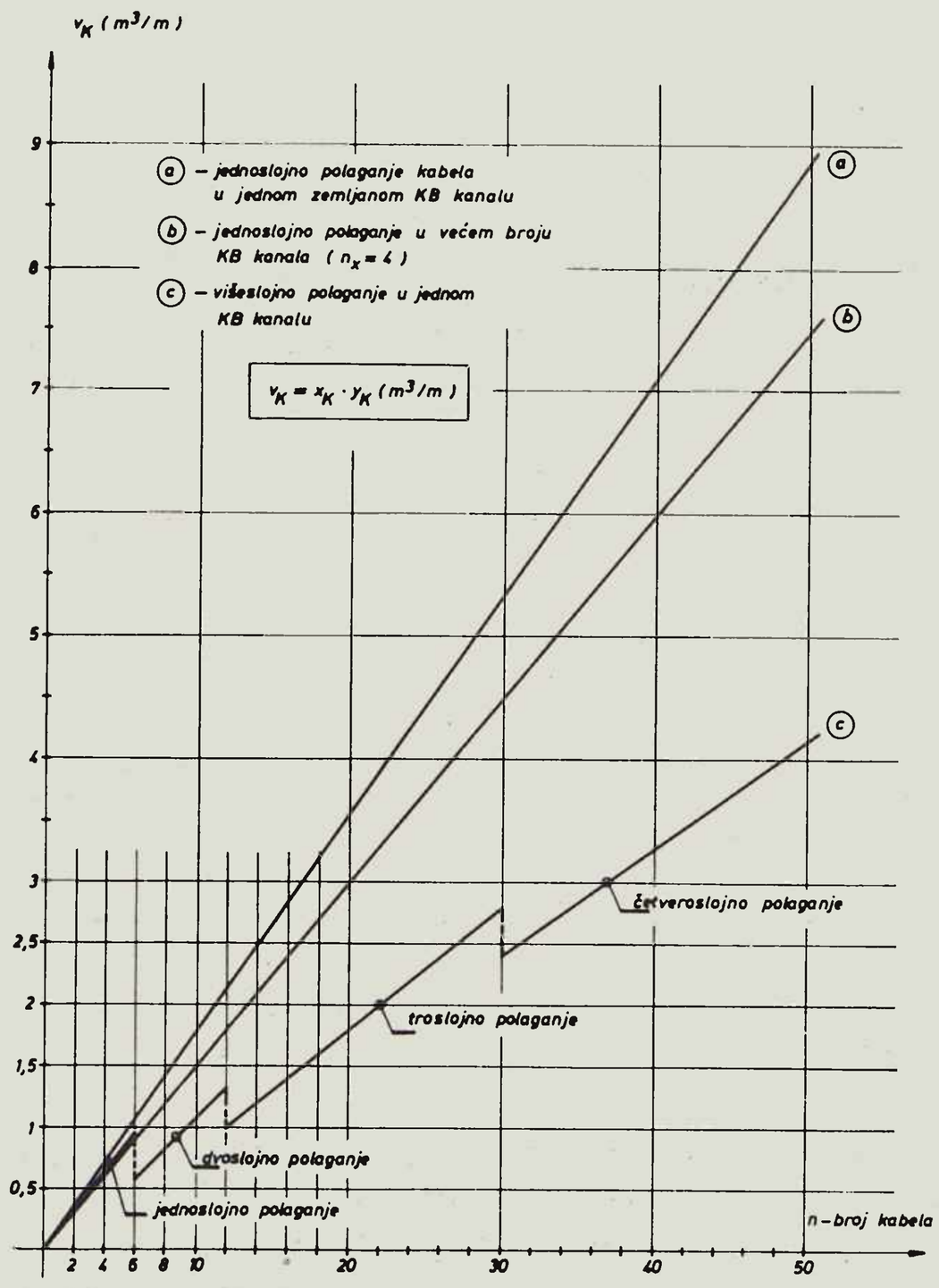
Dimenzije kabelskog kanala, širina (x_k) odnosno dubina (y_k) određuju se ovisno o izboru polaganja te broju, vanjskom dijametru i međusobnoj udaljenosti kabelskih vodova, prema izrazima na slici 1. Ovisnost specifičnog volumena iskopa (m^3/m) o tipu kabelskog kanala i broju kabelskih vodova grafički je dana na slici 2. Pri tome je kao vanjski dijametar kabelskog voda uzet dijametar tipskog 10 kV-nog kabela za srednju Dalmaciju (EpHP 81 — A 3 × 150 mm^2), a za međusobnu udaljenost kabelskih vodova d = 15 cm, što će biti obrazloženo razmatranjima u sljedećem odjeljku.

Obradimo li detaljno pojedine tipove kabelskih trasa u zemljanom kanalu, može se zaključiti sljedeće:

a) *Jednoslojno polaganje — jedinstveni kanal*

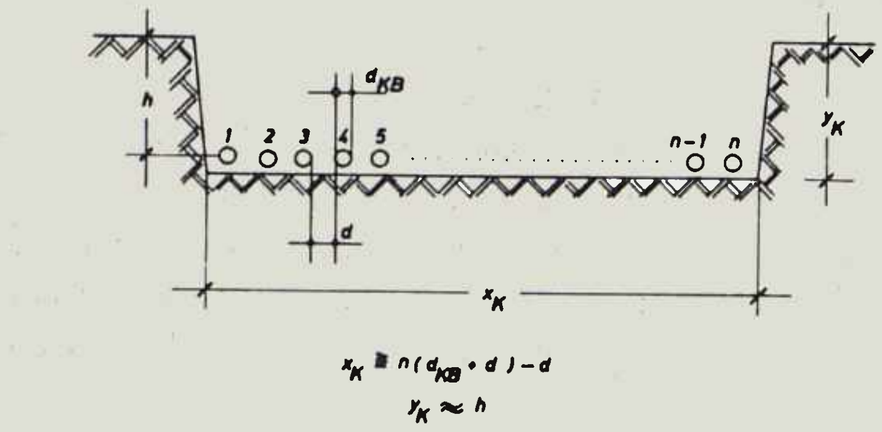
Prednosti:
— jednostavna izrada i priprema kabelske trase
— jednostavno polaganje i spajanje kabelskih vodova — jednostavna izgradnja KB mreže
— jednostavno održavanje i popravci.

Nedostaci:
— najveći volumen iskopa, najskuplje (sl. 2)

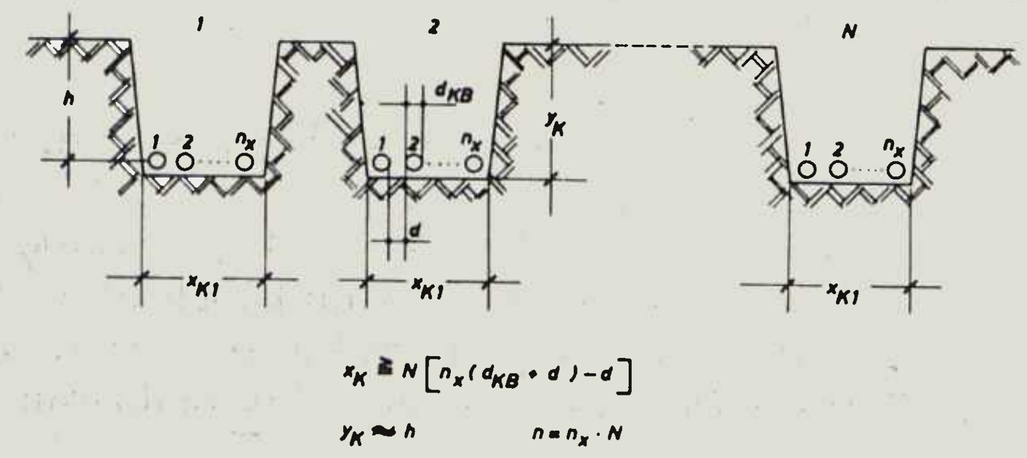


Slika 2. Ovisnost specifične veličine iskopa ($v_K(m^3/m)$) kabelskog zemljanog kanala o ukupnom broju KB vodova (n) i o načinu polaganja — za KB konstrukciju EpHP 81-A 3 × 150 mm^2

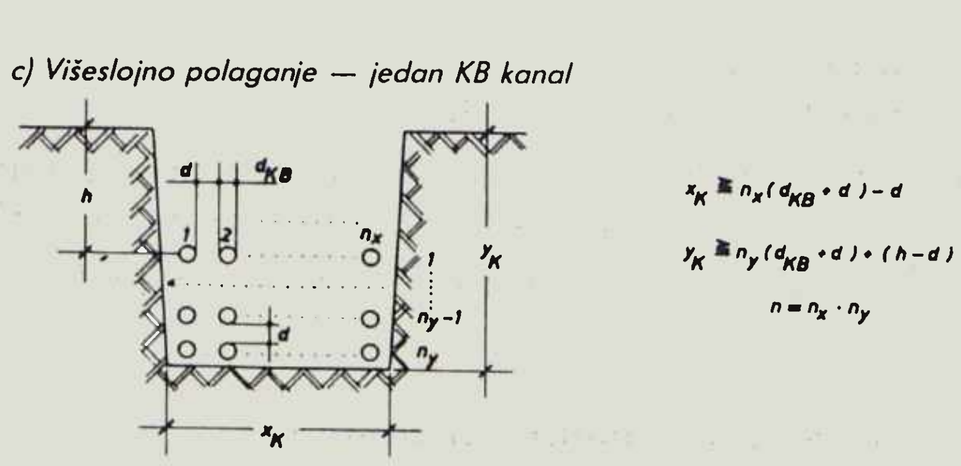
a) Jednoslojno polaganje — jedan KB kanal



b) Jednoslojno polaganje — veći broj KB kanala



c) Višeslojno polaganje — jedan KB kanal



Slika 1. Shematski prikaz mogućih načina polaganja kabelskih vodova u zemljanim kanalima

— velika širina zemljanog kanala (npr. za 45 kabelskih vodova — 10 metara), što u urbaniziranim gradskim aglomeracijama nije moguće ostvariti
— nizak koeficijent mogućeg opterećenja kabelskih vodova (npr. 50% I_n za 45 kabelskih vodova).

b) *Jednoslojno polaganje — veći broj kanala*

Prednosti:
— jednostavna izrada i prirema kabelske trase
— jednostavno polaganje i spajanje kabelskih vodova — jednostavna izgradnja KB mreže
— jednostavno održavanje i popravci
— najbolji koeficijent mogućeg opterećenja kabelskih vodova (npr. za 4 kabelska voda po kanalu oko 72% I_n, što je gotovo 50% više nego u slučaju *a* i *c*)

Nedostaci:
— relativno visoka cijena trase i veliki volumen iskopa (prema dijagramu na slici 2. samo 15-ak % manji nego u slučaju *a*)
— utrošak radne snage za 15-20% veći nego u slučaju *a*).

c) *Višeslojno polaganje — jedinstveni KB kanal*

Prednosti:
— jednostavna izrada kabelske trase
— najjeftinije, najmanji volumen iskopa (gotovo

dvostruko manji nego kod *b*), a 2,5 puta manji nego u slučaju *a* — slika 2).

Nedostaci:
- najsloženija polaganja kabelskih vodova i izgradnja KB trase
- najveći problemi kod održavanja i posebno kod popravaka
- nizak koeficijent mogućeg opterećivanja kabelskih vodova — kao i u slučaju *a*).

Iz provedene analize može se zaključiti da najmanje nedostataka a najviše prednosti ima izgradnja kabelske mreže realizirane u većem broju kanala pri jednoslojnom polaganju kabelskih vodova. Takva izgradnja je i usvojena za 10 kV-ne gradske distributivne mreže na području srednje Dalmacije. Uz navedene prednosti, valja kazati da za ovakve kabelske trase nije problem naći ni lokacije u gotovo svakoj, glavnoj ili sporednoj, gradskoj prometnici, jer njezin profil nije veći od 0,8 m (širina) × 0,8 m (dubina).

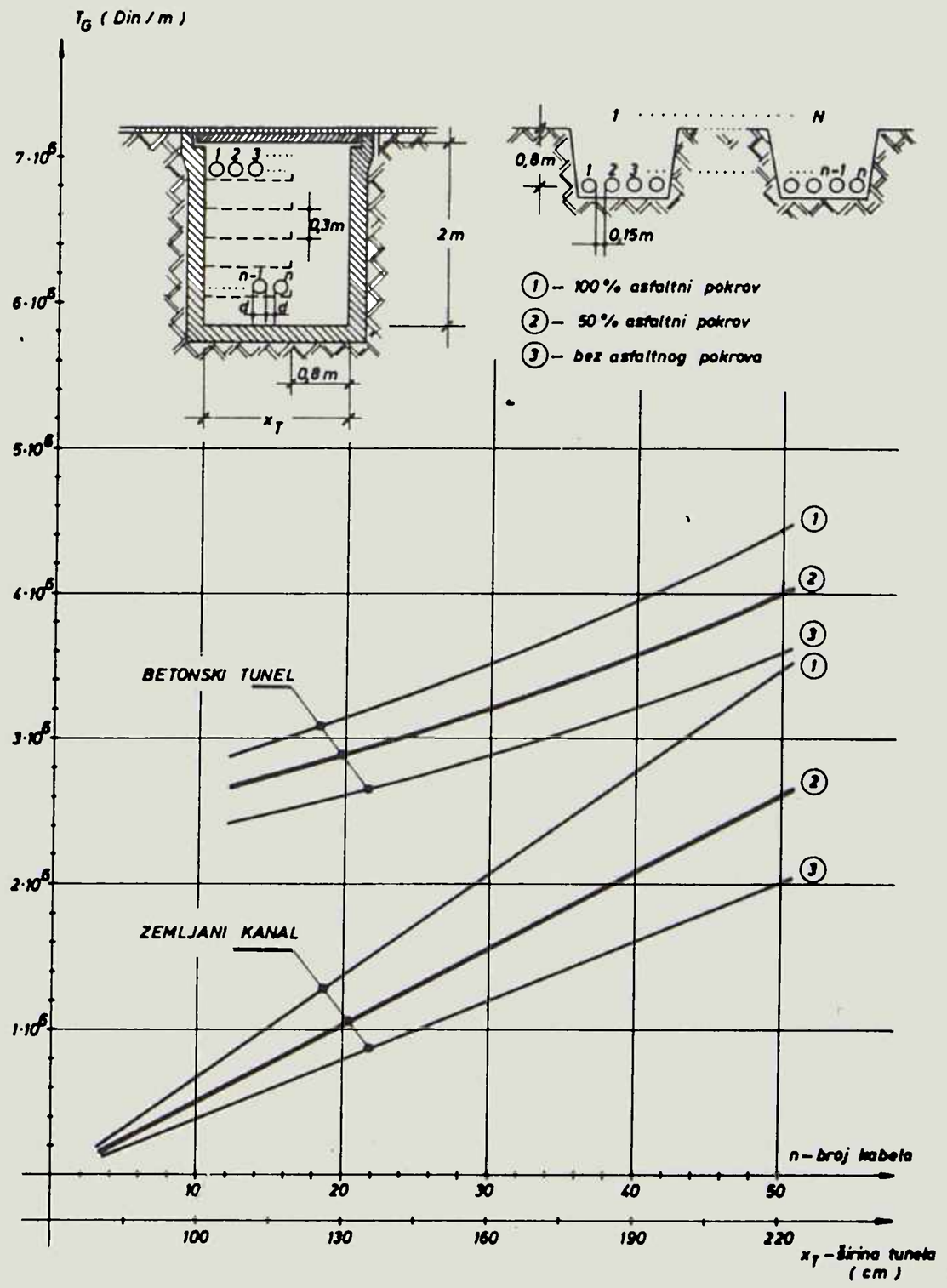
2.2. KB trase u betonskim tunelima

Prema načinu izvedbe razlikujemo kabelske trase izgrađene u prohodnim i neprohodnim betonskim tunelima s policama, pri čemu police mogu biti pune (betonske ili metalne) ili perforirane (metalne).

Na osnovi iskustva zemalja u kojima su ovakve kabelske trase realizirane, kao najbolje rješenje prihvaćen je prohodni betonski tunel s perforiranim metalnim policama, koji uz najbolje iskorištenje kabelskih vodova nudi i mogućnost stalnog i nesmetanog nadzora nad vodovima, a omogućuje brz i relativno jednostavan popravak oštećenoga kabelskog voda.

U odnosu na kabelske trase izgrađene u zemljanim kanalima, osim malog volumena iskopa kabelska trasa u betonskom kanalu ima izrazitu prednost s obzirom na mogućnost opterećivanja kabelskih vodova. Što se pak troškova građenja tiče, na osnovi ponuda prikupljenih od osam najjačih građevinskih radnih organizacija s područja srednje Dalmacije, izrađen je dijagram funkcionalne ovisnosti jediničnih troškova građevinskih radova pri realizaciji kabelske trase u zemljanom kanalu i pri realizaciji iste trase u betonskom kanalu s perforiranim metalnim policama u ovisnosti o broju kabelskih vodova u trasi (slika 3). Dijagrami su izrađeni za profile trasa naznačene na istoj slici, i to u tri varijante: kad se iskop obavlja u asfaltiranim prometnicama, neasfaltiranim prometnicama i kad trasa kabela ide djelomično asfaltiranim a djelomično neasfaltiranim prometnicama.

Dijagram pokazuje da su građevni radovi (s materijalom) za izgradnju kabelske trase u prohodnom betonskom kanalu za 55% (50 kabelskih vodova), pa čak do otprilike 300% (za 12 kabelskih vodova) skuplji od građevnih radova za izgradnju kabelske trase u jednoslojnom polaganju u većem broju zemljanih kanala.



Slika 3. Ovisnost jediničnih troškova građevnih radova KB trase o broju kabelskih vodova i stupnju urbanizacije na terenu (cijene iz listopada 82)

3. MOGUĆNOST OPTEREĆIVANJA KABELSKIH VODOVA

Strujno opterećenje na osnovi kojeg se obavio izbor kabelskog voda i s kojim se projektiraju gradske kabelske mreže naponske razine 10 kV u srednjoj Dalmaciji dobiva se prema obrascu

$$I_{KB_1} = m \cdot I_{n_{T10}} \cdot (1 - k_r) \qquad (1)$$

gdje znači:

m — broj transformatora 10/0,4 kV, priključenih na kabelski vod (ovisno o modelu kabelske mreže za normalno — zdravo stanje mreže m = 6 do 10)

$I_{n_{T10}}$ — nazivno strujno opterećenje tipskog transformatora 10/0,4 kV; u konkretnom slučaju P_N = 630 kVA, čemu odgovara $I_{n_{T10}} \approx 36$ A

k_r — koeficijent rezerve u trafo-stanicama 10/0,4 kV, koji proizlazi iz koncepcije mreže niskog napona, a u našem slučaju iznosi $k_r = 0{,}2$.

Uvrštenjem navedenih veličina u izraz (1) dobiva se veličina očekivanog strujnog opterećenja kabelskog voda koja se, ovisno o modelu mreže 10 kV, kreće u granicama

I_{KB_1} = 175 do 291 A

U razmatranjima koja slijede analizirat će se mogućnost opterećivanja tipskog kabelskog voda, prihvaćenog za upotrebu u gradskim kabelskim mrežama predmetnog područja (EpHP 81-A 3 × 150). Iz tako provedene analize moći će se zaključiti da li se odabrana kabelska konstrukcija zaista smije opteretiti strujnim opterećenjima koja se u budućnosti očekuju u najraznovrsnijim pogonskim uvjetima.

3.1. Uvjeti izgradnje

3.1.1. *Kabelska trasa u zemljanom kanalu*

Strujno opterećenje kabelskog voda u uvjetima koji su različiti od uvjeta što ih je pretpostavio proizvođač kabela prilikom računanja dopuštenog strujnog opterećenja računa se iz realizacije

$$I_{dop} = k_n \cdot k_h \cdot k_\vartheta \cdot k_{\rho\vartheta} \cdot I \qquad (2)$$

pri čemu je:

- I — dopušteno strujno opterećenje prema proizvođaču kabela
- k_n — korekcijski faktor ovisan o broju i međusobnom razmaku kabelskih vodova u istoj kabelskoj trasi
- k_h — korekcijski faktor ovisan o dubini ugradnje kabelskih vodova
- k_ϑ — korekcijski faktor ovisan o temperaturi zemljišta
- $k_{\rho\vartheta}$ — korekcijski faktor ovisan o toplinskom otporu tla
- I_{dop} — dopušteno strujno opterećenje kabelskog voda u uvjetima realne kabelske trase.

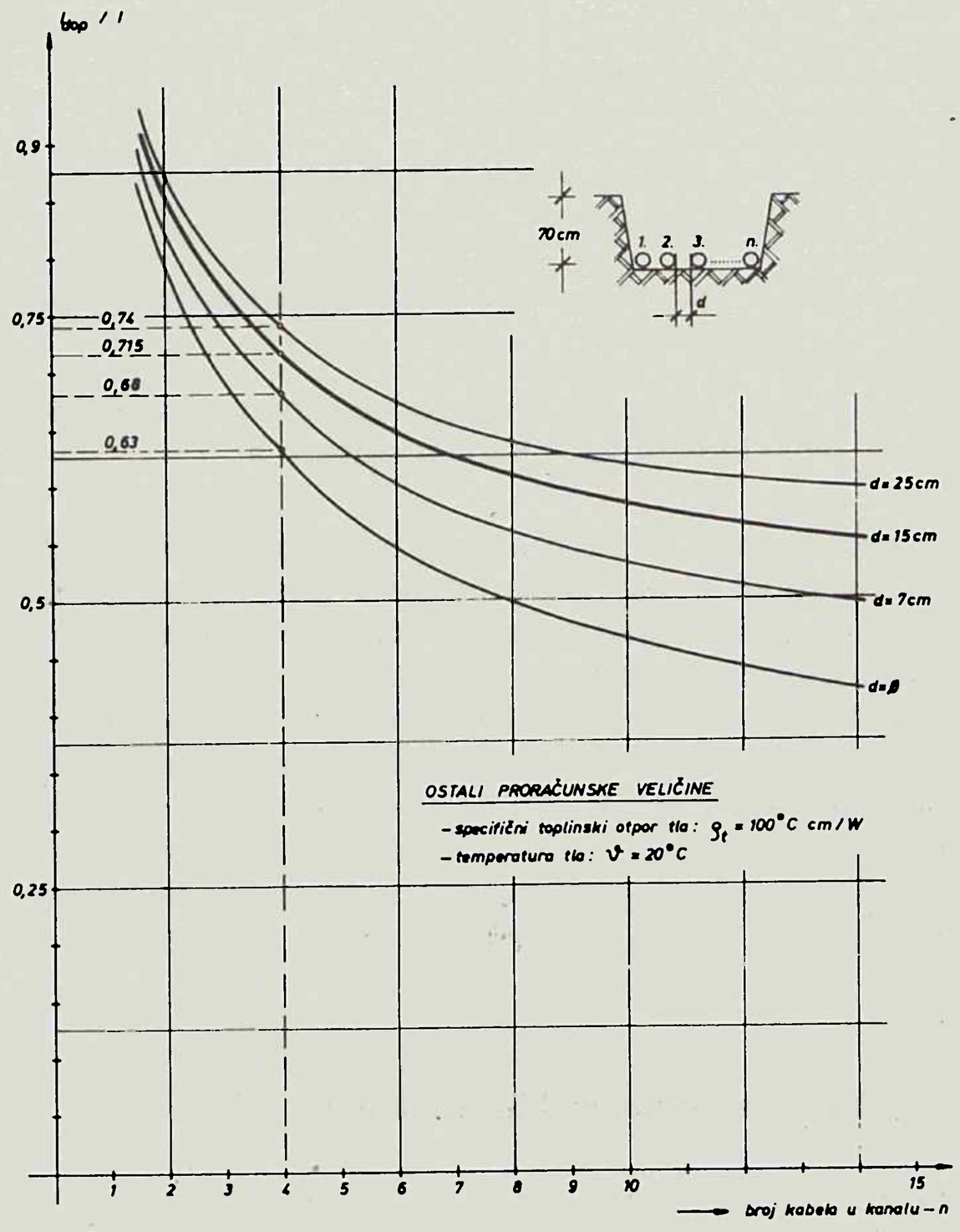
Na slici 4. prikazana je ovisnost strujnog opterećenja kabelskog voda o broju kabela u trasi i njihovoj međusobnoj udaljenosti. Ostali uvjeti su jednaki uvjetima koje je pretpostavio i proizvođač kabela. Pažljivim uspoređivanjem može se zaključiti da pri izgradnji kabelskih mreža u zemljanim kanalima međusobni razmak kabelskih vodova ne bi smio biti manji od d = 15 cm, a broj kabela u istoj trasi ne veći od n = 4. Uz dubinu polaganja, koja je na području srednje Dalmacije iz više razloga već prije dogovorena i iznosi h = 0,8 m, navedeni uvjeti su referentni uvjeti primjenom kojih se obavljaju sve daljnje analize.

Na taj način definirana su dva od moguća četiri korekcijska faktora, tj.

$$k_n = 0{,}72;\ k_h = 0{,}99$$

pa izraz (2) možemo pisati u nešto jednostavnijem obliku:

$$I_{dop} = 0{,}713\ k_\vartheta \cdot k_{\rho\vartheta} \cdot I \qquad (3)$$

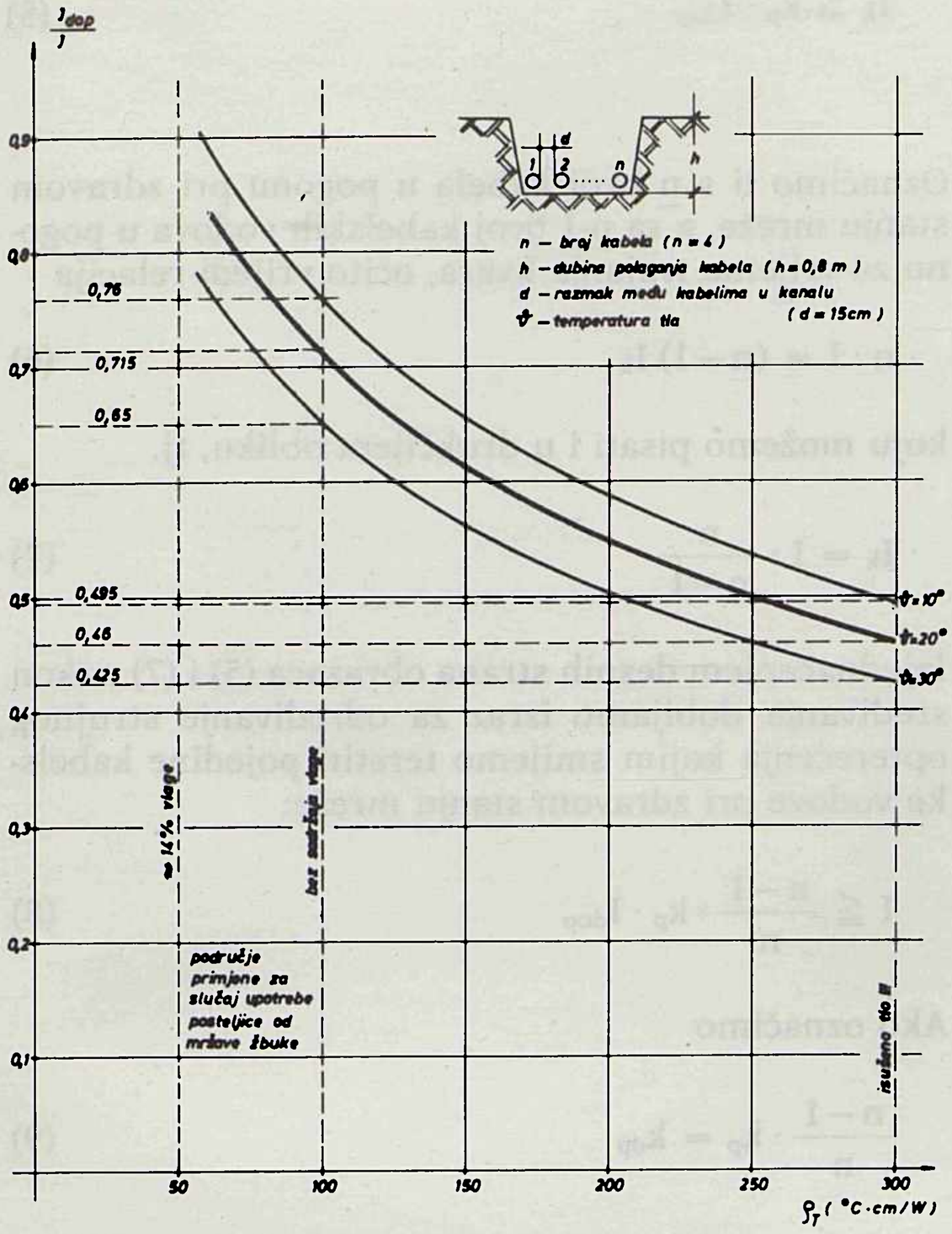


Slika 4. Ovisnost dopuštenog strujnog opterećenja kabelskog voda (I_{dop}) o broju kabela (n) i razmaku među njima (d) u istom kanalu

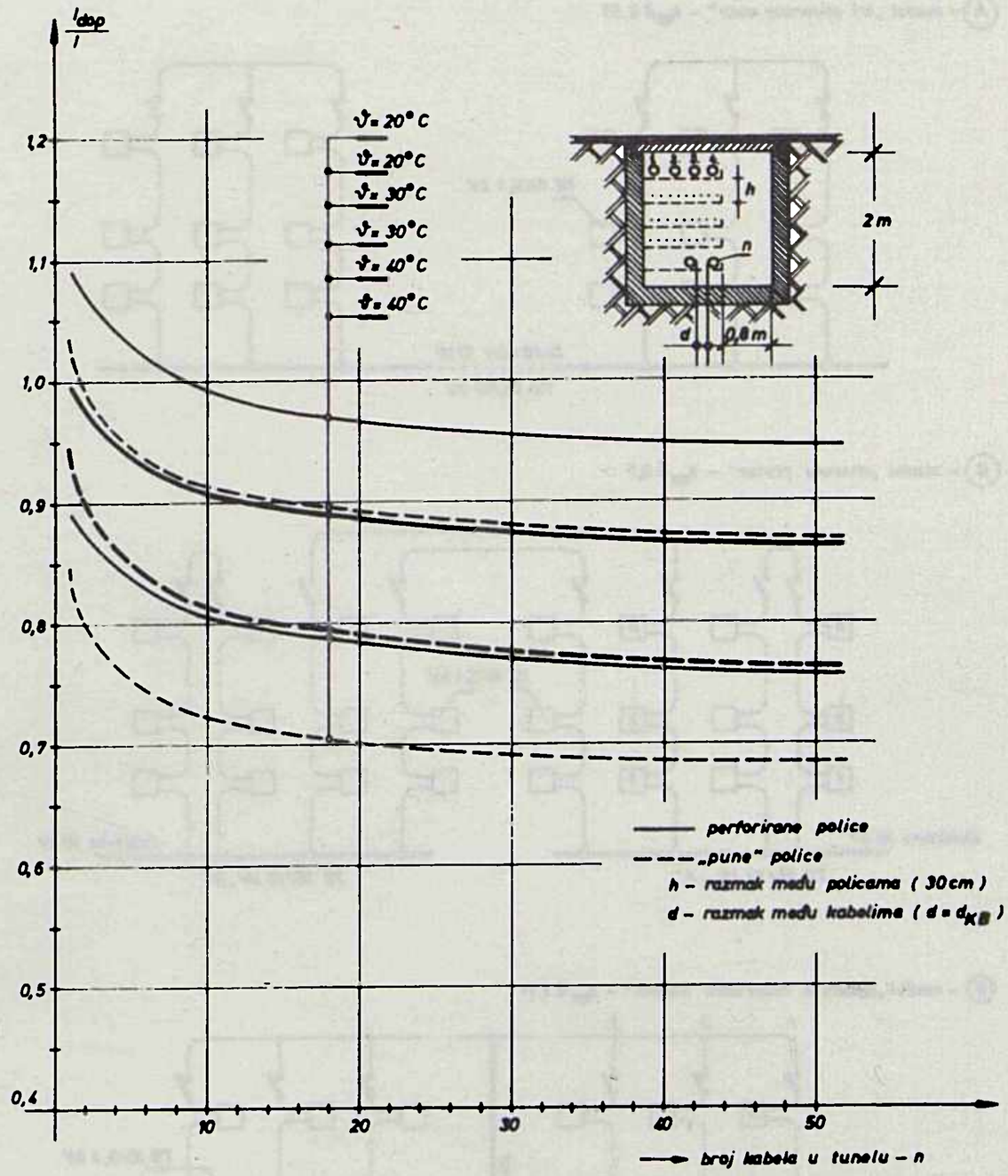
Relacija (3) poslužila je za izradu grafičkog prikaza na slici 5, na kojem je dana ovisnost dopuštenog strujnog opterećenja kabelskog voda (I_{dop}) o temperaturi (ϑ) i specifičnom toplinskom otporu (ρ_ϑ) tla. Kako na temperaturu tla ne možemo bitnije utjecati, jer je ona rezultat klimatskih prilika, prioritetan problem je osigurati posteljicu u kabelskoj trasi kojoj toplinski otpor i u najlošijim uvjetima ne padne ispod vrijednosti ρ_ϑ = 150°C cm/W. Na području srednje Dalmacije to je najčešće tzv. jalovina (mješavina sitne zemlje i drobljenog kamena granulacije do d = 6 mm), koje u prirodi ima u dovoljnim količinama, dok se u najnovije vrijeme upotrebljava i posteljica od mršave žbuke. U svakom slučaju treba onemogućiti porast toplinskog otpora tla iznad spomenute vrijednosti, jer je nakon toga gotovo nemoguće zaustaviti proces isušivanja tla, a što to znači, vidi se iz dijagrama na slici 5, gdje u drastičnom slučaju, mogućnost opterećenja kabelskog voda pada na gotovo nezamislivih 40-ak % dopuštenog strujnog opterećenja koje daje proizvođač kabela.

3.1.2. *Kabelska trasa u betonskom tunelu*

Dopušteno strujno opterećenje kabelskog voda u uvjetima koji vladaju u betonskom tunelu s policama, određuje se iz obrasca:



Slika 5. Ovisnost strujnog opterećenja kabelskog voda u zemljanom kanalu o temperaturi (v) i specifičnom toplinskom otporu tla (ρ_t)



Slika 6. Mogućnost opterećenja kabelskog voda u ovisnosti o temperaturi i tipu kabelske police, te o broju kabelskih vodova u kabelskom betonskom tunelu

$$I_{dop} = k_n \cdot k_\vartheta \cdot I \qquad (4)$$

pri čemu su pojedini članovi obrasca identični onima opisanim u izrazu (2).

Na slici 6, koja predstavlja grafički prikaz izraza (4), vidljivo je da kabelski vodovi ugrađeni u betonski tunel s perforiranim metalnim policama mogu, ovisno o temperaturi zraka i broju kabela u tunelu, prenijeti 15 do 25% više nego da su ti kabelski vodovi postavljeni na pune metalne ili betonske police. To je razlog što ćemo se u daljnjim analizama baviti samo kabelskim trasama realiziranim u betonskom tunelu s perforiranim metalnim policama.

Usporede li se mogućnosti opterećivanja kabelske trase realizirane na opisani način s mogućnosti opterećivanja kabelske trase izgrađene u zemljanim kanalima, može se konstatirati:

a) da se u ljetnom razdoblju kabelski vodovi postavljeni na policama betonskog kanala mogu opteretiti čak 30 do 40% više nego isti vodovi ugrađeni u trase zemljanih kanala
b) da je u zimskom razdoblju taj odnos nešto povoljniji, te da se kabelski vodovi u tunelu mogu opteretiti sa 15 do 20% više nego vodovi u zemljanim kanalima.

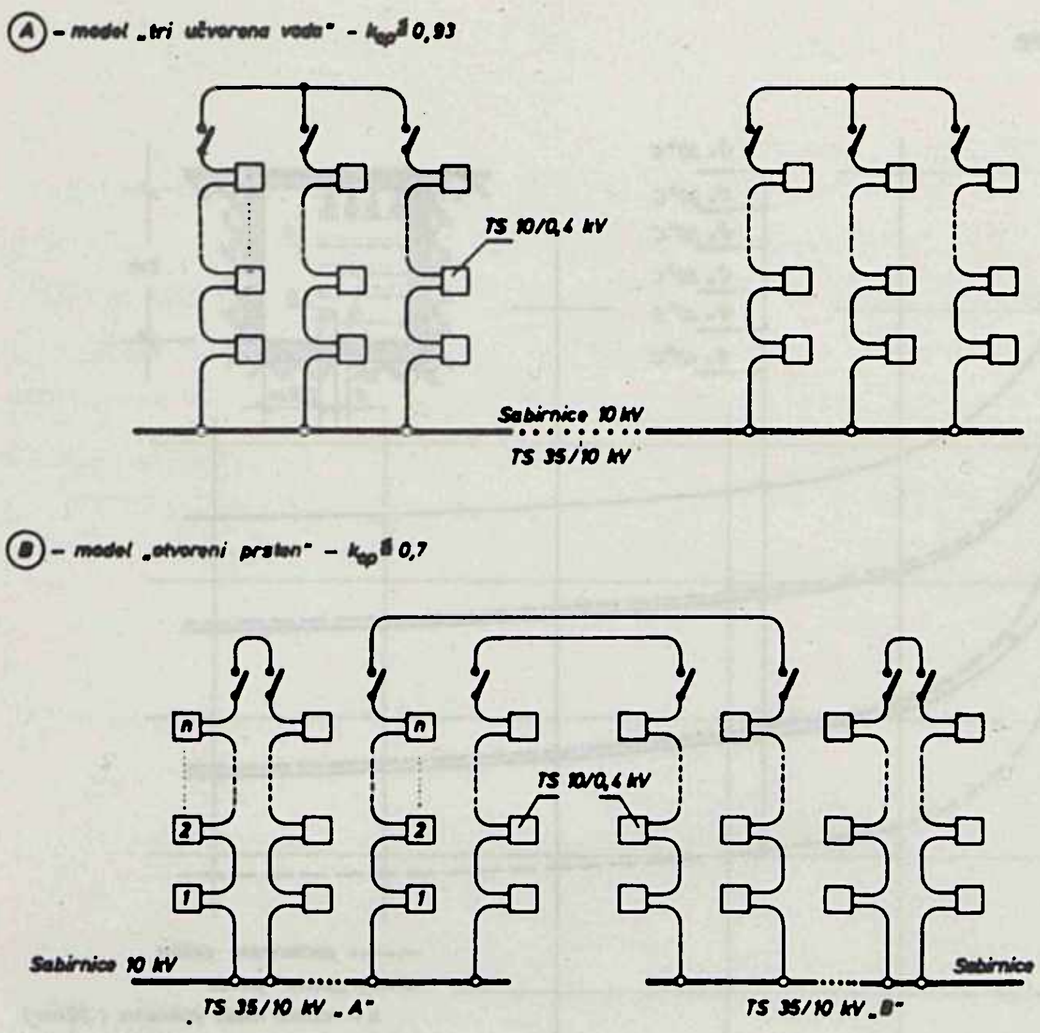
Navedeni odnosi vrijede kad se kabeli u zemljanim kanalima polažu u već spomenutu posteljicu od jalovine. Zamjenom te posteljice posteljicom od tzv. mršave žbuke poboljšava se mogućnost opterećivanja kabelskih vodova u zemljanim kanalima za oko 10% (zimi) do 15% (ljeti), za koliko se smanjuju i razlike u opterećivanju kabelskih vodova u uspoređivanim trasama.

3.2. Koncepcija kabelske mreže

U gradskim aglomeracijama srednje Dalmacije, ovisno o veličini konzuma, važnosti pojedinih većih potrošača te drugim mjesnim uvjetima, dominiraju tri osnovna modela 10 kV-ne kabelske distribucijske mreže.

a) model »tri učvorena voda«
b) model »otvoreni prsten«
c) model »lepeza s rezervnim vodom« (na svakih pet kabelskih vodova koji su u pogonu polaže se još jedan kao rezerva).

Svaki od navedenih modela i prikazanih na slici 7. ima svoje prednosti i nedostatke. Međutim, zajedničko im je obilježje da mreža u normalnom pogonu radi kao radijalna, pri čemu u slučaju kvara na nekom od kabelskih vodova, opterećenje tog voda preuzimaju jedan ili više drugih kabelskih vodova. Iz tih će razloga u normalnom pogonu, ovisno o kojem se modelu 10 kV-ne mreže radi, kabelski vodovi raditi više ili manje podopterećeni, a samo pri kvaru na jednom od vodova, s punim opterećenjem ili s dopuštenim preopterećenjem.



Slika 7. Osnovni modeli 100 kV-nih distribucijskih kabelskih mreža u urbaniziranim gradskim aglomeracijama srednje Dalmacije

Da bi izgradnja mreže bila što ekonomičnija, poželjno je da mreža u normalnom (zdravom) stanju radi s opterećenjem koje je što bliže trajno dopuštenom.

S druge pak strane, kvar na mreži ne smije znatnije ugroziti opskrbu potrošača niti životnu dob pojedinih kabelskih vodova.

S obzirom na karakter potrošnje distribucijskih potrošača, kod kojih u toku dana postoje velike oscilacije u opterećenju, pri čemu se pored kraćih maksimalnih opterećenja pojavljuju i izrazito niska opterećenja, kabel praktički nikad ne dosegne najveću dopuštenu temperaturu.

Iz literature je poznato da se kod takvog karaktera opterećenja kabeli smiju teretiti i do 20% više nego kad se radi o kontinuiranom opterećenju. I E C preporuke idu još i dalje, pa dopuštaju preopterećenja kabela i do 40% ako takva preopterećenja nisu česta i ne traju dulje od nekoliko sati.

Kako kod kabelskih vodova s termoplastičnom izolacijom, kakav je i tipski kabel prihvaćen za područje srednje Dalmacije, popravak ne traje duže od nekoliko sati (5-7), uputno je pri određivanju dopuštenog preopterećenja prihvatiti sugestije I E C preporuka. To znači da strujno opterećenje (I_k) kabelskih vodova koji su u pogonu za vrijeme trajanja kvara smije iznositi

$$I_k \leqq k_p \cdot I_{dop} \tag{5}$$

Označimo li s n broj kabela u pogonu pri zdravom stanju mreže, a sa n-1 broj kabelskih vodova u pogonu za vrijeme trajanja kvara, očito vrijedi relacija

$$n \cdot I = (n-1)\, I_k \tag{6}$$

koju možemo pisati i u drukčijem obliku, tj.

$$I_k = I \cdot \frac{n}{n-1} \tag{7}$$

Izjednačenjem desnih strana obrazaca (5) i (7) nakon sređivanja dobijamo izraz za određivanje strujnog opterećenja kojim smijemo teretiti pojedine kabelske vodove pri zdravom stanju mreže:

$$I \leqq \frac{n-1}{n} \cdot k_p \cdot I_{dop} \tag{8}$$

Ako označimo

$$\frac{n-1}{n} \cdot k_p = k_{op} \tag{9}$$

tada obrazac (8) možemo pisati i u drukčijem obliku:

$$I \leqq k_{op} \cdot I_{dop} \tag{10}$$

U izrazima (5) do (10) znači:

- I_{dop} — dopušteno trajno — kontinuirano opterećenje, izračunato prema izrazima (1) odnosno (3)
- I_k — dopušteno strujno preopterećenje kabela u pogonu za vrijeme trajanja kvara
- I — dopušteno strujno opterećenje kabelskih vodova pri normalnom stanju mreže
- n — broj kabelskih vodova u pogonu, pri zdravom stanju mreže
- k_p — koeficijent dopuštenog kratkotrajnog preopterećenja
- k_{op} — koeficijent dopuštenog opterećenja kabelskih vodova u normalnom radu mreže; uvjetno ga možemo nazvati i koeficijentom iskorištenja.

U tablici 1. dani su iznosi koeficijenata dopuštenog opterećenja pri normalnom radu mreže (k_{op}) za modele kabelskih mreža sa slike 7, i to za obje spomenute veličine preopterećenja (20% i 40%). Kako je očito da bi s dopuštenim preopterećenjem za slučaj kvara od 20% kabelski vodovi u normalnom pogonu radili neekonomično, sve daljnje analize obavit će se s dopuštenim preopterećenjem od 40% za vrijeme kvara.

Tablica 2. predstavlja primjenu razmatranja provedenih u odjeljcima 3.1 i 3.2 na tipski kabel 10 kV-ne distributivne kabelske mreže srednje Dalmacije, tj. na kabelsku konstrukciju EpHP 81-A 3 × 150 mm². Iz tablice koja je izrađena za različite pogonske i klimatske uvjete, s koeficijentom dopuštenog preopte-

Tablica 1. Prikaz koeficijenta opterećenosti kabelskih vodova pri normalnom radu mreže (k_{op}) u ovisnosti o modelu mreže i dopuštenom preopterećenju (k_p)

OSNOVNI MODEL KABELSKE GRADSKE MREŽE 10 kV (slika br. 7)	TIP	KOEFICIJENT OPTEREĆENOSTI KB VODA – k_{op}	
		Dopušteno preopterećenje $k_p = 1,2$	Dopušteno preopterećenje $k_p = 1,4$
TRI UČVORENA KB VODA	(A)	0,8	0,93
OTVORENI PRSTEN	(B)	0,6	0,7
KB LEPEZA S REZERVNIM VODOM	(C)	1,0	1,17

rećenja za slučaj kvara $k_p = 1,4$, može se zaključiti sljedeće:

a) moguće maksimalno strujno opterećenje na razmatranim modelima mreže za karakteristične pogonske slučajeve ne prelazi veličinu dopuštenog

b) odnos dopuštenih opterećenja zima — ljeto pri normalnom pogonu mreže iznosi 1 : 0,75, što je znatno povoljnije od odnosa dobivenog mjerenjima koje za područje srednje Dalmacije iznosi 1 : 0,5 do 0,55

c) najbolje iskorištenje kabelskih vodova, dakle i najekonomičniju izgradnju mreže nudi model »lepeza s rezervnim vodovima«.

Tablica 2. Prikaz mogućnosti opterećivanja kabela EpHP 81-A 3 × 150 mm² u različitim pogonskim i klimatskim uvjetima

KARAKTERISTIČNA VELIČINA KABELSKOG VODA \ OSNOVNI MODEL GRADSKE KABELSKE DISTRIBUTIVNE MREŽE 10 kV (slika br. 7)			TRI UČVORENA VODA TIP (A)	OTVORENI PRSTEN TIP (B)	KB LEPEZA S REZERVNIM VODOM TIP (C)
NAZIVNO OPTEREĆENJE (A) (prema uvjetima iz prospekta proizvođača)			315		
DOPUŠTENA NAJVEĆA STRUJA (A) ZA VRST POGONA I OPTEREĆENJA	KONTINUIRANO OPTEREĆENJE (I_{dop})	ZIMA	252		
		LJETO	189		
	NORMALN POGON PROMJENJ. DISTR. OPTEREĆENJE (I)	ZIMA	235	176	295
		LJETO	176	132	221
	POGON U NUŽDI (KVAR)-PROMJENJ. DISTR. OPTEREĆENJE (I_K)	ZIMA	353		
		LJETO	265		
BROJ TRAFOSTANICA 10/0,4 kV KOJI SE SMIJE PRIKLJUČITI PO VODU U NORMALNOM POGONU			8	6	10
MOGUĆE OČEKIVANO NAJVEĆE OPTEREĆENJE U BUDUĆNOSTI (A) (ZIMA)		NORMAL. POGON (I)	233	175	291
		SLUČAJ KVARA (I_K)	350		

4. NEKI EKONOMSKI ASPEKTI IZGRADNJE KABELSKIH MREŽA

U proteklim razmatranjima analizirali su se uglavnom tehnički aspekti izgradnje gradskih kabelskih mreža, dok su ekonomski aspekti obrađivani samo usputno i prilično jednostrano. Definitivnu odluku o tome kako izgrađivati kabelske 10-kV-ne mreže moguće je donijeti tek nakon pažljivog analiziranja ekonomike građenja.

Poznato je da pri tome valja analizirati kako specifične troškove izgradnje, tako i specifične troškove održavanja i specifične troškove izazvane gubicima električne snage i energije.

Ukupni se troškovi izgradnje kabelske trase mogu u općem obliku prikazati ovim izrazom:

$$T_{iz} = T_G + T_E \text{ [Din/km]} \tag{11}$$

Troškove izgradnje mjerodavne za uspoređivanje po principu ekonomičnosti nazivamo specifičnim strujnim troškovima izgradnje, a iskazujemo ih kao

$$t_{iz} = \frac{T_{iz}}{I_u} \cdot 10^{-3} \text{ [Din/m/A]} \tag{12}$$

pri čemu u izrazima (11) i (12) znači:

T_{iz} — ukupne troškove izgradnje kilometara kabelske trase

T_G — ukupne troškove materijala i izvedbe građevinskih radova po kilometru kabelske trase

T_E — sveukupne troškove električnih radova po kilometru trase koji iznose:

$$T_E = T_{KB} + T_{KP} + T_{Em} \text{ [Din/m/A]} \tag{13}$$

gdje su:

T_{KB} — troškovi nabavke kabelskih vodova po kilometru dotične kabelske trase

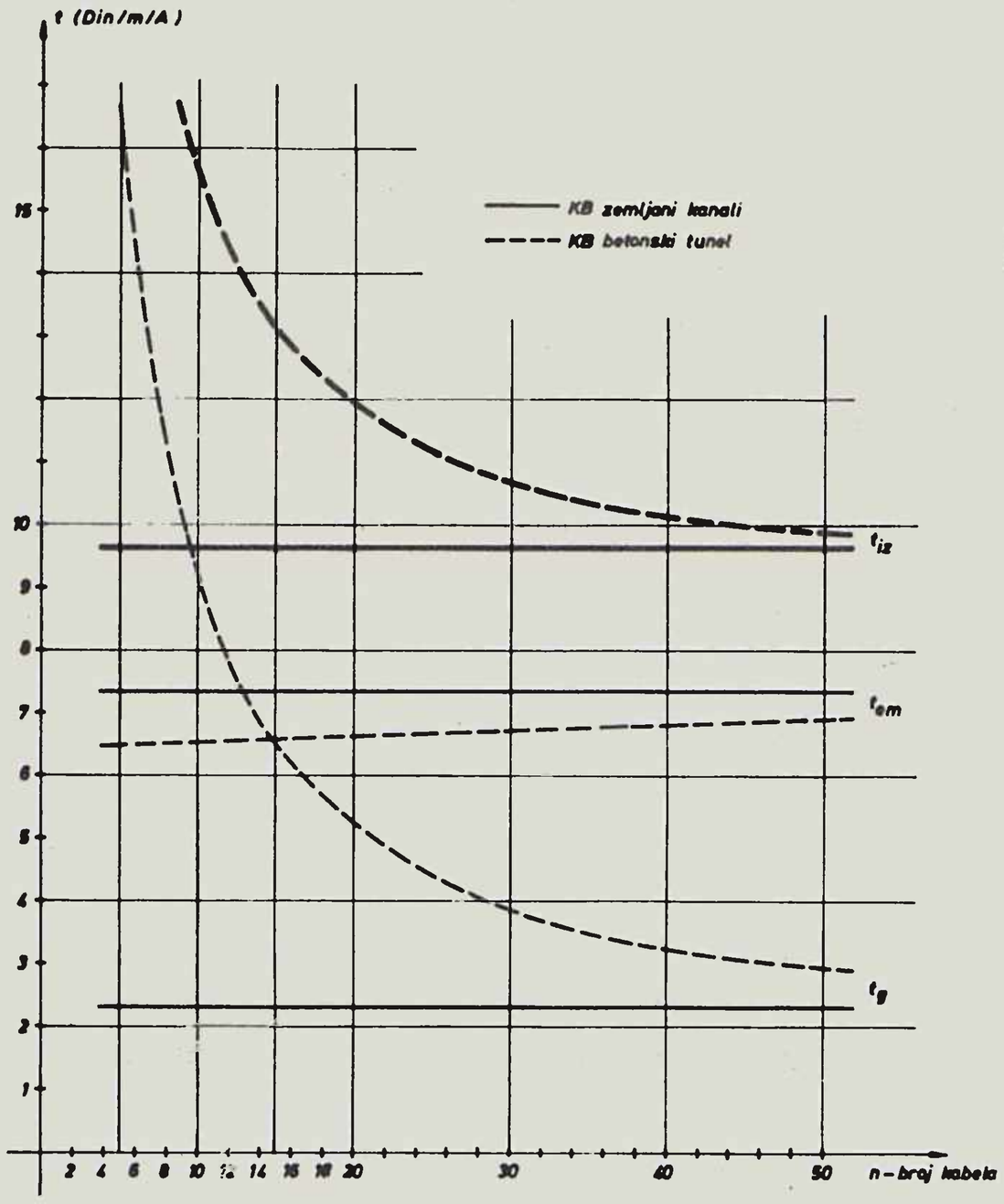
T_{KP} — troškovi nabave kabelskog pribora (spojnog i završnog) po kilometru trase

T_{EM} — troškovi elektromontažnih radova na polaganju, spajanju i završavanju kabelskih vodova po kilometru trase

T_u — ukupna struja kabelske trase, koja predstavlja produkt dopuštenog strujnog opterećenja kabelskog voda pri normalnom radu mreže i broja kabela u kabelskoj trasi

T_{iz} — specifični strujni troškovi izgradnje trase 10 kV-ne kabelske distributivne mreže reducirane po amperu dopuštenog strujnog opterećenja (dinara/m/A).

Na slici 8. prikazana je ovisnost specifičnih strujnih troškova izgradnje kabelske trase o broju kabelskih vodova i tipu trase. Očito je da su specifični troškovi izgradnje kabelske trase realizirane u zemljanim kanalima u snopovima po četiri kabelska voda uvijek niži od troškova iste trase izgrađene u betonskom tunelu s perforiranim metalnim policama. Kabelska trasa u betonskom tunelu očito može biti konkurentna trasi u zemljanim kanalima samo pri ugradnji ve-



t_{iz} — *specifični troškovi izgradnje KB trase*
t_{em} — *specifični troškovi električne opreme i elektromontažnih radova*
t_g — *specifični troškovi građevinskih radova*

Slika 8. Ovisnost specifičnih troškova (dinara/m/A) izgradnje kabelske trase o broju kabela i tipu kabelske trase

likog broja kabelskih vodova, u svakom slučaju ne manjem od 30.

Što se tiče specifičnih troškova održavanja 10 kV-ne kabelske mreže, valja kazati da su oni pri obimu razmatranim kabelskim trasama neznatni i ne utječu bitno na ekonomiku građenja mreže.

Specifični troškovi izazvani gubicima električne snage i energije zbog manjih dopuštenih strujnih opterećenja kabelskih vodova u trasi zemljanih kanala očito su veći kod kabelskih trasa izgrađenih u betonskim tunelima.

Napomene li se još da često u betonskim tunelima, radi održavanja temperature zraka a time i prijenosne moći kabelskih vodova, treba ugraditi uređaj za prisilno provjetravanje — o čemu se u svim prethodnim razmatranjima nije govorilo — očito je da prednost u izgradnji kabelskih distributivnih mreža 10 kV imaju kabelske trase u zemljanim kanalima.

5. ZAKLJUČCI

Na osnovi istraživanja provedenih u prethodnim izlaganjima izgradnju distribucijskih kabelskih mreža 10(20) kV u gradovima srednje Dalmacije valja ubuduće provoditi na sljedećim principima:

a) Kabelske vodove treba polagati isključivo u zemljane kanale, u posteljicu od »jalovine«, a u iznimnim slučajevima za posteljicu valja upotrijebiti »mršavu žbuku«.
b) Kabele treba polagati u jednoslojnom rasporedu, najviše 4 kabela po kanalu, s međusobnim razmakom kabelskih vodova koji nije manji od 15 cm.
c) Izgradnji kabelskih trasa u betonskim tunelima s perforiranim policama treba pristupiti u iznimnim situacijama, kad je broj kabelskih vodova velik (najmanje 30-35) i kad su mjesni uvjeti zaista takvi da koncepciju jednoslojnog višekanalskog polaganja zaista nije moguće provesti.
d) Treba favorizirati, gdje god je to objektivno moguće, izgradnju kabelske gradske mreže po modelu »lepeza s rezervnim vodom« jer taj model nudi najbolje iskorištenje kabelskih vodova, odnosno najekonomičniju izgradnju mreže.

LITERATURA

[1] G. Grosse — Plankerman: *Strombelastbarkeit und Überlastberkeit von Polyolefin — Isolieten 110 kV — Kabeln,* Elektrizitätswirtschaft, Jg. 72/1973/Heft 10.
[2] B. Lalević: *Problematika toplotnog rasterećenja kablova položenih u zemljište,* VII simpozij o energetskim kabelima — Novi Sad 1980.
[3] V. Dvornik: *Izbor srednjenaponskih kabelskih konstrukcija za upotrebu u distributivnoj mreži Dalmacije,* VII simpozij o energetskim kabelima, 1980.
[4] Katalozi, prospekti i tehničke informacije proizvođača kabela

KEY WORDS: CABLES, ELECTRICAL NETWORK, ELECTRICAL LOADS, NETWORK COSTS

CONSTRUCTION OF CABLE NETWORK OF 10 kV IN MODERN URBAN AREAS OF MIDDLE DALMATIA

In the article is presented an analysis of optimal 10 kV-20 kV cable network construction in case of crowded under road volumen with various instalations in towns of middle Dalmatia, with a review of cable overload due to conditions on cable path and applied models for network.

VERLEGUNG VON 10 kV KABELNETZEN IN DERZEITIGEN STÄDTISCHEN BALLUNGSGEBIETEN VON MITTELDALMATIEN

Nachdem der freie Raum unter den städtischen Verkehrswegen durch verschiedenartige Installationen besetzt ist, werden die vorhandenen optimalen Möglichkeiten der Verlegung von 10/20/ kV Kabeln in den Städten von Mitteldalmatien in Bezug auf bestehende Verhältnisse und bereits erarbeitete und genehmigte Kabelnetzmodelle behandelt.

СООРУЖЕНИЕ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 10 кВ В СОВРЕМЕННОЙ ГОРОДСКОЙ СКУЧЕННОСТИ СРЕДНЕЙ ДАЛМАЦИИ

В обстановке, когда площадь под проезжей частью и тротуарами городов занимают всевозможные установки и оборудование, в статье проводится поиск наиболее оптимального способа сооружения кабельных сетей 10(20) кВ в городах Средней Далмации, уделяя особое внимание возможности загрузки кабельных линий и с точки зрения условий трассы, и с точки зрения принятых модей сети.

Naslov pisca:

Mr Vojmir Dvornik, dipl. ing.
»Elektrodalmacija« 51000 Split

Uredništvo primilo rukopis 1983-02-01

GRADSKI OTPACI — POTENCIJALNO GORIVO ZA TOPLANE

Mr. Vladimir Potočnik, Zagreb

UDK 621.311.2.004.8
PREGLEDNI RAD

Razmatra se mogućnost korištenja krutih gradskih otpadaka kao goriva u toplanama gradova Jugoslavije, čime se inače prvenstveno higijenski problem pokušava riješiti na što ekonomičniji način. Upućuje se na moguće uštede uvoznih goriva primjenom gradskih otpadaka u toplanama.

Ključne riječi: gradski otpaci, spalionica, toplana, ušteda goriva.

1. UVOD

U današnjoj energetskoj krizi gradski otpaci mogli bi i kod nas zamijeniti određenu količinu pretežno uvoznih goriva u gradskim ili industrijskim toplanama, kao što je to uobičajena praksa u razvijenijim zemljama svijeta (lit. 1).

Spaljivanje otpadaka u toplanama (reciklaža energije otpadaka) rješava dva goruća gradska problema — na higijenski način se likvidiraju gradski otpaci i ublažava se energetska kriza, odnosno osigurava dio goriva za toplinske potrebe gradova.

Po ogrjevnoj vrijednosti gradski otpaci su se približili lošijim lignitima, pa premda predstavljaju dosta homogenu smjesu heterogenih tvari, zavrijedili su naziv goriva za toplane, pogotovo zato što se njihovi »rudnici« nalaze u gradovima.

Naravno, otpaci nisu idealno gorivo, a ni spalionice nisu jeftini objekti, tako da je realizacija te ideje moguća samo ako se shvati da je to rješenje za dva gradska problema — higijenska likvidacija otpadaka i proizvodnja energije. Usporede li se troškovi proizvodnje toplinske energije na bazi fosilnih goriva uz zbrinjavanje gradskih otpadaka metodom kontroliranog odlaganja na deponije s troškovima zbrinjavanja krutih otpadaka u kotlovima toplana u pravilu se postižu pozitivni efekti u korist spaljivanja.

U gradskim otpacima, posebno onima iz industrije, sadržane su i neke sekundarne sirovine (papir, staklo, plastika, metali itd.) dio kojih se može vratiti u ponovnu upotrebu sortiranjem na izvoru ili preradom u centralnoj reciklaži sirovina.

2. OSNOVNI PODACI O GRADSKIM OTPACIMA

Prema izvoru nastanka kruti gradski otpaci mogu biti: kućni, institucionalni, komercijalni, industrijski, ulični itd.

Kao posebne kategorije spomenimo tu glomazne otpatke (prvenstveno stare automobile), toksičke industrijske i bolničke otpatke, stare gume i kanalizacioni mulj, koji najčešće zahtijevaju poseban tretman.

Sastav otpadaka varira od grada do grada, ovisno o veličini i razvijenosti grada, strukturi stanovništva, učešću industrijskih otpadaka, razvijenosti toplifikacije i nizu drugih faktora.

Rastom i razvojem grada sastav otpadaka se mijenja. Kao primjer prikazan je u tablici 1. sastav otpadaka grada Zagreba za dva mjerenja obavljena u razmaku od 10 godina.

Tablica 1. Sastav otpadaka grada Zagreba

Komponenta	Sastav (% težinski)	
	1968.	1978.
1. papir i karton	13,2	30,6
2. tekstil	1,3	3,9
3. drvo	0,3	3,9
4. plastika	0,4	9,2
5. željezo	0,7	3,0
6. guma	0,6	1,1
7. staklo	3,3	5,9
8. koža i kosti	2,8	1,5
9. građevinski materijal	2,8	1,4
10. organski i ostali otpaci	74,6	39,5
Ukupno	100,0	100,0

Iz tablice je uočljiv trend promjene sastava. Bitno je poraslo učešće kvalitetnijih a ujedno i kaloričnijih otpadaka (papir, tekstil, drvo, plastika itd.), a učešće nekvalitetnijih, tj. organskih (ostaci hrane, pepela i sl.) i ostalih otpadaka gotovo je prepolovljeno.

Važnije karakteristike krutih gradskih otpadaka prikazane su u tablici 2.

Tablica 2. Karakteristike krutih gradskih otpadaka

	Raspon vrijednosti	Trend promjena
Donja ogrjevna vrijednost (kJ/kg)	5000-10000	porast
Specifična količina (kg/god. stan.)	200-500	porast
Sadržaj vlage (% težinski)	30-60	smanjenje
Specifična težina (kg/m³)	150-300	smanjenje

Porastom grada u pravilu rastu ogrjevna vrijednost i specifična količina, a smanjuju se sadržaj vlage i specifična težina.

Sastav i karakteristike gradskih otpadaka različiti su za razne dijelove istog grada, što je uvjetovano strukturom pojedinih dijelova grada (učešće industrije, javnih ustanova itd.) i stupnjem toplifikacije. Varijacije se javljaju i u toku godine — zimi su otpaci kaloričniji i s manje vlage, a ljeti obratno.

3. POSTUPCI ZBRINJAVANJA

U sistemu krutih gradskih otpadaka tri su osnovne aktivnosti
- skupljanje
- transport i
- zbrinjavanje.

Zbrinjavanje ili konačno rješenje najvažnija je aktivnost. U nastojanju da se problem riješi što higijenskije i ekonomičnije, u svijetu su isprobani brojni postupci zbrinjavanja otpadaka. Isključimo li razne specijalizirane postupke u razvoju (piroliza, proizvodnja, digestija, goriva itd.), koji uglavnom dosada nisu ispunili očekivanja, preostaju sljedeći postupci zbrinjavanja gradskih otpadaka:

a) *deponiranje (nekontrolirano i kontrolirano) odnosno odlaganje na neuređene ili uređene deponije*

To je najstariji i najprošireniji postupak zbrinjavanja otpadaka, koji međutim za veće gradove zbog higijenskih, prostornih i transportnih problema postaje sve teže prihvatljiv, pogotovo nekontrolirano deponiranje.

b) *spaljivanje otpadaka*
   - bez proizvodnje energije ili
   - s proizvodnjom energije (reciklaža energije otpadaka, toplana na otpatke)

Spaljivanje otpadaka je vrlo stari postupak. Prve spalionice pojavile su se prije više od 100 godina, a prve toplane na otpatke početkom ovoga stoljeća u New Yorku i Hamburgu. Zadnjih 20-ak godina, a posebno nakon naftne krize u gradovima razvijenijih zemalja, grade se gotovo isključivo spalionice s proizvodnjom energije odnosno toplane na otpatke. Tehnologija spaljivanja, uključivši mjere zaštite okoline, danas je zrela tehnologija.

Spaljivanje otpadaka je redovito vezano s recikliranjem sekundarnih sirovina — željeza (»šrot«) nakon spaljivanja i eventualno šljaka za cestogradnju. Ponekad se primjenjuje i sortiranje prije spaljivanja.

Danas se u 30-ak zemalja svijeta nalazi u pogonu nekoliko tisuća spalionica, od kojih je preko 300 s proizvodnjom energije, a nove se grade i planiraju. U Japanu se oko 60% svih gradskih otpadaka spaljuje, a u zemljama evropske zajednice oko 30% (lit. 1).

Tehnologija spaljivanja otpadaka ne razlikuje se bitnije od one za ugljen, tako da za ovladavanje domaćih proizvođača kotlova i projektanata tim proizvodima ne bi trebao biti pretjerano dug i kompliciran postupak.

c) *recikliranje sirovina*
   - sortiranje na izvoru i/ili
   - reciklaža sirovina.

Recikliranje sirovina je noviji trend kojim se nastoji iz otpadaka izvući što više sekundarnih sirovina za ponovnu upotrebu.

Sortiranje na izvoru primjenjuje se već duže vremena, posebno za industrijske otpatke, a u novije vrijeme i za kućne otpatke (papir, staklo itd.).

Ono se obično kombinira s jednim od drugih postupaka. Nije potrebna uvozna tehnologija, nego dobra organizacija rada.

Reciklaža sirovina iz otpadaka noviji je postupak, od kojeg se 70-ih godina u razvijenijim zemljama mnogo očekivalo. Postupak se sastoji od 2 faze:
- sortiranja otpadaka,
- rafinacija i oplemenjivanja u više linija (papirna pulpa, stakleni krš, granulirana plastika, željezo, neželjezni metali, kompost itd.).

Ostatak reciklaže, koji nije beznačajan, ide ili na spaljivanje ili na deponiju.

Do sada je izgrađeno nekoliko reciklaža sirovina, a prva pogonska iskustva nisu ispunila očekivanja (npr. reciklaža Beč). Osnovni problemi koji su doveli do stagnacije razvoja reciklaža sirovina jesu:
- nedovoljno razvijena tehnologija ne osigurava traženu čistoću sekundarnih sirovina
- osiguranje kontinuiranog plasmana proizvoda
- veliki utrošak električne energije itd.

Osim toga, reciklaža sirovina može dobrim dijelom biti nadomještena sortiranjem na izvoru.

Usporedba postupaka zbrinjavanja zahtijeva kompleksnu analizu i vrednovanje na bazi kriterija kao što su ekonomičnost, zaštita okoline, oprobanost tehnologije, lokacija objekta, domaće učešće, sekundarne sirovine itd.

No, već nam broj izvedenih spalionica otpadaka u odnosu na reciklaže sirovina govori da se većina gradova razvijenijih zemalja opredijelila za taj postupak zbrinjavanja gradskih otpadaka.

4. PROCJENA KOLIČINA I ENERGETSKOG POTENCIJALA GRADSKIH OTPADAKA U JUGOSLAVIJI

Na bazi iskustava razvijenijih zemalja toplane na otpatke su u principu interesantne za gradove preko 100000 stanovnika s odgovarajućim toplinskim konzumom, ponajprije tehnološkim, ali i ogrjevnim. Gradovi 50-100000 stanovnika mogu tu također naći svoj interes, pogotovo ako imaju razvijen sistem grijanja ili industriju, koja u procesu proizvodnje traži veće količine toplinske energije.

U razvijenim zemljama nisu rijetki slučajevi da više bliskih urbanih sredina zajednički rješava taj problem (regionalna spalionica otpadaka).

Prema raspoloživim statističkim podacima i procjenama na bazi dosadašnjih indeksa rasta gradova, dolazimo do narednog popisa gradova Jugoslavije s više od 100000 stanovnika (za godine popisa stanovništva):

1961: 8 gradova — Beograd, Zagreb, Skopje, Sarajevo, Ljubljana, Split, Novi Sad i Rijeka

1971: 9 gradova — prethodni plus Niš.

1981: 14 gradova — prethodni plus Osijek, Maribor, Banja Luka, Priština i Subotica

1991: 18 gradova — prethodni plus Titograd, Kragujevac, Zadar i Bitola.

2001: 31 grad — prethodni plus Zenica, Tuzla, Zrenjanin, Pančevo, Mostar, Kumanovo, Titova Mitrovica, Peč, Prizren, Vukovar-Borovo, Smederevo, Titovo Užice i Sisak.

Do količine otpadaka u gradovima Jugoslavije, a preko toga do energetskog potencijala gradskih otpadaka, doći ćemo pomoću broja stanovnika.

U tablici 3. prikazani su relevantni podaci o broju stanovnika u gradovima Jugoslavije na bazi podataka iz popisa stanovništva i procjena indeksa rasta.

Tablica 3. Broj stanovnika u gradovima SFR Jugoslavije (10^6 stanovnika)

Godina	1961.	1971.	1981.	1991.	2001.	Indeks 1971/61.
SFR Jugoslavija	18,55	20,52	22,43	24,2	25,7	1,106
Gradsko stanovništvo	5,25 (28,3%)	7,92 (38,6%)	10,63 (47,4%)	13,55 (56%)	16,7 (65%)	1,509
Gradovi preko 100000 stanovnika	8 1,824 (9,8%)	9 2,597 (12,7%)	14 4,053 (18,1%)	18 5,858 (24,2%)	31 8,869 (34,5%)	1,424
Gradovi od 50 do 100000 stanovnika	6 0,426	13 0,902	26 1,677	44 2,98	37 2,7	2,117
Ukupno gradovi preko 50000 stanovnika	14 2,25 (12,1%)	22 3,5 (17,1%)	40 5,73 (25,6%)	62 8,84 (36,5%)	68 11,57 (45%)	1,555

Opaska: U rubrikama za gradove gornji broj znači broj gradova, srednji broj je broj stanovnika u 10^6, a donji je postotak udjela u ukupnom stanovništvu.

Koristeći se podacima o broju stanovnika iz tablice 3, kao i podacima o specifičnoj količini otpadaka iz tablice 2, uz pretpostavku o vremenskom rastu te vrijednosti, dolazimo do podataka o količinama otpadaka prikazanih u tablici 4.

Tablica 4. Količina otpadaka u gradovima SFR Jugoslavije (10^6 tona)

Godina	1961.	1971.	1981.	1991.	2001.	Indeks 1971/61.
Gradovi preko 100000 stan.	0,4	0,75	1,62	3,1	6,39	1,875
Gradovi od 50 do 100000 stanovnika	0,09	0,26	0,67	1,58	1,95	2,89
Ukupno gradovi preko 50000 stanovnika	0,49	1,01	2,29	4,68	8,34	2,06

Usporedbom indeksa rasta broja stanovnika i količine otpadaka može se uočiti da količina otpadaka brže raste od broja stanovnika, što je prethodno objašnjeno.

Koristeći se podacima o količinama otpadaka iz tablice 4, kao i podacima o donjoj ogrjevnoj vrijednosti otpadaka iz tablice 2, a uzimajući u obzir vremenski porast te vrijednosti, možemo izračunati energetski potencijal otpadaka. Rezultati proračuna izraženi u tonama mazuta prikazani su u tablici 5.

Tablica 5. Energetski potencijal otpadaka u gradovima SFR Jugoslavije (u 10^6 tona mazuta)

Godina	1961.	1971.	1981.	1991.	2001.	Indeks 1971/61.
Gradovi preko 100000 stan.	0,026	0,068	0,193	0,484	1,208	2,62
Gradovi od 50 do 100000 stanovnika	0,006	0,024	0,08	0,246	0,368	4,0
Ukupno gradovi preko 50000 stanovnika	0,032	0,092	0,273	0,73	1,576	2,88

Iz tablice 5 je vidljivo da energetski potencijal gradskih otpadaka raste relativno brzo, odnosno znatno brže od količine otpadaka, a pogotovo od broja stanovnika. To se ima pripisati tome što je energetski potencijal rezultat umnoška količine i ogrjevne vrijednosti otpadaka. Obje veličine s vremenom rastu.

Naravno da se predviđanja porasta broja stanovnika, količine i energetskog potencijala otpadaka i ne moraju ostvariti u iskazanim iznosima.

No, sve da porast bude i manji od predviđenog, ipak se tu radi o značajnom energetskom potencijalu, kojim bi se mogle uštedjeti ne baš zanemarive količine uvoznih goriva.

5. UŠTEDA FOSILNIH GORIVA

Ako se energetski potencijal gradskih otpadaka iskoristi za proizvodnju toplinske energije u spalionicama — toplanama, mogla bi se uštedjeti određena količina fosilnih goriva.

Danas se kod nas u gradskim i industrijskim toplanama pretežno koriste tekuća i plinovita goriva, koja su dobrim dijelom uvoznog porijekla. Teško je očekivati nagli i sveobuhvatni zaokret prema korištenju ugljena u toplanama s obzirom na ekologiju, tradiciju, transportne troškove ugljena od rudnika do toplana itd.

Uz pretpostavku da se energetski potencijal otpadaka iskoristi 80-100% u gradskim i industrijskim toplanama, po današnjim cijenama mazuta na svjetskom tržištu moguće su devizne uštede prikazane u tablici 6.

Tablica 6. Moguće uštede deviznih sredstava korištenjem gradskih otpadaka u toplanama Jugoslavije

(u 10^6 US$)

Godina	1981.	1991.	2001.
Gradovi preko 100000 stanovnika	30,9-38,6	77,4-96,8	193,3-241,6
Gradovi od 50 do 100000 stanovnika	12,8-16	39,4-49,2	58,9- 73,6
Ukupno gradovi preko 50000 stanovnika	43,7-54,6	116,8-146	252,2-315,2

Napomena: Referentna godina za cijene je 1981.

Kao što se vidi iz tablice 6. mogućnosti uštede deviznih sredstava ili njihove dinarske protuvrijednosti korištenjem gradskih otpadaka u toplanama Jugoslavije nisu neznačajne. One će ostati za nas značajne i u slučaju određenog pojeftinjenja nafte na svjetskom tržištu.

6. ZAKLJUČAK

Spalionice — toplane na otpatke postali su uobičajeni objekti u gradovima razvijenijih zemalja. Njima se rješavaju dva značajna gradska problema — higijenska likvidacija otpadaka i pokrivanje dijela energetskih potreba grada.

Ideja nije ni kod nas nova (lit. 3), ali su danas uvjeti u toj mjeri sazreli da nema većih zapreka njenoj realizaciji.

Izgradnjom spalionica — toplana kod nas u gradovima koji imaju više od 100000 (50000) stanovnika bilo bi moguće uštedjeti fosilnog goriva za toplane koja izraženo kroz ekvivalent mazuta iznosi:

— 1991. godine: 484000 (730000) t mazuta godišnje

— 2002. godine: 1208000 (1576000) t mazuta godišnje.

U našoj današnjoj energetskoj situaciji to nikako nisu zanemarive količine goriva.

Sistematskim i koordiniranim pristupom tome problemu svih većih i srednjih gradova Jugoslavije domaća industrija i projektanti vrlo bi brzo mogli usvojiti tehnologiju spaljivanja otpadaka i time stvoriti neovisnost o uvozu na tom području.

LITERATURA

[1] K. J. Thomé — Kozmiensky, *International Recycling Congress,* Berlin 1982, Zbornik radova

[2] E. Keller, *Abfallwirtschaft und Recycling-Probleme und Praxis,* Verlag M. Girardet, Essen, 1977.

[3] V. Potočnik, *Gradski otpaci kao energetsko gorivo,* Energija 17 (1968), br. 1-2

KEY WORDS: TOWN WASTE, INCINERATION-HEATING PLANT, FUEL SAVING

TOWN WASTE — FUEL FOR HEATING PLANTS

Possible utilization of solid waste as a fuel for district heating plants in Yugoslavian towns, trying to solve primary sanitary problem more economically. Potential saving of mainly imported fuels by firing town waste in heating plants are analyzed.

STADTABFÄLLE — EIN BRENNSTOFF FÜR DIE HEIZWERKE

Man betrachtet die Möglichkeit den Stadtabfälle als Brennstoff in den Heizwerken Jugoslawiens auszunützen, so dass dieses grundsätzlich sanitäres Problem in eine wirtschaftlichere Weise zu lösen wäre. Mögliche Einsparungen an den vorwiegend importierten. Brennstoffe mittels der Verbrennung den Stadtabfälle sind analysiert.

ГОРОДСКИЙ ОТБРОСЫ — ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ ТЕПЛОЦЕНТРАЛЕЙ

Рассматривается возможность использования твердых городских отхросов в калестве топлива для й городов. Югославии и таким образом в первую очередь санитарную проблему самым экономичным образом. Указывается на возможную экономию импортного топлива при использовании городских отбросов в теплоцентралях.

Naslov pisca:

Mr Vladimir Potočnik »Elektroprojekt«, Proleterskih brigada 37, 41000 Zagreb

Uredništvo primilo rukopis, 1983-01-06

PRELAZAK RAZDJELNE MREŽE »ELEKTROISTRE« PULA NA UZEMLJENJE ZVJEZDIŠTA PREKO DJELATNOG OTPORA NISKE VRIJEDNOSTI

Luciano Delbianco, Pula

UDK 621.316.1

PREGLEDNI RAD

Opisan je tok provedbe uzemljenja zvjezdišta u visokonaponskoj mreži Istre, pogonska iskustva, načini uzemljenja i oblici uzemljivača. Navedeni su rezultati mjerenja otpora uzemljenja i visine prenapona prilikom zemnog spoja, kao i predviđeni daljnji radovi na uzemljenju zvjezdišta prvenstveno na naponskom nivou 10 kV i 20 kV.

Ključne riječi: električna mreža, prenaponi, uzemljenje, uzemljivači.

UVOD

U većem dijelu SR Hrvatske već se više godina priprema prijelaz pogona razdjelnih srednjonaponskih mreža s izoliranim zvjezdištem na pogon s uzemljenim zvjezdištem, i to pomoću djelatnog otpora niske vrijednosti.

»Elektroistra« Pula bila je jedna od prvih distributivnih radnih organizacija koja je uzemljila 35 kV zvjezdište pomoću djelatnog otpora, uz ograničenje struje jednopolnog kvara na maksimalne vrijednosti od

— 300 A za mješovitu i nadzemnu mrežu
— 1000 A za kabelsku mrežu.

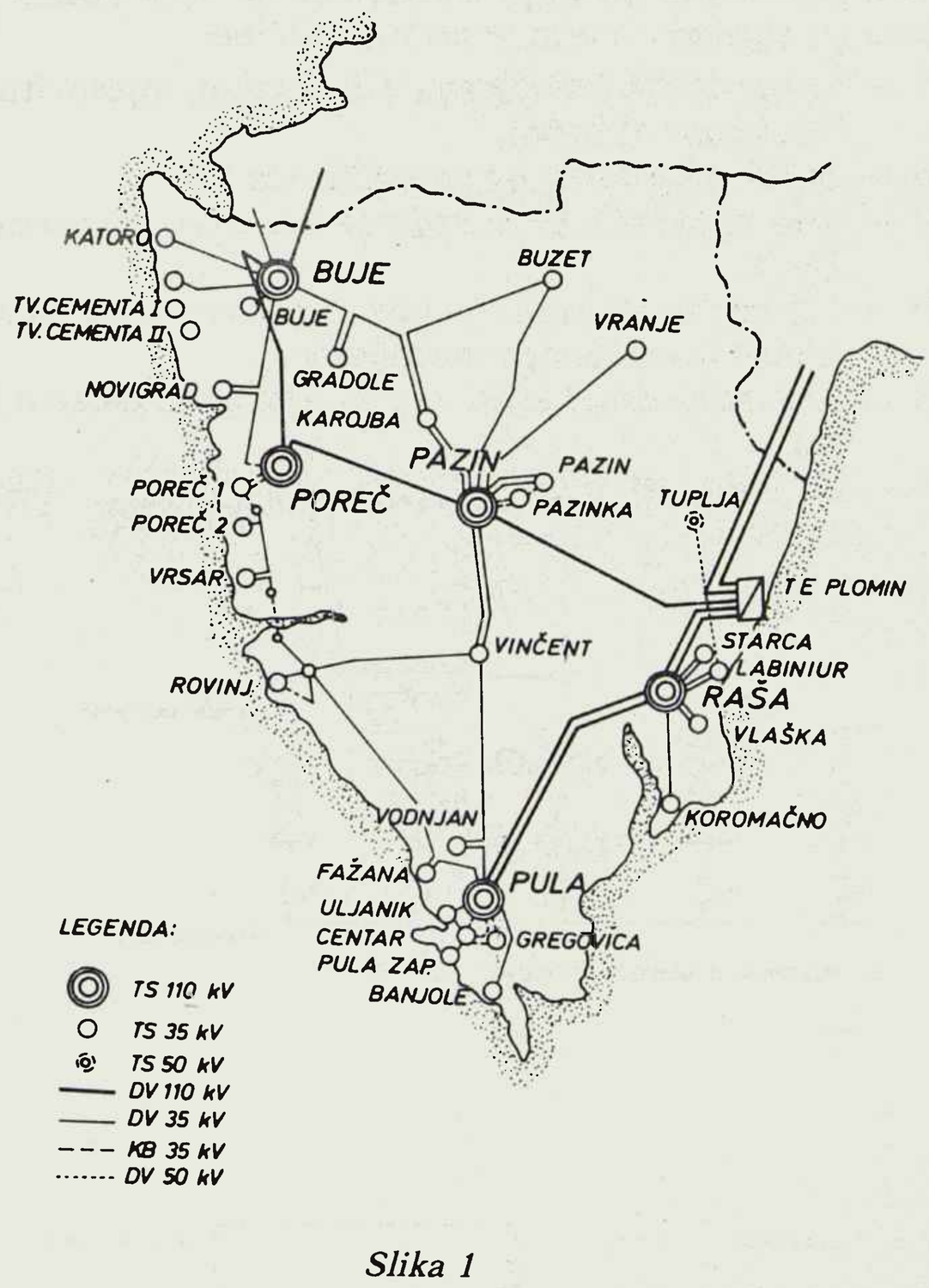
Razlog uzemljenja 35 kV zvjezdišta bio je, između ostalog, velik broj kvarova uzrokovanih unutrašnjim prenaponima kod zemljospojeva.

Velik broj kvarova prisutan je i u kabelskoj i u nadzemnoj 10(20) kV mreži. Uzrok tim kvarovima najčešće su, kako je već rečeno, unutrašnji prenaponi koji se javljaju pri pojavi zemljospojeva. Osim toga, kod prelaska 10 kV napona na 20 kV, struje zemljospoja se udvostručuju, a time su i mogućnosti nastajanja unutrašnjih prenapona još veće.

Otpornim uzemljenjem razdjelne mreže očekivalo se da će jedna od najvećih prednosti biti smanjenje unutrašnjih prenapona.

Mjerenjima prenapona u 35 kV mreži /2/ i pogonskim iskustvima dokazano je da uzemljenjem zvjezdišta preko djelatnih otpora niskih vrijednosti, kojima se struje jednopolnih kvarova ograničavaju na maksimalno 300 ili 1000 A, prenaponi nastali zbog jednopolnih kvarova nestaju ili svode na neopasne vrijednosti.

Dobra pogonska iskustva uzemljenja 35 kV mreže u Puli /3/ potakla su uzemljenja i 35 kV zvjezdišta TS 110/35 kV Pazin (70 Ω, 300 A) i TS 110/35/10 kV Poreč (70 Ω, 300 A), a provode se pripreme i za uzemljenje TS 110/35 kV Buja i Raše (70 Ω, 300 A) (sl. 1).



Slika 1

Iz istih se razloga prelazi i na uzemljenje 10(20) kV mreže »Elektroistre« Pula, za koje se također nastoje zadržati ista ograničenja struja jednopolnih kvarova (manji prenaponi, sigurnije djelovanje zaštite i dr.).

Međutim, kod ograničenja struja na 300 ili 1000 A mogu se na uzemljivačima TS pojaviti nedozvoljeno visoki potencijali koji mogu uzrokovati opasne napone dodira u TS i izvan nje. Ove su pojave mnogo opasnije za 10(20) kV mreže, jer se visoki naponi dodira mogu pojaviti zbog primjene nulovanja na uzemljenim kućištima n.n. potrošača.

Da bi se izbjegle spomenute opasnosti i zadržale visoke vrijednosti struja jednopolnih kvarova, potrebni su takvi uzemljivači razdjelnih mreža koji ni u najnepovoljnijem slučaju (jednopolni kvar u blizini pojne točke) na uzemljenim objektima srednjeg i niskog napona ne uvjetuju pojavu opasnih napona dodira ili koraka.

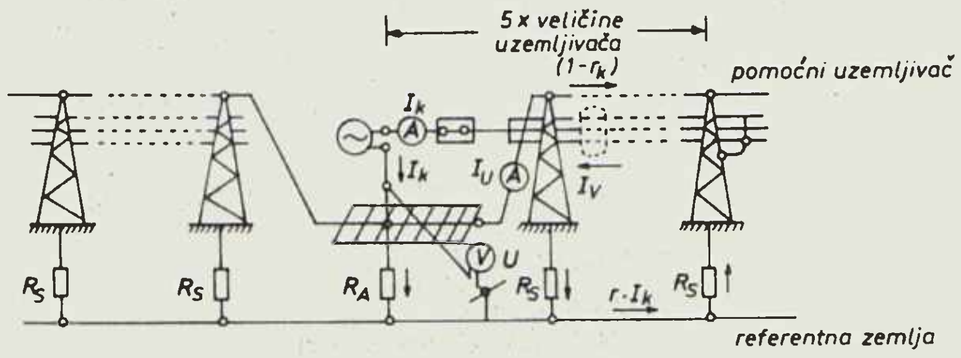
Budući da su uzemljivači i uzemljenja jedan od najvećih prepreka prelaska s izoliranog pogona zvjezdišta na uzemljeno zvjezdište, ovaj je članak posvećen isključivo ovoj problematici.

1. OPSEG MJERENJA KARAKTERISTIČNIH VELIČINA UZEMLJIVAČA

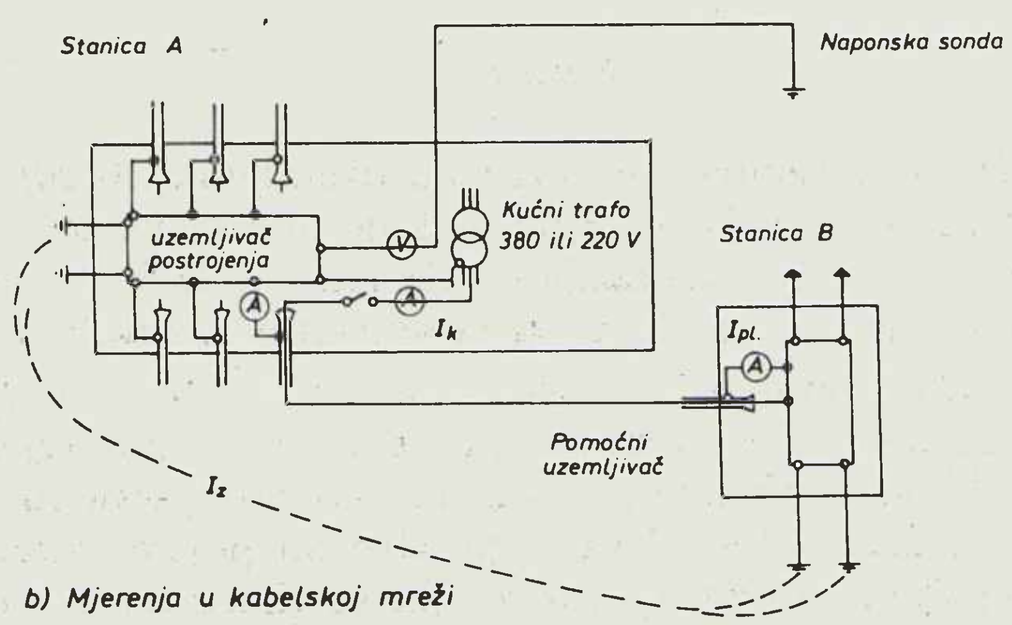
U sklopu priprema za navedeni prelazak izolirane razdjelne mreže »Elektroistre« Pula na pogon s uzemljenim zvjezdištem obavljene su na sistemu uzemljenja brojna mjerenja.

Za mjerenja korištena je U-I metoda (sl. 2), a obuhvaćene su sljedeće karakteristične veličine:

A — impendacija uzemljenja u kabelskoj, mješovitoj i nadzemnoj mreži,
B — otpor rasprostiranja uzemljivača TS,
C — utjecaj kabela na smanjenje impedancije uzemljenja,
D — utjecaj uzemljenih nadzemnih vodova na smanjenje impedancije uzemljenja,
E — naponi dodira i koraka u 35, 10(20) odnosno 0,4 kV,
F — ekvipotencijalne linije TS 10(20)/0,4 kV,
G — utjecaj impedancije uzemljenja niskonaponske mreže u sistemu uzemljenja 10(20) kV,
H — redukcijski faktor kabela.



a) Mjerenja u nadzemnoj mreži



b) Mjerenja u kabelskoj mreži

Slika 2. Mjerenje karakteristika uzemljivača U-I metodom

2. RAZDJELNA 35 kV MREŽA

U razdjelnim 35 kV mrežama pojavljuju se tri vrste mreža i to:

— kabelska
— mješovita
— nadzemna.

Svaka od ovih mreža utječe svojim karakteristikama na veličinu i oblik uzemljivača u TS 35/10(20) kV.

2.1. Kabelska 35 kV mreža

Karakteristično je za kabelske mreže sljedeće:

— nalaze se u blizini izvora, tj. u blizini TS 110/35 kV,
— TS 35/10(20) kV u kabelskim mrežama smještene su u gradovima i malih su površina
— pogonska i zaštitna uzemljenja u TS 35/10(20) kV spojena su na zajednički uzemljivač
— uzemljivači su putem metalnih plašteva kabela međusobno povezani u jedinstveni uzemljivački sistem.

2.2. Mješovita 35 kV mreža

Mješovita se mreža sastoji od elemenata kabelske i nadzemne mreže i ima ova svojstva:

— TS 35/10(20) kV u mješovitim mrežama smještene su na prigradskim područjima
— pogonska i zaštitna uzemljenja spojena su na zajednički uzemljivač.

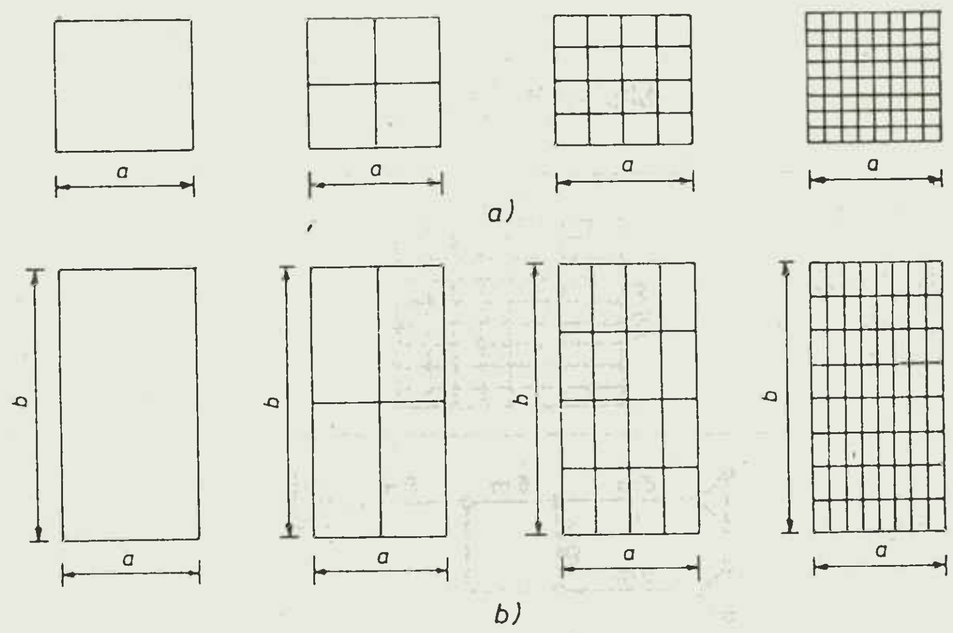
2.3. Nadzemna 35 kV mreža

Za ovaj tip mreže karakteristično je sljedeće:

— obično su izvan gradova, a TS 35/10(20) kV su udaljene od pojne točke
— nadzemni su dalekovodi izgrađeni na željeznim stupovima sa zaštitnim vodičima
— pogonska i zaštitna uzemljenja u TS 35/10(20) kV spojena su na zajednički uzemljivač.

2.4. Uzemljivači TS 35/10(20) kV

Uzemljivači TS 35/10(20) kV najčešće su mrežasti, kvadratnog ili pravokutnog oblika, bez vertikalnih elektroda (sl. 3). Kao uzemljivački materijal upotrebljava se bakar ili pocinčana čelična traka.

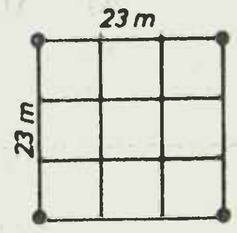
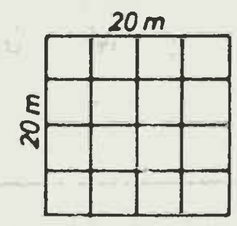
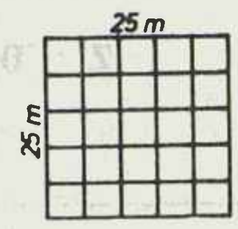
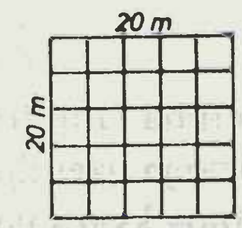
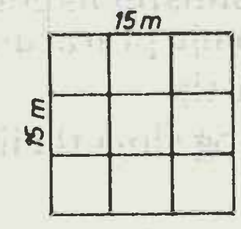
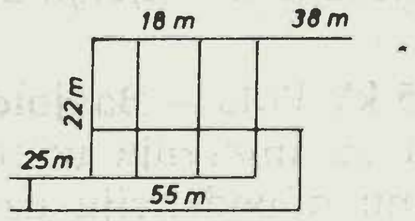
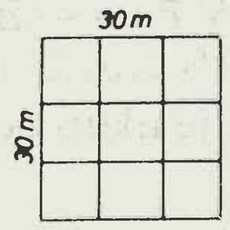


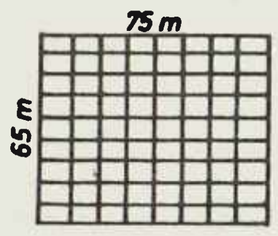
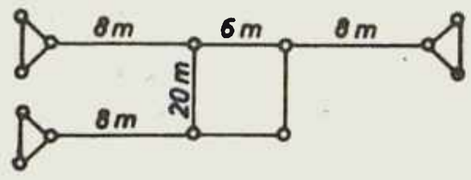
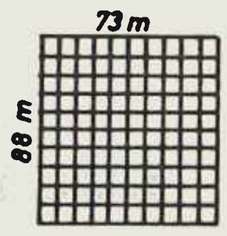
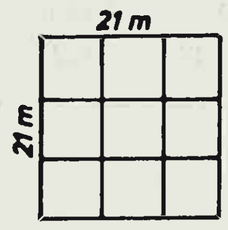
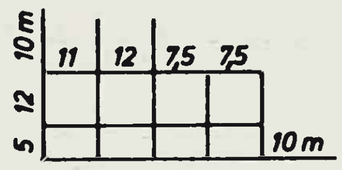
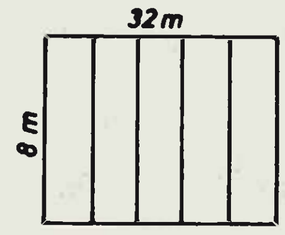
Slika 3. Tipični mrežasti uzemljivači TS 35/10(20) kV

2.5. Rezultati mjerenja

U tablici 1. prikazani su rezultati mjerenja karakterističnih veličina uzemljivača TS 35/10(20) kV u mreži »Elektroistre« Pula.

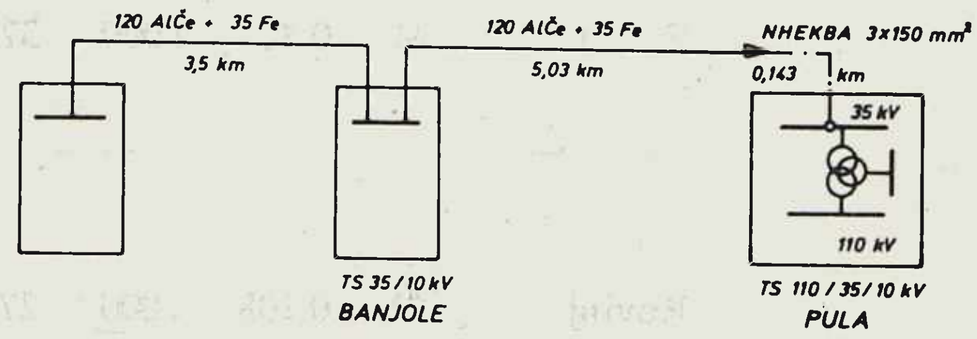
Tablica 1. Prikaz izmjerenih karakterističnih veličina uzemljivača

Naziv TS 35/10 kV	Vrsta mreže	R_{uz}	I_{1PKmax}	U_{dmax}	ρ	h	Skica uzemljivača
		Ω	A	V	Ωm	m	
Centar[1]	K	0,02	1000	30	$\rho_1 = 280$ $\rho_2 = 330$ $\rho_3 = 15$	$h_1 = 1$ $h_2 = 1,4$	
Pula zapad	K	0,265	1000	60	$\rho_1 = 175$ $\rho_2 = 87,5$ $\rho_3 = 25$	$h_1 = 0,85$ $h_2 = 3,8$	
Banjole	M	0,911	1000	41,5	300	0,8	
Fažana	M	0,3	1000	37	$\rho_1 = 280$ $\rho_2 = 860$	$h_1 = 0,9$	
Rovinj	M	0,108	1000	27	$\rho_1 = 180$ $\rho_2 = 700$ $\rho_3 = 50$	$h_1 = 0,8$ $h_2 = 2,8$	
Vrsar	M	1,73	300	38	—	—	—
Poreč I	M	0,3	300	4,3	103	2,75	
Poreč II	M	0,962	300	36	128	0,5	

Naziv TS 35/10 kV	Vrsta mreže	R_{uz}	I_{1PKmax}	U_{dmax}	ρ	h	Skica uzemljivača
		Ω	A	V	Ωm	m	
Novigrad	M	1,09	300	24	$\rho_1 = 720$ $\rho_2 = 1500$	$h_1 = 1,5$ $h_2 =$	
Umag[2]	M	0,48	300	3,2	300	1	
Karojba	N	1,63	300	36	240	2,75	
Pazin	M	0,14	300	38	235	2,75	
Buzet	M	0,2	300	16,2	249	2,75	
Vranje	Z	0,34	300	17,6			

K.N.M. — kabelska, nadzemna i mješovita mreža
R_{uz} — otpor rasprostiranja uzemljivača
I_{1PKmax} — struja jednopolnog kvara u pojnoj točki
U_{dmax} — izmjereni maksimalni napon dodira unutar ograde postrojenja preračunat na struju I_{1PK}
ρ — specifični otpor tla
h — dubina pojedinog sloja tla ili dubina polaganja uzemljivača

Napomena: [1] Izmjerena vrijednost predstavlja impedanciju uzemljenja
[2] Mreža je izolirana.



Slika 4a.

2.5.1. *Mjerenje utjecaja uzemljenja dalekovoda*

U lit. /6/ za DV 35 kV Pula — Banjole — Premantura (sl. 4a) obavljena su mjerenja utjecaja uzemljenja stupova na ukupnu impedanciju uzemljenja. Za tu svrhu izvršen je u TS 35/10(20) kV Banjole kratki spoj vodiča na DV 35 kV Pula — Banjole, a napajanje je izvedeno sa 220 V iz TS 110/35/10 kV Pula (sl. 4b).

U-I metodom dobivena je ukupna impedancija uzemljenja TS i vodova

$$Zuz = 0,955\ (\Omega)$$

Uz odspojeno zaštitno uže DV 35 kV Banjole — Premantura zabilježena je ova impedancija:

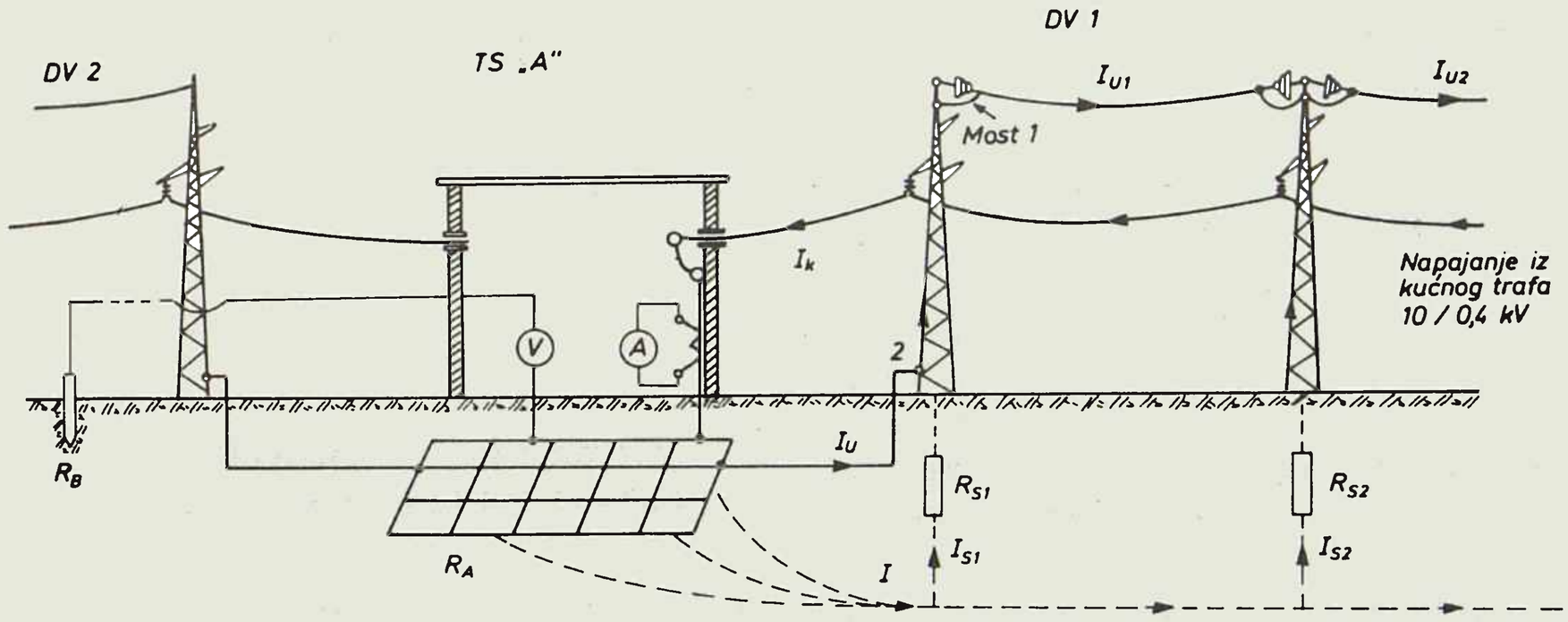
$$Zuz = 1,28\ (\Omega)$$

a uz odspojena oba zaštitna užeta

$$R_2 = 1,71\ (\Omega)$$

Vrijednost R_2 ujedno predstavlja i otpor rasprostiranja uzemljivača TS Banjole.

Dakle, u prvom je slučaju impedancija uzemljenja za 44%, a u drugom za 25% manja od otpora rasprostiranja uzemljivača TS.



Slika 4b. Mjerenje međusobnog utjecaja uzemljenja dalekovoda i trafo-stanice

2.6. Analiza rezultata mjerenja

Pregledom rezultata mjerenja može se zaključiti sljedeće:

- mrežastim horizontalnim uzemljivačima postižu se niske vrijednosti otpora rasprostiranja, blage promjene potencijala, kao i niske vrijednosti napona dodira
- kabeli s izoliranim metalnim plaštem (tipa XHP-48), a naročito kabeli s vodljivim metalnim plaštem (tipa IPZO-13) dobrim uzemljivačkim svojstvima bitno utječu na smanjenje impedancije uzemljenja TS
- navedeni kabeli imaju i relativno nizak redukcioni faktor (0,2-0,6), što znači da putem plašteva ili ekrana sudjeluju u odvođenju struje jednopolnog kvara, pa se i uvjeti za dimenzioniranje uzemljivača lakše zadovoljavaju
- uzemljivači stupova, koji su putem zaštitnog vodiča povezani s uzemljivačem TS, sudjeluju u smanjenju impedancije uzemljenja TS.

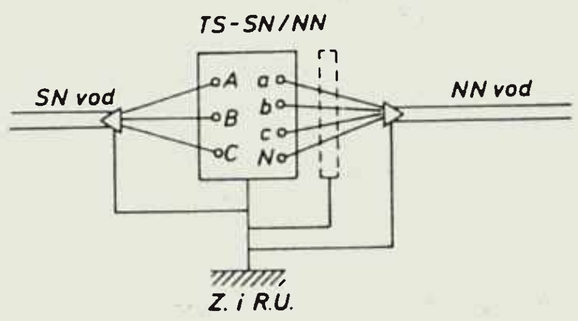
Zahvaljujući navedenim zaključcima, kao i malim korekcijama na uzemljivačima TS 35/10(20) kV, razdjelna 35 kV mreža »Elektroistre« Pula uzemljena je putem djelatnog otpora niske vrijednosti kojim se struja jednopolnog kvara ograničava na:

- 1000 A u kabelskim mrežama (TS 110/35/10 kV Pula)
- 300 A u ostalim mrežama (TS 110/35 kV Pazin, TS 110/35/10 kV Poreč).

3. RAZDJELNE 10(20) kV MREŽE

3.1. Kabelske 10(20) kV mreže

U kabelskim mrežama koje su karakteristične za urbanizirane sredine s razvijenim vodovodnim, plinskim i drugim metalnim instalacijama nemoguće je efikasno odvojiti pogonska i zaštitna uzemljenja TS 10(27)/0,4 kV, pa se ona redovito spajaju na zajednički uzemljivač (sl. 5).



Slika 5. Zajednički uzemljivač

Ako je u n.n. mreži, zbog zaštite od opasnih napona dodira, provedeno nulovanje ili zaštitno uzemljenje, na zajednički uzemljivač TS 10(20)/0,4 kV priključena je i impedancija uzemljenja n.n. mreže. Da bi se kod tih zajedničkih uzemljivača spriječila pojava opasnih napona dodira, impedancija uzemljenja Zuz mora biti

$$Z \leq \frac{Uddoz}{r \cdot I_{1p}}(\Omega)$$

gdje je:

r — redukcioni faktor pojnog kabelskog voda,

I_{1p} — ukupna struja jednopolnog kvara (A).

3.2. Mješovite 10(20) kV mreže

Mješovite su mreže karakteristične za prigradska naselja s više ili manje razvijenom metalnom podzemnom instalacijom (vodovodna, plinska i dr.). Da bi se u takvim mrežama u slučaju jednopolnog kvara na 10(20) kV strani izbjegli opasno visoki naponi dodira u mreži, najčešće se pogonska i zaštitna uzemljenja međusobno spajaju.

Međutim, ako se spomenuti uvjeti ne mogu ispuniti jer je izostao utjecaj zaštitnog vodiča ili zato što je n.n. mreža malena, potrebno je pogonska i zaštitna uzemljenja TS odvojiti.

U tom slučaju relacija treba glasiti:

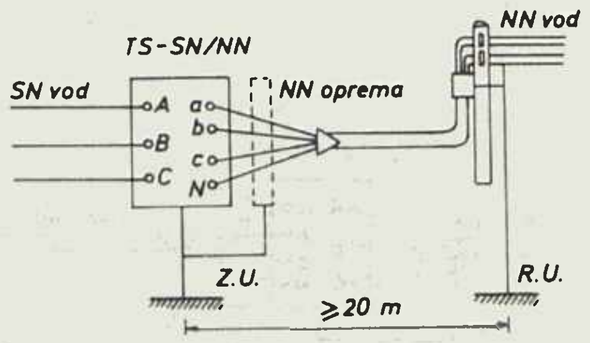
$$Ruz \leq \frac{1200}{r \cdot I_{1p}}(\Omega)$$

3.3. Nadzemne 10(20) kV mreže

Nadzemne mreže karakteristične su za izvangradska, odnosno seoska naselja u kojima, za razliku od gradskih, nije raširena podzemna metalna instalacija.

Osim toga, 10(20) kV vodovi ovih mreža izgrađeni su uglavnom na stupovima bez zaštitnog vodiča, dok je n.n. mreža skromnih veličina. Iz svega proizlazi da se u slučaju spajanja pogonskih i zaštitnih uzemljenja TS pojava opasnih napona dodira teško može spriječiti.

Zbog toga se u ovakvim mrežama često razdvajaju pogonska i zaštitna uzemljenja, i to prema sl. 6.



Slika 6. Primjeri razdvajanja pogonskog i zaštitnog uzemljenja

Kod ovog razdvajanja zaštitni uzemljivač TS treba dimenzionirati tako da na njemu i u najnepovoljnijem slučaju vlada napon:

$$Uuz = \chi_i Ui \qquad (V)$$

gdje je:

χ_i — koeficijent sigurnosti ($\chi \leq 1$), koji najčešće iznosi 0,6

Ui — ispitni izmjenični napon n.n. opreme (V), čija je vrijednost uglavnom 2000 V.

Otpor rasprostiranja zaštitnog uzemljivača, uzme li se u obzir prethodna relacija, iznosi:

$$Ruz \leq \frac{1200}{I_{1p}} \ (\Omega)$$

3.4. Mjerenja karakterističnih veličina uzemljivača u kabelskoj 10 kV mreži Pule

3.4.1. *Kabelska 10 kV mreža Pule*

10 kV kabelska mreža grada Pule je radijalna, a napaja se iz TS 110/35/10 kV Pula, TS 35/10 kV Centar, Pula zapad i Pula istok (sl. 1). Osim toga, Pula zapad napaja i jedan dio nadzemne 10 kV mreže /4/.

Zbog veće manevarske mogućnosti i sigurnije opskrbe potrošača električnom energijom, spomenuta je radijalna 10 kV mreža oblikovana tako da može raditi kratkotrajno i u petlji.

Karakteristično je da se razdjelna kabelska 10 kV mreža sastoji uglavnom od kabela s vodljivim metalnim plaštem (IPO-13 i IPZO-13), a niskonaponska mreža od kabela s PVC izolacijom i plaštem (PP 41), (tabl. 2).

Zbog velikih struja zemljospoja (tabl. 2), te zbog relativno čestih kvarova uzrokovanih unutrašnjim prenaponima, kao i zbog ekonomske neopravdanosti galvanskog odvajanja mreže, u Puli se priprema prelazak na pogon 10 kV zvjezdišta preko djelatnog otpora niske vrijednosti.

Postepeno će se uzemljiti zvjezdišta 10 kV u TS 110/35/10 kV Pula, TS 35/10 kV Pula zapad i Centar. TS 35/10 kV Pula istok, kao što je već rečeno, napaja i jedan dio nadzemne mreže 10 kV, pa će, zasada, i dalje ostati s izoliranim zvjezdištem.

Tablica 2. Pregled instaliranih snaga transformatora u TS 10/0,4 kV i kabela 10 kV priključenih na TS 35/10 kV Pula zapad, centar i tercijar

Naziv TS 35/10 kV	TS 10/0,4 kV		Dužine kabela 10 kV u metrima							Izračunata struja
	Broj	Instalir. snaga	PP 43	IPO 13	IPO 13-A	PP 41	IPO 13	IPZO 13	IPO 13-A	
		MVA	NYFY 16	NKBA 16	NAKBA 50	NYBY 95	NKBA 95	NHEKBA 95	NAKBA 185	Iz
Pula zapad	34	16,92	64	132	530	334	6158	—	8815	25
Centar	57	29,35	—	—	—	1408	9140	348	12082	37
Tercijar	44	22,31	—	—	—	1560	2169	—	19660	40
UKUPNO	137	68,58	64	132	530	3302	17467	348	40557	—

3.4.2. *Rezultati mjerenja*

3.4.2.1. Uzemljivači u kabelskoj 10/0,4 kV mreži grada Pule

Na području razdjelne kabelske mreže Pule koristi se nekoliko tipova uzemljivača TS 10/0,4 kV.

Najčešći uzemljivači TS 10/0,4 kV jesu:

A — uzemljivači koji se sastoje od 2 do 3 pocinčane 30 × 3,5 ili 40 × 3 mm², a dužina pojedine trake iznosi oko 30 m,

B — uzemljivači koji se sastoje od jedne konture oko TS u kombinaciji sa 1-3 pocinčane željezne trake presjeka 30 × 3,5 ili 40 × 3 mm², a dužina pojedine trake iznosi oko 30 m,

G — temeljni uzemljivači TS u kombinaciji sa 1-3 trake prije navedenih dimenzija.

Mjerenja su vršena na uzemljivačima TS 10/0,4 kV, u većini slučajeva tipa B, koji se međusobno razlikuju po broju priključenih traka.

Na kraju, prije iznošenja rezultata mjerenja, spomenimo i uzemljiváče n.n. kabelske mreže Pule.

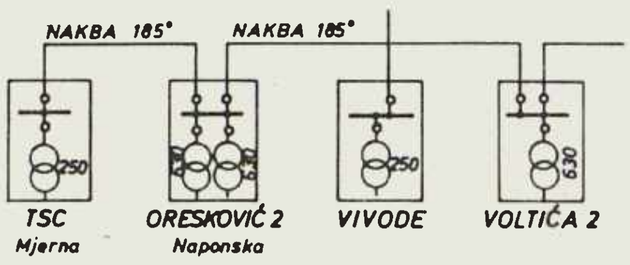
U principu postoje dva osnovna tipa uzemljivača, i to:

A — uzemljivači koji se polažu u kabelske kanale, a sastoje se od pocinčanih željeznih traka dužine 30-50 m,

B — temeljni uzemljivači u kombinaciji s uzemljivačima tipa A.

3.4.2.2. TS 10/0,4 kV TŠC

Shema napajanja TS TŠC prikazana je na slici 7.



Slika 7.

Kod normalnog pogonskog stanja, tj. uz spojene plašteve kabela i nulvodiča n.n. mreže na uzemljivač TS, dobiveni su ovi rezultati:

- stanja kratkog spoja — Ik = 72 A
- struja kroz olovni plašt napojnog kabela — Ipl = 51 A
- struja kroz uzemljivač — Iuz = 27 A
- razlika potencijala između uzemljivača i sonde na 100 m — U = 1,2 V

Impedancija uzemljenja:

$$Zuz = \frac{1,2}{72} = 0,017\ (\Omega)$$

Kada su svi plaštevi kabela i nulvodiči n.n. mreže odvojeni od uzemljivača TS, dobivene su sljedeće vrijednosti:

- struja kratkog spoja — Ik = 24,9 A
- razlika potencijala između uzemljivača i sonde udaljene 100 m — U = 1,6 V

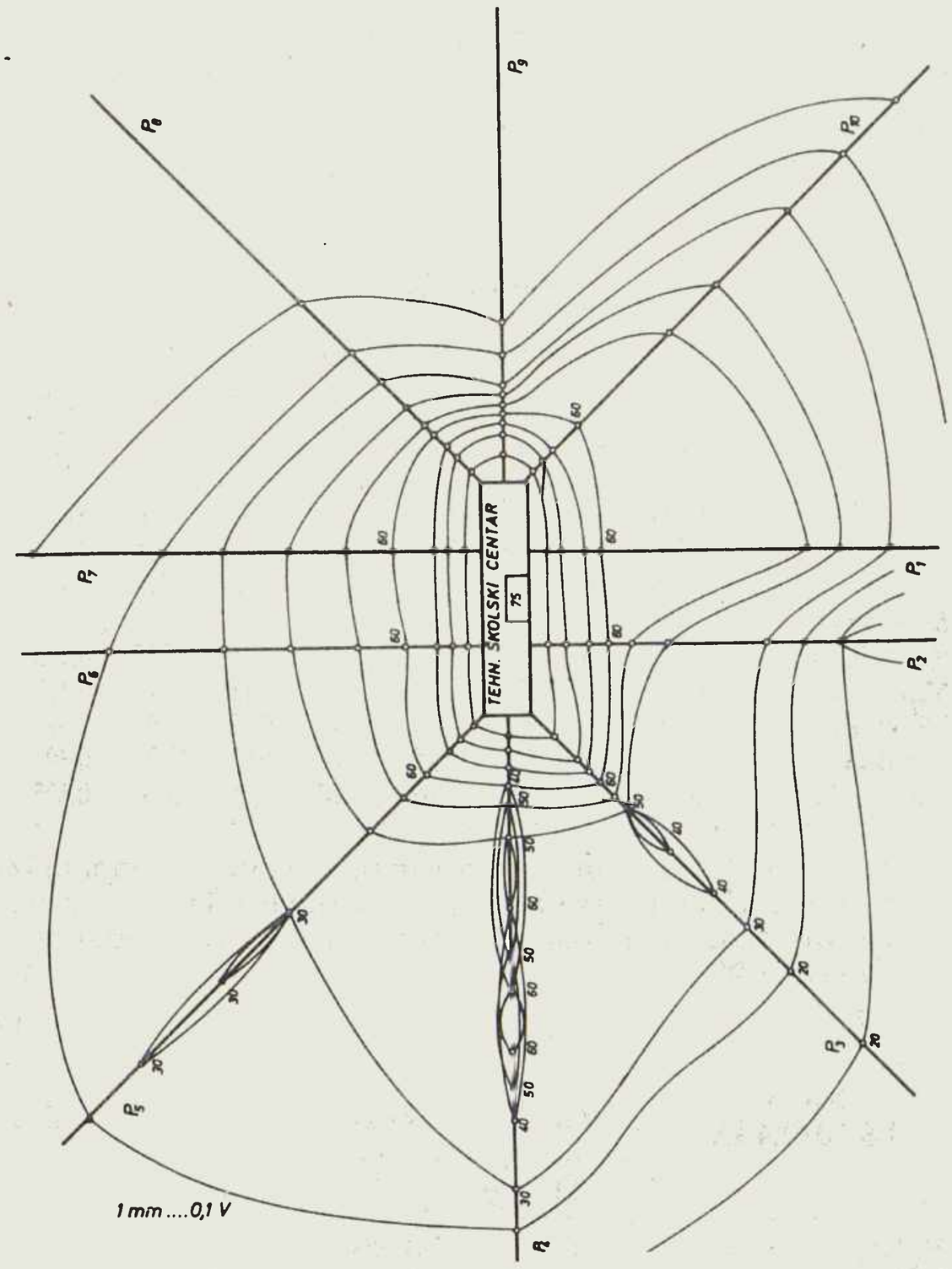
Impedancija uzemljenja:

$$Ruz = \frac{1,6}{24,9} = 0,064\ (\Omega)$$

Tako niska vrijednost otpora uzemljenja dokaz je da se u kabelskoj mreži uzemljenja ne mogu efikasno odvojiti.

Ekvipotencijalne linije snimane su u deset (10) pravaca (slika 8).

Na izmjerenoj impedanciji uzemljenja 0,017 Ω, u slučaju uzemljene nul-točke transformatora na 10 kV



Slika 8. Ekvipotencijalne linije za TS 10/0,4 kV TŠC

strani, uz ograničenje struje jednopolnog kvara na 1000 A /6/ pojavljuje se napon:

$$Uuz = I_{1pk}\, Zuz = 798 \cdot 0,017 = 13,6\ (V)$$

Ovaj je napon uzet kao referentan i na slici 8, a označen je sa 100%.

Izmjereni naponi dodira bili su zanemarivo mali.

3.4.2.3. Tabelarni prikaz rezultata mjerenja

Rezultati mjerenja na uzemljivačima kabelske 10 kV mreže grada Pule prikazani su u tablicama 3, 4, 5 i 6.

Oznake u tablicama znače:

Zuz	— impedancija uzemljenja TS (Ω)
Zuz_1	— impedancija uzemljenja uz odspojeni plašt napojnog kabela (Ω)
Zuz_2	— impedancija uzemljenja uz odspojene nul-vodiče niskonaponske mreže (Ω)
Zuz nn	— impedancija uzemljenja niskonaponske mreže (Ω)
Ruz	— otpor rasprostiranja uzemljivača (Ω)
Iz	— ukupna struja zemljospoja (A)
Iuz	— dio struje Iz koja prolazi kroz uzemljivač TS (A)
Ipl(ar)	— dio struje Iz koja prolazi kroz plašt (armaturu) kabela (A)

r — redukcijski faktor kabela
Uuz — potencijal uzemljivača TS (V)
Udmax — izmjeren maksimalan napon dodira (V)

Tablica 3.

Naziv TS 10/0,4 kV	Zuz	r	3Iomax = 300 A		3Iomax = 700 A		3Iomax = 1000 A	
			3Io	Zuz. doz.	3Io	Zuz. doz.	3Io	Zuz. doz.
	Ω	—	A	Ω	A	Ω	A	Ω
TŠC	0,017	0,2	278	1,17	592	0,55	798	0,41
Š. crkva	0,19	0,6	248	0,44	595	0,18	804	0,108
Sponza	0,061	0,6	269	0,403	594	0,182	713	0,152
Benz. pumpa								
Veli Vrh	0,125	0,6	270	0,40	558	0,194	737	0,145
M. Vlačića	0,038	0,6	275	0,39	581	0,186	777	0,139
Valturska	0,026	0,2	283	1,15	626	0,52	867	0,375
Karolina	0,012	0,2	281	1,16	608	0,535	828	0,39
Valsaline*	0,035	0,2	300	1,08	700	0,46	1000	0,325

* TS 10/0,4 kV Valsaline se u normalnom pogonu napaja iz TS 35/10 kV Pula istok (koja će i dalje imati izolirano zvjezdište, pa zbog toga nisu ni računate struje jednopolnih kvarova).

Tablica 4. Spojena pogonska i zaštitna uzemljenja

Naziv TS 10/0,4 kV	Ik	Iuz	Ipl(ar)	Uuz	Zuz	Udmax	Tip pojnog kabela
	A	A	A	V	Ω	V/A	
TŠC	72	27	51	1,2	0,017	0,003	IPO 13
Š. crkva	50,5	22	28	9,6	0,192	0,016	PP 41
Sponza	30	18	12	1,85	0,062	—	PP 41
Valsaline	51	13,5	40,5	1,8	0,035	0,012	IPO 13
M. Vlačić	46,5	—	14,4	1,75	0,038	—	PP 41
Benz. pumpa	48	—					
Veli Vrh	260	—	—	6	0,125	—	PP 41
Valturska	72	18	218	6,8	0,026	0,03	IPO 13
Karolina			61,5	0,85	0,012	—	IPO 13

Tablica 5

Naziv TS 10/0,4 kV	Zuz	Zuz_1	Zuz_2	Zuz_{nn}	Ruz	$\frac{Zuz_1}{Zuz}$	$\frac{Zuz_2}{Zuz}$	$\frac{Zuz_{nn}}{Zuz}$	$\frac{Ruz}{Zuz}$
	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	%	%	%	%
Valturska	0,026	0,034	—	—	—	131	—	—	— 377
TŠC	0,017	—	—	—	0,064	—	—	—	—
Š. crkva	0,192	0,413	—	0,413	—	215	—	215	—
Sponza	0,062	—	0,093	—	—	—	150	—	875
Karolina	0,012	—	—	0,042	0,105	—	—	350	—
Valsaline	0,102	0,27	—	0,28	—	265	—	275	

Oznake u tablici označuju:
Zuz — impedancija uzemljenja u (Ω)
Zuz_1 — impedancija uzemljenja uz odspojeni plašt napojnog kabela (Ω)
Zuz_2 — impedancija uzemljenja bez nul-vodiča niskonaponske mreže (Ω)
Zuz_{nn} — impedancija uzemljenja niskonaponske mreže (Ω)
Ruz — otpor rasprostiranja uzemljivača (Ω)

Tablica 6. Rezultati mjerenja redukcionih faktora kabela u srednjonaponskoj mreži »Elektroistre« Pula

Tip kabela i presjek (mm²)	I_z	I_p	I_{uz}	I_{ar}	Redukcioni faktor
	A	A	A	A	
NHEKBA (IPZO-13A)	336	306	47	24,6	0,14
3 × 150 Cu 35 kV	211	177	34	16,8	0,161
NAKBA (IPO-13A)	72	51	27	—	0,375
3 × 185 mm²	51	40,5	13,5	—	0,265
10 kV	260	218	42	—	0,162
NKBA (IPO-13A) 3 × 95 mm² 10 kV	72	61,5	18	—	0,25
NYBY	34,8	—	23,4	12,9	0,67
(PP 41)	48	—	30	18,6	0,625
3 × 95 mm²	50	—	22	28	0,44
10 kV	30	—	16,8	17,4	0,56
EHP 48-A 3 × 1 × 150/25 mm² 10 (20) kV	50	30	26	—	0,52

3.4.3 *Analiza rezultata mjerenja*

Analizirajući navedene tablice, može se zaključiti sljedeće:

a) impedancija uzemljenja ima vrlo nisku vrijednost u razdjelnoj kabelskoj mreži grada Pule,

b) kabeli tipa IPO izvršni su uzemljivači, a osim toga imaju i vrlo nizak redukcijski faktor,

c) kabeli tipa PP 41 i PP 43 (za 10 kV) loši su dodatni elementi uzemljivača, a uz to imaju i vrlo visok redukcijski faktor. Iako ti kabeli svojom čeličnom armaturom međusobno povezuju uzemljivače, njihov je doprinos u smanjenju impedancije uzemljenja malen, pa ih u 10 kV mrežama ne treba upotrebljavati,

d) veličina niskonaponske mreže bitno utječe na smanjenje impedancije uzemljenja,

e) oblik uzemljivača TS kao i količina uzemljivačke trake ne utječe bitno na veličinu impedancije uzemljenja,

f) pogonska i zaštitna uzemljenja praktički je nemoguće u takvim mrežama, efikasno razdvojiti,

e) opasnost je od napona dodira u n.n. i u 10 kV mreži, kao što je vidljivo iz tabl. 4, zanemajuruća.

U tablici je dozvoljena vrijednost impedancije spojenog uzemljenja računata s dozvoljenim naponom dodira 65 V (t = 1 sek), prema relaciji $Z \leq \frac{Uddoz}{r \cdot I_{1P}}$ (Ω). Od osam TS 10/0,4 kV, dvije imaju nedozvoljeno visoku impedanciju uzemljenja (TSŠ. Crkva i TS Benz. pumpa Veli Vrh), i to tek za struje jednopolnog kvara od 700 odnosno 1000 A.

3.5. Mjerenja karakterističnih veličina uzemljivača TS 10(20)/0,4 kV u nadzemnoj mreži »Elektroistra« Pula

3.5.1. *Nadzemna 10(20) kV mreža*

TS 10(20)/0,4 u mreži »Elektroistre« Pula napajaju se radijalno iz dvadesetak, uglavnom mješovitih TS 35/10(20) kV i jednog tercijara TS 110 kV Poreč čija su 10(20) kV zvjezdišta izolirana.

Zbog relativno velike 10(20) kV mreže struje zemljospoja prelaze 20 pa i 35 A (tercijar TS 110 kV Poreč i TS 35/10 kV Rovinj).

Navedene TS 10(20)/0,4 kV izvedene su u većini slučajeva na čelično-rešetkastom stupu ili su zidane (gradskog tipa ili tipa »tornjić«), a napajaju se preko drvenih betonskih i željezno-rešetkastih 10(20) kV stupova bez zaštitnog vodiča.

S obzirom na konfiguraciju i sastav tla u Istri, većina se TS 10(20)/0,4 kV nalazi na terenima s velikim specifičnim otporom ($\rho > 500\Omega$ m), iako ima i terena (dijelovi sjeverne i središnje Istre) sa $\rho < 100\Omega$ m.

Iako relativno visoke vrijednosti struje zemljospoja ispec. otpora tla otežavaju uvjete uzemljenja, u TS 10(20)/0,4 kV se izvode spojeni uzemljivači.

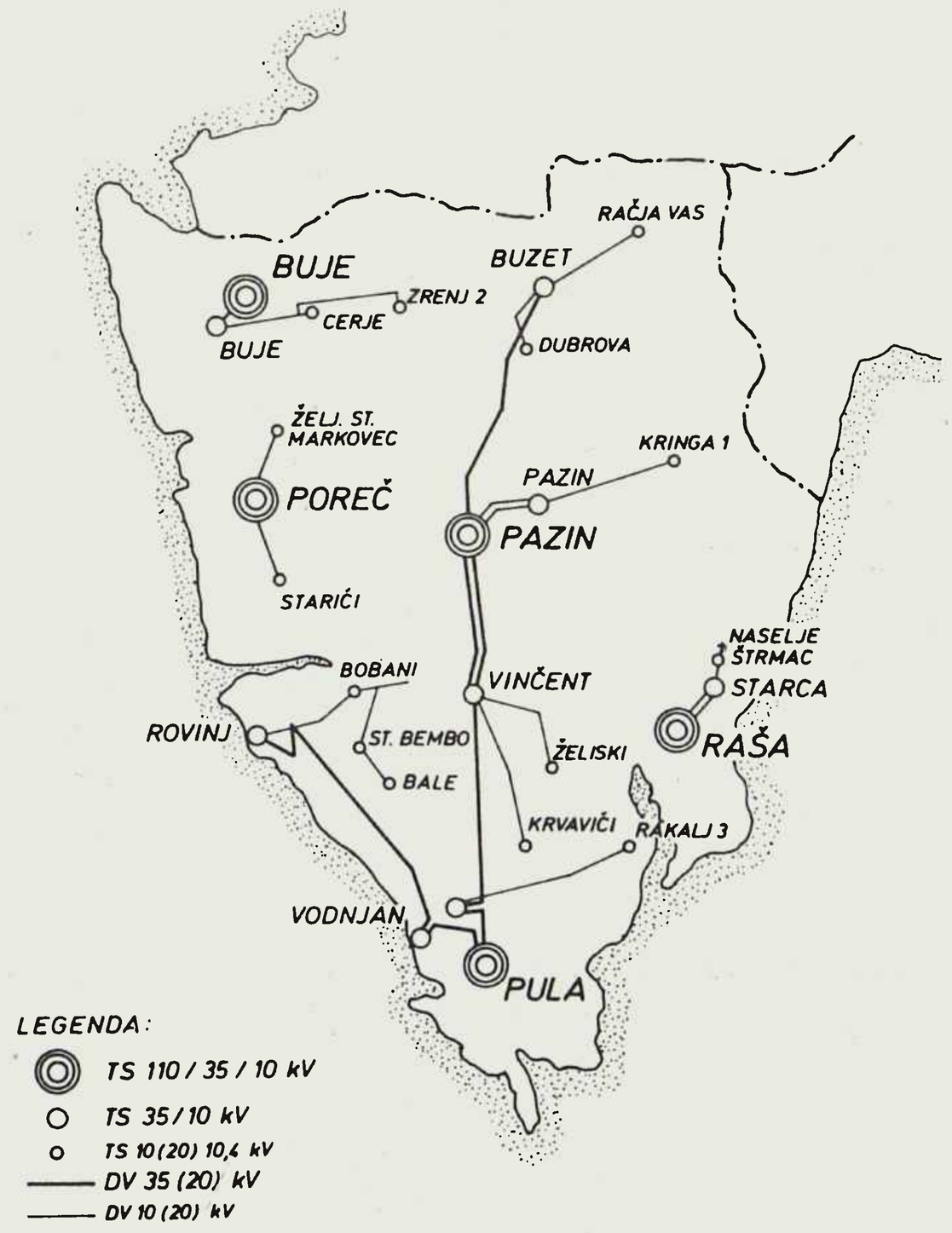
Pri tome se na uzemljivač TS, koji se najčešće izvodi u obliku 1-3 prstena (ili kontura) sa 2 i 4 Zn/Fe trake presjeka 30 × 3,5 mm, spajaju svi metalni dijelovi 10(20) kV-nih i niskonaponskih elemenata mreže (kućišta transformatora, metalni plaštevi ili ekrani kabela, odvodnici prenapona, nul-točka transf. na n.n. strani i sl.)

Budući da je u n.n. mreži »Elektroistre« Pula, kao zaštitna mjera od opasnog napona dodira, primijenjeno nulovanje, nul-vodič se također spaja na zajednički uzmeljivač TS.

3.5.2 *Rezultati mjerenja*

Mjerenja karakterističnih veličina uzemljivača izvršena su na TS 10(20)/0,4 kV prema sl. 9.

Pri tome su sve izabrane TS nadzemne, osim TS 10(20)/0,4 kV Naselje Štrmac koja je mješovita. Nadzemne TS imaju svakako najteže uvjete uzemljenja,



Slika 9. TS 10(20)/0,4 kV u mreži »Elektroistre« Pula, gdje su izvršena mjerenja karak. veličina uzemljivača

ali kako njih u 10(20) kV mreži »Elektroistre« ima najviše, dobiveni će rezultati ujedno biti i najmjerodavniji prilikom izbora otpornika za uzemljenje zvjezdišta, veličine uzemljivača u novim uvjetima uzemljenja, načina uzemljenja TS, zaštite n.n. mreže s obzirom na opasne napone dodira i dr.

3.5.3. *TS 10(20)/0,4 kV Krvavići*

Na slici 10. prikazana je stupna TS 10(20)/0,4 kV Krvavići:

Mjesto kratkog spoja napajano je sa 220 V iz TS 10(20)/0,4 kV Divšići po DV 10(20) kV Divšići – Krvavići (slika 11).

Potencijal uzemljivača mjeren je na pet pravaca prema slici 10, i to do 100 m udaljenosti od TS.

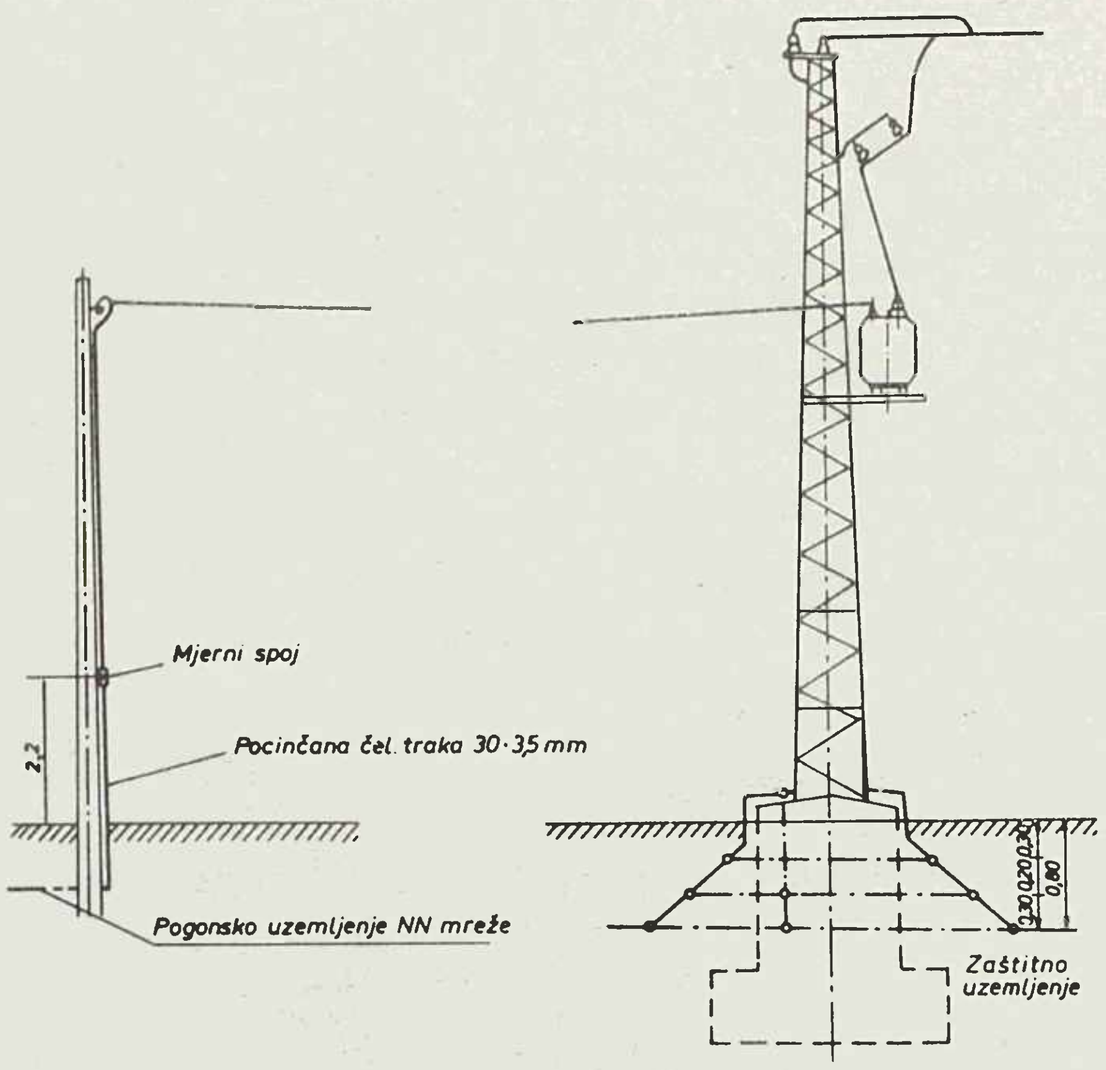
Najveći potencijal, kojim su računate karakteristične veličine uzemljivača, izmjeren je na pravcu P1.

a) Kod odvojenog pogonskog i zaštitnog uzemljenja dobivene su sljedeće vrijednosti:
   - struja kratkog spoja Ik = 25 A
   - potencijal uzemljivača Uuz = 135 V

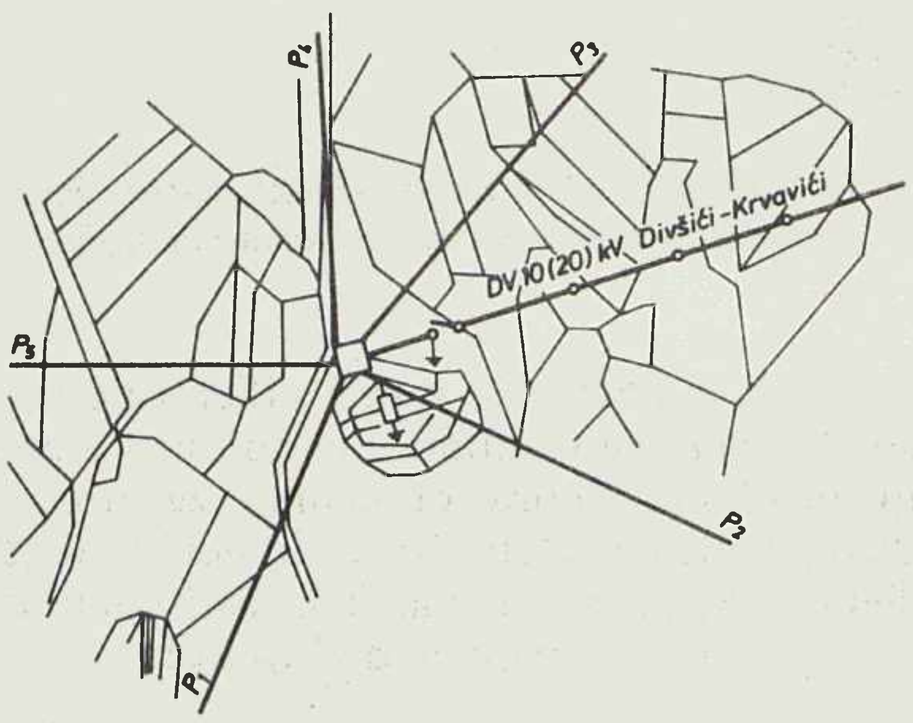
Otpor rasprostiranja uzemljivača iznosi:

$$Ruz = \frac{135}{25} = 5{,}4\ (\Omega)$$

Izmjereni naponi koraka i dodira dani su u tablici 7.



Slika 10. Stupna TS 10(20)/0,4 kV i n.n. drveni stup s pripadajućim uzemljivačima



Slika 11. TS 10(20)/0,4 kV Krvavići i pravci mjerenja potencijala uzemljivača

Tablica 7.

Mjerno mjesto	Ukmax	Udmax
	V/A	V/A
TS Krvavići	1,92	3,36
Prvi stup na pr. P4	0,22	3,65
10 kV rastavljač	1,44	1,73

Na slici 12. prikazan je naponski lijevak pravca P1.

b) Za spojeno uzemljenje dobiveni su ovi rezultati:

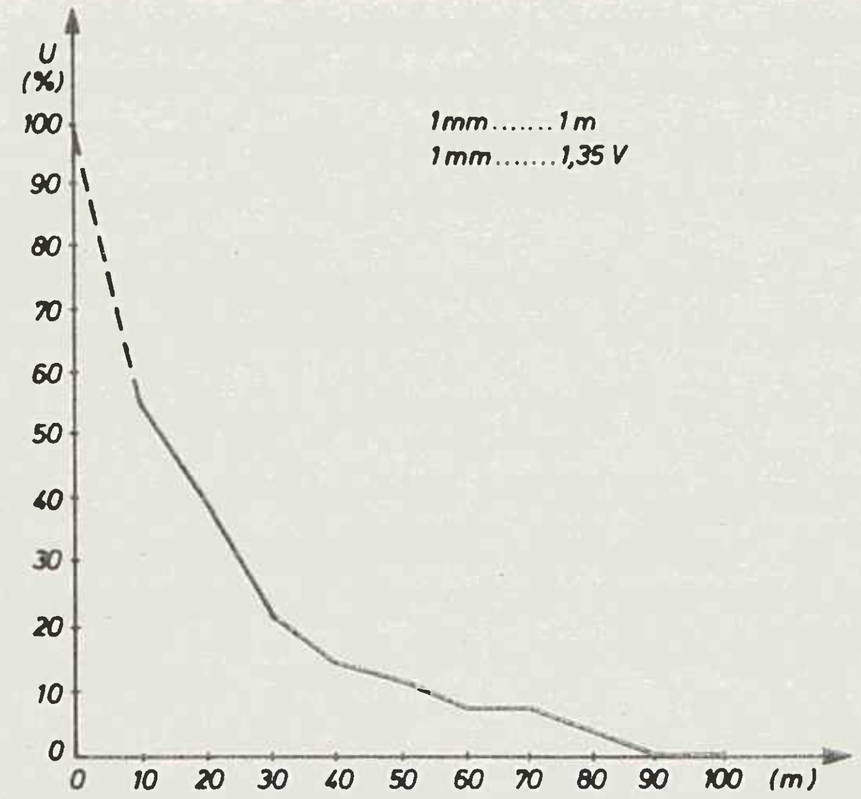
— struja kratkog spoja Ik = 45 A

— potencijal uzemljenja Uuz = 58 V

Otpor spojenog uzemljenja iznosi:

$$Rzdr = \frac{58}{45} = 1{,}28\ (\Omega)$$

Izmjereni naponi koraka i dodira dani su u tablici 8.



Slika 12. Naponski lijevak za pravac P1 u slučaju odvojenog uzemljenja

Tablica 8.

Mjerno mjesto	Ukmax	Udmax
	V/A	V/A
TS 10/0,4 kV Krvavići	0,05	0,3
10 kV rastavljač	0,10	0,44
prvi n.n. stup (P4)	0,15	0,22
prvi n.n. stup (P1)	0,16	1,63
prvi stup do sela Šarići	0	1,63

3.5.4. *Tabelarni prikaz rezultata mjerenja*

U tablici 9. prikazani su rezultati mjerenja u TS 10(20)/0,4 kV nadzemne mreže »Elektroistre« Pula.

Značenje oznaka upotrijebljenih u tablici:

N.K. — nadzemna odnosno kabelska mreža
Ruz — otpor rasprostiranja uzemljivača (Ω)
Rsp. — otpor spojenih uzemljenja (Ω)
Udmax — maksimalni napon dodira (V/A)

Tablica 9.

R. br.	Naziv TS 10(20)/0,4 kV	Tip TS	V.N. mreža	N.N. mreža	Ruz Ω	Rsp Ω	Udmax V/A
1.	Krvavići	stupna	N	N	5,4	1,28	1,63
2.	Želiski	stupna	N	N	5,79	1,13	1,193
3.	Rakalj 3	stupna	N	N	—	3,47	0,117
4.	Zrenj 2	stupna	N	N	3,5	1,66	0,013
5.	Cerije	stupna	N	N	15,4	15,4	1,97
6.	St. Bembo	stupna	N	N	5,16	4,06	0,174
7.	Bale	tornjić	N	K	—	1,18	—
8.	Bobani	stupna	N	N	8,85	2,4	0,055
9.	Račja Vas	tornjić	N	N	2	1,33	0,33
10.	Dobrova	stupna	N	N	1,01	0,71	—
11.	Starići	stupna	N	N	13,7	3,59	1,395
12.	Želj. stanica Markovec	stupna	N	K	15,74	15,74	3,33
13.	Kringa 1	stupna	N	N	6,97	1,45	0,21
14.	Naselje Štrmac	montaž. »RK«	K	K	0,185	0,0112	—

Tablica 10. Spojena uzemljenja

Naziv TS 10(20)/0,4 kV	Rsp. (mjereno	3Iomax = 300 A		3Iomax = 250 A		3Iomax = 200 A		3Iomax = 150 A		3Iomax = 100 A	
		Rsp.d.	Ud	Rsp.d.	Ud	Rsp.d.	Ud	Rsp.d.	Ud	Rsp.d.	Ud
		Ω	V	Ω	V	Ω	V	Ω	V	Ω	V
Krvavići	1,28		489		408		326		245		163
Želiski	1,13		58		48		39		29		19
Rakalj 3	3,47		14		29		23		18		12
Zrenj 2	1,66		3,9		3,25		2,6		1,95		1,3
Cerije	15,4		591		493		394		296		197
St. Bembo	4,06		52		44		35		26		17,4
Bale	1,18	0,22	—	0,26	—	0,325	—	0,433	—	0,65	—
Bobani	2,4		16,5		14		11		8		5,5
Račja Vas	1,33		99		83		66		50		33
Dobrova	0,71		—		—		—		—		—
Starići	3,59		413		344		275		206		137,5
Želj. st. Markovec	15,74		999		833		666		500		333
Kringa 1	1,45		91		93		42		32		21
Naselje Štrmac*	0,0112	0,54	—	0,65	—	0,813	—	1,08	—	1,625	—

* TS 10(20)/0,4 kV N. Štrmac napaja se 20 kV kabelom XHP za koji se uzima da ima redukcijski

Tablica 11. Odvojena uzemljenja

Naziv TS 10(20)/0,4 kV	Ruz mjereno	$3Io_{max} = 300$ A	$3Io_{max} = 250$ A	$3Io_{max} = 200$ A	$3Io_{max} = 150$ A	$3Io_{max} = 100$ A
		Rdoz	Rdoz	Rdoz	Rdoz	Rdoz
		Ω	Ω	Ω	Ω	Ω
Krvavići	5,4					
Želiski	5,79					
Zrenj 2	3,5					
St. Bembo	5,16					
Bobani	8,85					
Račja Vas	2	4	4,8	6	8	12
Dobrova	1,01					
Starići	13,7					
Kringa 1	6,97					
Cerije	15,4					
Želj. stanica Markovec	15,74					

3.5.5. *Analiza rezultata mjerenja*

Mjerenja na uzemljivačima TS 10(20)/0,4 kV dala su sljedeće rezultate:

a) pogonska i zaštitna uzemljenja moguće je efikasno odvojiti,

b)oblik uzemljivača, količina uzemljivačke trake kao i spec. otpor tla uvjetuju veličinu otpora rasprostiranja uzemljivača,

c) veličina n.n. mreže utječe na smanjenje otpora spojenih uzemljenja kod nadzemnih mreža, odnosno impedancije uzemljenja kod mješovitih mreža.

d) spojeno je uzemljenje povoljnije u odnosu na odvojeno jer se njime postižu:

— manji potencijali uzemljivača i
— blaže promjene potencijala uzemljenja.

3.5.6. *Prijedlog izbora otpornika za uzemljenje zvjezdišta 10(20) kV nadzemne mreže »Elektroistre« Pula*

Vrijednosti koje su dobivene mjerenjima na uzemljivačima nadzemnih TS 10(20)/0,4 kV (iznesene u tabl. 10. i 11) prikazuju stanje u uvjetima otpornog uzemljenja mreže. U tablice su uneseni slučajevi spojenog i odvojenog uzemljenja uz promjenljive vrijednosti otpornika za uzemljenje zvjezdišta, odnosno maksimalne struje jednopolnog kvara. Za navedene slučajeve izračunate su vrijednosti otpora rasprostiranja uzemljivača, a pri tome je za dozvoljeni napon dodira, u uvjetima spojenog uzemljenja, uzeta najnepovoljnija vrijednost, odnosno 65 V (t = 1 sek).

Osim toga, iako se to u lit. /1/ ne zahtijeva, dane su i maksimalne vrijednosti napona dodira.

Treba istaći da su vrijednosti u tablicama 10 i 11 samo približno točne jer su računate s maksimalnom strujom jednopolnog kvara, koja, međutim, vrijedi jedino kod pojne točke.

Rezultati proračuna pokazuju da se razdjelne 10(20) kV nadzemne mreže u »Elektroistri« Pula, u uvjetima nulovanja i uz isključenje kvara od 0,5 do 1 sekunde, ne mogu uzemljiti preko djelatnog otpora niske vrijednosti ako se pogonska i zaštitna uzemljenja međusobno spajaju.

To znači da će se, za navedene uvjete, pogonska i zaštitna uzemljenja odvajati. Pri tome se za ograničenje

struje jednopolnog kvara predlaže otpornik nominalne struje ispod 300 A.

Koja će se vrijednost struje odabrati, pokazat će rezultati naknadnih ispitivanja.

4. ZAKLJUČAK

Razdjelna mreža »Elektroistre« Pula postepeno prelazi s izoliranog na pogon s uzemljenim zvjezdištem putem djelatnog otpora niske vrijednosti. Pri tome su usvojene sljedeće maksimalne vrijednosti struja jednopolnih kvarova:

a) za 35 kV mrežu
   — 1000 A u kabelskoj mreži
   — 300 A u mješovitoj i nadzemnoj mreži
b) za 10(20) kV mrežu
   — 300 A u kabelskoj mreži
   — ispod 300 A u mješovitoj i nadzemnoj mreži

Istovremeno su predloženi i sljedeći oblici uzemljivača, kao i način spajanja pogonskog i zaštitnog uzemljenja:

a) za TS 35/10(20) kV u kabelskim, mješovitim i nadzemnim mrežama:
   — mrežasti horizontalni uzemljivač pravokutnog ili kvadratnog oblika bez vertikalnih elemenata
   — međusobno spojeno pogonsko, zaštitno i gromobransko uzemljenje;
b) za TS 10(20)/0,4 kV u kabelskim odnosno mješovitim mrežama
   — temeljni uzemljivači
   — međusobno spojeno pogonsko i zaštitno uzemljenje;
c) za TS 10(20)/0,4 kV u nadzemnim odnosno mješovitim mrežama
   — 2-3 prstena (ili kontura) sa 2-4 po 25 m duge trake
   — odvojeno pogonsko i zaštitno uzemljenje.

LITERATURA

[1] Delbianco L.: *Uzemljivači razdjelnih mreža u uvjetima uzemljenja zvjezdišta putem malog otpora* mag. rad (u izradi) Zagreb, 1982.

[2] Hrs I.: *Ovisnost unutarnjih prenapona u razdjelnim mrežama o načinu uzemljenja zvjezdišta i o drugim utjecajima* — doktorska disertacija, Zagreb, 1977.

[3] Delbianco L. i Rosanda L.: *Utjecaj otpornog uzemljenja zvjezdišta u mreži »Elektroistre« Pula,* Energija, Zagreb, 1981.

[4] *Uzemljenje zvjezdišta kabelske mreže grada Pule,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1981.

[5] Nahman J.: *Uzemljenje neutralne točke distributivnih mreža,* Naučna knjiga, Beograd, 1980.

[6] Sekso A.: *Izvedba uzemljivača TS 35/10 kV u težim uvjetima uzemljenja, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1973.*

[7] *Elaborati mjerenja karakterističnih veličina uzemljivača »Elektroistra« Pula*

[8] *Zbirka elektrotehničkih propisa* Službeni list, Beograd, 1979.

KEY WORDS: NETWORK, OVERVOLTAGE, GROUNDING, GROUN CONNECTION

CHANGE of DISTRIBUTION NETWORK OF »ELEKTROISTRA« PULA ON EUTRA POINT GROUNDING WITH LOW VALUE RESISTANCE

In the article are described way of change of neutral grounding in high voltage network in Istra, operational experiances, way of grounding and forms of ground connections. Results of ground resistance measurements, level of over voltages in case of around connection as well as planed works in neutral point grounding especially on l0kV and 20kV voltage levels are stated.

UMSCHALTUNG DES ÜBERLANDVERSORGUNGSNETZES DES UNTERNEHMENS »ELEKTROISTRA« PULA AUF NIEDRIGOHMIGE WIDERSTANDS-STERNPUNKTERDUNG

Beschrieben wird die Durchführung der Sternpunkterdung im Hochspannungsnetz von Istrien, wobei die Art der Erdung und Betriebserfahrungen und die Ausführung behandelt werden. Veröffentlicht werden verschiedene Messergebnisse der Erdungswiderstände und Überspannungen bei Erdschlüssen, wie auch vorgesehene Massnahmen der Sternpunkterdung im Mittelspannungsnetz von 10 und 20 kV.

ПЕРЕВОД РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ »ЭЛЕКТРОИСТРЫ« НА ЗАЗЕМЛЕНИЕ НЕЙТРАЛИ ЧЕРЕЗ АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МАЛОГО ЗНАЧЕНИЯ

Описани ход выполнения заземления нейтрали высоковольтной сети Истрии, опыт эксплуатации, способы заземления и формы заземлителей. Приводятся результаты измерений сопротивления заземления и значения перенапряжений при замыканиях на землю, а также предусмотренные дальнейшие работы на заземлении нейтрали в первую очередь на уровне напряжений 10 и 20 кВ.

Naslov pisca:

Luciano Delbianco, dipl. ing.
»Elektroistra« Pula, 52000 PULA

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 01 – 26

AUTOMATSKO UPRAVLJANJE ELEKTROMOTORNIM POGONIMA U SAVREMENIM TERMOELEKTRANAMA

Mr Dragoljub Piperski, Priština

UDK 621.311.22.005

PREGLEDNI RAD

Govori se o automatskom upravljanju elektromotornim pogonima u suvremenim termoelektranama, a kao primjer prikazuje se sistem automatskog upravljanja uređajima vlastite potrošnje u TE »Kosovo B«.

Ključne riječi: automatsko upravljanje, elektroenergetski pogoni, TE »Kosovo B«

Veliki uspesi koji su postignuti poslednjih decenija u prirodnim i tehničkim naukama neprekidno su obogaćivali teoriju i praksu elektromotornih pogona.

Posle drugoga svjetskog rata u centru pažnje bili su sistemi sa relejno-kontaktnom automatikom. Zatim velik razvoj dobija alektromašinska automatika koja je omogućila da se pređe na spregnute sisteme automatskog upravljanja i da se naglo povisi nivo automatizacije termoelektrana. Nakon razvoja elektromašinske automatike velika pažnja se poklanja pitanjima elektromagnetne automatike. Savremena etapa automatizacije elektromotornih pogona su sistemi na bazi poluprovodničke i računske tehnike u okviru kojih nalaze primenu integrisana kola i mikroprocesori.

Savremeni su elektromotorni pogoni, zahvaljujući svojim preimućstvima u odnosu na druge vrste pogona, osnovna i glavna sredstva pokretanja i automatizacije radnih mašina i proizvodnih procesa u termoelektranama.

U toku poslednjih godina teorija automatskog upravljanja našla je veliku praktičnu primenu u stvaranju savremenih hijerarhijskih sistema za automatizaciju elektromotornih pogona, što je u znatnoj meri uticalo na razvoj automatizacije u termoelektranama.

Veliku rasprostranjenost u sistemima automatskog upravljanja i automatske regulacije elektromotornih pogona imaju digitalni automatski uređaji. Dalje, sve veću primenu nalaze računske mašine za automatsku obradu informacija i upravljanja (uz razna ograničenja) tehniloškim procesom preko upravljanja elektromotornim pogonima.

Savremeni automatizovani elektromotorni pogoni termoelektrana predstavljaju složeni elektromehanički sistem koji se sastoji od elektromotora koji predaje energiju radnoj mašini i različitih energetskih i upravljačkih elemenata. Uzajamno delovanje ovih elemenata ostvaruje se zahvaljujući ne samo prethodno ostvarenim vezama, već i na račun unutrašnjih veza koje se javljaju kako u statici, tako i dinamici pojedinih pogona.

Povećani zahtevi koji zavise od nivoa automatizacije termoelektrane i pouzdanosti rada elektromotornih pogona često dovode do usložnjavanja njihove strukture. Pri tome raste obim radova na etapi projektovanja i konstruisanja i otežava se izbor najracionalnije strukture. Zbog toga je usavršavanje i dalji razvoj metoda analize i sinteze složenih elektromotornih pogona termoelektrana veoma aktuelan zadatak. Ovde imaju veliku važnost radovi usmereni na usavršavanje standardizovanih elektronskih sistema za automatsko upravljanje elektromotornim pogonima. Oni zahtevaju izučavanje statike i dinamike pogona.

Razvoj automatizovanih elektromotornih pogona visoke funkcionalne složenosti povlači za sobom široku primenu savremene tehnologije. U primeni su sistemi beskontaktnog upravljanja koji koriste poluprovodničku tehniku i druge uređaje. U okviru ovih sistema razrađeni su kompleksni unificirani blokovi električne i elektronske opreme koji poseduju funkcionalno, konstruktivno i tehnološko jedinstvo. Pod funkcionalnim jedinstvom razumeva se električna usaglašenost različitih funkcionalnih blokova, pod konstruktivnim prostorna usaglašenost, a pod tehnološkim procesi proizvodnje koji garantuju dugotrajnu stabilnost proizvoda.

Primena unificiranih sistema za automatsko upravljanje elektromotornim pogonima obezbeđuje visok tehnički i ekonomski efekat. Oni poboljšavaju tehničke pokazatelje rada elektromotornih pogona, snižavaju troškove projektovanja, proizvodnje podešavanja i eksploatacije opreme. Takođe se pojednostavljuje upravljanje pogonima i skraćuje rok uvođenja objekata u rad. I najzad, ostvaruje se brže osvajanje opreme, što takođe obezbeđuje znatan ekonomski efekat.

Veoma važan zadatak je ostvarivanje visokog nivoa pouzdanosti automatizovanog elektromotornog pogona. U tom cilju se vrše zamene kontaktnih elemenata beskontaktnim i obrtnih statičkim. Uvode se unificirani blokovi koji svode na minimum gubitak vremena na traženje kvarova i zamenu defektnih ele-

menata. Najradikalnije sredstvo za povećanje pouzdanosti automatizovanih elektromotornih pogona je prelaz na mikroelektroniku i mikromodule, koji povećavaju pouzdanost pojedinih blokova i čitavog postrojenja.

Upravljački blokovi sistema za automatizaciju elektromotornih pogona treba da budu otporni na udare, vibracije i druga štetna delovanja okoline.

Unificirani blokovi elektronske opreme zahtevaju primenu velike količine poluprovodničkih i drugih elemenata. Usled toga veliko značenje imaju pitanja normalizacije i tipizacije i ustanovljavanja jedinstvene terminologije. Danas se isti pojam ili uređaj označava različitim terminima, što stvara teškoće u usvajanju i praktičnom korišćenju uređaja.

Veliko značenje za osvajanje sistema automatizacije elektromotornih pogona ima problem pripreme kadrova. U tom cilju treba blagovremeno obezbediti obuku na svim nivoima.

U našiom termoelektranama su uvedena mnoga savremena tehnička sredstva i sistemi za automatizaciju. Uvođenje je izvršeno dosta nekoordinirano, što je izazvalo primenu velikog broja vrsta uređaja. Zbog toga različiti tipovi uređaja i blokova kontaktne i beskontaktne aparature i različiti tipski logički i računski blokovi i druga tehnička sredstva automatizacije isključuju mogućnost uzajamne zamenljivosti.

Savremeni blokovi su opremljeni velikim brojem pomoćnih uređaja sa električnom komandom i elektromotornim pogonima kao što su: pumpe, ventilatori, motorni ventili, elektromagnetni ventili itd. Ukupan broj ovih uređaja iznosi oko tri stotine, a penje se i do pet stotina u posebnim slučajevima.

Stavljanje u pogon i zaustavljanje pomoćnih uređaja zavisi od mnogobrojnih kriterijuma, kao što su fizička stanja koja definišu pritisci, temperature, nivoi, položaji ventila itd., zatim stanja uključenosti različitih pomoćnih uređaja, kao i posebnih zahteva eksploatacije postrojenja. Dakle, mnogobrojni zahtjevi treba da se razmatraju istovremeno da bi se obezbedila sigurnost rada bloka i optimalna funkcionalna raspoloživost.

Starije blokove manje snage mogao je da eksploatiše samo jedan operator koji je bio u stanju da nauči sve reprezentativne kriterijume stanja bloka i da pokreće i zaustavlja direktno njegove pomoćne uređaje. To više nije moguće na suvremenim blokovima zbog velikog broja pomoćnih uređaja i velikog broja kriterijuma stanja ovih uređaja.

Operatoru koji eksploatiše savremeni blok velike jedinične snage iz centralne komandne sale termoelektrane pomaže sistem automatskog upravljanja koji treba da izvršava najmanje sledeće funkcije:

— da obezbedi stavljanje u pogon i zaustavljanje mnogih pomoćnih uređaja sopstvene potrošnje radi sigurnog i kontinualnog funkcionisanja bloka
— da spreči eventualne pogrešne manipulacije operativnog osoblja.

Savremeni sistemi automatskog upravljanja obezbeđuju jednostvnu eksploataciju bloka termoelektrane pomoću uređaja za sekvencijalno upravljanje. Na taj način se redukuje broj manuelnih komandi koje vrši operativno osoblje u toku puštanja u rad i zaustavljanja bloka.

Sistem automatskog upravljanja praktično ne funkcioniše sve dok blok stacionarno radi, ali mora da bude stalno spreman da preuzme funkcije kojima je namenjen. Dalje, njegovo funkcionisanje u datom trenutku treba da bude veoma sigurno. Ono ne sme u slučaju kvara da utiče na raspoloživost bloka, a posebno ne sme da utiče na sigurnost rada bloka.

PRIKAZ SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA UREĐAJIMA SOPSTVENE POTROŠNJE U TE »KOSOVO B« — 2 × 339 MW

Radi ilustracije i upoznavanja sa savremenim sistemima za automatsko upravljanje u ovom delu će biti prikazan TURBODEM sistem koji se primenjuje za upravljanje uređajima sopstvene potrošnje TE »Kosovo B«. U prikazu su dati osnovni principi funkcionisanja i najvažnija svojstva sistema.

Primenjeni sistem logičkih automata za automatsko sekvencijalno upravljanje pomoćnim uređajima sopstvene potrošnje obezbeđuje jednostavnu eksploataciju i povećava opštu raspoloživost blokova.

Sistem koristi elektronsku tehnologiju jer je poznato da elektronski uređaji za komutaciju imaju manji broj kvarova nego elektromehaničke komponente. Dalje, funkcionisanje elektronskih komponenti je nezavisno od broja i učestanosti komutacija. I na kraju, iako se elektronske komponente ne koriste dugo vremena pri stacionarnom radu i zastoju blokova, to ne sprečava njihovo sigurno funkcionisanje posle ovog vremena.

Tretiranje logičkih informacija u našem slučaju vrši se preko elektronskih komponenti visoke pouzdanosti (integrisanih kola), komandnih prekidača, kontaktorskih prekidača za uključivanje elektromotora, itd. U sistemu se primenjuju i elektronske i elektromehaničke komponente, ali tako da je broj kontakata sveden na najmanju moguću meru.

Da bi se izbeglo da se kvar koji se pojavio u trenutku kada se ne komanduje ispolji u trenutku kada je ova akcija neophodna, kao i zbog sigurnosti ove akcije, sistem sadrži uređaje za stalnu kontrolu internog funkcionisanja koji evidentira svaki kvar koji se pojavi. Neprekidno i brzo otkrivanje kvara je garancija da se oni neće pojaviti u toku kritičnih perioda rada.

Sistem, dalje, omogućuje da i nespecijalizovano osoblje brzo otkrije kvar jer je sačinjen u potpunosti od modula koji sadrže vizuelnu signalizaciju kvarova.

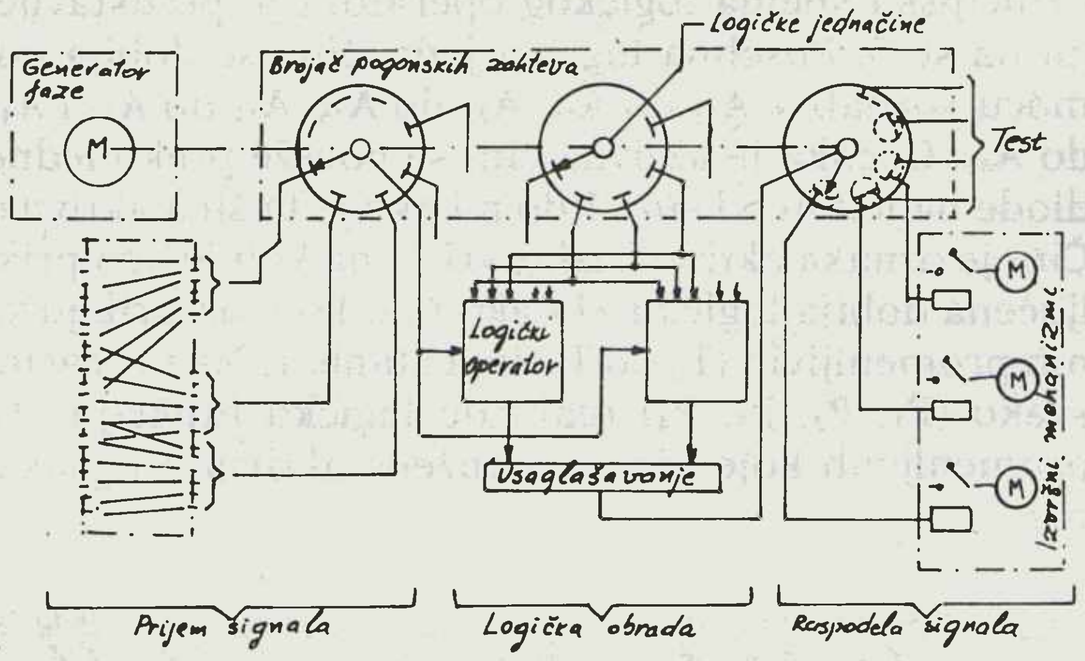
Prioritetne komande za bitne pomoćne uređaje sopstvene potrošnje elektrane realizuju se preko dva nezavisna kola, od kojih je »sigurnosno kolo« redukovano na najbitnije kriterijume. Pored povećane sigurnosti zaštitnih akcija to omogućuje intervencije na elementima logičkog sistema bez posledica na funkcionisanje bloka koji je u normalnom radu.

Logički sistem ima standardnu internu strukturu koja je prilagođena različitim tipovima pomoćnih uređaja sopstvene potrošnje bloka. Adaptiranje se, u svakom posebnom slučaju, realizuje preko »ožičenih programa« povezívanjem na ulazno-izlaznim stezaljkama. Ova koncepcija omogućuje sistematizaciju ispitivanja u fabrici i jednostavno modifikovanje funkcija u pogonu.

Logički automat koji obrađuje naredbe za komandovanje elektromotornim izvršnim uređajima funkcioniše na principu cikličnog automata u stanju je da realizuje veliki broj logičkih kombinacija. Ciklični automat je zajednički za više elektromotornih izvršnih organa na koje se sukcesivno povezuje prema određenom redosledu u vrlo brzom ritmu.

1. Uprošćeni princip rada cikličnih automata

Funkcionisanje cikličnog automata može da se uporedi sa radom čoveka operatora koji bi bio u stanju da periodično i sukcesivno proverava stanje svakog izvršnog uređaja i da brzo odlučuje, u zavisnosti od stanja procesa, da li treba izvršni uređaj da se uključi, isključi ili zadrži u datom stanju. Simbolično se ciklični automat sastoji od cikličnog komutatora čiji svaki korak obezbeđuje veze između svih potrebnih elemenata za komandovanje izvršnim uređajem (sl. 1).



Slika 1.

— **Prijem signala** predstavlja ulaze u zajednički logički operator za elementarne reprezentativne informacije procesa od kojih zavisi stanje izvršnog uređaja.

— **Logička obrada** predstavlja kombinaciju uslova od kojih zavisi stanje izvršnog uređaja. Ona se ostvaruje preko logičkih jednačina datog logičkog operatora koji je u stanju da obrađuje skup odgovarajućih elementarnih informacija za razmatrani izvršni uređaj koji se dobija preko prijema signala.

— **Distribucija signala** upućuje izlazne signale iz logičkog operatora prema kontaktorima za komandovanje razmatranim izvršnim uređajima.

Svaki korak cikličkog komutatora predstavlja tzv. **pogonski zahtev** pa se ciklični komutator naziva i **brojač pogonskih zahtjeva.** Taj princip funkcionisanja omogućuje da se ostvari stalna kontrola dobrog funkcionisanja. Svaki korak cikličnog automata može da se rasloži na više faza. U toku prvih faza logički operator nije priključen na izvršni uređaj i posebni signali testa se šalju u čitav sistem. Veza između logičkog operatora i izvršnog uređaja se ne stvara u toku kasnijih faza ako se otkrije neka greška.

Kako su izvesni delovi banalizovani kod ovog tipa automata, to se mogu bez znatnog povećanja obima opreme da dupliraju vitalni delovi automata. Ovo se čini, posebno, sa logičkim operatorom.

2. Prijem signala

2.1. *Razdvajanje kanala prijemnih informacija*

TURBODEM funkcioniše na principu logičkih automata. Četiri glavna funckionalna dela TURBODEMA su: prijem signala, logička obrada, distribucija signala i deo koordinacije i sinhronizacije koji se realizuje preko brojača pogonskih zahteva i generatora faze.

Prijem signala selekcionira svaki pogonski zahtev od šest ulaznih informacija između svih ostalih. Uprošćeni princip se vidi na sl. 2.

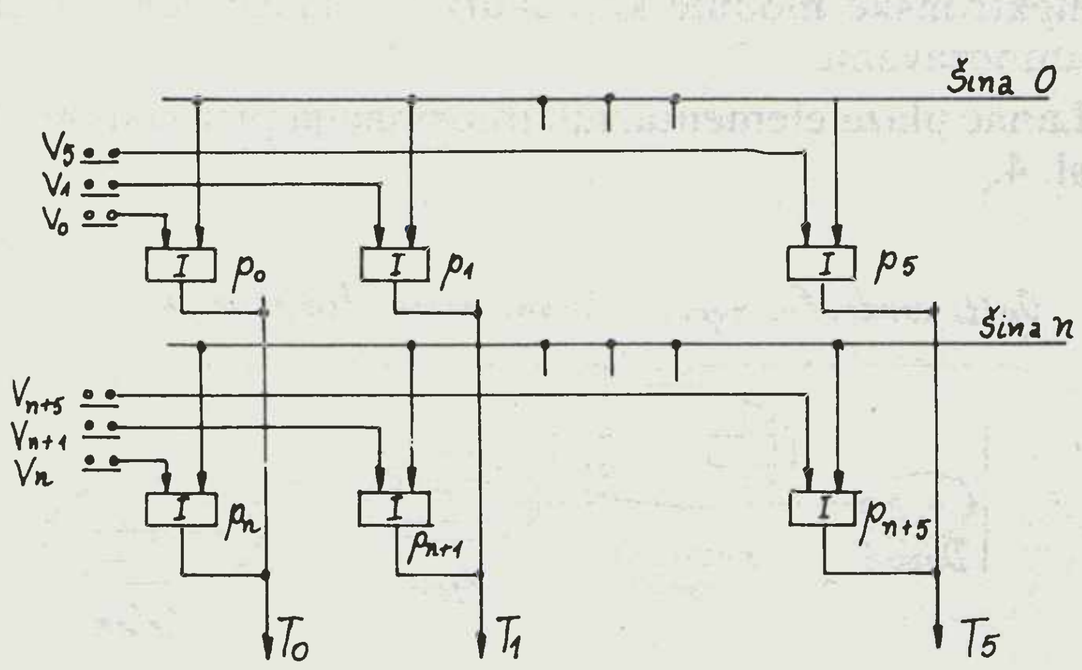
Kada je šina 0 »aktivna«, odgovarajućih 6 »logičkih nosača« p su otvoreni. Znači, za p_o, ako je kontakt V_o zatvoren postoji logičko »1« na T_o odnosno ako je kontakt V_o otvoren postoji logičko »0« na T_o. Isto je za promenljive V_1 do V_5. Znači, ako je šina 0 aktivna na T_o, T_1,...,T_5 se javlja slika kontakta V_o, V_1,...V_5.

Nasuprot tome, kada šina 0 nije aktivna, postoji logička »0« na izlazu šest logičkih nosača jer jedan od ulaza ove logike ima vrednost 0.

Isto tako, kada je šina »η« aktivna, na T_o, T_1,...T_5 nalazi se slika kontakata V_n, V_{n+1},..., V_{n+5}.

Na taj način, razdvajanje kanala se sastoji u aktiviranju šine kojoj su pridružene neke od 6 binarnih promenljivih koje su izabrane.

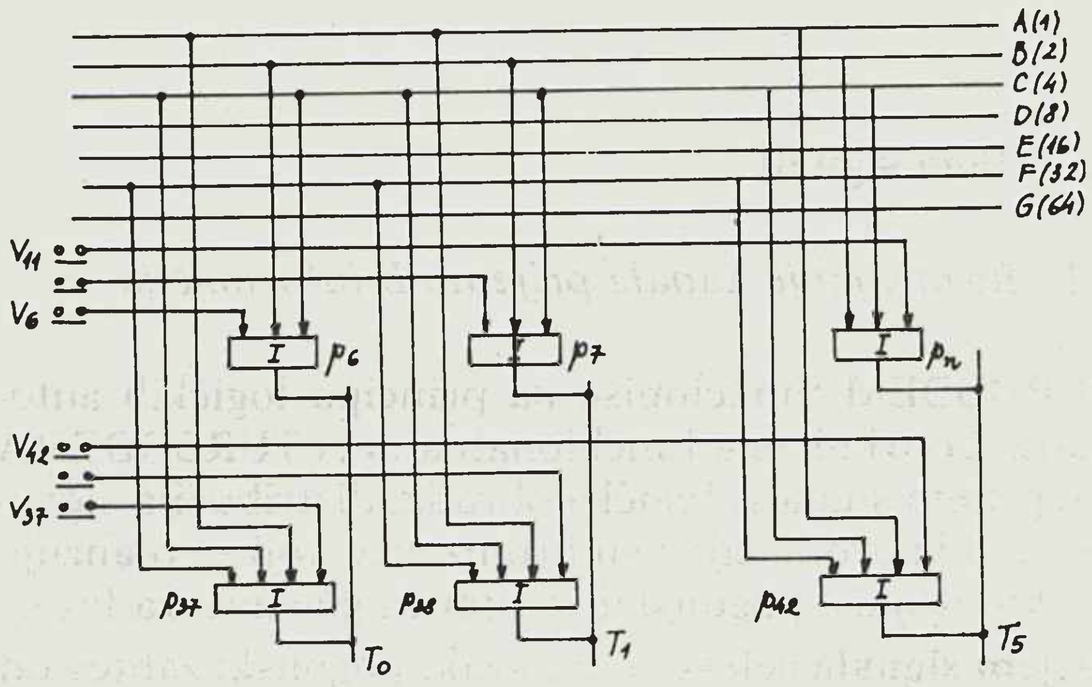
Kada automat normalno funkcioniše, brojač pogonskih zahtjeva aktivira sukcesivno i posebno svaku od šina (o do n) prema ciklusu koji se prethodno uspo-



Slika 2.

stavi i koordinira je sa delom logičke obrade i distribucije informacija.

Dakle, n šina (broj je jednak ukupnom broju pogonskih zahtjeva, najviše 128) na shemi su fiktivne šine. Binarni brojač vodi do 7 šina. Da bi se realizovala ista funkcija kao na prethodnoj uprošćenoj shemi, brojač pogonskih zahtjeva treba da aktivira, na svaki pogonski zahtev, jednu ili više šina umesto samo jedne. Ta osobenost realizacije ne menja ništa princip funkcionisanja koji pokazuje sl. 3, koja se odnosi na vezu binarnih »promenljivih« koje su pridružene pogonskim zahtevima br. 6 i br. 37.



Slika 3.

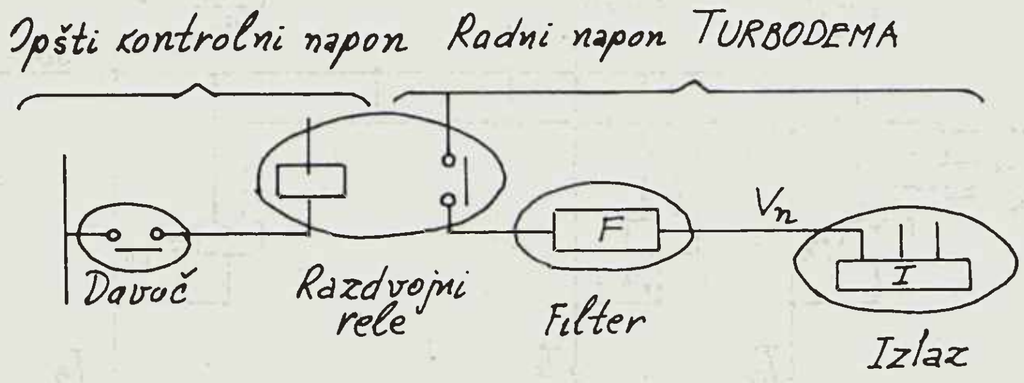
Na pogonski zahtev br. 6 brojač pogonskih zahtjeva aktivira simultano šine B(2) i C(4). Na pogonski zahtev br. 37 aktiviraju se šine A(1), C(4) i F(32).

Stavljanje u pogon automata na nivou množenja ulaznih signala treba da poveže u istu seriju 6 nosača. To su reprezentativni kontakti informacija koje se tretiraju pomoću istog pogonskog zahtjeva. Ovo predstavlja »rangiranje promenljivih«.

2.2. *Adaptacija ulaza*

Binarne promenljive V_n koje su obrađene pomoću prethodnog uređaja su reprezentativne elementarne informacije procesa. Međutim, kontakti davača elementarnih informacija nisu direktno povezane na elektronske module koji sadrže »logičke nosače« za umnožavanje.

Lanac ulaza elementarnih informacija prikazan je na sl. 4.



Slika 4.

U izvesnim slučajevima razdvojena informacija pomoću releja za dekuplovanje nema kontakt samo jednog davača, već jednostavnu (rednu, paralelnu) kombinaciju kontakata više davača. Realizacija ove jednostavne kombinacije predstavlja »prethodno tretiranje informacija«.

3. Logička obrada informacija

3.1. *Logički operator i programiranje*

Logička obrada treba da realizuje, na svaki pogonski zahtev, odgovarajući skup izlaza koji odgovara 6 promenljivim koje su izabrane tim pogonskim zahtjevima na nivou razdvajanja kanala ulaza. Skup promenljivih izlaza se dobija rešavanjem logičke jednačine koja međusobno povezuje 6 promenljivih. Rešavanje logičke jednačine vrši polivalentni logički operator koji je sposoban da reši, na svaki pogonski zahtjev, različitu logičku jednačinu.

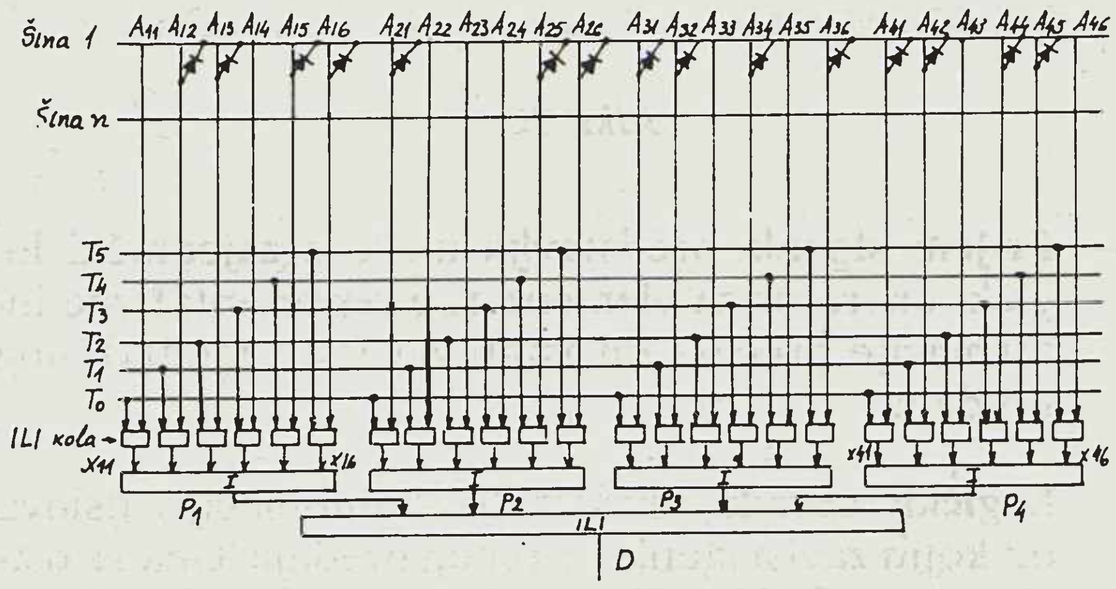
Logički operator je ožičeni uređaj sposoban da reši logičke jednačine tipa

$$F = \sum_{i=1}^{4} Pi$$

gdje je:

$$Pi = \prod_{j=1}^{6} xj$$

Principska shema logičkog operatora je predstavljena na sl. 5. Posebna logička jednačina se dobija pomoću »oznaka« A_{11} do A_{16}, A_{21} do A_{26}, A_{31} do A_{36} i A_{41} do A_{46}. Oznaka je aktivna čim se poveže preko jedne diode na jednu od šina 1 do n i ako je ta šina aktivna. Čim je oznaka aktivna, izlaz »ILI« na koji je ona priključena dobija logičku »1« ako bilo koja od priključenih promenljivih (T_o do T_5) ima stanje 1. Na taj način, svako (P_1, P_2, P_3, P_4) realizuje logičku funkciju »I« promenljivih koje nisu pridružene aktivnim oznakama.



Slika 5.

Na primer, u gornjoj shemi, kada je šina 1 aktivna:

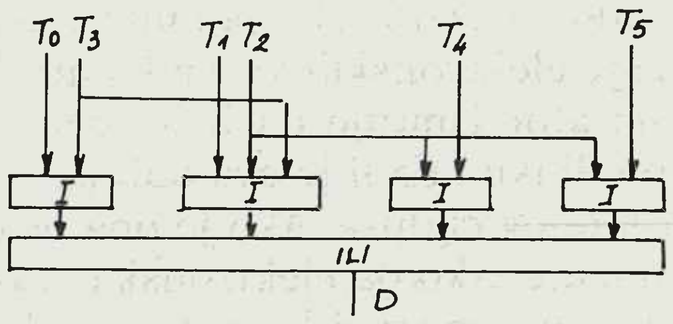
— Prvo I(P_1) realizuje logičku jednačinu »T_o i T_3« jer na bilo koje stanje promenljivih T_1, T_2, T_4 i T_5 postoji »logička jedinica« na T_o i T_3. S druge strane

postoji »logička nula« na P_1 ako postoji logička nula na T_0 ili T_3.
— Drugo $I(P_2)$ realizuje logičku jednačinu T_1, T_2 i T_3.
— Treće $I(P_3)$ realizuje logičku jednačinu T_2 i T_4.
— Četvrto $I(P_4)$ realizuje logičku jednačinu T_2 i T_5.

Čim je šina 1 aktivna, logički operator rešava sledeću logičku jednačinu:

$$(T_0 \cdot T_3) + (T_1 \cdot T_2 \cdot T_3) + (T_2 \cdot T_4) + (T_2 \cdot T_5)$$

kojoj odgovara logička shema na sl. 6.



Slika 6.

Poznato je da svaka logička jednačina može da se napiše u formi »ILI« od više faktora »I«:

$$D = (XXX) + (XXXX) + (XXX) + \ldots$$

Stoga je logički operator u stanju da reši sve logičke jednačine.

Međutim, kada se jednačina napiše u prethodnoj formi, može broj faktora I da bude veći od 4, i tada ona treba da se razloži na dva ili više faktora.

Logički operator je opremljen ožičanim memorijama koje omogućuju da se privremeno zapamti rezultat parcijalnih logičkih jednačina. Kada je automat u normalnom radnom stanju, brojač pogonskih zahteva sukcesivno i posebno svaka od šina (1 do n) postaje aktivna prema prethodno ustanovljenom redu i povezuje se sa delom umnoženih ulaznih informacija i delom raspodele signala.

Automat se sastoji od dva ista logička operatora čiji izlazni signali D_1 i D_2 treba da budu identični da bi signali postali važeći.

3.2. *Interne promenljive*

Pored logičkog operatora, automat sadrži, na nivou logičke obrade, dodatne uređaje koji omogućuju:
— da zakasni izvršenje neke odluke logičkog operatora radi posebnih zahteva procesa. Automat može da ima 2 do 6 uređaja za »vremensko kašnjenje«
— da sačuva u memoriji odluke logičkog operatora, radi posebnih zahteva procesa, čekajući da dodatni uslovi budu zadovoljeni. Automat može da ima 12 do 20 uređaja »memorije«.

Izlaz tih uređaja je povezan na ulaz logičkog operatora, posredstvom dela za prijem signala.

Ti uređaji se zovu »interne promenljive«.

3.3. *Stavljanje u pogon automata na nivou logičke obrade*

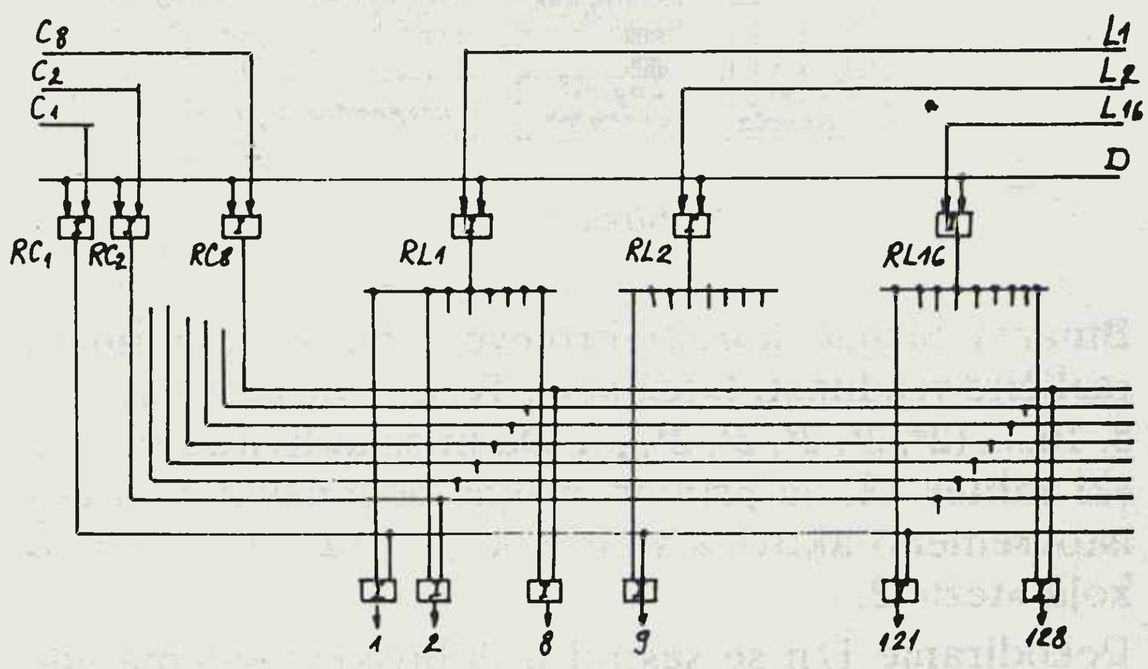
Stavljanje u pogon automata na nivou logičke obrade se sastoji u povezivanju, za svaki pogonski zahtev (tj. za svaku šinu u prethodnoj principskoj shemi) oznaka koje omogućuju da se dobije željena logička jednačina i eventualno da se skrene signal izlaza operatora na uređaj za vremensko zatezanje ili memorisanje.

Povezivanje izvoda se ostvaruje spajanjem utičnih kontakata dioda u otvore matrice dioda. »Linije« matrice su šine (1 do n) prethodne principske sheme kojih ima isto koliko i pogonskih zahteva (128). Kolone matrice su izvodi. Ima ih 28, i to:
— 24 za »očitovanje« logičke jednačine svakog pogonskog zahteva
— 1 za (eventualno) skretanje logičkog operatora na neku internu promenljivu
— 1 za (eventualno) rešavanje neke logičke jednačine u više trenutaka
— 2 za kontrolu pariteta predviđenu za proveru dobrog funkcionisanja dioda.

4. Raspodela signala

Raspodela se sastoji u pogodnom skretanju odluka logičkog operatora. Ona ispunjava, isto tako, ulogu pojačavanja i dekuplovanja elektronskih signala koje koristi logički operator.

Principska shema dela raspodele signala predstavljena je na sl. 7. Da bi neki kanal naredbe bio aktivan, treba da budu istovremeno ispunjeni sledeći uslovi:
— da jedna od šina C_1 do C_8 bude aktivna
— da jedna od šina L_1 do L_{16} bude aktivna
— da šina D bude aktivna, tj. da postoji važeća odluka operatora.



Slika 7.

Pri normalnom radnom stanju automata, šine C_1 do C_8 i L_1 do L_{16} aktiviraju se ciklično preko brojača pogonskih zahteva tako da se na svaki pogonski zahtev aktivira samo jedna od šina C_1 do C_8 i istovremeno jedna od šina L_1 do L_{16}.

Izlazi RC_1 do RC_8 i RL_1 do RL_{16} sadrže elektromagnetne releje čiji su kontakti spojeni međusobno tako da realizuju 128 kanala naredbi. Primenjeni elektromagnetni releji se sastoje od 6 invertorskih kontakata, od kojih 4 služe za deo raspodele signala, 1 služi za signalizaciju stanja i 1 služi za kontrolu dobrog funkcionisanja. Treba da postoji 40 releja da bi se realizovalo 128 kanala naredbi.

5. Koordinacija i sinhronizacija

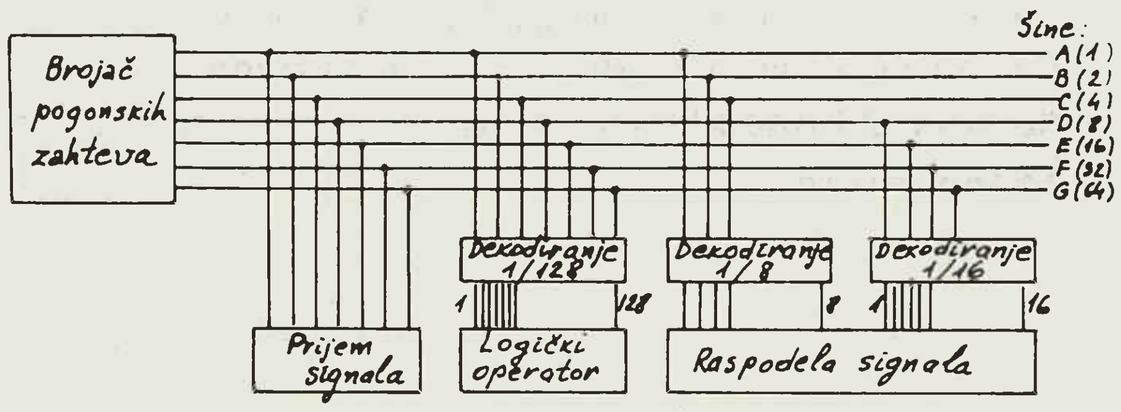
Koordinacija funkcionisanja tri celine (prijema, obrade i raspodele) vrši se pomoću brojača pogonskih zahteva. Opšta sinhronizacija funkcionisanja vrši se pomoću generatora faze.

5.1. *Brojač pogonskih zahteva*

Brojač pogonskih zahteva treba da aktivira pogodnim redosledom i ritmom »šine« koje služe za sklop prijema signala, izbor logičkih jednačina i sklop raspodele signala. On aktivira »šine« tako da izabrane »šine« u sklopu prijema signala i izabrana jednačina na nivou logičke obrade signala dobro odgovaraju izabranom kanalu naredbe preko sklopa raspodele signala.

Brojač pogonskih zahtjeva je binaran. Da bi izabrao 128 pogonskih zahteva, on emituje signale na 7 izlaza koji se koriste bilo direktno, bilo preko dekodera odnosno preko uređaja »1 između n (1/n)«.

Povezivanje brojača pogonskih zahteva na sklopove prijema, obrade i raspodele signala vrši se prema slici 8.



Slika 8.

Binarni brojač koristi brojeve (»bite«) koji imaju različite vrednosti (»težine«). Težine bitova su 1, 2, 4, 8, 16,..., (2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, ...). Da bi se aktivirao pogonski zahtev 18, na primer, brojač pogonskih zahtjeva istovremeno aktivira šinu E koja »teži« 16 i šinu B koja »teži« 2.

Dekodiranje 1/n se sastoji u dobivanju sistema gde je samo jedna šina aktivna, preko binarnog sistema, iako su više šina istovremeno aktivne.

5.2. *Generator faze*

On emituje, u toku svakog pogonskog zahteva, seriju istovremenih kraćih ili dužih impulsa koji su namenjeni:

- da verifikuju različita interna kola
- da deblokiraju naredbe koje obrađuje elektronika čim prethodna verifikacija nije detektovala anomalije.

Generator faze generiše osam glavnih faza:

- Faze 1, 2, 3, 4 i 5 služe za verifikacije dobrog internog funkcionisanja.
- Uloga faze 6 produži trajanje pogonskog zahteva kada određena naredba treba da se pošalje u proces.

To se radi da se izbegne da radni ciklus automata bude nepotrebno dug jer je normalno trajanje jednog pogonskog zahteva reda nekoliko mikrosekundi (vreme komutacije elektronskih komponenti). U toku šeste faze generator ispituje da li je logički operator poslao neku odluku i da li je ova odluka već izvršena u toku prethodnog ciklusa. Ako je ona poslata, šesta faza se produžuje tako da elektronska naredba bude dovoljno duga da omogući komutaciju elektromehaničkih organa procesa.

Produženje trajanja se prethodno reguliše u širokom opsegu čija je srednja vrednost 20 do 30 mS.

Šesta faza služi, takođe, za kontrolu dobrog rada pojačavača i distribucionih releja.

- Uloga faze 7 je da uvede vreme odmora, kada postoji produženje faze 6 koje treba da bude dovoljno da elektromagnetni releji za distribuciju ponovo padnu.
- Uloga faze 8 je da da impuls brojaču pogonskih zahteva da pređe na sledeći pogonski zahtev.

6. Princip interne kontrole dobrog rada

Uloga interne kontrole je da stalno proverava da li elektronska kola koja obrađuju naredbe, funkcionišu korektno. Sve ovo u cilju da:

- obavesti operatora o pojavi kvara bez čekanja da se on manifestuje pri realizaciji naredbe prema procesu
- pruži operatoru signalizaciju koja omogućuje da se odmah lokalizuje pokvareni modul.

Kada se kvar pojavi, interna kontrola treba da obezbedi:

- globalnu signalizaciju na nivou automata – operacioni kvar
- daljinski globalni alarm – kvar automata
- posebnu signalizaciju, na modulu automata, koja omogućuje da se lokalizuje modul (ili grupa modula) gdje se nalazi kvar
- zabranu rada automata da bi se izbeglo slanje neblagovremenih naredbi.

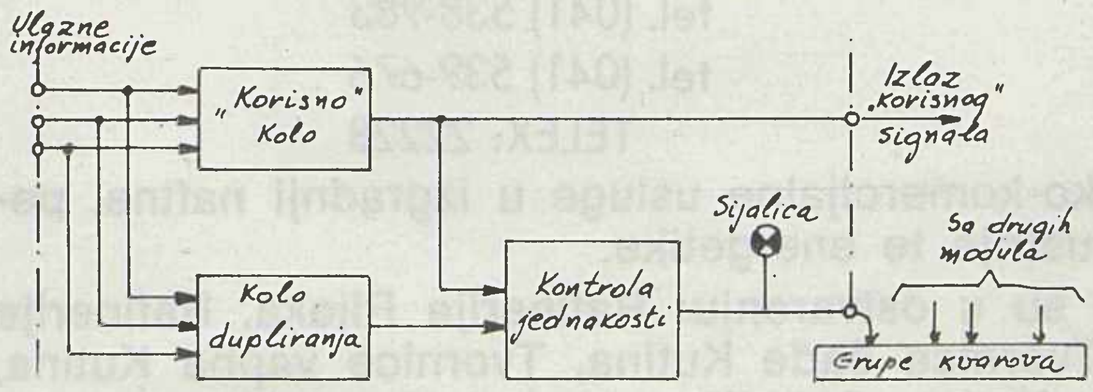
U slučaju anomalija interni kontrolni test aktivira:

- globalnu signalizaciju na nivou automata – kvar kontrole
- globalni daljinski alarm – kvar automata
- posebnu signalizaciju koja omogućuje da se lokalizuje modul (ili grupa modula) gde se nalazi kvar.

Kvar kontrole ne prekida rad automata.

Interna kontrola pravilnog rada podrazumeva kor trolu svakog modula i kontrolu prenosnih puteva.

Kontrola kola svakog modula se konkretizuje na ni vou svakog modula preko signala sijalica za kvar i iz laznog signala kvara (sl. 9). Na nivou svakog modula elektronsko kolo se duplira pomoću identičnog kola na koje su priključene identične ulazne informacije kao na osnovno kolo. Izlaz osnovnog kola se upoređuje sa izlazom dupliranog kola preko komparatora čiji izlazni signal pokazuje kvar ako su signali koje on dobija međusobno različiti.



Slika 9.

Kontrola prenosnih puteva se konkretizuje na nivou prijemnog modula preko signalne lampe za kvar i izlaznog signala kvara. Opšti princip ove kontrole je »kontrola pariteta« koja se sastoji u sledećem:

— da se na izlazu aktivira paran broj šina
— da se kod prijema proveri da je broj šina uvek paran.

LITERATURA

[1] TURBODEM, specification technique, CGEE Alsthom

[2] M. Šodan, *Automatizacija logičkim sklopovima,* Školska knjiga, Zagreb, 1973.

KEY WORDS: ELECTRICAL NETWORK, ELECTRICAL LOADS, NETWORK COSTS, AUTOMATIC CONTROL, ELECTRICAL ASSEMBLIES, TPP »KOSOVO B«

AUTOMATIC CONTROL OF ELECTRO MOTOR ASSEMBLIES IN MODERN TPP

In the article is given a review of automatic control of electromotor assemblies in modern TPP. and as exmaple is presented system of automatic control of electro motors in TPP »Kosovo B«.

AUTOMATISCHE STEUERUNG ELEKTROMOTORISCHER ANTRIEBE IN MODERNEN WÄRMEKRAFTWERKEN

Behandelt werden Fragen der automatischen Steuerung elektromotorischer Antriebe in modernen Wärmekraftwerken am Beispiel der automatischen Steuerung der Eigenbedarfsanlagen im Wärmekraftwerk »Kosovo B«.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ИНФРАСТРУКТУРА И ПРОБЛЕМЫ ЕЕ ФИНАНСИРОВАНИЯ

В статье критически анализируется новая система финансирования экономической инфраструктуры и ее инструменты, поднят вопрос о ее двойственности или одновременного наличия и элементов делового и элементов общественного финансирования.

Naslov pisca:

**Mr Dragoljub Piperski, dipl. ing.
»Elektroprivreda Kosova« 38000
Priština, M. Tita 38**

Uredništvo primilo rukopis
1983—02—07.

INA INŽENJERING

RO u sastavu SOUR-a INA INDUSTRIJA NAFTE ZAGREB
s osnovnim organizacijama udruženog rada

Zagreb,
Proleterskih
brigada 78

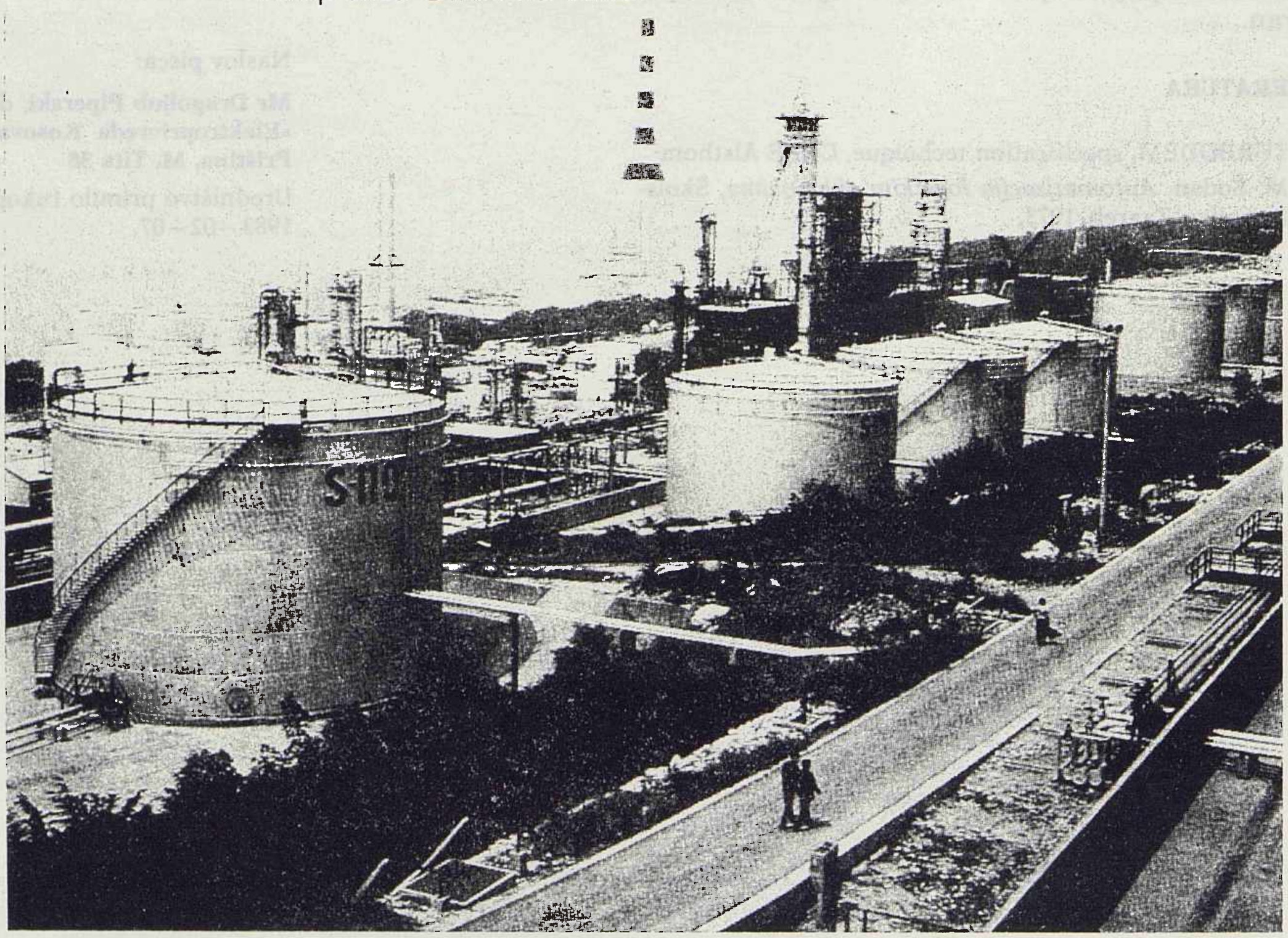
— PROJEKTIRANJE tel. (041) 536-691
— KONZALTING tel. (041) 536-492
— IZGRADNJA tel. (041) 538-983
— i RADNOM ZAJEDNICOM tel. (041) 539-676
TELEX: 22228

pruža kompletne inženjersko-komercijalne usluge u izgradnji naftne, petrokemijske i kemijske industrije te energetike.

Naši stručnjaci sudjelovali su u ostvarenju: Rafinerije Rijeka, Rafinerije Sisak, Rafinerije Zagreb, Tvornice čađe Kutina, Tvornice vapna Kutina, Tvornice umjetnih gnojiva Kutint, Skladišta amonijaka Obilić, te niza drugih postrojenja i instalacija.

Sredinom 1980. godine izvršena je između INA INŽENJERINGA, OOUR-a Izgradnja i ELEKTROPRIVREDE Rijeka primopredaja TE RIJEKA 320 MW koju je sagradio po sistemu »ključ u ruke« konzorcij AMN Italija, Waagner-Biró, Austrija i INA INŽENJERING.

INA INŽENJERING najaktivnije je uključen u proširenje rafinerije u Pančevu, Rijeci i Sisku, te tvornice umjetnih gnojiva u Kutini i petrokemijskog kompleksa DINA na Krku.



Gradilište RN Rijeka (Konzalting), u pozadini TE Rijeka 320 MW
(IZGRADNJA — ključ u ruke)

PRIVREDNA INFRASTRUKTURA I PROBLEMI NJENOG FINANCIRANJA*

Jure Šimović, Zagreb

UDK 620.9:338
PRETHODNO PRIOPĆENJE

U članku je kritički analiziran novi sistem financiranja privredne infrastrukture i njegovi instrumenti. Ističe se problem njegove dvojnosti, odnosno istovremene prisutnosti i elemenata poslovnog i elemenata društvenog financiranja.

Ključne riječi: privreda, infrastruktura, problem financiranja.

1. UVOD

Nakon donošenja Ustava SFRJ iz 1974. i Zakona o udruženom radu iz 1975. godine, sistem društvenog financiranja u našoj zemlji sve se više razvija kako po načinu prikupljanja sredstava, tako i po načinu upravljanja i funkcijama u ukupnoj društvenoj reprodukciji u tri zasebna podsistema:

»a) sistem financiranja općih društvenih potreba;
b) sistem financiranja zajedničkih potreba u sferi društvenih djelatnosti i socijalne zaštite;
c) sistem financiranja ostalih zajedničkih potreba (poglavito u sferi privredne infrastrukture)«[1]

Ukratko bi se moglo reći da se u našem sistemu društvenog financiranja pod općim društvenim potrebama smatraju one potrebe koje se zadovoljavaju putem budžeta u društveno-političkim zajednicama, a sredstva za njihovo financiranje osiguravaju se putem poreza, carina, taksa i drugim dažbinama.[2] Kod zadovoljavanja općih društvenih potreba akt društvene prinude je u potpunosti zadržan, a odnos ekvivalentnosti između individualne koristi i davanja za ove potrebe najmanji.

Naprotiv, kod zadovoljavanja zajedničkih potreba u društvenim djelatnostima i socijalnoj zaštiti, kao i kod zadovoljavanja ostalih zajedničkih potreba vidljivo egzistiraju različiti društveni interesi koji se iskazuju jedanput kao osobni, a drugi put kao širi društveni — zajednički. Istovremeno postojanje i isprepletanje osobnog i zajedničkog interesa stvara mogućnost da se zadovoljavanje ovih potreba odvija putem slobodne razmjene rada preko samoupravnih interesnih zajednica. Samoupravne interesne zajednice su institucionalni okvir za slobodnu razmjenu rada u zadovoljavanju ovih potreba i ubrzavaju prevladavanje uloge države u zadovoljavanju ovih potreba, uz istovremeno razvijanje i jačanje samoupravnih odnosa.

O zadovoljavanju općih društvenih potreba, te o zadovoljavanju zajedničkih potreba u društvenim djelatnostima i socijalnoj zaštiti u našoj se novijoj financijskoj literaturi relativno mnogo pisalo, i to kako o sadržaju i instrumentima putem kojih se vrši zadovoljavanje ovih potreba, tako i o oblicima društvenih prihoda kojima se prikupljaju sredstva za njihovo financiranje.

Međutim, treći podsistem u tom razmatranju bio je u znatnoj mjeri zanemaren. Pomanjkanje interesa za obradu problematike financiranja zajedničkih potreba u materijalnoj sferi društvene reprodukcije nije rezultirala iz činjenice što je ovaj podsistem po svojem obujmu i najmanji[3], nego vjerojatno zbog činjenice što je ovaj podsistem i u ustavnim odredbama i u odredbama Zakona o udruženom radu najmanje jasno definiran, kako po svojem sadržaju, tako i po instrumentima putem kojih se osiguravaju sredstva za njihovo zadovoljavanje. To se, svakako, odnosi ponajprije na sadržaj potreba i instrumenata za financiranje privredne infrastrukture, što i čini pretežan sadržaj ovog podsistema.

Financiranje zajedničkih potreba u sferi privredne infrastrukture karakterizira niz specifičnosti. Polazeći upravo od te činjenice, prof. Rupnik smatra da su društvene potrebe koje se zadovoljavaju kroz podsistem ostalih zajedničkih potreba u najmanju ruku dvojakog sadržaja, te zbog toga ove potrebe sistematizira u dva zasebna dijela: »zajedničku reprodukciju (sa unutarnjom podjelom na infrastrukturne djelatnosti, ostale djelatnosti od posebnog značaja i ostalo) i na ostalu potrošnju (koju čine različita lokalna udruživanja sredstava, koja su u poređenju s ostalim segmentima sistema i institucionalno elastičnije organizirane«.[4]

Unatoč izuzetnom značenju razvoja privredne infrastrukture na cjelokupni društveno-ekonomski razvoj, problematici financiranja razvoja privredne infrastrukture u našoj zemlji nije posvećena odgova-

---

* Ovaj rad objavljen je u časopisu »Ekonomski pregled« broj 1-2/1982. godine. Budući da se u radu tretiraju i problemi elektroprivrede te zbog interesa većeg broja radnika zaposlenih u elektroprivredi za ovu problematiku smatramo korisnim da se rad objavi i u časopisu »Energija«.

[1] Vidjeti: Dr Pero Jurković, *Sadržaj i karakteristike sistema društvenog financiranja*, časopis »Ekonomski pregled«, broj 5-6, Zagreb, 1980, strana 205.

[2] Vidjeti: Dr Olivera Lončarić-Horvat, *O općim društvenim potrebama i o sredstvima za njihovo financiranje*, Zbornik Više upravne škole u Zagrebu, broj 7/1978.

[3] Prema rasporedu bruto društvenih prihoda po namjenama u 1980. godini na podsistem zadovoljavanja općih društvenih potreba otpadalo je 38,7%, za zajedničku potrošnju u društvenim djelatnostima i socijalnoj zaštiti 46,6%, a za zajedničke potrebe u materijalnoj sferi društvene reprodukcije 14,7%. Podaci korišteni prema Statističkom godišnjaku Jugoslavije za 1981. godinu, strana 178.

[4] Vidjeti: Lado Rupnik, *Sistem prihoda u financiranju društvenih potreba — iskustva SR Slovenije 1976—1978*, časopis »Financije« Beograd, broj 9—10/1979, strana 537.

rajuća pažnja. Posebno, nakon privredne reforme iz 1965. godine na probleme financiranja razvoja privredne infrastrukture gledalo se suviše pojednostavljeno. Slobodno se može reći da su privredne mjere na kojima se temeljio razvoj ovih djelatnosti precijenile mogućnosti djelovanja tržišta u njihovu razvoju, dok su nedovoljno uvažavale tehničko-tehnološke, infrastrukturne i monopolne karakteristike ovih privrednih grana. Ako se tome doda da se naš privredni razvoj u tim godinama odvijao u uvjetima izražene inflacije, financijske nestabilnost, nenormalne zaduženosti, te povremene nelikvidnosti, naglašeni problemi financiranja razvoja ovih djelatnosti do kojih je dolazilo u tom razdoblju ostaju razumljivijim. Kao što je poznato, već nakon privredne reforme iz 1965. godine, a u sklopu načela destalizacije financiranja društvene reprodukcije, ukinuti su fiskalni oblici koncentracije akumulacije iz kojih su se u pretežnosti financirale ove djelatnosti. To se prije svega odnosi na sredstva općeg investicijskog fonda, te na sredstva republičkih investicionih fondova.

Pretpostavka da će bankarsko tržište, uz vlastita sredstva organizacija udruženog rada privredne infrastrukture biti spremno da osigura normalan razvoj ovih djelatnosti, gledano iz današnje perspektive, izgledalo je više iluzija nego realna pretpostavka. Upravo zbog toga u razdoblju od 1965. do 1975. godine dolazi do znatnijeg zaostajanja razvoja privredne infrastrukture. To razdoblje karakterizira i niz kratkoročnih mjera koje su poduzimane na nivou federacije i socijalističkih republika kojima se nastojalo bar donekle anulirati negativnosti koje je takav razvoj privredne infrastrukture posljedično imao.[5]

Svakako da pri tome treba naglasiti da samom destatizacijom određenog broja zajedničkih funkcija nije preostalo njihovo postojanje, pa ni potreba za njihovim zajedničkim financiranjem. »Jer samoupravni sistem ne dovodi u pitanje ni potrebu različitih razina odlučivanja, niti potrebu koncentracije i centralizacije sredstava. To je nešto što je sastavni dio privrednog procesa kao takvog; nešto što se, prema tome, i ne može dovesti u pitanje već zbog same prirode tog procesa. Ono što je inkopatibilno sa samoupravljanjem jest izvlačenje odluka i sredstava iz kompetencija udruženog rada, tj. stvaranje udruženom radu suprostavljanih i od njega otuđenih oblika odlučivanja.«[6]

Uočavajući nedostatke financiranja proširene reprodukcije u oblasti privredne infrastrukture koji su se pokazali u prethodnom razdoblju, te polazeći od odredbi Ustava SFRJ i Zakona o udruženom radu, u SR Hrvatskoj se u toku 1975. godine pristupilo razradi u mnogim elementima novog sistema financiranja privredne infrastrukture. Novim sistemom, na žalost, nisu bile obuhvaćene sve djelatnosti privredne infrastrukture, nego samo četiri grane koje, po mnogo čemu, imaju **sistemski karakter:** elektroprivreda, željeznički promet, cestovna i vodoprivredna infrastruktura. Osnove i instrumenti na kojima se temeljio ovaj sistem našli su svog punog odraza u financiranju ovih djelatnosti u planskom razdoblju 1976—1980. godine, pa će i analiza tog sistema, njegovih instrumenata i iskustava koja su njegovom primjenom stečena biti dana u nastavku, ali samo navođenjem kvantificiranih podataka naprijed navedene četiri djelatnosti.

2. KARAKTERISTIKE I OBILJEŽJA PRIVREDNE INFRASTRUKTURE

Iako se slobodno može reći da je pojedinačni interes u financiranju privredne infrastrukture u nekim elementima lakše prepoznati i utvrditi, ipak mnogi razlozi govore u prilog tome da financiranje, posebno razvoja privredne infrastrukture, nije moguće isključivo temeljiti na tržišnim principima poslovanja. L. Rupnik te razloge prije svega vidi u tome što ove djelatnosti iz materijalne proizvodnje prouzrokuju visoke »pozitivne i negativne efekte«,[7] zbog čega tržišna razmjena ne može biti isključivi osnov ni u jednostavnoj, a još manje u proširenoj reprodukciji. P. Jurković potrebu zadržavanja ovih djelatnosti na zajedničkom financiranju vidi u sljedećim razlozima: (1) veličini pojedinačnih ulaganja, (2) značajnom vremenskom nepodudaranju između momenta ulaganja i momenta ostvarivanja rezultata (nužnost dimenzioniranja objekta za potrebe korisnika u jednom dužem vremenskom razdoblju), (3) teškoćama pri indvidualizaciji troškova na pojedinog korisnika objekta odnosno sistema.[8]

Potreba zadržavanja privredne infrastrukture na zajedničkom financiranju, osim već navedenih, rezultat je čitavog niza specifičnih karakteristika koje su prisutne i koje se iskazuju kroz poslovanje organizacija udruženog rada privredne infrastrukture.

Svakako da intezitet tih specifičnosti nije jednako prisutan kod svih djelatnosti privredne infrastrukture. Ako bi se pošlo od Nacrta društvenog dogovora o razvoju privredne infrastrukture u SR Hrvatskoj u razdoblju 1981. do 1985. godine, pod objektima privredne infrastrukture trebalo bi smatrati: (1) objekte proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije, (2) objekte zaštite od štetnog djelovanja vode, regulacije riječnih plovnih putova i vodoopskrbnih sistema regionalnog značaja, (3) ceste i objekte na cestama, (4) željezničke pruge s ostalim objektima i stabilnim uređajima i postrojenjima, (5) magistralne cjevovode, (6) operativne površine i prometnice u okviru luka i riječnih pristaništa, (7) građevne objekte, međumjesne i mjesne telegrafsko-telefonske veze, (8) poletno-slijetne staze i ostale operativne površine

[5] Opća nestašica električne energije do koje je došlo krajem 1973. i 1974. godine u najvećoj je mjeri posljedica takvog razvoja. Samo u SR Hrvatskoj je u tom razdoblju doneseno nekoliko zakona o »privremenom« financiranju izgradnje elektroenergetskih objekata.

[6] Vidjeti: Ksente Bogoev i Pero Jurković, *Samoupravna koncepcija i institucionalne osnove sistema društvenog financiranja*, u knjizi »Sistem društvenog financiranja«, »Informator«, Zagreb, 1977, strana 16.

[7] Lako Rupnik, op. cit., str. 538.

[8] Pero Jurković, op. cit., strana 205.

aerodroma, te (9) građevne objekte i stabilna postrojenja gradskog prometa, objekte distribucije vode, plina, topline u naseljima, te gradske ulice i ostale javno-prometne površine u gradovima.

No, unatoč činjenici da navedeni sadržaj pojma privredne infrastrukture upućuje na raznorodnost ovih djelatnosti, ipak bi se moglo izvući neke zajedničke karakteristike ovih djelatnosti koje uvjetuju zadržavanje ovih djelatnosti na zajedničkom financiranju. Bez obzira na njihovo pojedinačno prioritetno značenje i bez obzira da li se ono iskazuje u većem ili manjem intenzitetu kod pojedinih djelatnosti, ove specifičnosti i karakteristike privredne infrastrukture moglo bi se navesti sljedećim redoslijedom:

(1) monopolne karakteristike organizacija udruženog rada privredne infrastrukture
(2) karakteristike organizacija udruženog rada privredne infrastrukture kao javnih službi, te
(3) tehno-ekonomske karakteristike organizacija udruženog rada privredne infrastrukture.

2.1. Monopolne karakteristike organizacija udruženog rada privredne infrastrukture

U uvjetima robne proizvodnje u samoupravnim društveno-ekonomskim odnosima dohodak se javlja kao osnova samoupravnog proizvodnog procesa. Postojanje samoupravne robne proizvodnje povezano je s aktivnim djelovanjem institucije tržišta, s time što samoupravni društveno-ekonomski odnosi mijenjaju suštinu i smisao pojedinih tržišnih kategorija. Na taj način tržište i u uvjetima socijalističke samoupravne robne proizvodnje obavlja prvu globalnu raspodjelu bruto društvenog proizvoda na organizacije udruženog rada. Budući da ovu raspodjelu tržište obavlja ne na temelju stvarno uloženog, nego na temelju prosječnog društveno-potrebnog rada, dohodak se u tom smislu javlja i kao kriterij efikasnosti poslovanja organizacija udruženog rada. Međutim, ovu svoju ulogu tržište može uspješno obaviti jedino ako su ispunjeni preduvjeti slobodnog kretanja roba i faktora proizvodnje.

Upravo zbog ovog ograničavajućeg faktora postavlja se pitanje da li se dohodak u principu može smatrati i kao mjerilo efikasnosti poslovanja u organizacijama udruženog rada privredne infrastrukture. Odgovor na to pitanje ovisit će u najvećoj mjeri o tome da li i u kojoj mjeri organizacije udruženog rada privredne infrastrukture podliježu »slobodnom« djelovanju tržišta ili njihovo poslovanje obiježljavaju i određene karakteristike monopola. Dohodak kao kriterij efikasnosti poslovanja u organizacijama udruženog rada s monopolnim karakteristikama mora zakazati, jer veliki dohodak u tom slučaju može biti rezultat efikasnosti poslovanja, ali i rezultat monopolne politike cijena.

Pod monopolom se obično razumijeva takva tržna situacija u kojoj na određenom tržištu vlada samo jedna organizacija udruženog rada uz isključenje svake konkurencije. Pri tome se postavlja pitanje: da li organizacije udruženog rada privredne infrastrukture u tom smislu posjeduju stvarni monopol i kako u sistem planiranja i financiranja razvoja ovih djelatnosti ugraditi elemente koji će anulirati negativnosti koje inače svaki monopol u sebi krije.

Slobodno se može reći da se monopolne karakteristike organizacija udruženog rada privredne infrastrukture iskazuju u sljedećim oblicima:

- područni monopol
- monopol zbog nemogućnosti supstitucije proizvoda i usluga organizacija udruženog rada privredne infrastrukture, te
- monopol investicionih sredstava.

Isključujući neke iznimke, može se reći da na određenom području organizacije udruženog rada privredne infrastrukture imaju isključivo pravo opskrbe potrošača svojim proizvodima i uslugama, što u sebi nužno sadrži elemente područnog monopola. Potrošači, odnosno korisnici proizvoda i usluga uvijek su vezani samo na jednog isporučioca plina, vode, električne energije ili samo na jednu organizaciju koja obavlja usluge željezničkog ili poštansko-telefonsko-telegrafskog prometa. Vrlo visok intenzitet potreba za ovim proizvodima i uslugama, na jednoj strani, te nemogućnosti izbora proizvođača, odnosno davaoca usluga svakako da još više povećava neravnopravnost između organizacija udruženog rada privredne infrastrukture i potrošača njihovih proizvoda i usluga.

Iako se mora reći da je ovaj područni monopol organizacija udruženog rada privredne infrastrukture nužan, jer bi bilo krajnje neracionalno, zbog vrlo visokih fiksnih troškova opskrbe, da se na istom području javlja više istorodnih organizacija privredne infrastrukture (npr. više isporučilaca vode ili više isporučilaca električne energije), on na drugoj strani ipak stavlja ove organizacije u određen prioritetni položaj. Prema tome, na određenom području konkurencija između više istorodnih organizacija udruženog rada privredne infrastrukture je u pravilu isključena.

No, da bi se sagledalo koliko ovaj područni monopol organizacija udruženog rada privredne infrastrukture može biti i ostvaren, mora se sagledati da li i u kolikoj mjeri postoji mogućnost supstitucione i križne elastičnosti za proizvodima i uslugama koje pružaju potrošačima organizacije udruženog rada privredne infrastrukture.

Pod supstitucionom elastičnošću neke robe razumijeva se njezino tržno svojstvo koje joj daje mogućnost zamjene za nekom drugom robom, dok križna elastičnost iskazuje koliko se promjena cijena konkurentnih roba odražava na cijenu i potrošnju neke druge robe.

Kakva je situacija sa supstitucionom i križnom elastičnosti kod proizvoda i usluga organizacija udruženog rada privredne infrastrukture?

Slobodno se može reći da je stupanj supstitucione i križne elastičnosti kod proizvoda i usluga privredne infrastrukture relativno malen. No, i kod prosuđivanja ove konkurencije, gdje je supstitucija i najviše moguća, nije međutim važno samo pitanje tehničke, nego prije svega ekonomske naravi. Tako naprimjer, može se reći da postoji tehnička mogućnost upotrebe plina za rasvjetu, pa prema tome i tehnička mogućnost supstitucije između električne energije i plina u rasvjeti. Međutim, gledano ekonomski, stvari stoje sasvim drukčije, jer pored tehničke mogućnosti za pokrivanjem neke potrebe, važne su i sve ostale okolnosti koje djeluju na »upotrebnu vrijednost«. Tako se slobodno može reći da udobnost električne energije na sektoru rasvjete daje ovoj neosporno prednost pred plinom i ostalim izvorima svjetlosti. »Potrebe za osvjetljenjem su zato pokrivene samo i jedino kroz električnu energiju. Električno svjetlo ima takve velike prednosti u udobnosti i čistoći nasuprot ostalim izvorima svjetlosti kao što su svijeće, ulje i plin da se te udobnosti nitko neće odreći. Električna energija treba da na tržištu rasvjete bude smatrana monopolnim dobrom, naročito zbog toga što na tržištu nema konkurencije u supstituciji«.[9]

Treći vid monopolih karakteristika organizacija udruženog rada privredne infrastrukture koji je nazvan monopolom investicionih sredstava trebalo bi shvatiti uvjetno. Naime, u proizvodnom procesu organizacija udruženog rada privredne infrastrukture investicije u osnovna sredstva jače su zastupljena od ostalih faktora proizvodnje nego što je slučaj u ostalim privrednim granama. Druga bitna karakteristika ovih investicija ogleda se u tome što je njihov vijek reprodukcije vrlo dug, pa se zbog toga govori o velikom intenzitetu i težini investicionih sredstava što ih angažira privredna infrastruktura za svoj razvoj.

S druge strane, investicije privredne infrastrukture su uzročno vezane s razvojem industrije, ostale privrede, standarda stanovništva i svih ostalih društvenih aktivnosti.

Prema tome, investicije u osnovna sredstva organizacija privredne infrastrukture su na neki način objektivno dana veličina, koja je u vrlo uskoj međuzavisnosti s cjelokupnim društveno-ekonomskim razvojem. No, budući da su organizacije udruženog rada privredne infrastrukture investiciono vrlo intezivne, a u pravilu su, zbog politike cijena, nisko akumulativne, problem financiranja njihovog razvoja je u našim uvjetima vrlo teško ostvariti bez mehanizma samoupravnog sporazumjevanja i društvenog dogovaranja koji će mobilizirati i usmjeravati sredstva društvene reprodukcije u ove djelatnosti.

Dugi rokovi izgradnje objekata privredne infrastrukture, kao i činjenice da su investicije privredne infrastrukture posljedica planiranog privrednog rasta na duži rok, ove investicije su u pravilu aciklične. Te investicije traže stalan i ravnomjeran porast, bez obzira na kratkoročne privredne cikluse konjunkture i recesije. Zapravo, i u jednom i u drugom slučaju te investicije trebale bi djelovati stabilizirajuće na ukupna privredna kretanja. U uvjetima recesije investicije privredne infrastrukture postaju razmjerno veće, pa na taj način djeluju oživljavajuće na privredna kretanja, dok u fazama konjunkture privredna infrastruktura treba realizirati relativno niže stope investicija, što bi opet trebalo djelovati stabilizirajuće na privredna kretanja.

2.2. Karakteristike organizacija udruženog rada privredne infrastrukture kao javnih službi

Kada se razmatra problematika poslovanja i razvoja organizacija udruženog rada privredne infrastrukture uvijek se nanovo postavlja pitanje:

— da li se na razvoj ovih djelatnosti treba gledati isključivo kroz prizmu ekonomskog rentabiliteta ili se kroz taj razvoj žele i trebaju ostvariti i izvjesni širi društveni interesi?

Ta je činjenica nametnula dilemu koja do danas, ni u teoriji, ni u praksi, nije razjašnjena: da li su organizacije udruženog rada privredne infrastrukture, po pretežnosti svoje namjene, privredne djelatnosti ili su svojstven oblik javne službe? Iskustvo i praksa pozitivnog zakonodavstva mnogih zemalja pokazuju da je to pitanje i danas različito tretirano, ovisno o stupnju i fazi razvoja, kao i o društveno-ekonomskom i političkom sistemu u okviru kojeg se taj razvoj odvija.

Upravo zbog te dileme, a i stvarno prisutnog javnog i općeg društvenog interesa, u mnogim zemljama doneseni su posebni zankonski i drugi propisi koji su regulirali bitna područja poslovanja organizacija (udruženog rada) privredne infrastrukture.

Zbog činjenice što proizvodi i usluge organizacija privredne infrastrukture zadiru u sve pore privrednog i društvenog života, te u životni standard svakog pojedinca, danas se kroz isporuku ovih proizvoda i usluga ostvaruju razni ciljevi, bilo socijalno-politički, bilo strukturalno-politički.

Socijalno-politički ciljevi naročito su prisutni kad se putem niskih cijena proizvoda i usluga želi zaštititi nivo životnog standarda stanovništva (niske cijene prijevoza željeznicom, cijene ptt-usluga, cijene električne energije, vode, plina i slično). O strukturalno-političkim ciljevima radi se više onda kad se kroz diferencirane cijene ovih proizvoda i usluga želi ubrzati i pospješiti razvoj određenih privrednih djelatnosti. I u jednom i u drugom slučaju pojavljuje se kod organizacija udruženog rada privredne infrastrukture nedostatak sredstava, kako za pokriće troškova

[9] Dr. Mrs Flury, *Die Preisdiskriminierung in der schweizerischen Elektrizitätwischaft*, Zürich, 1957, strana 33.

jednostavne reprodukcije, tako i za pokriće troškova njihove proširene reprodukcije.[10]

Osim javnog interesa, skladan razvoj privredne infrastrukture umnogome predstavlja i preduvjet šireg privrednog i društvenog razvoja, po čemu ove djelatnosti i imaju infrastrukturni karakter. Posredni i neposredni učinci razvoja privredne infrastrukture na razvoj ostalih privrednih i društvenih djelatnosti su vrlo raznovrsni, te ih je često nemoguće i kvantificirano izraziti.[11] Ali samo njihovo postojanje uvjetovalo je potrebu da se objekti privredne infrastrukture smatraju zajedničkom materijalnom osnovom udruženog rada.

Zbog izuzetno značajnih posrednih i neposrednih učinaka što ih privredna infrastruktura izaziva u privredi i društvu u cjelini, kao i u životnom standardu svakog pojedinca, razvojna politika organizacija privredne infrastrukture mora biti koncipirana tako da ona pomaže ostvarenju glavnih razvojnih ciljeva opće privredne politike (privredni rast, zaposlenost, stabilnost, platna bilanca s inozemstvom). Da bi to i postala, razvojna politika organizacija udruženog rada privredne infrastrukture, a posebno sistem financiranja putem kojeg će se stvarati sredstva za njegovu realizaciju, mora polaziti od ovih činilaca:

— prvo, da polazne osnove na kojima se temelji razvoj organizacija udruženog rada privredne infrastrukture budu u skladu s osnovnim postavkama na kojima se zasniva funkcioniranje i organizacija cjelokupnog našeg samoupravnog privrednog sistema (društveno vlasništvo, samoupravljanje, udruživanje rada, tržišno-planska privreda)
— drugo, da bude oslonjena na dugoročnim predviđanjima, jer bi inače, oslonjena na kratkoročne mjere, morala završiti u proturječnostima, što čini izuzetno važnim ulogu plana u razvoju organizacija udruženog rada privredne infrastrukture
— treće, posebne tehno-ekonomske, monopolne i javne značajke organizacija udruženog rada privredne infrastrukture zahtijevaju mjere ekonomske politike koje će u sklopu općih privrednih mjera biti prilagođene ovim djelatnostima, i
— četvrto, razvojni ciljevi organizacije udruženog rada privredne infrastrukture ne mogu biti autonomni, nego one moraju dobiti svoje razvojne ciljeve iz sistema razvojnih ciljeva skupne ekonomske politike.

2.3. Tehno-ekonomske karakteristike organizacija udruženog rada privredne infrastrukture

Svakako da je najvažnija tehničko-tehnološka karakteristika pretežnog dijela organizacija udruženog rada privredne infrastrukture u tome što se proces njihova poslovanja odvija kroz istovremeni i sinhroni rad svih osnovnih organizacija (ili pretežnog njegovog dijela) koje spadaju u pojedinu granu privredne infrastrukture. Takav je slučaj s isporukom električne energije, vode, plina, kao i pružanja usluga prijevoza na željeznici, usluga PTT, zaštite od poplava i slično.

Tek spremnost pojedine infrastrukturne djelatnosti kao većeg ili manjeg sistema pruža mogućnost da se isporuka proizvoda i usluga ovih djelatnosti može odvijati po kontinuitetu i konstantnosti prema potrošačima. Upravo ova tehničko-tehnološka karakteristika organizacija udruženog rada privredne infrastrukture ima za posljedicu da je vrlo teško izvršiti indvidualizaciju troškova tog sistema na pojedine njegove korisnike.

Problem individualizacije troškova organizacije udruženog rada privredne infrastrukture na pojedine njegove korisnike potenciran je, s druge strane, i time što se prilikom izgradnje ovih objekata njihovo dimenzioniranje vrši za jedno duže plansko razdoblje, tako da postoji značajno vremensko nepodudaranje između momenta njihove izgradnje i vrlo dugog vremenskog razdoblja njihove eksploatacije.

Navedene tehničko-tehnološke i monopolne karakteristike organizacija udruženog rada privredne infrastrukture, kao i njihove značajke kao javnih službi uvjetuju potrebu da se ove djelatnosti u financiranju svojeg razvoja zadrže u pretežnom dijelu na zajedničkom financiranju.

Sama činjenica da na razvoj organizacija udruženog rada privredne infrastrukture, zbog značajnih eksternih efekata koje polučuje njihov razvoj, djeluju mnogi privredni i društveni subjekti, nameće se potreba sudjelovanja tih subjekata u donošenju odluka o njihovom razvoju. Vodeći brigu o samoupravnoj strukturi našeg društva, s jedne strane, te imajući u vidu tehno-ekonomske i monopolne karakteristike privredne infrastrukture, kao i njena obilježja javne službe, odluke o razvoju privredne infrastrukture, a i odgovornosti za taj razvoj trebale bi da donose zajednički:

— organizacije udruženog rada privredne infrastrukture i potrošači njihovih proizvoda i usluga samoupravnim sporazumijevanjem putem interesnih zajednica pojedinih djelatnosti privredne infrastrukture,
— organi društveno-političkih zajednica, u prvom redu organi izvršnih vijeća republika i pokrajina, koje treba shvatiti prije svega kao koordinatore, a u manjoj mjeri kao nosioce sredstava za financiranje privredne infrastrukture.

[10] Zbog provođenja raznih socijalno-političkih ciljeva kroz cijene željezničkog prometa iz republičkog budžeta je Željezničko-transportnom poduzeću Zagreb na ime kompenzacije troškova jednostavne reprodukcije isplaćeno u 1980. godini 3,69 milijardi, a u 1981. godini više od 5 milijardi dinara.

[11] Vidjeti: Zoran Jašić, *O nekim oblicima eksternih efekata u privrednom razvoju*, časopis »Ekonomski pregled« 9-10/1975, Zagreb

Energija, god. 32 (1983) 3 199-212

3. OSNOVNE ZNAČAJKE FINANCIRANJA RAZVOJA PRIVREDNE INFRASTRUKTURE U SR HRVATSKOJ U RAZDOBLJU 1976—1980. GODINE

Unatoč tome što se objekti privredne infrastrukture smatraju zajedničkom materijalnom osnovom udruženog rada, u proteklom planskom razdoblju 1976—1980. godine u SR Hrvatskoj zajedničkim sistemskim financiranjem razvoja bile su uglavnom obuhvaćene samo četiri djelatnosti privredne infrastrukture: elektroprivreda, cestovna infrastruktura, željeznički promet i krupna vodoprivredna infrastruktura.

Koncentracija zajedničkog financiranja prije svega na ove djelatnosti privredne infrastrukture vjerojatno je vezana za činjenicu što su pozitivni i negativni efekti koje daje poslovanje i razvoj ovih djelatnosti na sve druge prirodne i društvene činioce vrlo visoki, a i zbog toga što tržišna razmjena ne može biti temeljna osnova za odlučivanje ni u jednostavnoj, a još manje u proširenoj reprodukciji kod ovih djelatnosti. Drugi, ne manji važan činilac vezan je uz to što su upravo ove djelatnosti kapitalno vrlo intezivne što su kod ovih djelatnosti efekti investicija u pravilu vrlo dugoročni. Te činjenice zahtijevaju na drugoj strani zajedničko programiranje tekućeg poslovanja, a posebno dugoročno zajedničko programiranje njihova razvoja.

Prije navedene karakteristike ovih djelatnosti privredne infrastrukture čini se da nameću potrebu da se financiranje njihova razvoja treba temeljiti manjim dijelom na financijskim tokovima koji imaju poslovni karakter, a svojim pretežnim dijelom na instrumentima koji imaju karakter društvenog financiranja. Ako bi se po ovom kriteriju razvrstali izvori sredstava putem kojih je vršeno financiranje elektroprivrede, cestovne i vodoprivredne infrastrukture, te željezničkog prometa u SR Hrvatskoj (koji su dani u tablici 1), onda bi se moglo reći da su elementi poslovnog financiranja vezani za vlastita sredstva i komercijalna kreditna sredstva domaćih banaka, dok su ostali izvori sredstava predstavljali oblike društvenog financiranja. Ako bi se s tog aspekta promatrala i struktura uloženih sredstava u razvoj ovih djelatnosti u razdoblju 1976—1980. godine, onda se vidi da su sredstva poslovnog financiranja predstavljala oko 21%, dok su sredstva s izvora društvenog financiranja sačinjavala 79%.

Čini se da će problem dvojnosti financiranja organizacija udruženog rada privredne infrastrukture ostati uvijek prisutan. Čak bi se moglo reći da i unutar same privredne infrastrukture postoje objektivne okolnosti koje u jednom slučaju daju prednost izvorima sredstava koji u svojoj pretežnosti imaju karakter društvenog financiranja (npr. vodoprivreda), dok kod drugih elementi poslovnog financiranja mogu biti i jače zastupljeni.

Prema samoupravnim sporazumima o zajedničkim osnovama planova razvoja organizacija udruženog rada privredne infrastrukture u razdoblju od 1981. do 1985. godine u SR Hrvatskoj predstoji značajan dinamični razvoj ovih djelatnosti, što je vidljivo iz podataka tablice 2.

Tablica 1. Volumen i struktura utrošenih financijskih sredstava za razvoj elektroprivrede, željeznice, vodoprivrede i cestovne infrastrukture u SR Hrvatskoj u razdoblju 1976—1980. god.

U mln. dinara

R. br.	Izvori	Elektro-privreda	Želje-znica	Vodo-privreda	Ceste
1	2	3	4	5	6
1.	Vl. sredstva	5 717	3 292	—	—
2.	Sred. naknada	3 698	—	700	2 691
3.	Udružena sredstva putem SIZ-a	18 837	5 226	4 216	3 904
4.	Sredstva narodnog zajma	—	—	— 480	2 500
5.	Sredstva budžeta Republike	—	—	—	—
6.	Domaći krediti	1 571	574		2 948
7.	Inozemni krediti	5 738	2 105	—	927
8.	Krediti regionalnih zajednica i ostalo	—	—	—	1 419
9.	Sredstva od poreza na gorivo	—	—		2 800
10.	Ukupno	35 561	11 197	5 396	17 189
					Struktura u %
1.	Vlastita sredstva	16	29	—	—
2.	Sred. naknada	10	—	13	16
3.	Udružena sredstva	53	47	78	23
4.	Sred. narod. zajma	—	—	—	15
5.	Sred. budžeta Republike	—	—	9	—
6.	Domaći krediti	5	5	—	17
7.	Inozemni krediti	16	19	—	5
8.	Krediti regionalnih zajednica	—	—	—	8
9.	Sred. od poreza na motorno gorivo	—	—	—	16
10.	Ukupno	100	100	100	100

Izvor podataka: Izvještaj o poslovanju samoupravnih interesnih zajednica pojedinih djelatnosti za razdoblje 1976—1980. godine

Tablica 2. Plan investicionih ulaganja u objekte privredne infrastrukture u SR Hrvatskoj u razdoblju 1981—1985. g.

U mln. dinara

R. br.	Djelatnost	Iznos plan. sredstava
1.	Elektroprivreda	46 895
2.	Cestovna infrastruktura	26 303
3.	Željeznički promet	20 200
4.	Vodoprivredna infrastruktura	9 200
5.	PTT-promet	6 100
6.	Luke i pristaništa	3 900
7.	Aerodromi	1 100
8.	Komunal. infrastruk. i javni promet	15 600
9.	Ukupno	129 298

Izvor podataka: Podaci o planiranim investicijama za djelatnosti elektroprivrede, željeznica, vodoprivredne i cestovne infrastrukture korišteni su prema samoupravnim sporazumima o razvoju ovih djelatnosti (Narodne novine broj

51/1981), a podaci za ostale djelatnosti privredne infrastrukture prema Nacrtu dogovora o razvoju privredne infrastrukture za razdoblje 1981—1985. godine (siječanj 1980. godine).

Prema globalnim procjenama, sredstva za investicije u objekte privredne infrastrukture koji su dani u tablici 2. trebala bi biti osigurana iz ovih izvora:

— vlastita sredstva organizacija udruženog rada privredne infrastrukture 12%
— udružena sredstva OOUR-a materijalne proizvodnje 64%
— sredstva (krediti) domaćih banaka 21%
— dopunska inozemna sredstva 3%.

S obzirom na dane globalne procjene o izvorima sredstava, neosporno se nameće zaključak da će i u idućem planskom razdoblju u financiranju objekata privredne infrastrukture prevladavati oni izvori koji imaju karakter društvenog financiranja. No, da bi se dalo određenije mišljenje o osnovnim postavkama sistema financiranja proširene reprodukcije na kojem se temelji razvoj organizacija udruženog rada privredne infrastrukture u SR Hrvatskoj, te upozorilo na njegove pozitivne i negativne strane, potrebno se prethodno osvrnuti na svaki od pojedinih izvora, kako bi se sagledala i njegova uloga i mjesto koje mu pripada (ili bi trebalo pripadati) u tom sistemu.

Bez obzira na to što je u tablici 1. ovog rada navedeno osam različitih izvora na kojima se je u prethodnom razdoblju temeljilo financiranje razvoja prometnih organizacija udruženog rada privredne infrastrukture, čini se da je moguće analizu tog sistema provesti tako da se navedeni izvori grupiraju u sljedećih pet:

(1) vlastita sredstva organizacija udruženog rada privredne infrastrukture
(2) udružena sredstva društvene reprodukcije organizacija udruženog rada materijalne proizvodnje
(3) sredsta naknada
(4) kreditna sredstva
(5) ostali izvori.

No, da bi se uopće moglo govoriti o sistemu financiranja privredne infrastrukture i izvorima na kojima će se taj sistem temeljiti, potrebno je da prethodno bude zajednički donesen i definiran program razvoja ovih djelatnosti za određeno, u pravilu srednjoročno razdoblje. U definiranju i donošenju tog programa razvoja, kao i sistema financiranja na kojem će se on temeljiti, nužno je da pored samoupravnih interesnih zajednica sudjeluju i izvršni organi društveno-političkih zajednica.

3.1. Vlastita sredstva, te funkcija i struktura cijena proizvoda i usluga organizacija udruženog rada privredne infrastrukture

Funkcija cijene u tržišnim uvjetima socijalističke robne proizvodnje je poznata. Putem nje se ponuda dovodi u sklad s potražnjom, te putem konkurencija dovodi do optimalne alokacije faktora proizvodnje. Uspješnost tog funkcioniranja zavisi u najvećoj mjeri od postojanja sljedeća bitna četiri elementa: (1) konkurencije ponuđača, (2) elasticiteta potražnje, (3) promjene ponude, te (4) slobodne razmjene dobara. Iz navedenih karakteristika organizacija udruženog rada privredne infrastrukture (monopolne, tehničko-tehnološke) vidljivo je da cijene proizvoda i usluga privredne infrastrukture ne mogu biti alokator faktora proizvodnje u ovim djelatnostima, jer nisu ispunjeni preduvjeti slobodnog kretanja robe i faktora proizvodnje.

U vezi s već iznesenom činjenicom u ovoj oštrini se postavljaju pitanja funkcije i strukture (optimalne) cijena proizvoda i usluga organizacija udruženog rada privredne infrastrukture. U vezi s tim, s obzirom na to da cijene proizvoda i usluga u privrednoj infrastrukturi ne mogu postati faktorom alokacije proizvodnje, nužno slijedi pitanje koju funkciju treba imati cijena u ovim djelatnostima, što se nužno povezuje i s pitanjem njezine strukture.

Zapravo, pojednostavljeno rečeno, pri tome se postavlja osnovno pitanje koji dio troška razvoja djelatnosti privredne infrastrukture treba uključiti u cijene proizvoda i usluga ovih djelatnosti, a koliki udio u tome trebaju imati ostali izvori. Kod nas se često govori o tome da samofinanciranje mora postati »dominantnim« oblikom financiranja proširene reprodukcije u materijalnoj sferi društvene reprodukcije,[12] a da se pri tome ništa određenije ne govori o tome da li se dominantan utjecaj samofinanciranja postiže kod svih djelatnosti i industrijskih grana u onom momentu kad se postigne otprilike i isti postotak učešća vlastitih sredstava.

Svakako da se tehno-ekonomske karakteristike pojedinih privrednih grana, te njihovo značenje na ukupan privredni i društveni razvoj moraju uzeti u obzir kada se govori o stupnju samofinanciranja. Kod privrednih grana s monopolnim i infrastrukturnim obilježjima, samofinanciranje će biti manje zastupljeno u financiranju proširene reprodukcije. Prenaglašavanje uloge samofinanciranja u privrednoj infrastrukturi prijeti da neće postojati »dovoljan pritisak na efikasnost njezina rada i razvoja, ali isto tako da će ona troškove svojeg razvoja prebacivati kroz cijenu na potrošače, te time nedovoljno utjecati na konkurentnost privrede i razinu životnog standarda«.[13]

Iako postoje neke razlike između pojedinih djelatnosti privredne infrastrukture, ipak se kao zajednički zaključak nameće stav da bi cijene proizvoda i usluga

---

[12] Vidjeti radove:

1. Dr Dragomir Vojnić, *Sistem proširene reprodukcije, razvojna politika i planiranje u svjetlu ustavne reforme*, časopis »Poduzeće—banka« br. 1/74.
2. Dr Vladimir Bakarić, *Socijalistički samoupravni sistem i proširena reprodukcija*, Informator, Zagreb, 1974.
3. Dr Miladin Korač, *Aktualni problemi financiranja proširene reprodukcije*, Institut za ekonomiku istraživanja, Beograd, 1974.
4. Dr Rikard Lang, *Ustav i razvitak privrednog sistema*, časopis »Ekonomski pregled« broj 5—7/74.

[13] Jadranko Bendeković, *Financiranje proširene reprodukcije u udruženom radu*. referat na Simpoziju — Opatija, 1974, strana 89.

ovih djelatnosti trebale u pravilu sadržavati samo troškove jednostavne reprodukcije i samo manji dio troškova njihova budućeg razvoja.

Troškovi jednostavne reprodukcije organizacija privredne infrastrukture sastoje se od fiksnih i varijabilnih troškova i nastaju kao rezultat samog postojanja i njihova funkcioniranja. Prema tome, cijena proizvoda i usluga ovih djelatnosti svakako bi trebala sadržavati: (1) materijalne troškove, (2) troškove tekućeg i investicionog održavanja, (3) amortizaciju, (4) osobne dohotke, (5) doprinose i ugovorne obveze, te (6) fond zajedničke potrošnje.

Kada se radi o politici i strukturi cijena proizvoda i usluga privredne infrastrukture, onda svakako ne bi trebalo biti dileme da nivo cijena ovih proizvoda i usluga u svako vrijeme osigurava pokriće troškova njihove jednostavne reprodukcije. U protivnom slučaju, to može imati za posljedicu neekonomično ponašanje potrošača u njihovu trošenju, kao i činjenicu da potrošači koji u velikim količinama troše proizvode i usluge organizacija privredne infrastrukture jednim dijelom temelje i ekonomsku opravdanost svog budućeg razvoja na nerealno niskim troškovima privredne infrastrukture.[14]

Provođenje određenih širih društvenih interesa, bilo socijalno-političkih ili privredno-političkih, ne bi, prema tome, trebalo provoditi putem troškova jednostavne reprodukcije, nego prije svega putem razvojne politike ovih djelatnosti i sistema financiranja na kojem se taj razvoj treba temeljiti.

Čini se da ovom prilikom treba posebno istaći problem tekućeg i investicionog održavanja objekata vodoprivredne infrastrukture, jer vodoprivredne organizacije od tih objekata ne ostvaruju nikakve prihode, pa niti korisnici u tom slučaju ne plaćaju nikakvu cijenu za te usluge. Ti objekti smatraju se općim dobrima u javnoj upotrebi i svojim postojanjem osiguravaju normalne uvjete života i rada za sve radne ljude i građane. Zaštitni objekti za obranu od poplava imaju izuzetno značenje za razvoj pojedinog područja i bitan su preduvjet za bilo kakvu privrednu aktivnost. Redovno funkcioniranje ovih objekata preduvjet su za privrednu aktivnost, poljoprivrednu proizvodnju, uvjet za razvoj gradova i naselja. Društveni interes koji se osigurava postojanjem i održavanjem objekata vodoprivredne infrastrukture nije, prema tome, ograničen samo na neke organizacije ili samo neke društveno-političke zajednice, već je to zajednički interes svih ljudi i građana. Zbog toga se smatra nužnim da se što prije uvede određena naknada za održavanje ovih objekata koju bi plaćale sve organizacije udruženog rada i radne zajednice na području cijele Republike.

Samo nešto blaži problem javlja se kod tekućeg održavanja krupne cestovne infrastrukture. Ako se i pođe od pretpostavke da se pretežan dio sredstva iz poreza na promet pogonskog goriva preraspodjelom u korist naknada za ceste koristi prije svega za održavanje i rekonstrukciju postojećih objekata, čini se da problem jednostavne reprodukcije ni u ovoj infrastrukturnoj djelatnoosti nije adekvatno riješen. Pri tome se prije svega misli na problem, kako i u kojoj mjeri u kalkulaciju cijene naknade za korištenje cesta uključiti i sredstva amortizacije ovih objekata.

Od navedenih troškova koji ulaze u strukturu cijene koštanja proizvoda i usluga organizacija udruženog rada privredne infrastrukture najveću pažnju svakako zaslužuje trošak amortizacije. To proizlazi iz ova tri razloga:

— prvo, iako je amortizacija trošak jednostavne reprodukcije, ona jednim svojim dijelom postaje i faktorom proširene reprodukcije
— drugo, što se kod pojedinih djelatnosti privredne infrastrukture trošak amortizacije do tada nije obračunavao i
— treće, značaj troška amortizacije u strukturi cijena proizvoda i usluga u pravilu je vrlo važan zbog kapitalne intezivnosti organizacija udruženog rada privredne infrastrukture.

Osnovna funkcija amortizacije ogleda se u tome da se u trenutku dotrajalosti osnovnih sredstava osiguraju novčana sredstva za njihovu zamjenu, kako bi se nesmetano mogao odvijati proces jednostavne reprodukcije. Međutim, u uvjetima privrednog rasta amortizacija svojim jednim dijelom prestaje da bude sam faktor jednostavne reprodukcije, nego odgovarajućim dijelom postaje faktorom proširene reprodukcije i dodatnim izvorom akumulacije za financiranje novih investicija. Stupanj doprinosa amortizacije proširenoj reprodukciji ovisi o stopi privrednog rasta i prosječnom vijeku trajanja fiksnih fondova.[15]

Bez obzira na to što se obračunom amortizacije nužno spaja proces jednostavne reprodukcije s procesom proširene reprodukcije, svrsishodno je da je amortizacija element strukture cijene proizvoda i usluga djelatnosti privredne infrastrukture, bez obzira na to da li će se ta sredstva nalaziti u nadležnosti organizacija udruženog rada privredne infrastrukture ili će biti udružena i koncentrirana na nivoima samoupravnih interesnih zajednica pojedinih djelatnosti privredne infrastrukture. Budući da su organizacije udruženog rada privredne infrastrukture u pravilu kapitalno vrlo intezivne, trošak amortizacije je značajna stavka u strukturi cijene koštanja. Argumentacija za obračun troška amortizacije svakako leži i u tome što je trošenje osnovnih sredstava real-

[14] S tim u vezi treba napomenuti da u SRH u proteklom planskom razdoblju 1976—1980. kod mnogih organizacija udruženog rada privredne infrastrukture cijene proizvoda i usluga nisu osiguravale pokriće troškova jednostavne reprodukcije. To je prije svega slučaj sa željeznicom, elektroprivredom, te komunalnim organizacijama udruženog rada.

[15] Na temelju navedene međuzavisnosti konstruiran je i poseban ekonomsko-matematički model proračuna učešća zamjene u amortizaciji, što se izražava u sljedećem odnosu:

$$Z/A = \frac{r \cdot m}{(1 + r)^m - 1},$$

gdje su: Z (zamjena), A (amortizacija), r (stopa rasta investicija) i m (vijek amortizacije). Vidi o tome: Dr. Dragomir Vojnić, *Neki aspekti problema amortizacije u uvjetima privrednog rasta,* »Ekonomski pregled« broj 6/1959, (2) Dr. Branko Horvat: *Ekonomska teorija planske privrede,* Kultura, Beograd, 1961, (3) Dr Pavle Knežević, *Amortizacija kao faktor troškova, cena i reprodukcije,* Informator, Zagreb, 1969.

ni trošak tekućeg poslovanja i njega je potrebno nadoknaditi u reprodukcionom procesu. Ukalkuliranjem amortizacije u strukturu cijene proizvoda i usluga organizacija udruženog rada privredne infrastrukture osigurava se realnost troškova jednostavne reprodukcije koji je potrebno pokriti.

Pitanje vezano za eventualni obračun ubrzane amortizacije kod organizacija udruženog rada privredne infrastrukture dobiva posve drugi karakter. U pravilu, u ovim djelatnostima ne bi trebali postojati ekonomski motivi prijevremene amortizacije osnovnih sredstava, nego, naprotiv, redovitim tekućim i investicionim održavanjem trebalo bi nastojati što više produžiti njihov upotrebni vijek. Naprotiv, u ostaloj materijalnoj proizvodnji u uvjetima robne proizvodnje određivanje amortizacije osnovnih sredstava predstavlja stvar poslovne politike tih organizacija, jer je ubrzana amortizacija u suvremenim uvjetima postala ekonomska nužnost.

Drugi dio vlastitih sredstava za financiranje razvoja organizacija udruženog rada privredne infrastrukture moguće je osigurati kroz cijene proizvoda i usluga ovih djelatnosti. Ako šira društveno-politička zajednica želi kroz razvoj ovih djelatnosti provoditi određene privredno-političke ciljeve (politiku životnog standarda, stimulirati razvoj nekih djelatnosti, povećavati konkurentnu sposobnost naše privrede prema inozemnom tržištu) i ako se putem cijena žele eliminirati potencijalne negativnosti koje u sebi krije monopolni karakter ovih djelatnosti, onda, u pravilu, cijene proizvoda i usluga ovih djelatnosti ne bi u sebi mogle sadržavati značajan izvor sredstava za financiranje razvoja. Osim toga, ekonomski je svakako neracionalno, sa stajališta nacionalne privrede, opteretiti cijene proizvoda i usluga organizacija udruženog rada privredne infrastrukture s punim iznosom troškova i jednostavne i proširene reprodukcije. U tom slučaju dolazi, naime, do toga da cijene proizvoda i usluga ovih djelatnosti, zbog poznate kapitalne intezivnosti, rastu neopravdano vrlo visoko za postojeće potrošače,[16] što dovodi do pogrešne redistribucije troškova proširene reprodukcije. Društvo kao cjelina mora snositi sav teret razvoja privredne infrastrukture, no za ekonomske subjekte nije svejedno koji dio tih ukupnih troškova će oni pojedinačno snositi. Adekvatnom politikom cijena i uvođenjem u sistem financiranja proširene reprodukcije privredne infrastrukture drugih izvora koji imaju više karakter društvenog financiranja, moguće je postići prethodno navedene redistributivne efekte.

3.2. Udružena sredstva društvene reprodukcije

Temeljni okvir, a i obveze udruživanja rada i sredstava regulirani su članom 34. Ustava SFR Jugoslavije.

»Svoj rad i sredstva društvene reprodukcije u osnovnim organizacijama udruženog rada radnici slobodno udružuju u radnim organizacijama i drugim oblicima udruživanja rada i sredstava radi povećanja dohotka osnovnih organizacija udruženog rada, unapređenja i razvijanja vlastitog i zajedničkog rada i poslovanja i podizanja proizvodnosti ukupnog udruženog rada.

Međusobna prava, obveze i odgovornosti u različitim oblicima udruživanja rada i sredstava radnici u osnovnim organizacijama udruženog rada uređuju samoupravnim sporazumima u skladu sa zakonom, osiguravajući u cjelini tih odnosa ustavom zajamčena prava radnika.«

No, prilikom donošenja samoupravnih sporazuma o udruživanju dijela sredstava društvene reprodukcije radi financiranja proširene reprodukcije u organizacijama udruženog rada privredne infrastrukture, postavljaju se najmanje tri pitanja, koja treba na adekvatan način razriješiti:

— prvo, kakvu ulogu i značenje trebaju imati udružena sredstva društvene reprodukcije u financiranju razvoja privredne infrastrukture
— drugo, na temelju kojih kriterija, odnosno na temelju koje osnovice korisnici društvenih sredstava trebaju udruživati dio sredstava svoje društvene reprodukcije i
— treće, koji je osnovni motiv ovog udruživanja, a time i kakav karakter trebaju imati ova udružena sredstva.

Ustavni tretman institucija udruživanja rada i sredstava putem samoupravnog sporazumijevanja i društvenog dogovaranja svakako pruža mogućnost da udruženi rad postane dominantnim faktorom financiranja investicija. Dosadašnja praksa formiranja sredstava za financiranje proširene reprodukcije putem potpisanih samoupravnih sporazuma neosporno je pokazala da takav način prikupljanja sredstava ne odražava samo institucionalnu logiku funkcioniranja cjelokupnog privrednog sistema, nego sa svoje strane održava i ekonomsku logiku, tj. povezanost razvoja infrastrukturnih i direktno proizvodnih kapaciteta u privredi.

Budući da su djelatnosti privredne infrastrukture investiciono vrlo intezivne, a u pravilu su, zbog politike cijena njihovih proizvoda i usluga, nisko akumulativne, problem financiranja njihova razvoja, a time i skladnost cjelokupnog privrednog razvoja bit će vrlo teško ostvariti bez mehanizama samoupravnog sporazumijevanja i društvenog dogovaranja, koji će mobilizirati i usmjeravati sredstva društvene reprodukcije u ove djelatnosti. Podaci dani u tablicama 1. i 2. ovog rada nameću ispravan zaključak da bi putem udruživanja sredstava društvene reprodukcije trebalo prikupljati pretežan dio sredstava za financiranje proširene reprodukcije u privrednoj infrastrukturi.

Prihvaćeni samoupravni sporazumi o financiranju programa razvoja elektroprivrede, željezničkog prometa, te cestovne i vodoprivredne infrastrukture u razdoblju od 1981. do 1985. godine pokazuju da će,

[16] Ako bi se u planskom razdoblju 1981—1985. godine sredstva za financiranje proširene reprodukcije u elektroprivredi Hrvatske prikupljala isključivo kroz cijene električne energije, onda bi cijene trebalo povećati od 1. 1. 1981. svim potrošačima u prosjeku za oko 58 para/kWh, što nije moguće učiniti ni iz privrednih, a ni iz političkih razloga.

promatrano dinamički, učešće sredstava s ovog naslova sve više rasti.

Drugi važan problem koji zahtijeva adekvatno rješenje odnosi se na izbor osnovice za udruživanje ovih sredstava. Naime, osnovni prigovor koji se je pojavljivao u javnoj raspravi odnosio se na prigovor o izboru osnovice koja služi za ovo udruživanje. Taj prigovor zasnivao se na tome da udruživanje ovih sredstava na temelju ostvarenog dohotka nije u potpunoj korelaciji s troškovima koje izaziva razvoj pojedinih potrošača u razvoju ovih djelatnosti.

Sigurno je da nije ni moguće pronaći kriterije na kojima bi se vršilo udruživanje sredstava društvene reprodukcije za razvoj privredne infrastrukture koji bi bili u potpunoj korelaciji s troškovima koje izazivaju pojedini potrošači proizvoda i usluga ovih djelatnosti. Ako se putem sistema financiranja proširene reprodukcije žele provoditi i određeni elementi socijalne i šire ekonomske politike, onda takve kriterije nije ni potrebno pronalaziti. U tom slučaju, sistem financiranja proširene reprodukcije privredne infrastrukture treba istovremeno biti zasnovan i na troškovnom, ali i na principu solidarnosti. Udruživanjem sredstava društvene reprodukcije za razvoj privredne infrastrukture u određenom postotku od ostvarenog dohotka postižu se određeni redistributivni efekti, ali istovremeno i korigiraju defekti koji su uspostavljeni neadekvatnim odnosima u primarnoj raspodjeli kroz politiku cijena.

Iako se veličina obveza za udruživanjem određuje na temelju ostvarenog dohotka, samo udruživanje ovih sredstava vrši se na teret sredstava poslovnog fonda ili sredstava slobodnog dijela amortizacije. To znači da organizacije udruženog rada koje su prema potpisanim sporazumima obveznici udruživanja ova sredstva udružuju na teret vlastitih sredstava namijenjenih proširenju materijalne osnove svojeg rada.

Pregled visina stopa po kojima organizacije udruženog rada u SR Hrvatskoj udružuju sredstva za razvoj privredne infrastrukture u razdoblju 1981—1985. godine na ostvareni dohodak

Godina	Elektro-privreda	Zeljez. promet	Vodo-privreda	Cestovna infra-struktura
1	2	3	4	5
1981.	0,40	0,920	0,612	0,520
1982.	0,45	1,035	0,688	0,585
1983.	0,50	1,150	0,765	0,650
1984.	0,50	1,150	0,765	0,650
1985.	0,50	1,150	0,765	0,650

Izvor podataka: Samoupravni sporazum o programu razvoja ovih djelatnosti za razdoblje 1981—1985, »Narodne novine« broj 51/1981.

Osim udruživanja sredstava društvene reprodukcije koji se temelji na ostvarenom dohotku što ga udružuju samo organizacije udruženog rada privredne djelatnosti, za program razvoja elektroprivrede sve organizacije udruženog rada udružuju dio svoje društvene reprodukcije i na temelju sljedeća tri kriterija:[17]

— 4% od iznosa isplata za investiciona ulaganja
— 25% od računa za potrošenu električnu energiju
— sredstva dana ranije u obliku zajma čije se vraćanje odgađa.

Čini se da ovom prilikom posebno treba istaći opravdanost i pogodnost da se dio sredstava društvene reprodukcije udružuje na temelju određenog postotka od iznosa isplata za investiciona ulaganja.[18] Time se bar u jednom dijelu utječe na uklanjanje strukturalnih disproporcija u našem dosadašnjem privrednom razvoju, pri čemu su investicije u prerađivačke kapacitete u pravilu uvijek brže rasle od investicija u objekte privredne infrastrukture.

Udruživanje po ovoj osnovi vrši se na teret onih sredstava iz kojih se plaćaju investiciona ulaganja, a samo izdvajanje ovih sredstava obavlja se prilikom svake pojedinačne isplate za investiciono ulaganje.[19]

Problem koji u pravilu izaziva najviše dilema pri udruživanju sredstava društvene reprodukcije odnosi se na pitanje karaktera ovih sredstava.

Naime, pri tome se postavlja pitanje da li ova sredstva trebaju biti udružena na:

— principu zajedničkog ulaganja radi stjecanja zajedničkog dohotka
— principu kreditnog odnosa ili
— svojevrsnom obliku zajedničkog ulaganja radi trajne isporuke proizvoda i usluga.

Na udruživanje sredstava društvene reprodukcije putem samoupravnog sporazumijevanja u samoupravnim društveno-ekonomskim odnosima treba prije svega gledati kao na prošireno shvaćanje pojma samofinanciranja koji karakterizira specifičnost samoupravnih društveno-ekonomskih odnosa,[20] što isključuje mogućnost da ovo udruživanje i u idućem razdoblju bude temeljeno na kreditnim odnosima.[21]

Kreditni karakter udruženih sredstava društvene reprodukcije u proteklom razdoblju imao je i drugih negativnih posljedica. Budući da su ova sredstva investirana u osnovna sredstva čiji je rok amortizacije u pravilu preko trideset godina, a ročnost njihova povrata iznosila je u pravilu do 15 godina, nužno je potenciralo problem prezaduženosti ovih djelatnosti, a to je dovelo i do naglog i vrlo dinamičnog porasta cijena koštanja ovih proizvoda i usluga.

[17] Vidjeti: *Samoupravni sporazum o zajedničkim osnovama razvoja elektroprivrede u razdoblju od 1981. do 1985. godine,* »Narodne novine« broj 51/1981, član 35.

[18] Članom 37. Samoupravnog sporazuma o zajedničkim osnovama razvoja elektroprivrede u razdoblju 1981—1985. godine oslobođene su obveze udruživanja po ovoj osnovi upravo djelatnosti privredne infrastrukture, te investicije u osnovna sredstva društvenih djelatnosti.

[19] Osim već navedenih izvora, dio sredstava za financiranje razvoja elektroprivrede prikuplja se od posebnih doprinosa koji potrošači plaćaju na cijenu električne energije. Iako su ti doprinosi uvedeni na temelju posebnih propisa i iako oni ostaju kao jedan od izvora financiranja razvoja elektroprivrede i u planskom razdoblju 1976—1980. godine, smatra se da bi oni trebali nestati iz sistema financiranja proširene reprodukcije elektroprivrede, pa zbog toga neće biti ni posebno obrađeni. Naime, sa stajališta potrošača, ova sredstva nisu ništa drugo nego dio cijene električne energije, pa bi ih trebalo tretirati kao vlastita sredstva.

[20] Vidjeti: Dr Dragomir Vojnić, *Okvirni elementi i idejno-teoretske osnove razvoja sistema proširene društvene reprodukcije u samoupravljanju,* u knjizi: »Poslovne financije«, Fakultet za vanjsku trgovinu Zagreb, 1975, strana 75.

[21] U planskom razdoblju od 1976. do 1980. godine udružena sredstva društvene reprodukcije za financiranje razvoja elektroprivrede, željezničkog prometa i cestovne infrastrukture udruživana su na kreditnim osnovama (rok 15 godina uz kamatu od 4%), dok su jedino udružena sredstva za financiranje razvoja vodoprivredne infrastrukture imala bespovratan karakter.

Obveze po dugoročnim kreditima u elektroprivredi Hrvatske u razdoblju 1981 – 1985. godine iznose zbog toga 13 413 a u cestovnoj infrastrukturi 12 919 milijuna dinara.[22]

Udruživanje sredstava društvene reprodukcije putem samoupravnog sporazumijevanja u razvoj privredne infrastrukture vrši se svjesno i dugoročno na temelju usklađenih planova budućeg razvoja. Sve to govori u prilog činjenice da bi se udruživanje ovih sredstava trebalo temeljiti na principu zajedničkog ulaganja, čime se povećava zainteresiranost potrošača za dugoročnim i efikasnim razvojem privredne infrastrukture kao preduvjetom vlastitog razvoja. Međutim, temeljni interes ovog udruživanja ne bi mogao biti na dohodovnoj osnovi, jer su, kako je već rečeno, organizacije udruženog rada privredne infrastrukture, zbog politike cijena, u pravilu nisko akumulativne. Temeljni interes udruživanja ovih sredstava svakako bi trebao biti u sigurnoj i kontinuiranoj isporuci proizvoda i usluga koje bi organizacije udruženog rada isporučivale svojim potrošačima. Osnovu za takav oblik zajedničkog ulaganja predviđa i član 81. Zakona o udruženom radu, a oblik udruživanja posebno se razrađuje u Nacrtu zakona o proširenoj reprodukciji i minulom radu.

Iako, formalno gledano, korisnici proizvoda i usluga privredne infrastrukture ova sredstva udružuju bespovratno, oni bi zauzvrat trebali dobiti sigurnu i kvalitetnu isporuku dobara i usluga privredne infrastrukture. Zbog toga se i ne bi moglo govoriti o čistom obliku bespovratnog udruživanja ovih sredstava, nego o specifičnom obliku zajedničkog ulaganja u kojem dolaze do izražaja i ekonomski interesi organizacija udruženog rada privredne infrastrukture, ali i ekonomski interesi korisnika njihovih proizvoda i usluga. Udruživanje ovih sredstava na bespovratnoj osnovi sigurno bi dovelo do toga da bi cijene proizvoda i usluga organizacija udruženog rada privredne infrastrukture bile niže, a i stabilnije, što bi utjecalo na povećanje konkurentne sposobnosti domaćih proizvođača na inozemnom tržištu.[23]

3.3. Sredstva naknada

Sredstva naknada pokazala su se kao vrlo pogodan oblik prikupljanja dijela sredstava potrebnih za financiranje razvoja privredne infrastrukture. Prikupljanje sredstava za razvoj putem ovog izvora prisutno je kod mnogih djelatnosti privredne infrastrukture, ali se čini da je njihova prikladnost najviše došla do izražaja u financiranju razvoja komunalne infrastrukture i to prije svega one komunalne infrastrukture koja ima individualni karakter potrošnje (opskrba vodom, plinom, toplinskom energijom), te u isporuci električne energije i kod uspostavljanja telefonskih priključaka.[24]

Naknadu za financiranje proširene reprodukcije ovih djelatnosti trebali bi plaćati svi novi potrošači, kao i postojeći koji traže povećanje priključnih kapaciteta. To zapravo znači da bi svaki novi potrošač ili postojeći potrošač koji traži povećanje priključnih kapaciteta, osim troškova koje plaća za sam priključak, trebao platiti i naknadu kao dio potrebnih sredstava za proširenje osnovnih kapaciteta ovih djelatnosti. Ova naknada trebala bi biti odmjerena u određenom postotku u odnosu na ukupno potrebne investicije u osnovne kapacitete određene djelatnosti privredne infrastrukture koje izaziva jedan takav potrošač.

Davanje mnogo značajnije uloge sredstvima naknada u financiranju proširene reprodukcije ovih djelatnosti ima puno ekonomsko opravdanje. Ono se prije svega ogleda u tome što veći dio sredstava za razvoj time daju oni potrošači zbog kojih je i potrebno izgraditi nove kapacitete u ovim djelatnostima.

Novi potrošači, kao i postojeći koji traže povećanje priključnih kapaciteta, ne bi trebali dobiti ni suglasnost na izvođenje ovih priključaka a da prethodno ne uplate sredstva naknada za razvoj osnovnih kapaciteta. Vjerojatno bi davanjem veće uloge sredstvima naknade u financiranju proširene reprodukcije potrošači ulazili u nove investicije s mnogo većom i temeljitijom pripremom i s realnijim zahtjevima za novim priključnim kapacitetom vode, plina, topline i električne energije.

Sredstva od naknada trebala bi imati bespovratan karakter, a njihova veličina trebala bi ovisiti o cjelokupnoj konstrukciji financiranja proširene reprodukcije za određeno plansko razdoblje koje utvrđuje nadležna samoupravna interesna zajednica zajedno s organima nadležne društveno-političke zajednice.

Navedeni pojam i sadržaj naknade čija sredstva u cijelosti služe za financiranje proširene reprodukcije treba svakako razlikovati od pojma i sadržaja komunalne naknade koju plaćaju građani i organizacije udruženog rada u naseljima s uređenim građevinskim zemljištem za usluge komunalnih djelatnosti zajedničke potrošnje, tj. one komunalne djelatnosti koje se ne mogu korisnicima utvrditi pojedinačno, kao: (1) uređenje i održavanje parkova, zelenih površina, dječjih igrališta, (2) uređenje i održavanje cesta, ulica i trgova, (3) uređenje i održavanje groblja, (4) održavanje čistoće javnih površina, (5) odvođenje i pročišćavanje otpadnih i atmosferskih voda i slično.

S obzirom na karakter komunalnih djelatnosti zajedničke potrošnje, sistem financiranja njihove jednostavne reprodukcije trebalo bi u pravilu temeljiti na sredstvima komunalne naknade, a njihov bi razvoj u pretežnosti trebalo financirati sredstvima općinskog budžeta za te namjene.

3.4. Povratna (kreditna) sredstva u financiranju razvoja djelatnosti privredne infrastrukture

Osim udruženih sredstava društvene reprodukcije, kao i sredstava naknada, te vlastitih sredstava za fi-

[22] Vidjeti: Dr Jure Simović, *Analiza sistema financiranja proširene reprodukcije u elektroprivredi Hrvatske s prijedlogom izmjena i dopuna*, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1981. i *Izvještaj o realizaciji razvoja magistralnih cesta u SR Hrvatskoj u razdoblju 1976—1980. godine*, Samoupravna interesna zajednica za ceste Hrvatske, Zagreb, 1981.

[23] Za organizacije udruženog rada koje nisu prihvatile i zaključile samoupravne sporazume o zajedničkim osnovama razvoja elektroprivrede, magistralnih cesta, željezničkog prometa, vodoprivrede, te bržeg razvoja nedovoljno razvijenih krajeva u razdoblju od 1981. do 1985. godine, Sabor SR Hrvatske je donio poseban zakon po kojem su i te organizacije obvezne udruživati dio sredstava društvene reprodukcije za ove namjene (»Narodne novine« broj 56/1981 godine).

[24] Isporuka električne energije potrošačima (distribucija) i uspostava telefonskog priključka također je u svom pretežnom dijelu komunalna djelatnost, iako su po pozitivnim propisima tretirane kao sastavni dio elektroprivrednog i PTT-sistema.

nanciranje razvoja privredne infrastrukture, potrebna je i odgovarajuća uloga kredita. Bez odgovarajuće uloge kredita ne bi se mogao u cjelini obaviti proces koncentracije, prelijevanja i cirkulacije sredstava namjenjenih za financiranje proširene reprodukcije.

Pri tome se prije svega misli na mobilizaciju značajnih viškova novčanih sredstava stanovništva koje se putem štednje i uz odgovarajuću kamatnu stopu koncentriraju i predstavljaju značajan izvor dugoročnih kreditnih sredstava za financiranje proširene reprodukcije.[25]

Ali, prvo što se u dosadašnjem sistemu financiranja proširene reprodukcije treba izmijeniti, kako u financiranju proširene reprodukcije privredne infrastrukture, tako i privrede u cjelini, odnosi se na činjenicu da se udio kreditnih sredstava svede s dominantne uloge na dopunsku. Prema podacima iz tablice 1. u proteklom srednjoročnom planskom razdoblju povratna (kreditna) sredstva s različitih naslova sudjelovale su u financiranju razvoja elektroprivrede sa oko 64% u strukturi ukupnih sredstava, u željezničkom prometu sa 71%, a u financiranju krupne cestovne infrastrukture sa oko 68%.

Ovakva hipertrofija kreditnog odnosa u financiranju proširene reprodukcije imala je ili će još imati mnoge negativne posljedice na budući razvoj djelatnosti privredne infrastrukture. Prije svega, ne može se zaobići pitanje prezaduženosti ovih djelatnosti s posljedicama koje iz toga slijede.

To upućuje na potrebu da se kreditni odnos u financiranju proširene reprodukcije u djelatnostima privredne infrastrukture svede što prije s dominantnog na dopunski karakter. Transformacijom udruženih sredstava društvene reprodukcije putem samoupravnog sporazumijevanja i njihova udruživanja na bespovratnoj osnovi učinjen je važan pozitivan korak u tom pravcu.

Drugi važan korak u tom pravcu odnosi se na potrebu da se rokovi otplata kreditnih sredstava kojima se koristi privredna infrastruktura u financiranju svojeg razvoja usklade s amortizacionim vijekom osnovnih sredstava koja se s tim kreditnim sredstvima grade. Prema temeljnom pravilu nauke o financijama dugotrajna osnovna sredstva treba financirati u pravilu dugoročnim kreditnim sredstvima koja po uvjetima otplate približno odgovaraju njihovu vijeku amortizacije.

No, ovo temeljno pravilo u proteklim godinama u našoj zemlji nije ni moglo biti poštivano. U uvjetima napregnutog bankarskog kreditnog mehanizma i u uvjetima stalno prisutne inflacije, davaocima kredita se nije isplatilo davati kreditna sredstva s dugim rokovima otplata i s niskim kamatnim stopama, kakve kreditne kondicije zahtijeva financiranje razvoja djelatnosti privredne infrastrukture.

Budući da na našem kreditnom tržištu nema kreditnih sredstava takvih kondicija, potrebno je u našim uvjetima, sistemskim mjerama, stvoriti namjenska kreditna sredstva, kako bi i cijela konstrukcija sistema financiranja djelatnosti privredne infrastrukture mogla biti zatvorena. Imajući na umu specifičnosti našeg društvenog i privrednog sistema, ta namjenska kreditna sredstva mogla bi se osigurati iz ovih izvora:

1 — namjenskim usmjeravanjem dijela kreditnog potencijala poslovnih banaka
2 — nacionalnim zajmovima
3 — inozemnim kreditima.

Budući da proizvodni proces organizacija privredne infrastrukture zahtijeva kreditna sredstva s vrlo dugim rokovima otplate i niskom kamatnom stopom, zainteresiranost poslovnih banaka za plasiranjem svojih kreditnih sredstava u ove organizacije je vrlo malena.

Međutim, u provođenju kreditne politike poslovne banke ne bi trebale, kao do sada, u pretežnom dijelu usmjeravati ova sredstva u investicije sa što kraćim rokom otplate. Imajući na umu specifičnosti našeg društvenog i privrednog sistema, u kojem prevladavaju elementi planskog usmjeravanja privrednog razvoja, kreditna sredstva za financiranje razvoja privredne infrastrukture trebala bi djelomično osigurati putem namjenskog usmjeravanja dijela kreditnog potencijala poslovnih banaka.

Drugi dio kreditnih sredstava za financiranje razvoja privredne infrastrukture trebao bi se osiguravati raspisivanjem javnih zajmova među stanovništvom. Iako je ovaj oblik prikupljanja sredstava korišten u posljednjim godinama za financiranje razvoja nekih infrastrukturnih djelatnosti, prije svega cestovne infrastrukture, on nije korišten u dovoljnoj mjeri. Raspisivanje nacionalnih zajmova za prikupljanje sredstava za financiranje razvoja djelatnosti privredne infrastrukture danas se koristi u velikoj mjeri u mnogim zemljama, posebno kad su u pitanju djelatnosti elektroprivrede,[26] željezničkog prometa, cestovne infrastrukture, poštansko-telefonsko-telegrafskog saobraćaja i komunalne infrastrukture.

Sve analize strukture novčane mase u našoj zemlji pokazuju da se značajan dio novčanih sredstava nalazi u sektoru stanovništva. Izgradnjom određenih mehanizama svakako bi se mogli prikupiti ti viškovi financijskih sredstava i usmjeriti se u sektor privrede, pa time i u djelatnosti privredne infrastrukture kod kojih je manjak financijskih sredstava najizraziti.[27]

Inozemne zajmove u financiranju razvoja djelatnosti privredne infrastrukture trebalo bi ograničiti samo na slučajeve uvoza opreme i tehnologije koju nije moguće proizvesti u našoj zemlji. Osim poznatih problema platnog deficita naše zemlje u odnosima s inozemstvom, što se nužno mora imati na umu, djelatnosti privredne infrastrukture su kao najveći investi-

---

[25] Vidjeti: Vlado Leko, *Sektorski raspored akumulacije i štednje u Jugoslaviji — osvrt na značenje financijskih sredstava sektora stanovništva*, časopis »Poduzeće—banka« broj 7/1980.

[26] U 1976. godini u AP Vojvodini raspisan je i nacionalni zajam za izgradnju elektroenergetskih objekata koji je u cijelosti uspio.

[27] Dr Marijan Hanžeković, *Mogućnosti i problemi razvoja jugoslavenskog tržišta financijskim sredstvima*, Zbornik »Poslovne financije«, Fakultet za vanjsku trgovinu, Zagreb, 1975, strana 83.

tori u privredi vrlo bitni za razvoj mnogih drugih privrednih djelatnosti, posebno strojogradnje, elektrostrojogradnje, građevinske operative, kao i niza drugih djelatnosti koje svoj budući razvoj u velikoj mjeri vežu za razvoj djelatnosti privredne infrastrukture.

3.5. Ostali izvori

Među ostale izvore financiranja privredne infrastrukture svakako treba spomenuti sredstva budžeta društveno-političkih zajednica, te sredstva samodoprinosa, posebno u oblasti financiranja različitih potreba komunalne infrastrukture.

Specifičan položaj organizacija udruženog rada privredne infrastrukture u ukupnom privrednom sistemu, posebno naglašeni socijalno-politički interesi koji se nastoje ostvariti putem cijene proizvoda i usluga ovih djelatnosti, nameću potrebu da se u takvim situacijama sredstvima budžeta kompenziraju troškovi poslovanja ovih djelatnosti u oblasti jednostavne reprodukcije. Takva praksa nije prisutna samo u našoj zemlji (željeznica, elektroprivreda), nego također i u mnogim drugim zemljama.[28] Sredstva za financiranje razvoja trebala bi i u tom slučaju biti osigurana putem danog instrumentarija.

U oblasti financiranja komunalne infrastrukture samodoprinos se pojavljuje kao vrlo pogodan oblik prikupljanja sredstava. Bez obzira na to radi li se o komunalnim djelatnostima individualne potrošnje ili o komunalnim djelatnostima zajedničke potrošnje, te su potrebe od neposrednog i zajedničkog interesa za normalno odvijanje života ljudi i njihovih obitelji u mjesnoj zajednici i općini, pa i šire — u velikim urbanim cjelinama, odnosno gradovima.[29] Vezano s tim samodoprinos bi, uz ostale navedene izvore, u pravilu trebalo koristiti još u većoj mjeri nego do sada u financiranju komunalne infrastrukture.

4. UMJESTO ZAKLJUČKA

I pored izuzetnog značenja razvoja privredne infrastrukture na cjelokupni društveno-ekonomski razvoj, problematici financiranja privredne infrastrukture u našoj zemlji nije posvećena odgovarajuća pažnja. Posebno se nakon privredne reforme iz 1965. godine na probleme financiranja razvoja privredne infrastrukture gledalo suviše pojednostavljeno. Gledano iz današnje perspektive, slobodno se može reći da su privredne mjere na kojima se temeljio razvoj privredne infrastrukture precijenile mogućnosti djelovanja tržišta u njihovu razvoju, dok su nedovoljno uvažavane tehničko-tehnološke, infrastrukturne, upotrebne i monopolne karakteristike ovih privrednih grana.

To je imalo nužno za posljedicu da je u sistemu financiranja ovih djelatnosti bila prenaglašavana uloga elemenata poslovnog financiranja, dok je neopravdano zanemarena uloga instrumenata društvenog financiranja.

Uočavajući nedostatke u sistemu financiranja proširene reprodukcije privredne infrastrukture u razdoblju od 1965. do 1975. godine, i polazeći od odredbi Ustava SFRJ i Zakona o udruženom radu, u SR Hrvatskoj se u toku 1975. godine pristupili izradi u mnogim elementima novog sistema financiranja privredne infrastrukture. Novim sistemom financiranja proširene reprodukcije privredne infrastrukture bile su, međutim, obuhvaćene samo četiri djelatnosti privredne infrastrukture koje po mnogo čemu imaju sistemski karakter: elektroprivreda, željeznički promet, cestovna i vodoprivredna infrastruktura.

Izložene karakteristike organizacija udruženog rada privredne infrastrukture, njihova visoka kapitalna intezivnost, značajno vremensko nepodudaranje između momenta ulaganja i momenta ostvarivanja efekata, kao i postojanje visokih pozitivnih i negativnih eksternih efekata, koje ima razvoj ovih djelatnosti na mnoge druge privredne i društvene subjekte, upućuje na zaključak da tržna razmjena ne može biti isključiva osnova ni u jednostavnoj, a pogotovo ne u proširenoj reprodukciji. Zajedničko programiranje i financiranje ovih djelatnosti mora se odvijati samoupravnim odlučivanjem međusobno povezanih korisnika proizvoda i usluga djelatnosti privredne infrastrukture, te samih ovih djelatnosti.

Iz analize samog sistema financiranja proširene reprodukcije privredne infrastrukture u SR Hrvatskoj vidljivo je da se najveći problemi javljaju kod izvora instrumenata za prikupljanje sredstava i kod utvrđivanja osnovica za ova izdvajanja. Kroz analizu samih instrumenata za prikupljanje sredstava, kao i kroz kritički osvrt na izbor osnovica, u radu se nastojalo upozoriti na uočene nedostatke, te ukazati na moguće putove njihova otklanjanja, nastojeći da kroz primjenu ovih instrumenata dođe do izražaja neposredna povezanost i interes organizacija udruženog rada privredne infrastrukture na jednoj, te ekonomski interes korisnika njenih proizvoda i usluga na drugoj strani.

---

[28] Podatke o kompenzacijama iz budžeta željeznicama u drugim zemljama vidjeti u *Izvještaju o izvršenju Programa razvoja željezničkog prometa u SR Hrvatskoj u razdoblju od 1976. do 1980. godine,* Zagreb, 1981.

[29] Osim samodoprinosa, u financiranju komunalne infrastrukture moguće je koristiti i druge specifične izvore za ovu oblast, kao gradilišnu rentu, sredstva koja se osiguravaju za uređenje građevinskog zemljišta i slično.

KEY WORDS: ECONOMY, INFRASTUCTURE, PROBLEMS OF INVESTMENTS

ECONOMY INFRASTRUCURE AND PROBLEMS OF INVESTMENTS

In the article is given a critical review of new investment system in economy infrastructure, its instruments, problem of duality as well as simultaneous existence of commercial and state investments.

WIRTSCHAFTLICHE INFRASTRUKTUR UND DEREN FINANZIERUNGSPROBLEME

Kritisch wird untersucht das neue Finanzierungssystem der wirtschaftlichen Infrastruktur und deren Aufbau. Erörtert wird deren Doppelsinnigkeit bzw. deren gleichzeitige Beeinflussung der geschäfts Zichen und gesellschaftlichen Finanzierung.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НА СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Речь идет об автоматическом управлении электроприводом на современных тепловых электростанциях, а в качестве примера описана система автоматического управления устройствами собственных нужд на ТЭС »Косово Б«.

Naslov pisca:

Doc dr Jure Šimović, dipl. ecc.
Viša upravna škola, 41000 Zagreb

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 01 – 26.

AKTUALNO

VLASNICI I KORISNICI NEKRETNINA — prema Zakonu o elektroprivredi

Ovim se člankom prvi put u nas pristupa obradi pitanja položaja vlasnika i korisnika nekretnina prema novom Zakonu SR Hrvatske o elektroprivredi.

Naročita pažnja usredotočena je na:

— obveze vlasnika i korisnika nekretnina, naime na
— prava elektroprivrednih organizacija koja Zakon o elektroprivredi određuje da bi se postigla potpuna i sigurna, nesmetana dobava električne energije.

Zakon o elektroprivredi[1] stupio je na snagu 2. ožujka 1983.[2] primjenjivat će se od 1. srpnja 1983.[3] Do 1. srpnja 1983. vrijedi Zakon o elektroprivredi (»Narodne novine« br. 52/74, 12/75 i 57/76) i primjenjuju se odredbe člana 2. i 3. Zakona o privremenom financiranju elektroenergetskih objekata i postrojenja (»Narodne novine« br. 26/71, 32/71 i 40/71). U odnosu prema Zakonu o osnovnim vlasničkopravnim odnosima (»Službeni list SFRJ« od 8. veljače 1980; na snazi od 1. rujna 1980) uopće, o izgradnji, održavanju i zaštiti elektroenergetskih postrojenja na tuđim nekretninama Zakon o elektroprivredi posebno određuju (članovi 69—77).

VLASNICI I KORISNICI NEKRETNINA — zgrada i zemljište

u društvenom vlasništvu, odnosno u vlasništvu građana i građanskih pravnih osoba

dužni su: (I) omogućiti elektroprivrednoj organizaciji[4]

1. izgradnju i
2. održavanje

vodova visokog i niskog napona (zračni i kabelski sa stupnim trafo-stanicama i pripadajućim postrojenjima i uređajima) ako se utvrdi da je izgradnja i održavanje tih vodova na određenim nekretninama od općeg interesa /član 69, stav 2/;

(II) trpiti prolaz elektroprivredne organizacije preko zemljišta do čestice na kojoj se elektroenergetsko postrojenje gradi odnosno nalazi /član 70, stav 1/;

(III) snositi troškove poduzimanja nužnih zaštitnih mjera /član 73, stav 2/;

(IV) dozvoliti elektroprivrednoj organizaciji da izvrši kresanje ili uklanjanje zatečenog raslinja, tako da ono ne ometa normalno korištenje tih vodova odnosno postrojenja /član 74, stav 2/.

Zabranjeno im je (V) zasađivanje raslinja na zemljištu iznad ili ispod elektroenergetskih vodova i postrojenja odnosno na visini ili udaljenosti od tih vodova odnosno postrojenja koja je određena propisima o tehničkim normativima[5] /član 74, stav 1/.

Ne smiju (VI) izvoditi radove koji ometaju nesmetan prijenos ili distribuciju električne energije prije nego o tome pismeno obavijeste elektroprivrednu organizaciju čiji je vod u pitanju, radi poduzimanja zaštitnih mjera kojim se osiguravaju električni vodovi /član 73, stav 1/;

(VII) ometati normalno korištenje tih objekata i postrojenja (izgradnjom objekata ili izvođenjem radova u blizini elektroenergetskih objekata i postrojenja) /član 75, stav 1/.

Utvrđivanje općeg interesa i obveze vlasnika odnosno korisnika nekretnina u nadležnosti je općinske skupštine, naime skupštine zajednice općina odnosno Izvršnog vijeća Sabora /član 69, stav 3/. Provođenje rješenja kojim se utvrđuju opći interes i obveza vlasnika odnosno korisnika nekretnine u nadležnosti je općinskog organa uprave nadležnog za imovinskopravne poslove /član 69, stav 5/.

Prava su

— vlasnika i korisnika nekretnina:
  1. zahtijevati da organ općinske uprave nadležan za poslove elektroprivrede odluči o osnovanosti zahtjeva elektroprivredne organizacije iz stava 2. člana 74. /član 74, stav 3/,
  2. naknada štete koja nastane kresanjem ili uklanjanjem zatečenog raslinja /član 74, stav 4/;

Prava su

— elektroprivredne organizacije
  1. graditi i rekonstruirati elektroprivredna postrojenja iz člana 69, stava 2. na osnovi građevinske dozvole izdane u skladu s rješenjem o utvrđivanju općeg interesa /član 70, stav 1/
  naime
  2. sva ostala — prema dužnostima i zabranama vlasnika i korisnika nekretnina (kako su prethodno navedena).

Novi Zakon — u odnosu na dosadašnji — predstavlja značajan prilog sigurnijem rješavanju stvari elektroprivrede uopće. Građa je u Zakonu dana cjelovitije i sustavnije razrađena, pa će svi sudionici u krugu: proizvodnja i potrošnja električne energije, njegovom primjenom imati sigurnija rješenja svih značajnih pitanja, a oni s pravima na nekretninama naročito.

Držislav M. Šutej, dipl. pravnik
pr. a. NE Krško — u osnivanju

[1] »Narodne novine«, broj 6 od 22. veljače 1983.

[2] Odredba člana 92. »Ovaj zakon stupa na snagu osmoga dana nakon objave u »Narodnim novinama«,

[3] Kao 2 ... »a primjenjivat će se od 1. srpnja 1983.«

[4] »Elektroprivrednim organizacijama udruženog rada, prema ovom zakonu, smatraju se osnovne i druge organizacije udruženog rada koje proizvode, prenose ili distribuiraju električnu energiju isključivo ili pretežno za potrebe drugih organizacija i građana (u daljem tekstu: elektroprivredne organizacije).«

[5] Niz propisa, na primjer: Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova, »Službeni list SFRJ« 51/73, 69/73. i 11/80.

Energija, god. 32 (1983) 3 214-216

SAVJETOVANJA I KONFERENCIJE

ČETVRTO STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE

»ČETVRTO STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE« koje je organizirao JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE — CIGRÉ i Studijski komiteti:

32 — POGON, UPRAVLJANJE I REGULACIJA U PRIJENOSNIM MREŽAMA

35 — KOMUNIKACIJE

održano je od 10 do 12. studenog 1982. u Cavtatu u hotelu »Croatia«.

Suorganizatori IV savjetovanja bili su proizvođači opreme i instituti: »RADE KONČAR« ZAGREB

»ISKRA« LJUBLJANA

»MIHAILO PUPIN« BEOGRAD

»ENERGOINVEST« SARAJEVO.

Organizaciju IV savjetovanja podržala je:

ZAJEDNICA JUGOSLAVENSKE ELEKTROPRIVREDE — Beograd.

1. SVRHA ODRŽAVANJA IV SAVJETOVANJA

Prvo savjetovanje o informatici u elektroprivredi Jugoslavije održano je u Cavtatu u studenom 1975. godine. Ono je bilo posvećeno općim problemima razvoja informatike u elektroprivrednim i elektrodistributivnim organizacijama u Jugoslaviji.

Drugo savjetovanje na istu temu održano je u studenom 1978. godine također u Cavtatu i tretiralo je razmjenu iskustava u planiranju i realizaciji tehničko informativno-upravljačkih sistema u elektroprivredi Jugoslavije.

Treće savjetovanje o upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije održano je u studenom 1980. godine u Cavtatu i bilo je posvećeno prvim rezultatima realizacije i razmjeni iskustava u planiranju, projektiranju, izgradnji i eksploataciji tehničkih upravljačko-informacijskih sistema.

Tematika četvrtog savjetovanja bila je razmjena daljih iskustava iz svih domena tehničkih informacijskih sistema u organizacijama elektroprivrede Jugoslavije (proizvodnja, prijenos i distribucija električne energije). Kao i do sada, savjetovanje je omogućilo susrete, razmjenu mišljenja i iskustava između stručnjaka iz raznih organizacija koji se bave različitim aspektima tehničkih informacijskih sistema u elektroprivredi Jugoslavije (studije, razvoj nove opreme, projektiranje, izgradnja, eksploatacija i održavanje upravljačko-informacijskih sistema, obrazovanje kadrova i sl.).

2. OTVARANJE IV SAVJETOVANJA

Svečano otvaranje IV savjetovanja bilo je 10. 11. 1982. u 17 sati.

Savjetovanje je otvorio te sudionike i goste u ime Organizacionog i programskog odbora pozdravio predsjednik Mirko Majić.

Između ostalim skup je pozdravio: generalni direktor ZAJEDNICE JUGOSLAVENSKE ELEKTROPRIVREDE inž. ecc. Božidar Radunović i predstavnici suorganizatora.

Generalni direktor Zajednice jugoslavenske elektroprivrede osim pozdrava i želja za uspješan rad iznio je glavne podatke i smjernice za realizaciju Tehničkog sistema upravljanja Elektroenergetskog sistema Jugoslavije za sljedeće petogodišnje razdoblje.

Predstavnici suorganizatora prikazali su programe proizvodnje svojih radnih organizacija, a posebno svoje mogućnosti proizvodnje opreme i programske podrške za tehnički sistem upravljanja u elektroprivredi Jugoslavije.

Inž. Rade Pavlović, član Saveznog Izvršnog vijeća i predsjednik Saveznog komiteta za energetiku i industriju poslao je Organizacionom i programskom odboru IV savjetovanja pismo sljedećeg sadržaja:

»Iskreno zahvaljujem na upućenom pozivu za učešće na Savjetovanju o upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije koje će se u vremenu od 10 do 12 novembra 1982. godine održati u Cavtatu.

Sa žaljenjem vas moram obavestiti da zbog obaveza u Saveznom Izvršnom veću i ranije ugovorene posete van zemlje, nisam u mogućnosti da uzmem učešća u radu ovog veoma značajnog naučnog i stručnog skupa.

Stoga molim Odbor da učesnicima prenese moje iskrene pozdrave i da im u moje ime poželi mnogo uspeha u razmeni iskustava, a u cilju postizanja što boljih rezultata u ovoj važnoj privrednoj oblasti.«

Broj sudionika i gostiju IV savjetovanja bio je veći od 330, dok je službeno na JUKO CIGRÉ bilo prijavljeno 193 sudionika. Broj prijavljenih učesnika i gostiju bio je znatno veći nego što su organizatori očekivali.

3. PODRUČJA KOJA SU RAZMATRANA NA IV SAVJETOVANJU

3.1. Opći problemi razvoja, izgradnje i eksploatacije tehničkih informacijskih sistema u elektroprivredi Jugoslavije, sa 15 referata

3.2. Planiranje pogona i operativno upravljanje, sa 18 referata

3.3. Informacijsko-upravljački kompleksi i oprema, sa 8 referata

3.4. Telekomunikacioni sistemi i oprema, sa 7 referata.

Ukupno je bilo pripremljeno za prezentiranje na IV savjetovanju 48 referata i »Informacija o realizaciji programa razvoja tehničkog sistema upravljanja u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu« što je pripremila Zajednica jugoslavenske elektroprivrede.

4. RADNI DIO IV SAVJETOVANJA

Radni dio IV savjetovanja započeo je 11. XI 1982. u 8 sati izlaganjem »INFORMACIJE« koju je sastavila Zajednica jugoslavenske elektroprivrede — Služba za razvoj tehničkog sistema upravljanja Beograd:

INFORMACIJA O REALIZACIJI PROGRAMA RAZVOJA TEHNIČKOG SISTEMA UPRAVLJANJA U JUGOSLAVENSKOM ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU.

»Informaciju« je izložio inž. Dragoljub Popović, stručni suradnik u Službi za razvoj tehničkog sistema upravljanja Zajednice jugoslavenske elektroprivrede.

11. i 12. 11. 1982. izlagani su i diskutirani po grupama podneseni referati.

Energija, god. 32 (1983) 3 214-216

Referati po grupama objavljeni su u posebnom zborniku »ČETVRTO STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE«.

Objavljeno je također da će se V savjetovanje održati potkraj 1984. godine, a s pripremama će se započeti krajem 1983. godine.

ZAKLJUČCI
SA IV SAVJETOVANJA O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE

I grupa

Opći problemi razvoja, izgradnje i eksploatacije tehničkih informacijskih sistema u elektroprivredi Jugoslavije

1.1. Referati, diskusije i interes za ovo savjetovanje pokazali su opravdanost održavanja ovakvih specijaliziranih stručnih skupova, kao mjesta za razmjenu iskustava iz svih domena tehničkih informacijskih sistema u elektroprivredi Jugoslavije.

1.2. Ukazuje se na značenje koordinacije rada svih sudionika koji rade na izgradnji tehničkog sistema upravljanja, kako na nivou ZJE, tako i na nivoima republika i pokrajina. Posebno treba izbjeći svako suvišno udvostručenje opreme u pojedinim objektima, do koga može doći zbog neusklađenih zahtjeva pojedinih nivoa u općoj hijerarhiji upravljanja u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije.

1.3. Uočava se da u upravljanju u distributivnim RO treba intenzivirati rad na standardizaciji funkcija upravljanja i opreme za pojedine karakteristične i srodne tipove distributivnih centara upravljanja, kao i na pronalaženju odgovarajućih rješenja upravljanja opterećenjem mreže.

1.4. Pripremi starih i novih postrojenja za prihvaćanje funkcije daljinskog upravljanja i dalje treba pokloniti punu pažnju i osigurati standardna rješenja i opremu za te svrhe.

1.5. Ističe se da su kadrovi osnovni preduvjet za uspješno funkcioniranje novih sistema upravljanja i informatike u elektroprivredi. Zbog toga problemu obrazovanja kadrova u svim njegovim oblicima (redovno školovanje, specijalizacija, doškolovanje kod proizvođača i isporučioca opreme, praktična obuka itd.) treba i dalje poklanjati najveću moguću pažnju. U ovom smislu podržava se prijedlog za izgradnju simulatora procesa upravljanja elektroenergetskim sistemom za obuku i školovanje operatera, koji treba da se realiziraju u okviru projekta tehničkog sistema upravljanja u elektroprivredi Jugoslavije.

2. II grupa

Planiranje pogona i operativno upravljanje

2.1. Na području programske podrške (software) potrebna je koordinacija djelatnosti naših stručnjaka iz svih odgovarajućih oblasti radi postizavanja timskog rada kod realizacije projekata sistema vođenja.

2.2. I dalje treba razvijati programske pakete za kratkoročnu i srednjoročnu prognozu potrošnje, posebno u uvjetima racionalne potrošnje električne energije.

2.3. Preporučuje se da se u okviru elektroprivrede izradi katalog domaćih programa, i to s područja operativnog vođenja, kao i da se donesu jedinstvena mjerila kvalitete za izradu programa na tom području.

2.4. Prevladava mišljenje da nova sredstva komuniciranja čovjeka s procesom (ekran + tastatura) ne isključuju sinoptičku ploču u dispečerskim centrima i centrima daljinskog upravljanja s tim da se uloga sinoptičke ploče specificira u svakom posebnom slučaju.

2.5. Treba razvijati programsku podršku i sisteme baza podataka za održavanje elektroenergetskih postrojenja (primarna i sekundarna energetska oprema) da bi se povećala pouzdanost elektroenergetskog sistema.

2.6. Zbog konstatiranih manjkavosti i raznolikosti u načinu održavanja nužni su dalji napori na unapređenju održavanja kao preduvjeta za uspješnu primjenu odgovarajuće programske podrške.

3. III grupa

Informacijsko–upravljački kompleksi i oprema

3.1. Pri projektiranju i izboru uređaja i rješenja za lokalnu automatizaciju postrojenja, sistema daljinskog vođenja i izvora napajanja ove opreme potrebno je oslanjati se na kvantitativne analize njihove pouzdanosti, odnosno očekivane raspoloživosti. U analizama je neophodno uzimati u obzir realne, kvantitativne zahtjeve korisnika i adekvatne statističke podatke o pouzdanosti elemenata sistema.

3.2. Radi dobivanja vjerodostojnih podataka za izračunavanje parametara pouzdanosti preporučuje se sistematizirano i unificirano prikupljanje i registriranje podataka o uređajima u eksploataciji u okviru cijele jugoslavenske elektroprivrede.

3.3. Funkcionalne i pogonske karakteristike teleinformacijske opreme, posebno krajnjih stanica, koje i po ulozi i po troškovima čine značajan dio novog sistema daljinskog vođenja, nužno je u najvećoj mogućoj mjeri unificirati i uređaje dimenzionirati prema realnim potrebama sistema daljinskog vođenja.

3.4. Domaći razvoj i proizvodnja specifičnih komunikacijskih i drugih modula (uređaja za potrebe povezivanja heterogene opreme) neophodna je i predstavlja pravi put u rješavanju mnogobrojnih problema kod sprega već instaliranih i novih uređaja u sistemu daljinskog vođenja. Međutim, postojanje ove specifične opreme ne bi smjelo zakočiti primjenu maksimalne standarizacije rješenja i teleinformacijske opreme u jugoslavenskoj elektroprivredi, jer se samo tako može izgraditi investiciono i eksploataciono ekonomičan i pouzdan sistem upravljanja.

3.5. Automatsko vođenje elektrana zahtijeva primjenu većeg broja visoko pouzdanih programski upravljanih uređaja različitog stupnja složenosti. S obzirom na predstojeću izgradnju novog sistema daljinskog vođenja, potrebno je ubrzati izradu preporuka za tipizirana rješenja sistema za automatsko vođenje različitih tipova elektrana, a također i stvaranje tehničkih uvjeta za uređaje koji se mogu primijeniti u tipiziranim rješenjima.

4. IV grupa

Telekomunikacijski sistemi i oprema

4.1. Preporučuje se investitorima (elektroprivredama republika i pokrajina) da prilikom komponiranja mreže Usmjerenih radio-relejnih veza, posebno multipleksa, vode brigu o specifičnostima svojih potreba, da bi se smanjili troškovi realizacije, omogućila njena etapna realizacija, povećala raspoloživost spojnih putova i omogućila bolja kvaliteta.

4.2. Bilo bi korisno da se vrši detaljan proračun VF veza za svaku relaciju posebno, jer bi se na taj način dobio uvid u kvalitetu tih veza, na osnovi čega bi se utvrdila potreba o frekvencijskom replaniranju tekućeg frekvencijskog plana VF veza po vodovima visokog napona na tim relacijama.

4.3. Održavanje telekomunikacija u elektroprivredi čini važan faktor za postizanje kvalitete i raspoloživosti i zato mu treba posvetiti mnogo više pažnje nego dosada. Nezadovoljavajući odnos elektroprivrede prema ovim službama, kao i njihova organiziranost dalje se ne mogu tolerirati. Zato je nužno da se ovo što prije riješi, što uključuje i veću brigu za obuku kadrova koji treba da prihvate novu opremu.

4.4. Osjeća se potreba da se što prije na nivou zajednice jugoslavenske elektroprivrede pristupi izradi Tehničkih uvjeta i Tehničkih preporuka koji se odnose na održavanje i organizaciju održavanja.

4.5. Nalazimo se pred realizacijom »Osnovne mreže usmjerenih radio-relejnih veza« pa je nužno da se putem ugovaranja obavezno riješi obuka kadrova za održavanje uređaja i mreže u cjelini.

4.6. Zbog niza prednosti koje optički kabeli imaju u odnosu na druge medije prijenosa, elektroprivreda treba da se intenzivnije uključi u istraživanje u području primjene ove tehnike još od početka za potrebe unutar elektroprivrednih objekata, a u daljnjoj fazi i za komuniciranje između objekata.

Također treba skrenuti ozbiljnu pažnju razvojno-istraživačkim organizacijama i budućim proizvođačima da udruže svoje snage i stvore zajedničke timove za realizaciju domaćih optičkih telekomunikacijskih sistema.

5. Ostale aktivnosti u pauzama između rada grupa i na večer poslije 20 sati na IV savjetovanju

5.1. *Zajednica jugoslavenske elektroprivrede i proizvođači opreme*

Generalni direktor Zajednice jugoslavenske elektroprivrede drug Božidar Radunović i njegovi suradnici održali su dana 10. XI 1982. u 20 sati zajednički sastanak s predstavnicima proizvodnih i znanstvenih organizacija udruženog rada u vezi s »Programom realizacije tehničkog sistema upravljanja u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu«.

Realizacija tehničkog sistema upravljanja u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu planski se očekuje u sljedećih 5 godina.

5.2. *Izlaganje i demonstriranje opreme za tehničke sisteme upravljanja*

Složene organizacije udruženog rada »RADE KONČAR« Zagreb s »Elektronskom industrijom« Niš i »Iskra« Ljubljana izložili su i demonstrirali svoja proizvodna dostignuća za suvremene procesne informacijske sisteme koji se sastoje od opreme informatike — hardware i programske podrške — software sa specifičnostima za elektroenergetski sistem u cjelini, kao i za njegove dijelove.

Svi sastanci i manifestacije IV savjetovanja održavali su se u prostorijama hotela »Croatia«, gdje je bila smještena prijemna i informacijska služba sekretarijata JUKO — CEGRÉ, kao i svi sudionici IV savjetovanja.

Mirko Majić, dipl. ing.

Energija, god. 32 (1983) 3 217-218

ŠIROM SVIJETA

SVJETSKA PROIZVODNJA NAFTE U 1983. GODINI

Prema prvim objavljenim podacima (Petroleum Economist, siječanj 1983.) proizvodnja nafte u svijetu u 1982. godini iznosila je nešto više od 2755 mln. tona i bila je za 5,1% manja nego u prethodnoj godini, kad je iznosila 2904 mln. tona. Proizvodnja je, dakle, smanjena za oko 149 mln. tona.

Smanjenje proizvodnje je, s jedne strane, posljedica stanja na svjetskom tržištu naftom, gdje zbog štednje potražnja jenjava, a s druge strane i nastojanja članica OPEC da smanjenom proizvodnjom nafte stvore na tom tržištu nesigurnost u dobavi i zakoče tendenciju smanjenja cijene nafte.

Naravno da je kretanje proizvodnje nafte u pojedinim zemljama bilo različito i da je osim općih tendencija imalo i lokalne karakteristike.

Proizvodnja nafte na **istočnoj hemisferi** u 1982. godini iznosila je 1876 mln. tona i bila je za 6,4% manja nego u 1981. godini, kad je iznosila 2035 mln. tona. Udio u svjetskoj proizvodnji nafte bio je 68,1%, dok je u 1981. godini bio gotovo 70%. **Zapadna hemisfera** dala je u 1982. godini 880 mln. tona nafte, što je bilo za 1,2% više nego u prethodnoj godini. Udio u svjetskoj proizvodnji nafte bio je 31,9%.

Proizvodnja nafte u **Zapadnoj Evropi** iznosila je u 1982. godini u cjelini 141,3 mln. tona prema 125,7 mln. tona u 1981. godini, tako da je povećanje iznosilo 12,4%. Udio u svjetskoj proizvodnji bio je u 1982. godini 5,1%, a u 1981. god. 4,4%.

Najveći proizvođač nafte u Zapadnoj Evropi je **Velika Britanija,** gdje je u 1982. godini bilo proizvedeno 102,5 mln. tona, što je za 14,7% više nego u prethodnoj godini. Tom proizvodnjom Velika Britanija je peta po veličini proizvodnje nafte u svijetu, s udjelom od 3,7%.

Ta se proizvodnja ostvaruje eksploatacijom naftnih ležišta u podmorju Sjevernog mora. Ležišta nafte u podmorju svog dijela Sjevernog mora eksploatira **Norveška**, koja je u 1982. godini dala 24 mln. tona nafte, što je nešto više nego u prethodnoj godini. Na trećem mjestu po proizvodnji nafte u Zapadnoj Evropi je **SR Njemačka,** ali ta proizvodnja ima tendenciju slabljenja. Proizvodnja je, naime, pala za 4,3% prema onoj u 1981. godini i u 1982. godini je iznosila 4,25 mln. tona. Proizvedena nafta potječe iz kopnenih naftnih polja. U svim ostalim zemljama Zapadne Evrope proizvodnja ne dosiže ni 2,0 mln. tona, a ima tendenciju slabog rasta. Ipak, treba spomenuti da proizvodnja nafte u Danskoj i Španjolskoj ima tendenciju jačeg rasta.

Sovjetski Savez i zemlje **Istočne Evrope** dale su u 1982. godini gotovo 640 mln. tona nafte, što je za nešto više od šest mln. tona više nego u 1981. godini odnosno za 0,7%. Udio u svjetskoj proizvodnji nafte bio je u 1982. godini 23,1%, a u prethodnoj godini 22,1%. Međutim, u toj proizvodnji Sovjetski Savez sudjeluje s oko 96%. Naime, 1982. godine bilo je proizvedeno 612,4 mln. tona nafte (za 0,6% više nego u 1981. godini) i s tom je proizvodnjom Sovjetski Savez na čelu zemalja proizvođača nafte. U svjetskoj proizvodnji udio je bio 22,2%.

Sve ostale zemlje imaju tendenciju laganog porasta proizvodnje, osim Njemačke DR i Poljske, gdje je proizvodnja nafte neznatna. Po proizvodnji vrijedi spomenuti Rumunjsku (12,0 mln. tona), Jugoslaviju (4,5 mln. tona) i Albaniju (4,0 mln. tona).

Proizvodnja nafte u **Africi** ima tendenciju slabljenja, pa je u 1982. godini proizvodnja bila manja za 5,5% nego u prethodnoj godini. Naime, od 192 mln. tona u 1981. godini ta je proizvodnja u 1982. godini pala na 181 mln. tona. Udio u svjetskoj proizvodnji nafte bio je 6,6%

Najveće smanjenje u proizvodnji nafte na afričkom području imali su najveći proizvođači — Alžir za 14,5%, i to od 37 mln. tona na 32 mln. tona, te Nigerija za 10,1%, i to od 71,2 mln. tona na 64 mln. tona, dok je proizvodnja u Libiji stagnirala na oko 54 mln. tona. U ostalim zemljama proizvodnja nafte je također manje—više stagnirala, a znatnije povećanje proizvodnje imao je Kamerun (za 1,7 mln. tona) i Kongo (za 900.000 tona).

Proizvodnja nafte na **Bliskom istoku** — gdje proizvodnju nafte uglavnom drže članice OPEC-a ima stalnu tendenciju osjetnog slabljenja. Tako je u 1982. godini bila manja od one u 1981. godini za više od 19%, odnosno bilo je proizvedeno 687 mln. tona prema 848 mln. tona, a u 1980. godini proizvodnja je iznosila preko 947 mln. tona. Udio u svjetskoj proizvodnji bio je u 1982. godini 25,0%, a u 1981. godini 28,4%.

Gotovo sve zemlje Bliskog istoka imale su manju proizvodnju nafte u 1982. godini prema onoj iz 1981. godine. Najveći je pad zabilježen u Saudijskoj Arabiji — za 33,7%, i to od 528 mln. tona u 1981. godini na 360 mln. tona u 1982. godini. Stoga je ta zemlja u 1982. godini pala po proizvodnji nafte s drugog na treće mjesto u svijetu.

No, ipak, znatno povećanje proizvodnje nafte imao je Iran (za preko 50%), i to od 65,2 mln. tona u 1981. godini na 98 mln. tona u 1982. godini, te Irak (za 6,8%), i to od 44,9 mln. tona na 48,0 mln. tona. Obje zemlje su članice OPEC-a i nisu se držale dogovora da ne povećavaju proizvodnju nafte. Za više od dva mln. tona povećao je proizvodnju nafte Egipat, koji nije član OPEC-a.

I na **Dalekom istoku** proizvodnja nafte je smanjena, i to od 237,6 mln. tona u 1981. godini na 230,3 mln. tona u 1982. god. ili za 3,1%. Udio u svjetskoj proizvodnji bio je 8,3%, a tolik je bio i u 1981. godini. Najveći proizvođač nafte bila je Kina, gdje je proizvodnja uglavnom stagnirala na oko 102 mln. tona. Na drugom je mjestu Indonezija, gdje je proizvodnja pala za preko 17%, i to od 78,6 mln. tona u 1981. godini na 65 mln. tona u 1982. godini. Indija i Malajzija povećale su proizvodnju nafte za gotovo 30%, no u Indiji sa samo nešto oko pet mln. tona, a u Malajziji na dva mln. tona. U Australiji proizvodnja nafte bila je manja za jedan mln. tona.

Proizvodnja nafte u **Sjevernoj Americi** bila je za 2,9% veća, te je od 681 mln. tona u 1981. godini porasla na 701 mln. tone u 1982. godini; ili za 20 mln. tona. Udio u svjetskoj proizvodnji bio je 25,5%, dok je u 1981. godini bio 23,5%. U SAD proizvodnja je uglavnom stagnirala na 480 mln. tona, ali je u Meksiku porasla na 148 mln. tona, ili za 15,9%, dok je u Kanadi oslabila za 2,6 mln. tona na 73 mln. tona ili za 3,5%.

Udio **karipskog područja** u svjetskoj proizvodnji nafte u 1982. godini iznosio je 4,2%, što je nešto manje nego u prethodnoj godini. Proizvodnja u 1982. godini prema onoj u 1981. godini bila je za 9,1% manja, i to 117,2 mln. tona prema 128,9 mln. tona. Najveći i najznačajniji proizvođač u tom području je Venezuela, gdje je u 1982. godini bilo proizvedeno 99,5 mln. tona prema 111,3 mln. tona u 1981. godini ili za 10,6% manje.

Proizvodnja nafte u **Južnoj Americi** dosegla je u 1982. godini 61,7 mln. tona, što je za 3,3% više nego u prethodnoj godini kad je proizvodnja iznosila 59,7 mln. tona. Dakle, proizvodnja je bila za dva mln. tona veća. No, dok je u većini zemalja proizvođača nafte imala tendenciju porasta, naročito u Brazilu (za 23,0%) i Boliviji (za 19,0%), u Argentini je bila manja za 1,7%, a u Ekvadoru za 8,8%; U cjelini, Južna je Amerika u svjetskoj proizvodnji nafte imala u 1982. godini udio od 2,2%.

No, osim kretanja proizvodnje nafte u pojedinim zemljama interesantno je razmotriti situaciju u deset najvećih proizvođača nafte na svijetu. Naime, tih deset najvećih svjetskih

proizvođača daje gotovo 80% svjetske proizvodnje nafte. Kako se iz priložene tablice vidi, te su zemlje u 1982. godini dale 2 140 mln. tona prema 2 264 mln. tona u 1981. godini ili za 124 mln. tona manje, što je manje za 5,4% prema svjetskom smanjenju proizvodnje od 5,1%.

S obzirom na različitu dinamiku proizvodnje nafte u pojedinim od tih deset zemalja, redoslijed se u 1982. godini prema 1981. godini znatno izmijenio.

Već je više godina na prvom mjestu Sovjetski Savez, gdje je u 1982. godini bilo proizvedeno 612 mln. tona nafte prema 609 mln. tona u prethodnoj godini, što je za samo 0,6% više. Udio u svjetskoj proizvodnji nafte bio je 22,2%, a u 1981. godini 21,3%. Na drugo su mjesto — s trećeg — došle SAD, gdje je proizvodnja samo neznatno porasla (od oko 478 mln. tona na 480 mln. tona). Udio u svjetskoj proizvodnji bio je u 1982. godini 17,4% prema 16,7% u 1981. godini.

S drugog mjesta na treće pala je Saudijska Arabija, gdje je proizvodnja pala za gotovo 34%, i to od 528 mln. tona u 1981. godini na 360 mln. tona u 1982. godini. Udio u svjetskoj proizvodnji pao je stoga od 17,1% na 13,1%. Meksiko je zadržao svoje četvrto mjesto, a proizvodnja je porasla od približno 128 mln. tona na 148 mln. tona ili za 16%, dok je udio u svjetskoj proizvodnji porastao od 4,2% na 5,4%. U 1981. godini na petom je mjestu bila Venezuela s proizvodnjom od 111 mln. tona i udjelom od 4,0%. Proizvodnja u 1982. godini bila je manja za preko 10% i iznosila je 99,5 mln. tona, a učešće samo 3,6%. Stoga je Venezuela pala na sedmo mjesto. Na petom mjestu u 1982. god. je Velika Britanija, koja je u 1981. godini bila na sedmom mjestu. Proizvodnja je, naime, porasla za 14,7%, i to od 89,4 mln. tona u 1981. na 102,5 mln. tona u 1982. godini. Udio u svjetskoj proizvodnji porastao je od 3,1% na 3,7%. Šesto je mjesto i u 1982. godini zadržala Kina. Proizvodnja je doduše porasla za samo 0,5%, i to od 101,2 mln. tona na 101,7 mln. tona, dok je udio porastao od 3,5% na 3,7%. Na sedmo je mjesto — kako je već rečeno — pala Venezuela. Na osmo se mjesto popeo Iran, gdje je proizvodnja porasla za preko 50%, odnosno od 65,2 mln. tona u 1981. godini na 98 mln. tona u 1982. godini. Udio u svjetskoj proizvodnji bio je u 1982. godini 3,6%, a samo 2,2% u 1981. godini. Još u 1978. godini Iran je — prije Homeinija i rata s Irakom — dao 261 mln. tona nafte i tada je bio četvrti od deset najvećih, ali je od tada proizvodnja počela padati i već od 1980. godine Iran nije bio među prvih deset. No, među prvih deset već više godina nije ni Irak, koji je još u 1979. godini s proizvodnjom od 151 mln. tona bio na četvrtom mjestu. Na devetom mjestu je Kanada — kao i u 1981. godini — gdje je proizvodnja pala za 3,5%, odnosno od 75,6 mln. tona u 1981. godini na 73,0 mln. tona u 1982. godini. Međutim, udio u svjetskoj proizvodnji nafte ostao je isti, tj. 2,5%. Na posljednjem mjestu, desetom, je Indonezija, koja je u 1981. godini bila na osmom mjestu. Proizvodnja je, naime, pala za više od 17%, i to od 78,6 mln. tona u 1981. godini na 65 mln. tona u 1982. godini, pa je i udio pao od 2,8 na 2,4%. U 1981. godini na desetom je mjestu bila Nigerija, gdje je proizvodnja pala za 10% na 64 mln. tona, pa bi u 1982. godini bila na jedanaestom mjestu.

Zemlje članice OPEC-a — njih petnaest — imale su u 1982. godini proizvodnju nafte od 956 mln. tona, što je za 17,4% ili za 202 mln. tona manje nego u prethodnoj godini, kad je ta proizvodnja iznosila 1 158 mln. tona. Udio tih 15 zemalja u svjetskoj proizvodnji pao je na 34,7% prema 39,4% u 1981. godini i gotovo 50% u1979. godini.

Dakle, zemlje OPEC-a imaju iz godine u godinu u cjelini sve manju proizvodnju i sve manji udio u svjetskoj proizvodnji nafte. Jedan od razloga takvom kretanju proizvodnje nafte je u svojedobnom zaključku te organizacije da smanji svoju proizvodnju nafte i da na svjetskom tržištu stvori manjak nafte kako bi se zadržale visoke cijene njihove nafte.

Jugoslavija i zemlje koje ju okružuju dale su u 1982. godini ukupno 26,9 mln. tona, što nije ni 1% od svjetske proizvodnje nafte. U svim tim zemljama — osim u Jugoslaviji i Albaniji — proizvodnja nafte stagnira ili je u slabom padu. Proizvodnja se kreće oko 1,5 mln. tona, samo je u Jugoslaviji dosegla 4,5 mln. tona i u Albaniji 4,0 mln. tona. Značajnija je proizvodnja u Rumunjskoj (oko 12 mln. tona), dok je nakon organiziranja proizvodnje ista u Grčkoj u 1982. godini porasla na 1,2 mln. tona.

Proizvodnja nafte u Jugoslaviji u 1982. godini dosegla je 4,5 mln. tona, što je za 2,8% više nego u prethodnoj godini. Tom je proizvodnjom Jugoslavija u Evropi (mimo SSSR-a, koji pretežni dio svoje proizvodnje nafte ostvaruje u Sibiru) na četvrtom mjestu — iza Velike Britanije, Norveške i Rumunjske a SR Njemačka je na petom mjestu.

Tablica 1. Svjetska proizvodnja nafte u 1982. godini

10^3 tona

Područje	1980.	1981.	1982.	% u 1982.	Promjena u 1982.-%
Zapadna Evropa	117 656	125 703	141 305	5,1	+ 12,4
SSSR i Ist. Evropa	625 032	631 548	635 700	23,1	+ 0,7
Afrika	267 798	191 936	181 325	6,6	− 5,5
Bliski istok	947 455	847 996	687 095	25,0	− 19,1
Daleki istok	240 867	237 640	230 300	8,3	− 3,1
Istočna hemisfera	2 198 808	2 034 823	1 875 725	68,1	− 6,4
Sjeverna Amerika	671 930	680 950	701 000	25,5	+ 2,9
Karipsko područje	130 707	128 864	117 200	4,2	− 9,1
Južna Amerika	57 615	59 683	61 700	2,2	+ 3,3
Zapadna hemisfera	860 252	869 497	879 900	31,9	+ 1,2
Ukupno—svijet	3 059 060	2 904 320	2 755 625	100	− 5,1

Tablica 2. Deset najvećih proizvođača nafte u svijetu

Zemlja	1982.			1981.
	10^3 tona	Učešće %	Razlika %	10^3 tona
SSSR	612 400	22,2	+ 0,6	609 000
SAD	480 000	17,4	+ 0,5	477 645
Saudijska Arabija	360 000	13,1	− 33,7	528 070
Meksiko	148 000	5,4	+ 15,9	127 660
Velika Britanija	102 500	3,7	+ 14,7	89 396
Kina	101 700	3,7	+ 0,5	101 220
Venezuela	99 500	3,6	− 10,6	111 320
Iran	98 000	3,6	+ 50,3	65 190
Kanada	73 000	2,6	− 3,5	75 645
Indonezija	65 000	2,4	− 17,3	78 640
Ukupno	2 140 100	77,7	− 5,4	2 263 786
Proizvodnja u svijetu	2 755 625	100,0	− 5,1	2 904 320

V. Boranić

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

ŠUMOVI TRANSFORMATORA SREDNJIH NAZIVNIH SNAGA

Šumovi transformatora srednjih nazivnih snaga, a pod tim se smatraju nazivne snage između 10 i 100 MVA, postaju sve interesantiji odnosno stvaraju probleme jer se sve više ugrađuju u gradskim sredinama. U svrhu smanjenja tog problema čine se razni zahvati i na transformatorima i na transformatorskim stanicama. Međutim, činjenica je da kod nas još nema nekih standarda koliki smiju biti ti šumovi.

U članku se obrađuje sadašnje stanje u SR Njemačkoj, i to veličina šumova i propisi. Prema propisima od 1966. god. DIN 42540 definirani su šumovi nazivnih snaga od 12,5 do 40 MVA, dok su 1977. god. povećane nazivne snage i aktualizirana mjerenja u propisu DIN 45635, dio 30. Današnji transformatori normalne konstrukcije imaju u SR Njemačkoj šumove manje od propisanih (propis iz 1966. g.) za 6 do 8 dB. Tako transformator 40 MVA sa ONAF hlađenjem, regulacijom ± 16% i naponom kratkog spoja od 12% ima šumove 64 dB i gubitke P_{Cu} = 165 kW i P_{Fe} = 27 kW a propisi zahtijevaju 70 dB.

Novost u propisima je udaljenost mjerenja koja je prije iznosila 3 m, a sada 0,3 m (hlađenje ONAN), odnosno prije 3 m, a sada 2 m (hlađenje ONAF) uz dozvoljeno povećanje šumova za 3 do 4 dB odnosno 1 dB.

U članku se također navode i tehnički zahvati za smanjenje šumova. To se uglavnom odnosi na kotao transformatora. Ako se traže veća smanjenja, mijenja se indukcija, odnosno jezgra transformatora. Na taj način se smanjuju šumovi do 50 dB. Daljnji zahvati su ekstremni i navodi se konstrukcija s dvostrukim kotlom kada šumovi iznose 13 dB.

Kod transformatorskih stanica u gradovima navodi se kao povoljno rješenje ono što je uobičajeno u Stuttgartu: odvajanje radijatora za hlađenje od transformatora i prigušenje šumova u trafo-komorama. Time se postiže veličina šumova od 25 dB na udaljenosti od 3 m.

(Elektrizitätswirtschaft, Jg. 76 (1977), Heft 8)

R. Š.

REZULTATI POKUSA I ANALIZE NOVOG 20 kV KABELA S IZOLACIJOM OD UMREŽENOG POLIETILENA

Donedavno su u Francuskoj bili u upotrebi distrubitivni kabeli 20 kV, s izolacijom od impregniranog papira i davali su zadovoljavajuće rezultate. Unatoč tome poduzeta su istraživanja na kabelu sa sintetičkom izolacijom iz nekoliko razloga: jednostavnije polaganje, naročito što se tiče spojnica i glave kabela, povećanja snage kratkog spoja i činjenica da se sintetička izolacija već koristi za N. N. i V. N. kabele.

U članku je opisan kabel i dana je tablica s dozvoljenim jakostima struje ovisno o mjestu polaganja, godišnjem dobu i presjeku vodiča. Nadalje su iznesene pojedinosti vezane za kontrolu nepropusnosti kabela. Pokus je učinjen uranjanjem kabela u vodu i prikazan je tablično. Također su učinjeni pokusi trajnosti kabela u zemlji, zatim utjecaj vode na žilu kabela, te apsorbcija vode u umreženi polietilen.

U poglavlju o ponašanju kabela na preopterećenje prikazani su pokusi vezani za starenje materijala i ponašanje armature kabela. U posljednjem poglavlju prikazano je ponašanje kabela pri konstantnim naponima.

(E. D. F. Serie B, N° 3 1979 M. Paris i A. Pinet)

M. P.

TERMOELEKTRANA »RIJEKA 1«

INSTALIRANA SNAGA
1 × 320 MW

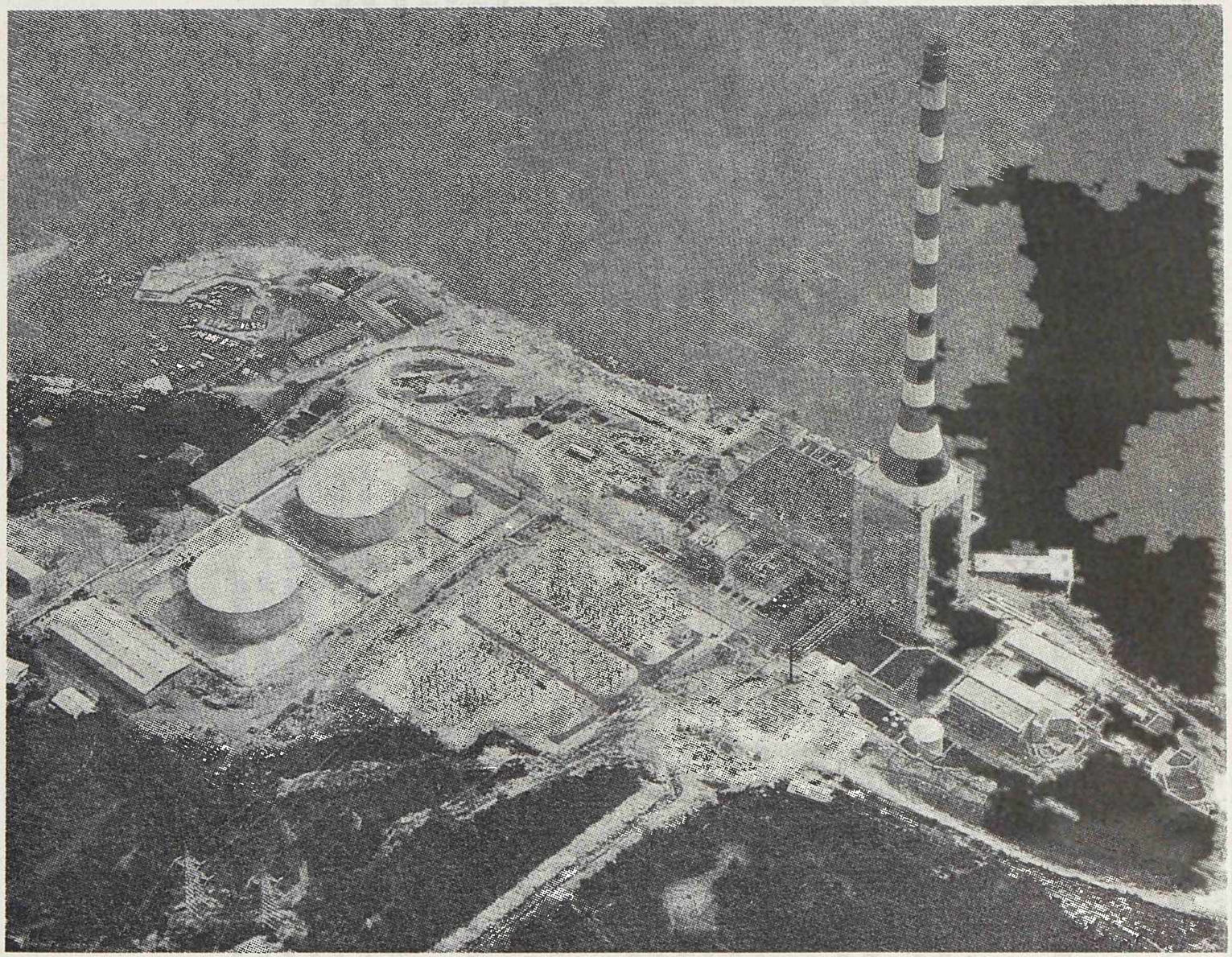
GORIVO

teško loživo ulje
koksni plin

U 1978. GODINI
OTPOČELA
S
PROIZVODNJOM
ELEKTRIČNE
ENERGIJE

51221 KOSTRENA

telefon: 424-222,
424-647
telex: 24493 YU INATER



STATISTIČKI PREGLED

ELEKTROPRIVREDE SR HRVATSKE U SKLOPU ELEKTROPRIVREDE JUGOSLAVIJE

OSNOVNI PODACI

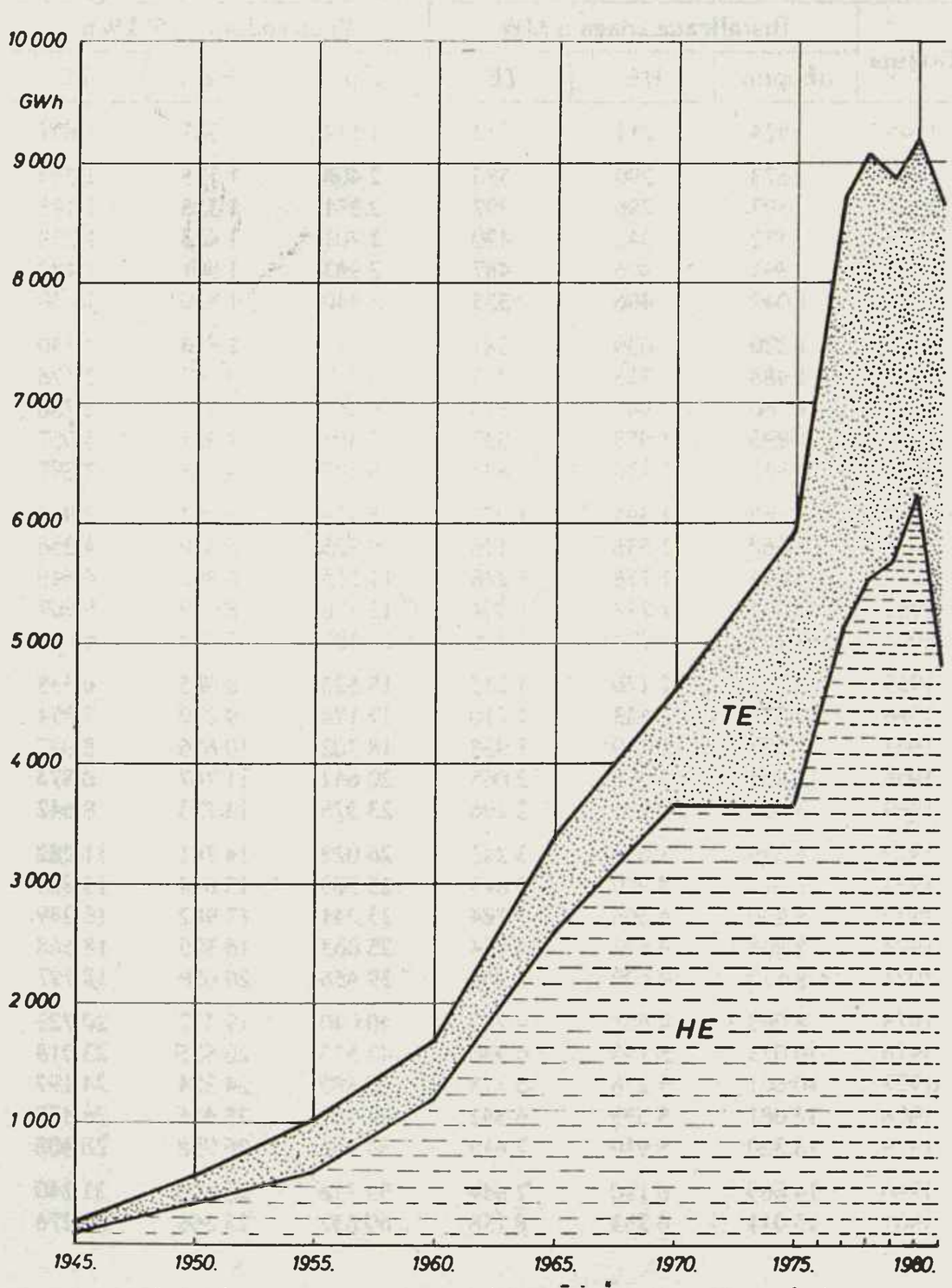
Tablica 1

OSNOVNI PODACI ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE
po stanju od 31. XII 1981. [2]

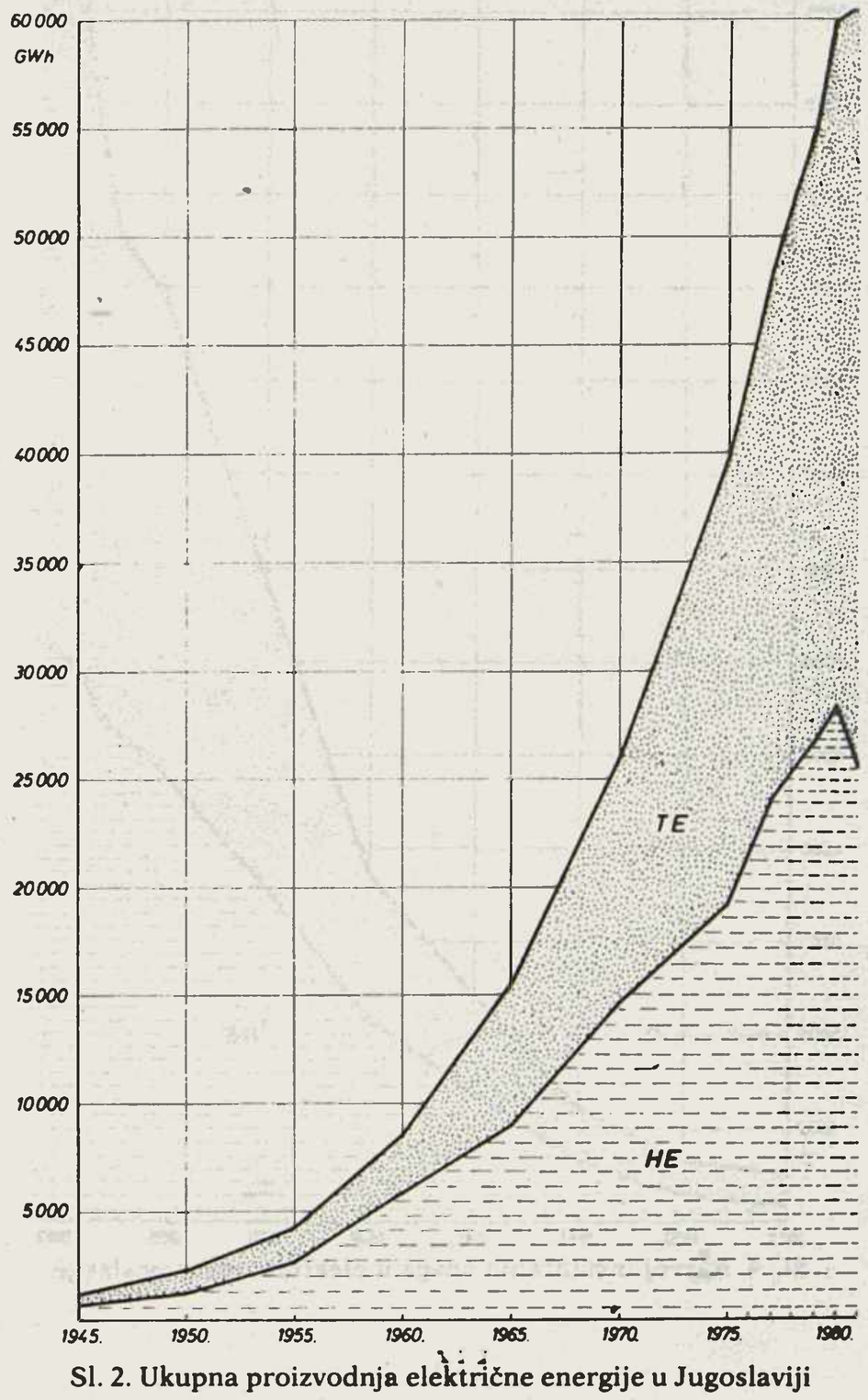
Naziv postrojenja		1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Hidroelektrane	broj	17	17	19	19	20	21	21	22	21	20	19
	snaga MW	777,7	777,7	1023,6	1024	1310	1200	1200	1302	1448	1558	1577
	od toga Udružene MW	761,6	761,6	1007,5	1007	1213	1185	1185	1284	1431	1542	1557
Termoelektrane	broj	40	40	40	41	41	41	41	43	35	39	32
	snaga MW	568,4	568,4	568,4	768	836	887	877	1177	1202	1299	1345
	od toga Udružene MW	491,4	491,4	491,4	691	800	771	720	720	1090	1093	1240
Ukupno elektrane	MW	1346,1	1346,1	1592,0	1792	2146	2087	2077	2479	2650	2641	2922
Transformatorske stanice:												
380/110 kV	broj stanica	–	–	–	–	–	–	–	1	2	2	2
	broj transformatora	–	–	–	–	–	–	–	2	3	4	4
	snaga MVA	–	–	–	–	–	–	–	600	900	1200	1200
220/110 kV	broj stanica	5	5	6	6	6	6	6	6	6	8	8
	broj transformatora	7	8	11	11	11	12	12	14	14	16	17
	snaga MVA	1000	1150	1600	1600	1600	1800	1450	2050	2350	2100	2250
110/30 – 50 kV	broj stanica	36	42	44	46	50	71	59	57	57	59	71
	broj transformatora	68	79	80	82	86	137	114	105	108	110	135
	snaga MVA	1586	1920	1980	2060	2140	3118	3018	3121	3217	3672	4119
30 – 50/3 – 10 kV	broj stanica	249	258	270	280	286	280	245	258	260	264	311
	broj transformatora	458	462	487	510	520	497	476	509	500	280	587
	snaga MVA	1851	1930	2010	2090	2130	2104	2172	2308	2400	2553	2943
Dalekovodi:												
380 kV	km	–	–	–	–	–	–	271	389	612	612	732
220 kV	km	949	976	1158	1158	1251	1065	1125	1005	996	1019	967
110 kV	km	2110	2384	2483	2533	2539	3384	3143	2560	3049	3152	3309
50 – 30 kV	km	3547	3651	3725	3799	3814	3682	3297	3451	4152	4023	4631
10 – 3 kV	km	17860	18630	19320	20010	20546	21050	18913	18383	21036	22758	25152
niski napon	km	35750	36685	37340	37995	38415	43750	36403	38325	43072	43318	42011
Vršno opterećenje SRH	MW	1126	1208	1227	1271	1576	1595	1673	1744	1864	2003	1988

Mrežni transformatori u HE i TE uključeni su u transformatorskim stanicama 220/110 i 110/30 – 50 kV.

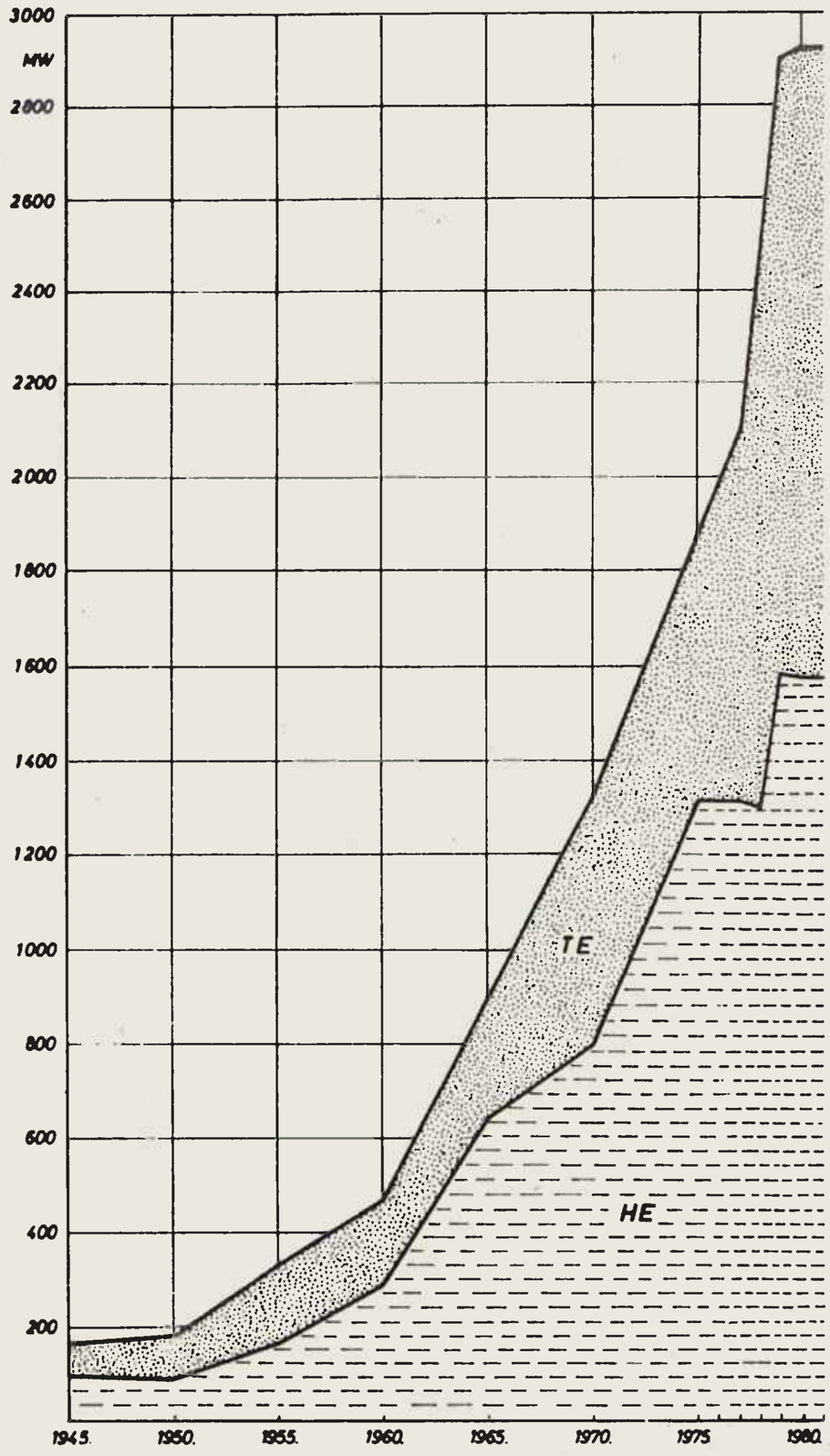
PROIZVODNJA I INSTALIRANE SNAGE



Sl. 1. Ukupna proizvodnja električne energije u Hrvatskoj



Sl. 2. Ukupna proizvodnja električne energije u Jugoslaviji

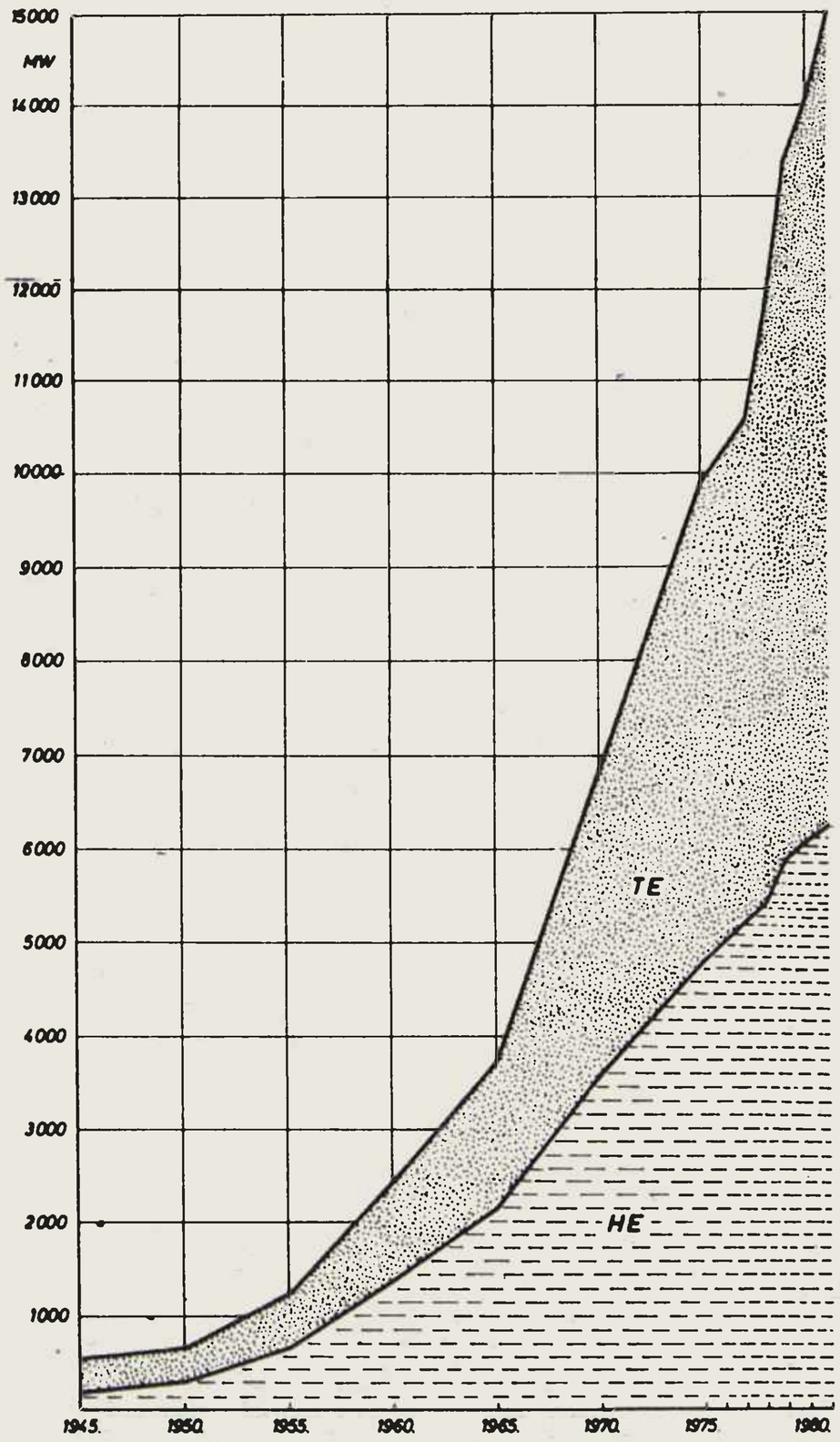


Sl. 3. Razvoj instaliranih snaga u elektranama Hrvatske

Tablica 2

RAZVOJ INSTALIRANE SNAGE I BRUTO PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U HRVATSKOJ
[4]

Godina	Instalirana snaga u MW			Proizvodnja u 10^6 kWh		
	ukupno	HE	TE	ukupno	HE	TE
1945	178	97	81	171	79	92
1950	188	89	99	577	326	251
1951	188	89	99	596	379	217
1952	235	117	118	628	412	216
1953	270	149	121	716	458	258
1954	321	173	148	815	461	354
1955	327	179	148	1 021	587	434
1956	347	192	155	1 006	564	442
1957	365	196	169	1 074	638	436
1958	381	200	181	1 168	670	498
1959	429	248	181	1 396	851	545
1960	470	289	181	1 671	1 197	474
1961	576	397	179	1 555	1 103	452
1962	746	505	241	2 339	1 913	426
1963	746	505	241	3 000	2 224	776
1964	746	505	241	2 914	2 068	846
1965	895	649	241	3 391	2 609	782
1966	962	721	241	4 000	3 257	743
1967	999	739	260	3 963	3 184	779
1968	1 035	775	260	4 094	3 304	790
1969	1 035	775	260	4 528	3 980	548
1970	1 334	798	595	4 622	3 656	966
1971	1 393	798	595	4 957	3 222	1 725
1972	1 363	798	565	5 500	3 718	1 782
1973	1 577	1 012	565	5 334	2 640	2 694
1974	1 577	1 012	565	6 299	4 233	2 066
1975	1 878	1 313	565	5 939	3 641	2 298
1976	2 198	1 313	885	7 644	4 566	3 078
1977	2 198	1 313	885	8 738	5 159	3 579
1978	2 648	1 443	1 205	9 088	5 549	3 539
1979	2 913	1 587	1 326	8 874	5 375	3 499
1980	2 922	1 577	1 345	9 208	6 253	2 955
1981	3 254	1 577	1 677	8 739	4 731	4 008



Sl. 4. Razvoj instaliranih snaga u elektranama Jugoslavije

Tablica 3

RAZVOJ INSTALIRANE SNAGE I BRUTO PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI
[4]

Godina	Instalirana snaga u MW			Proizvodnja u 10^6 kWh		
	ukupno	HE	TE	ukupno	HE	TE
1945	524	211	313	1 174	567	607
1950	673	290	383	2 408	1 175	1 233
1951	693	296	397	2 551	1 358	1 193
1952	772	342	430	2 701	1 423	1 278
1953	893	406	487	2 983	1 501	1 482
1954	1 049	496	553	3 440	1 810	1 630
1955	1 220	639	581	4 340	2 610	1 730
1956	1 488	715	773	5 047	2 869	2 178
1957	1 760	947	813	6 252	3 522	2 730
1958	1 895	1 058	837	7 358	4 301	3 057
1959	1 967	1 130	837	8 105	4 708	3 397
1960	2 468	1 391	1 077	8 928	5 984	2 944
1961	2 662	1 536	1 126	9 925	5 659	4 266
1962	3 026	1 778	1 248	11 315	6 896	4 419
1963	3 081	1 777	1 304	13 536	8 029	5 507
1964	3 109	1 774	1 335	14 189	7 574	6 615
1965	3 711	2 176	1 535	15 523	8 985	6 538
1966	4 243	2 533	1 710	17 174	9 880	7 294
1967	4 527	2 589	1 938	18 702	10 655	8 047
1968	5 155	3 094	2 065	20 641	11 767	8 874
1969	5 522	3 226	2 296	23 375	14 733	8 642
1970	6 879	3 636	3 243	26 023	14 741	11 282
1971	7 623	3 980	3 643	29 509	15 644	13 865
1972	8 090	4 306	3 784	33 241	17 982	15 249
1973	8 408	4 624	3 784	35 063	16 395	18 668
1974	8 570	4 602	3 968	39 456	20 659	18 797
1975	9 043	4 801	4 242	40 040	19 317	20 723
1976	10 073	5 143	4 930	43 573	20 555	23 018
1977	10 601	5 226	5 375	48 580	24 384	24 197
1978	12 081	5 539	6 542	51 755	25 416	26 339
1979	13 320	5 910	7 410	54 966	26 558	28 408
1980	14 069	6 110	7 959	59 716	28 476	31 240
1981	15 011	6 253	8 758	60 632	25 356	35 276

Tablica 4

INSTALIRANE SNAGE ELEKTRANA 1981. PO REPUBLIKAMA
U MW [4]

Republika	Ukupno			Hidroelektrane			Termoelektrane		
	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale
Jugoslavija	15 011	14 025	986	6 253	6 128	125	8 758	7 897	861
BiH	2 418	2 153	265	1 046	1 026	20	1 372	1 127	145
C. Gora	680	649	31	656	649	7	24	–	24
Hrvatska	3 258	3 133	125	1 581	1 561	20	1 677	1 572	105
Makedonija	799	725	74	412	395	17	387	330	57
Slovenija	2 207	2 124	83	681	643	38	1 526	1 481	45
Srbija	5 649	5 241	408	1 877	1 854	23	3 772	3 387	385

Tablica 5

BRUTO PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE 1981. PO REPUBLIKAMA
u GWh [4]

Republika	Ukupno			Hidroelektrane			Termoelektrane		
	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale
Jugoslavija	60 702	57 720	2 982	25 426	24 880	546	35 276	32 840	2 436
BiH	11 299	10 249	1 050	4 009	3 903	106	7 290	6 346	944
C. Gora	1 835	1 745	90	1 780	1 746	35	55	–	55
Hrvatska	8 739	8 390	349	4 827	4 705	122	3 912	3 685	227
Makedonija	2 300	2 074	126	1 537	1 445	92	763	729	34
Slovenija	8 405	7 979	426	3 019	2 913	106	5 386	5 066	320
Srbija	24 224	27 183	941	10 254	10 169	85	17 770	17 014	856

Tablica 6

SPECIFIČNA BRUTO PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI
kWh po stanovniku [4]

Stanovn. Godina	SFRJ	BiH	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
1960.	484	561	304	404	295	1 692	290
1961.	533	589	725	373	320	2 006	318
1962.	597	578	994	555	313	2 008	364
1963.	706	680	1 837	707	314	2 133	423
1964.	736	790	1 866	685	375	1 982	477
1965.	796	850	1 693	792	389	2 177	506
1966.	870	916	1 676	928	418	2 137	585
1967.	937	1 015	1 571	913	513	2 197	694
1968.	1 024	1 201	1 769	938	436	2 354	778
1969.	1 149	1 302	2 101	1 033	563	2 721	865
1970.	1 268	1 435	1 818	1 051	754	2 844	1 043
1971.	1 439	1 702	1 679	1 121	727	2 573	1 381
1972.	1 602	1 716	1 605	1 237	548	3 112	1 641
1973.	1 673	1 784	1 322	1 196	697	3 110	1 795
1974.	1 852	1 977	1 788	1 404	860	3 358	1 960
1975.	1 878	2 070	1 357	1 318	569	3 699	2 006
1976.	2 025	2 135	2 363	1 556	550	3 736	2 078
1977.	2 237	2 357	3 806	1 928	688	3 755	2 250
1978.	2 356	2 403	4 031	1 986	877	4 189	2 347
1979.	2 486	2 548	4 232	1 943	1 007	4 221	2 579
1980.	2 673	2 645	3 766	1 995	1 036	4 345	2 955
1981.	2 703	2 740	3 142	1 899	1 203	4 442	3 010

Tablica 7

RAZVOJ PROIZVODNJE NA GENERATORU I RAZMJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE SR HRVATSKE

u GWh [1] [2]*

Godina	Proizvodnja												Ukupna razmjena (saldo)			Raspoloživo bruto
	Hrvatska			Udružene elektrane			Distr. i lokalne			Industr. elektrane						
	ukupno	hidro	termo	ukupno	hidro	termo	ukupno	hidro	termo	ukupno	hidro	termo	ukupno	tu-zemna	ino-zemna	
1939.	432	276	156	351	257	94	3	1	2	78	18	60	55	55	—	487
1945.	224	93	133	169	84	85	3	—	3	52	9	43	68	68	—	292
1946.	273	134	139	202	122	80	3	—	3	68	12	56	140	140	—	413
1947.	378	184	194	281	168	113	4	1	3	94	16	78	127	127	—	506
1948.	497	305	192	390	285	105	4	1	3	103	19	84	162	162	—	659
1949.	524	303	221	415	286	129	4	1	3	105	16	89	191	190	1	715
1950.	556	327	229	446	311	135	4	1	3	106	15	91	225	225	—	781
1951.	591	378	213	475	359	116	4	1	3	112	18	94	266	266	—	857
1952.	623	417	206	504	398	106	5	1	4	114	18	96	249	236	13	872
1953.	716	460	256	571	441	130	6	1	5	139	18	121	212	210	2	928
1954.	810	456	354	610	438	172	6	1	5	194	17	177	210	195	15	1020
1955.	1025	591	434	781	569	212	6	2	4	238	20	218	254	254	—	1279
1956.	1007	564	443	741	546	195	6	2	4	260	16	244	398	397	1	1405
1957.	1075	637	438	830	620	210	5	2	3	241	16	225	579	579	—	1655
1958.	1169	672	497	930	654	276	4	1	3	235	17	218	739	792	− 53	1908
1959.	1392	854	539	1129	835	294	5	1	4	258	18	240	714	771	− 57	2106
1960.	1671	1197	474	1412	1176	236	6	2	4	253	19	234	622	716	− 94	2293
1961.	1555	1102	453	1333	1087	246	5	2	3	217	13	204	977	1051	− 74	2532
1962.	2331	1903	428	2122	1888	234	5	—	5	204r	15	189r	480	519	− 39	2814
1963.	3089	2311	778	2792	2212	580	90	83	7	207	16	191	286	348	− 62	3375
1964.	2910	2068	842	2555	1976	579	106	74	32	249	18	231	519	558	− 39	3429
1965.	3430	2620	810	3040	2513	527	90r	86	4r	300r	21	279r	374	413r	− 39	3804r
1966.	4000	3254	746	3616	3158	458	77r	74r	3	304r	19r	285r	171	187r	− 16	4168r
1967.	3962	3183	779	3580	3098	482	70r	70r	—	312r	15	297r	516	502r	+ 14	4478r
1968.	4091	3301	789	3707	3211	496	77	77	—	306	13	293r	904	817r	− 2r	4905r
1969.	4520	3979	541	4155	3881	274	84	84	—	281	14	267		921	− 17	5424
1970.	4692	3726	966	4362	3640	722	73	73	—	257	13	244	1303	1351	− 48	5995
1971.	4953	3229	1724	4606	3152	1454	66	66	—	281	11	270	1509	1579	− 70	6462
1972.	5509	3727	1782	5166	3632	1534	80	80	—	263	15	248	1505	1505	—	7014
1973.	5333	2640	2693	4971	2569	2401	61	61	—	302	10	292	2018	1975	43	7352
1974.	6281	4226	2055	5916	4119	1797	85	85	—	280	22	258	2262	2359	− 97	8543
1975.	5922	3626	2296	5501	3538	1963	77	77	—	344	11	333	3188	2472	+716	9110
1976.	7633	4555	3078	7199	4466	2733	74	74	—	360	15	345	1908	1681	+227	9541
1977*	8782	5204	3578	8350	5114	3236	75	75	—	357	15	342	1419	1463	− 44	10201
1978*	9089	5562	3526	8648	5474	3174	76	76	—	365	13	352	1857	1679	+178	10946
1979*	8850	5680	3170	8399	5242	3157	80	80	—	371	13	358	2658	2809	−151	11508
1980.	9200	6244	2956	8779	6149	2630	81	81	—	340	14	326	3097	3248	−151	12297
1981.	8767	4790	3977	8365	4702	3663	77	77	—	325	11	314	3797	3397	400	12564

Do uključivo 1962. nalazile su se distribut. elektrane u sastavu udruž. elektropriv. Od 1965. uključeno 22% sistema HE Trebišnjice.

RAZMJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Tablica 8

MEĐUREPUBLIČKA RAZMJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE 1981.
u MWh [4]

Primila / predala	Ukupno	Bosna i Hercegovina	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
UKUPNO	15063	2182	996	99	20	197	10324
BiH	292	—	5	47	15	106	118
C. Gora	1163	18	—	—	—	7	1137
Hrvatska	3462	1495	—	—	1	50	1916
Makedonija	1868	16	—	3	—	1	983
Slovenija	991	645	1	31	1	—	302
Srbija	7337	8	990	18	3	33	—

Tablica 9

RAZMJENA IZMEĐU PODRUČJA UDRUŽENE ELEKTROPRIVREDE SRH 1981.
u GWh [2]*

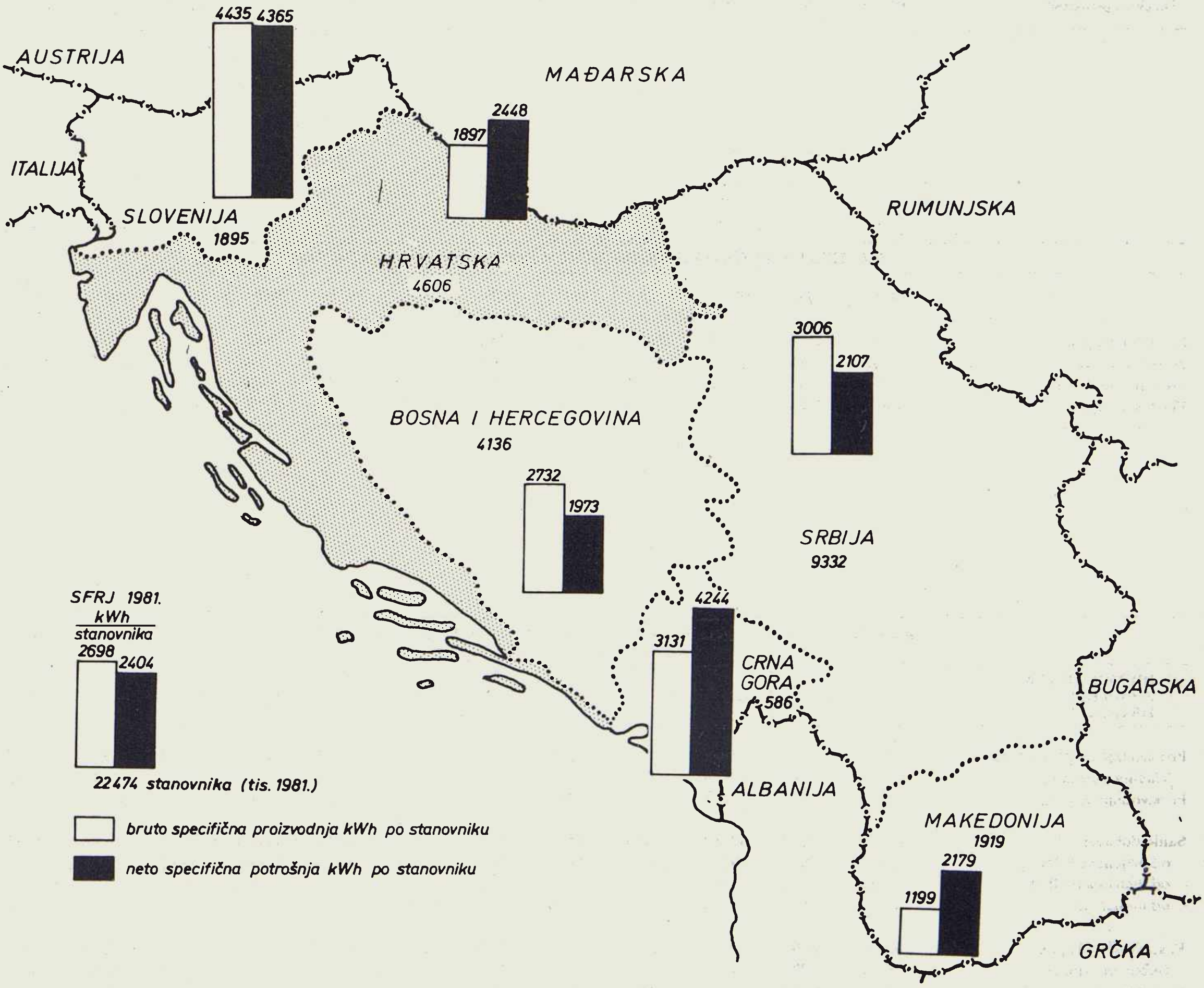
Područje SRH	Osijek	Rijeka	Split	Zagreb	Hrvatska
Proizvodnja na pragu	64	2777	2114	2560	8087
Saldo dobave	–	–	–	–	3775
Primljeno od ZEOH	1489	32	1767	2165	–
Predano ZEOH	–	1106	–	–	–
Raspoloživo BTTO	1553	1703	3881	4725	11862
Gubici prijenosa	41	46	116	161	364
Predano distribuciji	1245	1561	1653	3587	8047
Direktni potrošači	130	–	1991	598	2719

Tablica 10

RAZVOJ RAZMJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE UDRUŽENE ELEKTROPRIVREDE SRH
u GWh* [2]

Razmjena	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.
Nabava iz Slovenije	321,6	32,2	95,4	85,2	15,4	166,0	46,0	48,0	79,0	19,0	36,5	175
Predaja u Sloveniju	421,3	992,9	92,2	28,1	50,9	26,0	26,0	66,0	50,0	109,0	68,1	33
	−	−	+	+	−	+	+	−	+	−	−	+
Saldo	99,7	960,7	3,2	57,1	35,5	140,0	20,0	18,0	29,0	90,0	31,6	142
Nabava iz Bosne	1492,9	2575,1	1565,1	1925,0	2397,4	2401,0	1689,0	1510,0	1731,0	3112,0	3388,1	3444
Predaja u Bosnu	42,6	40,7	63,2	2,1	2,1	75,0	18,0	37,0	87,0	193,0	142,1	87
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Saldo	1450,3	2534,4	1460,7	1918,8	2395,3	2326,0	1671,0	1473,0	1644,0	2919,0	3246,0	3357
Nabava iz inozemstva	0,1	1,5	–	42,6	50,0	739,0	331,0	55,0	234,0	81,0	76,3	430
Predaja u inozemstvo	48,1	71,8	0,1	0,0	146,6	23,0	104,0	100,0	56,0	232,0	213,1	30
	−	−	−	+	−	+	+	−	+	+	−	+
Saldo	48,1	70,3	0,1	42,6	96,6	716,0	227,0	45,0	178,0	151,0	136,8	400
Ukupno nabava	1814,5	2608,8	1660,5	2052,8	2462,8	3306,0	2066,0	1613,0	2044,0	3212,0	3500,9	4049
Izvoz i predaja	512,0	1105,4	155,4	34,3	199,6	124,0	148,0	203,0	193,0	534,0	423,3	150
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Saldo razmjene	1302,6	1503,4	1505,1	2018,5	2263,2	3182,0	1918,0	1410,0	1851,0	2658,0	3077,6	3899

U tablici je sadržana razmjena na svim naponima. Razmjena sa SR Crnom Gorom i SR Srbijom uključena u SR BiH.



Sl. 5. Specifična proizvodnja i potrošnja električne energije (kWh/stanovnik)

POTROŠNJA I BILANCE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Tablica 11

PROIZVODNJA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE UDRUŽENE ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE
u MWh [1] [2]*

UDRUŽENA ELEKTROPRIVREDA HRVATSKE	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.
Proizvodnja na generatoru	4302,1	4606,1	5166,2	4971,3	5916,0	5518,6	7198,5	8349,7	8647,2	8399,5	8779,0	8365,0
Vlastita potrošnja	90,0	156,5	164,6	207,3	173,5	174,4	223,4	248,9	252,6	253,6	249,5	278,2
Proizvodnja na pragu	4272,1	4449,6	5001,6	4764,0	5742,5	5344,2	6975,1	8100,8	8394,6	8145,9	8529,5	8086,8
Razmjena saldo:	1302,6	1503,4	1505,1	2018,5	2262,7	3187,4	1937,5	1411,9	1853,3	2664,2	3077,6	3774,3
sa Slovenijom	– 99,7	– 960,7	3,2	57,1	– 35,6	121,2	19,2	– 18,6	28,9	– 89,6	– 31,6	18,4
sa Bosnom i H.	1450,3	2530,4	1502,0	1643,1	1905,2	1990,5	1565,4	1300,3	1323,2	1512,5	1513,5	1457,6
sa drugim republ.	–	–	–	275,7	489,8	360,5	125,9	187,5	323,0	1392,3	1732,5	1898,7
sa inozemstvom	– 48,0	– 70,3	– 0,1	42,6	– 96,7	715,2	227,1	– 44,4	178,2	– 151,0	– 136,8	399,6
Nabava od industrije	2,8	4,8	–	1,8	1,8	6,3	21,4	–	2,0	–	–	–
Raspoloživo ukupno	5577,5	5957,8	6506,7	6784,3	8006,1	8537,9	8934,0	9512,7	10249,9	10810,1	11607,1	11861,1
Gubici prijenosa	269,9	277,5	33,4	267,2	324,8	312,9	303,4	336,7	342,9	302,2	380,9	364,1
Predano distr. BiH	–	–	–	64,4	56,2	47,1	23,8	1,4	0,9	0,0	0,1	0,0
Razlika voz. reda ±				–	–	–	–	–	–	– 6,4	–	–
Potrošnja u Hrvatskoj	5307,6	5680,3	6173,3	6452,7	7625,1	8177,9	8606,8	9174,6	9906,1	10501,5	11226,1	11497,0
Distribut. poduzeća	4219,1	4596,3	4981,4	5244,8	5517,4	5784,9	6149,8	6663,9	7289,8	7841,0	8545,2	8778,3
Direktni potrošači	1088,5	1084,0	1191,9	1207,9	2107,7	2393,0	2457,0	2510,7	2616,3	2660,5	2680,9	2718,7

Tablica 11a

VLASTITO SNABDIJEVANJE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM INDUSTRIJE SRH

	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.
Proizvod. na gen.	256,8	280,6	263,2	301,4	281,0	343,5	359,9	356,5	365,5	370,7	339,6	324,9
Predano Udruž.	2,8	4,8	–	1,8	1,8	6,3	21,4	–	2,0	–	–	–
Predano Distribuc.	3,1	4,5	4,5	3,6	7,0	2,0	5,2	3,2	2,3	3,2	5,4	2,7
Vlast. snabdjev.	250,9	271,3	258,7	296,0	272,2	335,2	333,3	353,3	361,2	367,5	334,2	322,2

Tablica 12

PROIZVODNJA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE DISTRIBUTIVNIH PODUZEĆA HRVATSKE GWh [1] [2]*

DISTRIBUTIVNA PODUZEĆA HRVATSKE	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.
Proizvodnja na generatoru	73,4	65,8	79,8	60,9	84,5	77,4	74,2	75,3	76,7	79,8	81,3	77,1
Vlastita potrošnja	1,3	1,3	1,0	0,6	1,1	2,4	1,0	2,6	2,1	1,5	0	1,4
Proizvodnja na pragu	72,1	64,5	78,8	60,3	83,4	75,0	73,2	72,7	74,6	78,3	81,3	75,7
Saldo dobave:	4228,0	4606,2	4998,7	5264,9	5542,8	5844,6	6157,0	6673,0	7296,8	7836,3	8570,0	8803,2
od prijenosa SRH	4219,1	4596,3	4981,4	5244,8	5517,4	5784,9	6149,8	6663,9	7289,8	7841,0	8545,2	8778,3
od distribucije BiH	5,8	5,4	12,8	16,5	18,4	56,9	2,0	5,9	4,7	– 7,9	19,4	22,2
od industrije	3,1	4,5	4,5	3,6	7,0	2,8	5,2	3,2	2,3	3,2	5,4	2,7
Raspoloživo ukupno	4300,1	4670,7	5077,5	5325,2	5626,2	5919,6	6230,2	6745,7	7371,4	7914,6	8651,3	8878,9
Gubici distribucije	505,8	482,5	487,5	469,2	534,7	582,1	659,5	720,4	776,5	680,6	856,1	833,2
Potrošnja u Hrvatskoj	3794,3	4188,2	4590,0	4856,0	5091,5	5337,5	5570,7	6025,3	6594,9	7234,9	7795,2	8045,7

Tablica 13

POTROŠNJA DIREKTNIH POTROŠAČA UDRUŽENE ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE u GWh [1] [2]*

UDRUŽENA ELEKTROPRIVREDA HRVATSKE	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977*	1978*	1979*	1980.	1981.
Direktni potrošači ukupno	1088,5	1084,0	1191,9	1207,9	2107,7	2393,0	2457,0	2510,7	2616,3	2660,5	2680,9	2718,7
Elektrovuča ŽTP-a	76,3	115,2	125,4	138,3	128,6	122,3	123,8	140,4	156,5	176,1	187,2	199,1
Industrija ukupno	1012,2	968,8	1066,5	1069,6	1979,1	2270,7	2333,2	2370,3	2459,8	2484,4	2493,7	2519,6
Ugljenokopi												
Raša, Labin	43,7	42,3	43,0	37,7	42,3	43,3	48,1	47,0	44,4	44,4	38,8	–
Cementare												
Sloboda, Zagreb	–	–	–	–	1,0	30,6	35,9	68,3	68,8	61,1	51,0	55,1
Cementara, Našice	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	21,5	39,9
Elektrokemija	494,7	456,0	553,8	466,0	567,4	537,1	532,1	522,1	552,4	566,8	557,1	610,8
Karbid, D. Rat	235,2	174,6	237,4	184,8	267,9	248,9	218,8	182,0	211,0	222,0	223,7	238,7
Jugovinil, Kaštel S.	59,2	53,8	64,5	52,8	73,3	65,4	65,5	83,8	68,1	95,5	97,8	112,2
Gnojivo, Kutina	200,3	227,6	231,9	228,4	226,2	222,8	247,8	256,3	253,3	249,3	235,6	259,9
Elektrometalurgija	326,0	321,1	340,4	347,9	1145,3	1422,3	1472,5	1480,4	1540,4	1550,0	1569,9	1543,8
Aluminij, Lozovac	126,2	117,0	132,3	151,8	169,0	162,3	170,8	189,3	195,6	192,1	196,6	188,7
TLM, Ražine	57,1	61,9	62,0	72,9	813,6	1096,3	1115,7	1134,4	1169,1	1161,2	1185,8	1151,9
Ferolegure, Šibenik	142,7	142,2	146,1	123,2	162,7	163,7	186,0	156,7	175,7	196,7	187,5	203,2
Ostali potrošači	147,8	149,4	149,3	218,0	223,1	237,4	244,6	252,5	253,8	261,5	255,4	270,0
Željezara, Sisak	137,0	143,3	137,0	142,4	153,2	165,4	171,4	181,9	182,9	189,4	182,1	182,4
Valjaonica, Ražine	–	–	–	67,6	63,0	62,2	69,2	68,6	70,4	70,6	72,1	71,6
Ostali	10,8	6,1	12,3	8,0	6,9	5,8	4,0	2,0	0,5	1,5	1,2	16,0

Tablica 13a

DOBAVA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U ŽELJEZNIČKOM PROMETU SRH

	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.
Dobava od Udruž.	76,3	115,2	125,4	138,3	128,6	122,3	123,8	140,4	156,5	176,1	187,2	199,1
Dobava od Distribuc.	63,7	54,7	54,8	87,7	98,0	86,9	95,9	94,6	86,5	71,6	70,8	70,9
Potrošnja ŽTP-a	140,0	169,9	180,2	226,0	226,6	210,2	219,7	235,0	243,0	247,7	258,0	270,0

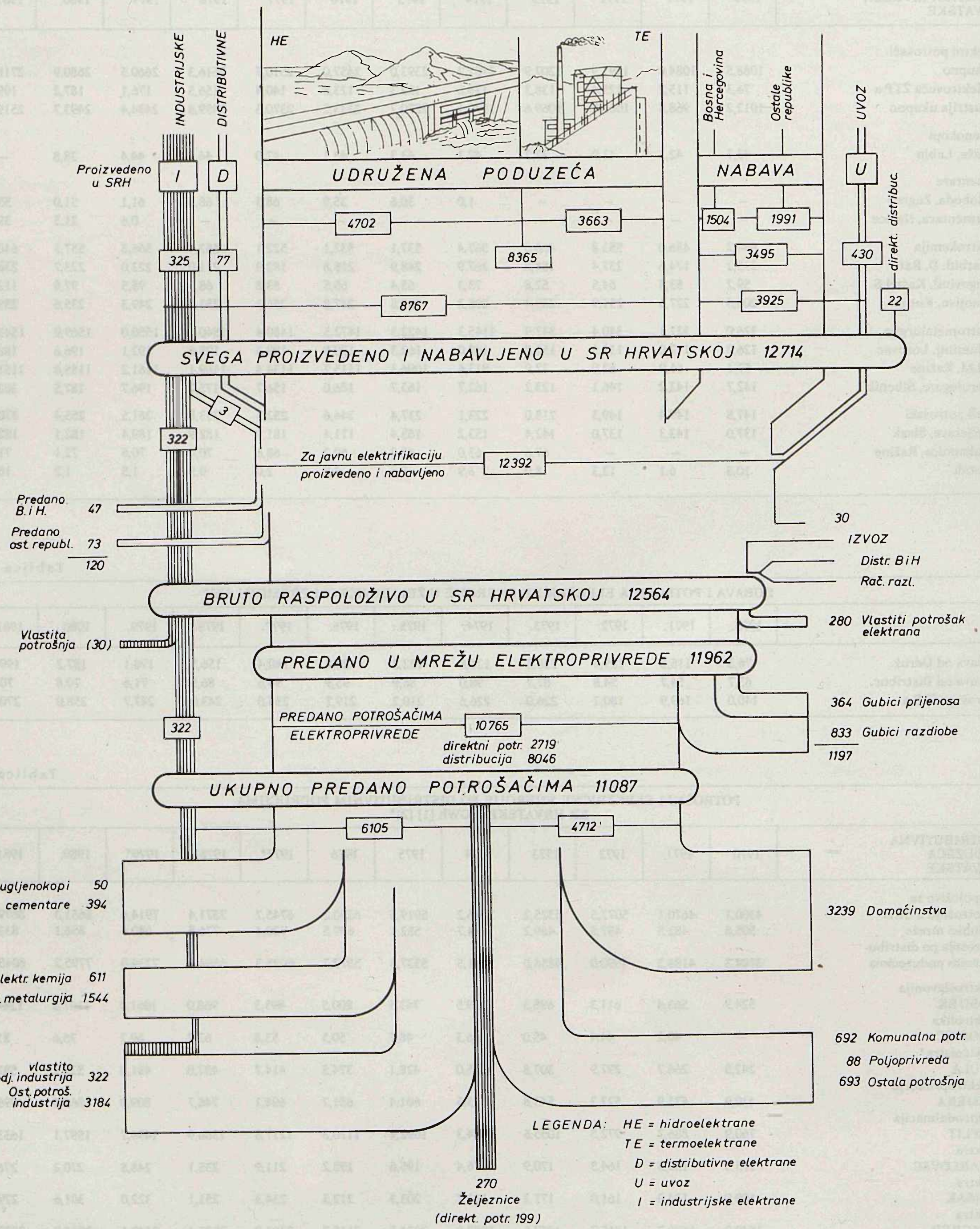
Tablica 14

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE PO DISTRIBUTIVNIM PODRUČJIMA SR HRVATSKE u GWh [1] [2]*

DISTRIBUTIVNA PODUZEĆA HRVATSKE	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977*	1978*	1979*	1980.	1981.
Raspoloživo za potrošnju u SRH	4300,1	4670,1	5077,5	5325,2	3626,2	5919,6	6230,2	6745,7	7371,4	7914,6	8651,3	8879,0
Gubici mreže	505,8	482,5	487,5	469,2	534,7	582,1	659,5	720,4	776,5	680,6	856,1	833,3
Potrošnja po distributivnim poduzećima	3794,3	4188,2	4590,0	4856,0	5091,5	5337,5	5570,7	6025,3	6594,9	7234,0	7795,2	8045,7
Elektroslavonija OSIJEK	524,9	563,4	611,3	698,3	729,5	743,5	800,5	895,5	968,0	1061,4	1147,8	1244,3
Elektrolika GOSPIĆ	–	40,2	44,4	45,0	46,3	48,7	50,5	53,8	62,7	69,7	75,6	81,2
Elektroistra PULA	242,5	266,7	297,9	307,8	335,0	428,1	374,5	414,7	437,0	481,3	522,2	581,8
Eelektroprimorje RIJEKA	439,9	471,9	522,7	543,6	573,5	601,4	651,7	694,1	748,7	809,0	868,8	898,3
Elektrodalmacija SPLIT	760,9	886,7	972,5	1055,6	1084,3	1092,4	1170,3	1217,8	1366,9	1494,7	1597,1	1653,5
Elektra KARLOVAC	175,3	155,5	164,5	170,9	176,4	195,6	195,2	211,9	235,1	248,8	270,2	276,6
Elektra SISAK	109,9	124,0	161,0	177,3	193,7	203,3	212,3	234,3	251,1	322,0	301,6	279,2
Elektra ZAGREB	1540,9	1679,7	1815,7	1857,5	1952,8	2024,5	2115,7	2303,2	2525,4	2447,1	3011,9	3030,8
Prema naponu:												
Na visokom naponu	1437,8	1607,0	1823,5	1877,4	2005,9	2127,7	2207,2	2415,4	2667,1	2930,6	3198,7	3334,1
Na niskom naponu	2356,5	2581,2	2766,5	2978,6	3085,6	3209,8	3363,5	3609,9	3927,8	4303,4	4596,5	4711,6
— Domaćinstva	1496,8	1637,9	1772,3	1943,9	2060,2	2132,7	2223,4	2360,4	2584,6	2904,8	3111,1	3238,6
— Ost. potroš. na 0,4 kV	859,7	943,3	994,2	1034,7	1025,4	1077,1	1140,1	1249,5	1343,2	1398,6	1485,4	1473,0

TOK ELEKTRIČNE ENERGIJE U SR HRVATSKOJ 1981.

milijuna kilovatsati (GWh)



Sl. 6. Tok električne energije u SRH 1981. godine

Tablica 15

PROIZVODNJA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U SR HRVATSKOJ
u GWh [1] [2]*

Potrošači	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.*	1978.*	1979.*	1980*.	1981.
Proizvodnja na generatoru	4692,3	4952,5	5509,2	5333,5	6280,7	5940,3	7632,6	8781,5	9089,8	8850,0	9200	8767,0
Saldo dobave	1308,5	1508,8	1517,9	1970,7	2224,9	3197,3	1915,6	1416,4	1856,6	2649,9	3097	3796,5
Raspoloživo bruto	6000,8	6461,3	7027,1	7304,2	8505,6	9137,6	9548,2	10197,9	10946,4	11499,9	12297	12563,5
Vlastita potrošnja	91,3	157,8	165,6	207,9	174,7	176,9	224,3	251,5	254,6	255,1	250	279,6
Gubici prijenosa	269,9	277,5	333,4	267,2	324,8	312,9	303,4	336,7	342,9	302,2	381	364,1
Gubici distribucije	505,9	482,5	487,5	469,2	534,7	582,1	659,5	720,4	776,5	680,6	856	833,2
Potrošnja neto	5133,7	5543,5	6040,6	6359,9	7471,4	8065,7	8361,0	8889,3	9572,4	10262,0	10810	11086,6
Industrija	2585,8	2792,4	3093,9	3178,5	4159,2	4645,7	4777,8	5044,4	5401,6	5733,0	5977	6105,0
Ugljenokopi	51,2	46,0	45,6	41,8	45,5	45,3	53,9	47,0	44,4	44,4	50	50,4
Cementare	163,7	187,7	225,9	225,2	248,5	304,4	287,3	277,8	278,8	361,7	367	394,1
Elektrokemija	494,7	456,0	533,8	466,0	567,4	537,1	532,1	522,1	552,4	566,8	557	610,9
Elektrometalurgija	326,0	321,1	340,4	347,9	1154,3	1422,3	1472,5	1480,4	1540,4	1550,0	1570	1543,7
Ostala prodaja	1599,3	1510,3	1689,5	1801,6	1871,3	2001,4	2098,7	2363,8	2624,4	2842,6	3099	3183,7
Vlast. snabdjev. ind.	250,9	271,3	258,7	296,0	272,2	335,2	333,3	353,3	361,2	367,5	334	322,2
Elektro vuča ŽTP	140,0	169,0	180,2	226,0	226,6	210,2	219,7	235,0	243,0	225,6	237*	270,0
Opća potrošnja	2407,9	2581,2	2766,5	2955,4	3085,6	3209,8	3363,5	3609,9	3927,8	4303,4	4596	4711,6
Domaćinstva	1496,8	1637,9	1772,3	1943,9	2060,2	2132,7	2223,4	2360,4	2584,9	2904,8	3111	3238,6
Komunal. potr.	*208,0	*231,0	*270,0	*261,0	263,0	291,0	473,0	572,0	622,0	667,0	649	692,3
Ost. potrošnja	708,1	712,3	724,2	750,5	762,4	786,1	667,1	677,5	720,9	731,6	836	780,7

Tablica 16

BILANCA PROIZVODNJE I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U SFRJ 1981.
u GWh [5]

Jugoslavija 1981.	SFRJ	Bosna i Hercegovina	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija			
							svega	terit. SRS van terit. SAP	Kosovo	Vojvodina
Proizvodnja na generatoru	60 632	11 299[1]	1 835	8 739[2]	2 300	8 405[2]	28 054	24 224	3 354	476
Vlastita potrošnja	3 424	626	28	350	77	477	1 866	1 400	406	60
Proizvodnja na pragu elektrana	57 208	10 673	1 807	8 389	2 223	7 928	26 188	22 824	2 948	416
Izvoz[3]	1 073	28	25	30	12	19	959	866	93	—
Uvoz[3]	2 450	209	754	430	534	47	476	476	—	—
Primljeno od drugih republika	11 880	—	168	3 367	1 849	793	5 703	—	—	5 703
Isporučeno drugim republikama	11 965	1 889	—	—	—	—	10 076	8 913	1 163	—
Gubici prenosa i razvoja	4 467	804	217	882	413	477	1 674	1 008	230	436
Raspoloživo za potrošnju	54 033	8 161	2 487	11 274	4 181	8 272	19 658	12 513	1 462	5 683
Industrija i rudarstvo	31 521	5 062	1 903	6 604	2 836	5 355	9 761	6 141	1 042	2 578
Rudnici uglja	1 447	227	6	104	75	65	970	794	176	—
Cementare	1 013	93	53	325	78	178	286	124	—	162
Elektrokemija	4 221	460	8	1 596	46	829	1 282	511	109	662
Elektrometalurgija	6 314	1 842	390	624	1 690	1 072	696	305	357	34
Ostala industrija	18 526	2 440	1 446	3 955	947	3 211	6 527	4 407	400	1 720
Pumpanje vode u akumulacione bazene HE	2	2	—	—	—	—	—	—	—	—
ŽTP	1 126	143	25	461	15	211	271	218	—	53
Tramvaji i trolejbusi	144	19	—	55	—	—	70	70	—	—
Javni vodovod	580	60	22	213	7	59	219	175	8	36
Javno osvetljenje	487	45	14	144	19	58	207	112	30	65
Domaćinstva (osvetljenje i aparati[2])	16 377	2 239	403	3 221	1 120	1 912	7 482	4 743	324	2 415
Poslovne i društvene prostorije	1 351	135	72	311	173	240	420	325	20	75
Motori i aparati ostalih potrošača	1 627	118	33	180	—	247	1 049	680	12	357
Poljoprivreda ukupno	818	338	15	85	11	190	179	49	26	104
Melioracije	55	22	—	3	2	2	26	6	—	20
Poljoprivredni motori	178	10	—	51	9	20	88	13	3	72
Ostalo	570	306	—	31	—	168	65	30	23	12

[1] Kod SR Bosne i Hercegovine uključeno 78% proizvodnje HE »Trebišnjica« a kod SR Hrvatske 22%.
[2] Kod SR Hrvatske i SR Slovenije uključeno po 50% proizvodnje Nuklearne elektrane »Krško«.
[3] Podaci Zajednice Jugoslovenske elektroprivrede.

Tablica 17

POGONSKA SNAGA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE PREMA TEHNOLOŠKOJ NAMJENI U INDUSTRIJSKIM ORGANIZACIJAMA SR HRVATSKE ZA 1980. GODINU

u MWh

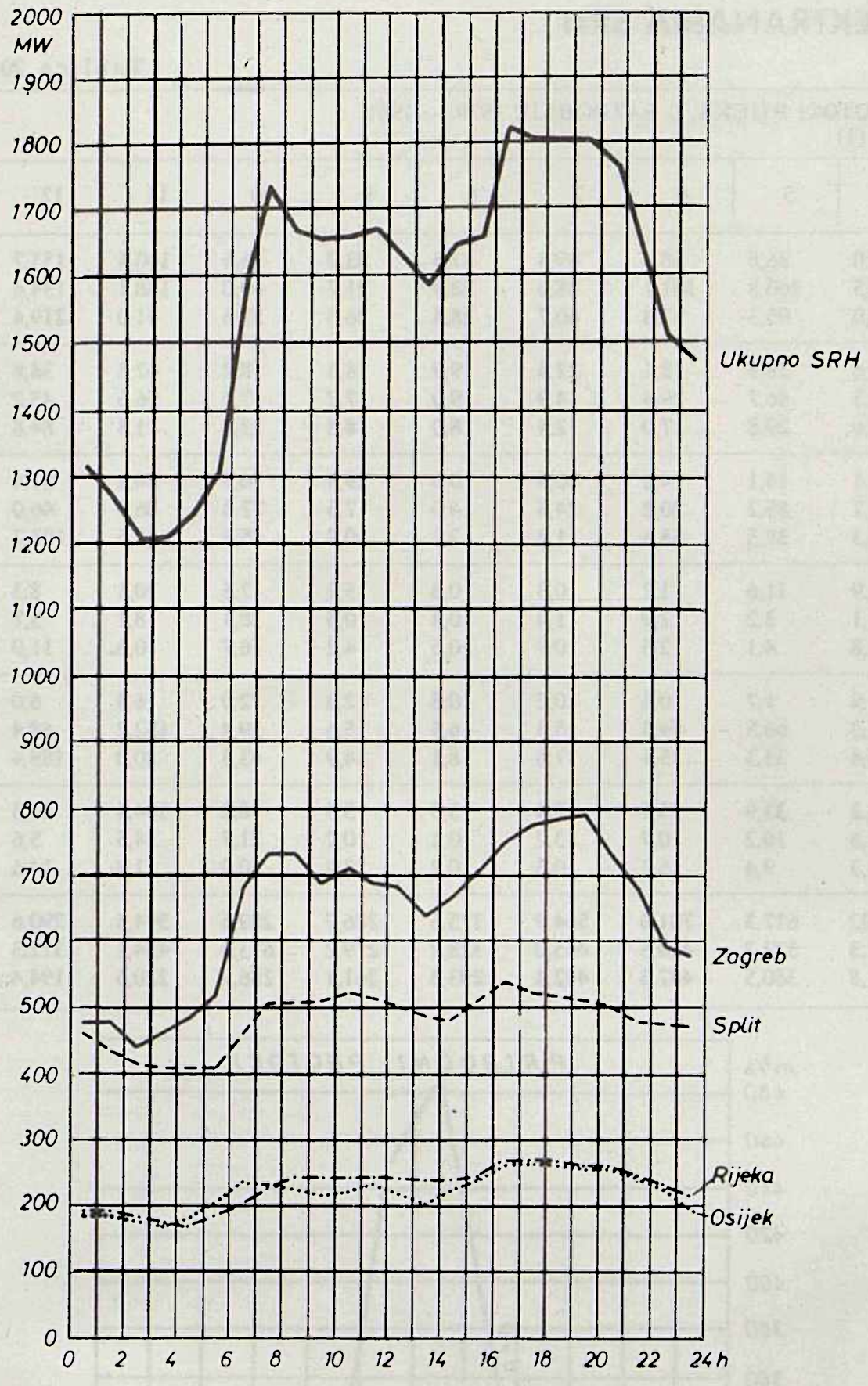
	Ukupna pogonska snaga	Snaga elektro-motora	Ukupno utrošena električna energija	Za termičke svrhe	Za elektrolize i galvanizaciju	Za elektro-motore	Ostalo
UKUPNO	2 108[2]	1 972[1]	5 922 362	671 963	1 454 780	3 475 631	319 988
Elektroprivreda	223	201	428 775	3 578	1 576	384 309	39 312
Proizvodnja ugljena	29	29	48 007	294	—	47 663	50
Prerada ugljena	12	8	18 151	—	—	17 464	687
Proizvodnja nafte i zemnog plina	35	22	38 872	548	—	37 431	893
Proizvodnja naftenih derivata	114	97	219 547	1 212	110	211 011	7 214
Crna metalurgija	81	81	488 666	387 214	—	94 141	7 311
Proizvodnja ruda obojenih metala	16	1	2 260	17	—	2 203	40
Proizvodnja obojenih metala	29	29	1 469 133	5 630	1 371 242	88 191	4 070
Prerada obojenih metala	40	40	71 498	15 717	68	54 887	826
Proizvodnja nemetalnih minerala	9	8	10 599	190	—	9 411	998
Prerada nemetalnih minerala	26	25	127 908	49 672	40	65 954	12 242
Metaloprerađivačka djelatnost	150	136	229 654	54 085	8 472	148 103	18 994
Strojogradnja	86	86	74 727	6 210	783	56 814	10 920
Proizvodnja prometnih sredstava	23	23	22 072	3 166	808	16 140	1 958
Brodogradnja	86	85	68 975	2 427	—	49 812	16 736
Proizvodnja električnih strojeva i aparata	58	58	81 709	20 474	4 246	44 816	12 173
Proizvodnja osnovnih kemijskih proizvoda	125	110	567 990	69 650	60 023	419 019	19 298
Prerada kemijskih proizvoda	63	63	119 660	18 228	2 617	87 429	11 386
Proizvodnja kamena, pijeska i šljunka	58	39	58 704	218	—	55 889	2 597
Proizvodnja građevnog materijala	227	220	529 585	1 866	—	504 193	23 536
Proizvodnja rezane građe i ploča	42	41	64 975	862	—	59 800	4 313
Proizvodnja finalnih proizvoda od drveta	94	93	127 214	1 392	71	112 768	12 983
Proizvodnja i prerada papira	82	81	228 683	558	101	220 952	7 072
Proizvodnja tekstilnih prediva i tkanina	79	79	255 730	3 473	—	223 860	28 397
Proizvodnja gotovih tekstilnih proizvoda	29	29	69 024	4 492	27	49 350	15 155
Proizvodnja kože i krzna	11	11	10 624	547	—	9 460	617
Proizvodnja kožne obuće i galanterije	15	15	23 173	914	—	17 898	4 361
Prerada kaučuka	22	22	49 282	2 500	—	42 066	4 716
Proizvodnja prehrambenih proizvoda	174	170	298 604	11 892	3 191	248 712	34 809
Proizvodnja pića	24	24	48 332	1 189	—	39 164	7 979
Proizvodnja stočne hrane	21	21	22 252	994	—	19 523	1 735
Proizvodnja i prerada duhana	4	4	10 395	448	—	8 416	1 531
Grafička djelatnost	18	18	31 977	2 026	684	24 705	4 562
Proizvodnja raznovrsnih proizvoda	3	3	5 595	280	721	4 077	517

Tablica 18

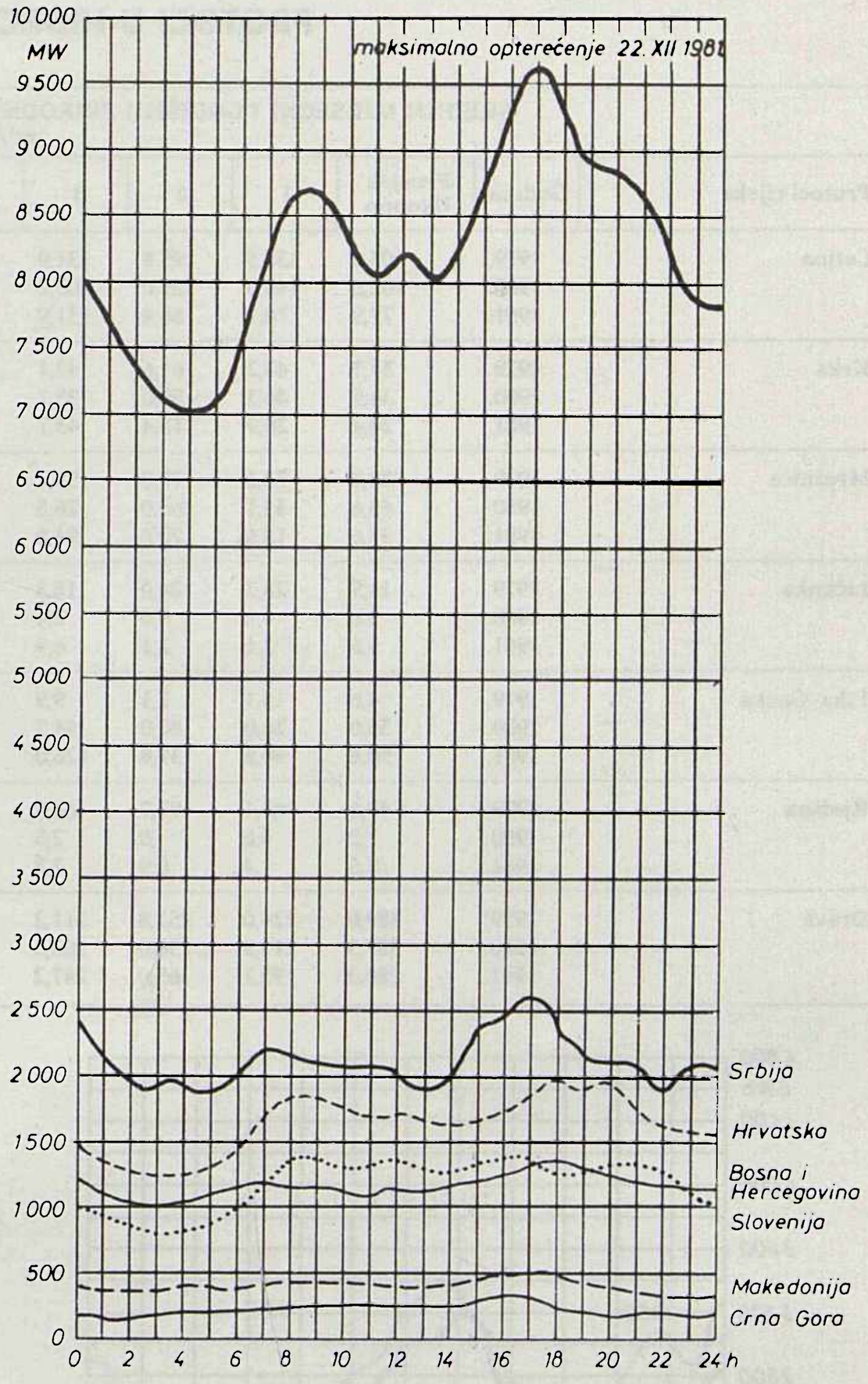
RAZVOJ NETO SPECIFIČNE PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE SR HRVATSKE

[1]

Godina	Stanovništvo × 1000	Neto proizvodnja		Neto potrošnja		Potrošnja domaćinstava	
		Ukupna GWh	Specifična proizvodnja kWh/stanovnik	Ukupna GWh	Specifična potrošnja kWh/stanovnik	Ukupna GWh	Elektroenergetski standard kWh/stanovnik
1950.	3 851	556	144	669	174	83	22
1951.	5 882	591	152	732	188	90	23
1952.	3 913	623	159	741	189	73	19
1953.	3 946	716	181	783	198	92	23
1954.	3 978	810	204	844	212	131	33
1955.	4 013	1 025	255	1 076	268	165	41
1956.	4 040	1 007	249	1 180	292	227	56
1957.	4 067	1 076	264	1 404	345	281	60
1958.	4 089	1 169	286	1 577	384	376	90
1959.	4 115	1 392	338	1 767	429	426	104
1960.	4 140	1 671	404	1 943	469	409	99
1961.	4 169	1 555	373	2 132	511	457	110
1962.	4 198	2 334	555	2 380	567	554	132
1963.	4 229	2 948	697	2 853	677	689	163
1964.	4 252	2 793	657	2 903	683	768	183
1965.	4 281	3 308	772	3 204	749	813	190
1966.	4 312	3 903	906	3 508	814	924	214
1967.	4 430	3 861	889	3 783	872	1 064	246
1968.	4 364	3 996	917	4 200	964	1 187	271
1969.	4 406	4 447	1 009	4 650	1 055	1 333	302
1970.	4 411	4 572	1 036	5 134	1 164	1 497	339
1971.	4 376	4 767	1 089	5 543	1 266	1 638	377
1972.	4 450	5 319	1 195	6 041	1 357	1 770	398
1973.	4 469	5 096	1 140	6 330	1 416	1 938	434
1974.	4 490	6 078	1 354	7 451	1 660	2 060	460
1975.	4 507	5 732	1 272	8 009	1 777	2 150	521
1976.	4 527	7 399	1 634	8 360	1 950	2 223	477
1977.	4 532	8 487	1 873	8 837	1 847	2 360	491
1978.*	4 566	8 835	1 935	9 572	2 096	2 585	566
1979.*	4 576	8 620	1 883	10 265	2 243	2 905	635
1980.*	4 584	8 950	1 952	10 810	2 538	3 111	679
1981.	4 601	8 487	1 845	11 087	2 410	3 239	704



Sl. 7. Dnevni dijagram opterećenja za SRH
Srijeda 23. XII 1981.



Sl. 8. Dnevni dijagram opterećenja za SFRJ
22. XII 1981.

Tablica 19

BILANCA PROIZVODNJE I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI
u GWh [5]

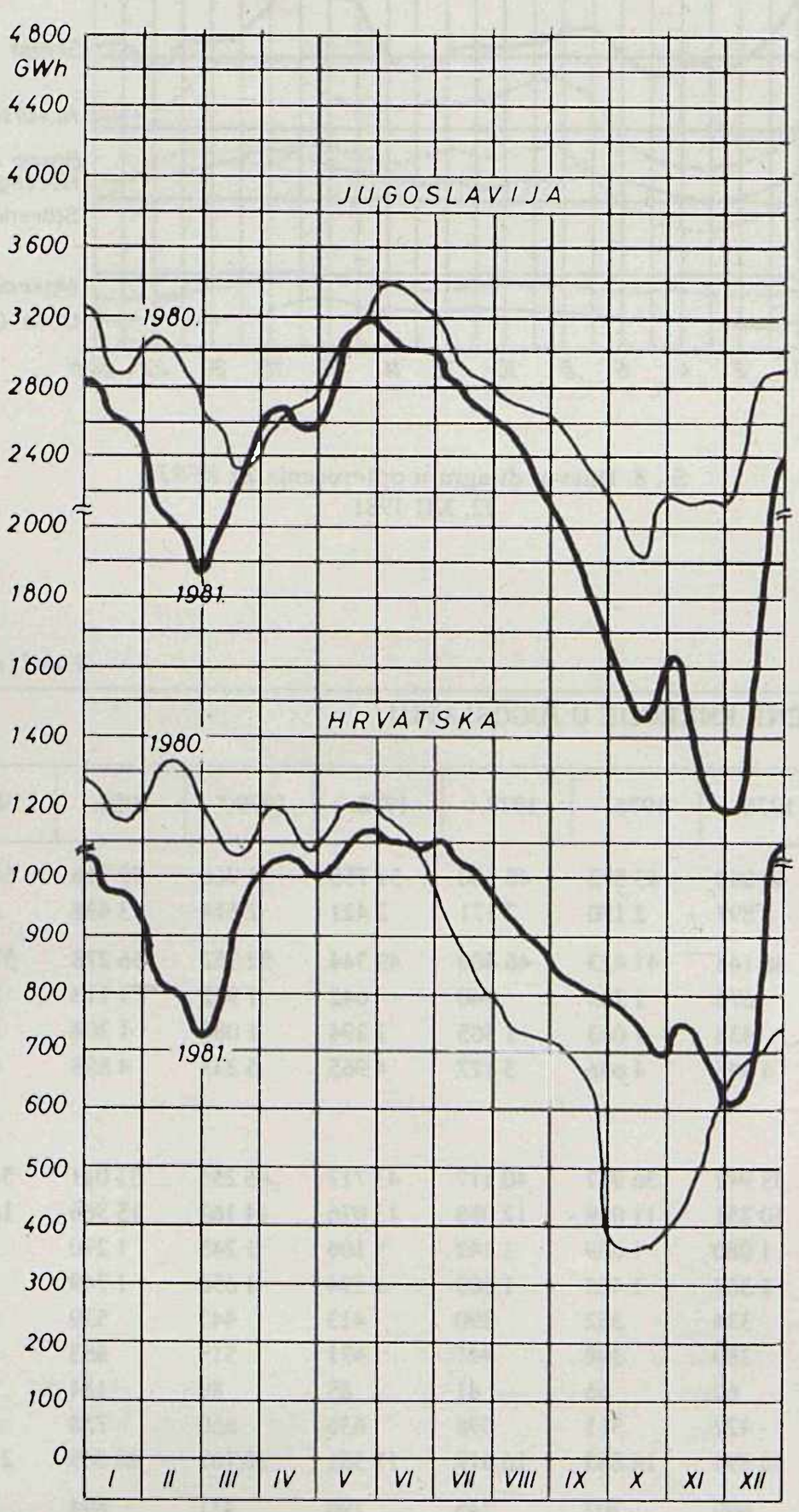
	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.*	1980.	1981.
Proizvodnja na generatoru	26 023	29 509	33 231	35 062	39 456	40 040	43 573	48 580	51 755	54 966	59 716	60 632
Potrošnja u elektrani	1 256	1 484	1 435	1 746	1 807	1 897	2 150	2 171	2 421	2 614	3 438	3 424
Proizvodnja na pragu	24 767	28 025	31 796	33 416	37 649	38 143	41 423	46 409	49 344	52 352	56 278	57 208
Uvoz	361	104	227	304	625	676	1 263	340	642	1 952	1 713	2 400
Izvoz	152	266	905	353	625	433	1 063	1 505	1 294	1 088	1 304	1 073
Gubici prenosa i razvoda	2 980	3 220	3 613	3 753	4 253	4 445	4 646	5 127	4 965	5 233	4 858	4 467
Raspoloživo za potrošnju	21 966	24 643	27 555	29 514	33 396	33 941	36 977	40 117	43 717	46 255	51 011	54 033
Domaćinstva	6 082	6 911	7 674	8 621	9 431	10 351	11 019	12 058	13 076	14 162	15 566	16 377
Poslov. i društv. prost.	968	871	903	1 129	948	1 080	1 069	1 142	1 106	1 245	1 290	1 351
Motori i aparati	928	1 083	1 211	1 435	1 541	1 367	1 468	1 603	1 594	1 658	1 749	1 627
Javno osvetljenje	242	279	297	322	321	334	352	390	413	443	539	487
Javni vodovod	273	310	366	347	382	380	398	447	471	515	553	580
Tramvaji i trolejbusi	80	73	77	69	75	62	66	81	85	89	134	144
Poljoprivreda	168	301	275	304	272	422	511	598	636	650	738	818
Opća potrošnja ukupno	8 711	9 828	10 803	12 227	12 970	13 996	14 883	16 319	17 381	18 762	20 569	21 384
Elektroželježnička vuča	301	460	591	648	729	699	707	745	790	771	894	1 126
Industrija i rudarstvo	12 954	14 355	16 161	16 639	19 697	19 246	21 387	23 053	25 546	26 722	29 548	31 521
od toga: elektrokemija i elektrometalurgija	5 259	5 799	5 843	6 223	7·004	7 088	8 307	10 128	10 724	10 594	11 510	10 535

PROTOCI U HIDROELEKTRANAMA SRH

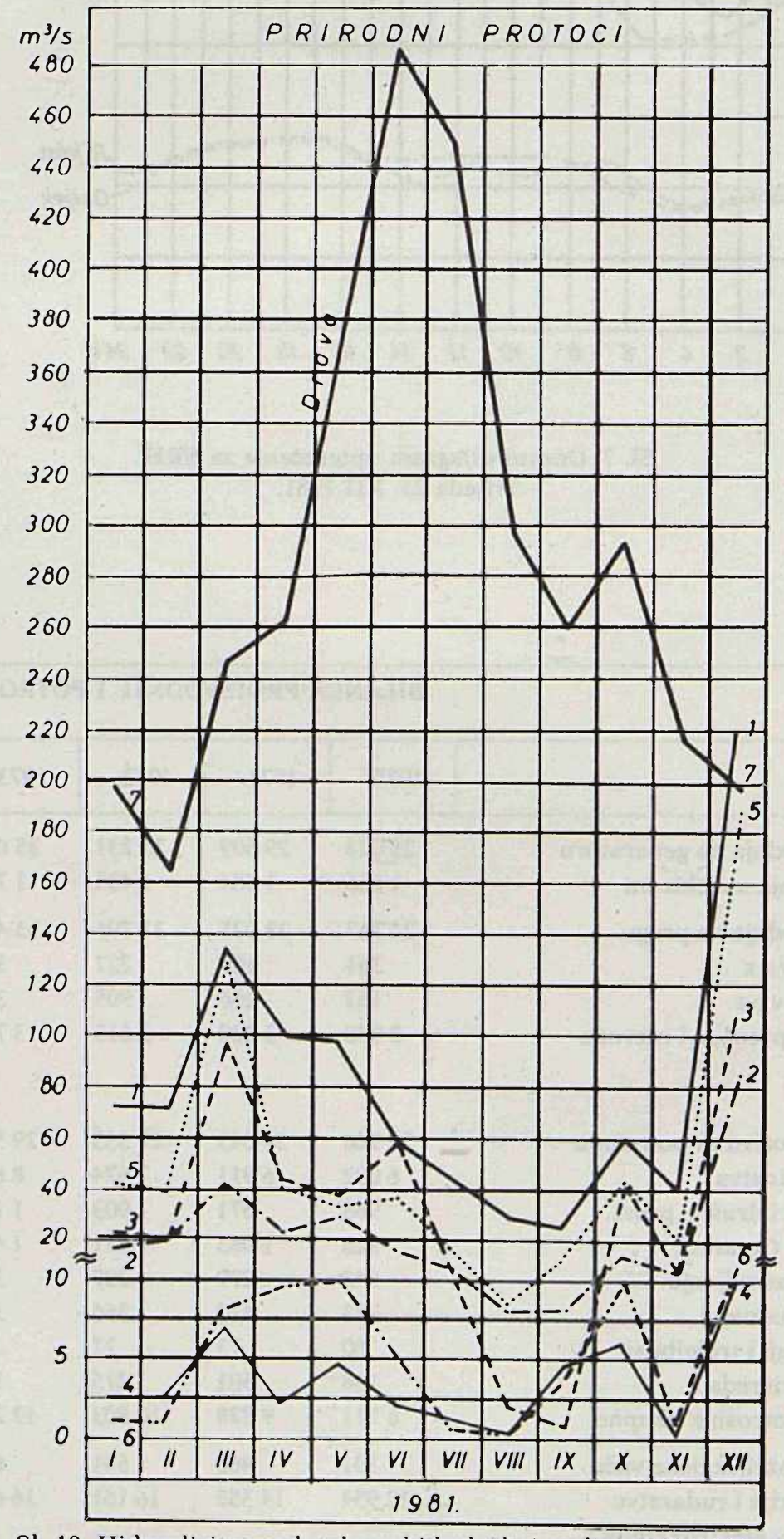
Tablica 20

SREDNJI MJESEČNI I GODIŠNJI PRIRODNI PROTOCI RIJEKA, U RAZDOBLJU 1979. — 1981.
m³/sek. [1]

Protoci rijeka	Godina	Prosjek Ukupno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cetina	1979.	105,5	156,5	195,8	131,9	145,0	86,8	58,6	69,4	37,5	33,2	36,6	160,4	153,7
	1980.	102,6	146,0	125,0	105,2	103,5	160,8	101,1	48,0	28,4	21,7	69,0	188,1	134,6
	1981.	77,9	70,1	68,4	131,9	98,0	95,3	57,8	40,7	28,4	26,5	57,6	41,0	219,4
Krka	1979.	31,7	43,2	61,6	42,1	56,6	28,9	18,1	22,3	9,9	8,3	8,2	42,3	38,8
	1980.	34,9	46,3	50,0	35,7	42,3	46,7	29,4	14,9	9,0	7,2	17,4	56,5	45,2
	1981.	24,4	20,9	18,4	43,7	24,6	29,8	17,0	12,4	8,0	8,8	13,8	11,3	84,8
Mrežnica	1979.	38,6	72,2	77,0	59,4	42,1	14,1	4,2	10,9	0,8	29,9	16,7	84,2	51,4
	1980.	43,6	35,1	65,0	26,5	45,7	85,2	20,8	24,3	4,0	7,3	77,3	86,3	46,0
	1981.	37,6	18,6	20,0	94,8	41,3	37,5	58,6	11,8	2,1	0,8	45,8	11,5	108,7
Ličanka	1979.	11,7	28,7	24,0	18,3	13,9	11,6	1,7	0,3	0,8	5,2	7,6	20,1	8,3
	1980.	3,6	4,2	5,0	2,4	3,1	3,2	2,9	1,4	0,4	0,5	8,1	8,1	3,7
	1981.	3,6	2,1	2,1	6,9	1,8	4,1	2,5	0,9	0,5	4,2	6,7	0,6	11,0
Lika, Gacka	1979.	4,6	13,1	7,1	9,9	4,9	1,7	0,6	0,2	0,8	2,3	2,0	6,3	6,0
	1980.	56,0	76,0	80,0	54,7	62,2	66,5	44,5	15,4	6,5	5,6	39,4	152,2	68,4
	1981.	50,6	40,8	39,8	126,0	38,4	33,3	35,1	17,8	8,1	14,9	43,3	20,0	189,4
Rječina	1979.	49,1	82,4	97,7	64,9	82,2	33,9	13,1	7,4	5,3	5,5	8,2	104,4	84,5
	1980.	7,2	4,6	,0	2,5	5,6	10,2	10,7	3,2	0,1	0,2	21,7	14,5	5,6
	1981.	5,5	1,4	0,9	7,8	9,3	9,4	5,1	0,3	0,2	3,9	10,9	1,8	14,6
Drava	1979.	384,0	224,0	252,8	311,2	339,02	617,3	701,6	564,9	375,5	286,7	289,6	394,5	290,6
	1980.	337,3	219,2	230,0	203,3	222,3	322,2	418,5	465,0	328,2	279,2	613,4	434,1	312,3
	1981.	286,3	195,7	165,0	247,2	261,8	380,5	487,3	442,1	293,3	261,1	286,9	220,5	194,4



Sl. 9. Kretanje akumulacija u SRH i SFRJ



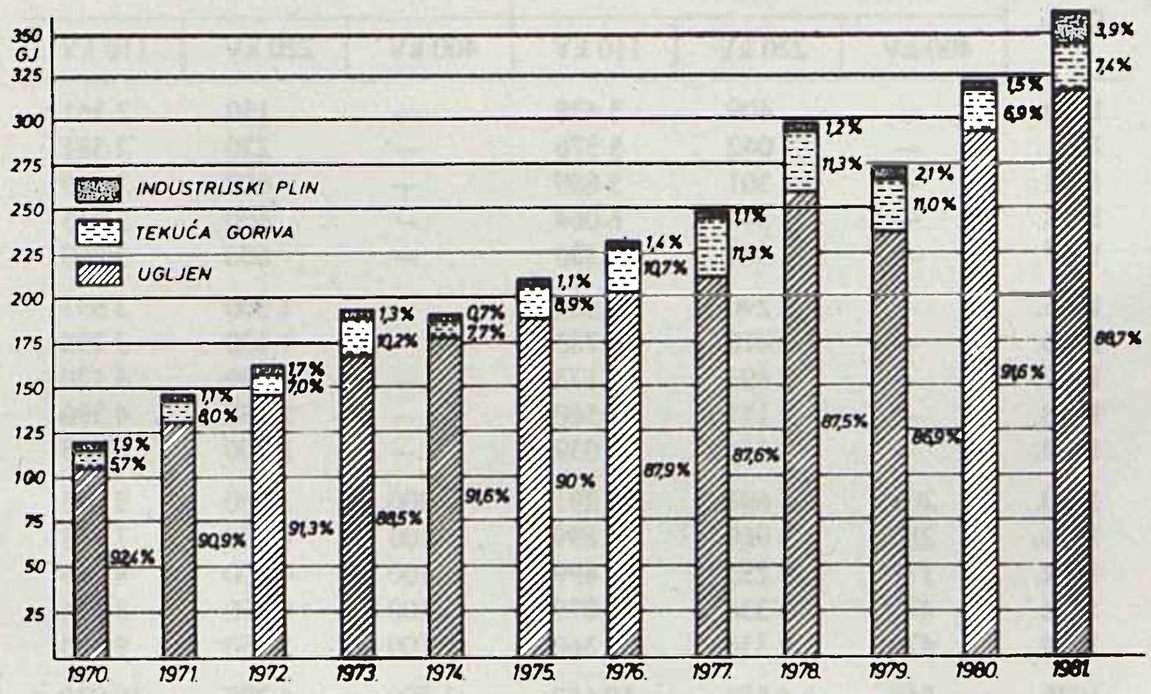
Sl. 10. Hidraulicitet vodotoka u hidrološkoj godini 1980/1981.: 1. Cetina, 2. Krka, 3. Dobra — Mrežnica, 4. Ličanka — Lokvarka — Križ, 5. Lika — Gacka, 6. Riječina, 7. Drava

POTROŠNJA GORIVA U TERMOELEKTRANAMA

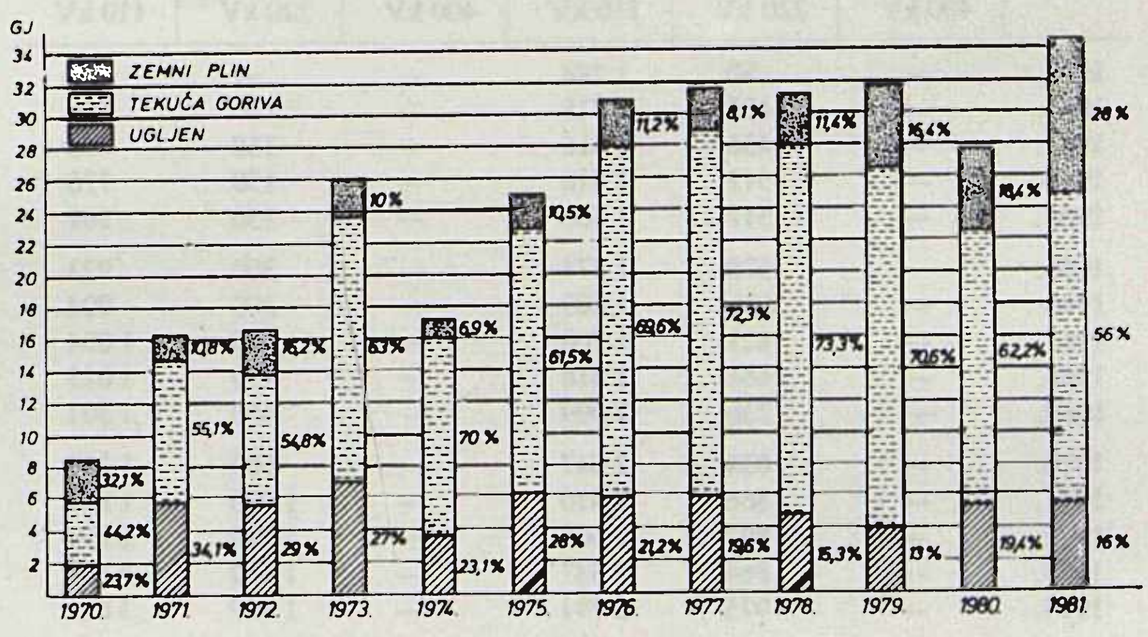
Tablica 21

POTROŠNJA GORIVA U UDRUŽENIM TERMOELEKTRANAMA JUGOSLAVIJE
[4]

	Kameni	Mrki	Lignit	Ukupno ugljen		Tekuća goriva		Industrijski plin		Ukupno energija	Spec. potr. prag
	tis t	tis t	tis t	tis t	TJ	tis t	TJ	mln Nm³	TJ	TJ	kJ/kWh
1965.	18,5	1649,6	6101,7	7769,7	70 217	84,4	2 050	74,3	687	72 955	15 827
1966.	11,7	1496,0	7573,6	9081,4	80 567	154,9	6 499	112,8	932	87 870	16 957
1967.	13,9	1692,5	7229,9	8936,3	82 996	148,7	6 035	76,9	1 391	86 235	15 534
1968.	51,1	1899,3	7690,7	9641,2	89 408	184,4	7 570	53,5	2 148	99 129	15 408
1969.	26,6	1821,5	7344,3	9192,5	82 242	102,8	4 234	35,8	970	87 448	14 278
1970.	192,2	2580,3	9048,5	11821,0	106 757	203,4	8 421	68,6	2 191	117 369	13 553
1971.	250,8	2781,3	11889,3	14921,6	134 160	284,0	11 655	49,6	1 811	147 626	13 712
1972.	197,5	254,6	13308,8	16046,1	147 593	274,0	11 311	66,1	2 681	160 187	13 578
1973.	311,4	3070,9	15559,2	18941,5	185 499	482,6	19 843	64,6	2 619	207 960	12 967
1974.	281,5	3040,0	15910,2	19231,6	174 168	394,2	14 748	62,1	2 491	191 407	12 578
1975.	284,7	3251,6	17333,4	20869,7	189 866	454,5	18 689	58,1	2 326	210 881	12 582
1976.	364,5	3388,2	19246,4	22999,2	210 409	636,1	25 750	85,7	3 469	239 629	12 783
1977.	344,0	3248,5	20119,2	23915,9	217 163	692,1	28 136	64,1	2 495	247 795	12 557
1978.	338,0	3222,7	22897,3	26458,0	230 850	769,7	31 087	90,1	3 436	265 378	12 657
1979.	370,2	4121,3	21211,1	25678,9	234 839	736,8	29 775	150,6	5 625	270 239	12 423
1980.	252,0	3979,0	28666,0	32897,0	294 348	552,6	22 324	141,1	4 836	321 508	12 430
1981.	300,0	3376,0	33830,0	37506,0	322 806	666,2	26 913	409,3	14 028	363 747	12 350



Sl. 11. Potrošnja topline za proizvodnju električne energije, udruženih termoelektrana Jugoslavije



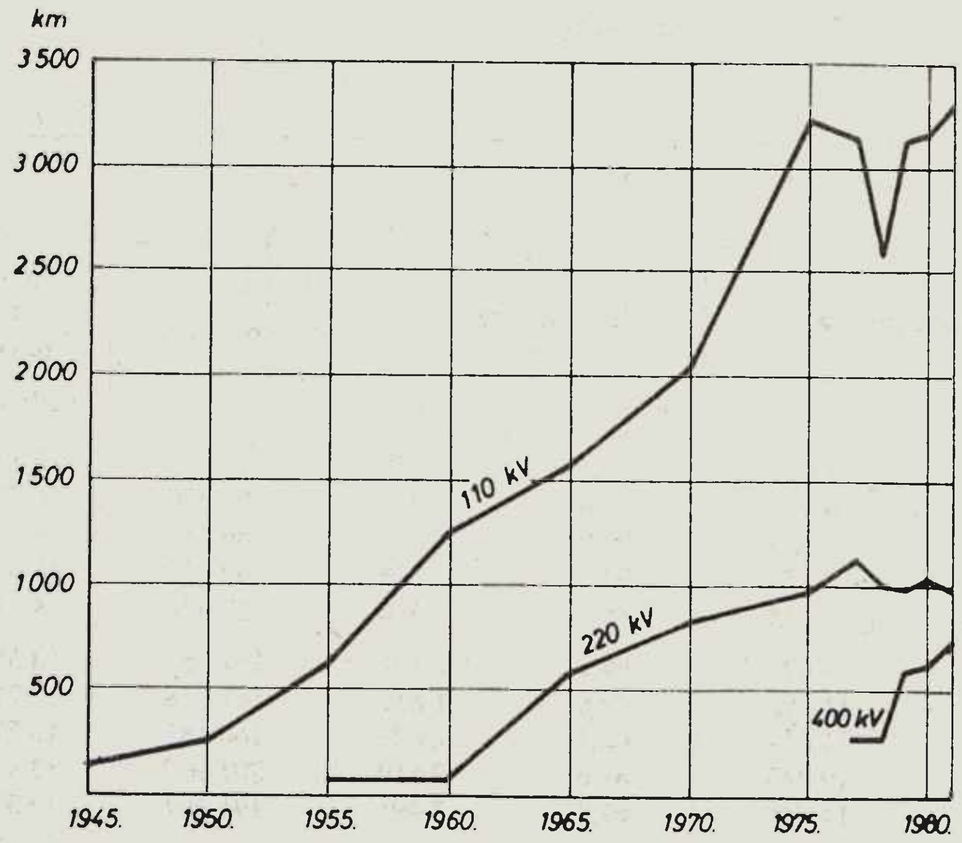
Sl. 12. Potrošnja topline za proizvodnju električne energije, udruženih termoelektrana SR Hrvatske

Tablica 22

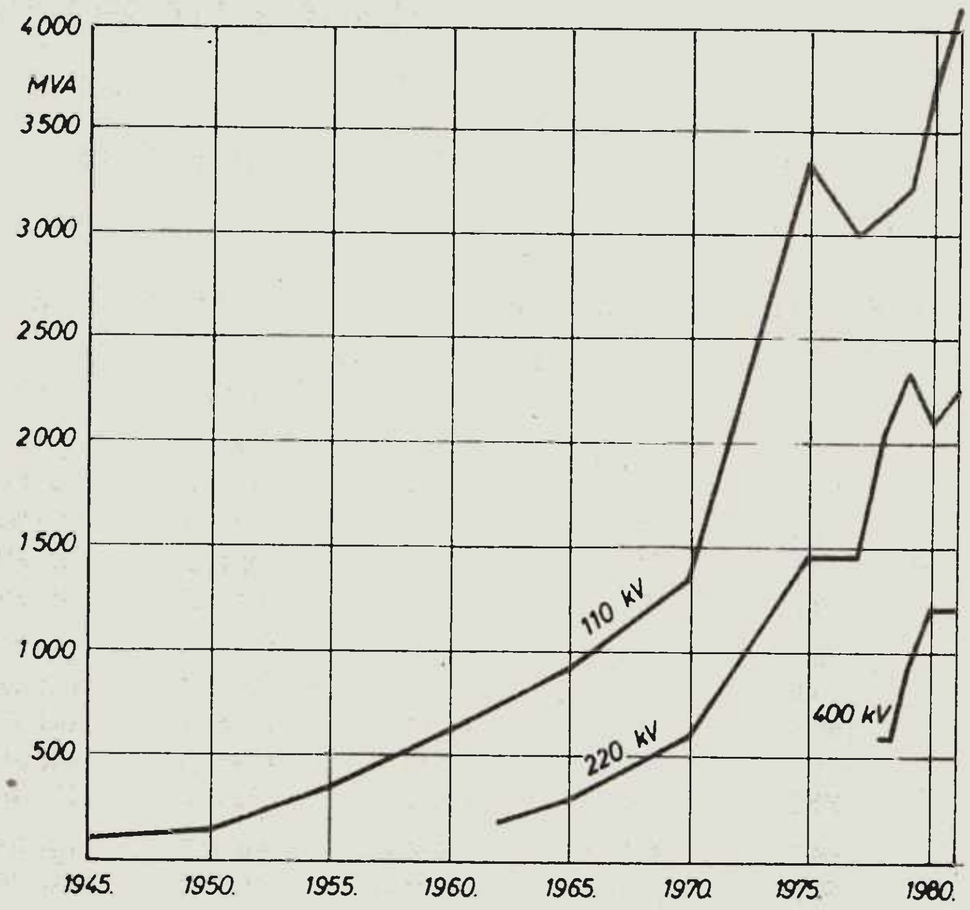
POTROŠNJA GORIVA U UDRUŽENIM TERMOELEKTRANAMA HRVATSKE
[2]

	Kameni	Mrki	Lignit	Ukupno ugljen		Tekuća goriva		Zemni plin		Ukupna energija	Spec. potr. prag
	tis t	tis t	tis t	tis t	TJ	tis t	TJ	mln Nm³	TJ	TJ	kJ/kWh
1965.	18,3	8,1	662,2	688,6	6 648	47,2	2 003	10,7	425	9 077	15 036
1966.	11,7	0,1	411,2	422,9	3 990	54,8	2 238	13,3	538	6 766	16 715
1967.	13,4	3,0	284,8	301,2	2 891	91,1	3 625	30,0	1 205	7 721	17 962
1968.	12,7	—	256,2	269,6	2 848	81,7	3 267	36,1	1 447	7 563	17 125
1969.	6,1	—	143,2	149,2	1 583	52,0	2 064	22,8	919	4 569	17 380
1970.	91,5	—	76,0	167,5	2 930	96,6	3 837	52,5	2 124	8 891	13 700
1971.	199,8	—	79,9	279,8	5 573	220,6	9 005	43,8	1 777	16 356	12 469
1972.	169,5	—	7,0	245,6	4 793	220,9	9 044	66,1	2 681	16 517	11 899
1973.	254,2	—	104,2	358,4	7 043	407,6	16 628	64,6	2 619	26 289	11 933
1974.	125,5	—	26,0	178,4	3 920	326,0	11 830	62,1	2 491	18 242	10 287
1975.	259,1	—	—	259,1	6 293	337,3	13 751	58,1	2 396	22 371	12 402
1976.	268,7	—	—	268,7	6 526	510,3	20 745	85,7	3 469	30 741	10 593
1977.	267,5	—	—	267,5	6 487	569,0	22 925	64,1	2 495	31 907	10 610
1978.	207,5	—	—	267,5	6 487	577,6	23 201	90,1	3 436	31 703	10 740
1979.	175,8	—	—	175,8	4 259	573,4	23 081	144,4	5 366	32 706	12 423
1980.	204,9	—	—	204,9	4 947	395,6	15 924	149,6	5 169	26 040	10 834
1981.	258,3	—	—	258,3	5 537	478,5	19 261	278,7	9 630	34 428	10 495

Napomena: Gorivo samo za proizvodnju električne energije



Sl. 13. Duljina električnih dalekovoda elektroprivrede Hrvatske



Sl. 14. Instalirana snaga transformatora u elektroprivredi Hrvatske

Tablica 23

RAZVOJ PRIJENOSNE MREŽE HRVATSKE

[1] [2]*

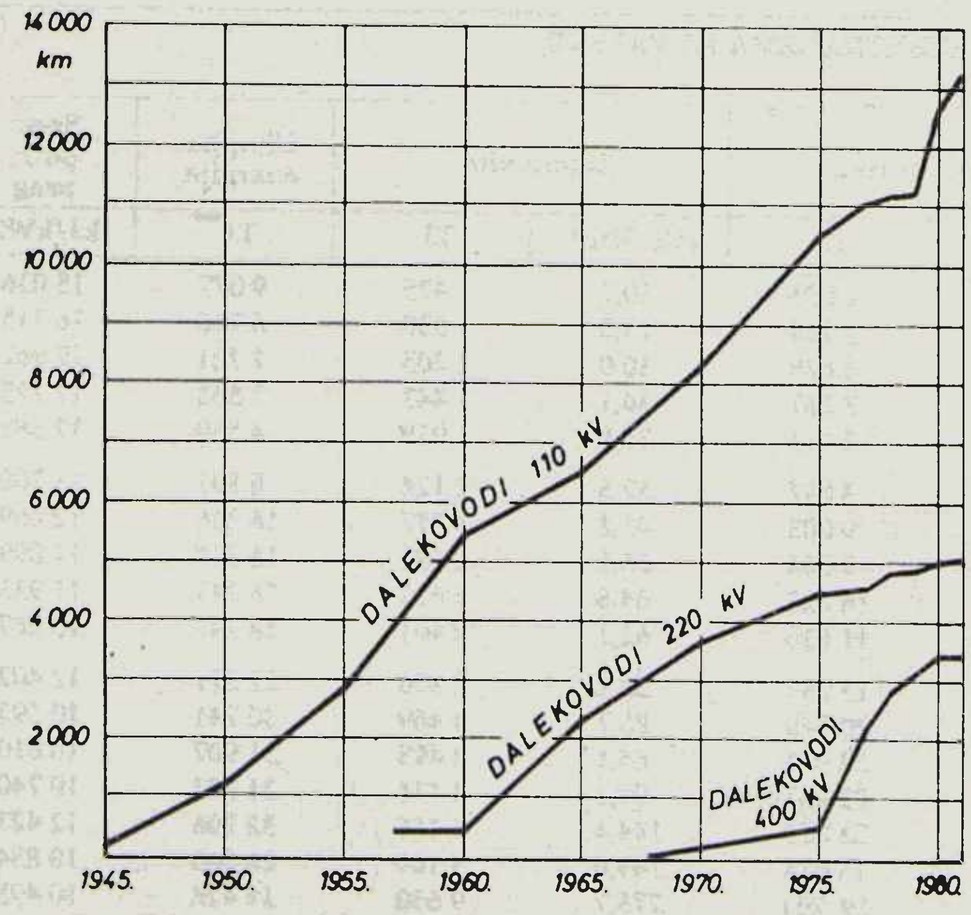
God.	Dalekovodi u km			Transformatorske stanice u MVA		
	400 kV	220 kV	110 kV	400 kV	220 kV	110 kV
1960.	—	50	1 248	—	—	630
1961.	—	403	1 315	—	—	660
1962.	—	436	1 416	—	150	770
1963.	—	512	1 416	—	150	770
1964.	—	512	1 508	—	150	861
1965.	—	578	1 574	—	300	923
1966.	—	621	1 603	—	300	904
1967.	—	621	1 708	—	450	1 004
1968.	—	661	1 818	—	450	1 013
1969.	—	736	2 009	—	450	1 301
1970.	—	834	2 047	—	600	1 387
1971.	—	866	2 410	—	1 000	1 847
1972.	—	892	2 607	—	1 150	2 272
1973.	—	864	2 587	—	1 450	2 604
1974.	—	975	2 791	—	1 699	3 031
1975.	—	1 065	3 223	—	1 699	3 368
1976.	—.	1 065	3 384	—	1 800	3 118
1977.	271	1 125	3 143	—	1 450	3 018
1978.	389	1 005	2 560	600	2 050	3 121
1979.*	612	996	3 049	900	2 350	3 217
1980.	612	1 019	3 152	1 200	2 100	3 672
1981.	732	1 967	3 309	1 200	2 250	4 119

Tablica 24

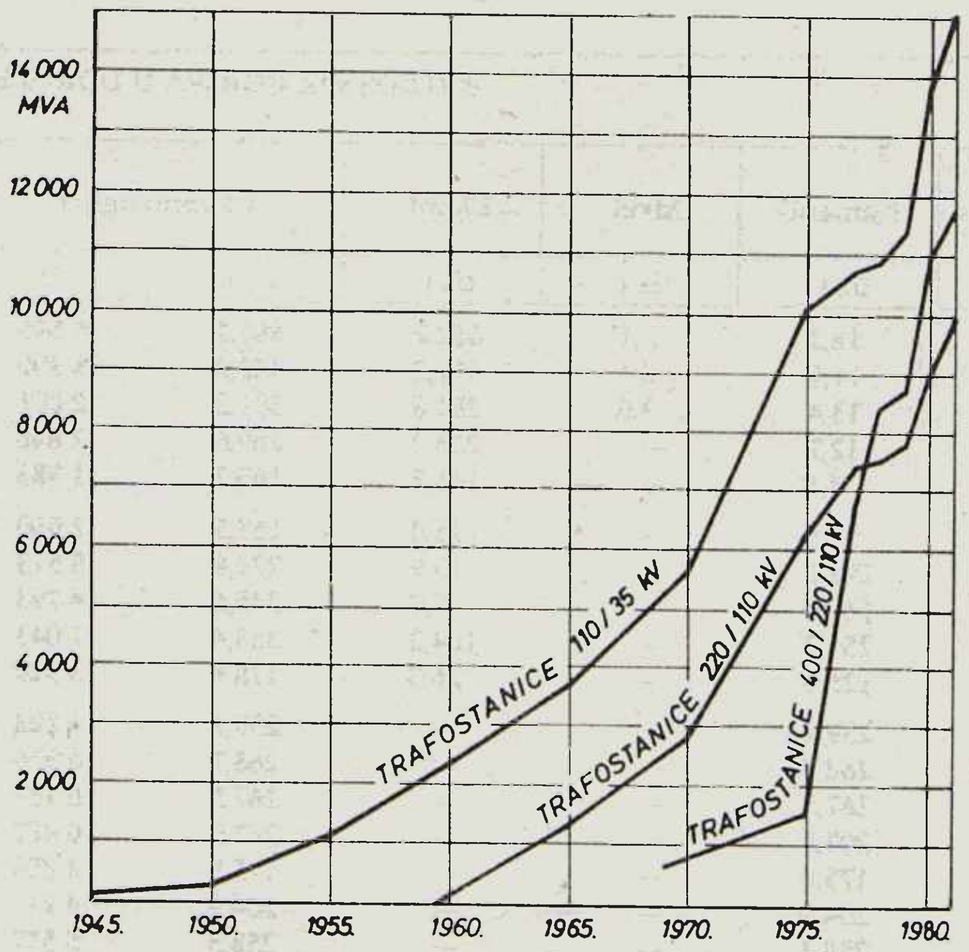
RAZVOJ PRIJENOSNE MREŽE JUGOSLAVIJE

[4]

God.	Dalekovodi u km			Transformatorske stanice u MVA		
	400 kV	220 kV	110 kV	400 kV	220 kV	110 kV
1960.	—	409	5 428	—	150	2 361
1961.	—	1 042	5 576	—	220	2 381
1962.	—	1 301	5 809	—	600	2 849
1963.	—	1 547	6 064	—	600	3 015
1964.	—	1 384	6 388	—	600	3 550
1965.	—	2 290	6 550	—	1 300	3 691
1966.	—	2 418	6 783	—	1 600	3 798
1967.	—	2 693	7 173	—	1 900	4 120
1968.	—	3 151	7 560	—	2 350	4 390
1969.	—	3 366	8 039	—	2 500	5 095
1970.	203	3 691	8 291	800	2 800	5 683
1971.	286	3 969	8 899	1 100	4 550	7 715
1972.	372	4 255	9 899	1 100	4 900	8 263
1973.	471	4 336	9 879	1 100	5 450	8 684
1974.	471	4 338	10 360	1 100	5 750	9 803
1975.	569	4 553	10 650	1 500	6 200	10 029
1976.	1 396	4 553	10 898	1 800	6 500	10 534
1977.	2 167	4 637	10 034	6 800	7 350	10 720
1978.	2 818	4 831	10 918	8 400	7 800	10 933
1979.	3 092	4 881	11 131	8 700	7 800	11 376
1980.	3 384	5 014	12 968	10 600	9 531	14 744
1981.	3 384	5 165	13 183	11 800	10 638	17 551



Sl. 15. Duljina električnih dalekovoda elektroprivrede Jugoslavije



Sl. 16. Instalirana snaga transformatora u elektroprivredi Jugoslavije

ELEKTRIFIKACIJA HRVATSKE

Tablica 25

STANJE ELEKTRIFICIRANOSTI NASELJA I DOMAĆINSTAVA U SR HRVATSKOJ NA DAN 31. XII 1981.

Područje Poduzeća	Površina km²	Naselja				Domaćinstva				
		Ukupno broj	Elektrificirano broj	Neelektrificirano broj	Elektrificiranost %	Ukupno broj	Elektrificirano broj	Neelektrificirano		Elektrificiranost %
								u elektrificiranim naseljima broj	u neeliktrificiranim naseljima broj	
Elektroslavonija Osijek	10.121	739	732	7	99	249.141	236.008	13.109	24	95
Elektrolika Gospić	5.563	252	246	6	98	30.363	29.684	520	159	98
Elektroistra Pula	2.826	657	657	—	100	66.856	66.842	7	7	100
Elektroprimorje Rijeka	4.369	657	636	21	97	118.875	117.770	676	429	99
Elektrodalmacija Split	12.367	971	957	14	98	250.915	249.380	1.015	520	99
Elektra Karlovac	4.224	811	804	7	99	66.651	66.614	138	99	99
Elektra Sisak	3.313	361	359	2	99	55.168	55.350	167	15	100
Elektra Zagreb	14.228	2.434	2.411	23	99	599.485	592.516	5.626	1.343	99
SR HRVATSKA	57.011	6.882	6.802	80	99	1.437.454	1.413.964	21.258	2.596	98

Napomena: Površina općina se razlikuje od stvarne površine, jer pojedina distributivna poduzeća napajaju i područja susjednih općina ili republika. Površina republike SR Hrvatske iznosi prema podacima Statističkog godišnjaka SFR Jugoslavije za 1977. god. (podatak 1971. god.) 56.538 km²

Tablica 26

POTROŠNJA U SR HRVATSKOJ PO DISTRIBUTIVNIM PODUZEĆIMA 1981.
[1]

Područje SRH	Elektroslavonija Osijek	Elektrolika Gospić	Elektroistra Pula	Elektroprimorje Rijeka	Elektrodalmacija Split	Elektra Karlovac	Elektra Sisak	Elektra Zagreb	Ukupno distribucija Hrvatske
Proizvodnja na pragu	—	—	—	9	42	25	—	—	76
Nabava od Udruž.	1381	90	610	957	1774	294	299	3373	8778
Nabava od industr.	1	—	—	—	2	0	—	—	3
Saldo dir. dobave	2	8	—	0	—	6	16	2	22
Raspoloživo BTTO	1384	98	610	966	1818	313	315	3375	8879
Gubici distribucije	140	17	28	67	165	36	36	344	833
Potrošnja po podr.	1244	81	582	899	1653	279	279	3031	8046
OSIJEK	1244	—	—	—	—	—	—	—	1244
RIJEKA	—	81	582	899	—	—	—	—	1562
SPLIT	—	—	—	—	1653	—	—	—	1653
ZAGREB	—	—	—	—	—	276	279	3031	3587

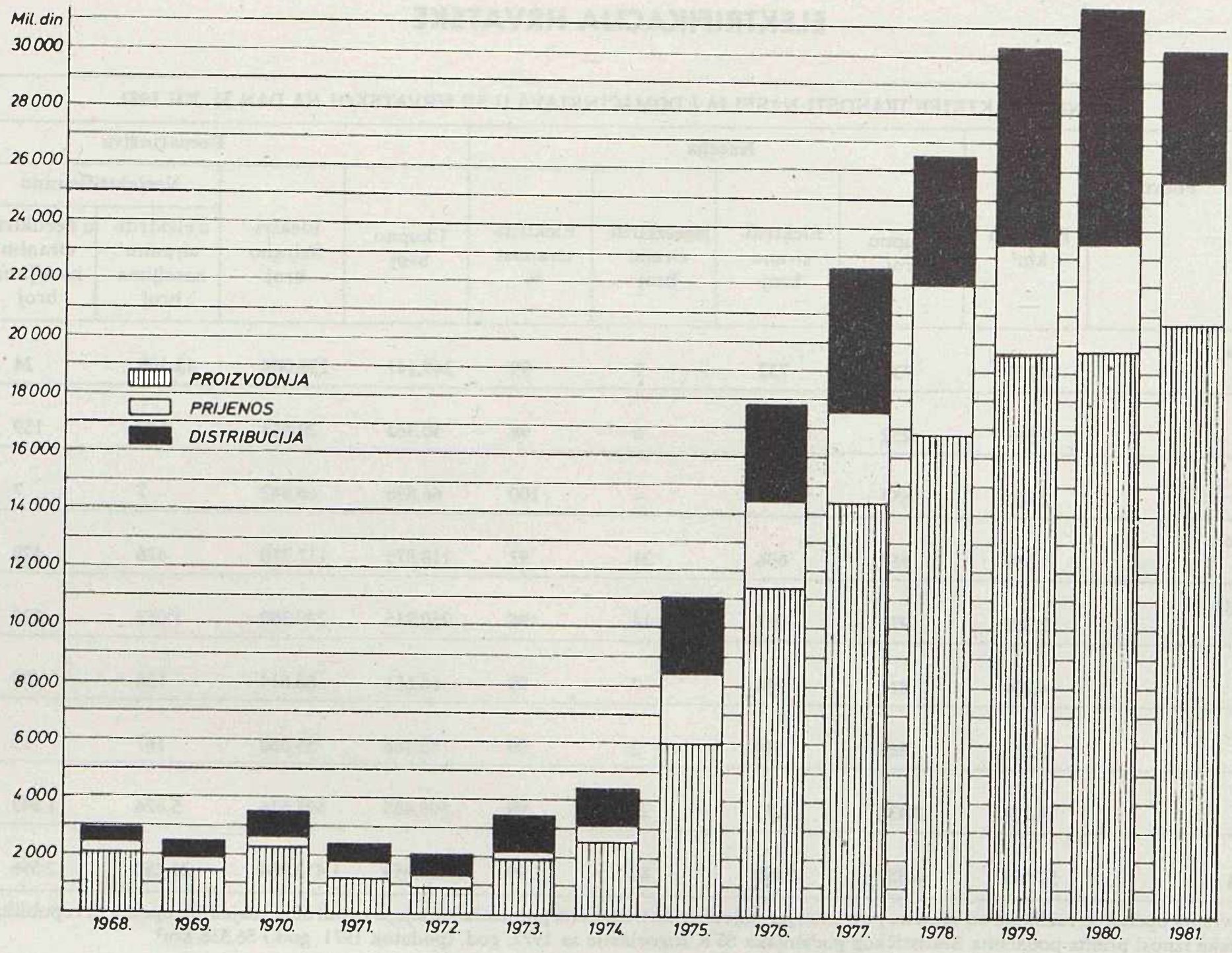
ZAPOSLENO OSOBLJE U ELEKTROPRIVREDI

Tablica 27

ZAPOSLENO OSOBLJE U UDRUŽENOJ ELEKTROPRIVREDI I DISTRIBUCIJI JUGOSLAVIJE
[4]

Osoblje	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.
Radnici	9 364	9 364	10 904	11 416	10 775	9 556	11 508	12 554	11 617	12 334	...	...
Tehničko osoblje	2 519	2 619	2 678	2 801	4 787	6 623	6 536	7 416	6 720	7 029	...	...
Ostalo stručno osoblje	1 961	2 011	1 990	2 032	—	—	—	—	—	—	...	...
Učenici u privredi	216	216	254	265	8	22	—	—	—	—	...	...
U k u p n o	14 060	14 210	15 826	16 514	15 562	16 201	10 044	19 970	18 337	19 363	...	...

[1] Prosječan broj radnika na bazi kalkuliranih radnih sati.



Sl. 17. Investiciona ulaganja u elektroprivredu Jugoslavije

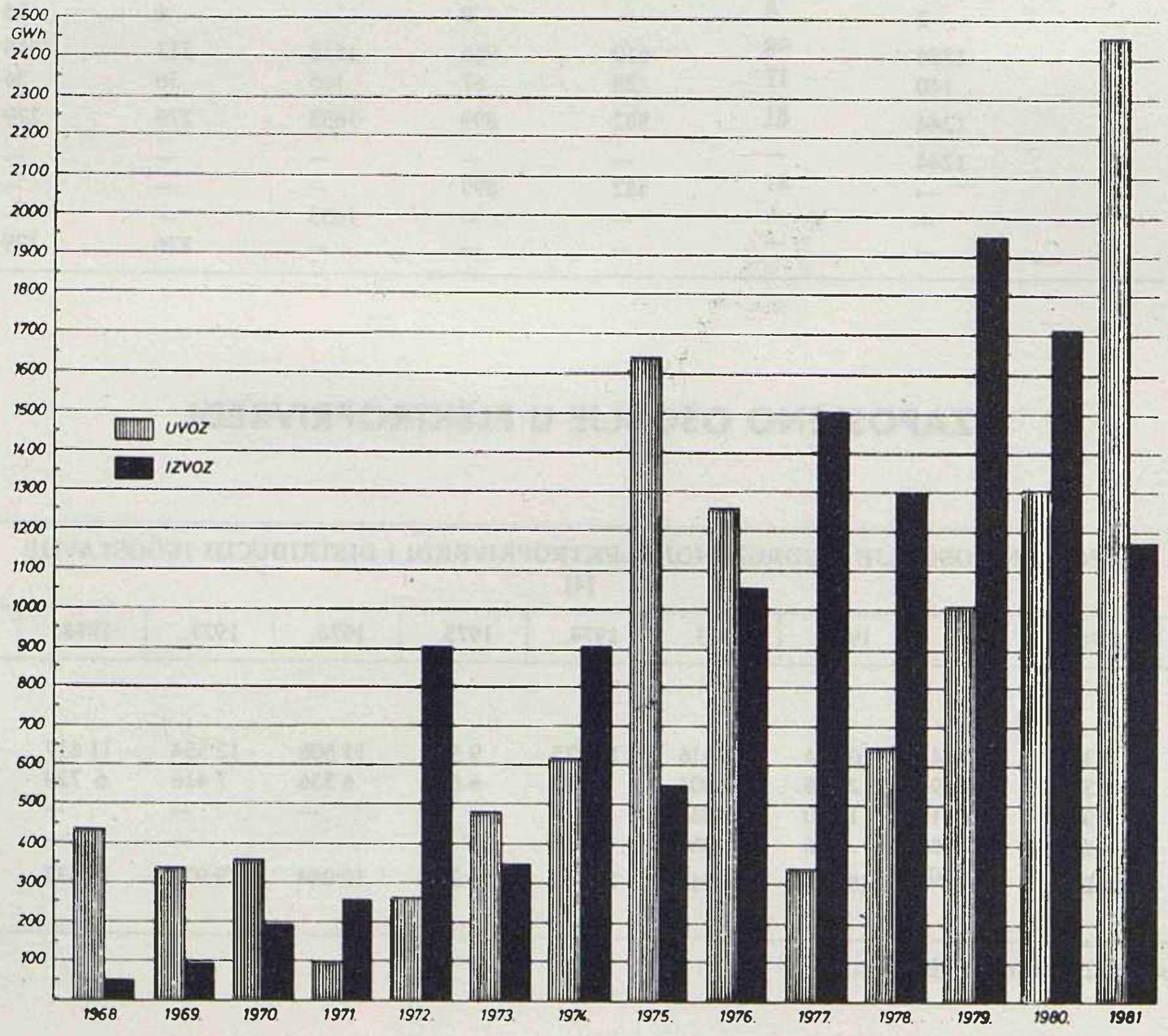
Tablica 28

ZAPOSLENO OSOBLJE U UDRUŽENOJ ELEKTROPRIVREDI, DISTRIBUCIJI I PODUZEĆIMA U IZGRADNJI SR HRVATSKE

[2]

Osoblje	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.
Radnici, svega	6 501	6 800	7 185	7 687	7 681	7 437	7 349	7 156	7 256	7 912	7 908	7 540
Tehničko osoblje, svega	1 082	1 159	1 374	1 052	1 032	1 130	1 296	1 453	1 589	1 709	1 840	3 094
Ostalo osoblje, svega	2 037	2 156	2 238	2 415	2 162	2 942	3 826	4 470	4 742	4 580	5 148	5 041
Pomoćno osoblje, svega	254	331	216	845	830	800	773	832	1 067	1 068	1 049	1 005
Učenici u privredi, svega	319	309	126	204	211	—	—	—	—	—	—	59
U k u p n o	10 193	10 755	11 139	12 203	11 906	2 309	13 244	13 911	16 654	15 262	15 945	16 739

Podaci za proizvodno-prenosne i distributivne organizacije prema SAS-PR obrascima za 1977. god.



Sl. 18. Razmjena električne energije sa susjednim zemljama

Tablica 29

SFRJ — RAZMJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE SA SUSJEDNIM ZEMLJAMA u GWh [4]

Godina	Italija	Austrija	Mađarska	Rumunjska	Bugarska	Grčka	Albanija	Ostali	UKUPNO
Uvoz									
1975.	605	305	152	37	170	97	276	—	1 642
1976.	583	225	89	67	132	67	150	—	1 270
1977.	224	65	3	18	5	25	—	—	340
1978.	368	62	8	6	17	11	62	108	642
1979.	200	113	71	25	1	22	630	26	1 088
1980.	59	90	116	16	—	19	997	7	1 304
1981.	326	192	59	95	34	72	1 640	38	2 457
Izvoz									549
1975.	110	—	—	418	2	19	—	—	1 064
1976.	320	221	6	447	57	13	—	—	1 505
1977.	360	201	—	840	82	22	—	—	
1978.	435	7	8	265	106	66	—	406	1 293
1979.	697	42	1	097	80	109	—	126	1 952
1980.	671	138	100	237	127	428	—	12	1 713
1981.	496	178	47	111	2	240	—	—	1 073

Tablica 30

IZVOZ I UVOZ ELEKTRIČNE ENERGIJE U NEKIM ZEMLJAMA EVROPE U 1980. GODINI
u GWh[4]

Zemlja uvoznica / Zemlja izvoznica	Austrija	Belgija	Bugarska	Čehoslovačka	Danska	Finska	Francuska	DR Njemačka	SR Njemačka	Grčka	Mađarska	Italija	Holandija	Norveška	Poljska	Rumunjska	Španjolska	Švedska	Švicarska	Vel. Britanija	SSSR	Jugoslavija	Ostale zemlje	Ukupan izvoz
Austrija	●			239					5167		252	711							41			268		7128
Belgija		●					5420		16				316										1064	6816
Bugarska			●													47					115	1	750	865
Čehoslovačka	1255			●				2950			549				321	127					178			5253
Danska					●				142					668				695						1505
Finska						●												1162						1162
Francuska		1098					●		1950			70					1792		4466	22				9398
DR Njemačka				352				●	61						2335								108	2687
SR Njemačka	1050	1281			114		4020		●				195						2776				1971	11372
Grčka										●												38		38
Mađarska	369			2277							●					15					24	116		2801
Italija	22						70					●							1203			200		1295
Holandija		3906							818				●											4724
Norveška					726									●				1502						2228
Poljska				3117				1201							●						5			4323
Rumunjska											955					●						32		987
Španjolska							1430										●						2342	3772
Švedska					1174									1321				●						2445
Švicarska	188						4400		8563			5211							●			26		18402
Vel. Britanija							20													●				20
SSSR			4588	1239		1715					8325			49	1505	54					●		302	17421
Jugoslavija	280		110							503	100	697				244						●		1237
Ostale zemlje						670	20	70	151	96					113	213						392	●	1034
Ukupan uvoz	3164	6285	4698	7224	1979	2385	15400	4151	17298	654	10181	5992	511	2038	4161	472	2306	3359	8486	22	322	454	6127	107669

Tablica 31

BILANCA PROIZVODNJE I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U NEKIM ZEMLJAMA EVROPE I SAD
u GWh

Zemlja	Godina	Neto proizvodnja	Saldo razmjene		Ukupno raspoloživa energija za potrošnju	Od toga			Potrošnja			Spec. potrošnja kWh
			uvoz	izvoz		utrošeno za pumpanje vode	gubici prenosa i distrib.	ukupna potrošnja	industrija	promet	ostalo	stanov.
Austrija	1975.	34 137	2 420	6 962	29 595	388	2 360	26 847	11 895	1 745	13 207	3 570
	1979.	39 505	2 854	6 689	35 670	...	...	...	...	...	...	...
	1980.	40 784	3 164	7 136	36 812	522	2 628	33 662	14 171	2 277	17 214	4 482
Belgija	1975.	39 020	4 215	5 067	38 168	335	2 194	35 619	20 331	928	14 460	3 638
	1979.	49 648	6 736	7 965	48 420	467	2 702	45 250	25 144	950	19 186	4 593
	1980.	51 015	6 285	8 920	47 647	—	2 714	44 933	24 062	965	19 906	4 562
Bugarska	1975.	22 266	3 902	279	25 889	—	2 387	23 502	14 305	806	8 391	2 695
	1979.	28 254	4 406	652	36 249	—	2 282	33 421	17 160	1 081	15 180	3 724
	1980.		4 698	866	38 667		3 454	35 213	17 502	1 111	16 600	3 934
Čehoslovačka	1975.	52 969	5 419	1 208	57 181	287	4 388	52 506	31 717	3 000	17 789	3 557
	1979.	61 175	7 208	3 844	64 539	707	5 019	58 813	34 828	3 303	20 682	3 856
	1980.	65 551	7 228	5 388	67 391	661	5 288	61 442	36 070	3 374	21 998	4 013
Francuska	1975.	178 400	8 800	6 200	181 000	300	12 000	168 700	85 350	7 299	76 051	3 188
	1979.	230 700	16 200	10 400	236 500	1 000	17 000	218 800	116 000	7 400	95 100	4 085
	1980.	245 700	15 400	12 200	249 000	1 000	17 200	230 834	116 150	7 700	106 950	4 316
Madarska	1975.	18 680	5 802	1 678	22 804	—	1 970	20 834	11 275	1 184	8 375	1 977
	1979.	22 527	8 286	2 160	28 653	—	2 305	26 348	13 361	1 358	11 629	2 462
	1980.	21 911	10 181	2 795	29 297	—	2 699	26 548	13 572	1 384	11 642	2 483
Grčka	1975.	15 151	108	97	15 162	—	1 148	14 010	7 897	46	6 067	1 561
	1979.	20 739	201	23	20 917	—	1 468	19 449	...	145	...	2 060
	1980.	21 288	654	38	21 904	—	1 626	20 278	...	149	...	2 148
Italija	1975.	140 785	5 080	2 540	143 361	2 220	12 000	129 132	76 450	3 850	48 832	2 512
	1979.	173 287	7 560	2 167	178 670	3 241	15 397	160 012	96 654	5 406	58 952	...
	1980.			...	...							
Holandija	1975.	51 924	53	312	51 665		2 421	49 244	23 159	...	...	3 608
	1979.	61 685	398	257	61 826	...	2 794	59 033	29 435	...	29 597	4 207
	1980.	61 970	511	818	61 663	...	2 809	58 853	28 006	978	29 869	4 165
						...						
Norveška	1975.	76 927	99	5 695	71 103	...	6 449	64 694	39 498	532	24 664	...
	1979.	88 258	846	5 487	84 369	390	8 794	75 185	40 436	662	34 545	18 472
	1980.	83 989	2 038	2 491	83 536	495	...	...	...	...	...	...
Poljska	1975.	90 361	2 411	2 924	89 848	550	8 586	80 712	47 569	4 037	29 106	2 372
	1979.	109 227	4 601	5 050	108 778	890	10 971	96 917	55 581	4 707	36 629	2 750
	1980.	113 372	4 161	4 396	113 137	1 246	12 202	99 689	55 123	4 950	39 616	2 802
Rumunjska	1975.	50 214.	502	3 007	48 019	—	4 059	43 723	32 161	1 206	10 356	2 058
	1979.	60 664	1 211	1 959	60 057	—	3 924	56 121	...	1 766	...	2 542
	1980.	63 029	472	49	63 552		4 025	58 952	...	2 107	...	...
Španjolska	1975.	78 399	792	1 405	77 786	540	8 160	69 141	44 741	1 549	22 851	...
	1979.	101 256	2 010	3 500	99 766	1 567	10 234	87 965	52 645	1 615	33 705	2 366
	1980.	105 212	2 306	3 ‘98	103 830	1 850	9 965	92 006	63 944	1 912	36 150	2 458
Švedska	1975.	78 584	6 313	5 369	79 528	22	7 524	71 981	38 718	2 040	31 223	8 778
	1979.	92 434	5 432	4 086	93 780	138	8 416	85 364	41 296	2 256	41 796	10 927
	1980.	94 111	3 359	2 834	94 636	541	8 212	85 883	41 038	2 262	42 583	10 322
SSSR	1975.	...	11 300	—	1 027 324	...	82 200	945 100	656 800	74 200	214 100	3 718
	1979.	...	15 200	...	...	...	101 000	...	...	...	...	4 719
	1980.		19 000									4 896
V. Britanija	1975.	254 097	196	121	254 172	1 430	19 595	233 147	85 160	2 897	145 090	4 166
	1979.	280 281	1	3	280 279	1 424	22 963	255 892	96 466	2 966	156 460	4 579
	1980.	266 312	22	19	266 315	1 453	21 534	243 328	87 300	3 040	...	4 354
SAD	1975.	2 000 918	11 268	5 083	1 007 103	...	176 092	1 798 343	...	...	...	...
	1979	2 318 783	20 971	2 793	2 336 696	...	...	...	...	...	...	...
	1980.											...
DR Njemačka	1975.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	1979.	86 409	3 963	2 679	87 693	1 589	6 504	79 600	38 672	1 776	39 152	4 755
	1980.	...	...	...	...							4 076
SR Njemačka	1975.	282 598	17 630	9 791	33 267	—	3 753	29 517	131 716	8 857	133 247	4 429
	1979.	350 449	15 631	15 002	351 078	2 160	13 335	335 583	161 495	10 501	163 585	5 470
	1980.											...
Jugoslavija	1975.	38 143	676	433	38 386	—	4 445	33 961	18 235	761	14 965	1 591
	1979.	52 352	813	1 675	51 490	—	5 233	46 207	25 566	860	19 781	2 085
	1980.	56 278	1 713	1 304	56 687	70	4 858	51 759	29 478	894	21 387	...

PROIZVODNJA I POTROŠNJA UKUPNE ENERGIJE

Tablica 32

PROIZVODNJA UGLJENA, NAFTE I PLINA U SFRJ
u tis. tona i mln* m³ [5]

Godina	Kameni ugljen	Mrki ugljen	Lignit	Ugljen ukupno	Koks ukupno	Zemni* plin	Sirova nafta	Benzin ukupno	Petrolej ukupno	Plinsko ulje	Loživo ulje	Ukapljeni plin ukupno	Derivati ukupno
1970.	643	8 989	18 790	28 422	1 309	977	2 854	1 233	163	2 092	2 509	120	7 091
1971.	707	9 333	20 862	30 902	1 197	1 151	2 961	1 472	215	2 665	2 930	133	8 586
1972.	599	9 184	21 157	30 940	1 299	1 242	3 200	1 394	211	2 495	2 989	234	8 391
1973.	576	9 145	22 729	32 451	1 318	1 329	3 332	1 528	251	2 558	3 480	238	9 056
1974.	601	9 380	24 444	33 582	1 315	1 447	3 458	1 627	315	2 725	4 317	256	10 428
1975.	598	9 430	25 509	35 537	1 351	1 554	3 692	1 745	331	2 817	4 276	279	10 859
1976.	587	9 110	27 147	36 845	1 786	1 730	3 880	1 923	325	2 969	4 800	295	11 723
1977.	511	8 960	29 611	39 082	1 765	1 897	3 951	2 231	345	3 450	5 818	319	13 847
1978.	471	8 855	30 360	39 686	1 921	1 935	4 076	2 380	315	3 471	6 119	310	14 220
1979.	434	9 351	33 165	42 950	2 070	1 857	4 143	2 609	350	3 916	6 489	250	15 863
1980.	388	9 665	36 949	47 002	3 228	1 913	4 229	2 580	355	3 323	4 980	295	14 156
1981.	384	10 581	40 958	51 924	2 694	2 247	4 375	2 367	344	3 073	4 108	307	14 986

Tablica 33

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE I GORIVA U JUGOSLAVENSKOJ INDUSTRIJI
[5]

Godina	Elektro-energija	Antracit	Koks	Kameni ugljen	Mrki ugljen	Lignit	Tekuće gorivo	Mazut	Zemni plin	Ukapljeni plin
	GWh	u tisućama tona							mln m³	u tis. t
1971.	15 287	132	1 454	2 200	6 496	15 253	678	2 237	1 039	...
1972.	17 002	161	1 681	2 130	6 346	16 661	646	2 549	1 111	121
1973.	18 184	179	1 718	2 253	6 935	18 711	845	3 038	1 199	123
1974.	20 509	179	1 858	2 152	6 726	19 244	825	3 227	1 300	126
1975.	21 466	176	1 793	2 224	6 697	21 240	906	3 444	1 500	139
1976.	22 381	155	1 692	2 819	7 129	22 390	867	3 766	1 454	150
1977.	23 493	102	430	189	2 429	1 680	522	3 414	1 563	218
1978.	25 536	177	328	380	6 314	26 454	668	4 493	1 750	221
1979.	26 576	80	225	498	6 593	27 659	799	4 550	1 669	190
1980.	28 680	93	250	413	6 873	31 666	725	4 454	2 119	353
1981.	30 722	90	298	445	7 784	36 309	810	4 379	3 004	176
Ukupno	30 722	89,5	298	445	7 784	36 309	810	4 376	3 004	176
Elektroprivreda	4 143	—	—	305	6 525	35 123	217	1 155	802	0,0
Proizvodnja uglja	723	—	—	0,4	43,0	41,9	21,5	0,3	—	—
Prerada uglja	149	—	—	—	—	181	—	—	—	—
Proizvodnja nafte i plina	50,0	—	—	—	—	—	7,4	—	247	—
Proizvodnja derivata nafte	350	—	22,1	—	—	—	72,9	198	57,1	1,2
Proizvodnja rude gvožđa	52,6	—	—	—	2,0	0,1	8,2	11,5	—	—
Crna metalurgija	4 902	21,9	57,7	41,5	21,4	132	7,4	403	228	3,5
Proizvodnja ruda obojenih metala	808	—	0,0	—	0,1	2,7	27,8	1,6	—	0,0
Proizvodnja obojenih metala	4 275	13,4	100	7,4	322	22,2	12,1	154	241	4,0
Prerada obojenih metala	429	—	—	—	—	0,2	3,6	13,3	0,4	1,7
Proizvodnja nemetala	184	—	0,2	0,1	2,1	1,7	16,4	10,1	1,8	1,2
Prerada nemetala	606	—	25,5	1,5	20,5	49,5	57,7	139	179	97,7
Metalopreradivačka djelatnost	1 485	1,6	24,0	1,7	15,1	32,3	45,6	46,1	57,2	20,6
Strojogradnja	347	—	0,5	3,2	6,0	21,0	13 6	10,5	7,8	1,6
Proizvodnja saobraćajnih sredstava	448	—	1,0	0,8	8,3	10,5	13,0	31,8	8,2	1,8
Brodogradnja	89,4	—	0,2	—	0,4	0,4	3,6	1,3	0,0	0,1
Proizvodnja električnih mašina i aparata	597	—	0,7	1,3	5,4	4,6	11,9	27,8	6,9	4,4
Proizvodnja kemijskih proizvoda	2 507	0,2	1,6	0,3	113	32,3	12,5	185	377	4,7
Prerada kemijskih proizvoda	669	—	0,2	0,0	9,1	5,4	20,2	46,1	35,4	0,8
Proizvodnja kamena i pijeska	212	—	—	—	2,7	24,8	25 9	8,6	0,1	0,1
Proizvodnja građevinskog materijala	1 660	52,4	28,4	59,9	182	211	37,7	881	490	17,9
Proizvodnja rezane građe i ploča	480	—	—	—	33,8	25,1	6,7	56,1	11,1	—
Proizvodnja finalnih proizvoda od drveta	516	—	0,1	0,1	15,5	9,2	10,5	28,6	3,1	0,4
Proizvodnja i prerada papira	1 504	—	—	—	64,6	43,1	4,6	111	102	—
Proizvodnja tekstilnih prediva i tkanina	1 114	—	—	1,7	149	81,3	8,9	140	25,4	0,7
Proizvodnja gotovih tekstilnih proizvoda	376	—	—	2,8	21,4	18,1	18,1	74,2	16,6	0,2
Proizvodnja kože i krzna	74	—	—	0,9	27,3	20,5	0,5	35,2	2,4	—
Proizvodnja kožne obuće i galanterije	86,8	—	—	0,3	1,5	3,7	2,0	5,2	0,8	0,0
Prerada kaučuka	248	—	—	—	12,5	5,2	1,4	53,4	15,3	—
Proizvodnja prehrambenih proizvoda	1 133	—	34,9	9,7	157	204	89,4	415	62,2	12,9
Proizvodnja pića	209	—	0,6	6,4	11,9	4,9	13,7	114	17,3	0,1
Proizvodnja stočne hrane	81,7	—	—	—	4,8	—	7,3	1,0	3,6	—
Proizvodnja i prerada duhana	56,9	—	—	0,2	1,8	1,3	4,1	11,7	2,8	—
Grafička djelatnost	131	—	—	0,2	3,8	3,8	2,5	5,9	1,8	0,3
Proizvodnja raznovrsnih proizvoda	24,7	—	—	—	0,9	0,1	2,9	1,1	0,4	—

PROIZVODNJA I POTROŠNJA UKUPNE ENERGIJE

[3] Tablica 34.

PROIZVODNJA UGLJENA, KOKSA, NAFTE I PLINA U SR HRVATSKOJ u tis. tona i mln* m³ [3]

Godina	Kameni ugljen	Mrki ugljen	Lignit	Ugljen ukupno	Koks	Zemni* plin	Sirova nafta	Benzin ukupno	Petrolej ukupno	Plinsko ulje	Loživo ulje	Ukapljeni plin ukupno	Derivati ukupno
1970.	363	81	274	718	—	476	2 057	826	122	1 327	1 093	93	4 026
1971.	422	21	197	640	—	547	2 142	991	158	1 617	1 513	123	5 055
1972.	382	19	176	577	—	569	2 362	914	145	1 543	1 590	135	4 923
1973.	385	3	137	524	—	612	2 423	1 023	164	1 681	1 890	140	5 442
1974.	374	0	85	460	—	674	2 470	1 087	211	1 698	2 399	162	6 248
1975.	355	—	59	414	—	751	2 670	1 119	208	1 918	2 248	179	6 498
1976.	356	—	8	364	—	911	2 814	1 222	221	2 035	2 502	193	7 041
1977.	299	—	—	299	—	1 009	2 829	1 405	231	2 234	3 140	207	8 398
1978.	288	—	—	288	259	943	2 931	1 480	202	2 294	3 328	205	8 760
1979.	265	—	—	265	700	806	2 972	1 514	247	2 484	3 406	186	9 058
1980.	242	—	—	242	830	983	3 056	1 350	218	2 464	2 802	145	8 589
1981.	258	—	—	258	866	1 169	3 141	1 248	206	2 330	2 386	214	7 560

Tablica 35

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE I GORIVA U INDUSTRIJSKIM PODUZEĆIMA I POGONIMA SR HRVATSKE
[3]

Godina	Elektro-energija	Antracit	Koks	Kameni ugljen	Mrki ugljen	Lignit	Tekuće gorivo	Mazut	Ukapljeni plin	Zemni plin
	GWh	u tisućama tona							tis. tona	mln m³
1970.	2 661	81	194	157	669	396	246	634	443	10,3
1971.	2 846	74	195	255	666	371	270	783	492	12,9
1972.	3 068	66	195	218	609	328	303	844	521	13,9
1973.	3 148	65	210	302	601	324	422	1 058	531	16,5
1974.	4 114	65	252	202	581	197	440	1 014	589	16,9
1975.	4 681	55	225	302	548	152	332*	1 078	632	17,5*
1976.[2]	4 708	49	234	323*	490	130	314	1 234	724	20,0*
1977.[2]	4 968	44	251	313	404	90	87	1 676	850	39,5
1978.	5 309	39	262	607	378	92	102	1 710	961	45,0
1979.	5 444	25	241	1 101	344	81	249	1 605	838	40
1980.	5 846	24	253	1 294	369	71	182	1 583	1 077	30
1981.	6 019	26	284	1 407	408	77	121	1 583	743	1 363[2]
Elektroprivreda	472	—	—	258	202	—	1	808	156	429
Proizvodnja ugljena	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Prerada ugljena	23	—	—	1 109	—	—	—	—	146	—
Proizvodnja nafte i zemnog plina	39	—	—	—	—	—	7	—	—	240
Proizvodnja derivata nafte	209	—	22	—	—	—	—	161	217	6
Crna metalurgija	532	—	214	—	15	—	4	52	172	40
Proizvodnja ruda obojenih metala	1	—	—	—	—	—	1	—	—	—
Proizvodnja obojenih metala	1 412	—	—	—	—	—	—	3	1	—
Prerada obojenih metala	73	—	—	—	—	—	—	—	1	—
Proizvodnja nemetalnih minerala	7	—	—	—	—	—	1	2	—	1
Prerada nemetalnih minerala	138	—	—	—	—	9	11	14	20	61
Metalopreradivačka djelatnost	223	—	41	—	2	4	12	3	6	16
Strojogradnja	78	—	—	—	1	1	3	2	2	2
Proizvodnja prometnih sredstava	21	—	—	—	—	—	1	1	—	2
Brodogradnja	75	—	—	—	—	—	2	1	1	—
Proizvodnja električnih strojeva i aparata	87	—	—	—	1	3	3	2	2	4
Proizvodnja kemijskih proizvoda	593	—	—	—	—	1	—	60	2	296
Prerada kemijskih proizvoda	132	—	—	—	1	1	7	4	—	20
Proizvodnja kamena, pijeska i šljunka	48	—	—	—	1	1	12	1	—	—
Proizvodnja građevnog materijala	555	26	—	38	37	7	6	319	—	169
Proizvodnja rezane građe i ploča	73	—	—	—	1	—	1	—	2	5
Proizvodnja finalnih proizvoda od drveta	124	—	—	—	—	4	4	5	—	2
Proizvodnja i prerada papira	241	—	—	—	64	—	—	7	—	7
Proizvodnja prediva i tkanina	252	—	—	—	7	—	2	20	—	13
Proizvodnja gotovih tekstilnih proizvoda	75	—	—	—	4	1	4	14	1	6
Proizvodnja kože i krzna	12	—	—	1	2	—	—	3	—	2
Proizvodnja kožne obuće i galanterije	27	—	—	—	—	—	—	1	—	1
Prerada kaučuka	52	—	—	—	—	—	—	4	—	—
Proizvodnja prehrambenih proizvoda	288	—	7	1	69	45	27	79	14	24
Proizvodnja pića	49	—	—	—	—	—	7	17	—	11
Proizvodnja stočne hrane	22	—	—	—	—	—	2	—	—	1
Proizvodnja i prerada duhana	11	—	—	—	—	—	—	—	—	3
Grafička djelatnost	30	—	—	—	1	—	1	—	—	1
Proizvodnja raznovrsnih proizvoda	5	—	—	—	—	—	2	—	—	1

[1] Uključene su i količine goriva koje su korištene za tehnološke svrhe.
[2] Uključene bivše neindustrijske organizacije i zajednice koje su prema Jedinstvenoj klasifikaciji djelatnosti prešle u područje industrije i rudarstva.
[3] U 1981. god. u toj grupi pored potrošnje tekućih plinova prikazana je potrošnja i ostalih plinova.
[4] Isključena potrošnja zemnog plina u degazolinaži.

Tablica 36

PROIZVODNJA I POTROŠNJA UKUPNE ENERGIJE

Količine u 10^6 tona uvjetnog ugljena i u kg po jednom stanovniku

Zemlja	Godina	Proizvodnja					Potrošnja					
		ukupna energija	ugljen	sirova nafta	prirodni plin	hidro i nuklearna el. energija	ukupno	čvrsta goriva	tekuća goriva	prirodni plin	hidro i nuklearna el. energ.	po 1 stanovniku
Austrija	1973	11,1	1,8	3,7	3,1	3,6	29,2	5,8	16,0	5,3	2,2	3 880
	1979	10,4	1,2	2,5	3,2	3,5	32,1	5,2	17,0	6,9	3,0	4 275
	1980	9,4	1,3	2,1	2,4	3,6	31,2	5,2	16,7	6,3	3,1	4 160
Belgija	1973	9,0	8,8		0,1	0,1	60,4	16,5	32,6	11,4	0	6 199
	1979	7,1	5,6		0,1	1,5	63,0	15,3	31,6	14,8	1,3	6 401
	1980	7,5	5,8		0,1	1,6	59,5	15,7	28,9	13,5	1,3	6 037
Bugarska	1973	14,4	13,6	0,3	0,3	0,3	35,1	19,1	15,1	0,3	0,7	4 075
	1979	16,0	14,3	0,4	0,2	1,2	45,6	19,9	19,1	4,9	1,6	5 098
	1980	16,9	15,2	0,4	0,1	1,2	50,3	22,1	19,7	6,9	1,7	5 678
Čehoslovačka	1973	62,5	60,8	0,3	1,1	0,3	83,2	60,4	18,3	3,7	0,8	5 716
	1979	67,7	65,7	0,2	1,0	0,8	99,0	65,0	24,1	8,9	1,2	6 491
	1980	66,7	64,8	0,1	0,7	1,1	99,3	64,4	24,0	9,6	1,3	6 482
Francuska	1973	48,6	27,8	3,1	10,0	7,7	210,6	44,2	140,9	18,8	7,1	4 073
	1979	48,6	22,1	3,0	10,3	13,1	241,4	49,7	144,1	33,6	13,9	4 513
	1980	50,2	20,8	3,4	10,0	16,1	233,7	50,5	133,3	33,4	16,5	4 351
Mađarska	1973	20,1	11,4	3,1	5,6	0	31,7	14,6	10,7	5,8	0,6	3 036
	1979	21,5	10,1	4,1	7,4	0	39,8	13,4	15,1	10,6	0,8	3 724
	1980	21,3	10,4	4,0	6,9	0	41,2	13,8	14,4	12,0	1,0	3 850
Grčka	1973	2,9	2,6			0,3	15,0	3,2	11,5	—	0,3	1 681
	1979	4,9	4,4			0,4	20,2	5,1	14,6		0,5	2 134
	1980	4,8	4,3			0,5	20,5	4,9	15,1		0,5	2 137
Italija	1973	27,5	0,5	1,6	19,9	5,5	161,1	11,1	121,9	22,5	5,6	2 933
	1979	26,4	0,8	2,7	16,4	6,6	197,6	14,0	141,3	35,1	7,2	3 472
	1980	26,4	0,6	2,9	16,3	6,6	189,3	15,7	131,7	34,5	7,4	3 318
Nizozemska	1973	89,3	1,7	2,7	85,2	0,1	78,0	3,8	29,0	45,1	0	5 801
	1979	103,5	0	2,0	101,1	0,4	85,3	4,7	33,3	46,8	0,4	6 081
	1980	98,0	0	2,3	95,2	0,5	87,4	5,4	34,4	47,1	0,5	6 183
Norveška	1973	11,7	0,4	2,3	9,0	19,6	19,6	1,2	10,1		8,3	4 955
	1979	68,9	0,3	27,4	30,4	10,9	26,2	1,4	13,3	1,0	10,4	6 422
	1980	83,9	0,3	35,5	37,8	10,3	26,3	1,4	12,7	2,0	10,2	6 434
Poljska	1973	175,9	168,4	0,6	6,9	0,2	150,4	128,2	13,6	8,5	0	4 508
	1979	220,9	212,4	0,5	7,6	0,3	201,2	167,6	21,0	12,4	0,2	5 704
	1980	211,9	204,2	0,5	6,9	0,3	198,9	165,4	20,8	12,4	0,3	5 590
Rumunjska	1973	74,8	13,0	21,4	39,5	0,9	74,1	16,9	17,5	39,2	0,5	3 558
	1979	84,4	16,2	18,7	48,1	1,4	98,5	22,4	25,3	49,5	1,3	4 467
	1980	86,9	17,0	17,5	50,9	1,5	102,3	23,0	25,2	52,6	1,4	4 593
Španjolska	1973	15,6	9,8	1,3	0	4,4	65,4	13,6	46,1	1,5	4,2	1 876
	1979	23,3	14,9	1,7	0	6,7	89,3	19,1	61,2	2,4	6,6	2 401
	1980	24,7	17,9	2,4	0	4,5	94,7	23,6	64,1	2,7	4,3	2 530
Švedska	1973	7,6	0			7,6	46,8	2,2	36,9		7,7	5 748
	1979	10,1	0	0		10,1	48,3	2,5	35,6		10,3	5 827
	1980	10,3	0	0		10,3	43,8	2,3	31,3		10,2	5 269
SSSR	1973	1 396,5	474,8	624,5	280,4	16,8	1 154,0	461,0	393,3	283,9	15,8	4 621
	1979	1 885,2	522,1	852,9	483,2	27,1	1 458,2	506,6	491,3	435,0	25,2	5 535
	1980	1 939,1	515,5	878,3	515,8	29,5	1 485,7	500,4	505,3	452,4	27,6	5 595
V. Britanija	1973	161,1	118,1	0,6	38,4	4,0	294,2	116,9	133,8	39,5	4,0	5 261
	1979	271,5	102,1	114,1	50,1	5,1	289,1	107,0	114,9	62,0	5,1	5 173
	1980	275,8	108,5	116,9	45,2	5,2	270,2	104,2	101,3	59,5	5,2	4 835
S. A. D.	1973	2 104,7	512,5	749,1	798,8	44,4	2 418,5	467,5	1 087,2	817,7	46,1	11 491
	1979	2 063,6	579,2	691,9	725,9	66,6	2 470,3	531,5	1 107,8	760,8	70,2	11 223
	1980	2 090,3	618,5	695,5	710,7	65,7	2 369,7	551,6	1 003,9	745,2	69,0	10 410
DR Njemačka	1973	78,8	75,4	0,1	3,1	0,2	106,2	84,8	16,3	4,1	0,4	6 253
	1979	83,0	77,6	0,1	4,0	1,4	120,6	86,5	23,7	8,8	1,5	7 199
	1980	83,8	78,1	0,1	4,1	1,5	124,0	87,1	23,7	11,6	1,6	7 408
SR Njemačka	1973	170,3	133,3	9,7	24,0	3,4	352,4	121,4	183,4	42,9	4,6	5 686
	1979	163,1	123,8	6,9	24,9	7,5	374,7	116,6	178,6	72,0	7,6	6 109
	1980	159,9	124,3	6,7	21,6	7,4	352,5	114,9	158,2	71,3	8,1	5 727
Jugoslavija	1973	23,1	14,2	4,9	2,1	2,0	33,8	16,2	13,5	2,1	2,0	1 611
	1979	26,9	15,0	6,0	2,6	3,3	44,9	18,0	21,1	2,6	3,2	2 011
	1980	28,6	16,4	6,2	2,6	3,5	45,8	19,5	20,4	2,6	3,4	2 049
Svijet	1973	4 843,2	2 014,1	1 968,7	763,0	99,9	4 696,9	2 026,5	1 618,7	754,3	100,0	1 444
	1979	9 470,2	2 613,6	4 714,6	1 854,1	288,0	8 633,7	2 637,5	3 866,6	1 841,9	287,9	2 011
	1980	9 338,0	2 653,8	4 506,0	1 878,6	299,7	8 547,8	2 668,7	3 708,8	1 870,8	299,6	1 955
Razvijeni	1973	2 355,4	1 013,2	685,1	582,0	77,6	2 849,3	1 042,7	1 157,8	573,9	77,6	4 207
	1979	3 377,9	1 075,1	1 015,7	1 084,5	202,6	4 961,2	1 118,9	2 489,6	1 148,8	203,9	6 329
	1980	3 418,7	1 133,3	1 024,9	1 053,9	206,6	4 798,9	1 155,3	2 301,3	1 134,2	208,1	6 035
Nerazvijeni	1973	1 068,4	75,2	949,5	34,7	9,1	339,1	78,8	217,9	33,3	9,1	238
	1979	3 033,4	126,1	2 664,5	198,4	44,3	957,7	144,4	627,0	143,1	43,1	448
	1980	2 820,5	130,2	2 422,6	219,7	48,0	1 003,7	153,3	644,2	159,6	46,6	459

Tablica 37

BILANCA ELEKTRIČNE ENERGIJE UKUPNE ELEKTROPRIVREDE JUGOSLAVIJE U 1982. GODINI

Miliona kWh

Struktura	Bosna i Hercegovina	Crna Gora	Hrvatska	Make-donija	Slove-nija	Srbija van pokrajina	Kosovo	Vojvo-dina	Ukupno
Proizvodnja udruženih elektrana bruto	9 947	1 555	9 187	2 249	9 351	23 518	3 161	930	59 898
Vlastita potrošnja	598	12	336	128	584	1 337	317	70	3 382
Proizvodnja udruženih elektrana neto	9 349	1 543	8 851	2 121	8 767	22 181	2 844	860	56 516
Uvoz	752	944	235	525	262	481	—	—	3 199
Izvoz	176	1	155	43	346	518	4	—	2 243
Prijem od drugih republika	517	1 152	3 206	1 832	336	1 543	113	5 562	14 261
isporuke drugim republikama	1 582	895	396	6	497	9 602	1 149	134	14 261
Pumpanje vode	121	—	—	—	—	313	—	—	434
Gubici prijenosa	315	94	370	104	225	650	98	203	2 059
Raspoloživo									
— udružena elektroprivreda	8 424	2 649	11 371	4 325	8 297	13 122	1 706	6 085	55 979
Industrija termoelektrane	980	70	400	70	400	600	150	450	3 120
Raspoloživo — ukupna elektroprivreda	9 404	2 719	11 771	4 395	8 697	13 722	1 856	6 535	59 099
Direktni potrošači	2 911	1 698	2 526	1 779	2 213	1 352	416	979	13 874
Distributivne organizacije	5 513	951	8 845	2 546	6 084	11 770	1 290	5 106	42 105
Vlastito snabdjevanje industrije	980	70	400	70	400	600	150	450	3 120

Proizvodnja udruženih elektrana obuhvaća i distributivne HE, a potrošnja distributivnih organizacija obuhvaća i proizvodnju distributivnih HE te gubitke distribucije.

Tablica 38

BILANCA ELEKTRIČNE ENERGIJE U SR HRVATSKOJ U 1982.

Udružena elektropriv.	Distributivn-e organizacije	Vlast. snabdj. industrije	Ukupno SRH	
Hidroelektrane	4 618	74	11	4 703
Termoelektrane	4 382	—	361	4 743
Proizvod. gen.	9 000	74	372	9 446
Vlastita potroš.	248	1	—	249
Proizvod. prag	8 752	73	372	9 197
Dobava	2 893	17	—	2 910
Raspoloživo	11 645	90	372	12 107
Razmjena int.	8 740	8 749	9	—
Gubici	378	830	—	1 208
Potrošnja	2 527	8 009	363	10 899
Industrija	2 312	3 145	363	5 820
Promet	215	75	—	290
Opća potroš.	—	4 789	—	4 789

Tablica 39

POTROŠNJA PRIMARNE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI U 1982.

		Proizvodnja	Uvoz	Raspoloživo	Energija u 10^{15} J
kameni	10^3 t	388			
mrki	10^3 t	10 745			
lignit	10^3 t	43 533			
ugljen ukup.		54 666	3 000	57 666	620
s. nafta	10^3 t	4 300	8 616	12 969	570
zemni pl.	10^6 m^3	2 330	2 750	5 080	180
hidroenergija	10^6 kWh	23 634	1 956	25 590	92
Ukupna energija					1 462 PJ ili 49 882 ·10^3 t EU

UDK 621.31

ENJAAC 32 (4) – (1983) 257 – 336

YU ISSN 0013-7448

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

energija

Izdavači:

Združeno poduzeće »Elektroprivreda«, Rijeka
Združeno poduzeće »Elektroprivreda Dalmacije«, Split
SIZ za znanstveni rad SR Hrvatske
Elektra, Karlovac
Elektroslavonija, Osijek
Elektroistra, Pula
Elektroprimorje, Rijeka
Elektrodalmacija, Split
Elektra, Zagreb
Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos
Institut za elektroprivredu, Zagreb

Godište 32 (1983) Zagreb 1983 Br. 4

SADRŽAJ

Granić G. — Zeljko M.: Karakteristike krivulje trajanja opterećenja u elektroenergetskom sistemu SRH u razdoblju 1975 — 1981. (Prethodno priopćenje) . . . 259

Delbianco L.: Uzemljivači TS 10/20/0,4 kV u uvjetima otpornog uzemljenja zvjezdišta (Pregledni rad) . . . 271

Nikolić Ž.: Vođenje bloka TE Sisak pri proširenju radnog opsega kotla (Pregledni rad) 283

Tropin K. A.: Analiza snabdevanja industrijskih preduzeća električnom energijom u posebnim uslovima (Pregledni rad) 291

Radovi Instituta za elektroprivredu u 1982. godini . . . 299

Vijesti iz elektroprivrede 314

Obavijesti proizvođača 319

IZDAVAČKI SAVJET

Dragutin *Stanić,* dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Združeno poduzeće, Split — Enco *Tirelli* i Boris *Simončić,* dipl. ing. »Elektroprivreda« Rijeka — Josip *Brkljačić,* dipl. ing., HE Senj — Petar *Kuzele,* dipl. ing., »Elektra«, Zagreb — Ivo *Božin,* dipl. ing., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Zorko *Cvetković,* Elektroprenos, Zagreb — Šimun *Šimundža,* dipl. ing., »Elektrodalmacija«, Split — Anđelko *Dujmović,* dipl. ing., »Elektroslavonija«, Osijek — »Elektroistra«, Pula — Branko *Mrakovčić,* dipl. ing., »Elektroprimorje«, Rijeka — Marko *Šimunović,* dipl. ing., »Elektra«, Karlovac

GLAVNI UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: Boris *Markovčić,* dipl. ing. — Urednik: Zdenka *Jelić,* dipl. fil. — Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola *Bilčar,* dipl. ing. — »Hidroelektrane«, Đuro *Hatić,* dipl. ing. — »Termoelektrane i Toplane«, Mladen *Nadinić,* dipl. ing. — Prijenos električne energije, Zorko *Cvetković,* dipl. ing., Zagreb — Josip *Nevešćanin,* dipl. ing., Split — »Razvod, distribucija i potrošnja električne energije«, Tomislav *Balen,* dipl. ec., Jure *Šimović,* dipl. ec., Petar *Kuzele,* dipl. ing. — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslovanja«. — Tehnički urednik: Branko *Mališ.*

Redakcija završena 1983 — 07 — 15

Časopis je oslobođen plaćanja poreza na promet rješenjem Republičkog sekretarijata za prosvjetu, kulturu i fizičku kulturu SR Hrvatske broj 886/1-1979.

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 511-455, 513-822 (328)

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300 dinara, a za poduzeća i ustanove 1500 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 200 dinara.

Za inozemstvo $ 80 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

Institut za elektroprivredu (za »Energiju«) broj 30101-603-565

Tisak i klišeji. RO »Zrinski« TIZ Čakovec

Trideset godina Instituta za elektroprivredu Zagreb



1953
1983

2. Elektroenergetika i elektroenergetski sistemi

— dugoročna i kratkoročna predviđanja potrošnje električne energije, bilanciranje energije i snage u elektroenergetskom sistemu
— određivanje moguće proizvodnje hidroelektrana, ekonomski faktori pri određivanju instalirane snage elektrana
— određivanje raspoloživih termoelektrana i hidroelektrana, korištenje akumulacija
— planiranje izgradnje elektroenergetskog sistema, izbor broja i strukture novih elektrana za buduća razdoblja
— eksploatacija elektroenergetskih sistema
— studije dispečinga električne energije
— rješavanje tehničkih problema eksploatacije elektroenergetskih sistema
— tarife i cijene električne energije
— praćenje i proučavanje razvoja i stanja ekonomskog položaja elektroprivrede

Karakteristični obavljeni radovi

— karakteristike i predvidanja potrošnje električne energije za Jugoslaviju i SR Hrvatsku
— moguća proizvodnja i korištenje akumulacijskih bazena hidroelektrana Jugoslavije
— uključivanje velikih jedinica u elektroenergetskom sistemu (primjena za Jugoslaviju)
— izbor optimalne strukture izvora električne energije u Jugoslaviji
— osnove za tarifni sistem u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije i SR Srbije

3. Prijenosne električne mreže visokog napona

— planiranje i oblikovanje visokonaponskih prijenosnih mreža
— utvrđivanje optimalnih parametara elemenata prijenosne mreže
— problemi reaktivnih snaga i njezina kompenzacija
— utvrđivanje prilika u mreži prilikom kvarova (snaga i struja kratkog spoja, statička i dinamička stabilnost, smetnje i njihanja u mreži)
— proučavanje prenaponskih pojava i zaštita od prenapona
— koordinacija izolacije
— projektiranje i kontrola relejne zaštite
— problematika uzemljenja elektroenergetskih postrojenja

Karakteristični obavljeni radovi

— proračun tokova snaga i naponskih prilika u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije
— superponirana mreža Jugoslavije za 1975, 1980.
— izbor konfiguracije mreže 110 kV — 400 kV SR Hrvatske za 1985.
— problem jalove snage i njena kompenzacija u mreži SR Hrvatske
— proračun struja kratkog spoja u mreži 110 kV — 400 kV u SR Hrvatskoj za 1985. godinu
— rješenje uzemljenja zvjezdišta u visokonaponskim mrežama Istre, Zagreba, Siska, Hrvatskog primorja, Slavonjje itd.

KARAKTERISTIKE KRIVULJE TRAJANJA OPTEREĆENJA U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU SRH U RAZDOBLJU 1975 — 1981.

Dr Goran Granić i Mladen Zeljko, Zagreb

UDK 621.31
PRETHODNO PRIOPĆENJE

U radu je opisana metoda aproksimacije krivulje trajanja opterećenja trima pravcima i izvršena analiza dnevnih, tjednih i mjesečnih karakteristika krivulje trajanja opterećenja za elektroenergetski sistem SRH za razdoblje 1975 — 1981. Prema karakterističnim pokazateljima napravljena je usporedba krivulja trajanja opterećenja za različite vremenske jedinice.

Ključne riječi: elektroenergetski sistem SRH, opterećenje, krivulje trajanja, 1975 — 1981.

1. UVOD

Jedan od osnovnih uvjeta za ekonomičnu eksploataciju i optimalnu izgradnju elektroenergetskog sistema jest detaljno poznavanje karakteristika potrošnje električne energije. Dnevni dijagram opterećenja vrlo je važan za određivanje »voznog reda« elektrana i za vođenje pogona elektroenergetskog sistema, pa je u tu svrhu potrebno poznavati i opterećenja i trenutak pojave tih opterećenja. Međutim, kad se žele analizirati prilike u daljoj budućnosti, nije važno poznavati trenutak pojave maksimalnog i minimalnog opterećenja, ni trenutak kad se pojavljuje pojedino opterećenje. Zbog toga je povoljnije promjene opterećenja prikazati krivuljom trajanja opterećenja nego dijagramom opterećenja. Krivulja trajanja opterećenja predstavlja opterećenja poredana po opadajućim vrijednostima i opisuje, kao što i sam njen naziv kaže, trajanje pojedinog opterećenja.

Krivulja trajanja opterećenja zadržava sve osnovne karakteristike dijagrama opterećenja (potrebnu energiju, maksimalno i minimalno opterećenje), u njoj se pojavljuju i sva opterećenja kao u dnevnom dijagramu opterećenja, ali se u krivulji trajanja opterećenja gubi kronološki redoslijed pojave opterećenja.

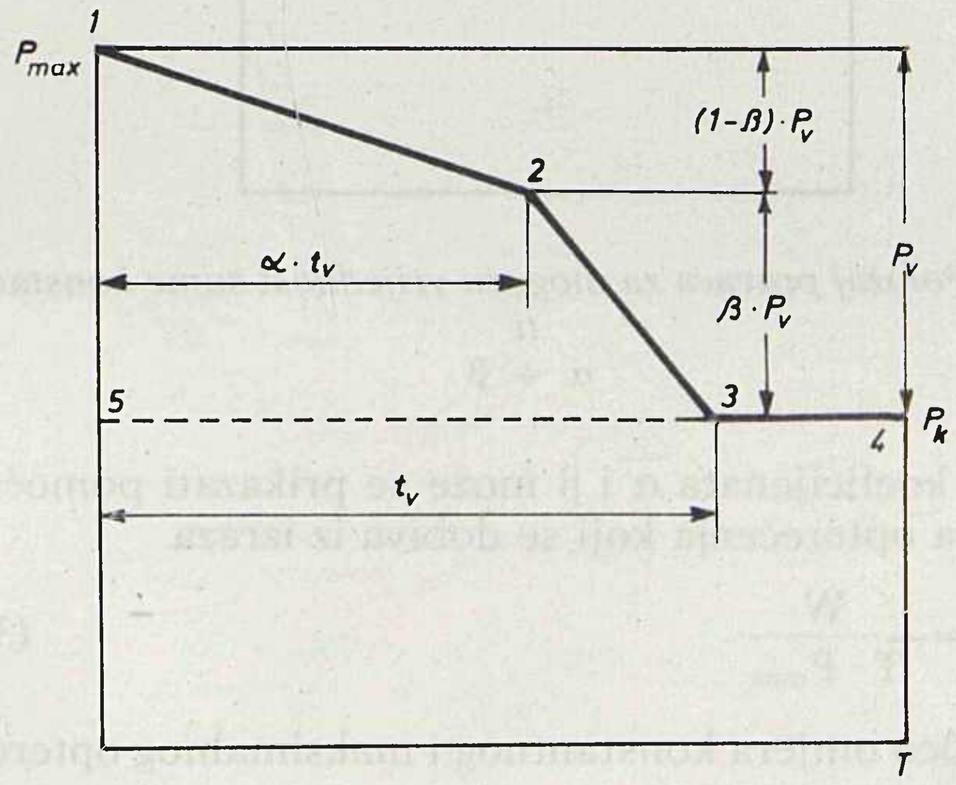
2. APROKSIMACIJA KRIVULJE TRAJANJA OPTEREĆENJA

2.1. Osnove krivulje trajanja opterećenja

U literaturi se mogu naći mnogi pokušaji aproksimacije krivulje trajanja opterećenja. Jedna od češće korištenih aproksimacija jest polinomska aproksimacija ili, točnije, aproksimacija kruvulje trajanja opterećenja polinomom petog stupnja

$$P_t = P_{max} + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5 \qquad (1)$$

Kod nas se koristi jednostavniji oblik aproksimacije, ali ne i manje točan, i to s tri pravca, od kojih jedan odgovara konstantnom opterećenju, a pomoću ostala dva pravca se aproksimira varijabilni dio krivulje trajanja opterećenja.



Sl. 1. Krivulja trajanja opterećenja aproksimirana s tri pravca

Treba spomenuti da takva aproksimacija vrijedi ne samo za dnevnu, nego i za tjednu i mjesečnu krivulju trajanja opterećenja.

Trajanje takvog razdoblja T osnovica je krivulje trajanja opterećenja. Površina s tom osnovicom i visinom koja odgovara konstantnom opterećenju P_k proporcionalna je potrebnoj konstantnoj energiji W_k.

Sjecište dvaju pravaca kojima je određena krivulja trajanja varijabilnog opterećenja, točka 2 na sl. 1, određeno je koeficijentima α i β, koje tek treba odrediti. Površina sastavljena od trokuta s osnovicom $\alpha \cdot t_v$ i visinom $(1-\beta) \cdot P_v$ i od trapeza s osnovicama t_v i $\alpha \cdot t_v$, te visinom $\beta \cdot P_V$ proporcionalna je potrebnoj varijabilnoj energiji W_v.

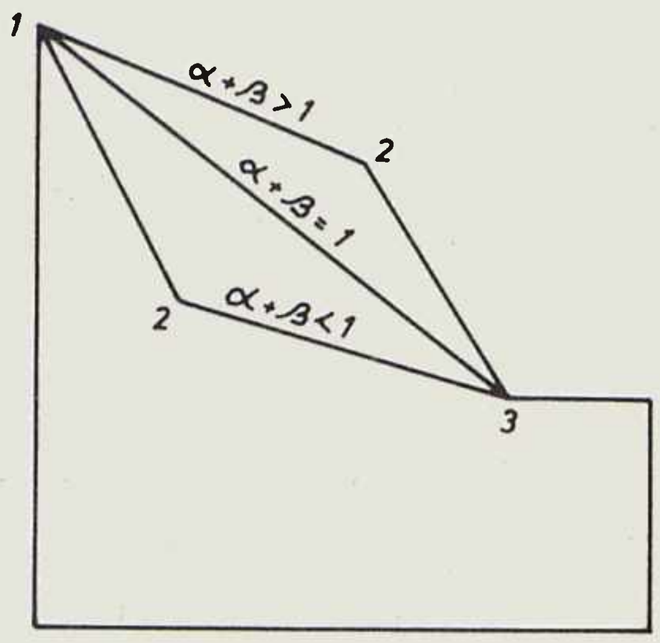
Međutim, da se odredi oblik aproksimacije, potrebno je poznavati vrijednosti koeficijenata α i β, koje se ne mogu odabrati neovisno o ostalim veličinama što karakteriziraju varijabilni dio krivulje trajanja opterećenja. Međutim, pomoću prije spomenutih veličina može se odrediti samo vrijednost zbroja tih koeficijenata, i to prema relaciji

$$\alpha + \beta = \frac{2 \cdot W_v}{t_v \cdot P_v} \qquad (2)$$

$$o < \alpha \leq 1$$
$$o < \beta \leq 1$$

Ni jedan od tih koeficijenata ne može imati negativnu vrijednost, jer je krivulja trajanja takva krivulja kojoj rastu vrijednosti apscisa sa smanjenjem vrijednosti ordinata.

Na sl. 2. prikazani su mogući položaji pravaca koji opisuju varijabilni dio krivulje trajanja opterećenja u ovisnosti o vrijednosti sume konstanti α i β.



Sl. 2. Položaj pravaca za moguću vrijednost sume konstanti
$\alpha + \beta$

Zbroj koeficijenata α i β može se prikazati pomoću faktora opterećenja koji se dobiva iz izraza

$$m = \frac{W}{T \cdot P_{max}} \qquad (3)$$

i pomoću omjera konstantnog i maksimalnog opterećenja

$$P_k = \frac{P_k}{P_{max}} \qquad (4)$$

Ako se u (2) količina varijabilne energije W_v zamijeni razlikom $W - W_k$, te ako se za W uvrsti vrijednost iz relacije (3), a za W_k umnožak $P_k \cdot T$, dobiva se nakon sređivanja

$$\alpha + \beta = \frac{2 \cdot T}{t_v} \cdot \frac{m - p_k}{1 \cdot - p_k} \qquad (5)$$

Aproksimacija krivulje trajanja s tri pravca vrlo je jednostavna geometrijska konstrukcija, koja se može analitički opisati relativno jednostavnim relacijama.

Za pravac 1 — 2 u gornjem varijabilnom dijelu aproksimirane krivulje trajanja opterećenja vrijedi jednadžba

$$P = P_{max} - \frac{1 - \beta}{\alpha \cdot P_v} \cdot P_v \cdot t \qquad (6)$$

i to unutar slijedećih vrijednosti opterećenja P i trajanja opterećenja t:

$$P_{max} \geq P \geq P_{max} - (1 - \beta) \cdot P_v$$
$$O \leq t \leq \alpha \cdot t_v$$

Pravac 2 — 3 u donjem varijabilnom dijelu aproksimirane krivulje trajanja opterećenja može se prikazati jednadžbom

$$P = P_{max} - (1 - \beta) \cdot P_v - \frac{\beta \cdot P_v}{(1 - \alpha) \cdot t_v} \cdot (t - \alpha \cdot t_v) \qquad (7)$$

koja vrijedi u sljedećim granicama:

$$P_{max} - (1 - \beta) \cdot P_v \geq P \geq P_k$$
$$\alpha \cdot t_v \geq t \geq t_v$$

Napokon, za horizontalni pravac kojim je određeno konstantno opterećenje vrijedi jednostavna relacija

$$P = P_k \qquad (8)$$

koja vrijedi u sljedećim granicama:

$$t_v \geq t \geq T .$$

2.2. Postupak aproksimacije krivulje trajanja opterećenja

2.2.1. Aproksimacija maksimalnog opterećenja

Obično su poznati podaci o prosječnim satnim opterećenjima, pa se zbog toga među podacima ne nalazi podatak o maksimalnom opterećenju koje se pojavljuje u nekom trenutku, a najčešće unutar onog sata kad je postignuto maksimalno prosječno satno opterećenje. Osim toga, kad se maksimalno prosječno satno opterećenje znatno razlikuje od sljedećeg manjeg prosječnog satnog opterećenja, može se smatrati da je to slučajna pojava koja se normalno ne pojavljuje ili da je posljedica pogrešnog očitanja mjernih instrumenata.

Da se odredi mjerodavno maksimalno opterećenje, dovoljno je uzeti u obzir pet najvećih prosječnih satnih opterećenja i ta opterećenja aproksimirati regresijskim pravcem. Jednadžba regresijskog pravca ima oblik

$$P = a + b \cdot \qquad (9)$$

gdje su a i b konstante koje se dobivaju iz izraza:

$$b = \frac{\Sigma P_t^o \cdot t - \bar{t} \, \Sigma P_t^o}{\Sigma t^2 - \bar{t} \, \Sigma t} \qquad (10)$$

$$a = \bar{P}^o - b \cdot t,$$

gdje je P_t^o — prosječno satno opterećenje
t — trajanje opterećenja u krivulji trajanja opterećenja
$\bar{t}$ — prosječna vrijednost zbroja t
$\bar{P}^o$ — prosječna vrijednost zbroja P_t^o

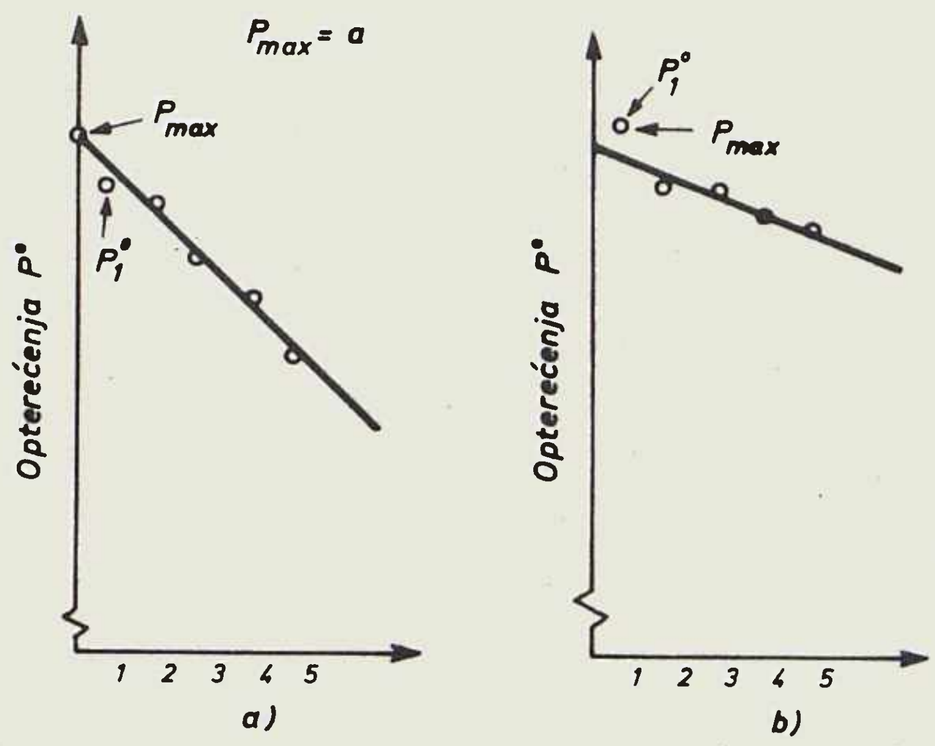
Varijabla t opisuje trajanje opterećenja u krivulji trajanja opterećenja, pa budući da se radi o prosječnim satnim opterećenjima, njezina vrijednost određena je polovicom trajanja jediničnog vremenskog intervala (1 sata). Vrijednost t izračunava se iz relacije:

$$t = i - 0{,}5 \qquad (11)$$

$$\text{za } i = 1, \ldots, 5$$

Mjerodavno maksimalno opterećenje iznosi

$$P_{max} = a \qquad (12)$$



Sl. 3. Primjeri određivanja maksimalnog opterećenja

Takav slučaj određivanja P_{max} prikazan je na sl. 3a. Međutim, može se dogoditi da je vrijednost P_{max} manja od najvećeg opterećenja iz krivulje trajanja opterećenja (sl. 3b). Tada je mjerodavno maksimalno opterećenje jednako iznosu opterećenja u prvom satu iz krivulje trajanja opterećenja ($P\rho$):

$$P_{max} = P\rho \qquad (13)$$

2.2.2. Aproksimacija krivulje trajanja s tri pravca

Položaj pravaca treba odabrati tako da se na najbolji način opišu karakteristike krivulje trajanja opterećenja. Jedna od metoda koja se najčešće koristi kod aproksimacija deterministčkih nizova podataka analitičkim funkcijama jest metoda minimuma zbroja kvadrata odstupanja prognoziranih vrijednosti od ostvarenih vrijednosti. Općenito se može kriterij optimalnosti napisati relacijom:

$$\Sigma = \sum_{L} (P_j^o - P_j)^2 \rightarrow \min \qquad (14)$$

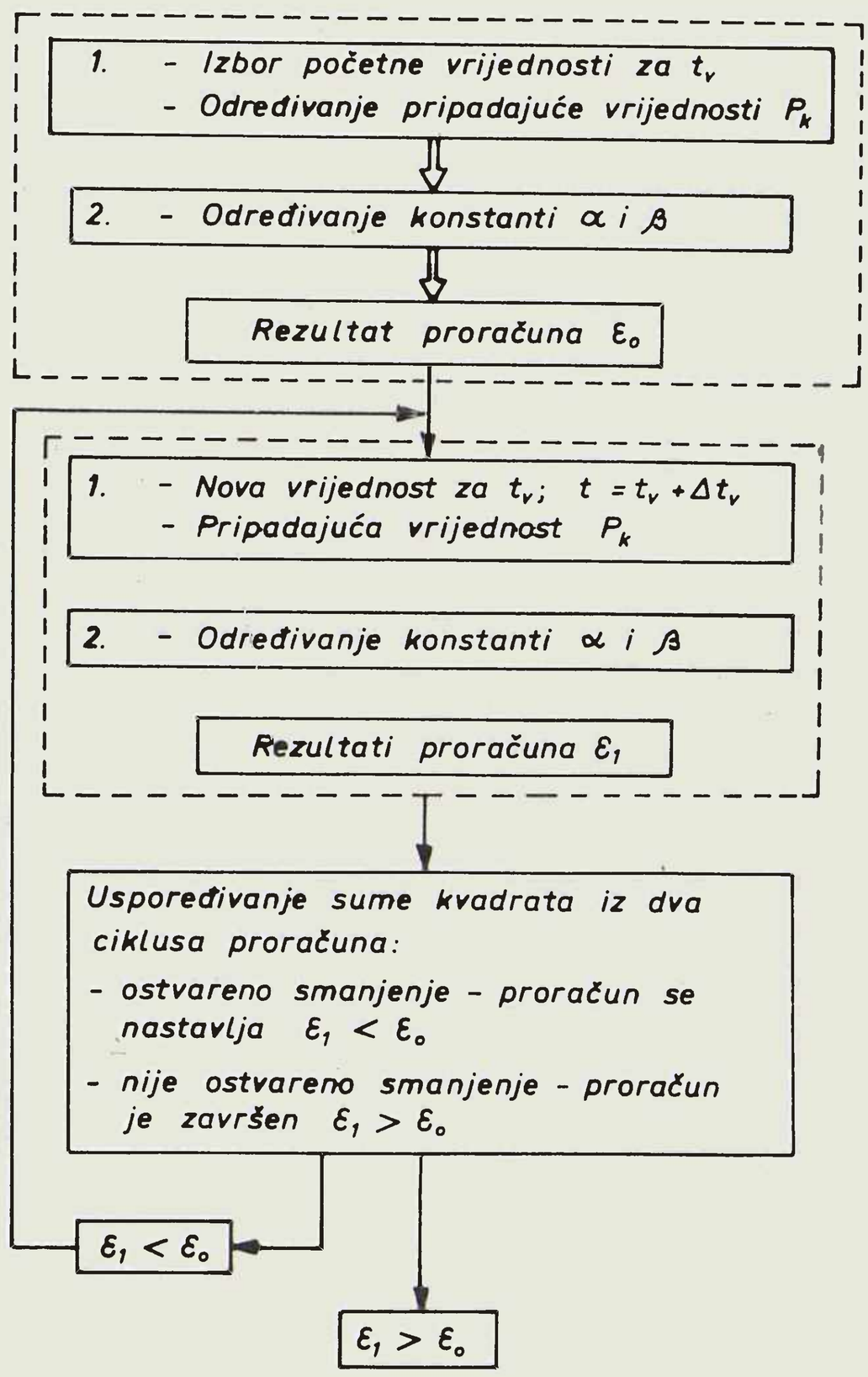
gdje je P_j^o — ostvarena opterećenja
P_j — opterećenja na temelju aproksimacije krivulje trajanja s tri pravca
L — broj satnih opterećenja u promatranoj vremenskoj jedinici (npr. za tjedan L = 168).

Budući da položaj pravaca, prema izrazima 6, 7 i 8 ovisi o konstantama α i β, trajanju varijabilnog opterećenja t_v i konstantnom opterećenju P_k, može se gornji izraz napisati u obliku

$$\varepsilon = f(\alpha, P, t_v, P_k) \rightarrow \min \qquad (15)$$

Zato što se krivulja trajanja opterećenja opisuje s tri pravca, a ne jednom analitičkom funkcijom, ne može se postaviti jednoznačan matematički model minimiziranja sume kvadrata odstupanja, već se postupak minimiziranja provodi metodom pretraživanja i izbora najpovoljnijih vrijednosti parametara o kojima ovisi položaj triju pravaca.

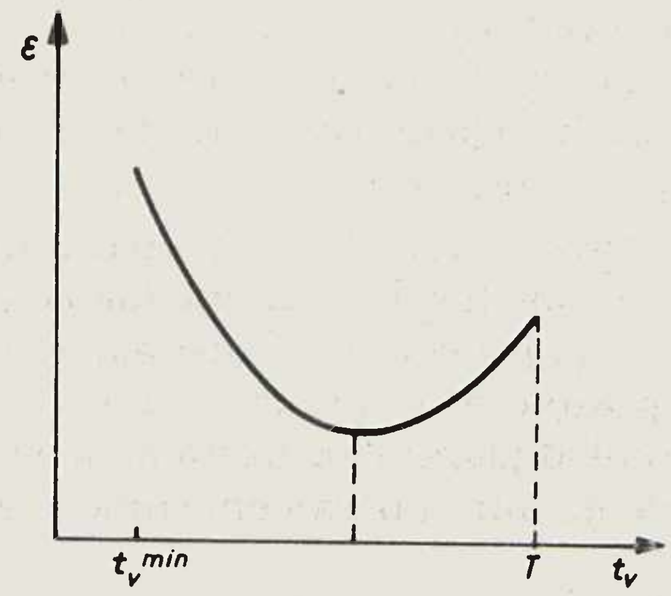
Osim toga što ovisi o vrijednostima parametara, i sami parametri su međusobno ovisni, tako da se postupak pretraživanja provodi u ciklusima, a unutar svakog ciklusa postoje dva koraka proračuna. Na sl. 4. prikazan je blok-dijagram aproksimacije krivulje trajanja opterećenja minimiziranjem sume kvadrata odstupanja.



Sl. 4. Blok-dijagram aproksimacije krivulje trajanja opterećenja s tri pravca

U krivulji trajanja opterećenja pojavljuje se niz malih opterećenja koja se bez veće pogreške mogu zamijeniti konstantnim opterećenjem P_k, pa se tako dio krivulje trajanja opterećenja zamjenjuje horizontalnim pravcem. Izborom trajanja varijabilnih opterećenja (t_v) posredno se određuje i trajanje malih opterećenja, odnosno konstantno opterećenje P_k. Početna vrijednost t_v može biti jednaka ukupnom trajanju promatrane vremenske jedinice T, ili nekom minimalnom vremenu trajanja varijabilnih opterećenja $t_{v\min}$. Ako se odabere maksimalna vrijednost za t_v, onda

postupak izbora najpovoljnije vrijednosti ide prema smanjivanju vrijednosti t_v, odnosno obrnuto ako se izabere minimalna vrijednost za početnu vrijednost.



Sl. 5. Ovisnosti pogreške o t_v

Bez obzira na to s koje strane se krenulo, mora se dobiti jednak rezultat (sl. 5).

Konstantno opterećenje određuje se iz podataka o srednjim satnim opterećenjima krivulje trajanja koji pripadaju periodu malih opterećenja. Ako vremenu t_v odgovara broj opterećenja L_1, onda se konstantno opterećenje određuje na temelju $L_2 = L - L_1$ posljednjih podataka iz krivulje trajanja opterećenja

$$P_k = \frac{1}{L_2} \sum_{j=L_1+1}^{L} P_j^o \qquad (16)$$

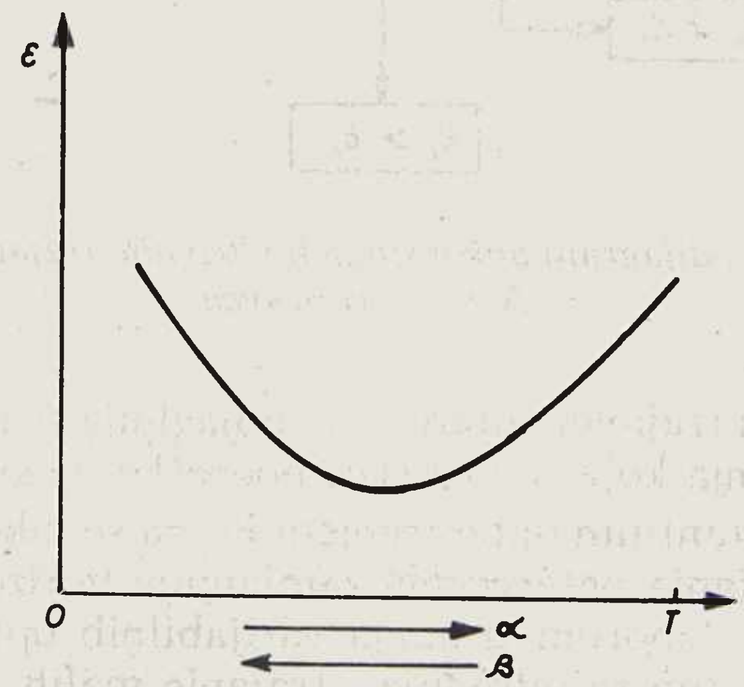
S izborom vremena t_v i proračunom konstantnog opterećenja P_k određena je varijabilna energija W_v

$$W_v = W - P_k \cdot T, \qquad (17)$$

i varijabilno opterećenje P_v

$$P_v = P_{max} - P_k \qquad (18)$$

Prema izrazu (2) može se odrediti suma konstanti $\alpha + \beta$, čime se određuje sjecište pravaca koji opisuju varijabilni dio krivulje trajanja opterećenja. Iznos pojedinih vrijednosti konstanti dobije se pretraživanjem kombinacija α i β koje zadovoljavaju uvjet (2), a izbor se provodi na temelju minimuma sume kvadrata odstupanja u varijabilnom dijelu krivulje trajanja opterećenja.



Sl. 6. Ovisnost pogreške ε o α i β

Postupak pretraživanja započinje određivanjem početnih vrijednosti α_o i β_o. Za slučaj kada je $\alpha + \beta > 1$ početna vrijednost konstante α_o iznosi 1, a za slučaj $\alpha + \beta < 1$ početna vrijednost može najviše iznositi $\alpha_o = \alpha + \beta$ (konstanta $\beta_o = (\alpha+\beta) - \alpha_o$). Početnim vrijednostima konstanti određena je posredno i pogreška ε_o.

Daljnji postupak se nastavlja određivanjem novih vrijednosti za α i β, odnosno nove pogreške ε_1

$$\alpha_1 = \alpha_o - \Delta\alpha$$
$$\beta_1 = (\alpha + \beta) - \alpha_1 \qquad (19)$$

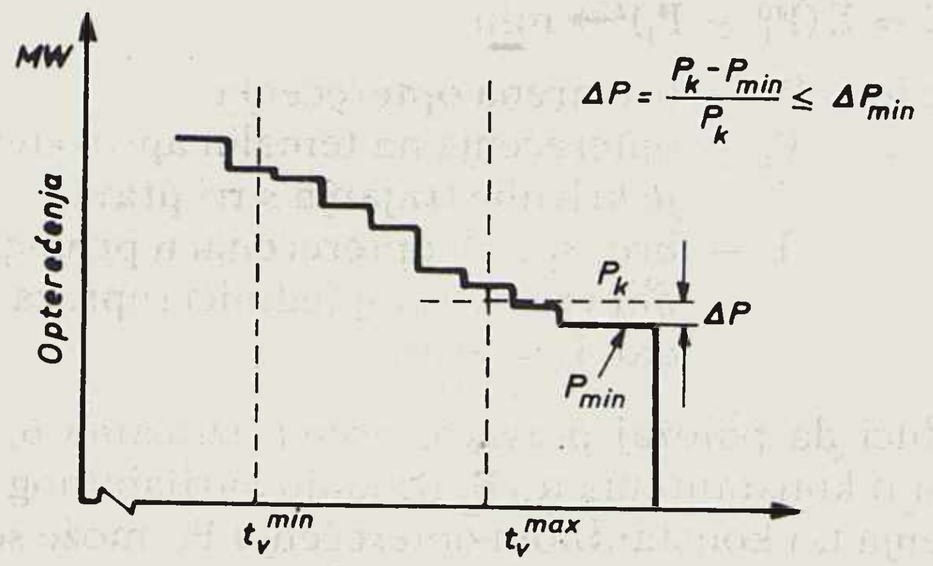
Ako se novim vrijednostima konstanti α i β smanji pogreška postupak se nastavlja, a ako nove vrijednosti α i β uzrokuju povećanje vrijednosti ε, postupak se obustavlja jer vrijednosti α i β izprethodnog koraka predstavljaju optimalne vrijednosti.

Svaki ciklus proračuna, prema blok-dijagramu na sl. 4, ima izbor trajanja varijabilnog dijela krivulje trajanja opterećenja, određivanje konstantnog opterećenja P_k i izbor najpovoljnije kombinacije konstanti α i β. Rezultati proračuna između dva ciklusa se uspoređuju, a mjerodavna vrijednost preko koje se ocjenjuje kvaliteta aproksimacije jest suma kvadrata odstupanja ε. Ako se novim ciklusom proračuna ostvari smanjenje pogreške ε, proračun se nastavlja novim ciklusom, i to sve do trenutka kad se novim ciklusom poveća pogreška ε_o. Tada rezultati prethodnog ciklusa predstavljaju optimum, što znači da takav položaj pravaca najbolje opisuje zakonitost krivulje trajanja opterećenja.

2.2.3. Aproksimacija krivulje trajanja s tri pravca s ograničenjem trajanja t_v

U prethodnom dijelu ovog poglavlja opisan je postupak aproksimacije krivulje trajanja s tri pravca bez ikakvih ograničenja. Takav postupak aproksimacije moguće je provesti i uz neka ograničenja, kao što je trajanje varijabilnih opterećenja. Pri određivanju mjerodavnog t_v može se poći od pretpostavke da trajanje varijabilnih opterećenja ne može biti kraće od t_v^{min} niti duže od t_v^{max}. Izbor mjerodavnog vremena t_v može se provesti:

- prema opisanom postupku minimizacije pogreške odstupanja, ili
- kontrolom odstupanja konstantnog opterećenja P_k od minimalnog opterećenja iz krivulje trajanja.



Sl. 7. Primjer određivanja konstantnog opterećenja

Naime, kod ovog drugog kriterija postavlja se uvjet da razlika odstupanja između P_k i P_{min} ne može iznositi više od neke unaprijed dogovorene vrijednosti (npr. 3 %).

Takav kriterij donekle pojednostavljuje postupak aproksimacije, jer se najprije izvrši izbor t_v i P_k, a zatim odrede konstante minimiziranjem pogreške odstupanja u varijabilnom dijelu krivulje trajanja opterećenja, čime je proračun završen. U usporedbi s prije opisanim postupkom sve se završi u jednom ciklusu proračuna.

3. KRIVULJE TRAJANJA OPTEREĆENJA ZA PERIOD 1975 — 1981. GOD.

3.1. Dnevne krivulje trajanja opterećenja

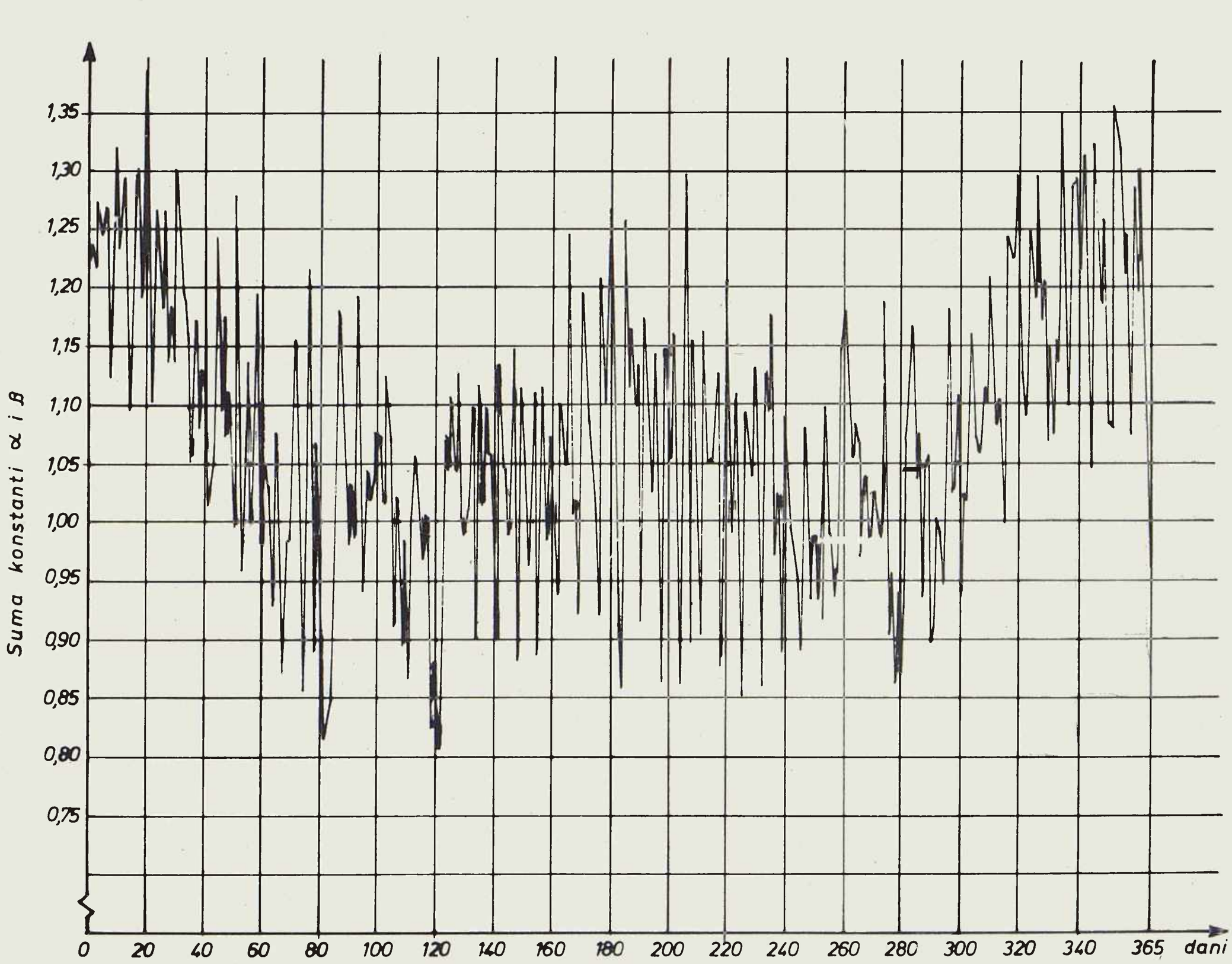
Iako se dnevna krivulja trajanja opterećenja malokad koristi u elektroenergetskim analizama, radi usporedbe s tjednom ili mjesečnom krivuljom trajanja opterećenja prezentirat će se neke njezine osnovne karakteristike.

Potrošnja električne energije po danima u tjednu se razlikuje. U 1977. godini najniža dnevna potrošnja je ostvarena nedjeljom, i to oko 12,77 % tjedne potrošnje ili 87,36 % prosječne dnevne potrošnje. Subota i ponedjeljak imaju približno isti udio u tjednoj potrošnji (14,10 % u subotu i 14,16 % u ponedjeljak), iako je ponedjeljak radni dan, a subota u pravilu nije radni dan. U ostalim radnim danima ostvaren je približno isti udio u tjednoj potrošnji (utorak 14,63 %, srijeda 14,73 %, petak 14,78 %). Najviša potrošnja, prema podacima iz 1977. godine, obično bi se ostvarila u četvrtak — 14,83 %. Rezultati analize u ostalim godinama pokazuju slične zakonitosti dnevne potrošnje električne energije.

Oblik krivulje trajanja opterećenja mijenja se iz dana u dan. Aproksimacija varijabilnog dijela krivulje trajanja opterećenja posebno je osjetljiva na trajanje malih opterećenja. U pravilu, ako je trajanje malih opterećenja kratko, 1 ili 2 sata na dan, suma konstanti α i β osjetno je manja nego u obrnutom slučaju kada je trajanje malih opterećenja bilo duže. Prema sl. 8 mogu se uočiti velike oscilacije sume konstanti α i β iz dana u dan, kao i sezonska zakonitost promjene promatranog parametra. Zimski dani u pravilu imaju $\alpha + \beta > 1$, isto kao i ljetni dani, ali uz nešto manje vrijednosti.

3.2. Tjedna krivulja trajanja opterećenja

Tjedne krivulje trajanja opterećenja određene su na temelju srednjosatnih opterećenja u promatranom tjednu, ukupno 168 podataka za svaki tjedan. Među-



Slika 8.

tim, maksimalno opterećenje u tjednu određeno je iz podataka o maksimalnim opterećenjima po danima u tjednu kao najveće opterećenje između sedam dnevnih maksimuma.

Karakteristike tjednih krivulja opterećenja analizirat će se na temelju nekoliko karakterističnih parametara:

— udjela tjedne potrošnje u godišnjoj (sl. 9)
— faktora opterećenja (sl. 10)
— relativnih maksimalnih opterećenja, ili omjera maksimalnih opterećenja u tjednu i maksimalnog godišnjeg opterećenja (sl. 11)
— relativnog minimalnog opterećenja (sl. 12)
— relativnog konstantnog opterećenja (sl. 13)
— sume konstanti α i β (sl. 14).

Razvoj svakog od spomenutih parametara prikazan je za razdoblje 1975 — 1980. godine.

Nosiva komponenta oscilacija vrijednosti parametara jest sezonska komponenta. Iako se zakonitost promjene sezonske komponente razlikuje od parametra do parametra, zajedničko je da se zakonitost promjene ponavlja iz godine u godinu s neznatnim razlikama.

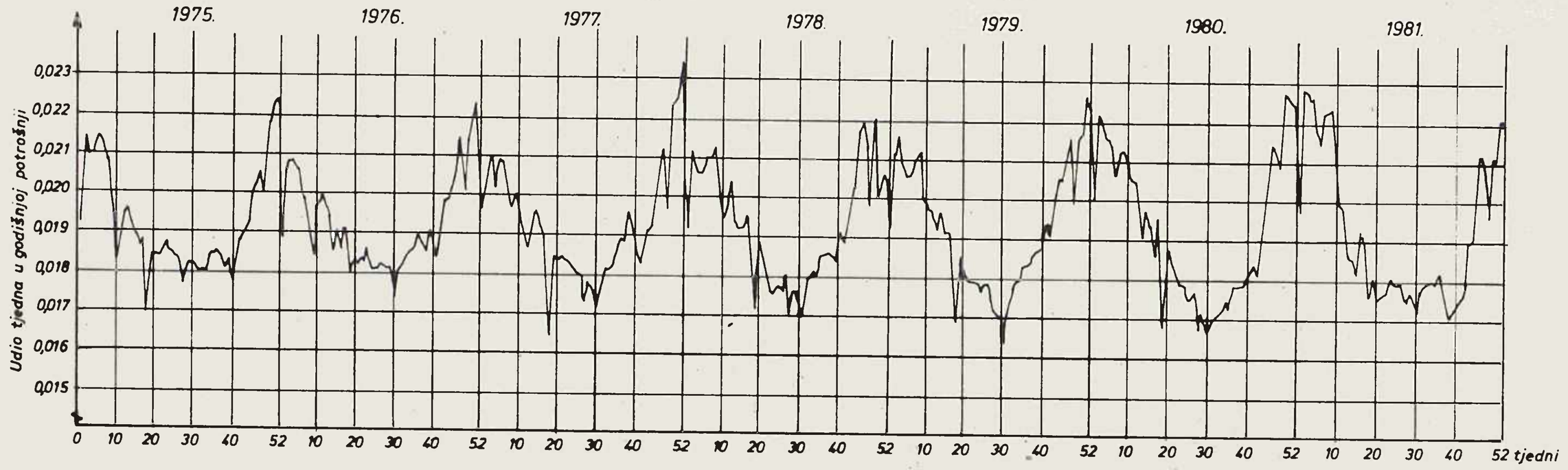
Najmanja tjedna potrošnja ostvaruje se u ljetnim mjesecima, a najviša u zimskim mjesecima, i to u posljednjim tjednima godine. Za razliku od potrošnje maksimalni faktori opterećenja ostvareni su u zimskim i ljetnim tjednima, nešto viši u zimskim nego u ljetnim tjednima. Minimalni faktori ostvareni su u jesenskim tjednima. Dakako, i kod jednog i drugog faktora nisu spomenuti tjedni u koje padaju državni blagdani, jer će o njima biti nešto kasnije riječi.

Maksimalna opterećenja imaju sličnu zakonitost kao i udio tjedne potrošnje u godišnjoj potrošnji električne energije. Najviša opterećenja ostvaruju se, u pravilu, u zimskim tjednima (pretposljednji ili posljednji tjedan u godini), a najmanja u ljetnim mjesecima. Razlike u opterećenjima između zimskih i ljetnih tjedana veće su nego u slučaju potrošnje, pa su faktori opterećenja u ljetnim tjednima veći nego u proljetnim i jesenskim.

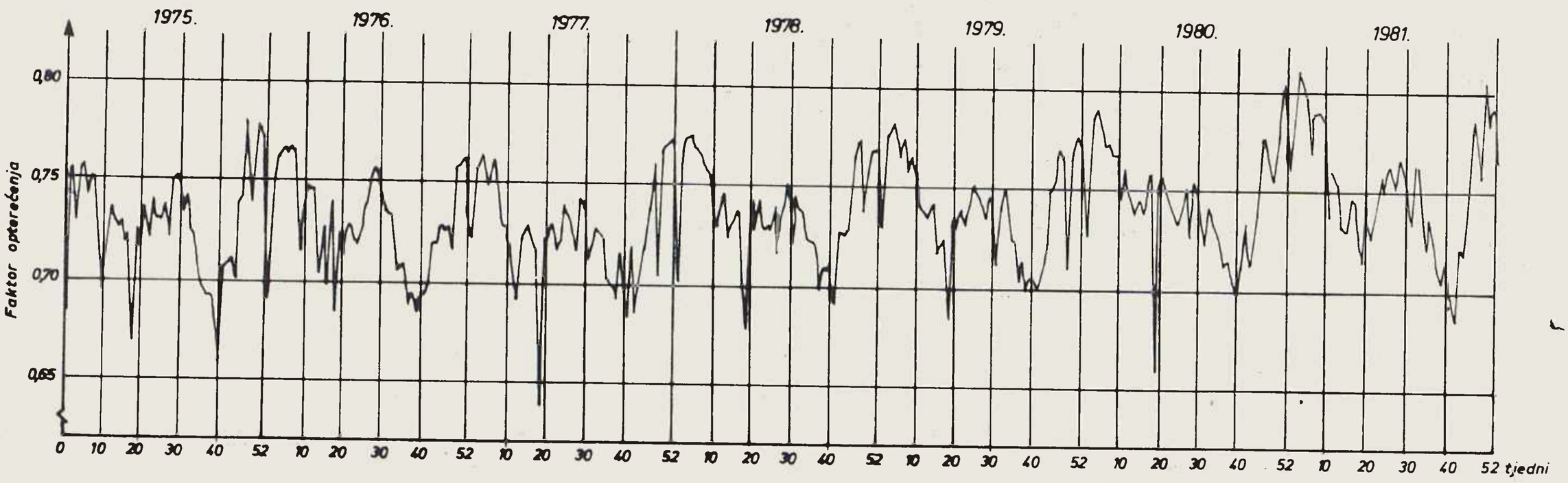
Minimalna opterećenja prate zakonitost maksimalnih opterećenja, pa sve što je rečeno za maksimalna opterećenja vrijedi i za minimalna opterećenja.

Konstantna opterećenja imaju sličnu zakonitost kao i faktor opterećenja. Mogu se uočiti tri maksimuma: početak godine, ljetni tjedni i kraj godine.

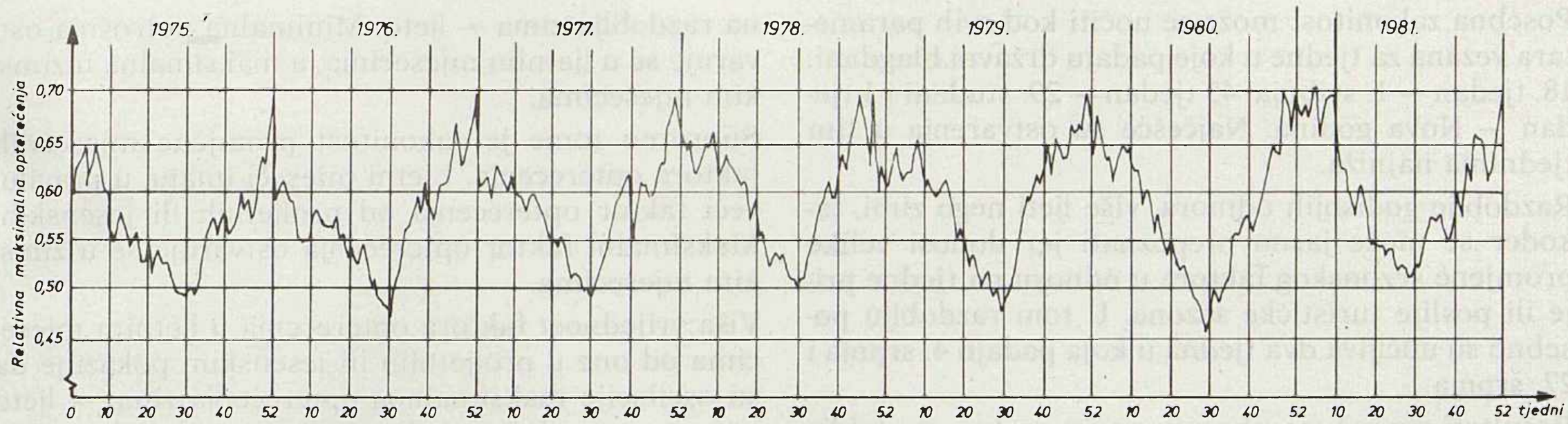
Suma konstanti α i β samo u zimskim tjednima ima veću vrijednost od 1, a u ostalim manju ili jednaku jedinici. Veća vrijednost od 1 je posljedica grijanja u zimskim tjednima i kratkog dana. Zanimljivo je da je, zbog intenzivnije potrošnje u ljetnim tjednima izazvane turizmom, suma konstanti α i β u ljetnom razdoblju veća nego u proljetnom ili jesenskom razdoblju.



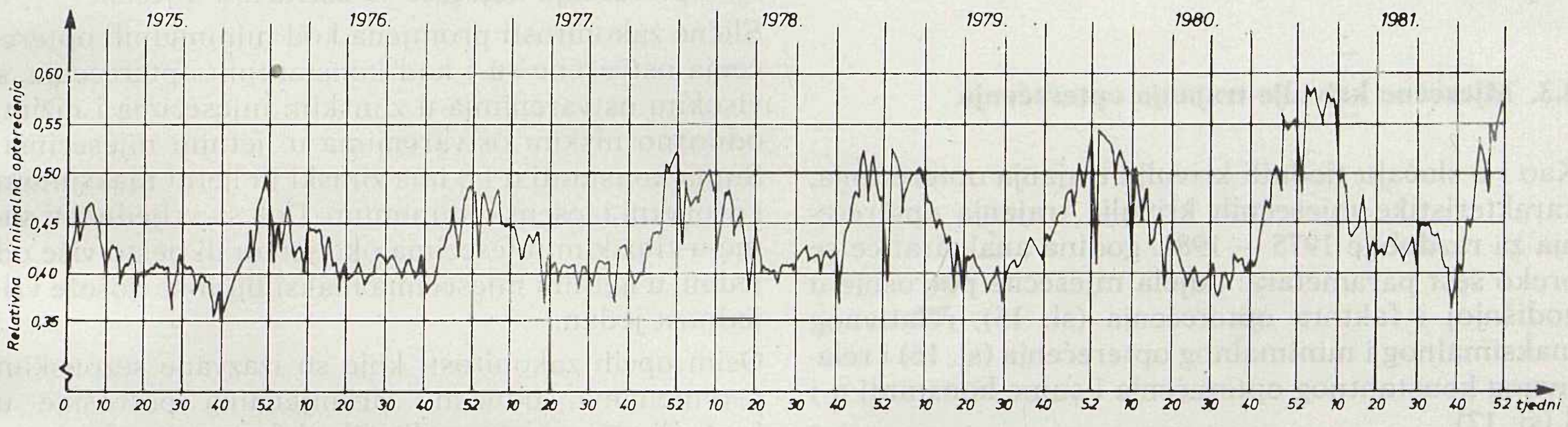
Slika 9.



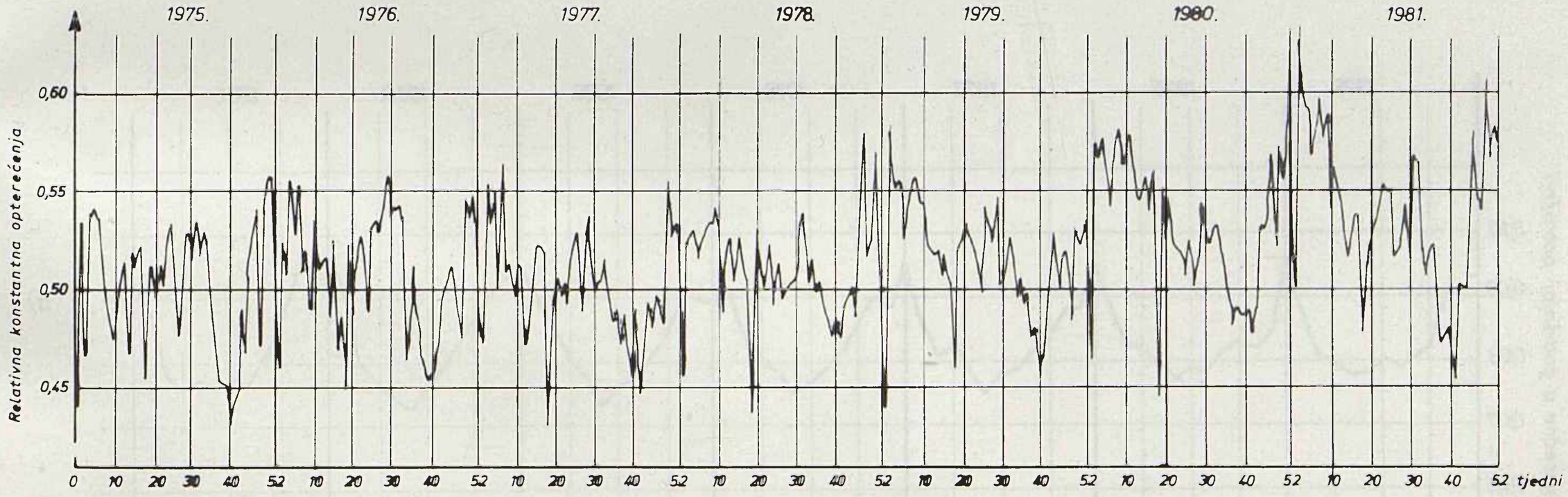
Slika 10.



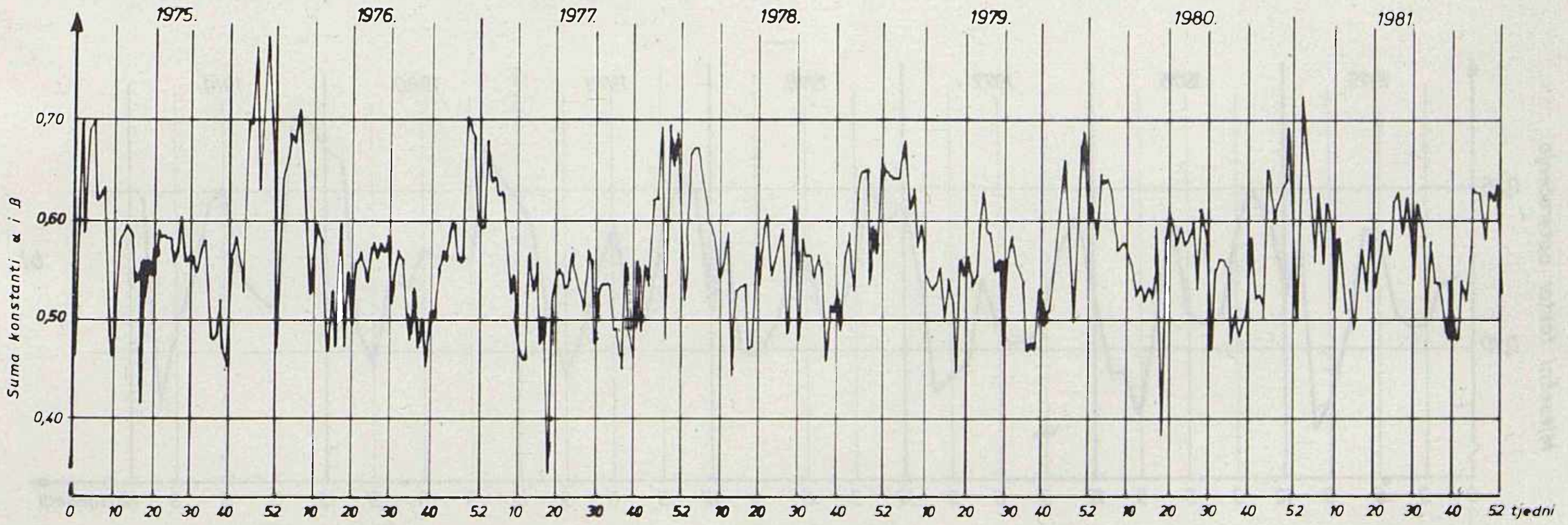
Slika 11.



Slika 12.



Slika 13.



Slika 14.

Posebna zakonitost može se uočiti kod svih parametara vezana za tjedne u koje padaju državni blagdani: 18. tjedan — 1. svibnja, 43 tjedan — 29. studeni i 1 tjedan — Nova godina. Najčešće su ostvarenja u tim tjednima najniža.

Razdoblje godišnjih odmora, više ljeti nego zimi, također se može jasno prepoznati jer donosi velike promjene sezonskog faktora u odnosu na tjedne prije ili poslije turističke sezone. U tom razdoblju posebno su uočljiva dva tjedna u koja padaju 4. srpnja i 27. srpnja.

Rezultati proračuna ukazuju na jesen, kao razdoblje godine koji se razlikuju od drugih razdoblja, a što se može povezati s poljskim radovima karakterističnim za jesen.

3.3. Mjesečne krivulje trajanja opterećenja

Kao i u slučaju tjednih krivulja trajanja opterećenja, karakteristike mjesečnih krivulja trajanja opterećenja za razdoblje 1975 — 1981. godina analizirat će se preko šest parametara: udjela mjesečne potrošnje u godišnjoj i faktora opterećenja (sl. 15), relativnog maksimalnog i minimalnog opterećenja (sl. 16) i relativnog konstantnog opterećenja i sume konstanti α i β (sl. 17).

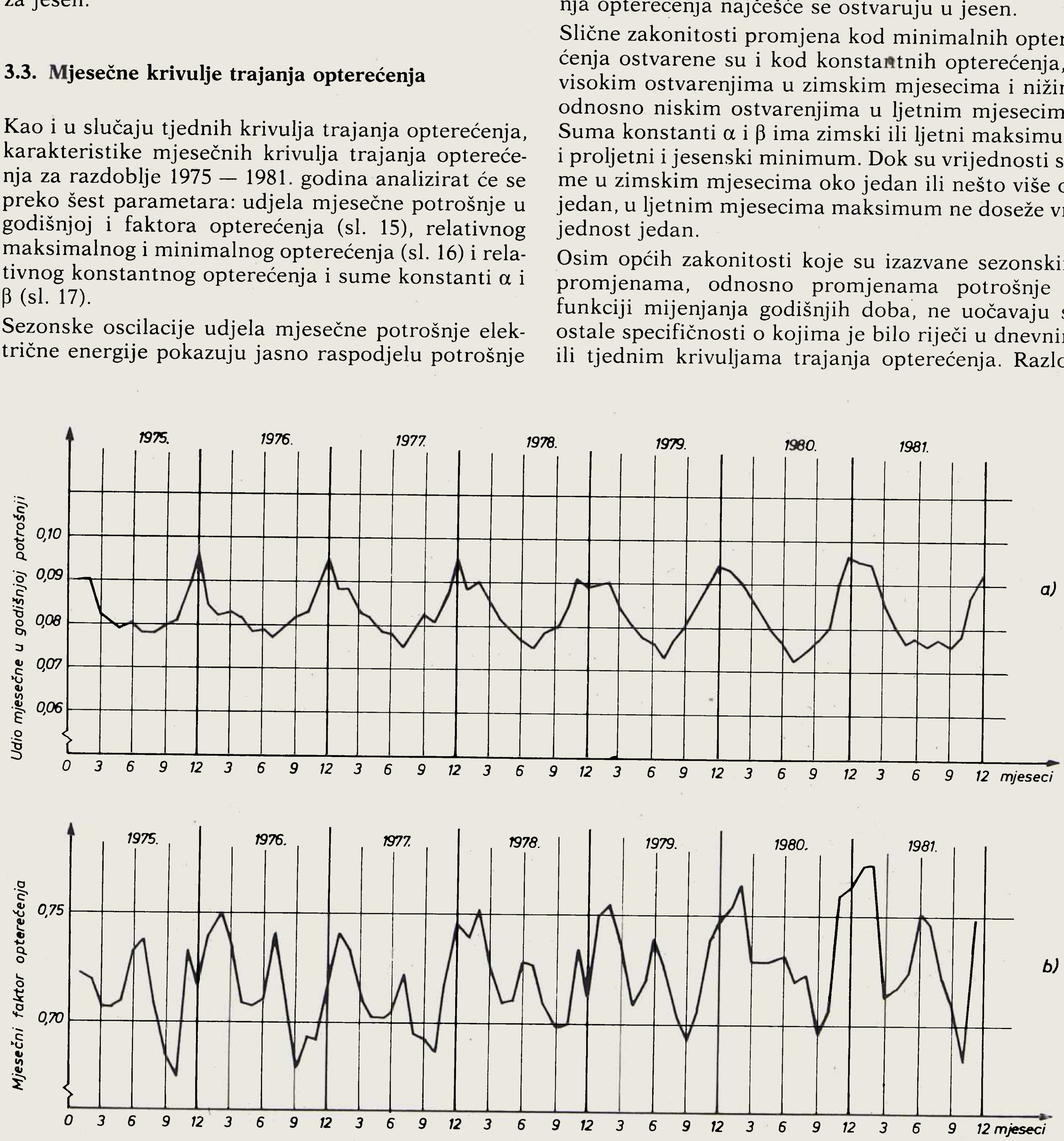
Sezonske oscilacije udjela mjesečne potrošnje električne energije pokazuju jasno raspodjelu potrošnje na razdoblje zima — ljeto. Minimalna potrošnja ostvaruje se u ljetnim mjesecima, a maksimalna u zimskim mjesecima.

Suprotno tome je zakonitost promjene mjesečnih faktora opterećenja. Ljetni mjeseci imaju, u pravilu, veći faktor opterećenja od proljetnih ili jesenskih. Maksimalni faktor opterećenja ostvaruje se u zimskim mjesecima.

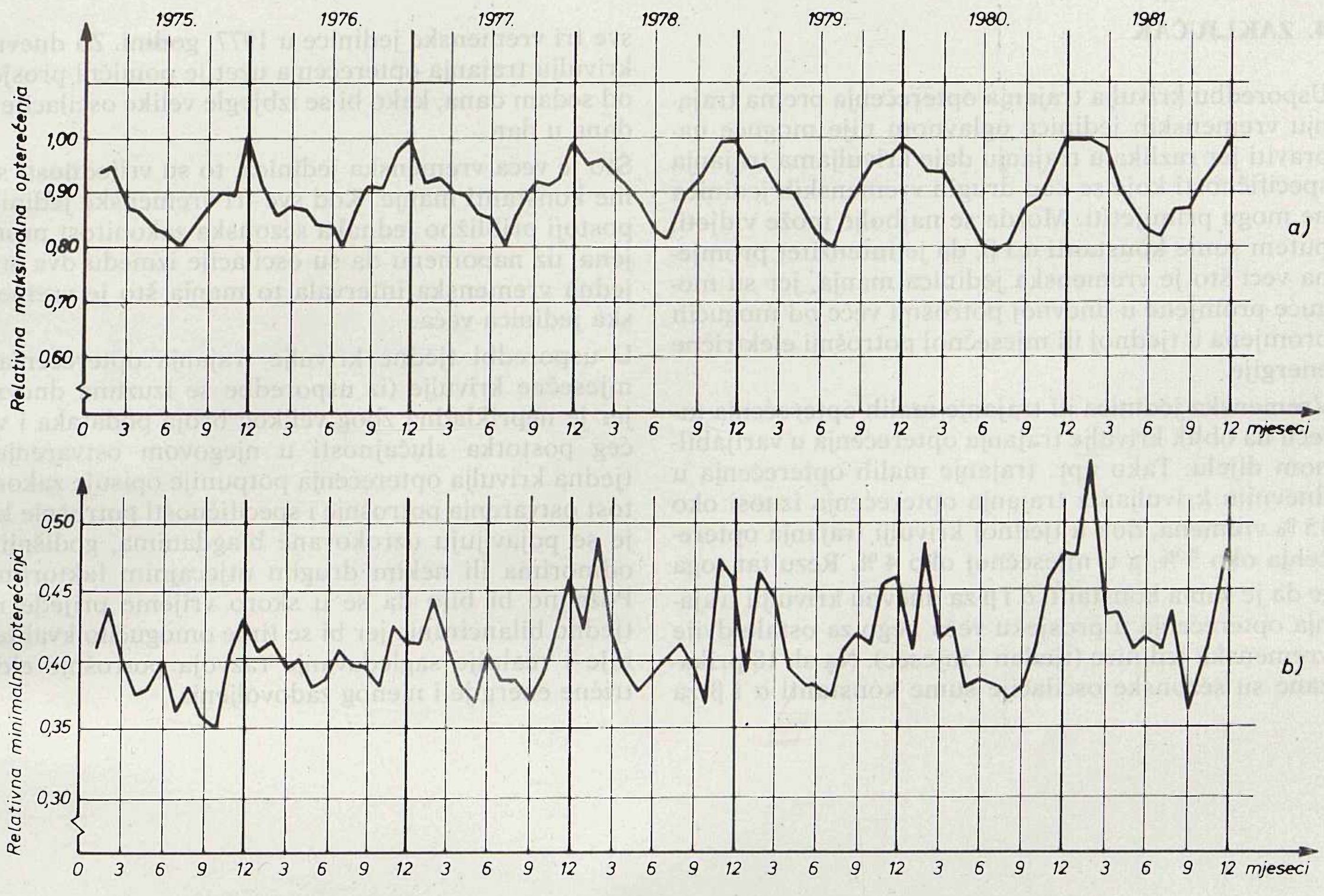
Viša vrijednost faktora opterećenja u ljetnim mjesecima od one u proljetnim ili jesenskim pokazuje da su oscilacije maksimalnog opterećenja zima — ljeto veće nego u slučaju mjesečnih potrošnji električne energije. Minimalna mjesečna opterećenja znatno više osciliraju nego maksimalna opterećenja. Najmanja opterećenja najčešće se ostvaruju u jesen.

Slične zakonitosti promjena kod minimalnih opterećenja ostvarene su i kod konstantnih opterećenja, s visokim ostvarenjima u zimskim mjesecima i nižim, odnosno niskim ostvarenjima u ljetnim mjesecima. Suma konstanti α i β ima zimski ili ljetni maksimum i proljetni i jesenski minimum. Dok su vrijednosti sume u zimskim mjesecima oko jedan ili nešto više od jedan, u ljetnim mjesecima maksimum ne doseže vrijednost jedan.

Osim općih zakonitosti koje su izazvane sezonskim promjenama, odnosno promjenama potrošnje u funkciji mijenjanja godišnjih doba, ne uočavaju se ostale specifičnosti o kojima je bilo riječi u dnevnim ili tjednim krivuljama trajanja opterećenja. Razlog



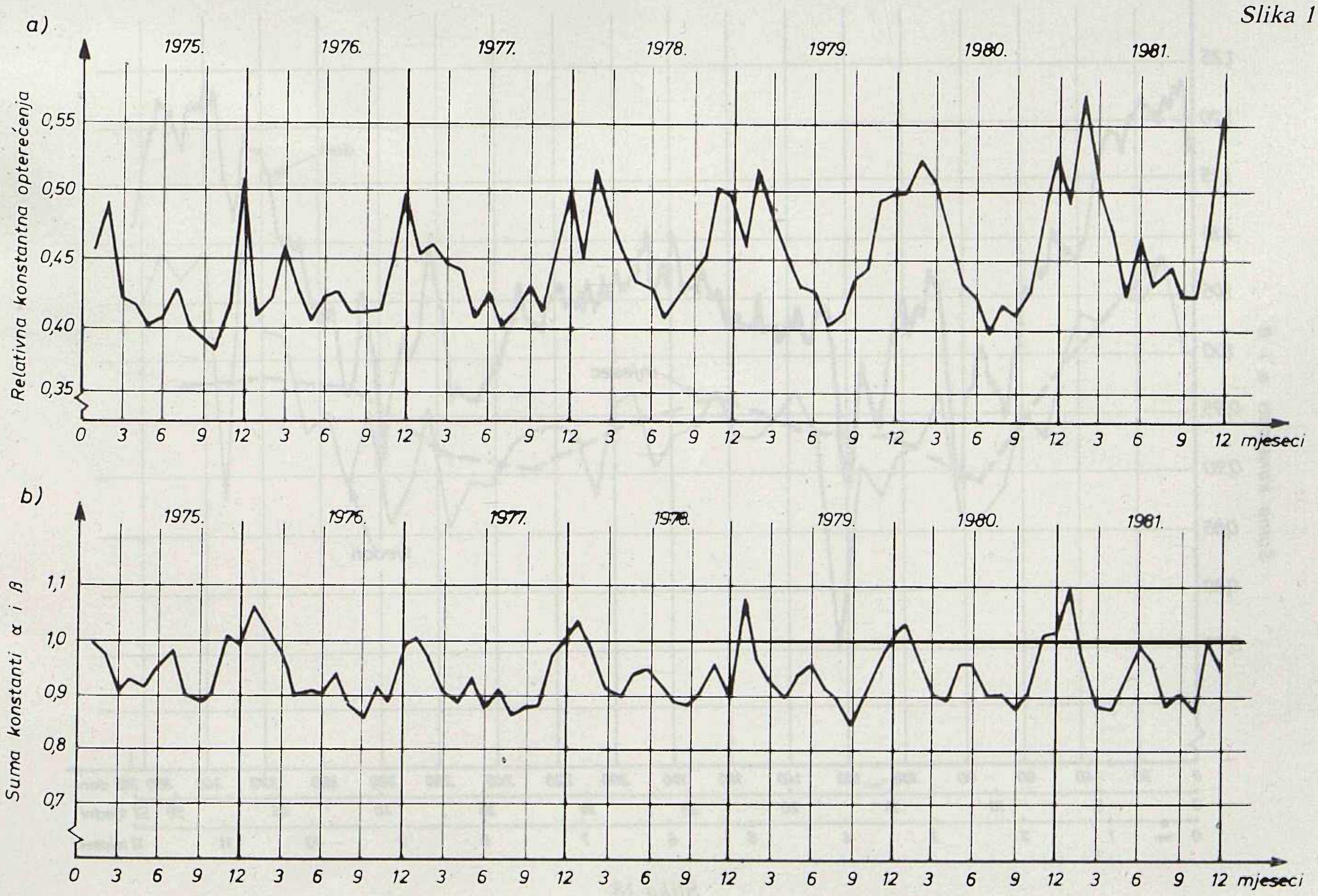
Slika 15.



Slika 16.

tome je što se kod mjeseca, kao vremenske jedinice, zbog dužine trajanja uprosječivanjem eliminiraju ekstremne pojave.

Slika 17.



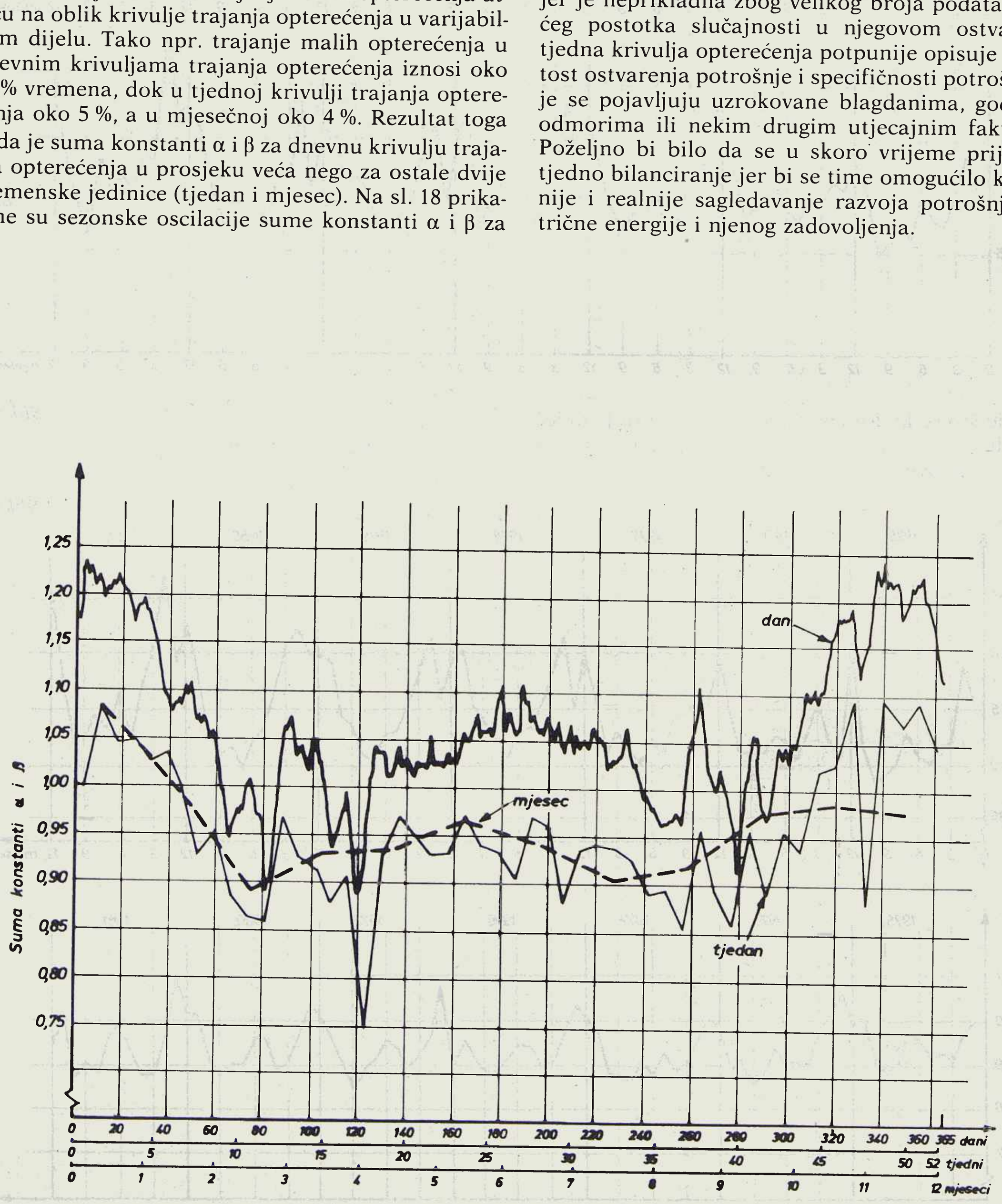
4. ZAKLJUČAK

Usporedbu krivulja trajanja opterećenja prema trajanju vremenskih jedinica uglavnom nije moguće napraviti jer razlika u trajanju daje krivuljama trajanja specifičnosti koje se kod drugih vremenskih jedinica ne mogu primijetiti. Možda se najbolje može vidjeti, putem sume konstanti α i β, da je intenzitet promjena veći što je vremenska jedinica manja, jer su moguće promjene u dnevnoj potrošnji veće od mogućih promjena u tjednoj ili mjesečnoj potrošnji električne energije.

Vremenska jedinica ili trajanje malih opterećenja utječu na oblik krivulje trajanja opterećenja u varijabilnom dijelu. Tako npr. trajanje malih opterećenja u dnevnim krivuljama trajanja opterećenja iznosi oko 15 % vremena, dok u tjednoj krivulji trajanja opterećenja oko 5 %, a u mjesečnoj oko 4 %. Rezultat toga je da je suma konstanti α i β za dnevnu krivulju trajanja opterećenja u prosjeku veća nego za ostale dvije vremenske jedinice (tjedan i mjesec). Na sl. 18 prikazane su sezonske oscilacije sume konstanti α i β za sve tri vremenske jedinice u 1977. godini. Za dnevnu krivulju trajanja opterećenja uzet je pomični prosjek od sedam dana, kako bi se izbjegle velike oscilacije iz dana u dan.

Što je veća vremenska jedinica, to su vrijednosti sume konstanti manje. Kod sve tri vremenske jedinice postoji približno jednaka sezonska zakonitost promjena, uz napomenu da su oscilacije između dva susjedna vremenska intervala to manja što je vremenska jedinica veća.

U usporedbi tjedne krivulje trajanja opterećenja i mjesečne krivulje (iz usporedbe se izuzima dnevna jer je neprikladna zbog velikog broja podataka i većeg postotka slučajnosti u njegovom ostvarenju), tjedna krivulja opterećenja potpunije opisuje zakonitost ostvarenja potrošnje i specifičnosti potrošnje koje se pojavljuju uzrokovane blagdanima, godišnjim odmorima ili nekim drugim utjecajnim faktorima. Poželjno bi bilo da se u skoro vrijeme prijeđe na tjedno bilanciranje jer bi se time omogućilo kvalitetnije i realnije sagledavanje razvoja potrošnje električne energije i njenog zadovoljenja.



Slika 18.

LITERATURA

G. Granić, M. Zeljko, I. Mijić: *Tjedne karakteristike potrošnje električne energije,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1980.

G. Granić, M. Zeljko: *Program za aproksimaciju krivulje trajanja opterećenja s tri pravca — KKTO,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1983.

KEY WORDS: ELECTRIC POWER SYSTEM OF SRH, LOADS, LOAD CURVES 1975-1981.

CHARACTERISTICS OF LOAD CURVE IN ELECTRIC POWER SYSTEM OF SR CROATIA IN PERIOD 1975 – 1981 YEAR

In the article is described a method for aproximation of load curve by three lines as well as analysis of daily, weekly and monthly load curves in electric power system of SR Cratia in period 1975-1981 year. On characteristic parameters an comparison between load curves for various periods is presented.

CHARAKTERISTIKEN DER BELASTUNGSDAUERKENNLINIE IM VERBUNDSYSTEM VON KROATIEN IN DEN JAHREN 1975-1981.

Die Arbeit beschreibt eine Annäherungsmethode der Darstellung der Belastungskennlinie durch drei Gerade und die durchgeführte Untersuchung der Kennwerte von Tages, — Wochen-und Monatsdauerkennlinien im kroatischen Verbundnet für die Zeit von 1975-1981. Entsprechend den charakteristischen Kennwerten wurden die Belastungsdauerkennlinien für verschiedene Zeitabschnitte verglichen.

ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИВОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ СР ХОРВАТИИ В ПЕРИОД С 1975 по 1981 гг

В статье описан метод аппроксимации кривой продолжительности нагрузки в трех направлениях и проведен анализ суточных, недельных и месечных характеристик кривых продолжительности нагрузки энергосистемы СР Хорватии в период с 1975 по 1981 гг. По характерным показателям построена кривая сравнения продолжительности нагрузки для различных единиц времени.

Naslov pisaca:
Dr Goran Granić, dipl. inž.
i
Mladen Zeljko, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu,
41000 Zagreb

Uredništvo primilo rukopis
1982 – 12 – 20

ELEKTROPRIVREDA ZAGREB

OOUR **Elektroprenos**

ZAGREB

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti: prijenos električne energije, izraduje studije, razvoj i projektiranje, izgradnju i nadzor izgradnje elektroprijenosnih postrojenja i telekomunikacionih uređaja, te svojim vozilom marke

Kaelble

i prikolicom

Scheuerle

prevozi teški teret do 120 tona.

OOUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB

Proleterskih brigada 37 - Tel.: 513-822 i 511-455

UZEMLJIVAČI TS 10/20/0,4 kV U UVJETIMA OTPORNOG UZEMLJENJA ZVJEZDIŠTA

Luciano Delbianco, Pula

UDK 621.316.99

PREGLEDNI RAD

U članku je iznesena problematika uzemljenja razdjelnih transformatorskih stanica 10/20 /0,4 kV u mreži »Elektroistre« Pula, proračun karakterističnih veličina uzemljivača, kao i smjernice za njihovu izvedbu u uvjetima otpornog uzemljenja 10/20/kV zvjezdišta.

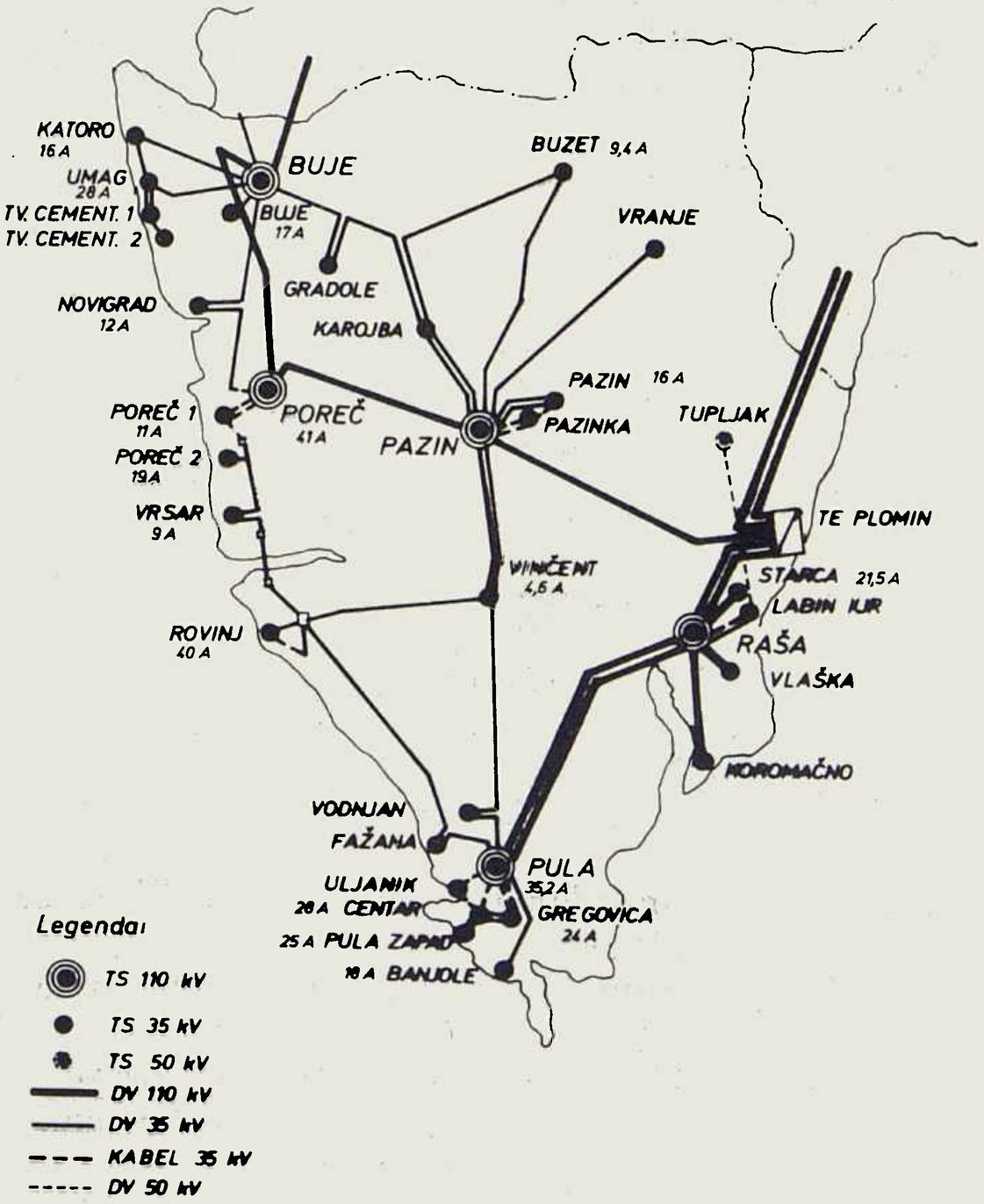
Ključne riječi: distributivna električna mreža, transformatorske stanice, uzemljenje, uzemljivači.

UVOD

Već se niz godina izgradnjom novih i rekonstrukcijom starih 10 kV mreža RO »Elektroistra« priprema za njihov prijelaz na 20 kV napon (s izuzetkom grada Pule) /2/.

Pri tome će buduća 20 kV mreža biti uzemljena putem djelatnog otpora niske vrijednosti kojom se ograničava struja jednopolnog kvara.

Do stvaranja nove 20 kV mreže proći će mnogo duže vremensko razdoblje, a budući da već sada struje zemnog spoja prelaze propisanu vrijednost od 20 A /1/ i utječu na povećanje unutrašnjih prenapona /10/, bit će potrebno i znatno prije uzemljiti neka područja 10 kV mreže (npr. Poreč, Rovinj, Umag, Labin i dr.) (sl. 1).



Sl. 1. Prikaz 110 i 35 kV postrojenja u pogonu

Dosadašnja iskustva pokazuju da još uvijek nisu usklađeni različiti stavovi o nizu važnih problema uzemljenja i uzemljivača razdjelnih mreža. Tako još nije određena veličina struje jednopolnog kvara. Zatim, sve donedavno projektiranje i izvedba uzemljenja vršila se prema uvjetima pogona postojećih 10 kV mreža s izoliranim zvjezdištem, itd.

Upravo zbog složenosti ovog područja i višestrukih problema, ovim radom pokušalo se uz konkretne prijedloge naći neka rješenja.

1. KARAKTERISTIKE RAZDJELNE 10(20) kV MREŽE RO »ELEKTROISTRA« PULA

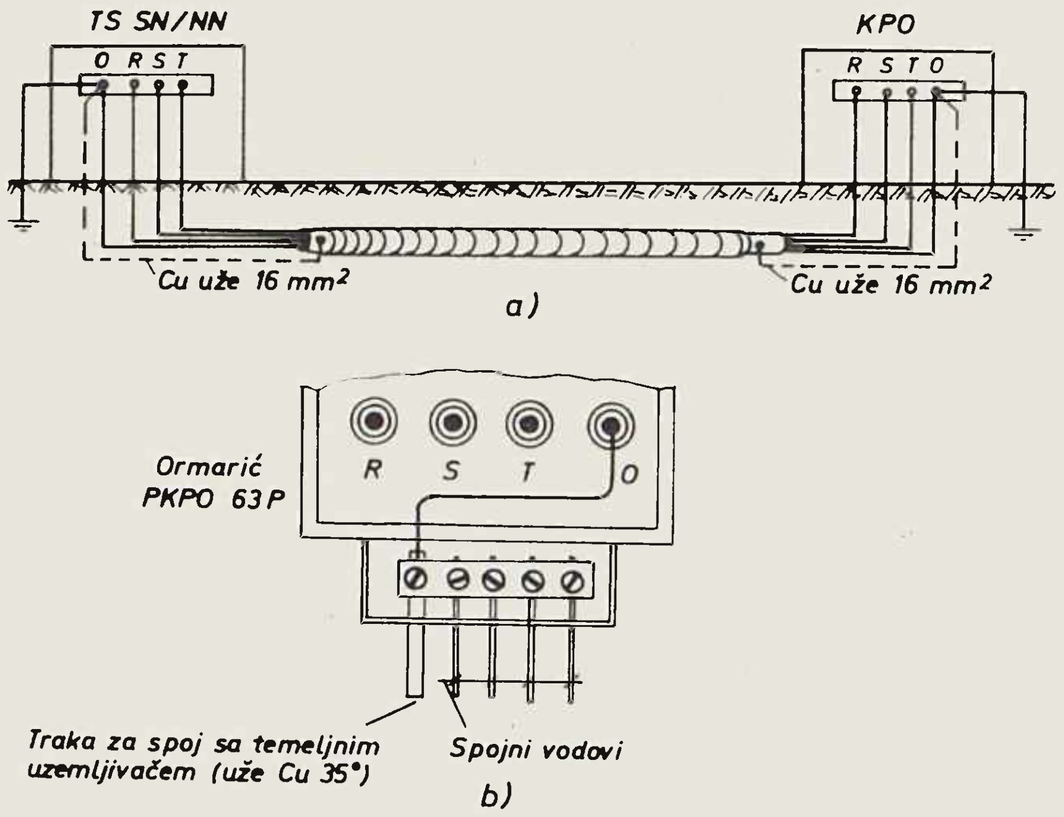
1.1. Kabelska 10(20) kV mreža

Kabelsku mrežu čine uglavnom trožilni 10 kV kabeli IPO 13 3×95 mm², IPO 13 A 3×185 mm², jednožilni 20 kV kabeli EHP 48 $3 \times 1 \times 96/25$ mm² i EHP 48 – A $3 \times 1 \times 150/25$ mm², te niskonaponski kabeli PP 41, odnosno u novije vrijeme PPOO /11/.

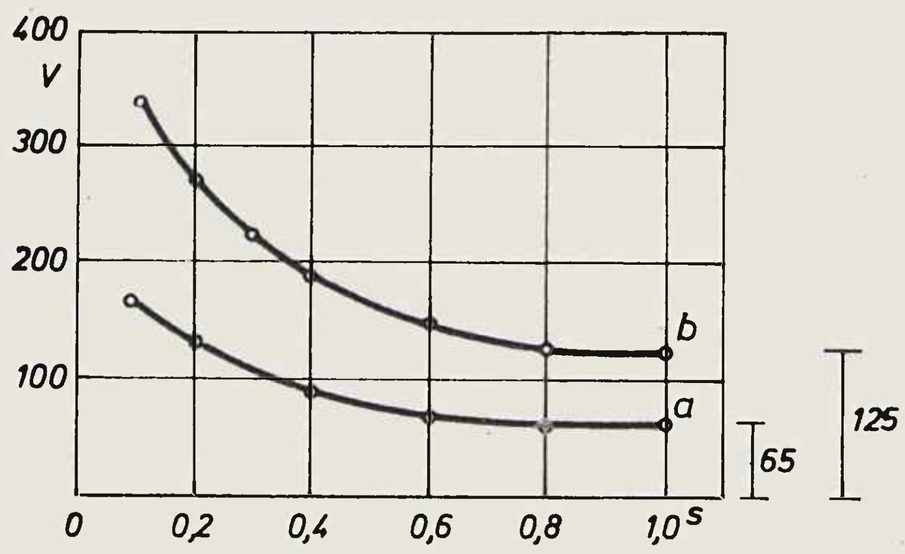
Pri tome su plaštevi, odnosno ekrani kabela galvanski povezani s uzemljivačima trafo-stanica, gdje se vodljiva veza nastavlja preko spojenog pogonskog i zaštitnog uzemljenja TS 10(20)/0,4 kV i neutralnog vodiča niskonaponskih kabela (nulovanje) do uzemljivača razdjelnih ormarića odnosno temeljnih uzemljivača niskonaponskih objekata (sl. 2).

Na taj način kabeli s uzemljivačima trafo-stanica i niskonaponskih objekata čine jedinstven sistem uzemljenja s niskim iznosima impedancija ($< 1\,\Omega$) /9/.

Taj je podatak vrlo bitan, naročito ako se uzme u obzir da se veličina dozvoljenog napona dodira izvan



Sl. 2. Spajanje uzemljenja



Sl. 3. Dozvoljen napon dodira:
a) izvan postrojenja,
b) u postrojenju

trafo-stanice i u niskonaponskoj mreži, kod primjene nulovanja, određuje prema sl. 3 /1/.

Dakle, vidljivo je da dozvoljeni napon dodira ovisi o dužini trajanja kvara (t), pa za naše mreže, koje se štite zemljospojnom zaštitom s vremenskim intervalom djelovanja od 0,6 sek, iznosi 70 V.

Taj se napon relativno lako postiže i kod većih struja jednopolnog kvara, npr. 300 A, upravo zahvaljujući niskim vrijednostima impedancije uzemljenja. Pri tome je, svakako, potrebno razlikovati mreže s kabelima tipa IPO 13 od mreža s kabelima tipa EHP-48. Naime, zahvaljujući olovnom plaštu koji nakon stanovitog vremena dolazi u neposredan kontakt s okolnim tlom, kabeli IPO 13 djeluju u sistemu uzemljenja kao dodatni elementi uzemljivača te bitno smanjuju impedanciju uzemljenja. Zbog toga, u ovakvim mrežama oblik i veličina uzemljivača TS 10/0,4 kV, kao i specifični otpor tla nemaju najveći utjecaj na smanjenje impedancije uzemljenja.

Međutim, u 10(20) kV mrežama s kabelima tipa EHP-48, koji imaju, s obzirom na tlo u koji su položeni, izolirani metalni plašt (ekran), situacija je nešto nepovoljnija.

Do smanjenja impedancije uzemljenja u ovom slučaju dolazi samo zahvaljujući činjenici da ekrani povezuju uzemljivače trafo-stanica, iz čega proizilazi da veličina i oblik uzemljivača TS 10(20)/0,4 kV kao i spec. otpor tla imaju bitnu ulogu u sistemu uzemljenja.

1.2. Nadzemna 10 kV mreža

Nadzemna se 10 kV mreža napaja, kao i kabelska mreža, radijalno iz tercijara TS 110 kV i TS 35/10 kV.

Razdioba energije pri tome se obavlja putem 10 kV dalekovoda koji su izgrađeni na drvenim, betonskim ili željezno-rešetkastim stupovima bez zaštitnog vodiča.

U TS 10/0,4 kV se pogonska i zaštitna uzemljenja spajaju zajedno, ali s obzirom na to da nema zaštitnih vodiča na 10 kV dalekovodima izostavljen je utjecaj uzemljivača stupova na smanjenje impedancije uzemljenja, pa se i uvjeti koji se prilikom uzemljenja zahtijevaju teže zadovoljavaju.

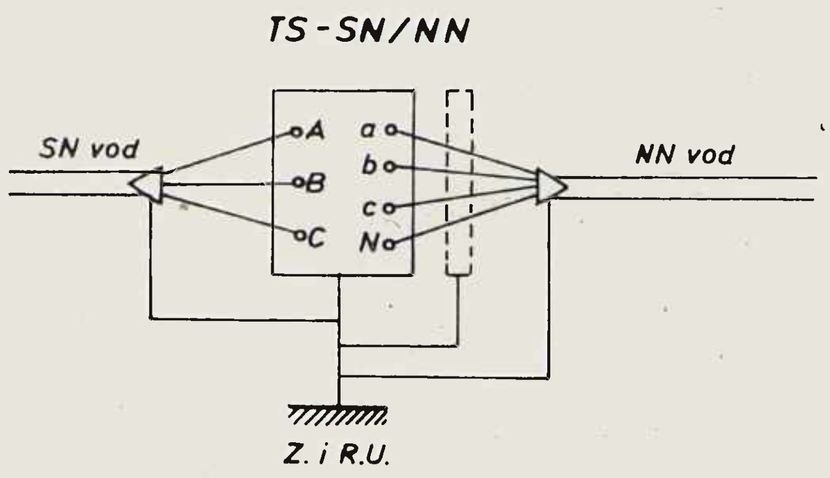
Stanje uzemljenja otežava također i činjenica da su niskonaponski uzemljivači vrlo rijetki, a uz to i skromnih veličina, što je i mjerenjima u lit. /9/ dokazano.

Dakle, može se konstatirati da u ovim mrežama veličinu impedancije uzemljenja određuju dimenzije i oblik uzemljivača TS 10(20)/0,4 kV, te u vezi s tim, i specifični otpor tla.

2. DIMENZIONIRANJE UZEMLJENJA TS 10(20)/0,4 kV

Bez obzira na to radi li se o 10 ili 20 kV naponu, ako je u niskonaponskoj mreži za zaštitu od dodirnog napona primijenjeno nulovanje, uzemljivače TS 10(20)/0,4 kV treba dimenzionirati prema sljedećim formulama:

a) spojeno pogonsko i zaštitno uzemljenje (sl. 4).

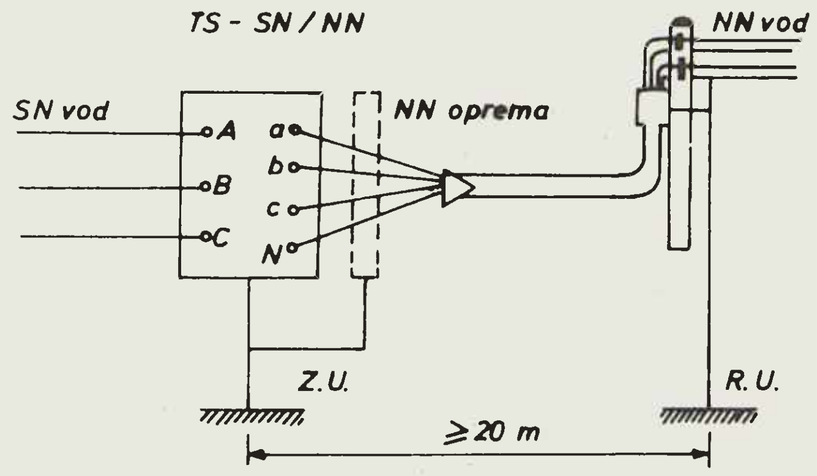


Sl. 4. Zajednički uzemljivač

$$Zuz \leq \frac{Udd}{r \cdot I_{1PK}} (154) \qquad (1)$$

gdje je: Zuz — impedancija uzemljenja TS 10(20)/0,4 kV u (Ω)
Udd — dozvoljeni napon dodira prema sl. 3. u (V)
I_{1PK} — ukupna struja jednopolnog kvara koja je određena veličinom djelatnog otpora u zvjezdištu, u (A)
r — redukcioni faktor kabela ili zaštitnog vodiča.

b) odvojeno pogonsko i zaštitno uzemljenje (sl. 5).



Sl. 5. Primjer razdvajanja pogonskog i zaštit. uzemljenja

$$Ruz \leq \frac{\kappa i \; Ui}{r \; I_{1PK}} \; (\Omega) \qquad (2)$$

gdje je: Ruz — otpor rasprostiranja uzemljivača TS 10(20)/0,4 kV u (Ω)
κi — koeficijent sigurnosti (κ ≤ 1), koji najčešće iznosi 0,6
Ui — ispitni izmjenični napon niskonaponske opreme (V) čija je vrijednost uglavnom 2 000 V.

2.1. Procjena osnovnih veličina

2.1.1. Struja jednopolnog kvara

Veličine struja jednopolnog kvara u ovisnosti o tipu mreže prikazane su u tablici 1:

Tablica 1.

Vrsta mreže	Tip kabela	Nap. nivo	Max. struja jed. kvara
		kV	A
kabelska	IPO-13	10	300
kabelska	EHP-48	10(20)	≤ 300
mješovita	EHP-48	10(20)	≤ 300
nadzemna	—	20	± 300

Dakle, kao što je već u uvodu istaknuto, jedino je za kabelsku mrežu s kabelima tipa IPO-13 već definiran iznos struje jednopolnog kvara (300 A). Za ostale mreže može se sa sigurnošću konstatirati da struje kvara neće prijeći vrijednost od 300 A.

2.1.2. Redukcioni faktor

Mjerenja izvršena u lit. /9/ pokazala su da najmanje redukcione faktore imaju kabeli s izolacijom od papira i olovnim plaštem (tip IPO-13, odnosno NKBA), i to oko 0,2, zatim kabeli s izoliranim vanjskim plaštem i izolacijom od polietilena (tip. EHP 48) oko 0,4, dok su se najslabijima pokazali kabeli tipa PP 41 (NYBY) čiji redukcioni faktor iznosi oko 0,8.

Iz navedenog slijedi da najmanja struja jednopolnog kvara teče kroz uzemljivače TS u kabelskim mrežama s kabelima IPO 13. Ovi kabeli osim toga, zbog vodljivog vanjskog plašta, bitno pridonose i smanjenju impedancije uzemljenja.

Na nadzemne se 20 kV vodove zaštitno uže u principu neće postavljati, što znači da će uzemljivače trebati dimenzionirati, kao i do sada, s obzirom na ukupnu struju jednopolnog kvara.

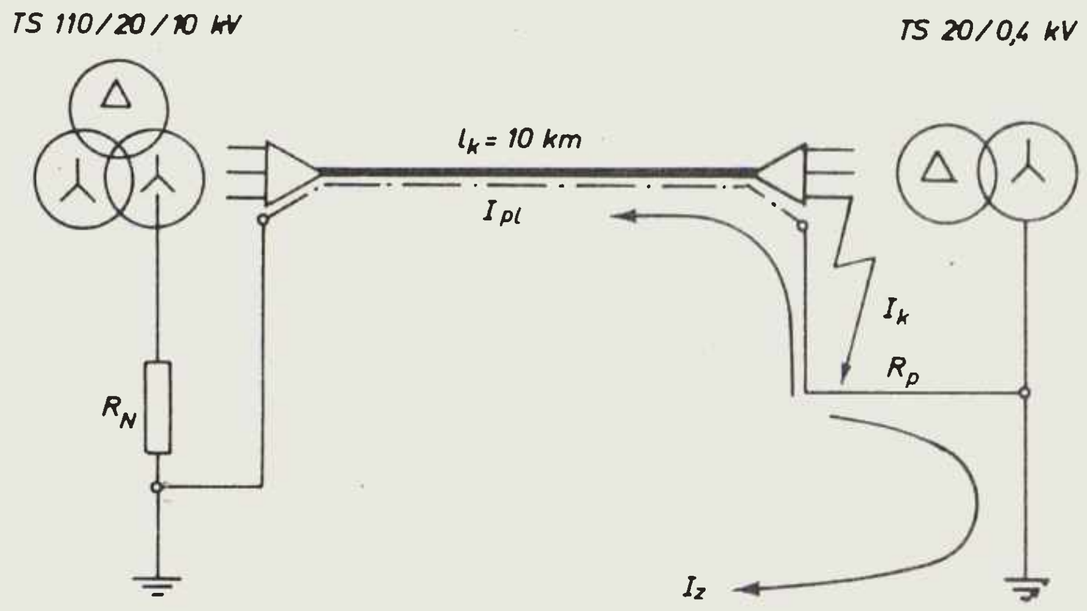
2.1.3. Napon dodira

Prema lit. /1/ visina dozvoljenog napona dodira na uzemljenim elementima TS 10(20)/0,4 kV, kao i niskonaponske mreže ovisi o vremenu trajanja jednopolnog kvara (sl. 3).

S obzirom na to, promatrajući isključivo problematiku uzemljenja, najpovoljnije je da zaštita u budućim TS 110/20 kV djeluje trenutno. Naime, u tom su slučaju dopušteni najveći iznosi napona dodira.

Međutim, trenutnim djelovanjem zaštite u izvornim se trafo-stanicama gubi princip selektivnosti, tj. za svaki se jednopolni kvar isključuje cijeli vod. Da bi se postiglo da prilikom kvara bude isključen najmanji dio voda, odnosno da najbrže djeluje zaštita trafostanice koja je najbliža kvaru, potrebno je da vrijeme djelovanja zaštite u izvornim trafo-stanicama bude veće od vremena djelovanja zaštite u TS 10(20)/0,4 kV. Zbog toga će na idućem primjeru biti prikazan jedan od načina određivanja navedenog vremenskog intervala djelovanja zaštita.

Pretpostavit ćemo jednopolni kvar u kabelskoj mreži s kabelima EHP 48-A 3 × 1 × 150/25 mm² prema sl. 6.



Sl. 6. Jednopolni kvar u TS 10(20)/0,4 kV

Maksimalna struja jednopolnog kvara određena je veličinom otpora u zvjezdištu i iznosi (tabl. 2).

Tablica 2.

$Un_{mreže}$	Un_{otpor}	I_n	R_N
kV	kV	A	
20	12	300	40

Minimalna struja kvara može se izračunati pomoću izraza /12/

$$3\bar{I}o = \frac{\sqrt{3}\,\bar{U}\,f}{\bar{Z}d + \bar{Z}i + \bar{Z}o + 3R + 3\bar{Z}p} \; (A) \qquad (3)$$

gdje je:

Io — nulta komponenta struje jednopolnog kvara (A)
Uf — fazni napon (V)
Žd, Ži, Žo — direktna, inverzna i nulta impedancija mreže reducirana na mjesto kvara (Ω)
R_N — djelatni otpor kojim je uzemljeno zvjezdište (Ω)
Žp — prijelazna impedancija na mjestu kvara (Ω).

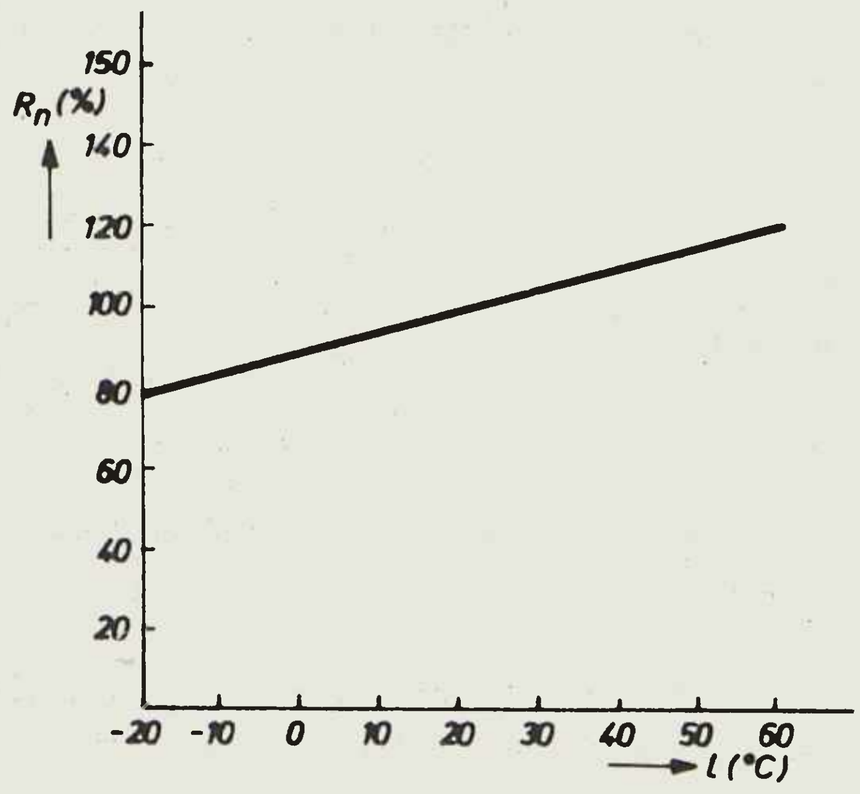
Uz zanemarenje induktivnih otpora svih elemenata mreže, izraz (3) može se pisati kao:

$$I_{1Pk} = \frac{\sqrt{3}\,U}{1_K(2R_K + R_{ok}) + 3R_N + 3R_L} \text{ (A)} \qquad (4)$$

gdje je:

U — linijski napon (V)
1_K — dužina kabela (km)
R_K — djelatna komponenta direktne odnosno inverzne impedancije kabela (Ω)
R_{ok} — djelatna komponenta nulte impedancije kabela (Ω)
$R = 1{,}1\ R_N$ — djelatni otpor otpornika u zvjezdištu pri temperaturi 35 °C (sl. 7)
$R_L = 3\Omega$ — djelatni otpor luka procjenjen prema lit. /17, 18/.

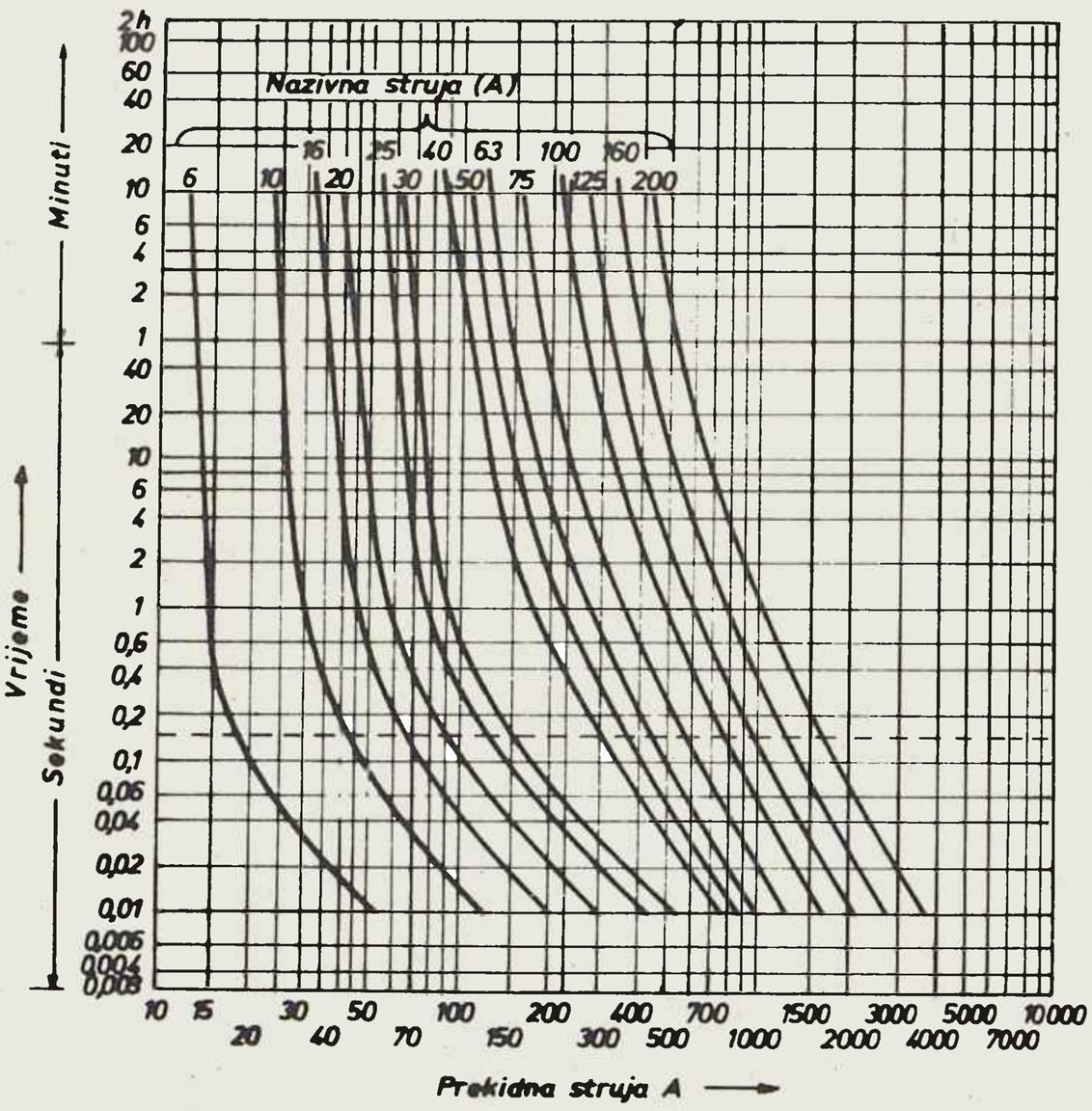
Uvrštavajući odgovarajuće vrijednosti u izraz (4), minimalna struja jednopolnog kvara iznosi 225 A.



Sl. 7. Ovisnost djelatnog otpora metalnog otpornika za uzemljenje zvjezdišta o temperaturi

Kao što smo naglasili, zbog selektivnog djelovanja zaštite, u slučaju jednopolnog kvara u TS 20/0,4 kV, pripadajući VN osigurač treba pregorjeti prije djelovanja zaštite u vodnom polju TS 110/20 kV.

Za transformatore od 630 kVA koritit će se VN osigurači nazivne struje 40 A /13/, koji pregaraju, za struje jednopolnog kvara između 225 i 300 A u vremenu od 0,16 do 0,4 sek (sl. 8).



Sl. 8. I-t krivulja VN osigurača »Mehanika« Trbovlje

S obzirom na to, uzevši u obzir stanovitu rezervu, dolazimo do zaključka da zaštita od jednopolnih kvarova u TS 110/20 kV ne smije djelovati prije isteka vremena **od 0,5 sek.**

Prema sl. 3, za vrijeme od 0,5 sek, dozvoljeni napon dodira iznosi

Ud = 78 (V).

2.2. Proračun uzemljenja

Ako se u jednadžbe (1) i (2) uvrste veličine iz prethodnih poglavlja, dobivaju se sljedeće vrijednosti:

a) spojeno pogonsko i zaštitno uzemljenje

— u kabelskoj mreži s kabelima EHP 48 A $3 \times 1 \times 150/25$ mm²

$$Zuz = \frac{78}{0{,}4 \cdot 300} = 0{,}65\ (\Omega)$$

— u nadzemnoj mreži

$$Zuz = \frac{78}{300} \div \frac{78}{150} = 0{,}26 \div 0{,}52\ (\Omega)$$

b) odvojeno pogonsko i zaštitno uzemljenje

— u kabelskoj mreži s kabelima EHP 48 A $3 \times 1 \times 150/25$ mm²

$$Ruz = \frac{1\,200}{0{,}4 \cdot 300} = 10\ (\Omega)$$

= u nadzemnoj mreži

$$Ruz = \frac{1\,200}{300} \div \frac{1\,200}{150} = 4 \div 8\ (\Omega)$$

3. IZVEDBA I PRORAČUN UZEMLJIVAČA TS 10(20)/0,4 kV

Otpor bilo kojeg uzemljivača može se odrediti pomoću izraza

$$R = K\rho\ (\Omega) \qquad (5)$$

gdje je:
K — koeficijent koji ovisi o dimenzijama i obliku uzemljivača
ρ — specifični otpor tla (Ωm).

Dakle, kao što je vidljivo, otpor uzemljivača neposredno ovisi o specifičnom otporu tla. Zbog toga je potrebno ovu veličinu što točnije fizikalno poznavati kako bi se prilikom mjerenja, a zatim i proračuna, izbjegle eventualne greške.

Naime, preuveličavanjem specifičnog otpora tla dobivaju se nepotrebno veliki i skupi uzemljivači, dok se sa suviše malim specifičnim otporom dobivaju uzemljivači koji prilikom kvarova ne pružaju dovoljnu sigurnost od napona dodira.

3.1. Specifični otpor tla

Tlo je u većini slučajeva nehomogeno, a sastoji se od više slojeva zemlje, različitog geološkog sastava i različite promjenljive debljine (sl. 9).

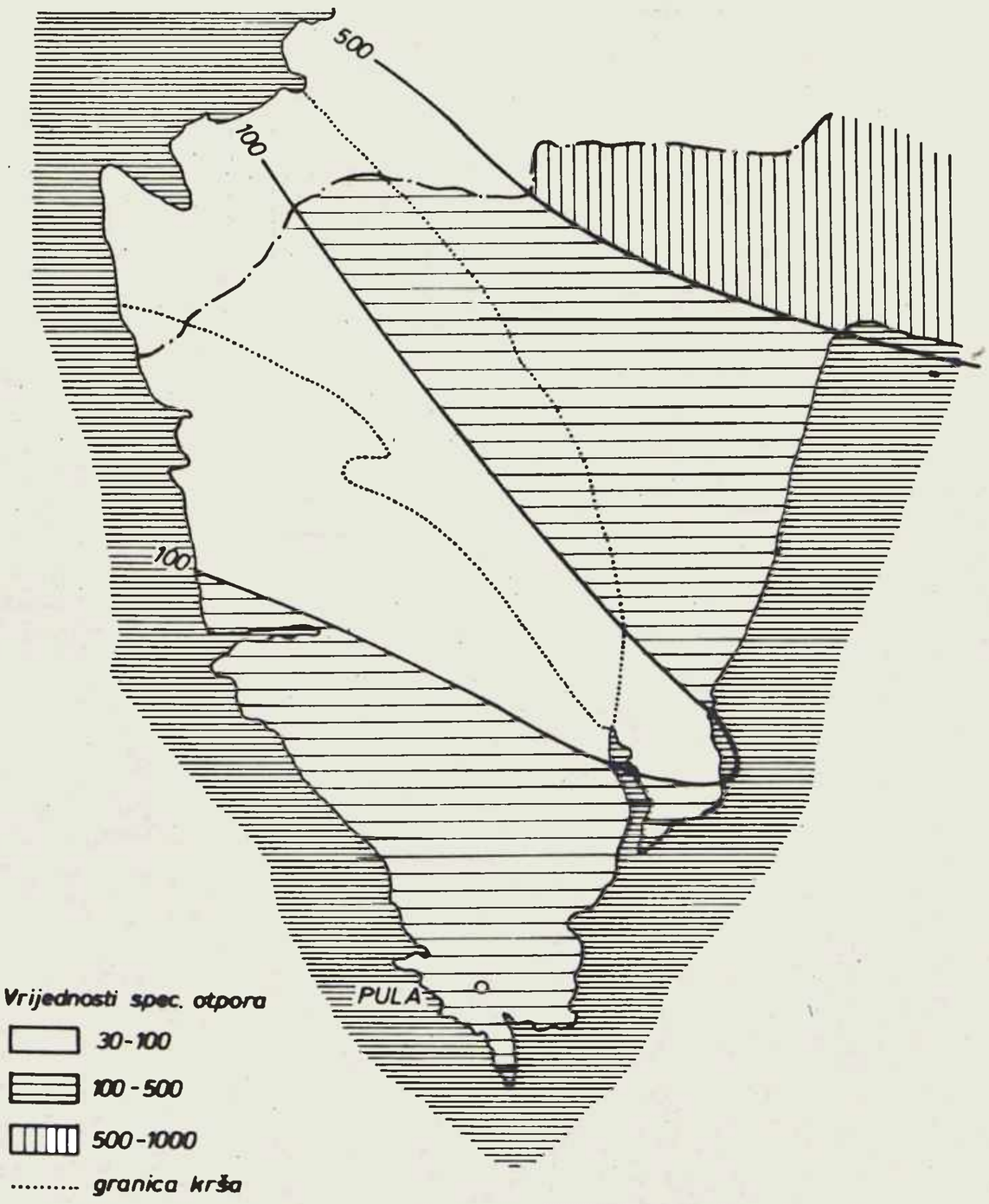
U praksi se najviše susrećemo sa smjesama zemljišta čiji specifični otpor ovisi o vrsti i količini sastojaka. Tipični su primjeri smjesa šljunak i pijesak, glina i pijesak, te humus i pijesak, uz veoma mnogo varijacija, što ovisi o udjelu pojedinih sastojaka. Dakako, specifični otpor smjesa pri tome se kreće u vrlo širokim granicama /7/ što je vidljivo u tabl. 3.

Tablica 3.

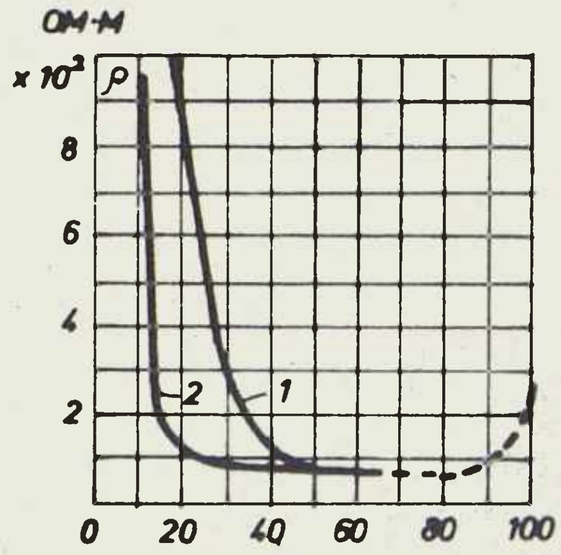
Specifični otpor važnijih stijena (geoloških vodiča)	
granit, gabro, dijabaz, bazalt	400 – 100 000 om. m
gnajs	600 – 10 000 om. m
kolomit	200 – 10 000 om. m
vapnenac kompaktan	400 – 20 000 om. m
vapnenac raspucan, rastrošen	30 – 30 000 om. m
šljunak	60 – 6 000 om. m
konglomerat	200 – 4 000 om. m
pješčanik	100 – 2 000 om. m
pijesak	2 – 2 000 om. m
lapor	10 – 400 om. m
glineni škriljavac	10 – 200 om. m
glina, ilovača, crvenica	1 – 60 om. m

Vrijednost specifičnog otpora pojedine smjese nije, međutim, uvjetovana samo njezinim sastavom, već i količinom vode, soli i kiselina u njoj. Naime, voda sa solima i kiselinama stvara elektrolite koji su najbitniji »u z r o k« protjecanju struje kroz zemlju. S druge strane, količina vode u tlu, odnosno njegova vlažnost ne ovisi samo o količini oborina i blizini podzemnih voda, već i o strukturi tla.

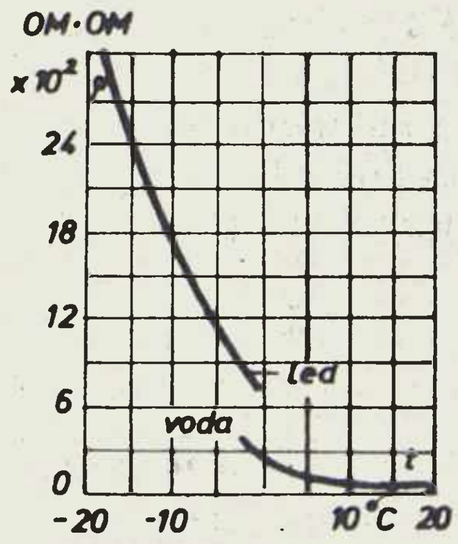
Osim toga, potrebno je istaknuti da specifičan otpor tla, osim o navedenoj strukturi i količini vode, ovisi i o nizu drugih faktora, kao što su vlažnost (sl. 10), temperatura (sl. 11), zbijenost zemljišta i godišnje doba /3, 7/.



Slika 9.



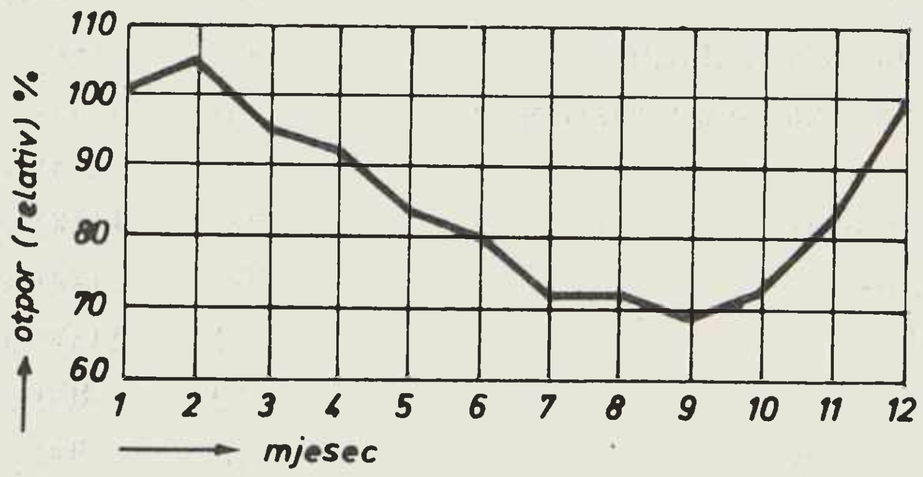
Sl. 10. Ovisnost ρ tla o vlažnosti:
1. pijesak
2. glina, humus



Sl. 11. Ovisnost ρ o temperaturi (glina pomiješana s pijeskom koji u sebi sadrži 15% vlage)

Naime, mjerenjima je utvrđeno da se promjenama atmosferskih uvjeta mijenja temperatura zemlje, sadržaj i fizički sastav vode u zemlji, zasićenost različitih slojeva tla, itd.

Zbog toga se specifični otpor tla, od površine pa do nekoliko metara dubine (oko 2 m), u »sloju sezonskih promjena«, veoma mijenja. Tako se, npr. ρ tla povećava nakon velikih suša i nakon zamrzavanja tla, a u ostalim se razdobljima smanjuje (sl. 12).



Sl. 12. Promjena ρ tla u toku godine

Ako se mjerenja specifičnog otpora tla provode u najnepovoljnijim razdobljima, potrebno je izmjerene vrijednosti sloja sezonskih promjena ρ izmj., zamijeniti računskih specifičnim otporom ρ rač. /19/

$$\rho \text{ rač} = \rho \text{ izmj.} \,.\, K \quad (\Omega\,m) \qquad (6)$$

gdje je:

K — sezonski koeficijent tla kojim se obuhvaća povećanje specifičnog otpora sloja sezonskih promjena (tabl. 4).

Tablica 4.

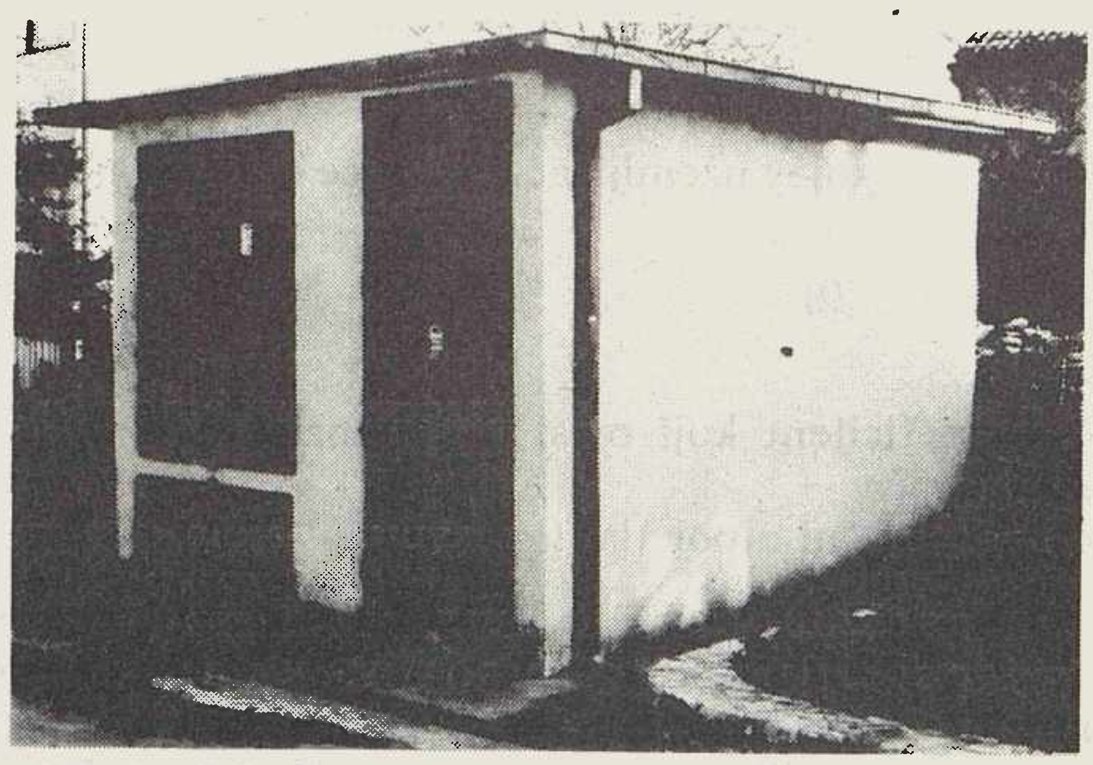
Tip uzemljivača	Vrijednost koeficijenta K	
	Vlažna zemlja	Suha zemlja
trakasti uzemljivač položen na dubinu 0,5 m	1,8	1,4
trakasti uzemljivač položen na dubinu 0,8 – 1,0 m	1,45	1,25
vertikalni uzemljivač duljine 2 – 3 m	1,3	1,15
dubinski uzemljivač položen na dubinu 2 – 3 m	1,1	1,0

3.2. Proračun uzemljivača

U nastavku bit će prikazani, u obliku dijagrama, proračuni karakterističnih veličina uzemljivača TS 10(20)/0,4 kV u mreži »Elektroistre« Pula.

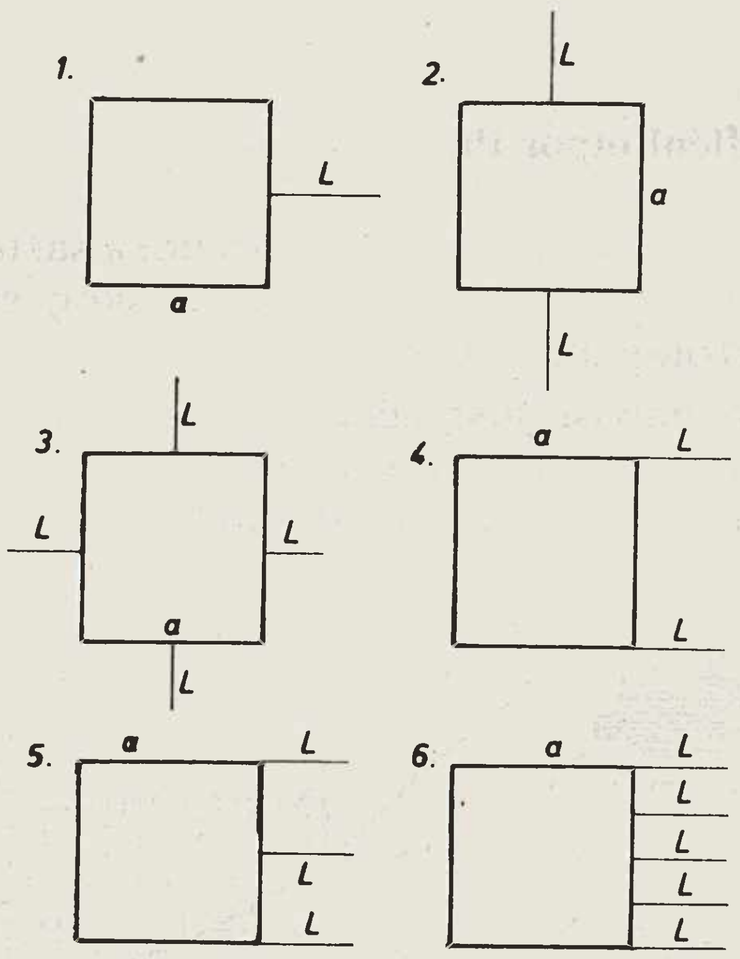
3.2.1. Uzemljivači u 10(20) kV kabelskim mrežama

Na sl. 13. prikazana je tipična 10(20)/0,4 kV koja se susreće u gradskim sredinama.

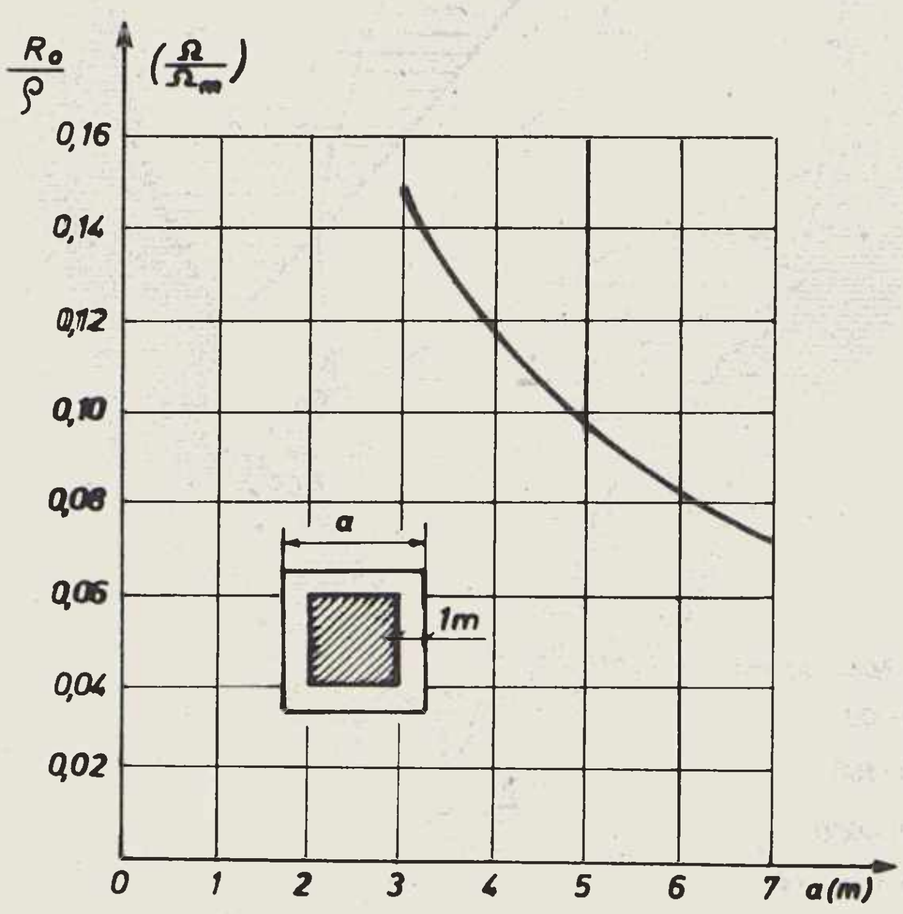


Sl. 13. TS 10(20)/0,4 kV gradskog tipa

Proračuni otpora rasprostiranja najčešćih oblika uzemljivača navedenih trafo-stanica prikazani su na slikama 14, 15 i 16 /4, 6/.

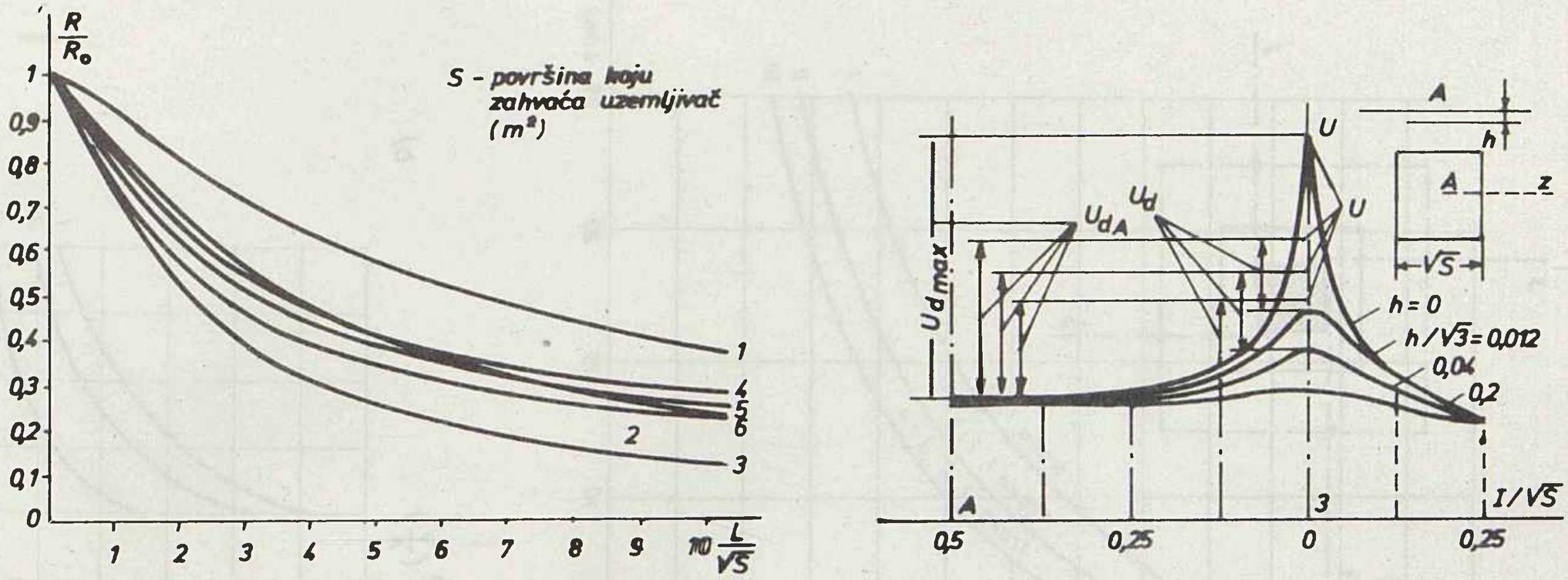


Slika 14.



Slika 15.

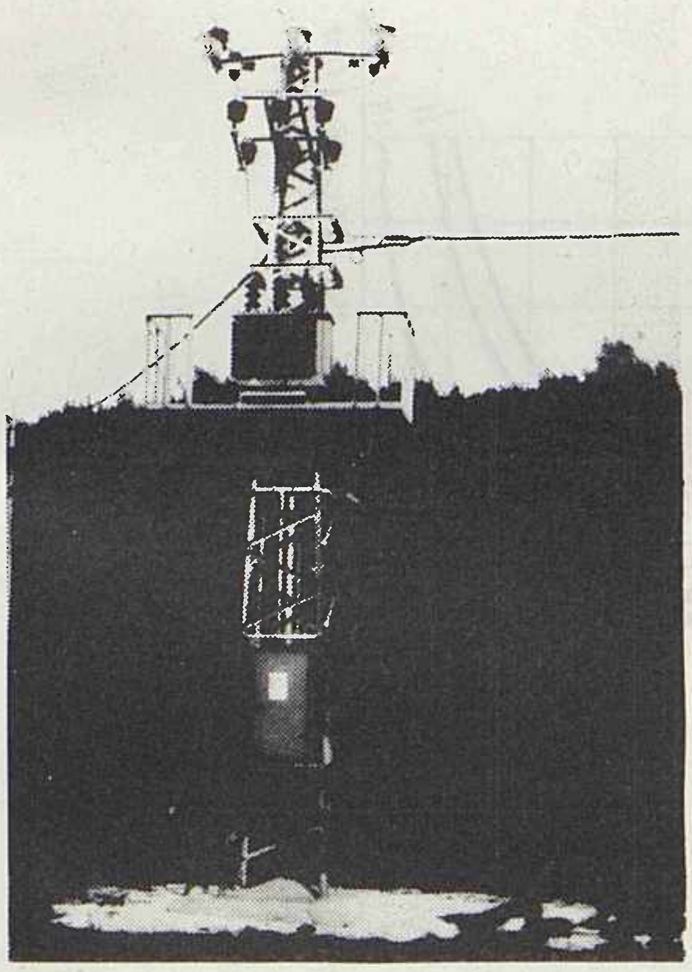
Slika 16.



3.2.2. Uzemljivači TS 10(20)/0,4 kV u nadzemnim mrežama

U nadzemnim 10(20) kV mrežama postoje dva tipa TS 10(20)/0,4 kV:

— trafo-stanice na željezno-rešetkastom stupu (tipa »Dalekovod« (sl. 17) i »Elektroistra«)



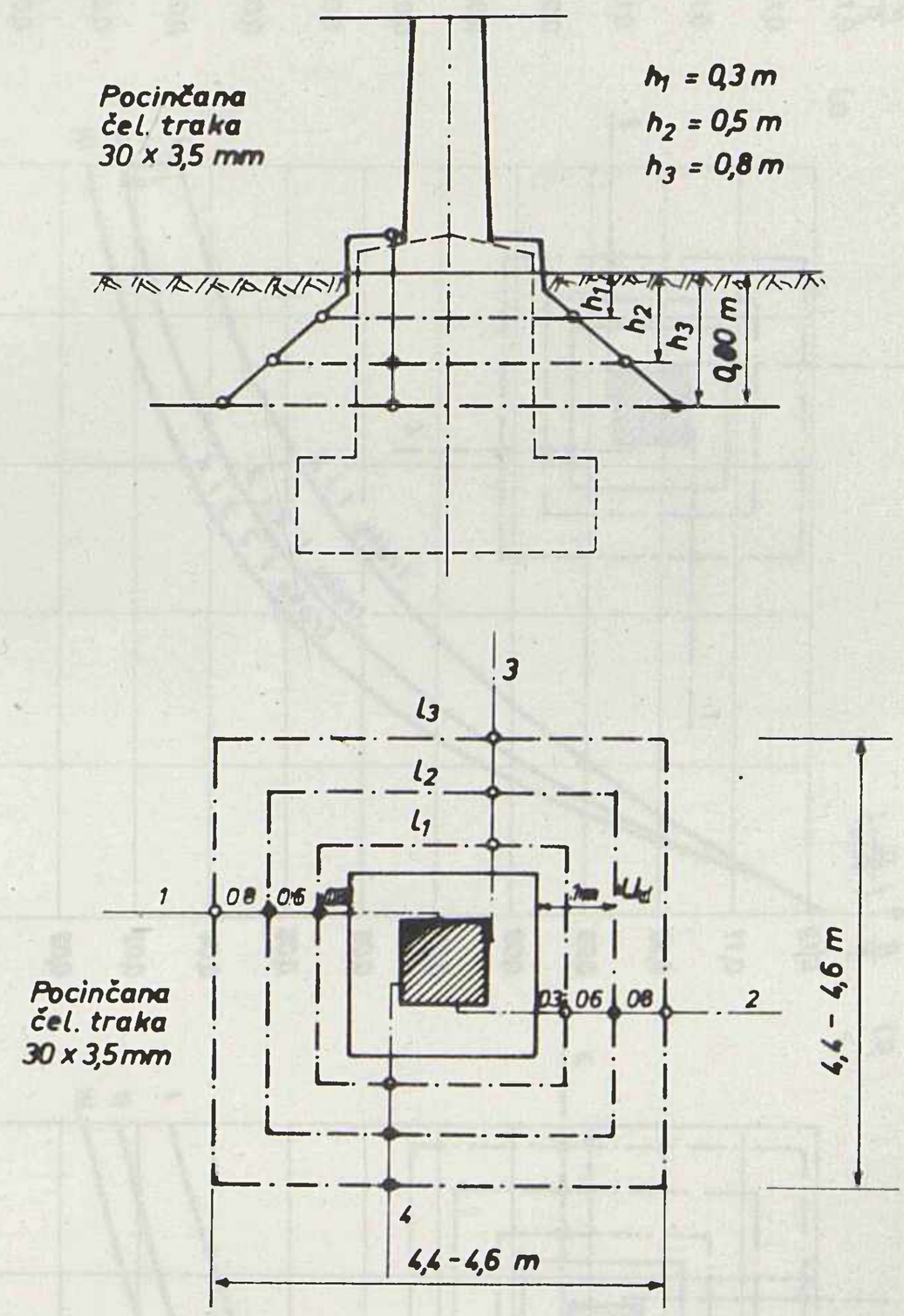
Sl. 17. Stupna TS 10(20)/0,4 kV tip »Dalekovod«

— zidane trafo-stanice tkz. »tornjić« (sl. 18).



Sl. 18. TS 10(20)/0,4 kV »Tornjić«

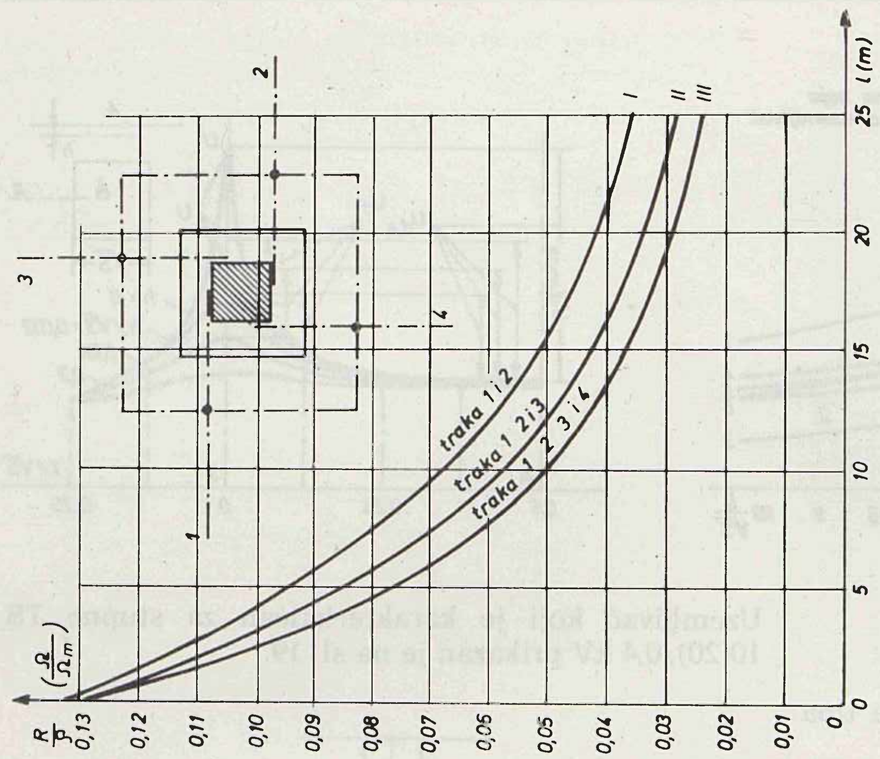
Uzemljivač koji je karakterističan za stupne TS 10(20)/0,4 kV prikazan je na sl. 19.



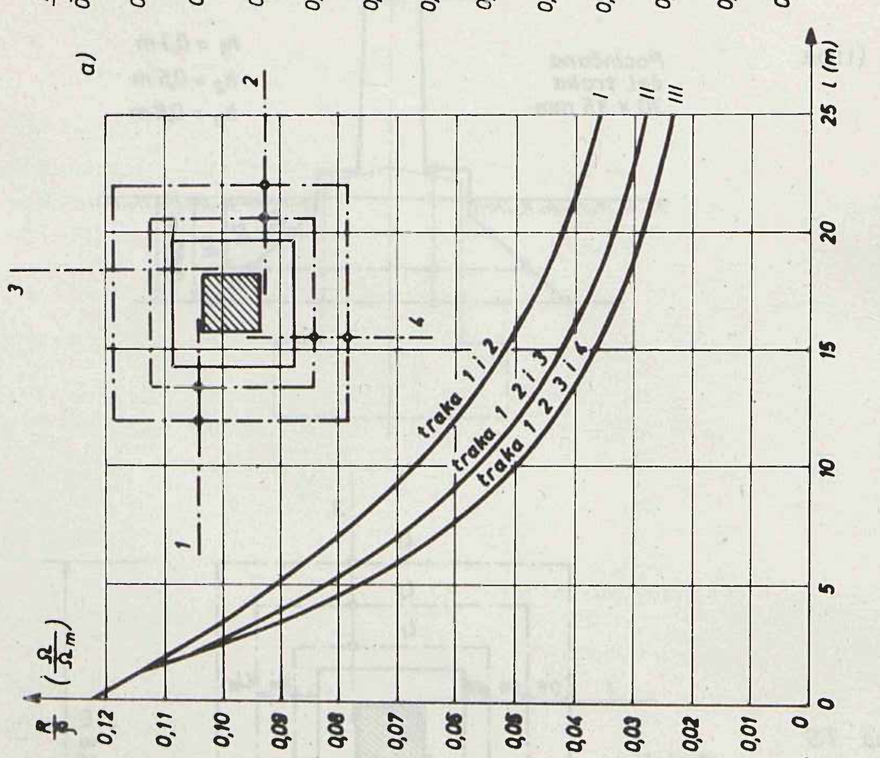
Sl. 19. Uzemljivač stupne TS 10(20)/0,4 kV

Rezultati proračuna otpora rasprostiranja najčešćih kombinacija uzemljivača sa sl. 18. i 19. prikazani su na slikama 20—24. Također je prikazana i ovisnost napona dodira i struji jednopolnog kvara o dužini trakastih uzemljivača za stajno mjesto čovjeka 1 m od TS /8/.

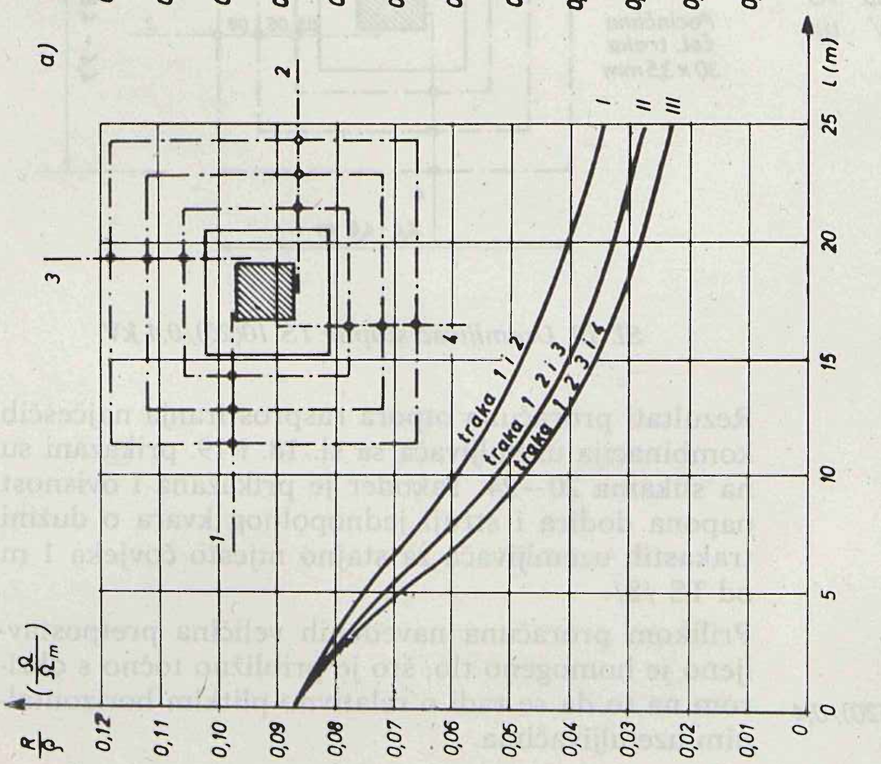
Prilikom proračuna navedenih veličina pretpostavljeno je homogeno tlo, što je približno točno s obzirom na to da se radi o relativno plitkim horizontalnim uzemljivačima.



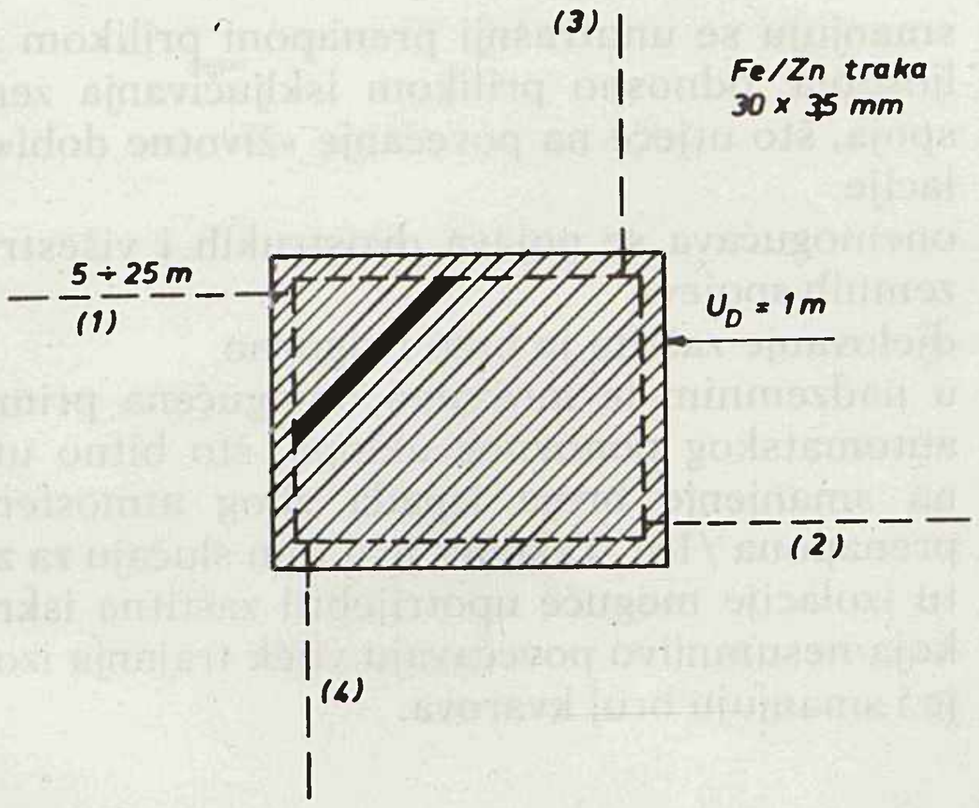
Slika 20.



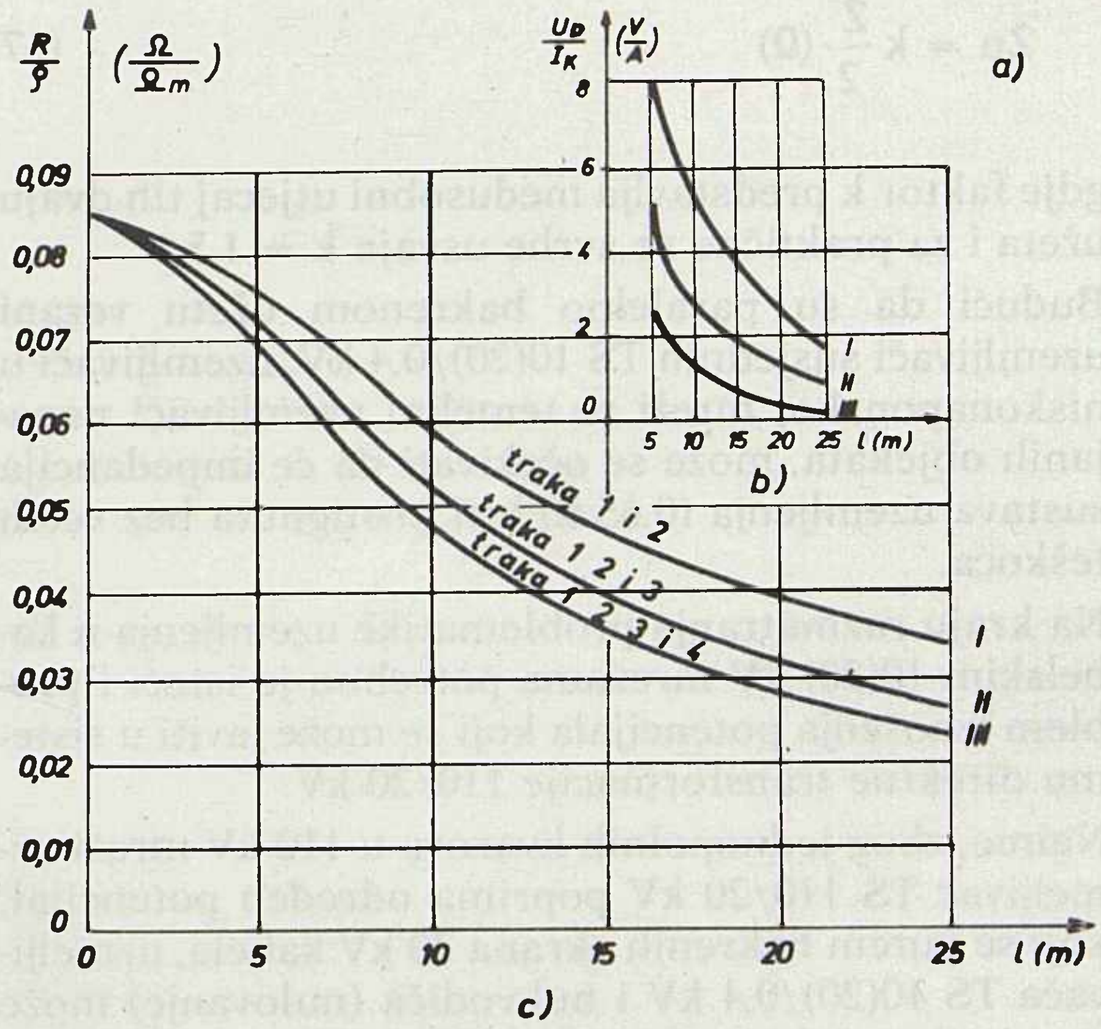
Slika 21.



Slika 22.



Slika 23.



Slika 24.

4. ZAKLJUČAK

4.1. Kabelske 10(20) kV mreže

U kabelskim mrežama, koje su karakteristične za urbanizirane gradske sredine, nemoguće je odvajati pogonska i zaštitna uzemljenja /1/, pa ovu mogućnost nećemo dalje razmatrati.

Impedanciju uzemljenja u kabelskoj 10(20) kV mreži, s kabelima tipa EHP 48 A $3 \times 1 \times 150/25$ mm² od oko 0,65 Ω, vrlo je teško postići i kod zemljišta s niskim specifičnim otporom. Zbog toga je potrebno utjecati na veličine koje neposredno određuju impedanciju uzemljenja, a to su struja jednopolnog kvara (I_{1K}) i redukcioni faktor kabela (r).

Povećanjem otpora u zvjezdištu smanjuje se struja jednopolnog kvara, čime se dobija povoljnija vrijednost impedancije uzemljenja (npr. za I_{1K} = 150 A slijedi Zuz = 1,3 Ω). Međutim prema lit. /10/ smanjenjem vrijednosti struje jednopolnog kvara povećavaju se unutrašnji prenaponi u mreži, pa ovu mjeru treba prihvatiti tek kao »posljednji izlaz«.

Na smanjenje impedancije sustava i redukcionog faktora moguće je utjecati na dva načina:

— proizvodnjom novih tipova jednožilnih kabela kojima će biti povećan redukcioni faktor /14/ (povećanjem presjeka ekrana ili ugradnjom vanjskog metalnog plašta tzv. PE-kabeli)
— polaganjem bakrenog užeta po trasi kabela koji bi se spojio zajedno s ekranom na uzemljivač TS 10(20)/0,4 kV.

4.1.1. Uzemljivači s bakrenim užetom

Bakreno uže položeno po kabelskoj trasi i povezano sa uzemljivačima TS 10(20)/0,4 kV ima svojstvo da nakon neke granične dužine (1 g) poprima najnižu moguću impedanciju tzv. karakterističnu impedanciju Ž (tabl. 5).

Povećanjem dužine bakrenog užeta iznad granične dužine karakteristična impedancija ostaje nepromijenjena.

Tablica 5. ρ = 400 Ωm

S	mm²	35	50	70	95	120	150
Ž	Ω	1,1	1,06	1,03	1,00	0,99	0,98

Budući da se povećanjem presjeka neznatno smanjuje karakteristična impedancija užeta, za upotrebu se predlaže Cu 50 mm².

Prema lit. /5/ izračunati su karakteristični parametri Cu – užeta 50 mm² sa 7 žica i jediničnim djelatnim otporom 0,365 Ω/km (tabl. 6).

Tablica 6.

ρ	$\bar{x}$	$\bar{z}$	$\bar{y}$	$\bar{Z}$	1g
Ωm	Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km	m
300	0,825	0,902	1,089	0,91	1 854
400	0,834	0,910	0,817	1,06	2 150
500	0,841	0,917	0,654	1,18	2 410

Oznake u tabl. 6. predstavljaju:

ρ (Ωm) — specifični otpor tla
$\bar{x}$ (Ω/km) — jediničnu reaktanciju
$\bar{z}$ (Ω/km) — jediničnu impedanciju
$\bar{y}$ (S/km) — jediničnu poprečnu admitanciju
$\bar{Z}$ (Ω/km) — karakterističnu impedanciju
1g (m) — graničnu dužinu.

Prilikom proračuna uzemljenja TS 10(20)/0,4 kV potrebno je promatrati dva bakrena užeta (ulaz u TS i izlaz iz nje), pa impedancija sustava uzemljenja iznosi: /15/.

$$Žu = k \frac{Ž}{2} \ (\Omega) \qquad (17)$$

gdje faktor k predstavlja međusobni utjecaj tih dvaju užeta i za praktične se svrhe usvaja k = 1,5.

Budući da su paralelno bakrenom užetu vezani uzemljivači susjednih TS 10(20)/0,4 kV, uzemljivači u niskonaponskoj mreži te temeljni uzemljivači napajanih objekata, može se očekivati da će impedancija sustava uzemljenja (0,65 Ω) biti postignuta bez većih teškoća.

Na kraju razmatranja problematike uzemljenja u kabelskim 10(20) kV mrežama potrebno je istaći i problem iznošenja potencijala koji se može javiti u sistemu direktne transformacije 110/20 kV.

Naime, zbog jednopolnih kvarova u 110 kV mreži uzmeljivač TS 110/20 kV poprima određen potencijal, koji se putem bakrenih ekrana 20 kV kabela, uzmeljivača TS 10(20)/0,4 kV i nul-vodiča (nulovanje) može prenijeti u niskonaponsku mrežu.

Ova se problematika može riješiti na više načina, a neki od njih su:

- ograničenje struje jednopolnog kvara u mreži 220/110 kV
- pravilno dimenzioniranje uzemljivača TS 110/20 kV
- postavljanjem bakrenog užeta u 20 kV mreži
- ugradnjom naponskih zaštitnih sklopki u niskonaponskoj mreži.

4.2. Nadzemne 10(20) kV mreže

U nadzemnim se 10(20) kV mrežama problem uzemljenja može riješiti odvajanjem pogonskih i zaštitnih uzemljenja, uz izbor odgovarajuće struje jednopolnog kvara, te uz minimalne korekcije uzemljivača TS 10(20)/0,4 kV /9/.

Ako se zadrži spojeno pogonsko i zaštitno uzemljenje i nulovanje u niskonaponskoj mreži, bit će potrebno osjetno smanjiti struju jednopolnog kvara, čime se efekti uzemljenja zvjezdišta smanjuju (unutrašnji prenaponi rastu, djelovanje zaštite je nesigurnije itd.).

Primjena strujne ili naponske zaštitne sklopke u niskonaponskim mrežama i u ovom bi slučaju omogućilo uzemljenje zvjezdišta bez opasnosti od opasnih napona dodira i kod većih struja jednopolnih kvarova.

Iako je na taj način niskonaponska mreža osigurana, opasnosti od dodirnih napona ostaju prisutni u 20 kV mreži. Međutim, primjenom dodatnih zaštitnih mjera (ekvipotenciranje, asfaltiranje ili pošljunčivanje mjesta oko TS), postavljanjem na željezno-rešetkaste stupove zaštitno uže od vodljivog materijala, kao što je npr. AlMg i ovaj je problem moguće riješiti.

Na kraju treba napomenuti da bi srednjonaponske mreže bilo dobro uzemljiti putem djelatnog otpora niske vrijednosti bez obzira na iznose struja zemnog spoja, jer se time između ostalog postiže sljedeće:

- smanjuju se unutrašnji prenaponi prilikom zemljospoja, odnosno prilikom isključivanja zemljospoja, što utječe na povećanje »životne dobi« izolacije
- onemogućava se pojava dvostrukih i višestrukih zemnih spojeva
- djelovanje zaštite je brzo i sigurno
- u nadzemnim je mrežama omogućena primjena automatskog ponovnog uklopa, što bitno utječe na smanjenje broja ispada zbog atmosferskih prenapona /16/. Također je u tom slučaju za zaštitu izolacije moguće upotrijebiti zaštitna iskrišta, koja nesumnjivo povećavaju vijek trajanja izolacije i smanjuju broj kvarova.

LITERATURA

1. Zbirka elektrotehničkih propisa »Službeni list« Beograd, 1979.
2. *Uzemljenje zvjezdišta kabelskih mreža 10 kV grada Pule* EI, Zagreb, 1981.
3. Dolin P. A.: *Osnovi sigurnosne tehnike u električnim postrojenjima* (knjiga na ruskom), Energija 1979. god.
4. Nahman J.: *Uzemljenje neutralne točke distributivnih mreža*, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
5. Žutobradić S., Filipović B.: *Zaštita od opasnog, dodirnog napona u distributivnim mrežama i potrošačkim instalacijama za razne slučajeve tretiranja nul-točke napojne mreže* EI, Zagreb, 1980.
6. Rjabkova E. Ja: *Proračun uzemljivača* (knjiga na ruskom) MEI, 1973.
7. Krulc Z.: *Geoelektrična mjerenja tla,* Elektrotehnika br. 3, 1966.
8. Žutobradić S.: *Optimiranje složenih uzemljivača,* Mag. rad, Zagreb, 1982.
9. Đelbianco L.: *Uzemljivači u transformatorskim stanicama razdjelnih mreža sa uzemljenim zvjezdištem preko malog otpora,* Mag. rad u izradi, Zagreb, 1982.
10. Hrs I.: *Ovisnost unutarnjih prenapona u razdjelnim mrežama o načinu uzemljenja zvjezdišta i o drugim utjecajima,* Doktorska disertacija, Zagreb, 1977.
11. Delbianco L.: *Zamjena niskonaponskih kabela PPOO kabelima PP 41,* CIGRE, VII simpozij o energetskim kabelima, 1981.
12. Požar H.: *Visokonaponska. rasklopna postrojenja, Zagreb, 1978.*
13. *Debianco L.: Zaštita distributivnih TS 10(20)/0,4 kV,* SEITIH, 1981. god. u Dubrovniku
14. Damjanović B.: *Prijedlog srednjonaponskih jednožilnih kabela sa spoljnim jednožilnim omotačem,* VII simpozij o energetskim kabelima, 1981.
15. Bojković T., Stanković D.: *Korišćenje metalnog plašta kabela kao uzemljivača i problem iznošenja potencijala iz postrojenja 110 kV sa direktnom transformacijom,* CIGRE 1977. god., ref. br. 322. 10.
16. Rosanda L., Delbianco L.: *Utjecaj otpornog uzemljenja zvjezdišta u mreži »Elektroistre« Pula,* Energija br. 12, 1981.
17. Ogorelc A.: *Problematika uzemljenja zvjezdišta sa naročitim obzirom na zaštitu od zemnog spoja,* EV, Ljubljana br. 9 – 10, 1969.
18. Walter M.: *Relejna zaštita,* Zagreb, 1954.
19. Sekso A.: *Izvedba uzemljivača TS 35/10 kV u težim uvjetima uzemljenja* Ei — Zagreb, 1973.

KEY WORDS: DISTRIBUTION NETS, TRANSFORMER STATIONS, GROUNDING

TS 10/20/0,4 kV GROUNDINGS IN CASE OF RESISTANCE GROUNDING OF NEUTRAL POINT

In the article is described problem of 10/20/0,4 kV grounding in network of »Elektroistra« Pula, calculation of characteristic values as well as guides for construction in case resistance grounding of 10/20 kV neutral point.

ERDER IN TRAFOSTATIONEN 10/20/0,4 kV BEI BETRIEBSBEDINGUNGEN MIT WIDERSTANDS – STERNPUKTERDUNG

Besprochen wird die Problematik der Erdung von Transformatoren in Unterstationen 10/20/0,4 kV Im Verteilungsnetz des Unternehmes »Elektroistra«, Pula, die Berechnung der charakteristischen Kennwerte der Erder wie Richtlinien für den Bau von 10/20/0,4 kV Widerstands – Sternpunkterdungsanlagen.

ЗАЗЕМЛЕНИЕ НЕЙТРАЛИ ТЦ 10/20/0,4 кВ ЧЕРЕЗ АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

В статье изложена проблематика заземления распределительных трансформаторных подстанций 10/20/0,4 кВ в сети »Электроистры«, г. Пула, расчетов характерных размеров заземлителей, а также рекомендации по их вполнению в условиях заземления нейтрали через активное сопротивление.

Naslov pisca:

Luciano Delbianco, dipl. inž.
»Elektroistra«, 52000 Pula

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 01 – 26

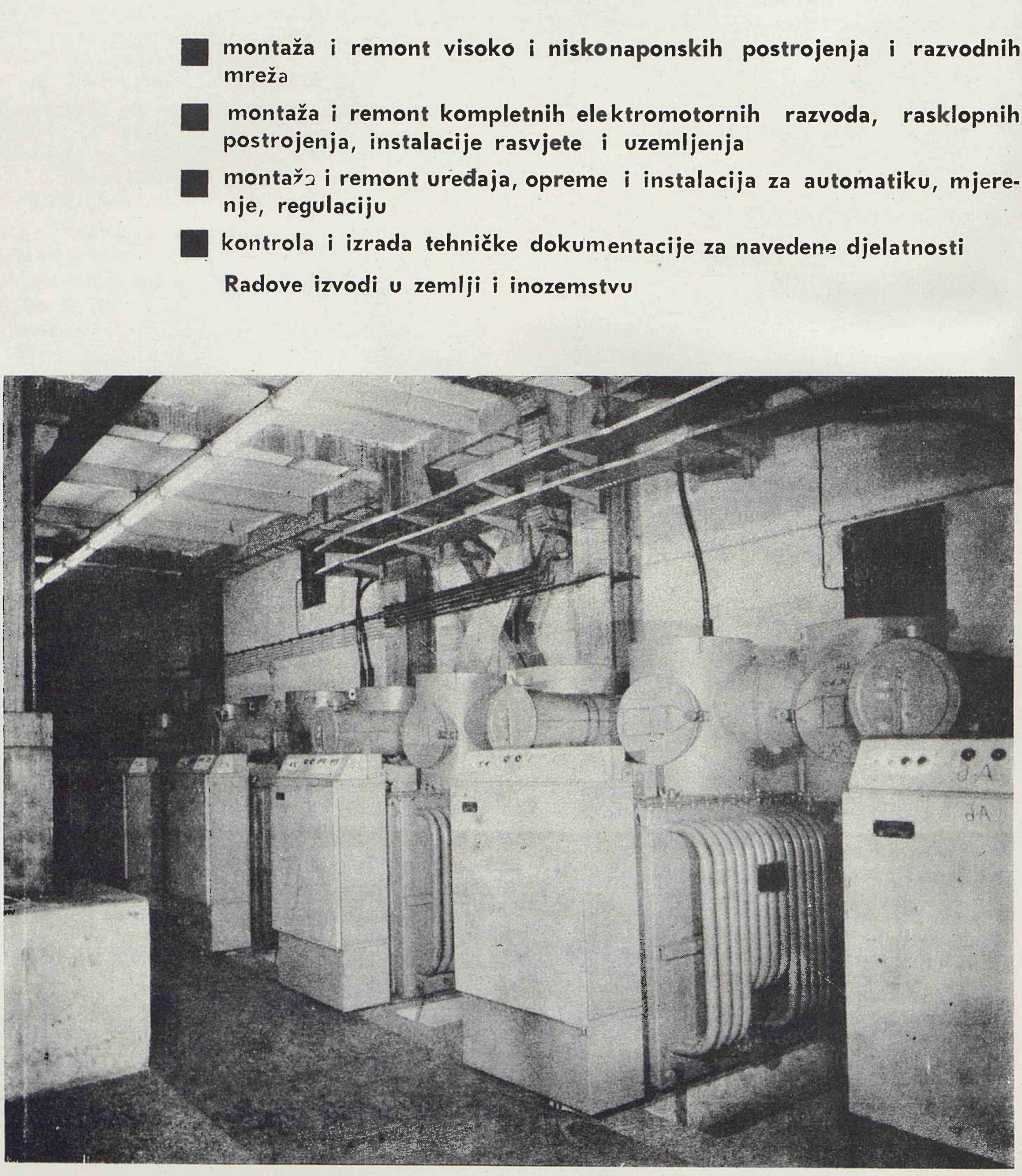
SOUR
MONTING
ZAGREB n.sol.o.

Radna organizacija za montažu industrijskih postrojenja
OOUR za elektromontažne radove

ZAGREB • Dimitrovljeva 2-6

- montaža i remont visoko i niskonaponskih postrojenja i razvodnih mreža
- montaža i remont kompletnih elektromotornih razvoda, rasklopnih postrojenja, instalacije rasvjete i uzemljenja
- montaža i remont uređaja, opreme i instalacija za automatiku, mjerenje, regulaciju
- kontrola i izrada tehničke dokumentacije za navedene djelatnosti

Radove izvodi u zemlji i inozemstvu



VOĐENJE BLOKA TE SISAK PRI PROŠIRENJU RADNOG OPSEGA KOTLA

Željko Nikolić, Sisak

UDK 621.311.22 : 621.181
PREGLEDNI RAD

Zahvaljujući tehnološkim zahvatima na kotlu, proširuje se radni opseg promjene opterećenja, ali se mijenjaju i uvjeti vođenja. U radu su razmotreni ovi uvjeti, kao i predložene varijante vođenja, te mogućnosti unapređenja s obzirom na eksploatacijska iskustva.

Ključne riječi: protočni kotao, radni opseg, recirkulacija kotlovske vode, uvjeti vođenja, vođenje, regulacijski krugovi, dinamičke karakteristike procesa

UVOD

U posljednje se vrijeme, kao posljedica sve izraženije neravnomjernosti dnevnog dijagrama potrošnje u energetskom sistemu te velikog udjela termojedinica i nuklearnih jedinica u proizvodnji električne energije, postavljaju sve veći zahtjevi na povećanje elastičnosti termoenergetskih blokova.

Jedan od osnovnih limitirajućih elemenata pri proširenju radnog opsega promjene tereta bloka jest protočni kotao koji najčešće ima opseg promjene tereta 65 – 100%.

Između više načina kojim se može povećati elastičnost protočnih kotlova najčešće se primjenjuje sistem recirkulacije kotlovske vode kroz ekranske cijevi ložišta kotla, čime se snizuje minimalno dopušteno opterećenje u toku eksploatacije.

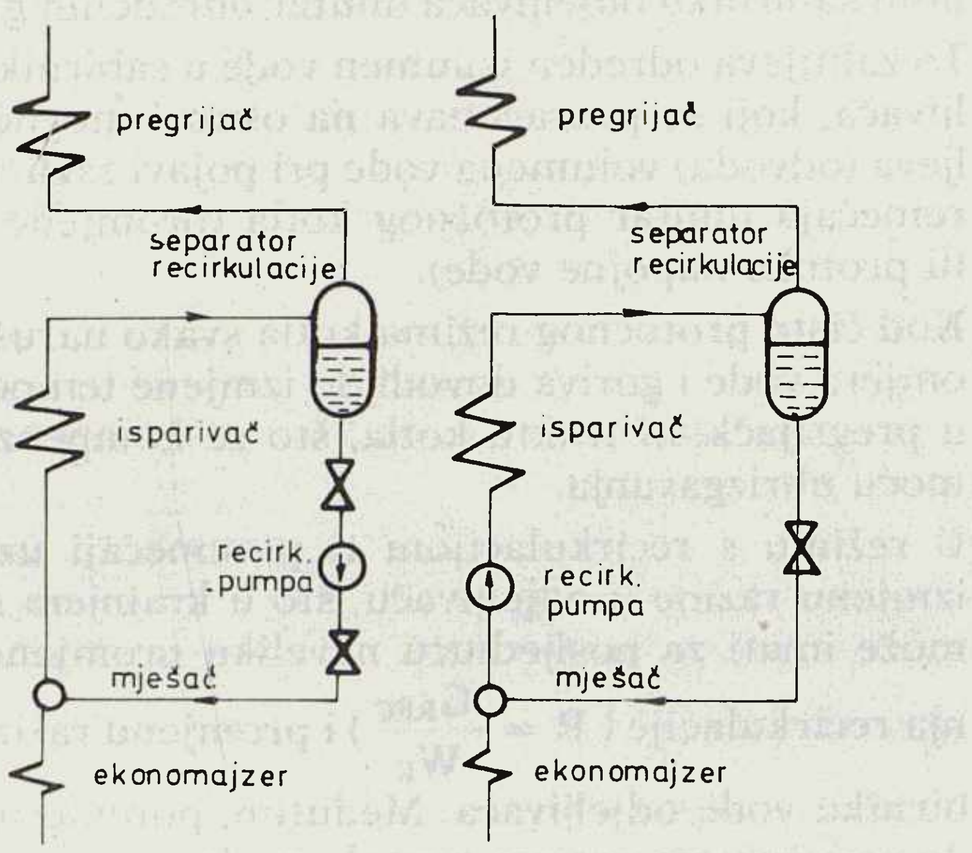
Tako se npr. u više od 40% novoizgrađenih jedinica u SAD i kod gotovo svih novih jedinica u SR Njemačkoj protočni kotlovi opremaju sistemom recirkulacije vode, što omogućuje snižavanje minimalnog tereta bloka na 25 – 30% od nominalnog opterećenja /1/.

Istovremeno s proširenjem radnog opsega promjene tereta kotla, ugradnjom sistema recirkulacije mogu se postići još i dodatna poboljšanja pri radu protočnog kotla, kao povećanje protočnosti snopova ekranskih cijevi /čime se postiže manji hidraulički otpor u ložišnih ekrana/, smanjenje termičkih naprezanja na sastavima cijevnih polja kod plinotijesnih kotlova, povišenje hidrodinamičke stabilnosti u ložišnim ekranima, smanjenje posljedica toplinsko – hidrauličkih neravnomjernosti protoka.

1. TIPIČNE IZVEDBE SISTEMA RECIRKULACIJE

U svjetskoj praksi do sada su najširu primjenu našle dvije tipske izvedbe sistema recirkulacije /2/.

Prema jednoj od njih recirkulacijska crpka smještena je u liniju odvoda vlage iz odjeljivača recirkulacije /sl. 1.a/, dok je prema drugoj smještena u liniju napojne vode iza ekonomajzera /sl. 1.b/.



a) Recirkulacija samo kod nižih tereta kotla

b) Recirkulacija u cijelom opsegu tereta kotla

Sl. 1. Najčešće tipske sheme recirkulacije protočnog kotla

Prednost prve sheme sastoji se u mogućnosti korištenja crpke relativno male snage jer se njome tjera samo dio protoka medija — onaj koji kruži iz odjeljivača u mješač i dalje u ložišne ekrane. Nedostatak ove sheme jesu vrlo nepovoljni uvjeti rada same crpke jer ona crpi vodu na granici zasićenja, te zbog toga dolazi do značajnih kavitacija na radnim lopaticama i dosta brzog uništenja radnih kola.

Ovakav tip sheme primjenjuje se uglavnom za sniženje upusnih opterećenja protočnih kotlova (kod viših opterećenja recirkulacija je isključena).

Kod izvedbe sheme recirkulacije prema sl. 1.b. crpka tjera volumen vode koji dolazi iz recirkulacijskih odjeljivača pomiješan s volumenom vode koja dolazi iz ekonomajzera.

Za takvu izvedbu potrebna je crpka velike snage koja troši znatne količine energije. Međutim, radno kolo crpke radi u povoljnijem režimu jer na nju dolazi smjesa relativno hladne vode iz ekonomajzera i vruće vode koja recirkulira iz odjeljivača.

Takve sheme recirkulacije obično su u funkciji u cijelom radnom opsegu tereta kotla, čime se mogu iskoristiti sve prednosti koje se dobivaju njihovom primjenom.

U takvim shemama postavljaju se manje strogi zahtjevi u pogledu sadržaja pare u mediju koji recirkulira.

2. TEHNOLOŠKI UVJETI REGULIRANJA

Tehnologija reguliranja protočnog kotla sa shemom recirkulacije principijelno se razlikuje od tehnologije reguliranja čisto protočnog kotla.

Dok se u posljednjem slučaju zahtijeva vrlo kruto i dovoljno točno održavanje pravilnog omjera protoka vode i goriva uz korekciju po temperaturi pare iza prvih pregrijača, dotle se u prvom slučaju sav zadatak reguliranja svodi na održavanje razine u vodenom sabirniku odjeljivača unutar određenih granica.

To zahtijeva određen volumen vode u sabirniku odjeljivača, koji se proračunava na osnovi mogućeg priljeva (odvoda) volumena vode pri pojavi različitih poremećaja unutar protočnog kotla (promjene goriva ili protoka napojne vode).

Kod čisto protočnog režima kotla svako narušavanje omjera vode i goriva dovodi do izmjene temperatura u pregrijačkom traktu kotla, što se kompenzira pomoću ubrizgavanja.

U režimu s recirkulacijom ti poremećaji uzrokuju izmjenu razine u odjeljivaču, što u krajnjem slučaju može imati za posljediucu neveliku promjenu stupnja recirkulacije ($R = \frac{G_{REC}}{W_K}$) i promjenu razine u sabirniku vode odjeljivača. Međutim, poremećaji u vidu narušavanja omjera protoka vode i goriva u kotao u ovom slučaju praktički se ne prenose u pregrijački trakt, jer iza odjeljivača u pregrijački trakt ide gotovo suha para.

To svojstvo sheme sa sistemom recirkulacije znatno pojednostavnjuje upravljanje kotlom u pogledu održavanja parametara pare na izlazu kotla.

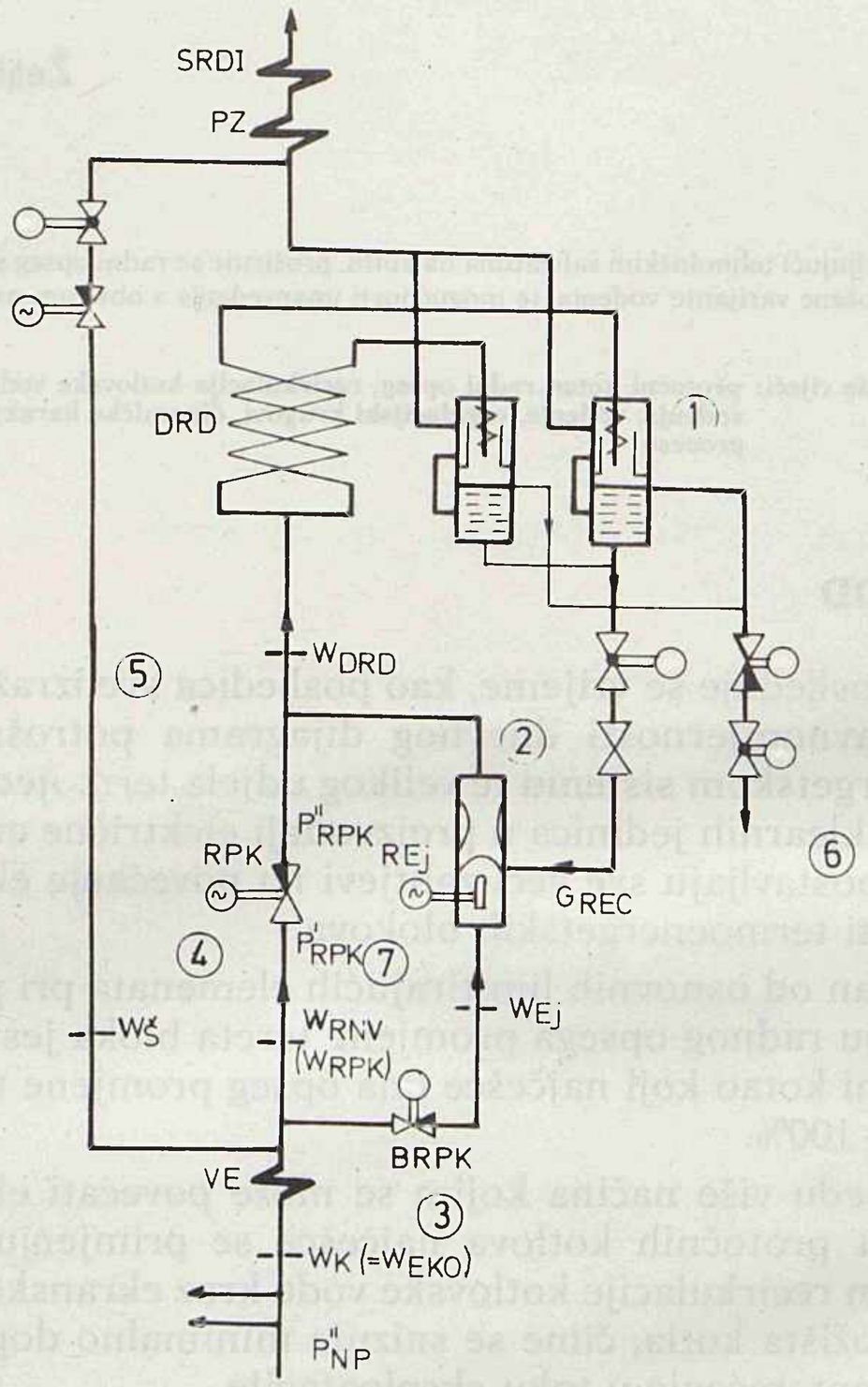
Kod postrojenja koja rade s natkritičnim tlakom primjenjuju se sheme recirkulacije bez odjeljivača.

Medij koji se recirkulira uzima se iz cjevovoda na mjestu iza ložišnih ekrana. Te sheme ne posjeduju spomenuta svojstva u pogledu stabilizacije parametara pare po progrijačkom traktu kotla, ali se mora uzeti u obzir utjecaj kruga recirkulacije na dinamička svojstva protočnog kotla.

U posljednjim shemama recirkulacije kod postrojenja s natkritičkim parametrima pare, a zbog primjene režima s kliznim parametrima pri radu bloka na nižim opterećenjima, također se počinju upotrebljavati odjeljivači vlage.

3. KARAKTERISTIKE RJEŠENJA U TE SISAK

U sistemu recirkulacije razrađenom za TE Sisak (v. sl. 2) primijenjene su za pumpanje vodomlazne crpke, kojih se rad zasniva na djelomičnom ili potpunom iskorištenju raspoloživih padova tlaka na napojnim ventilima kotla /3, 4/. Ti padovi tlaka ostavljeni su za fino reguliranje protoka vode svake od dviju jedinica kotla, a osnovno smanjenje tlaka koji bi mogle davati napojne pumpe reducira se pomoću hidrospojki.



1. odjeljivači recirkulacije
2. vodomlazna crpka
3. redukcijski ventil
4. regulacijski ventil napajanja
5. voda za ovlaživanje
6. ispust u kondenzator
7. izvršna sprava male sapnice

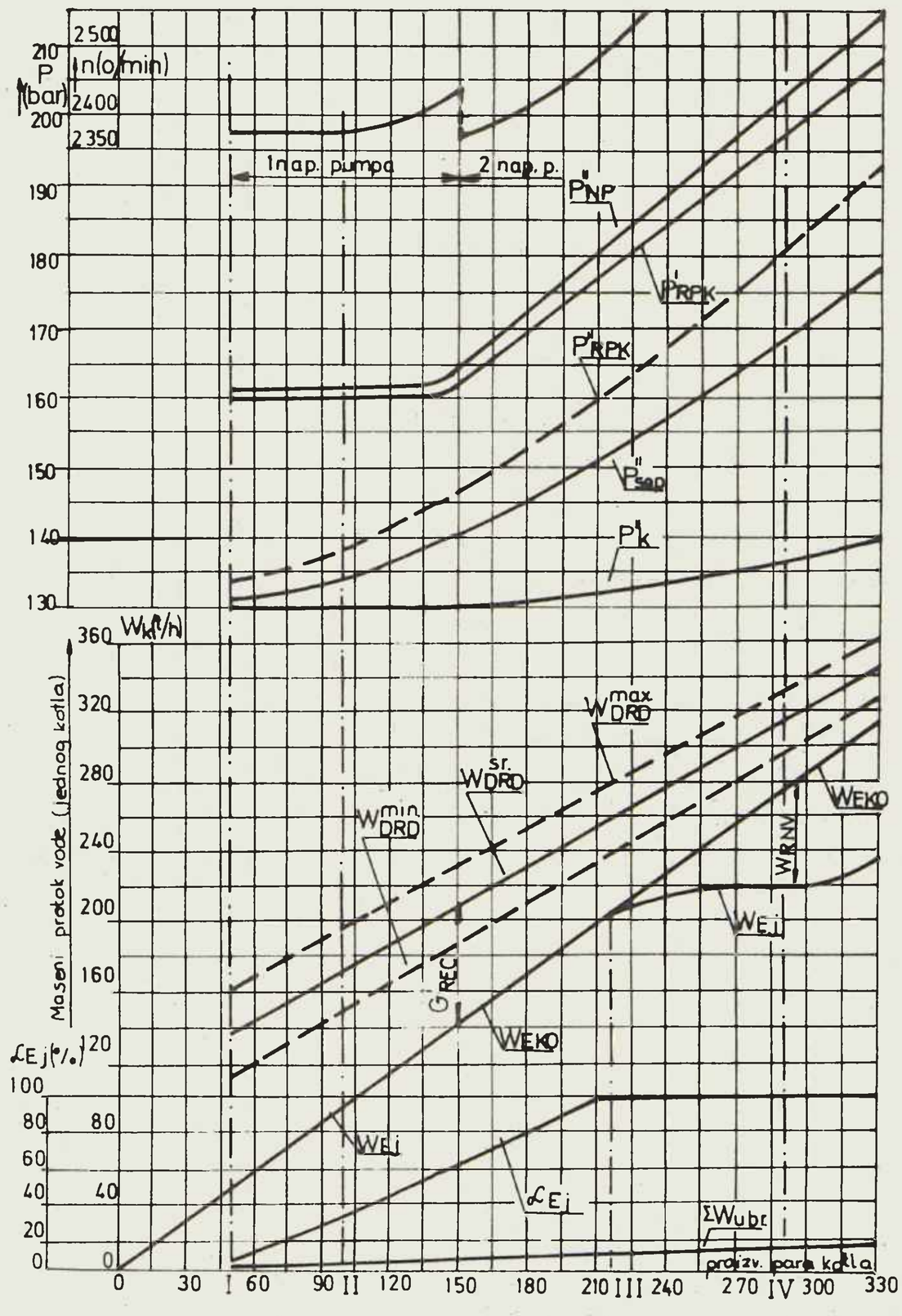
Sl. 2. Shema recirkulacije u TE Sisak I prema projektu VNIIAM, Moskva (za 1 kotao)

Zahvaljujući primjeni vodenih ejektora kao recirkulacijskih crpki, moguće je izbjeći ugradnju odjeljivača s velikim volumenom sabirne posude, jer oni dopuštaju i određen udio pare u vodi koja se recirkulira (upotrijebljeni su centrifugalni odjeljivači vlage malog volumena).

To je pojednostavilo zadaću reguliranja kotla sa sistemom recirkulacije.

Osnovni je zadatak sistema reguliranja kotla održavanje određenog protoka vode za recirkulaciju u ovisnosti o opterećenju kotla (v. sl. 3).

Praktički se ova zadaća realizira tako da se održava određeni protok vode kroz ekranske cijevi DRD (pro-



I. Upusno opterećenje kotla 15% Dnom
II. Opterećenje kotla 30% Dnom
III. Početak otvaranja napojnog ventila
IV. Opterećenje TG 200 MW

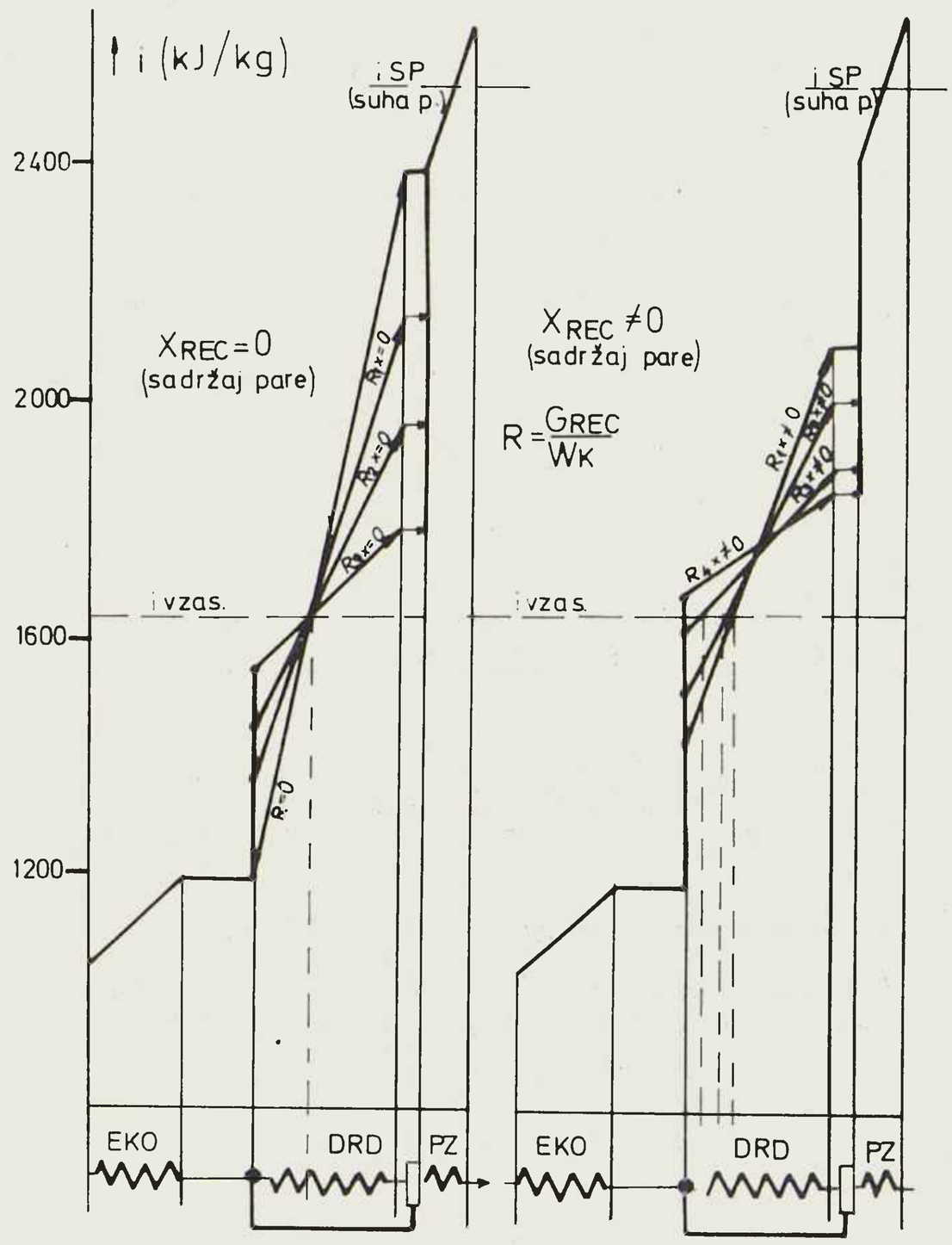
Sl. 3. Program izmjene osnovnih parametara napojnog čvora i sistema recirkulacije u ovisnosti o opterećenju

tok vode iz ekonomajzera + recirkulirani protok vode) u ovisnosti o opterećenju kotla. Pri tome se ovaj program izmjene protoka vode kroz DRD u ovisnosti o opterećenju može organizirati na taj način da se pri radu dopuštaju znatna odstupanja od zadanih protoka. Ta odstupanja ograničena su preopterećenjem mlazne crpke, a time i mogućim prepunjenjem sabirnika vode odjeljivača, ali i pri nedovoljnom volumenu vode na recirkulaciju ne smije doći do pumpanja vode s velikim udjelom pare jer to može dovesti do nedozvoljenog zagrijavanja medija ispred DRD.

Najneugodnija je pojava parovodene smjese na ulazu u ložišne ekrane DRD, jer to dovodi do narušavanja hidrodinamičke stabilnosti protoka po cijevima.

Početak isparavanja unutar DRD bit će uvijek na istom mjestu kod određenog tereta kotla kako kod rada u čisto protočnom režimu, tako i kod rada s bilo kojim stupnjem recirkulacije ako se recirkulira samo voda (prema toplinskoj bilansi — koliko topline se dovodi s vrućom vodom iz linije recirkulacije, isto toliko se i odvodi iz odjeljivača natrag u recirkulaciju).

Kada se s vodom pri recirkulaciji zahvaća i para, dolazi kod stvaranja smjese do zagrijavanja vode na ulazu u DRD na račun skrivene topline isparavanja. Pri tome se što je više pare u mediju koji recirkulira, više točka početka isparavanja pomiče prema ulazu i pri određenom udjelu pare ili pri određenom stupnju recirkulacije na ulazu u DRD može se pojaviti smjesa vode i pare /3/.



a) kod recirkuliranja isključivo vode

b) kod recirkuliranja smjese vode i pare

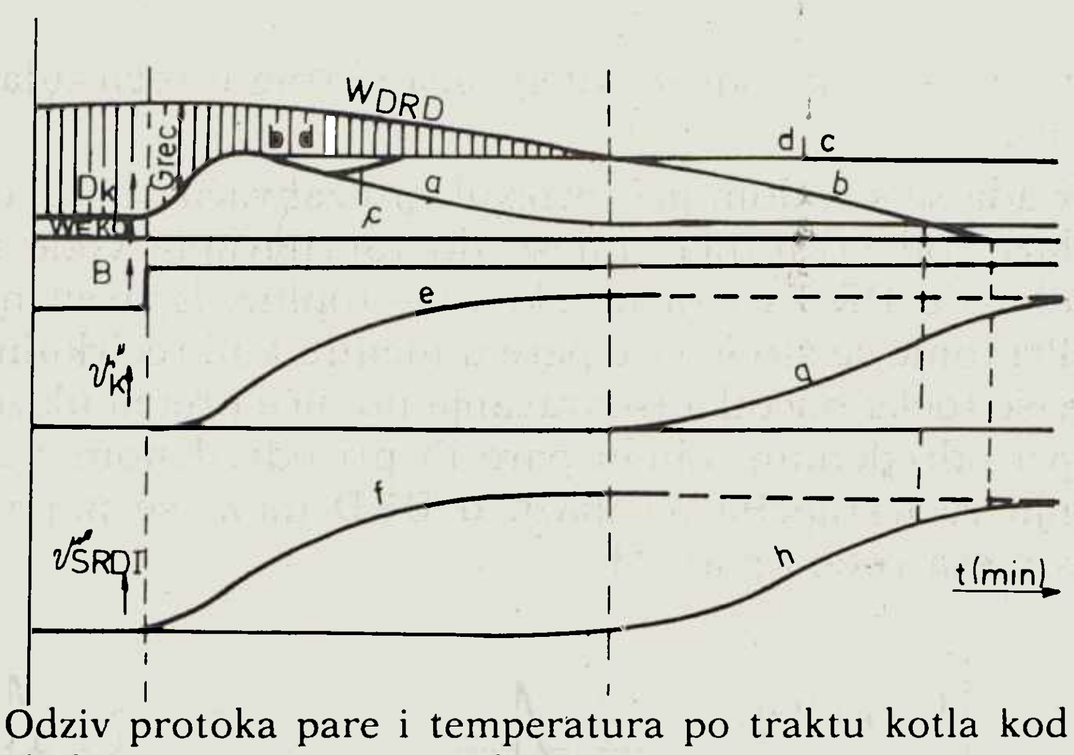
Sl. 4. Grafički prikaz izmjene entalpije po traktu recirkulacije kod različitih stupnjeva recirkulacije

Na sl. 4. su za ilustraciju dani crteži izmjene entalpije po traktu recirkulacije kod različitih stupnjeva recirkulacije, kod pumpanja isključivo vode (sl. 4.a) i kod prepumpavanja smjese vode i pare (sl. 4.b).

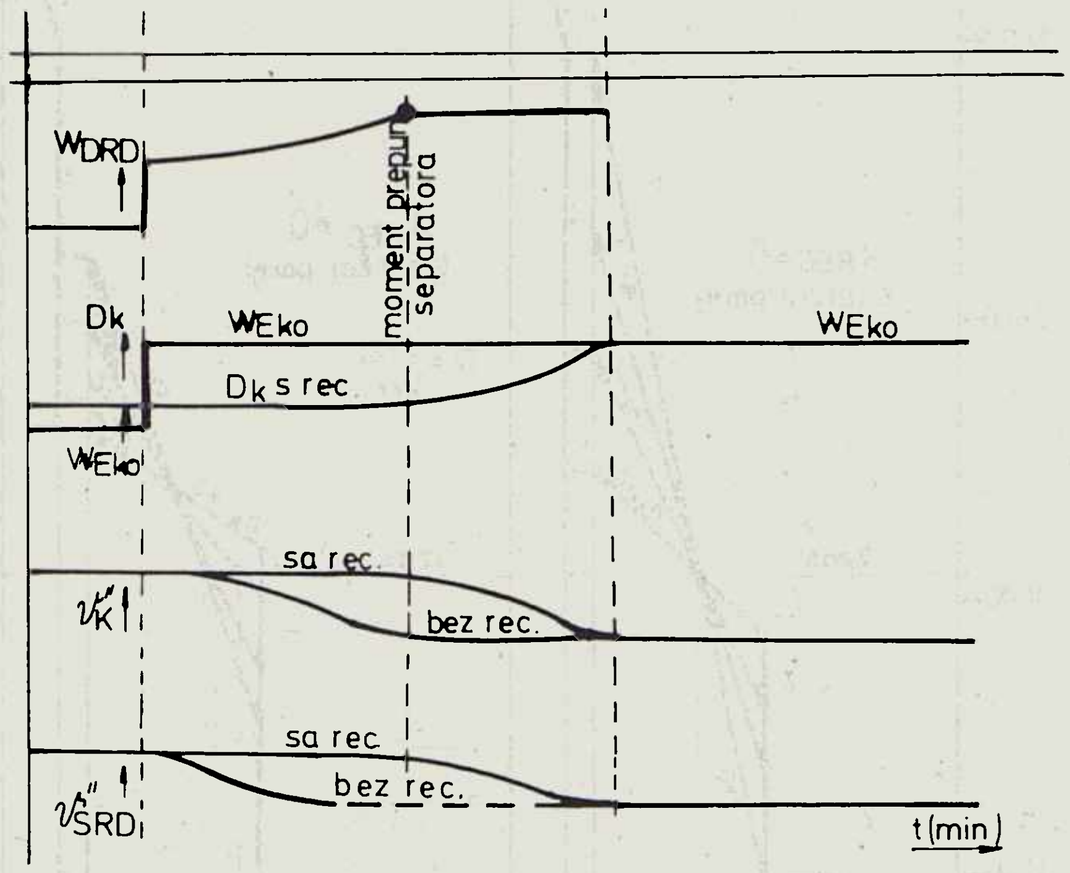
4. DINAMIČKA SVOJSTVA PROTOČNOG KOTLA S RECIRKULACIJOM VODE

Na temelju do sada iznesenoga može se zaključiti da se ugradnjom sistema recirkulacije mijenjaju ne samo statička, nego i dinamička svojstva protočnog kotla.

Na sl. 5.a prikazane su tipične prijelazne funkcije parametara po traktu kotla kod rada kotla u protočnom režimu i u režimu s recirkulacijom, pri skokovitoj promjeni dobave goriva.



a) Odziv protoka pare i temperatura po traktu kotla kod skokovite promjene protoka goriva



b) Isto kao a), samo kod promjene napojne vode

Sl. 5. Usporedba dinamičkih svojstava protočnog kotla u čisto protočnom režimu i uz uključenu recirkulaciju

Vidljivo je da se nakon promjene goriva povećava protok proizvedene pare bez recirkulacije po krivulji (a), a s recirkulacijom po krivulji (b). U oba promatrana slučaja regulatori ubrizgavanja su isključeni, zbog čega dolazi do povećanja temperatura po traktu kotla (v. dalje).

Uz uključenu recirkulaciju količina pare počinje se smanjivati nakon dostizanja uvjeta $G_{rec} = 0$ (šrafirano polje) i ona se približava početnom nivou, ali s drugim parametrima pare.

Uz uključene regulatore ubrizgavanja protok pare pri odsutnosti recirkulacije mijenja se prema krivulji (c), a pri tome regulator održava konstantnu temperaturu pare na izlazu iz kotla.

Uz uključenu recirkulaciju i uključen regulator ubrizgavanja protok pare mijenja se prema krivulji (d). Karakter izmjene temperatura po traktu kotla pokazan je na primjeru ϑ''_K (iza kotla) i ϑ''_{SRDI}.

Krivulje (e) i (f) vrijede za slučaj isključene recirkulacije i isključenih regulatora ubrizgavanja.

Krivulje (g) i (h) odnose se na slučaj uključene recirkulacije i isključenih regulatora ubrizgavanja.

Iz krivulja je vidljivo da se kod uključene recirkulacije temperature pare po traktu kotla počinju mijenjati tek u momentu kada recirkulacija pada na 0.

Na sl. 5.b dan je tipičan tok promjene parametara po traktu kotla nakon skokovite promjene protoka napojne vode u kotao uz uključenu recirkulaciju.

Vidljivo je da uz uključenu recirkulaciju do izmjena temperatura po traktu kotla dolazi tek nakon većeg intervala vremena tj. sa značajnijim kašnjenjem (nakon prepunjanja odjeljivača).

5. PROJEKTNE SHEME REGULIRANJA PROTOČNOG KOTLA

Prema idejnom projektu koji je izradio institut VNIIAM, Moskva predviđena je rekonstrukcija, odnosno zamjena krugova za reguliranje:

- snage bloka
- proizvodnje napojnih pumpi
- dobave goriva i napojne vode kotla
- ekonomičnosti izgaranja
- temperatura po traktu primarne i sekundarne pare.

Međutim, bitne izmjene predviđene su jedino u krugovima reguliranja goriva i napajanja, pa će o njima ovdje i biti nešto više riječi.

Struktura ostalih krugova uglavnom ostaje neizmijenjena, jedino su uvedene diskontimirane promjene faktora pojačanja u ovisnosti o opterećenju bloka kako bi se kompenzirali utjecaji nelinearnosti objekta kod proširenja radnog opsega kotla.

Projektom sistema regulacije dane su dvije varijante reguliranja goriva i napajanja, jer još nisu dovoljno proučene dinamičke karakteristike moderniziranog kotla ∏ 56 sa sistemom recirkulacije.

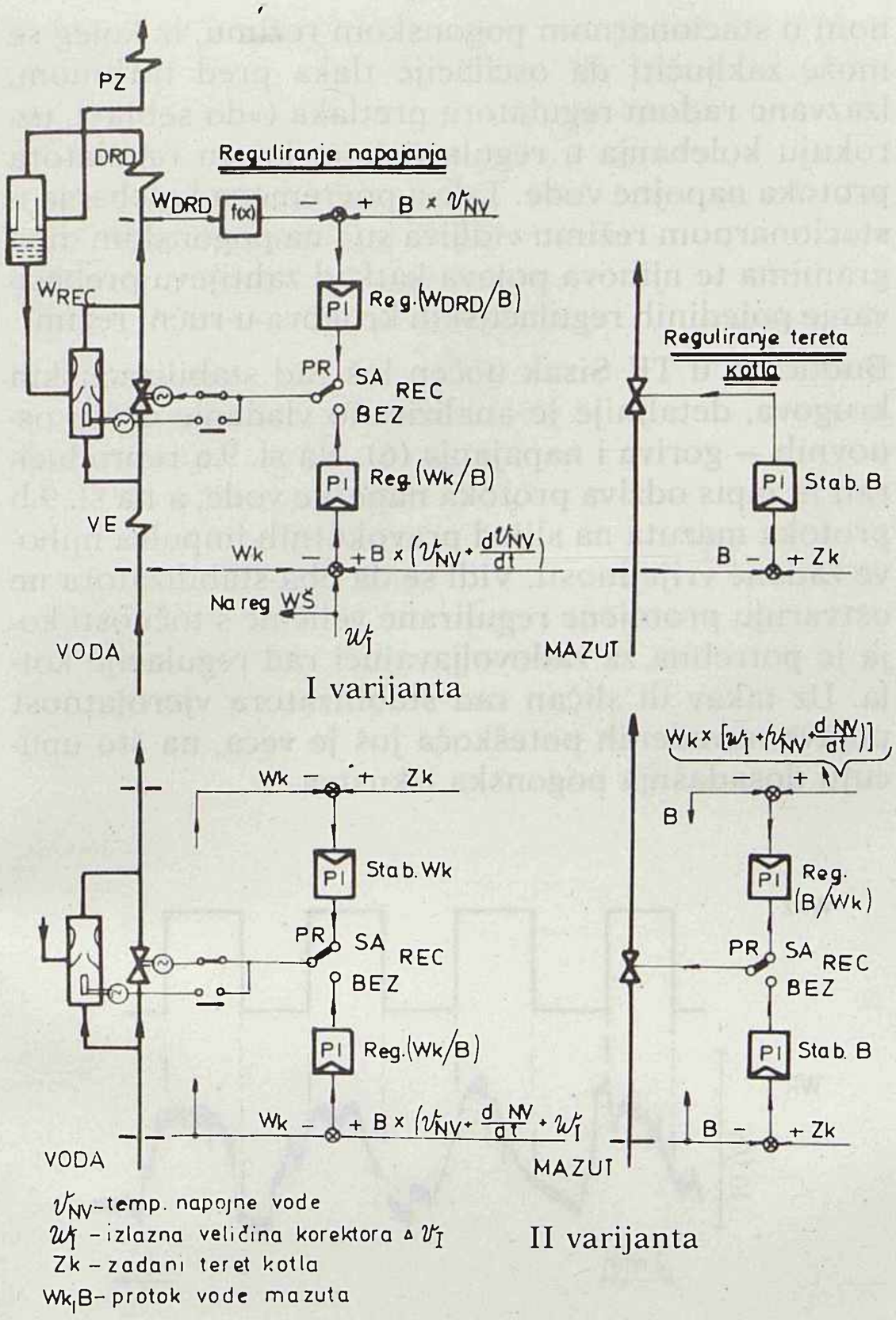
Prema razrađenoj tehnologiji kotla s recirkulacijom predviđa se pri normalnim uvjetima rad sistema bez razine vlage u odjeljivačima uz manji prodor pare u liniju recirkulacije i uz nepromijenjenu točku završetka isparavanja. Kako je već rečeno, osnovni je zadatak reguliranja napajanja kotla održavanje određenog protoka vode kroz donji radijacijski dio (ili na recirkulaciju) u ovisnosti o opterećenju. Pri tomu se normalan rad pregrijača iza separatora recirkulacije osigurava dodatnim ubrizgačem za ovlaživanje i postojećim ubrizgavanjima.

Na sl. 6. dan je pojednostavljen prikaz projektnih varijanti reguliranja goriva i napajanja kotla.

Također je prikazan rad u dva moguća tehnološka režima: sa i bez recirkulacije.

I **varijanta** reguliranja (sl. 6.a) najvjernije odražava tehnološke zahtjeve upravljanja. Regulatorom protoka mazuta podržava se zadani teret kotla, koji odgovara bilo ručnom zahtjevu ili zahtjevu regulatora opterećenja kotla. Reguliranje napajanja kotla u režimu s recirkulacijom vode ostvaruje se reguliranjem omjera »protok vode kroz DRD: »protok goriva« prema unaprijed zadanom programu (v. sl. 3) i uz statičku korekciju po temperaturi napojne vode.

Upravljački impulsi regulatora pokreću dvije izvršne sprave: u opsegu 30 — 65 % N_{nom} izvršnu spravu vodomlazne crpke, a u opsegu tereta iznad 65 % regula-



sl. 6. Varijante reguliranja goriva i napajanja u TE Sisak I prema idejnom projektu VNIIAM, Moskva

cijski ventil napajanja. Prebacivanje upravljačkog djelovanja s jedne sprave na drugu vrši se preko krajnjih kontakata, kod potpune otvorenosti pomične sapnice vodomlazne crpke i pri potpunoj zatvorenosti napojnog ventila. U režimu s recirkulacijom predviđeno je i reguliranje protoka vode kroz »ovlaživač« u ovisnosti o teretu kotla, uz korekciju po razlici temperature do i poslije I ubrizgača (ovaj krug nije prikazan).

Izmjena strukture automatskog reguliranja potrebna je kod prijelaza na protočni režim rada, tj. kod isključene recirkulacije. U tom režimu teret kotla regulira se opet gorivom, a temperature po traktu do I ubrizgavanja stabiliziranjem omjera »voda-gorivo« uz korekciju zadanog omjera ovisno o temperaturi napojne vode i o padu temperature na I ubrizgaču. Od izvršnih sprava ostao je u radu samo regulacijski ventil napajanja (izvršna sprava ejektora u ovom je režimu potpuno zatvorena).

U opisanim shemama regulacije predviđeno je diskontinuirano vođenje koeficijenta pojačanja

- kod reguliranja goriva — pri izmjeni opterećenja
- kod reguliranja protoka vode kroz DRD — pri prijelazu s upravljanja mlaznom crpkom na upravljanje napojnim ventilom
- kod korekcije po padu temperature $\Delta\vartheta_I$ — pri izmjeni opterećenja i pri izmjeni režima rada kotla (isključenje recirkulacije).

II **varijanta** reguliranja goriva i napajanja kotla (v. sl. 6.b) predviđena je zbog mogućnosti pojave protočnog režima kotla uz uključenu recirkulaciju, kada se promjene uvjeta rada donjeg radijacijskog dijela prenose na trakt kotla iza odjeljivača recirkulacije (izmjena veličine »preskoka« pare, prodor vlage iz separatora u pregrijački trakt kotla).

Pri uključenoj recirkulaciji u ovoj varijanti zadani teret kotla podržava se protokom napojne vode u kotao (W_K), i to upravljanjem obiju izvršnih sprava kao u I varijanti. Pri prijelazu s jedne sprave na drugu mijenja se i koeficijent pojačanja regulatora K_R kako bi se kompenzirali različiti koeficijenti pojačanja objekta u oba slučaja.

Primarno reguliranje temperatura po traktu kotla do I ubrizgača obavlja se pomoću stabilizacije omjera »gorivo — voda« djelovanjem na izvršnu spravu goriva, uz korekciju po temperaturi napojne vode i po padu temperature na I ubrizgaču. Protok vode za ovlaživanje upravlja se po istom zakonu kao u I varijanti.

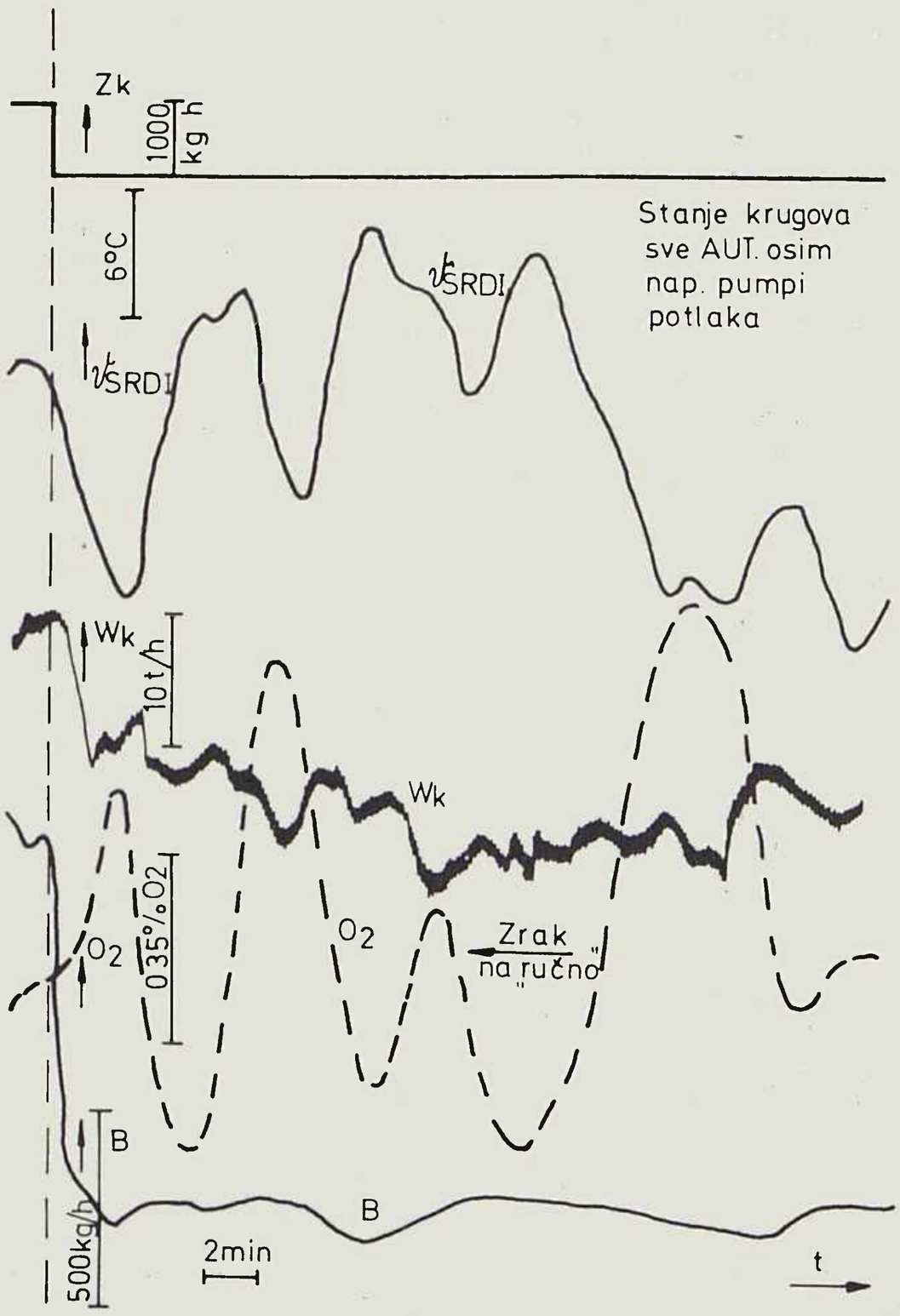
U shemi je također predviđen preklopnik režima PR kojim se ostvaruje (ručna) izmjena strukture regulacijskog sustava pri prevođenju tehnološkog procesa u režim sa recirkulacijom ili bez nje. U ovom posljednjem režimu je način regulacije goriva i napajanja isti kao u I varijanti. Također je slično izvedeno podešavanje koeficijenta pojačanja regulacijskih krugova K_R pri promjeni tereta i pri izmjeni režima kotla.

6. KRITIČKI OSVRT NA PREDLOŽENE SHEME S OBZIROM NA DOSADAŠNJA ISKUSTVA

Uvođenje korekcijskog signala po razlici temperatura ispred i na prvog ubrizgavanja u regulaciju loženja i napajanja (oba režima u II varijanti i režim bez recirkulacije u I varijanti) i korekcijom regulatora I ubrizgavanja po razlici temperatura na III ubrizgavanju stvara se dinamički lanac koji povezuje cijeli vodenoparni trakt s pripadnim regulacijskim krugovima u složeni nultivarijabilni dinamički sistem s jakim interakcijama. Ugađanje takvog sistema u smislu postizanja stabilnosti u pogonskim uvjetima složen je zadatak (5).

Na temelju iskustava prikupljenih do sada u TE Sisak (6, 7, 8) mogu se pri ugađanju ovog sustava očekivati dodatne teškoće, što će biti ilustrirano na nekoliko primjera.

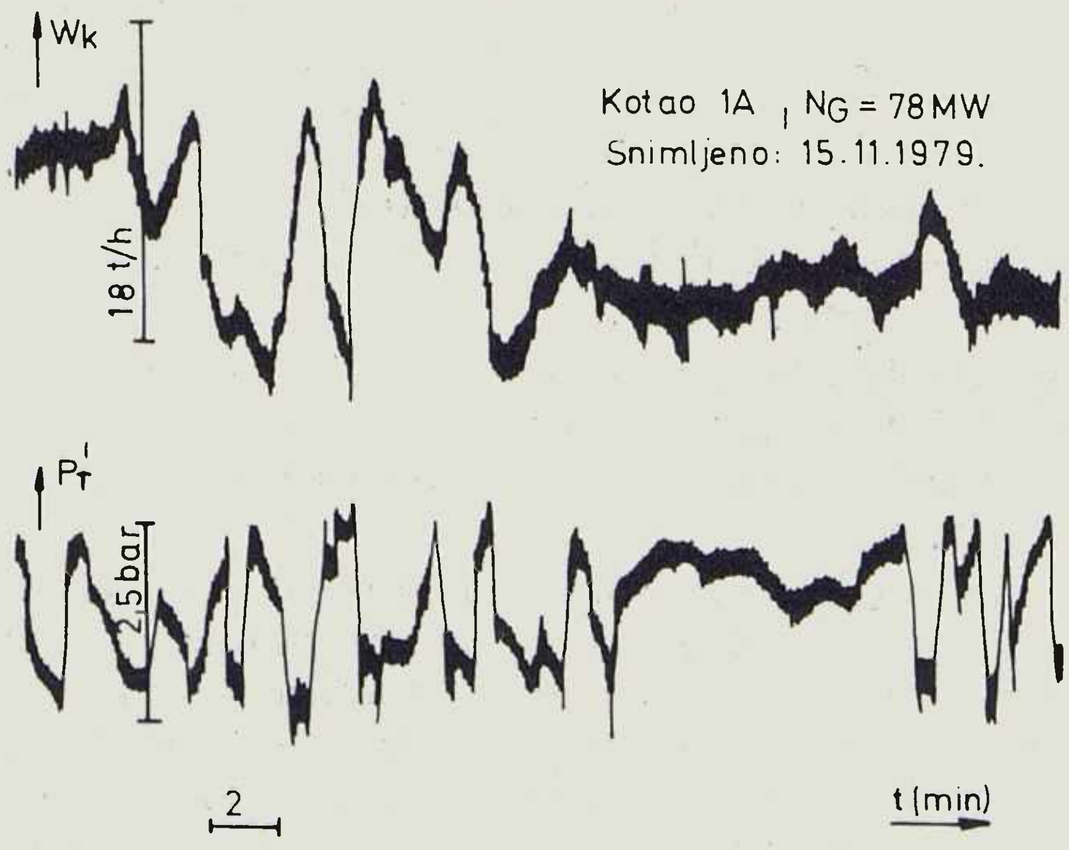
U svim predloženim varijantama regulacije loženja i napajanja (v. sl. 6) korišten je signal temperature iza SRD I kao jedan od ulaza u korekcijski regulator temperaturne razlike na I ubrizgavanju. Tok promjene signala 0_2 i ϑ_{SRDI}, koji je snimljen na kotlu 1B kod tereta od 190 MW (v. sl. 7) nakon smanjenja zadanog tereta kotla pomoću ručnog zadavača, pokazuje da između signala 0_2 i signala ϑ_{SRDI} postoji izrazita inter-



Sl. 7. Tok promjene signala O_2 i $\vartheta_{SRD\ I}$ nakon smanjenja zadanog tereta kotla

akcija (uočljiva je sličnost frekvencije kolebanja obaju signala). To znači da će se kolebanja O_2 iskazivati kao jedan od poremećaja na regulaciju loženja i napajanja, a time posredno i na regulaciju temperature trakta. To će se morati imati na umu u dijelu projekta koji se odnosi na regulaciju izgaranja.

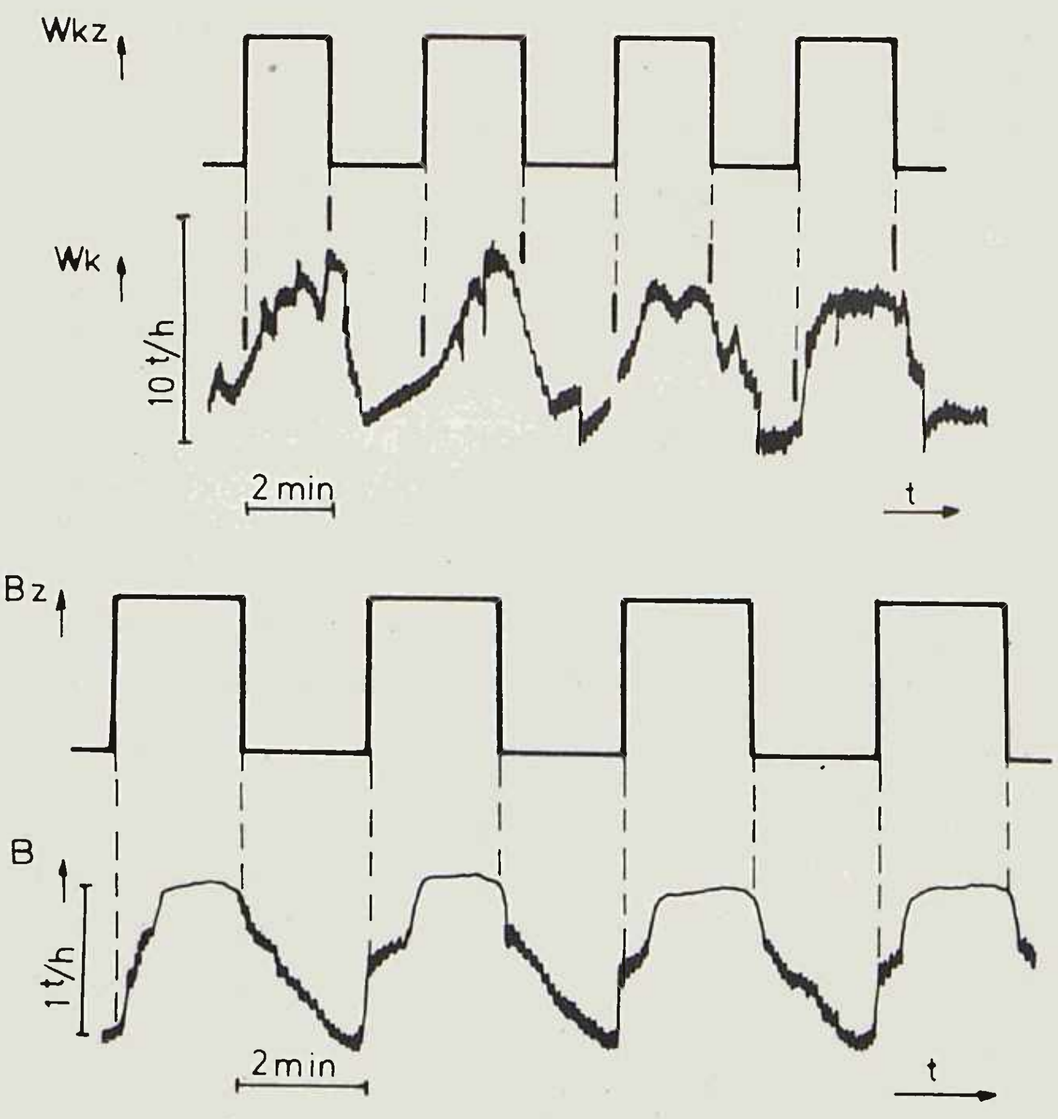
Na temperature u vodenoparnom traktu bitno utječe protok napojne vode. Na sl. 8. prikazan je tok promjene signala protoka vode i signala tlaka pred turbi-



Sl. 8. Tok promjene signala protoka vode i tlaka pred turbinom u stacionarnom režimu

nom u stacionarnom pogonskom režimu, iz kojeg se može zaključiti da oscilacije tlaka pred turbinom, izazvane radom regulatora pretlaka (»do sebja«), uzrokuju kolebanja u regulacijskom krugu regulatora protoka napojne vode. Takva povremena kolebanja u stacionarnom režimu vidljiva su i na pogonskim dijagramima te njihova pojava katkad zahtijeva prebacivanje pojedinih regulacijskih krugova u ručni režim.

Budući je u TE Sisak uočen loš rad stabilizacijskih krugova, detaljnije je analizirano vladanje dvaju osnovnih — goriva i napajanja (6). Na sl. 9.a reproduciran je zapis odziva protoka napojne vode, a na sl. 9.b protoka mazuta na slijed pravokutnih impulsa njihove zadane vrijednosti. Vidi se da oba stabilizatora ne ostvaruju promjene regulirane veličine s točnosti koja je potrebna za zadovoljavajući rad regulacije kotla. Uz takav ili sličan rad stabilizatora vjerojatnost pojave navedenih poteškoća još je veća, na što upućuju dosadašnja pogonska iskustva.



Sl. 9. Prikaz rada stabilizacijskih krugova napojne vode (a) i goriva (b) pri impulsnoj promjeni zad. vrijednosti

Općenito se može reći da će za zadovoljavajući rad regulacijskog sustava kotla kakav je predviđen idejnim projektom rekonstrukcije TE Sisak, biti potrebno bitno poboljšati rad osnovnih stabilizacijskih krugova: loženja, napajanja i ubrizgavanja.

7. PLAN REALIZACIJE PROJEKTA REKONSTRUKCIJE

Prema dogovoru s nosiocem rekonstrukcije kotla, predviđena je realizacija cijelog projekta rekonstrukcije u više etapa. Kako je za proširenje radnog opsega kotla potrebno izvesti zahvate i na postrojenju loženja (zamjena tlačnih raspršivača tečnog goriva

tlačno-parnim po sistemu Babcock, rekonstrukcije u sistemima dovoda i reguliranja goriva i zraka i dr.), to je ovaj zadatak preuzeo investitor uz pomoć domaćih organizacija.

U prvoj osnovnoj fazi, koja je upravo u toku, izvest će se rekonstrukcije na kotlu koje osiguravaju rad u opsegu tereta 30 — 100 %, uz daljinsko vođenje i kontrolu svih tehnoloških parametara. To će omogućiti ispitivanje kako statičkih, tako i dinamičkih karakteristika kotla. Na osnovi rezultata ispitivanja i do sada prikupljenih iskustava bit će izrađen i realiziran projekt automatskog vođenja kotla i bloka 1 (druga osnovna faza).

Projekt daljinskog vođenja i kontrole, te projekt automatskog vođenja, kao i isporuka cjelokupne opreme regulacije i mjerenja bit će povjereni domaćoj organizaciji. Budući da isto vrijedi i za strojarski dio projekta rekonstrukcije postrojenja za loženje, udio domaćih organizacija u ukupnoj realizaciji projekta »sniženja tehničkog minimuma« u TE Sisak penje se na više od 50 %. Projekt i isporuka opreme u I fazi povjereni su RO ATM Zagreb. Budući da se radi o delikatnim zahvatima na postrojenju koje se više od 10 g nalazi u uspješnoj eksploataciji, angažirani su u dijelu konzoltinga i domaće naučne institucije (Institut za elektroprivredu, Zagreb i Fakultet strojarstva i brodogradnje, Katedra za termoenergetska postrojenja, gdje se razrađuje matematički model generatora pare Π 56 sa sistemom recirkulacije). Vidljivo je da je investitor pružio veliku šansu domaćim snagama ne samo u materijalnom smislu, nego i u smislu stjecanja iskustava na ovladavanju tehnologije koja postaje sve aktualnija ne samo kod nas, nego i u svijetu. Krajnji je cilj, međutim, da se ovakvim kombiniranjem sudionika realizacije projekta postignu najbolji mogući rezultati.

8. ZAKLJUČAK

U termoelektrani Sisak u toku je realizacija I faze rekonstrukcije protočnog kotla na bloku I u toku koje će biti snižen minimalni trajni teret bloka sa 70 na 30 %. Time se mijenjaju tehnološke karakteristike procesa, ali i uvjeti vođenja, i to ne samo u statičkom, nego i u dinamičkom pogledu. U ovoj fazi potrebno je stoga detaljno proučiti promjenjena svojstva generatora pare kako bi se omogućila realizacija automatskog vođenja koja je predviđena u II fazi projekta.

U radu su analizirana neka od ovih svojstava koja će još trebati provjeriti u praksi. Međutim, već na osnovi ovih razmatranja može se zaključiti da se navedeni tehnološki zahvati povoljno odražavaju i na dinamičke karakteristike protočnog kotla, pa se mogu očekivati povoljni rezultati kako u pogledu regulacijskih svojstava kotla, tako i bloka u cjelini.

Ako bi se postigla i odgovarajuća kvaliteta regulacije izgaranja, to bi omogućilo uključivanje bloka u sistem regulacije snage i frekvence, što bi bio dodatni efekt ove rekonstrukcije.

POPIS OZNAKA

VE	— vodeni ekonomajzer
DRD	— donji radijacijski dio
PZ	— prelazna zona
SRD	— srednji radijacijski dio
W_K	— protok vode u ekonomajzer
W_{ej}	— protok vode kroz mlaznu crpku
W_{DRD}	— protok vode kroz DRD
G_{REC}	— protok medija na recirkulaciju
W_{RPK}	— protok vode kroz napojni ventil
$W_š$	— protok vode za ovlaživanje
ΣW_{ubr}	— ukupni protok vode na ubrizgavanje
α_{ej}	— položaj upravljačke sapnice mlazne crpke
P'_{NP}	— tlak vode iza napojnih pumpi
P'_{RPK}, P''_{RPK}	— tlak vode ispred i iza napojnog ventila
P''_{sep}	— tlak pare iza upusnog odjeljivača
P''_K, P_T	— tlak pare iza kotla, ispred turbine
$R = \frac{G_{REC}}{W_K}$	— stupanj recirkulacije
D_K	— protok pare iz kotla
ϑ_{SRDI}, ϑ_K	— temp. pare iza SRDI i iza kotla
B_z	— zadani protok goriva
B	— protok goriva
Z_K	— zadani teret kotla
O_2	— sadržaj O_2 u dimnim plinovima kotla

LITERATURA

1. J. Sterff, *Die Regelung von Blockkraftwerken mit Benson-Kesseln im Schwachlastbereich,* Siemens 1980.
2. G. Klefenz, *Die Regelung von Dampfkraftwerken,* Verlag A. Hain, Meisenheim/Glan
3. A. G. Jastrebov, L. R. Hasanov — Agaev, *Issledovanie shemi recirkulaciji kotlovoi vodi v prjamotočnom kotle,* El. stanciji, X, 1966.
4. A. G. Jastrebov, L. R. Hasanov — Agaev, *Reguliruemij vodostrujnij nasos s peremennoj harakteristikoj,* El. stancii, I, 1967.
5. M. Arnold. Ž. Nikolić, N. Šerman, *Izvještaj o pregledu »Projekta ugradnje sistema recirkulacije kotlovske vode« za TE Sisak,* Elektroprivreda Zagreb, 1981.
6. N. Šerman, Ž. Nikolić, *Iskustva pri reguliranju napajanja protočnog generatora pare,* JUREMA 1980, Zagreb
7. Ž. Nikolić, *Unapređenje pogonskih svojstava termoenergetskog bloka povećanjem djelotvornosti instalirane mjerne i regulacijske opreme,* Magistarski rad, Tehnološki fakultet u Zagrebu 1979.
8. Ž. Nikolić, *Praktična ispitivanja regulacijskog sustava termoenergetskog bloka pri reguliranju frekvencije mreže,* Zbornik, JUREMA 1979, Zagreb.

KEY WORDS:

STEAM POWER PLANT CONTROL IN CASE OF INCREASED OPERATING RANGE

Due to the technological redesign of the steam generator, the operating range of the unit is increased to 70 %. The paper deals with the characteristics of the redesigned process and with its control system so as with possible improvements on the hand of operating experiances.

DER BLOCKBETRIEB IM WÄRMEKRAFTWERK SISAK BEI VERGRÖSSERUNG DER ARBEITSBEREICH DES DAMPFERZEUGERS

Durch technologische Massnahmen war es möglich, beim Dampferzeuger den Leistungsbereich bei Belastungsänderungen zu vergössern, wobei allerdings auch di Betriebsbedingungen verändert werden. Die Abhandlung zeigt diese Bedingungen und Varianten der Betriebsführung, wie auch Erweiterungsmöglichkeiten anhand der Betriebserfahrungen.

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОБЛОКАМИ ТЭС »СИСАК« ПРИ РАСШИРЕНИИ РАБОЧЕГО ДИАПАЗОНА ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

Благодаря технологическим мероприятиям, проведенным на парогенераторах, расширяется рабочий диапазон изменения нагрузки, однако изменяются также и условия управления. В работе рассмотрены упомянутые условия, а также предложены варианты управления и возможности совершенствования, учитывая эксплуатационный опыт.

Naslov pisca:

Mr Željko Nikolić, dipl. inž.
OOUR Termoelektrana Sisak,
44000 Sisak

Uredništvo primilo rukopis
1983 — 02 — 23

ANALIZA SNABDEVANJA INDUSTRIJSKIH PREDUZEĆA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM U POSEBNIM USLOVIMA

Kiril A. Tropin, Beograd

UDK 621.311

PREGLEDNI RAD

Objašnjena je kategorizacija potrošača prema prioritetu u snabdevanju električnom energijom i klase nadzemnih vodova. Podrobnije se razmatra pravilno određivanje ekonomske štete zbog poremećaja u snabdevanju, što je veoma važno i za preduzeće i za privredu u celini.
Na ovom se bazira tehničko-ekonomsko obrazloženje stepena obezbeđenja rezervi, odnosno obezbeđenje sredstava za izgradnju izvora električne energije, tj. onog minimuma koji bi smanjio ekonomsku štetu.

Ključne riječi: Industrijska preduzeća, električna energija, analiza opskrbe.

PRETHODNO RAZMATRANJE

Poremećaje u snabdevanju industrijskih preduzeća električnom energijom mogu da izazovu različiti nepovoljni pogonski događaji u elektroenergetskom sistemu, iz kojeg se vrši napajanje industrijskog preduzeća ili u električnom sistemu napajanja samog industrijskog preduzeća.

Poremećaji u snabdevanju industrijskog preduzeća električnom energijom se ispoljavaju u potpunom obustavljanju ili delimičnom ograničenju napajanja električnom energijom. Takvo vanredno stanje može da potraje neodređeno vreme, računajući od trenutka kada se ispoljilo dejstvo nepovoljnih uzroka. Vanredno stanje napajanja jednog industrijskog preduzeća električnom energijom – posebni uslovi snabdevanja električnom energijom – može da nastane kao posledica delovanja jednog ili više nepovoljnih uzroka u odnosu na korisnika električne energije. Svi ovi uzroci mogu da se podele u dve osnovne grupe:

- prva grupa bi mogla da se nazove subjektivnim ili unutrašnjim uzrocima, koji više ili manje zavise od prilika, koje vladaju u samom industrijskom preduzeću
- druga grupa bi mogla da se nazove objektivnim ili spoljnim uzrocima, koji zavise od prilika koje vladaju van industrijskog preduzeća, uglavnom kod isporučioca električne energije, tj. opšte uzeto od elektroenergetskog sistema u celini.

U subjektivne ili unutrašnje uzroke spadaju pre svega havarije i oštećenja, nepovoljno shematsko i konstruktivno oblikovanje sistema napajanja električnom energijom, nedovoljni obim obezbeđenja rezervi, kojima se on oprema, kao i loš kvalitet osnovnih sastavnih elemenata koji u njega ulaze, naročito električne opreme. Posljednji uzrok često je odlučujući, ali on, na žalost, u najmanjoj meri zavisi od projektanata i eksploatacionog osoblja.

Praksa je pokazala da je pravilna eksploatacija od velikog značaja za obezbeđenje neprekidnog snabdevanja elektičnom energijom, kao i za brzo i uspešno otklanjanje kvarova. Mogao bi da se navede niz primera kada su kvarovi nastali usled nepravilne eksploatacije električnog sistema industrijskog preduzeća.

Za vreme eksploatacije, remonata i ispitivanja električne opreme često se dozvoljava da se odstupi od važećih normativa, a to se kasnije osveti u toku eksploatacije.

Tehnološka disciplina elektrotehničkog osoblja je često na niskom nivou.

Prijem novih objekata radi stavljanja u pogon neki put se obavlja sa odstupanjima od projekta; krše se osnovna pravila izgradnje elektrotehničkih postrojenja.

Preporučljivo je da se u toku eksploatacije obavljaju preventivni pregledi električne opreme, planski remonti i nega i da se blagovremeno zamenjuju istrošeni elementi električne opreme; mora da se obezbedi tačno sprovođenje remonata i snabdevanje rezervnom opremom i delovima.

Razmotrimo ukratko objektivne ili spoljne uzroke poremećaja u snabdevanju električnom energijom.

Poremećaji u snabdevanju električnom energijom (delimično ili potpuno obustavljanje napajanja) mogu da nastanu usled ispada iz pogona iz različitih razloga izvornih i prenosnih postrojenja elektroenergetskog sistema (havarije, manipulacije, dejstvo trećih lica, atmosferski uticaji i dr.). Međutim, manjkovi snage u elektroenergetskom sistemu iz kojeg se vrši napajanje industrijskog preduzeća često se javljaju u određeno doba dana (ali različitog trajanja). U većini slučajeva ovaj oblik poremećaja u snabdevanju električnom energijom može da se uzme u obzir pri sastavljanju plana proizvodnje. Pri tom neće trebati da se u sistemu snabdevanja industrijskog preduzeća električnom energijom podrazumevaju kakve druge mere sem izrade dijagrama isključenja manje odgovornih potrošača za vreme ograničenja snage napajanja.

KATEGORIJE POTROŠAČA I KLASE NADZEMNIH VODOVA

Prema prioritetu snabdevanja električnom energijom potrošači se dele (L. 1) u sledeće tri kategorije;

1. kategorija su potrošači za koje poremećaji u

snabdevanju električnom energijom mogu da izazovu opasnost po život ljudi, osetnu privrednu štetu, oštećenje opreme, masovni škart proizvoda, razdešavanje složenog tehnološkog postupka, nered u naročito važnim elementima gradskih postrojenja.

U ovu kategoriju spadaju:

a) električna trošila naročitih tehničkih i energetskih postrojenja, mnogospratnice (preko 17 spratova – vatrogasne pumpe, liftovi, rezervno osvetljenje i dr.), radio-stanice, telegraf, telefonske centrale, vatrogasna, vodovodska i kanalizaciona postrojenja;
b) električna trošila u postrojenjima i objektima čija se delatnost obavlja pri električnom osvetljenju (pozorišta, bioskopi, čitaonice, veliki stadioni, robne kuće i sl.);
c) kompleksi električnih trošila u naročitim zdravstvenim prostorijama: operacionim salama u bolnicama i porodilištima, stanicama hitne pomoći i sl.;
d) kompleksi električnih trošila grupa gradskih potrošača ukupnog opterećenja preko 10 000 kVA.

2. k a t e g o r i j a su potrošači, za koje poremećaji u snabdevanju električnom energijom izazivaju masovno podbacivanje proizvodnje, dangubu radnika, zastoj mehanizacije i industrijskog transporta, narušavanje normalne delatnosti većeg broja građana.

U ovu kategoriju spadaju:

a) odgovorna trošila električne energije u energetskim postrojenjima čija tehnologija ograničava dozvoljene poremećaje u snabdevanju električnom energijom;
b) električna trošila svih zgrada visine preko 6 spratova;
c) administrativne i javne zgrade;
d) zdravstvene i dečje ustanove, škole, naučne ustanove;
e) grupe gradskih potrošača čije ukupno opterećenje električnih trošila iznosi od 300 do 1 000 kVA za kablovske mreže ili 1 000 kVA i više za nadzemne mreže.

3. k a t e g o r i j a su potrošači električne energije koji ne odgovaraju definicijama potrošača 1. i 2. kategorije (npr. potrošači u pogonima neserijske proizvodnje, u pomoćnim pogonima, manja naselja i sl).

Potrošači 1. kategorije moraju, po pravilu, da se napajaju električnom energijom iz dva nezavisna izvora, dok se prekidi u njihovom snabdevanju električnom energijom mogu dozvoljiti samo za vreme automatskog stavljanja u dejstvo rezervnog napajanja.

Ako broj i snaga potrošača 1. kategorije prioriteta nisu veliki onda u svojstvu drugog izvora električne energije mogu da se koriste pokretne elektrane, akumulatorske baterije, motori sa unutrašnjim sagorevanjem ili parni motori i sl., kao i premošćenja na nižem naponu do najbliže tačke koja raspolaže nezavisnim napajanjem pod uslovom da se ovi izvori automatski uključuju.

Pošto automatizacija obezbeđenja rezervi u mnogim šemama ne zahteva veće dodatne izdatke, to se ona obično primenjuje i za potrošače električne energije nižih kategorija prioriteta snabdevanja.

Ako automatskim rezerviranjem snabdevanja električnom energijom ne može da se postigne potrebna neprekidnost tehnološkog procesa, onda njegova neprekidnost mora da se postigne korišćenjem dva ili više tehnološka agregata iste namene, koji zajedno djeluju, a čiji se pogoni napajaju iz nezavisnih izvora električne energije – ako je ovo ekonomski opravdano.

Dodatne mere radi povećanja pouzdanosti snabdevanja potrošača elektrtičnom energijom ili električnih postrojenja industrijskog preduzeća u celini mogu da se preduzmu, odnosno opravdaju, samo kao izuzetak za naročite objekte, s tim što se takvo rešenje može prihvatiti samo posle usklađivanja s elektroenergetskim sistemom.

Za potrošača 2. kategorije dozvoljavaju se prekidi u snabdevanju električnom energijom za vreme koje je potrebno za uključenje rezervnog napajanja od dežurnog osoblja ili terenske ekipe. Potrošači 2. kategorije mogu da se napajaju preko jednog nadzemnog voda 6 kV ili većeg napona. Ako se potrošači napajaju preko kablova, onda se dozvoljava da se napajanje vrši preko jednog voda, ali podeljeno najmanje na dva kabla, priključena preko sopstvenih rastavljača.

Za potrošača 3. kategorije dozvoljavaju se prekidi u snabdevanju električnom energijom za vreme koje je potrebno za remont ili zamenu oštećenog elementa sistema napajanja električnom energijom, ali najviša u trajanju do 24 časa.

S obzirom na kategorije potrošača u pogledu prioriteta u napajanju električnom energijom nadzemni vodovi mogu da se podele u klase. Osnovni kriterijum za razvrstavanje nadzemnih vodova u klase predstavljaju nazivni napon voda i kategorije potrošača koji se preko njega napajaju.

Nadzemni vodovi obično se dele u sledeće tri klase:

1. klasa su nadzemni vodovi međufaznog napona jednog lanca preko 35 kV, kao i nadzemni vodovi 35 kV ako su na njih priključeni potrošači 1. ili 2. kategorije prioriteta;
2. klasa su nadzemni vodovi 35 kV na koje su priključeni potrošači 3. kategorije prioriteta u snabdevanju električnom energijom kao i nadzemni vodovi od 1 do 20 kV nezavisno od kategorije potrošača koje oni napajaju.

Na kraju razmatranja kategorija industrijskih potrošača prema prioritetu snabdevanja električnom energijom trebalo bi reći da potrošači 1. kategorije nisu propisani nekim pravilima. Oni teško mogu da se adekvatno definišu i moraju u svakom pojedinom slučaju da se sagledaju na osnovu zahteva tehnologije s obzirom na specifičnost objekta. Ovo treba raditi veoma obazrivo i ne povećavati neopravdano snagu pomenute kategorije potrošača bez naročite potrebe.

Karakteristični primer potrošača 1. kategorije predstavljaju, na primer, takvi potrošači čije zaustavljanje može da izazove poremećaje u upravljanju složenim tehnološkim procesom, koje je neophodno da bi se proces obustavio bez havarije. Ovamo spadaju elektromotori za zasune i za zapornu armaturu, pogoni ventilatora, kompresora, centrifugalnih pumpi, kao i rezervno osvetljenje u nekim vrstama hemijske proizvodnje. Obustavljanje ventilacije u nekim proizvodnim halama može da izazove opasnu koncentraciju zapaljivih ili otrovnih gasova; obustavljanje pumpi može da bude uzrok požara i eksplozija.

U 1. kategorijú potrošača električne energije mogu takođe da se uvrste neki mehanizmi visokih peći, razni prijemnici u proizvodnji veštačkih vlakana, hemijska industrija i dr.

EKONOMSKE POSLEDICE POREMEĆAJA U SNABDEVANJU ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

Prekidi, odnosno ograničenja, u snabdevanju električnom energijom celog industrijskog preduzeća ili njegovih delova izazivaju manjkove u proizvodnji ili takozvanu štetu.

Određivanje veličine ove vrste štete valja podrobnije razmotriti jer se veoma često vrši nepravilno. Međutim, pravilno određivanje veličine štete važno je za ekonomski bilans poslovanja industrijskog preduzeća, za određivanje ukupne materijalne štete koju trpi privreda usled poremećaja u snabdevanju električnom energijom, za ispravno određivanje onog minimuma snage i energije koji bi se odobrili industrijskom preduzeću u snabdevanju električnom energijom radi smanjenja ekonomske štete.

Pri određivanju štete usled poremećaja u snabdevanju industrijskog preduzeća elektičnom energijom treba imati u vidu da je trajanje stvarnog zastoja potrošača »t_p« gotovo uvek veće od trajanja prekida u snabdevanju električnom energijom »t_e«, jer treba još dodati vreme »t_{teh}« koje je potrebno da agregat, radionica, pogon ili drugi element proizvodnje dostigne normalni kapacitet proizvodnje, tj.

$$t_p = t_e + t_{teh.}$$

Zbog toga pri određivanju veličine štete, potrebnog stepena neprekidnosti napajanja i načina obezbeđenja rezervi treba uzimati u obzir osobine proizvodnje koje uslovljavaju dozvoljeno trajanje prekida u snabdevanju električnom energijom (L. 2).

U pojedinim preduzećima škart proizvodnje te poremećaji u tehnološkom procesu i kvarovi opreme nastaju pri prekidu u snabdevanju električnom energijom u trajanju do 1/2 časa, a u drugim preduzećima ovo može da nastane samo pri dužim prekidima u napajanju električnom energijom — do 2-3 časa, pa i više.

Veličina dodatnog vremena potrebnog za uspostavljanje normalnog tehnološkog procesa posle uspostavljanja napajanja električnom energijom takođe zavisi od osobina tehnološkog procesa i menja se u vrlo širokim granicama — od 5 minuta do 2 časa. U nizu slučajeva čak i kratkotrajni prekidi u snabdevanju električnom energijom izazivaju zastoje proizvodnje dužeg trajanja.

Neka proizvodna preduzeća posle uspostavljanja napajanja električnom energijom rade sa smanjenim kapacitetom u toku nekoliko časova, pa čak i po nekoliko dana (mašine za izradu hartije). Tako, na primer, prekidi u snabdevanju električnom energijom valjaoničkog stana u trajanju 10-15 minuta u pravilu ne izazivaju stvaranje škarta produkcije, ali se pri tome javlja poremećaj ritma valjanja, a to izaziva smanjenje produktivnosti valjaoničkih stanova i uslovljava ozbiljno smanjenje gotovih proizvoda. Ovo se dešava zato što se blokovi pripremljeni za valjanje ohlade za vreme zastoja i moraju ponovo da se zagrevaju, a peći za zagrevanje neproduktivno troše gorivo (gas, naftu) jer za vreme zastoja mora da se održava stalna temperatura. Posle uspostavljanja napajanja električnom energijom potrebno je najmanje 10-12 minuta da bi se postigla normalna produktivnost valjaoničkog stana.*

Trajanje prekida u snabdevanju električnom energijom »t_e« sastoji se takođe od trajanja prekida izazvanog krivicom izvora napajanja »t_{e1}« i vremena »t_{e2}« potrebno za uspostavljanje snabdevanja potrošača električne energije.

Postoji minimalno trajanje prekida u snabdevanju električnom energijom »t_o« koje ne utiče na rad potrošača. Ovo vreme treba uzimati u obzir, a naročito pri izvođenju automatike.

Razlikuju se dve vrste šteta usled prekida u snabdevanju električnom energijom: direktna ili neposredna šteta i indirektna ili dodatna šteta.

U direktnu štetu spadaju:

a) vrednost dangube radne snage, ako radna snaga ne može u potpunosti ili delimično da se iskoristi za druge radove;
b) oštećenja, ispadi iz upotrebe ili skraćivanje veka trajanja mehanizama, alata, naprava i druge opreme;
c) štete usled gubitaka raznih vrsta energije: usled oticanja pare, gasa, komprimovanog vazduha, rasipanja toplote industrijskih peći itd.;
d) štete usled poremećaja tehnološkog procesa ili usled pogoršanja njegovih tehničko-ekonomskih pokazatelja;
e) štete usled škarta proizvoda, kvara sirovina, materijala i polufabrikata, usled povećanog ulaganja rada, materijala i energije po jedinici proizvoda.

Napomena: Od štete pod e) treba oduzimati vrednost iskorišćenih pokvarenih proizvoda, materijala i sirovina.

Ukupna vrednost direktne štete »$Š_n$« u opštem obliku može da se odredi pomoću obrasca:

$$Š_n = Š_{no} + Š_{n(t_e)} + Š_{n(t_{teh})} \qquad (1)$$

gdje su:

$Š_{no}$ — komponenta direktne štete, koja ne zavisi od trajanja prekida u snabdevanju električnom energijom;

$Š_{n(t_e)}$ — komponenta direktne štete, koja zavisi od trajanja prekida u snabdevanju električnom energijom;

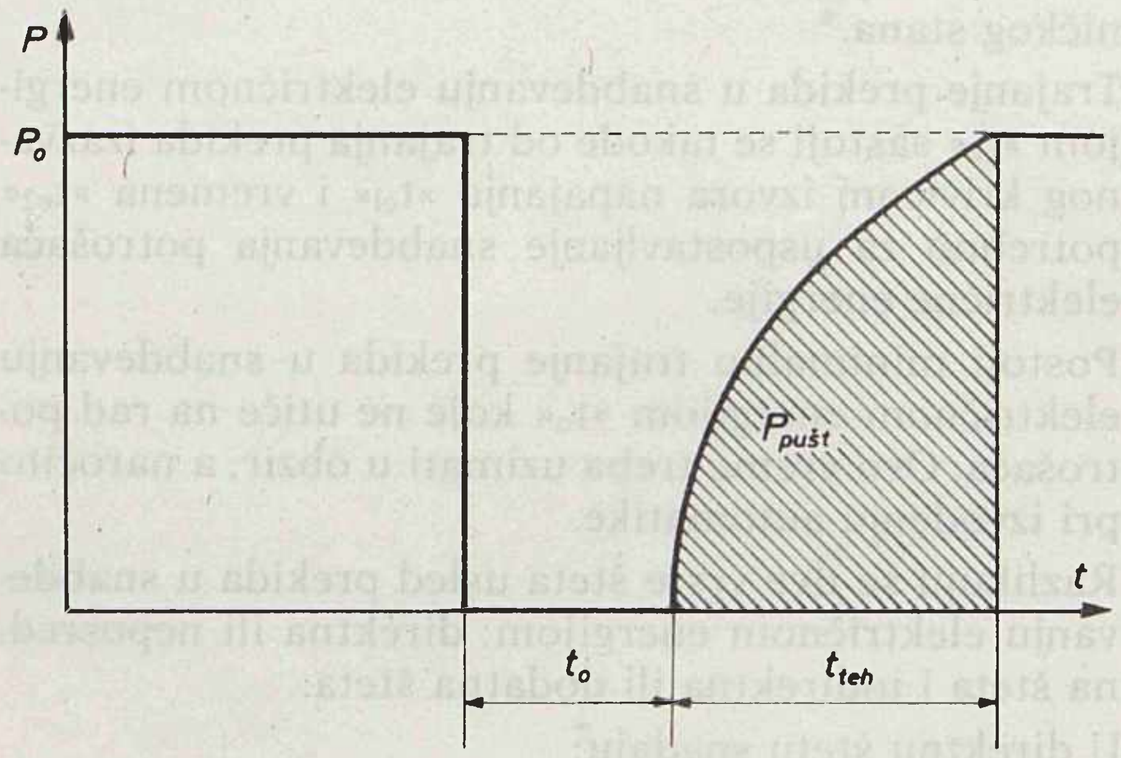
$Š_{n(t_{teh})}$ — komponenta direktne štete, koja uzima u obzir troškove uspostavljanja tehnološkog procesa.

---

* Ova okolnost bila je razlog da se za snabdevanje prve jugoslovenske valjaonice mesinga (Vojnotehnički zavod u Kragujevcu, 1938. god.) pored sopstvene snažne termoelektrane sa parnim turbinama sagradi još i transformatorska stanica 35 kV napajana iz TE Vreoci. Isto tako radi neprekidnog napajanja valjaonice mesinga »Slobodan Penezić« sagrađena je jedna od prvih u Jugoslaviji TS 110 kV —»Sevojno« (1954).

N a p o m e n a: Pri $t_e \leq t_o$ direktna šteta $Š_n$ teži nuli; t_o znači isto kao i ranije.

Indirektnu ili dodatnu štetu $Š_d$ predstavljaju štete u vidu smanjenja proizvodnje nastalog usled prekida u snabdevanju električnom energijom.



Slika 1.

Smanjenje gotove produkcije ΔP usled prekida u snabdevanju električnom energijom može da se izrazi sledećim principijelnim obrascem (sl. 1):

$$\Delta P = p_o(t_e + t_{teh} - t'_{teh}) \qquad (2)$$

gdje su:

p_o — časovna proizvodnja pri normalnom režimu;

$t'_{teh} = P_{pušt}/p_o$ — redukovano trajanje režima puštanja, kada je proizvodnja manja od p_o;

$P_{pušt}$ — proizvodnja ostvarena za vreme normalizacije procesa proizvodnje posle uspostavljanja urednog napajanja električnom energijom.

Ako se izrađuje više proizvoda, onda se manjak proizvodnje određuje posebno za svaku vrstu proizvoda koristeći obrazac (2).

EKONOMSKA OBRAZLOŽENJA MERA

Prema napred izloženom dolazimo do jednog veoma važnog zaključka sa gledišta društvene zajednice (i drugih aspekata) u pogledu obezbeđenja sredstava za izgradnju izvora električne energije i drugih elektroenergetskih postrojenja.

Zasada osnovni kriterijum (uprkos tome što on ne može tačno da se definiše) za određivanje potrebnog stepena pouzdanosti i optimalnog obima obezbeđenja rezervi predstavlja upoređenje troškova potrebnih za postizanje povećane pouzdanosti snabdevanja električnom energijom sa vrednošću verovatne privredne štete koja se javlja usled poremećaja u snabdevanju električnom energijom. Matematičko očekivanje štete usled poremećaja u snabdevanju električnom energijom predstavlja, po svoj prilici, jedinu kvantitativnu karakteristiku za više – manje objektivnu procenu potrebnog stepena kvaliteta snabdevanja električnom energijom i za sprovođenje mera za obezbeđenje rezervi odgovarajućih elemenata ovog sistema.

Pri tehničko-ekonomskom upoređenju varijanata snabdevanja električnom energijom sa različitim stepenom obezbeđenja rezervi, uzimajući u obzir različite veličine štete pri ovim varijantama, treba imati u vidu da smanjenje štete pri varijanti sa većim obezbeđenjem rezervi u pravilu mora biti veće (neki put osetno veće) od dodatnih troškova usled povećanja obezbeđenja rezervi. Ovo se tumači uglavnom time što se veličina štete veoma teško može više ili manje tačno odrediti.

Tehničko-ekonomsko upoređenje varijanata sa različitim obimom obezbeđenja rezervi i pretpostavljenim različitim veličinama godišnjih šteta može orijentaciono da se izvede prema sledećem obrascu:

$$(p\,\Delta K + \Delta I) < \Delta Š \qquad (3)$$

gdje su:

ΔK — povećanje investicionih ulaganja za varijantu sa većim obimom obezbeđenja rezervi, dinara;

ΔI — dodatni godišnji troškovi za skuplju varijantu (pomoćni materijal, osoblje, električna energija), dinara;

p — koeficijenat kojim se uzima u obzir godišnji otpis za dodatna investiciona ulaganja;

$\Delta Š$ — smanjenje godišnje štete za skuplju varijantu, dinara.

Veličina »p« se sastoji od normativnog koeficijenta efikasnosti, amortizacionih otpisa i otpisa za tekući remont. Može da se usvoji da je ukupna vrednost približno 0,25.

Veličina $\Delta Š$ predstavlja razliku pretpostavljene štete za varijantu sa većim i sa manjim obimom obezbeđenja rezervi. Ona može da se izrazi obrascem:

$$\Delta Š = \Delta(\Sigma Š_n + \Sigma Š_d) \qquad (4)$$

Leva strana izrazra (4) određuje direktnu štetu $Š_n$, koja se izračunava prema obrascu:

$$Š_n = a_k \cdot \lambda_k \text{ dinara/god.},$$

gdje su:

a_k — šteta usled jednog prekida u napajanju agregata »k« električnom energijom, din/kWh;

λ_k — učestalost kvarova (verovatnoća oštećenja usled havarija) sistema za snabdevanje električnom energijom u tački napajanja agregata »k«.

Desna strana izraza (4) određuje dodatnu štetu $Š_d$ usled smanjenja proizvodnje, a prema obrascu:

$$Š_d = \Sigma b_k M_{bk}, \text{ dinara/god.} \qquad (5)$$

gdje su:

b_k — šteta usled smanjenja proizvodnje agregata »k« u toku 1 h, dinara/godina;

$M_{bk} \approx \lambda_{bk} \cdot t_{bk}$ — matematičko očekivanje zastoja agregata »k«, h/godina;*

λ_{bk} — učestalost kvarova sistema za snabdevanje električnom energijom u toku jedne godine u tački »k« (pri trajanju prekida duže od t_o);

$t_{bk} = (t_e + t_{|teh} - t'_{teh})$ — očekivana srednja vrednost trajanja zastoja agregata »k« usled prekida u napajanju električnom energijom.

Veličina ili stepen učestalosti kvarova elemenata sistema za snabdevanje električnom energijom određena je brojem otkaza u toku jedne godine usled izvršavanja tim elementima normalnih funkcija koje su predviđene njihovom namenom u posmatranoj tački. Učestalost kvarova sistema za snabdevanje električnom energijom predstavlja zbir učestalosti kvarova električne opreme u industrijskom preduzeću (mašine, aparati, kablovi i dr.), učestalosti kvarova usled kršenja pravila eksploatacije ili zakašnjele revizije i preventivne nege usled pogrešnih postupaka osoblja, nepovoljnih karakteristika okoline i, najzad, usled poremećaja u napajanju iz elektroenergetskog sistema.

Pri izračunavanju štete treba imati u vidu heterogenost tehnološkog procesa: on može da bude cikličan, dok asortiman gotovih proizvoda može da se menja. Zbog toga treba imati u vidu mogućnost da trenutak prekida u snabdevanju električnom energijom nastupi u zoni s većom ili manjom štetom. U ovom slučaju šteta se izračunava kao matematičko očekivanje. Zona oštećenja može da se definiše ukupnim brojem potrošača energije koji se isključuju pri havariji.

U tehničko-ekonomskim proračunima treba imati u vidu i voditi računa da se sve navedene vrste štete ne javljaju pri svakom poremećaju u napajanju električnom energijom. One zavise od mnogih činjenica i, u prvom redu, od karaktera proizvodnje. U nekim slučajevima šteta se svodi samo na dangubu radne snage i smanjenje proizvodnje.

Štetu usled smanjenja proizvodnje koja bi se ostvarila da nije bilo zastoja u većini slučajeva ne treba uzimati u obzir, jer ova proizvodnja veoma često može da se nadoknadi na jedan od sledećih načina: korišćenjem rezervne opreme; prekovremenim radom; forsiranjem proizvodnje putem povećanja brzine, temperature, pritiska, jačine električne struje, nivoa napona.

Sem toga ova komponenta štete može pravilno da se sagleda samo uzimajući u obzir osobine proizvodnje, mogućnosti tehnološkog obezbeđenja rezerve i drugih mera čisto tehnološkog karaktera, postajanje međuskladišta i slobodnih proizvodnih kapaciteta, zaliha polufabrikata i sl.

U preduzećima koja rade u jednoj ili u dve smene šteta usled smanjenja proizvodnje može da se ne uzima u obzir jer manjak u proizvodnji može da se pokrije radom u neopterećenim smenama. Šteta usled smanjenja proizvodnje u svim slučajevima mora da se određuje sa odbitkom vrednosti neiskorišćenih sirovina.

Zbog toga mere za obezbeđenje pouzdanosti snabdevanja električnom energijom izvode se u svakom pojedinačnom slučaju, imajući u vidu konkretne mogućnosti preduzeća i specifične osobine date grane industrije sa gledišta posledica koje se javljaju usled iznenadnih poremećaja u snabdevanju električnom energijom, jer postoje tehnološki procesi gde se šteta usled poremećaja u napajanju električnom energijom određuje znatno komplikovanijé nego prema napred prikazanom načinu. To su, na primer, takvi tehnološki procesi gde se u zavisnosti od trajanja zastoja menja kvalitet sirovina ili polufabrikata (hemijska, prehranbena industrija i dr.).

Treba posebno razmatrati takve grane proizvodnje sa naročito velikim korišćenjem električne energije, kao što su elektroliza, električne peći, električno zavarivanje teških komada i sl., u kojima električna energija predstavlja osnovni tehnološki činilac.

Trebalo bi napomenuti da je relativna pouzdanost električne opreme i kablovskih mreža u industrijskim preduzećima nešto manja, nego u vangradskih i gradskih kablovskih mreža. Ovo može da se objasni, kao prvo, dužim trajanjem njihovog pogona pod maksimalnim opterećenjem, ako preduzeće radi u tri smene, kao i postajanjem u mnogim slučajevima zagađene i agresivne sredine. Sem toga u industrijskim preduzećima postoji mnogo kratkih kablova, čime je uslovljen veći broj kablovskih glava po jedinici ukupne dužine kablovske mreže nego u vangradskim i gradskim mrežama.

Osnovni i veoma težak zadatak predstavlja razumno usklađivanje zahteva u pogledu pouzdanosti i ekonomičnosti. Ovde se neminovno sukobljava sa suprotnostima.

Treba imati u vidu da prekomerna investiciona ulaganja u rezervnu električnu opremu i u električne mreže u posmatranoj grani industrije ili u posmatranom industrijskom preduzeću radi smanjenja zastoja usled havarija mogu da postanu uzrok odlaganja roka stavljanja u pogon drugih objekata i na taj način otežati razvoj proizvodnih objekata čija bi proizvodnja više puta nadmašila moguće smanjenje proizvodnje usled havarija.

Zbog toga sagledavanje najracionalnijeg obima obezbeđenja rezervi predstavlja važan ekonomski problem za privredu u celini i veoma važan zadatak pri projektovanju svakog pojedinačnog objekta.

Obično se ne predvidi eksplicitno prikazana (»hladna«) rezerva pojedinih elemenata koji služe za snabdevanje električnom energijom. Rezerva se obezbeđuje implicitno u samom sistemu tako da pri ispadu jednog elementa moraju da ga zamene elementi koji su ostali u pogonu putem preraspodele električnih opterećenja.

Ne bi trebalo preterivati u obezbeđenju rezervi i u automatici, jer prekomerno pretrpavanje sheme apa-

*Matematičko očekivanje godišnjeg zastoja agregata ili nekog drugog elementa određuje se polazeći od potrebnog vremena za potpuno uspostavljanje proizvodnje i od očekivanog broja oštećenja u toku jedne godine.

ratima primarnog i sekundarnog kola, sem poskupljenja sheme, predstavlja komplikovanje sistema u celini i jako otežava eksploataciju bez daljeg povećanja pouzdanosti.

Potreban obim obezbeđenja uslovljen je zahtjevima potrošača u pogledu njihovog neprekidnog napajanja električnom energijom, kao i pouzdanošću same električne opreme, a isto tako i njihovom prikladnošću da se remontuju, kao i stepenom učestalosti kvarova.

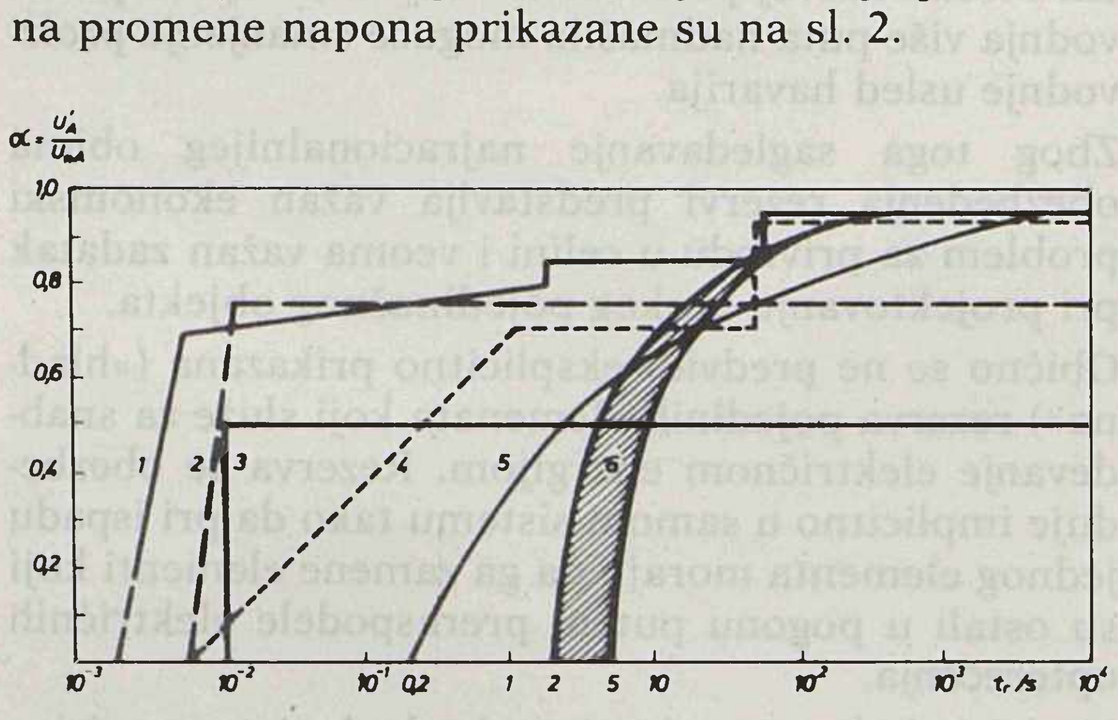
PROMENE NAPONA

Postojeće metode određivanja šteta (i pouzdanosti napajanja) polaze od svega dva verovatna stanja trošila električne energije: radnog stanja i zastoja usled prekida u snabdevanju električnom energijom. Međutim, tehnološke osobine procesa proizvodnje nalažu da se odvojeno priđe tom zadatku, naročito kada se radi o promenama napona koje često izazivaju teže posljedice nego potpuna ali kratkotrajna isključenja.

Razmotrićemo reakcije konkretnih potrošača na promene napona u mreži. Ne svaki prekid u snabdevanju električnom energijom povlači za sobom prekid rada tehnoloških postrojenja potrošača. Isto tako, ne svako oštećenje elemenata mreža izaziva gašenje čvorišta opterećenja iz kojeg se vrši napajanje. Radi analize ovog problema uvešćemo pojam kriterijuma pouzdanosti prema naponu. Nazivni napon pouzdano se održava u čvorištu opterećenja, kada je napon mreže U_N jednak pogonskom naponu potrošača U_A ili je veći od njega za određenu vrednost tolerancije. Taj uslov mora da se ispunjava i u stacionarnom režimu, i u prelaznom procesu za odgovarajuće napone U'_N i U'_A.

Još nedavno pri izboru električne opreme polazilo se je od padova napona u mreži u normalnom stanju. Dinamičke promene napona uzimane su u obzir samo pri izboru fluorescentnog osvetljenja. U poslednje vreme ispoljava se interes u pogledu ponašanja napona u mreži i u potrošača usled kvarova u trajanju od 1 ms do 100 s.

Razni potrošači različito reaguju na promene napona na krajevima. Tipske funkcije reakcije potrošača na promene napona prikazane su na sl. 2.



Slika 2.

Ovde funkcija reakcije potrošača ima sledeći analitički izraz:

$$\alpha = U'_A : U_{nA} = f(t_r)$$

gdje su:

U_{nA} — nazivni napon potrošača;
t_r — vreme reakcije mreže, koje se neki put zove vremenom potpunog gašenja čvorišta (t_u).

Sa gledišta reakcije na promene napona i isključenja napajanja potrošača električnom energijom potrošači mogu da se podele u dve grupe. Potrošači jedne od tih grupa (tipa fluorescentnih sijalica i kontaktora) isključuju se bez uspostavljanja radne sposobnosti već nekoliko milisekunda posle pada napona ili isključenja napona napajanja. Druga grupa potrošača (elektromotori) posle uspostavljanja napona, ako je njegov pad ili isključenje trajalo najviše nekoliko sekunda, uspostavljaju svoju ranu sposobnost. Odavde može da se izvede zaključak da se povećanje pouzdanosti održavanja stabilnosti napona napajanja za sijalice koje rade na principu električnih pražnjenja u parama metala nema smisla. Suprotno tome, električni pogon, koji ima veliku inerciju, može potpuno da održi stabilnost pri padovima napona čak i pri kratkotrajnim prekidima u napajanju električnom energijom. Zbog toga investiciona ulaganja radi povećanja pouznadnosti sheme napajanja u poslednjem slučaju mogu da budu opravdana sa ekonomskog gledišta.

Ne mogu potpuno da se spreče otkazi elemenata mreže i gašenja čvorišta opterećenja. Zbog toga u mreži u principu uvek su moguće promene i padovi napona. Ponašanje napona u mreži pri različitim smetnjama određeno je strukturom mreže i njenim režimima, raspodelom napona pri različitim kratkim spojevima i nabacivanjima opterećenja, koordinacijom vremena zatezanja delovanja zaštita i automatike. Opisani prilaz problemu može formalno da se realizuje u obliku programa za elektronske računare (L. 6). U Nemačkoj Demokratskoj Republici već su stečena izvesna iskustva u korišćenju programa ove vrste.

OBEZBEĐENJE NAPAJANJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

Podela električnog opterećenja s obzirom na kategorije prioriteta napajanja izvodi se prema pojedinim trošilima, a ne prema celim pogonima, radionicama itd.

Delovi pogona, radionice ili pojedine grupe potrošača različitog prioriteta napajanja posmatraju se kao objekti sa raznim uslovima obezbeđenja rezervi.

Zahtevi u pogledu elektroenergetskih postrojenja su usmereni na potpuno podmirenje potrošača električnom energijom, ali se dozvoljava manje odgovornih potrošača električne energije. Zato pri projektovanju snabdevanja električnom energijom mora da se obradi sistem napajanja električnom energijom u režimima posle havarija. Sistem napajanja električnom energijom mora da predvidi napajanje potroša-

ča, koji obezbeđuju da se obavlja smanjeni rad industrijskog preduzeća sa ograničenjem snage ili bar održavanje stanja »tople« rezerve, s tim da bi posle uspostavljanja normalnog snabdevanja električnom energijom preduzeće moglo brže i lakše ponovo početi da radi prema zadatom planu proizvodnje.

Pri diferenciranom prilazu obezbeđenju rezervi za potrošače električne energije različitih kategorija prioriteta pojavljuju se ozbiljne teškoće u ostvarenju njihovog napajanja, jer su oni skoro uvek izmešani teritorijalno i njih je veoma teško izdvojiti.

Osnovni činilac koji utiče na shemu napajanja električnom energijom predstavlja specifično učešće potrošača različitih kategorija prioriteta. Ako preovlađuju opterećenja prve i druge kategorije prioriteta u pogledu neprekidnog napajanja, onda automatsko obezbeđenje rezervi treba predvideti počev od viših stepena snabdevanja električnom energijom. Ako pak specifično učešće potrošača prve kategorije prioriteta u pogledu neprekidnosti snabdevanja nije veliko, onda su opravdanija jeftinija rešenja izvedena pomoću rezervnih premošćenja za manje snage.

Neki put ovakvo obezbeđenje rezervi opravdano je da se ostvari ne u transformatorskoj stanici da se ona ne bi komplikovala, već u razvodnim ormanima u halama na koje se priključuju potrošači prve kategorije prioriteta u snabdevanju električnom energijom. Napajanje ovih razvodnih ormana izvodi se iz raznih transformatorskih stanica ili od raznih sekcija ili sistema sabirnica transformatorskih stanica, dok se za prespajanje koristi najjednostavnija automatika. Način polaganja vodova i kablova, kao i organizacija obezbeđenja rezervi u transformatorima, moraju da omoguće njihov remont ili zamenu u određenom roku. Pri rešavanju pitanja neprekidnosti napajanja u projektima moraju pažljivo da se prouče sve sitnice, jer usled grešaka u projektu mogu da se dese teške havarije koje izazivaju oštećenje opreme i obustavljanje rada preduzeća. Tako se, na primer, u jednoj većoj željezari desilo potpuno isključenje pumpnih stanica usled pomanjkanja veoma jednostavnog blokiranja u uređajima za automatsko uključenje rezervi, koje je izazvalo njegovo lažno dejstvo. I pored dosta komplikovanog i skupog obezbeđenja rezervi u napajanju električnom energijom, ova greška usled širenja havarije izazvala je delimično razaranje opreme u pogonu visoke peći, zaustavljanje visokih peći, poremećaj metalurškog ciklusa i veliku materijalnu štetu.

U drugoj velikoj željezari usled nepravilno izvedene sheme diferencijalne zaštite transformatora, pri njenom podešavanju se desila havarija sa isključenjem velikog transformatora snage 40,5 MVA i napojnog dalekovoda 110 kV. Usled toga progorela je rupa na radijatoru transformatora, pa je ulje počelo da curi sa odgovarajućim posledicama, koje su onemogućile da se uspostavi normalan rad preduzeća.

Obavezan uslov za pravilno rešenje snabdevanja električnom energijom predstavlja poznavanje i proučavanje od strane električara (projektanata i pogondžija) tehnologije i odvijanje osnovnih procesa proizvodnje dotične grane industrije, kao i posledica, koje nastaju usled prekida u snabdevanju električnom energijom. Potreban je kritički odnos prema uputstvima tehnologa u pogledu zahteva, koji se odnose na neprekidnost napajanja električnom energijom. Treba uzimati u obzir stepen obezbeđenja rezerve u tehničkom delu, kao i postrojenje paralelnih tehnoloških linija.

Dokumentacija, pripremljena na ovim osnovama, olakšala bi ne samo rad industrijskog preduzeća u posebnim prilikama, već bi znatno koristila i isporučiocu električne energije u slučaju poremećaja u elektroenergetskom sistemu.

Na kraju bi trebalo napomenuti da podela potrošača električne energije u kategorije prema prioritetu snabdevanja električnom energijom ima donekle uslovni karakter.

Tako, na primer, prema projektu jedne željezare opterećenje od potrošača prve kategorije prioriteta u pogledu snabdevanja električnom energijom iznelo je 15%; druge kategorije — 80%; treće kategorije — 5%. Prema tome čak i u jednoj željezari preovlađuju potrošači druge kategorije, dok učešće potrošača prve kategorije nije veliko. U drugim granama industrije učešće potrošača druge kategorije još je veće.

Grupa potrošača druge kategorije je najbrojnija. Neke grupe potrošača električne energije ove kategorije, prema zahtjevima koji se postavljaju u pogledu napajanja električnom energijom, bliže su prvoj kategoriji u pogledu pouzdanosti napajanja električnom energijom.

U toku izlaganja moglo se primetiti da se zahtevi u pogledu snabdevanja industrijskog preduzeća električnom energijom u posebnim prilikama ne razlikuju od opštih zahteva u pogledu neprekidnosti, odnosno pouzdanosti snabdevanja električnom energijom, a da su, prema tome, isti i putevi koji vode tom cilju.

LITERATURA

[1]. Rozenberg V. A., Maleko V. A.: *Projekt metodičeskih ukazanij po opredeleniju nadežnosti sistem elktrosnabženija promyšlennyh predprijatij.* Tehplan GPI TPEP — 1966.

[2]. Klöppel F., Voland H.: *Verbesserte Zuverlässigkeitsbeurteilung für Elektroenergieabnehmer durch Berücksichtigung ihrer Reaction auf transiente Spennungsänderungen.* »Energietechnik«, 1976, 26, № 1

KEY WORDS: FACTORIES, ELECTRIC POWER, ANALYSIS OF SUPPLY

ANALYSIS OF ELECTRIC POWER SUPPLY FOR FACTORIES IN SPECIAL OCCASIONS

In the article is described classification of consumers priority in electric power supply and classes of overhead lines. In more details are analysed economical losts in case of disturbed supply, what is important for enterprises and whole economy.
On that is explained degree of reserve or needed investments in electric power production that would result in decreasing economical losts.

UNTERSUCHUNG DER ELEKTRISCHEN ENERGIEVERSORGUNG VON INDUSTRIEANLAGEN UNTER BESONDEREN BEDINGUNGEN

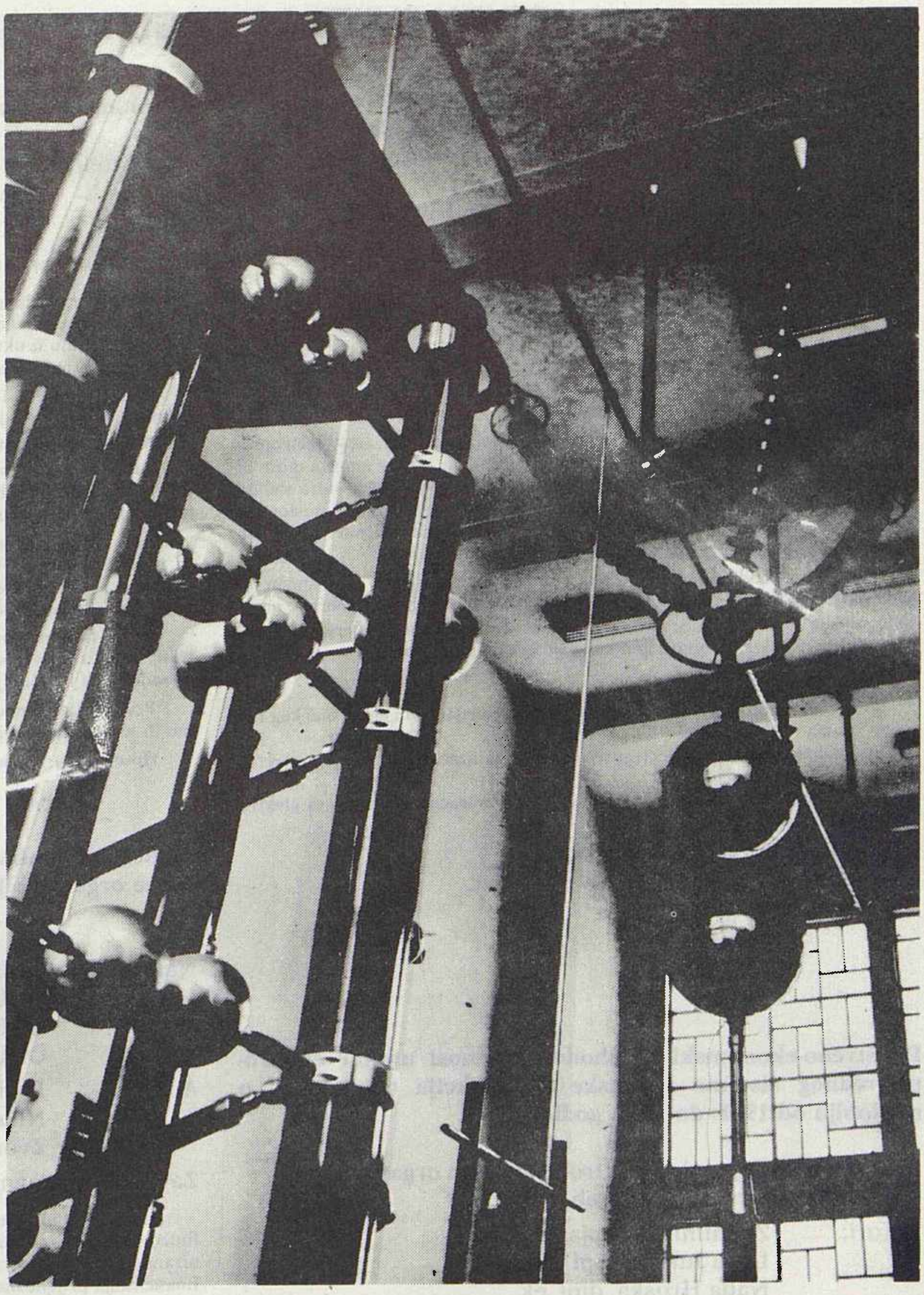
Dargestellt wird eine Kategorisierung von Stromverbrauchern nach deren Wichtigkeitsstufe bezüglich der elektrischen Energieversorgung, wie eine Klassifizierung der Oberleitungen. Eingehend behandelt werden die Fragen der wirtschaftlichen Nachteile bei Störung der Stromlieferung mit besonderer Berücksichtigung einzelner Unternehmungen und des Gesamtschadens für die Wirtschaft.
Anhand dieser Unterlagen erfolgt eine Einteilung verschiedener Reservestufen bzw. der Massnahmen zur Sicherstellung des Ausbaus von Stromversorgungsanlagen unter Berücksichtigung eines Minimums wirtschaftlicher Nachteile bzw. Schäden.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАНИЙ И БАНКА ДАННЫХ МЕЖДУ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ПЕРЕФЕРИЙНОЙ СТАНЦИЯМИ В СИСТЕМЕ ДИСТАНТНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В статье говорится о емкости ЭВМ, об уровне управления и структуре электромагнитной системы. Указывается на распределение заданий (программ) и банка данных между ЭВМ на центральной и переферийной станциях. Приведен конкретный пример.

Naslov pisca:
Kiril A. Tropin, dipl. inž.
11000 Beograd

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 01 – 20



RAD INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU U 1982. GODINI

Institut za elektroprivredu u Zagrebu osnovan je sa zadatkom da znanstveno obrađuje probleme razvoja elektroprivrede i ostale energetike, i u tom području djeluje već trideset godina.

Svojim razvojem i afirmacijom Institut je postao nosilac obrade važnih problema jugoslavenske i hrvatske elektroprivrede i energetike uopće. Naročito valja istaknuti aktivnost Instituta na znanstvenim istraživanjima metoda bilanciranja energetskih sistema uspoređivanjem vrijednosti elektrana, stalni rad na studiji perspektivnog razvoja jugoslavenske mreže visokog i najvišeg napona, te rad na analizi potrošnje i drugim problemima razvoja razdjelnih mreža.

Osim rada na užoj problematici razvoja elektroenergetskog sistema, razvio se rad na tehnološkim elementima termoenergetike, te u tehnici visokog napona. U pojedinim specijalnostima ovih područja Institut je vodeća ustanova u zemlji. Posljednjih godina ubrzano se razvija i studij nuklearne energetike.

Suradnici Instituta su također i priznati stručnjaci izvan Instituta, među kojima je i nekoliko istaknutih sveučilišnih profesora.

Znanstveno istraživački rad se obavlja, prema unutarnjoj organizaciji, u nekoliko posebnih grupa, od kojih svaka ima svoj zaokruženi djelokrug rada:

Studijska radna jedinica za elektroenergetske sisteme i ekonomsku problematiku

Studijska radna jedinica za razdjelne, visokonaponske, n. n. mreže i za projektiranje

Studijska radna jedinica za termoenergetske sisteme

Zavod za visoki napon i prijenosne mreže

Studijska radna jedinica za hidrotehničke sisteme.

U daljnjem tekstu su prikazani važniji radovi iz djelovanja ovih grupa u 1982. godini.

Energija, God. 32 (1983) 4 299-313

STUDIJ ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA

Izrada analize poslovanja sa sagledavanjem ekonomskog položaja elektroprivrede Hrvatske i udruženih elektroprivrednih organizacija korištenjem elektroničkog računala

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske — Zagreb

Autori: Zvonimir Milonja, dipl. ek.
Lada Jurišić, dipl. ek.
Nada Hruška, dipl. ek.

Programe izradio: mr Damir Pešut, dipl. ing.

Završeno u studenome 1982. godine.

Osnovni zadatak studije: mogućnost izrade analize poslovanja elektroprivrednih organizacija korištenjem elektroničkog računala. Takva analiza mora biti prihvatljiva i lako dostupna svim korisnicima, redovita i točna, mora sadržavati sve bitne elemente iz kojih se mogu sagledati ostvareni rezultati poslovanja i ekonomski položaj elektroprivrede kao cjeline, elektroprivrednih radnih i osnovnih organizacija udruženog rada u izvještajnom razdoblju.

Studija se izvodi onim redom koji je odraz stvarnog toka jednostavne reprodukcije električne energije, tj. od analize potrošnje električne energije preko zadovoljenja te potrošnje proizvodnjom i nabavom električne energije, do ostvarenih financijskih rezultata koji su se poslovanjem ostvarili.

Studija sadrži sljedeća poglavlja:

— metodološki uvjeti za analizu poslovanja korištenjem elektroničkog računala
— analiza poslovanja elektroprivrednih organizacija korištenjem elektroničkog računala
— analiza poslovanja elektroprivrednih organizacija korištenjem elektroničkog računala.

Opseg studije: 130 stranica, 90 tablica

Društveno-ekonomski i dohodovni odnosi unutar elektroprivrednog sistema Hrvatske i projekcija tih odnosa u razdoblju od 1981. do 1985. godine

Naručitelj: Zajednica elektroprivrendih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: Zvonimir Milonja, dipl. ek.
Lada Jurišić, dipl. ek.
Nada Hruška, dipl. ek.

Završeno u srpnju 1982. godine.

U studiji je istražen i obrađen prijedlog o novom modelu razrješavanja društveno-ekonomskih i dohodovnih odnosa u elektroprivrednom sistemu na temelju učinaka i internih cijena učinaka elektroprivrednih osnovnih organizacija i zajedničkoj proizvodnji električne energije. Rezultat zajedničke proizvodnje električne energije jest zajednički prihod koji se nakon prethodnog podmirivanja troškova zajedničkih rizika (troškovi nabavljene električne energije, troškovi energetskog goriva), raspoređuje na elektroprivredne djelatnosti i u sljedećoj fazi na elektroprivredne osnovne organizacije udruženog rada. Pri tome je distributivna djelatnost promatrana u prvom slučaju kao djelatnost koja je u potpunosti uključena u poslovanje na osnovama zajedničkog prihoda, odnosno u drugom slučaju kao djelatnost čije je sudjelovanje u zajedničkom prihodu razriješeno cijenom na pragu prijenosne mreže.

U studiji je obrađena praktična primjena modela rasporeda zajedničkog prihoda za 1981. godinu.

U studiji su obrađena sljedeća poglavlja:

— tehničko-tehnološko funkcioniranje elektroenergetskog sistema i zajednička proizvodnja električne energije
— institucionalni temelji i okviri društveno-ekonomskih odnosa u zajedničkoj proizvodnji električne energije
— samoupravno reguliranje društveno-ekonomskih odnosa u elektroprivredi Hrvatske
— društveno-ekonomski i dohodovni odnosi u zajedničkoj proizvodnji električne energije (zajednički prihod od prodaje električne energije, raspoređivanje zajedničkog prihoda)
— projekcija formiranja i raspoređivanja zajedničkog prihoda u razdoblju od 1981. do 1985. godine.

Opseg studije: 158 strana, 48 tablica.

Ekonomska obrada investicijske dokumentacije elektrana

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autor: Marijan Magdić, dipl. ek.

Završeno u prosincu 1982. godine.

Elektroprivreda, s obzirom na karakteristike, ima svoje osobitosti u planiranju izgradnje objekata, a one se odnose i na pripremu dokumentacije. Elektrane egzistiraju u okviru elektroenergetskog sustava, što znači da svaka elektrana ima svoje mjesto i ulogu u sistemu.

Zbog toga se prilikom izbora redoslijeda izgradnje elektrana polazi od poznate energetsko-ekonomske vrijednosti elektrana, odnosno promatranja energetsko-ekonomske vrijednosti elektrana u elektroenergetskom sustavu.

Takvom proračunu mora biti prilagođena i dokumentacija na osnovi koje dolazimo do potrebnih informacija. Zbog toga se u postupku planiranja izgradnje elektrana ekonomska obrada odvija u dvije faze.

Prva faza obrade odnosi se na utvrđivanje ekonomskih podataka potrebnih za proračun energetsko-ekonomske vrijednosti elektrane, što zapravo znači proračun energetsko-ekonomske opravdanosti izgradnje elektrane u određenom vremenskom razdoblju.

Druga faza ekonomske obrade polazi od rezultata redoslijeda izbora elektrana i analizira sve ostale ekonomske elemente u opsegu informacija koje mora sadržavati investicijski program.

Prva i druga faza ekonomske obrade predstavljaju jedinstvenu obradu i samo ih je na takav način potrebno tretirati.

Opseg: 78 stranica.

Elaborat o društvenoj i ekonomskoj opravdanosti osnivanja radne organizacije za prijenos električne energije u Hrvatskoj

Naručitelj: OOUR Elektroprenos — Osijek
OOUR Elektroprenos — Opatija
OOUR Elektroprenos — Split
OOUR Elektroprenos — Zagreb

Autori: Prof. dr. Božo Udovičić, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
Zvonimir Milonja, dipl. ek.

Završeno u travnju 1982. godine.

Polazeći od uloge elektroenergetskog sistema Hrvatske i u okviru njega definicije prijenosne djelatnosti, analizirana je današnja organiziranost i funkcioniranje prijenosne djelatnosti. Utvrđene su i naznačene mogućnosti poboljšanja financiranja prijenosne djelatnosti u području planiranja, izgradnje, pogona i održavanja prijenosnih objekata i postrojenja, te je dana i podjela posla s naznačenim funkcijama jednog OOUR-a i zajedničkim funkcijama kako u području jednostavne, tako i proširene reprodukcije.

Na kraju je obrađeno društveno-ekonomsko opravdanje takve organizacije prijenosne djelatnosti kroz društvenu opravdanost, tehničko-tehnološku opravdanost, opravdanost sa stajališta planiranja i izgradnje, te, na kraju, organizacijsku opravdanost.

Opseg: 93 stranice, 7 slika i 6 priloga.

Pravilnik o kriterijima, metodama i sadržaju projektne dokumentacije za izradu planova razvoja i izgradnje elektroenergetskih objekata

Naručitelj: Zajednica Elektroprivrednih organizacija Hrvatske — Zagreb

Autori: Nikola Bilčar, dipl. ing.
Skendrović Vladimir, dipl. ing.

Završeno u lipnju 1982. godine.

U prvom dijelu ovog rada analizira se dosadašnja praksa u pripremi projekata, izboru najpovoljnijih objekata za izgradnju i izgradnju elektroenergetskih objekata, gdje je pokazano da se glavnina racionalnog funkcioniranja elektroenergetskog sistema postiže racionalnim razvojem, a tek manji dio racionalnom eksploatacijom. To je sasvim jasno uzme li se u obzir visoki organski sastav kapitala u razvoju sistema. Prema tome, osnovna pažnja mora biti usmjerena na razvoj, što znači od idejnog rješenja do predaje izgrađenog objekta eksploataci-

ji. Ovaj proces, koji obuhvaća studija istraživanja i projektiranje metode i optimalan izbor za izgradnju i izgradnju objekata, zahtijeva sinhronizam i ujednačenost u pristupu, pa bez toga nema optimalnog izbora. Nužno je stoga definirati vrijeme gotovosti i sadržaj projektne dokumentacije za 15-godišnji plan razvoja, 5-godišnji plan razvoja i godišnji plan izgradnje.

Sve te faze obuhvaćene su i regulirane pravilnikom u drugom dijelu, dok su u trećem dijelu (u 10 priloga) dane metode i sadržaji projektne dokumentacije za određene planske dokumente.

Opseg: 82 stranice i 1 slika.

Elektroenergetske podloge za samoupravni sporazum o osnovama razvoja elektroprivrede 1981 – 1985. godine

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske — Zagreb

Autori: prof. B. Udovičić, dipl. ing.
N. Bilčar, dipl. ing.
dr G. Granić, dipl. ing.
mr S. Alerić, dipl. ing.
N. Komerički, ek.

Završeno u rujnu 1982. godine.

Studijom se predvida potrošnja električne energije u SRH do 2000. godine. Na temelju takvih predviđanja i već određenih rokova ulaska u pogon elektrana kontinuiteta sagledane su detaljno prilike u elektroenergetskom sistemu. Posebno je težište dano tekućem gorivu i analizama potreba za različite hidrologije i sigurnosti opskrbe potrošača.

Prema rezultatima proračuna proizlazi da u razdoblju do 1988. godine sigurnost opskrbe potrošača električnom energijom u prvom redu ovisi o raspoloživim količinama tekućeg goriva, pa jer se unaprijed ne zna kolike su te raspoložive količine, teško je ocijeniti sigurnost opskrbe potrošača.

Ulazak elektrana kontinuiteta prema dogovorenim rokovima formalno povećava sigurnost opskrbe potrošača s naslova izgrađenih kapaciteta, ali u biti one se pojavljuju kao moguća supstitucija tekućeg goriva.

Opseg: 93 stranice i 8 slika.

Dogradnja modela za energetsko-ekonomsku valorizaciju novih elektrana radi njihova izbora

I dio: Simulacija prilika u elektroenergetskom sustavu

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske — Zagreb

Autor: dr Goran Granić, dipl. ing.

Završeno u prosincu 1982. godine

Sve složeniji problemi u planiranju razvoja elektroenergetskog sustava, s jedne strane, razlog su pokretanja dogradnje modela za energetsko-ekonomsku valorizaciju novih elektrana radi njihova izbora. U prvom dijelu obrađen je problem simulacija prilika u elektroenergetskom sustavu.

U studiji je posebno težište na problemu raspoloživosti termoelektrana i utjecaju raspoloživosti na prilike u elektroenergetskom sustavu. Opisane su tri metode koje obrađuju problem raspoloživosti termoelektrana (metoda kombinacija, metoda ekvivalentiranja i metoda kumulanata) i između njih je odabrana metoda kumulanata kao najprihvatljivija. Kako je sigurnost opskrbe potrošača u funkciji raspoloživosti termoelektrana, obrađen je i problem sigurnosti. Opisan je novi postupak određivanja sigurnosti koji se temelji na vjerojatnosti ostvarenja hidrologije i vjerojatnosti nezadovoljenja snage zbog neraspoloživosti termoelektrana. Kvantificiranje novih kretanja sigurnosti uredit će se u nastavku rada na dogradnji modela.

Opseg: 74 stranice.

Optimalna struktura proizvodnje električne energije do 2000. godine

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske – Zagreb

Autori: prof. B. Udovičić, dipl. ing.
N. Biličar, dipl. ing.
dr G. Granić, dipl. ing.
mr. S. Alerić, dipl. ing.
N. Komerički, ek.

Završeno u listopadu 1982. godine.

U studiji je obrađen problem zadovoljenja potrošnje električne energije u elektroenergetskom sistemu SRH do 2000. godine. Kako su, prema sadašnjim sagledavanjima, hidroelektrane jedini raspoloživi energetski potencijal na području SRH (neizgrađena oko 3 700 GWh), njime je u studiji posvećena posebna pažnja da bi se energetsko-ekonomski valorizirale i da se odrede prioriteti u pogledu istraživanja i projektiranja.

Međutim, s raspoloživim hidropotencijalom može se zadovoljiti samo mali dio buduće potrošnje, pa će biti potrebno u sljedećem razdoblju osim NE Prevlaka izgraditi još oko 200-400 MW u termoelektranama na kruto gorivo i oko 1 000 MW u nuklearnim elektranama. Naravno, to vrijedi za pretpostavku da se u 2000. godini odredi potrošnja od 2 905. GWh. Za intenzivniji rast potrošnje bilo bi potrebno nešto ubrzanije graditi termoelektrane na kruto gorivo i nuklearne elektrane, jer se već za spomenuti nivo potrošnje predvida maksimalni intenzitet izgradnje hidroelektrana.

Opseg: 60 stranica, 5 tablica, 12 slika i 40 stranica priloga.

Osnove dugoročnog plana razvoja elektroprivrede Hrvatske za razdoblje 1985-2000. godine

Pregled mogućih hidroelektrana za izgradnju s noveliranim troškovima izgradnje

II dio moguća proizvodnja hidroelektrana

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: dr Goran Granić, dipl. ing.,
mr Slavko Alerić, dipl. ing.,
Neda Komerički, ek.,

Završeno u studenom 1982. godine.

U ovom radu prezentiran je preostali hidroenergetski potencijal SR Hrvatske, osim malih hidroelektrana odnosno malih vodotoka. Obuhvaćeno je dvanaest vodotoka na kojima bi se mogla izgraditi 41 hidroelektrana. Ovdje treba naglasiti da su promatrani podaci unutar republike, kao i granični vodotoci s drugim republikama, AP Vojvodina i NR Madarskom. Navedena studija je na prikladan način obradila navedene vodotoke počevši od prirodnih protoka do mogućih proizvodnji. Naime, poznato je da se u našoj elektroprivrednoj praksi za analizu prilika u elektroenergetskom sistemu koristi 40-godišnji hidrološki niz. Budući da se na mnogim profilima za pojedine hidroelektrane nije raspolagalo tako dugim nizom, hidrološki niz je trebalo dopuniti. Dopuna niza provodila se korelativnim načinom, a na temelju tako određenih prirodnih protoka određena je moguća proizvodnja svake hidroelektrane.

Opseg: 32 stranice i 195 tablica.

Optimalna veličina izgradnje (QI), akumulacije (A) i moguće proizvodnje (W) HE Krčić

Naručitelj: Elektroprojekt, Zagreb

Autori: Nikola Bilčar, dipl. ing.,
mr Slavko Alerić, dipl. ing.,
dr Goran Granić, dipl. ing.,

Završeno u prosincu 1982. godine

Za potrebe naručioca načinjena je studija koja je sastavni dio idejnog projekta. Veličina izgradnje i akumulacijskog bazena hidroelektrane Krčić određena je uz uvjet minimalnih troškova u elektroenergetskom sistemu. Naime, ako se elektroenetgetski sistem simulira sa promatranom elektranom mogu se utvrditi pozitivni ili negativni efekti koje uvjetuje promatrana elektrana. Pretpostavi li se više različitih veličina izgradnje (najmanje tri), može se odrediti najpovoljnija. Tako je i učinjeno u ovome radu. Na isti način može se odrediti i optimalna veličina akumulacijskog bazena.

Opseg: 26 stranica 35 tablica, 2 priloga-sumarne liste s elektroničkog računala i 5 slika.

Energetsko-ekonomska vrijednost nekih rješenja hidroenergetskog potencijala Krke i Zrmanje u odnosu na neka rješenja preostalog neiskorištenog hidropotencijala u Hrvatskoj

Naručitelj: Hidroelektrane na Krki i Zrmanji

Autori: prof. dr. Božo Udovčić, dipl. ing.,.
mr Slavko Alerić, dipl. ing.,
Nikola Bilačar, dipl. ing.,

dr Goran Granić, dipl. ing.,
Neda Komerički, ek.

Završeno u srpnju 1982. godine

U studiji su analizirani neki hidroenergetski objekti na porječju Krke i Zrmanje. Osim energetskih karakteristika koje se određuju metodom konstantne i varijabilne energije prvi put je primijenjena parametarska metoda za određivanje troškova izgradnje (investicijska vrijednost) hidroelektrana. Nakon toga provedene su elektroenergetske analize i određena energetsko-ekonomska vrijednost svake hidroelektrane posebno. Proračunom su bile obuhvaćene ove hidroelektrane: Ervenik, Žagor, Krupa, Rodljevac, Čikola I i Čikola II. Rangiranjem promatranih hidroelektrana prema relativnoj energetsko-ekonomskoj vrijednosti mogu se odrediti hidroelektrane ili grupe hidroelektrana koje treba studirati, istraživati i idejno projektirati.

Opseg: 42 stranice 36 tablica o 9 slika.

Metodologija za određivanje gubitaka energije u prijenosnim mrežama

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb
Autor: Jakša Topić, dipl. ing.
Suradnik: Mara Morić, el. tehn.

Završeno u listopadu 1982.

Studija je podijeljena u dva dijela. U prvom dijelu studije određeni su gubici u elektroenergetskom sistemu metodom tokova snaga i metodom koeficijenata gubitaka, dok se u drugom dijelu pokušala pronaći veza između gubitaka energije i maksimalnih gubitaka snage u elektroenergetskom sistemu Hrvatske i Jugoslavije. Analiza rezultata iz prvog dijela, tj. dijela u kojem su se određivali gubici metodom koeficijenata gubitaka, pokazuje da su rezultati u granicama točnosti ako ne dolazi do velikih promjena u strukturi proizvodnje. Međutim, ako se žele gubici točnije odrediti, problem postaje mnogo složeniji jer je potrebno poznavati dijagram opterećenja svih čvorišta. Da se to izbjegne, za proračun gubitaka se koriste približne metode. Jedan od načina je prikazan u ovom radu. Naime, pokušala se naći veza između maksimalnih gubitaka snage i gubitaka energije u nekom vremenskom intervalu.

Opseg: 83 stranice 21 slika i 38 tablica.

Sovjetski tlakovodni (VVER) reaktori

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske
Autor: prof. dr. Josip Lakota, dipl. ing.

Završeno u rujnu 1982.

U uvodnom dijelu studije prezentirana je uloga VVER reaktora u nuklearnoj energetici SSSR-a i izvan njega. Zatim su predočene razvojene etape VVER-a, principi osiguranja nuklearne sigurnosti te pregled zaštitnih i tz. lokalizirajućih uređaja na reaktorima VVER.

Dalje je dan prikaz reaktora VVER-440 tzv. druge generacije kao i standardne elektrane s 2 × VVER-440. Osim toga prikazana su nestandardna rješenja s VVER-440 realizirana u izvozu.

Odgovarajuće je prikazan reaktor VVER-1000, njegove etape modernizacije, kao i serijski blok VVER-1000 na osnovi kojeg se planira izgraditi veći broj elektrana snage 4 000 – 6 000 MW_e.

Obrađene su pogonske osobine blokova VVER (faktor opterećenja postignut u pogonu, pogonska fleksibilnosti, radiološki utjecaj na okoliš,...), prezentirane investicije i cijena kWh u sovjetskim uvjetima, zatim potrošak urana i proizvodnja fisijskog plutonija. Dana je slika o ulozi VVER pri pokrivanju i toplinskog konzuma.

U studiji je zatim dan sažetak osobina i specifičnosti VVER-a, kao i informacija o daljnjem planiranom razvoju VVER-a.

Studija je rezultat obrade podataka i informacije iz literature, te 4-dnevnog boravka na jednoj novijoj VVER-440 elektrani u izgradnji.

Opseg: 167 stranica, 49 slika, 19 tablica, 128 literaturnih navoda.

STUDIJ RAZDJELNIH NISKONAPONSKIH, VISOKONAPONSKIH MREŽA I PROJEKTIRANJE

Problematika uzemljenja i iznošenja potencijala u TS 110/10 kV »Split 3« u uvjetima pogona preko dalekovoda 110 kV sa refleksijom na mrežu 10 I 0,4 kV

Naručitelj: »Elektrodalmacija«, OOUR »Distribucija« Split
Autori: mr Srđan Žutobradić, dipl. ing.
mr Božidar Filipović, dipl. ing.
Dasenko Baldasari, dipl. ing.
dr Mate Kurtović, dipl. ing.
mr Ivan Sarajčev, dipl. ing.
Slavko Vujević, dipl. ing.
Dr Stanko Milun, dipl. ing.
Miroslav Bosanac, dipl. ing.
Josip Neveščanin, dipl. ing.
Boris Jelavić, dipl. ing.

Završeno 1982.

TS 110/10 kV »Split 3« u definitivnoj etapi bit će priključena na 110 kV mrežu preko kabela. Kabelski priključak se očekuje oko 1990. g. Do tada će TS »Split 3« biti napajana preko nadzemnog voda 110 kV. Budući da nadzemni vodovi imaju nekoliko puta lošiji redukcijski faktor od kabela, pojavila se potreba za kontrolom i eventualnom korekcijom projektiranog uzemljivača TS »Split 3« i analizom opasnosti od iznesenog potencijala ekranima (plaštevima) 10 KV kabela. Određene korekcije uzemljivača bile su nužne i zbog promjene u projektu TS »Split 3«. U sklopu rješavanja problematike uzemljenja na području TS »Split 3« ukazala se potreba za izborom veličine struje jednopolnog kratkog spoja u mreži 10 kV napajanoj iz TS 110/10 kV »Split 3« i analizom relejne zaštite u mreži 10 kV.

Primjenom elektroničkog računala obavljeni su proračuni uzemljivača TS »Split 3«, te je odabran najpogodniji oblik uzemljivača. Dane su detaljne upute za izvedbu uzemljivača. Izvršeni su proračuni i analize iznesenog potencijala, te napona dodira u mreži, 0,4 kV. Utvrđeno je da će te veličine biti u granicama propisa. Pri izboru veličine struje jednopolnog kvara u mreži 10 kV poštovali su se sljedeći kriteriji: važeći teh. propisi o naponima dodira, visina unutrašnjih prenapona kod jednopolnih kvarova i mogućnosti relejne zaštite. Predloženo je ograničenje struje jednopolnog kvara preko maloomskog otpornika na iznos od 300 A.

Opseg: 103 stranice sa slikama.

Neka specijalna pitanja vezana za uzemljenje zvjezdišta i radove na uzemljenoj mreži

Naručitelji: »Elektrodalmacija«, OOUR »Distribucija« Split
Autori: mr Božidar Filipović, dipl. ing.
mr Srđan Žutobradić, dipl. ing.
Dasenko Baldasari, dipl. ing.

Završeno 1982.

Ovaj rad je dodatak studiji »Problematika uzemljenja i iznošenja potencijala u TS 110/10 kV »Split 3« u uvjetima pogona preko dalekovoda 110 kV s refleksijom na mrežu 10 i 0,4 kV«. U studiji su sažeto obrađeni neki opći kriteriji koji bi se koristili pri izgradnji budućih TS 110/10 kV. To se na prvom mjestu odnosi na izbor vremena isklopa kvara na sabirnicama 110 kV koje bitno utječe na dozvoljene napone dodira unutar i izvan TS. Analiziran je i predložen opti-

malan presjek i materijal zaštitnog vodiča dalekovoda. Obrazložen je prijedlog zaštite odvoda 10 kV i sheme uzemljenja neutralne točke u mreži 10 kV. Posebno su razmatrane opasnosti od iznesenog potencijala kod radova na kabelima s plastičnom izolacijom sa i bez dodatnog Cu užeta u kabelskim trasama.

Opseg: 44 stranice sa slikama.

Uzemljenje zvjezdišta 10 kV mreže grada Varaždina

Naručitelj: »Elektra« Varaždin
Autori: mr Srđan Žutobradić, dipl. ing.
mr Božidar Filipović, dipl. ing.

Završeno 1982.

Mreža 10 kV na području Varaždina mješovitog je karaktera, tj. sastoji se od kabela i nadzemnih vodova. Razmatrana mreža se napaja iz tri TS 35/10 kV, a uskoro će biti stavljena u pogon nova pojna točka: TS 110/35/10 kV »Varaždin 1«. Do sada su zvjezdišta pojnih transformatora bila izolirana. Takav način rada pokazao se nezadovoljavajućim s pogonskog stajališta. Zato je u ovoj studiji izvršen izbor veličine struje jednopolnog kratkog spoja u mreži 10 kV uz poštivanje sljedećih kriterija: propisa o naponima dodira u niskonaponskim mrežama i propadajućim instalacijama, unutrašnjih prenapona koji se javljaju prilikom nastanka jednopolnih kvarova i mogućnosti relejne zaštite. Predloženo je ograničenje struje jednopolnog kvara na 150 A. Takav izbor je bio naročito uvjetovan veoma teškim uvjetima uzemljenja kod TS 10/0,4 kV koje su priključene na nadzemnu mrežu 10 kV. Detaljno je prikazan izbor zaštite vodova u mreži 10 kV s uzemljenom neutralnom točkom, te je dan prijedlog rješenja zaštite u postojećoj mreži. Osim toga, obrađena su neka specijalna pitanja, kao što je zaštita kondenzatorskih baterija, zaštita uređaja MTK i automatsko ponovno uklapanje u mreži 10 kV. Na kraju je dan osvrt na problem uzemljenja zvjezdišta mreže 35 kV na području »Elektre« Varaždin, te upute za izvedbu uzemljivača TS 10/0,4 kV u uvjetima uzemljenog zvjezdišta.

Opseg: 182 stranice sa slikama.

Idejno rješenje mreže 20 kV Drniša i bliže okolice u sistemu 110/20 kV s privrednim radom pod naponom 10 kV

Naručitelj: OSIZ potrošača električne energije Drniš
Autor: Zvonimir Kovačević, dipl. ing.

Završeno u lipnju 1982.

Grad Drniš opskrbljuje se električnom energijom (stanje 1981. g.) preko TS 30/10 kV Kalun (2 × 3,43 MVA) i 15 TS 10/0,4 kV. Duljina mreže 10 kV iznosila je 13,4 km (7,5 km nadzemnih vodova i 5,9 km Kabela).

Konzum grada Drniša u 1981. godini iznosio je:

— potrošnja električne energije – 10 606 MWh
— vršno opterećenje (procjena) – 2,7 MW

Prema razradi konzuma u perspektivi dobiven je sljedeći konzum:

	1985. g.	2000. g.
— potrošnja električne energije (MWh)	36 000	150 000
— vršno opterećenje (MW)	8	27

Porast konzuma u razdoblju 1982-1985. g. vrlo je visok (preko 30%), a proizašao je zbog planirane izgradnje više velikih pogona (TEŽ, OKI, Dalmacijavino, GIRK i Dalmastroj – II faza).

U studiji »Osnovno rješenje električne mreže na području »Elektrozagore« – Drniš s usporedbom sistema 110/35/10 kV i 110/20 kV« (Institut za elektroprivredu, 1981. g.) pokazana je opravdanost postepenog prijelaza cijelog područja općine Drniš na napajanje po sistemu 110/20 kV. Pojna točka područja općine Drniš u perspektivi će biti TS 110/210 kV Drniš. Zbog izgradnje više proizvodnih pogona na području općine Drniš, od kojih je većina licirana u Drnišu i bližoj okolici, pokazala se nužnom izgradnja TS 110/20(10) kV Drniš do 1985.

Uvažavajući konzum u perspektivi određen u ovoj studiji, razrađena je mreža 10(20) kV na području grada Drniša 1985. i 2000. g.

Razradom mreže 10(20) kV grada Drniša ustanovilo se da 1985. g. zadovoljava napajanje naponom 10 kV, dok bi do 2000. g. trebalo pripremiti mrežu na području grada Drniša za prijelaz na napajanje naponom 20 kV.

Izgradnja mreže 10(20) kV na području grada Drniša (bez mreže unutar ograde većih proizvodnih pogona) trebala bi se odvijati kako slijedi:

	1982-1985. g.	1986-2000. g.
TS 10(20)/0,4 kV	5 kom	8 kom
DV 10(20) kV	9 km	8,4 km
kabeli 20 kV	10,4 km	7,9 km

Opseg: 21 stranica, 13 tablica, 18 slika.

Relejna zaštita električne mreže grada Zagreba

2. dio Zaštita mreže 20 kV

Naručitelj: »Elektra« Zagreb
Autor: mr Božidar Filipović-Grčić, dipl. ing.
Suradnici: Srećko Perišić, dipl. ing.
Antun Šaler, dipl. ing.
Janez Zakonjšek, dipl ing.
Damir Karavidović, dipl. ing.
mr Srđan Žutobradić, dipl ing.

Završeno 1982.

Studija obrađuje prvenstveno zaštitu mreže 20 kV s uzemljenom neutralnom točkom, a također i neke probleme koji su zajednički za prvi i drugi dio, kao što su: koncepcija sigurnosnog napajanja u TS, mogućnost primjene mikroračunala u sistemu zaštite i statistiku pogonskih događaja.

Detaljno su analizirani kriteriji mjerodavni za izbor zaštite od jednopolnih kvarova i na osnovi toga predložena zaštita odvoda 20 kV te centralna zaštita i signalizacija.

Pojedinačno su definirane zaštite ostalih elemenata mreže 20 kV: vodova, otpornika, sabirnica, spojnog polja, kondenzatorskih baterija i MTK. Analiziran je i predložen način uzemljenja neutralne točke i obrađena problematika APU.

Zajedno za 1. i 2. dio studije predložena je koncepcija razvoda i zaštite sigurnosnog napajanja u trafo-stanicama. Razmatrane su mogućnosti primjene mikroračunala u zaštiti mreža i dan prikaz sadašnjeg stanja zaštite bazirane na mikroprocesorima.

Za mreže 110 i 20 kV definirani su po elementima signali koji su nužni za analizu rada relejne zaštite i predložena organizacija poskupljenja i vođenja podataka o pogonskim događajima.

Opseg: 144 stranice sa slikama i tablicama.

Relejna zaštita električne mreže grada Zagreba

1. dio Zaštita mreže 110 kV

Naručitelj: »Elektra« Zagreb
Autor: mr Božidar Filipović-Grčić, dipl. ing.
Suradnici: Srećko Perišić, dipl. ing.
Antun Šaler, dipl. ing.
Janez Zakonjšek, dipl. ing.
Damir Karavidović, dipl. ing.
mr Srđan Žutobradić, dipl. ing.

Završeno 1982.

U studiji je dano rješenje relejne zaštite mreže 110 kV (2000. god.) »Elektre« Zagreb. Detaljno su analizirani kriteriji mjerodavni za izbor zaštite i konfiguracija mreže, dužina vodova, maksimialni i minimalni kratki spoj. Optimalno vrijeme isklopa kvara za cijelu mrežu 110 kV (0,1 s) određeno je na temelju analize termičkih naprezanja ekrana kabela, zaštitnih vodiča DV-a, dimenzioniranje uzemljivača, problema iznošenja potencijala i karakteristika SF_6 postrojenja.

Razmatrane su varijante štićenja vodova i kabela 110 kV i predloženo rješenje zaštite s distantnim relejima s komparacijom smjera i prijenosom signala. Analizirani su prijenosni putovi i utjecaj smetnji na prijenosne putove. Analizirane su varijante zaštite sabirnica i predloženo rješenje za jednostavnije i složenije transformatorske stanice. Na kraju je dan prijedlog zaštite transformatora 110/10 kV.

Opseg: 222 stranice s tablicama i slikama.

Relejna zaštita električne mreže grada Zagreba

3. dio Tender za izbor zaštitne opreme

Autori: mr Božidar Filipović-Grčić, dipl. ing.
Srećko Perišić, dipl. ing.

Završeno 1983.

Nakon izrade 1. i 2. dijela studije došlo se do zaključka da bi bilo korisno dati skraćeni prikaz predloženih rješenja, i to u formi koja je uobičajena za tendersku dokumentaciju. Naručitelj studije dobiva tako podloge za raspisivanje licitacije za ponudu zaštitne opreme, odnosno, ako se odlučio za određenog

proizvodača, raspolaže s jasnim kriterijima koje taj proizvodač mora zadovoljiti.

Sažeto je dana koncepcija zaštite u mreži 110 i 20 kV, definirane su zaštitne zone, vrijeme isklapanja, rezervno štićenje i sl. Definirana je tehnološka izvedba i smještaj zaštite i navedene glavne karakteristike releja koje proizvodač mora garantirati.

U prilogu su dani glavni podaci koji su nužni potencijalnim isporučiocima mreže: oblik mreže, etape izgradnje, struje maksimalnog i minimalnog kratkog spoja, dužine vodova i kabela, maksimalne vrijednosti induciranih napona u pilotskim vodovima, osnovni podaci o trafo-stanicama nužni za zaštitu sabirnica, tipske jednopolne sheme trafo-stanica i detaljne jednopolne sheme trafo-stanica koje su u fazi projektiranja.

Opseg: 46 stranica sa slikama i tablicama.

STUDIJ TERMOENERGETSKIH SISTEMA

Optimalno korištenje energije u urbanim sredinama

Naručitelj: Zajednica jugoslavenske elektroprivrede – Beograd

Autori: dr Duško Čorak, dipl. ing.
mr Niko Malbaša, dipl. ing.
mr Zlatko Komerički, dipl. ing.
Hrvoje Šting, dipl ing.
Milivoj Krejči, dipl. ing.
Zdravko Mužek, dipl. ing.

U studiji je dan prikaz optimiranja energetske opskrbe urbane sredine. Pri tom se misli na određivanje optimalne strukture primarnih i transformiranih energetskih oblika, te postrojenja za transformaciju, prijenos i distribuciju energije. Metodom linearnog programiranja moguće je energetsku opskrbu urbane sredine usmjeriti tako da se postignu minimalni ukupni troškovi kroz period promatranja, uvažavajući niz ograničavajućih faktora utjecajnih na energetsku opskrbu.

Nadalje se u studiji analizira toplinski sistem, uklapanje proizvodnih jedinica spojnog procesa u toplinski i elektroenergetski sistem, valorizacije zajedničke proizvodnje topline i električne energije, te podjela stalnih i promjenjivih troškova između toplinske i električne djelatnosti u uvjetima izgradnje proizvodnih jedinica spojnog procesa.

Daje se prikaz ranije centraliziranog toplinskog sistema s proizvodnim jedinicama spojnog procesa u svijetu i Jugoslaviji, zatim prikaz osnovnih karakteristika jedinica spojnog procesa.

Osim toga studija daje prikaz mnogućnosti transporta energije, pregled domaćih goriva s gledišta izgradnje postrojenja za kombiniranu proizvodnju električne i toplinske energije, te na kraju procjenu toplinskog konzuma u većim gradovima Jugoslavije i mogućnosti njegova zadovoljenja s proizvodnim jedinicama spojnog procesa u kojima bi se koristili domaći ugljeni.

Opseg: 230 stranica, 37 tablica, 114 slika i dijagrama, dva priloga.

Usmjeravanje opskrbe toplinom grada Siska

Naručitelj: SIZ komunalnih djelatnosti općine Sisak

Autori: dr Duško Čorak, dipl. ing.
Hrvoje Šting., dipl. ing.
mr Zlatko Komerički, dipl. ing.
Miroslav Juretić, dipl. ing.

Studija je imala svrhu da razradi toplinske potrebe Siska do krajnjeg stanja izgrađenosti prema urbanističkom planu i da usmjeri toplinsku opskrbu na najpovoljniji način. Analizirajući postojeće stanje toplinske opskrbe te predviđanje rasta grada, određene su karakteristike ogrijevnog i tehnološkog konzuma Siska do 2010. godine. Te karakteristike, kao i ekvivalentni godišnji troškovi za različite načine toplinske opskrbe poslužili su kao ulazni podaci za određivanje optimalne strukture toplinske opskrbe metodom linearnog programiranja.

Opskrba područja, koje je opravdano opskrbljivati parom ili vrelom vodom iz centralnog izvora, varijantno je promatrana iz blokovskih kotlovnica i industrijskih energana, te iz centralne toplane. Unutar rješenja centralne toplane razmatrana je mogućnost rekonstrukcije postojećih blokova u TE Sisak u oduzimno kondenzacijske. Za sve varijante analizirane su prilike i uklapanje proizvodnih jedinica spojnog i izravnog procesa u toplinski i elektroenergetski sistem.

Za područja koja su predviđena za opskrbu prirodnim plinom izvršena je optimizacija plinske mreže i dan raspored redukcijskih stanica. Za optimalno rješenje toplinske opskrbe provedena je analiza zagađenja zraka.

Opseg studije: 137 stranica, 68 tablica, 85 slika, 2 priloga.

Usmjeravanje opskrbe toplinom grada Zavidovići do 2000. godine

Naručitelj: RO Zavod za urbanizam i izgradnju – Zavidovići

Autori: mr Zlatko Komerički, dipl. ing.
Marijan Sarajlija, dipl. tehn.
Boris Popinjač, dipl. tehn.

Zahvaljujući razvoju industrije, Zavidovići su doživjeli brz društveni rast. Snažna industrija, intenzivni korisnik topline, kao i stambeno-komunalni dio grada dostigli su takvu veličinu da se sustavan i cjelovit pristup energetskoj opskrbi javlja kao nužnost, posebno danas u vrijeme skupe energije. Studija je imala upravo tu svrhu da na osnovi planiranog društvenog i privrednog rasta sagleda energetsku situaciju Zavidovića do 2000. g. i usmjeri toplinsku opskrbu na način koji će donijeti najpovoljnije ekonomske efekte. Takva optimalna energetska struktura za 2000. godinu određena je metodom linearnog programiranja. U daljnjoj je razradi za područja koja je opravdano centrilizirano opskrbiti parom i vrelom vodom izvršena optimalizacija kako toplinskih mreža, tako i izvora topline za pokrivanje dijagrama opterećenja.

Opseg: 117 stranica, 50 slika i dijagrama.

Usmjeravanje opskrbe energijom grada i područja Zagreba do 2000. GODINE

Naručitelji: Elektroprivreda Zagreb
— OOUR – TE – TO
— OOUR – EL – TO
— OOUR – Toplinske mreže
Elektra – Zagreb
Gradska plinara – Zagreb
USIZ komunalnih djelatnosti – Zagreb
USIZ stanovanja-Zagreb
Privredna komora – Zagreb
SO Samobor
SO Sesvete
SO Dugo Selo

Odgovoran za izradu studije: dr Duško Čorak, dipl. ing.

Autori: dr Duško Čorak, dipl. ing.
Zdravko Mužek, dipl. ing.
Hrvoje Štingl, dipl. ing.
Vladimir Jelavić, dipl. ing.
mr Rikard Schenner, dipl. ing.
mr Zlatko Komerički, dipl. ing.
mr Vojtjeh Brajčić, dipl. ing.
Mladen Nadinić, dipl. ing.
i suradnici

Studija predstavlja samostalan program u sklopu ukupnih aktivnosti na dugoročnom društvenom planiranju i sagledavanju razvoja grada Zagreba, a na osnovi utvrđenog programa rada i aktivnosti Odbora Izvršnog vijeća Skupštine grada Zagreba za dugoročno planiranje razvoja Zagreba.

Svrha studije je usmjeravanje kompleksne energetske opskrbe grada i područja Zagreba do kraja ovog stoljeća. Teritorijalno studija obuhvaća 14 općina zagrebačkog gradskog područja i područje općine Dugo Selo.

Studija se sastoji od 11 poglavlja. U prvih 6 analizira se dosadašnji društveno-ekonomski razvoj te dosadašnji razvoj energetske opskrbe promatranog područja, a iznosi se i pregled energetskih izvora u svijetu, SFRJ i na zagrebačkom području te analiziraju geografske i klimatske značajke Zagreba relevante za energetsku opskrbu.

U 7. poglavlju daje se detaljan opis matematičkog modela za optimalizaciju energetske opskrbe urbane sredine (model je prilagođen metodi linearnog programiranja), a u 8. utvrđuju podaci potrebni za optimalizaciju energetske opskrbe promatranog područja metodom linearnog programiranja (potrebe u energiji, troškovi energetske opskrbe, ograničenja korištenja energetskih oblika te ograničenja onečišćenja zraka).

Optimalizacija energetske opskrbe grada i područja Zagreba do 2000. godine opisana je u 9. poglavlju studije; provedena je u nekoliko koraka kako bi se analizirala osjetljivost rješenja na promjene ulaznih parametara i kako bi se uključila u razmatranje opskrba iz jedinica za zajedničku proizvodnju topline i električne energije te analiza onečišćenja zraka.

Za optimalnu varijantu energetske opskrbe pregledno je u većem broju tabilica i dijagrama prikazan razvoj energetske opskrbe od današnjeg stanja do 2000. godine. Nabrojane su i mjere koje je potrebno poduzeti da bi se stvarni razvoj energetske opskrbe Zagreba do 2000. godine što više približio u studiji predloženom optimalnom ravoju.

Opseg: 341 stranica, 3 priloga, 199 tabilica, 116 slika i dijagrama.

Optimizacija opskrbe TSCIP »Simo Dimić« toplinskom i električkom energijom

Naručitelj: TSCIP »Simo Dimić« Plaški

Autor: Brkić Hrvoje, dipl. ing.

Svrha studije bila je analiza mogućnosti opskrbe toplinskom i električkom energijom nakon 18 godina rada tvornice te sagledavanje mogućnosti pokrivanja energetskih potreba u bližoj budućnosti.

Analiza je provedena na osnovi snimanja toplinske i električne bilance tvornice, utvrđivanja stanja vlastitih izvora energije, evidencije dosadašnjeg rada i evidencije kvarova, sigurnosti i mogućnosti opskrbe iz elektroprivredne mreže, ocjene buduće raspoloživosti opreme te sadašnjih i budućih energetskih potreba tvornice. Na osnovi navedenog dan je, pored zaključaka o sadašnjem stanju, niz prijedloga u svrhu povećanja i sigurnosti opskrbe toplinskom i električkom energijom, poboljšanja ekonomičnosti rada, a također su dane i osnove za budući razvoj.

Opseg: 51 stranica teksta, slika i dijagrama, te 5 priloga.

Uklapanje bloka 45 MW u toplinski sistem Osijeka

Naručitelj: »Elektroslavonija«

Autori: mr Zlatko Komerički, dipl. ing.
Florijan Rigler, dipl. ing.
Boris Popinjač, dipl. tehn.

Stjecajem raznih okolnosti obustavljena je realizacija projekta TE-TO Rijeka i sva oprema prebačena na novu lokaciju u Osijek. Visoka gotovost riječkog objekta i specifični zahtjevi osječkog konzuma, zahtijevali su anlizu najpovoljnijeg uklapanja tog bloka u centralizirani toplinski sistem Osijeka.

U tu svrhu, na osnovi sagledavanja postojećeg stanja i razvoja toplinskog konzuma do 2000. godine, određen je optimalan nivo tlaka prvog oduzimanja (tehnološkog) bloka za priključenje na postojeću parnu mrežu, te je određen optimalan promjer i trasa magistralnog vrelovoda za priključenje bloka na postojeću vrelovodnu mrežu. Osim toga dan je i prijedlog koncepcije toplinskih stanica i sistema za održavanje tlaka na obje lokacije toplana, te prijedlog regulacijskog i nadzorno-upravljačkog sistema.

Opseg: 75 stranica, 40 slika i dijagrama, 24 stranice priloga.

Analiza strukture energetskih izvora u energani Jugovinil u Kaštel-Sućurcu

Naručitelj: Jugovinil-Kaštel-Sućurac

Izvršitelji: Zoran Selanec, dipl. ing.
Miroslav Juretić, dipl. ing.
Marijan Magdić, dipl. ek.

Za potrebe tehnološkog procesa tvornice Jugovinil i za opskrbu toplinom za grijanje u tvornici je izgrađena energana za proizvodnju tehnološke i ogrjevne pare te proizvodnju električne energije. U energani su izgrađene tri kotlovske jedinice te dva turbogenaratora snaga 10 MW i 6,5 MW, pri čemu je turboagregat 10 MW izveden kao oduzimno-kondenzacijska jedinica. Energana kao gorivo koristi ugljen.

Budući da se turboagregat 10 MW koristi kao čisto kondenzacijska jedinica, a energana Jugovinila proizvodi tehnološku paru, ogrjevnu paru, te paru za vlastite potrebe isključivo preko reducir-stanica (direktan proces), u toku su pregovori između RO Jugovinil i Elektroprivrede Dalmacije o mogućnostima uključivanja postojećih proizvodnih jedinica u elektroenergetski sistem, pri čemu bi bilo potrebno proširiti postojeća postrojenja, energane novim postrojenjima koji bi služili potrebama RO Jugovinil.

Zadatak je ovog elaborata bio da se utvrdi optimalna struktura izvora i radnih parametara budućih postrojenja energane na bazi danas dostupnih pokazatelja te procjena razvoja i potrošnje tehnološke pare u budućnosti.

Kako je vidljivo iz rezultata obrade u ovom elaboratu, pri razradi daljnjih planova proširenja energane Jugovinila trebalo bi se usmjeriti na daljnju razradu mogućnosti izgradnje spojnog procesa koji, bez obzira na veličinu i karakteristike protutlačno-oduzimnog turboagregata, predstavlja optimalnije rješenje od rješenja s direktnim procesom.

Opseg: 95 stranica tablica i dijagrama.

Optimalna izvedba rashladnog sistema NE Prevlaka

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb

Autori: Hrvoje Kunaj, dipl. ing.
mr Niko Malbaša, dipl. ing.

Svrha studije je izbor rashladnog sistema i osnovnih komponenti hladnog kraja za NE Prevlaka. Studija obuhvaća analizu i komparaciju protočnog sistema hlađenja primjenom vlažnih rashladnih tornjeva. Proširenjem opsega studije razmatrane su dodatne kombinacije za slučaj dva bloka na istoj lokaciji i međusobni utjecaj na izbor rashladnog sistema.

Primijenjena metoda optimizacije zasniva se na izradi matematičkog modela za simuliranje pogonskog stanja elektrane sa sistemom oduzimanja topline za potrebe grijanja. Rad elektrane u spojnom procesu s velikim promjenama pogonskog stanja u toku godine zahtijevao je primjenu dinamičkog modela što vjernijeg realnom stanju. Postavljena koncepcija modela omogućuje sagledavanje utjecaja promjene električne snage na pragu elektrane zbog bilo kojih tehničkih izmjena na elementima hladnog kraja, mogućih promjena snage reaktora ili vrelovoda, kao i zbog promjena hidrometeorološke situacije tokom godine.

Ekonomska analiza izvedena je primjenom metode aktualizacije svih troškova i koristi u toku životnog vijeka elektrane. Koncepcija matematičkog modela omogućuje kontinuirano praćenje promjene troškova izgradnje i ostvarene dobiti s promjenom tehničkog rješenja hladnog kraja.

Optimalno rješenje dobiveno je kao osnovni kriterij tako da je uzeta minimalna cijena proizvedene el. energije. Na osnovi provedenih ekonomskih analiza dokazano je da optočni sistem hlađenja minimalno zaostaje za kombiniranim protocima sistema. Poštujući ostale specifičnosti optočnog sistema, kao punu raspoloživost elektrane kroz cijelu godinu, neovisnost o sušnim razdobljima i uvjetima vodoprivrede, neovisnost o postojanju ustave Strelječko, smanjenje problema čistoće rashladnog sistema i smanjenje ekoloških problema, stoji činjenica da izbor optočnog sistema hlađenja smanjuje neizvjestnost i garantira potpuno samostalnost elektrane.

Optimiranje hladnog kraja ima sve šire značenje kako zbog mogućnosti velikih ušteda u investicijama i pogonskim troškovima, tako i zbog velikog značenje u očuvanju šire okoline i pružanja koristnih rezultata u izboru opreme za buduću nuklearnu elektranu.

Opseg: 320 stranica studije s tablicama i slikama i 150 stranica priloga.

Sadržaj tendera za NE Prevlaka, seriju nuklearnih elektrana i gorivi ciklus

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autori: Vladimir Bradač, dipl. ing.
Mladen Nadinić, dipl. ing.
Izrađeno zajedno s »Elektroprojektom«

U studiji su prikazane forme »Zahtjeva za ponude« za NE Prevlaka, seriju NE i gorivi ciklus. U skladu s nacrtom »Društvenog dogovora o jedinstvenom postupku za prikupljanje tehničkih, tehnoloških, ekonomskih, financijskih i drugih podataka i uvjeta za izbor nuklearnog gorivog ciklusa i tipa nuklearnih elektrana« studija je podijeljena na tri dijela, od kojih prvi obrađuje »Sadržaj tendera za NE Prevlaka«, drugi »Sadržaj tendera za seriju nuklearnih elektrana«, a treći »Sadržaj tendera za gorivi ciklus«.

Uz prijedlog sadržaja pojedinih tendera dana su i osnovna obrazloženja, odnosno upute što tender treba sadržavati pod pojedinim naslovom. Studija treba poslužiti kao smjernica pri izradi Zahtjeva za ponudu za NE Prevlaka, seriju NE i gorivi ciklus.

Opseg: 135 stranica.

Procjena doza zračenja pri normalnim eksploatacijskim stanjima nuklearne elektrane Slavonija

Naručitelj: Elektroslavonija Osijek
Autori: mr Jure Ćurković, dipl. ing.
mr Niko Malbaša, dipl. ing.

Cilj studije je procjena očekivanih vrijednosti doza zračenja od plinovitih i tekućih ispuštanja koje će primiti pojedinac ili ukupna populacija u području NE Slavonija.

Korišteni modeli za računanje doza zračenja preko pojedinih kritičnih putova ozračenja temelje se na maksimalnim godišnjim ispuštanjima plinovitih i tekućih efluenata. Za proračun su korišteni računski modeli GALE, GASPAR i LADTAP, koje je razvio Nuclear Regulatory Commission (NRC), te ATMOS i DEMOS, koji su razvijeni u Institutu za elektroprivredu Zagreb. Navedeni računski modeli uz korištenje podataka o maksimalnim godišnjim ispuštanjima, meteorološkim i demografskim karakteristikama lokacije, načinu nehrane i korištenju terena daju procjenu individualne i populacijske doze zračenja u radijusa 80 km oko NE Slavonija. Ocjena doza zračenja daje se za sve kritične putove ozračenja, ispuštene radio-niklide, odabrane starosne grupe stanovništva te za osam organa organizma.

Opseg studije: 196 stranica, 24 slike i 115 stranica priloga.

Kadrovi za realizaciju nuklearnog energetskog programa u SRH do 2000. godine

Naručitelji: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske
SOUR Rade Končar
TPK
SOUR Đuro Đaković
SOUR Jugoturbina
RO ATM
Industroprojekt-Zagreb
Elektroprojekt-Zagreb
Autori: Antun Eisenreich, dipl. ing.
Kosta Bojić, dipl. ing.

Kvalificirani kadrovi su nužni za sigurnost i pouzdanost nuklearnih energetskih objekata i postrojenja. Svaka zemlja koja ima pretenzije da razvije kvalitetan nuklearni program treba prije svega razviti program obučavanja svih vrsta kadrova nužnih za realizaciju tog programa. S tim u vezi studija je obuhvatila:

— aktivnosti u pojedinim fazama pripreme, izgradnje i pogona nuklearnih elektrana

— identifikaciju i analizu kadrova koji su potrebni za obavljanje pojedinih aktivnosti

— analizu i procjenu potrebnih kadrova za seriju nuklearnih elektrana u SRH do 2000. godine

— analizu organizacije u kojima danas rade stručnjaci s obrazovanjem ili iskustvom potrebnim za rad u nuklearnoj energetici

— utvrđivanje broja i kvalifikacionu strukturu kadrova koji nedostaju za seriju nuklearnih elektrana

— analizu institucija u kojima se danas stječu znanja iz oblasti nuklearne energetike te prijedlog načina izobrazbe nedostajućeg stručnog kadra.

Opseg: 140 stranica, sa slikama i prilogom.

Optimalna toplinska shema NE Prevlaka

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb
Autori: dr Duško Čorak, dipl. inž.
Zdravko Mužek, dipl. inž.
mr Zlatko Komerički, dipl. inž.
Zoran Selanec, dipl. inž.

Studija detaljno analizira potrebne modifikacije toplinske sheme standardne kondenzacijske turbine za NE Prevlaka u svrhu oduzimanja topline s turbine za potrebe opskrbe ogrjevnom toplinom grada Zageba. Razmotrene su konstrukcijske teškoće koje se u vezi s oduzimanjem topline javljaju, utjecaj oduzimanja topline na izbor turbine, dimenzionirani su zagrijači vode toplovoda NE Prevlaka-Zagreb te je određen najpovoljniji broj zagrijača na osnovi tehničko-ekonomske analize prilika u elektroenergetskom sistemu. Nadalje, analizirano je uključivanje nuklearne toplane Prevlaka u elektroenergetski i toplinski sistem, a dan je i niz prikaza rada toplane kod različitih pogonskih režima.

Opseg: 107 stranica 15 tablica i 72 slike.

Izbor optimalnih jediničnih snaga, parametara i tehničkih karakteristika opreme blokova koji će se graditi na Kosovu za potrebe drugih republika

II dio

Naručitelj: ZEOH
Autor: dr Dubravko Matanić, dipl. ing.
sa suradnicima

U uvodnom dijelu studije dan je pregled karakteristika kosovskih ugljena i iznesena su dosadašnja iskustva u njihovom korištenju u termoelektranama. Iznesena su također iskustva s korištenjem lignita u domaćim i nekim stranim termoenergetskim postrojenjima. Na osnovi toga i današnjeg stanja tehnike dane su ocjene mogućih veličina blokova na bazi lignita.

U analizi mogućih parametara blokova 300 MW analizirane su osnovne utjecajne veličine na tehno-ekonomske karakteristike postrojenja te je izvršen izbor osnovnih parametara bloka i to tlaka i temperature radnog medija. Radi lakšeg izbora osnovne opreme razmatrani su tehničko-tehnološki aspekti velikih generatora pare, analiziran je broj međupregrijanja i raspoloživost postrojenja, a na kraju su dane preporuke za izbor osnovnih parametara i karakteristika postojenja.

Na kraju studije razmatrani su još neki aspekti izgradnje ovih blokova koji se odnose na dinamičke karakteristike blokova i izbor opreme, što je ponajviše vezano za specifičnosti koje se javljaju zbog karakteristika kosovskih lignita.

Opseg: 153 stranice slike i dijagrami.

Program aktivnosti za realizaciju izgradnje energetskih objekata na području SAP Kosovo

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske
Izvršitelj: Zoran Selanec, dipl. ing.

Program aktivnosti pripreme izgradnje termoelektrana na području SAP Kosovo obuhvaća popis i plan izvođenja aktivnosti za izgradnju I faze elektroenergetskih objekata, tj. period do početka izgradnje prvog bloka iz serije blokova koji će se graditi na području ove autonomne pokrajine. Radovi koji su obuhvaćeni ovim programom aktivnosti definiraju i obrađuju i sve aktivnosti vezane za izgradnju daljnjih blokova na mikrolokaciji I faze izgradnje, te u svojem prvom dijelu obrađuju i karakteristike mikrolokacija za daljnje faze izgradnje elektrana.

Opseg i plan radova prikazani su u obliku mrežnog dijagrama i gantogramskog prikaza i obuhvaćaju 85 aktivnosti u periodu od sredine 1982. godine do 1. 7. 1987. godine, kada je planiran početak izgradnje prvog bloka u okviru prve faze izgradnje termoelektrana.

S obzirom na raznolikost problematike sve aktivnosti u programu svrstane su u dvije osnovne grupe i to:

— aktivnosti učesnika u realizaciji cjelokupnog projekta (osnivači)

— aktivnosti u okviru R. O. za izgradnju energetskih objekata na području SAP Kosovo

pri čemu su aktivnosti za R. O. za izgradnju grupirane u aktivnosti vezane za gradenje termoelektrana i aktivnosti vezane za otvaranje rudnika.

Opseg: 48 stranica tablice i dijagrami.

Razvoj i izrada metodologije za procjenu stanja i preostalog životnog vijeka visokoopterećenih parovoda u termoenergetskim postrojenjima

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske
Autori: Mladen Nadinić, dipl. ing.
Marino Balog, dipl. ing.
dr Smiljko Jakšić, dipl. ing.
Silva Malčević, dipl. ing.

Ova studija rezultat je višegodišnje suradnje Instituta za elektroprivredu-Zagreb i Zavoda za energetsku i procesnu opremu TPK-Zagreb, a posljedica je nužnost da se počnu organizirano rješavati problemi ponašanja energetske opreme i posebno parovoda u dugotrajnoj eksploataciji. Pouzdanost i sigurnost rada ovih izuzetno značajnih postrojenja u mnogome ovise o poznavanju stanja ugrađenih materijala. Cilj ove studije je da potakne organiziranu akciju u smislu stvaranja i provođenja sistema praćenja ponašanja materijala u dugotrajnoj eksploataciji parovoda termoenergetskih postrojenja. U studiji je dan pregled podataka o parovodima koji rade pri povišenim temperaturama u termoenergetskim postrojenjima SR Hrvatske. Obrađeni su uzroci oštećenja pojedinih komponenata parovoda i objašnjeno je ponašanje toplinskih otpornih materijala parovoda u dugotrajnoj eksploataciji. Dane su metode: opseg ispitivanja sta-

nja materijala nakon dugotrajnog rada na povišenim temperaturama, te rezultati nekih do sada provedenih ispitivanja na parovodima. Na kraju je objašnjen proračun preostalog teoretskog radnog vijeka elemenata parovoda koji rade na povišenim temperaturama.

Opseg: 175 stranica teksta, slika i dijagrama.

Osiguranje kvalitete strojarske opreme za NE Krško

Naručitelj: NE Krško
Izvršitelji: Mladen Nadinić, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Vladimir Bradač, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
Hrvoje Kunaj, dipl. ing.
Antun Elsenreich, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
Marino Balog, dipl. ing.
Hrvoje Brkić, dipl. ing.

Radovi na osiguranju kvalitete strojarske opreme za NE Krško započeti su definiranjem i komentiranjem programa za osiguranje kvalitete po uzoru na američki model osiguranja kvalitete koji je definiran ugovorom. U okviru navedenih poslova, osim definiranja zahtjeva za osiguranje kvalitete opreme, obavljena je kontrola proizvodnje dokumentacije za NE Krško kod isporučilaca opreme u SAD i Jugoslaviji, a također se obavlja i kontrola ugradnje opreme na gradilištu te pregled atestne dokumentacije. Prema potrebi poduzimaju se korektivne akcije kako bi se stanje opreme dovelo u sklad s primjenjivom tehničkom regulativom. Program osiguranja kvalitete ima svrhu da se postigne odgovarajuća kvaliteta opreme i radova kako bi se dobila sigurna i pouzdana nuklearna elektrana, a prikupljeni dokazi o kvaliteti opreme i radova treba da posluže za izdavanje uporabne dozvole za objekt, a ujedno da čine dobru osnovu za što lakše i svrsishodnije održavanje elektrane u pogonu.

Osim navedenih radova na osiguranju kvalitete strojarske opreme u toku 1980., 1981. i 1982. god. u okviru funkcionalnih ispitivanja pojedinih te evaluaciji rezultata izmjerenih vrijednosti u odnosu na zahtijevane projektne parametre. Ti su radovi vršeni radi utvrđivanja funkcionalnosti pojedinih sistema i davanja ocjena stanja sistema u odnosu na projektne parametre za potrebe izdavanja uporabne dozvole za objekt.

Ispitivanje i ocjena stanja strojarske opreme termoelektrane »Jugovinil« u Kaštel-Sućurcu

I — faza

Naručitelj: »Elektroprivreda Dalmacije« — Split
Izvršitelji: Mato Cvitanović, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Mladen Nadinić, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
Marino Balog, dipl. ing.
i suradnici

Tijekom 1982. godine obavljena je I faza ispitivanja strojarske opreme radi ocjenjivanja pogonskog stanja, odnosno davanja ocjene u kojim uvjetima ovo postrojenje može raditi daljnjih 10-15 godina.

Ispitivanja su obuhvatila ove vitalne dijelove i komponente: turboagregat 10 MW, kotao br. II, dio glavnog parovoda, zavještenja i nosača cjevovoda, ventile itd.

Osiguranje kvalitete strojarske opreme za HE Čakovec

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb, RZ za izgradnju HE Čakovec
Izvršitelji: Mato Cvitanović, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
Vladimir Bradač, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Vladimir Martinec, dipl. tehn.

Angažman Instituta na poslovima osiguranja kvalitete strojarske opreme za HE Čakovec nastavljen u 1982. godini nakon uspješno obavljenih radova u toku 1978, 1979, 1980. i 1981. godine.

Aktivnosti se svode na praćenje kvalitete i nadzor u izradi i montaži strojarske opreme kod izvođača radova u zemlji i inozemstvu.

Osiguranje kvalitete strojarske opreme za RHE Obrovac

Naručitelj: Elektroprivreda Dalmacije
RO za proizvodnju i prijenos električne energije
Izvršitelji: Mijo Martinko, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.

U toku 1982. godine provedene su aktivnosti osiguranja kvalitete pri izradi strojarskih komponenata za RHE Obrovac prema institutskom programu kontrole i osiguranje kvalitete kod pojedinih isporučioca opreme.

Osiguranje kvalitete strojarske opreme za TE-TO Osijek

Naručitelj: Elektroslavonija Osijek
Izvršitelji: Vladimir Bradač, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.

U toku 1980., 1981. i 1982. godine vođene su aktivnosti osiguranja kvalitete pri izradi strojarskih komponenata prema institutskom programu kontrole i osiguranje kvalitete.

Radovi na planiranju i praćenju izvršenja radova na izgradnji NE Krško

Izvršitelj: Zoran Selanec, dipl. ing.

U sklopu radova kojima se planira i prati izgradnja NE Krško obavljaju se i radovi na gantogramskom planiranju i praćenju, a također se prati financijska realizacija u odnosu na fizičko izvršenje radova.

Radovi na planiranju i praćenju uključuju i kompjutorsko planiranje i praćenje izvršenja radova i poslova iz obaveze investitora, te kompjutorsko praćenje na bazi mrežnog plana izrade pogonskih uputa. Izrada pogonskih uputa prati se na bazi tipskog mrežnog plana od 38 događaja za izradu 934 uputa. Kompjutorski program za ovo praćenje razvijen je u Institutu za elektroprivredu.

Pogonska inspekcija cijevi generatora pare u NE Krško

Naručitelj: Westinghouse Nuclear International
Nosioci zadatka: Mijo Martinko, dipl. ing.
Marino Balog, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing. i suradnici

Za američku tvrtku Westinghouse Nuclear International Institut je u toku 1982. godine obavio tri pogonske inspekcije cijevi generatora pare NE Krško (siječanj, svibanj i studeni 1982. godine). U toku svake inspekcije ispitano je oko 1 600 cijevi po svakom generatoru pare pomoću višeučestalih vrtložnih struja. Ispitivanje je imalo preventivan karakter kako bi se nakon određenih modifikacija na pomoćnom napojnom cjevovodu i uz različite režime rada prije i nakon modifikacije utvrdila postojeća homogenost cijevi ispod potpornih ploča na hladnoj strani generatora pare u području predgrijačke sekcije. Ovaj složeni zadatak obuhvatio je organizaciju cijelog ispitivanja, osiguranje mjera zaštite od zračenja, uvježbavanje osoblja za montažu opreme u generatore pare na specijalnoj maketi, pripremu i montažu opreme u reaktorskoj zgradi i generatoru pare, pripremu i montažu te baždarenje opreme i elektronike izvan reaktorske zgrade. Ispitivanja su se provodila kontinuirano u toku remonta elektrane 24 h na dan uz paralelnu evaluaciju i interpretaciju rezultata. Evaluaciju i interpretaciju rezultata te izradu preliminarnog izvještaja obavili su zajednički Institut i američka tvrtka Zetec Inc.

Konačni izvještaj o ispitivanju cijevi generatora pare NE Krško

Naručitelj: NE Krško
Autor: Mijo Martinko, dipl. ing.

Na zahtjev NE Krško obavljena su u svibnju i studenom 1982. godine ispitivanja cijevi generatora višeučestalih vrtložnih struja. Institut je izradio konačni izvještaj o stanju cijevnog snopa generatora pare. Izvještaj je izrađen na temelju nezavisne interpretacije rezultata a kao osnova poslužili su podaci prikupljeni u svibnju i studenu 1982. godine.

Ispitivanje cijevi kondenzatora NE Krško i izrada konačnog izvještaja

Naručitelj: NE Krško
Nosioci zadatka: Mijo Martinko, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
i suradnici

Krajem remonta u studenom 1982. godine provedeno je ispitivanje kondenzatorskih cijevi NE Krško na kondenzatorima 1A i 1B u vodnoj komori 1. Svrha ispitivanja bila je da se u određenom cijevnom snopu kondenzatora utvrdi postotak, karakter i eventualni uzrok oštećenja cijevi, a na bazi programa što ga je sastavila NE Krško. Ispitivanje je obuhvatilo izradu specijalnih baždarnih blokova u skladu s ASME B & P. V Code Sec. V, pripremu za ispitivanje s baždarenjem, ispitivanje i interpretaciju rezultata. Provedeno je i laboratorijsko ispitivanje jedne cijevi izvučene iz kondenzatora. Na bazi ispitivanja vrtložnim strujama kontrolirano je karakteristično oštećenje cijevi. Laboratorijska ispitivanja obuhvatila su metalografska ispitivanja strukture materijala cijevi te precizna mjerenja dubine oštećenja. Na bazi laboratorijskih nalaza i interpretacije rezultata ispitivanja pomoću vrtložnih struja izrađen je završni izvještaj o stanju cijevnog snopa u kondenzatorima.

Ispitivanje cijevi visokotlačnih zagrijača napojne vode NE Krško i izrada izvještaja

Naručitelj: Westinghouse Nuclear Interational
Nosilac zadatka i autor: Mijo Martinko, dipl. ing. i suradnici

Institut za elektroprivredu je u dva navrata u toku 1982. godine (travanj i svibanj) obavio za američku tvrtku Westinghouse Nuclear International ispitivanje cijevi na visokotlačnim zagrijačima napojne vode pomoću višeučestalih vrtložnih struja. U toku svakog ispitivanja ispitano je oko 300 cijevi po svakom zagrijaču napojne vode u području cijevnog snopa gdje je probom nepropusnosti konstatirano propuštanje cijevi. Svrha je ispitivanja bila da se precizno utvrdi koje cijevi propuštaju kako bi Westinghouse začepio kritične cijevi, odnosno kako bi se utvrdio uzrok oštećenja cijevi. Opseg posla je obuhvatio pripremu za ispitivanje, ispitivanje i interpretaciju rezultata na bazi koje je izrađen izvještaj o ispitivanju.

Razvoj i istraživanje novim ultrazvučnim metodama

Nosioci projekta: Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.

U 1982. godini nastavljen je rad na razvojno-istraživačkom projektu o mogućnosti primjene novih ultrazvučnih metoda ispitivanja na nuklearnim komponentama. Cilj projekta je da se poboljša efikasnost i pouzdanost ranog pronalaženja podpovršinskih pukotina na platiranim komponentama nuklearnih elektrana primjenom specijalnih ultrazvučnih sondi i opreme pomoću imerzione ultrazvučne tehnike ispitivanja pod vodom. Na taj način nastojat će se poboljšati tehnika ispitivanja reaktorske posude, primarne strane generatora pare i održivača tlaka koji se prema zahtjevu ASME B & PV Code Sec. XI ispituju u toku pogona nuklearnih elektrana. Na tom istraživačkom projektu Institut radi u SAD zajedno sa stručnjacima tvrtke Combustion Engineering Inc., gdje se u laboratorijskom radu koristi najsuvremenija oprema, a svaki rezultat provjerava kvalitativno na specijalnim modelima.

Ostali radovi

Naručitelji i zadaci: razni
Autori: kolektiv studijske jedinice

Na zahtjev elektroprivrednih i drugih organizacija obavljene su u toku 1982. godine razne aktivnosti od kojih se navode neke opsežnijeg karaktera:

— niz ispitivanja i mjerenja manjeg opsega na energetskim objektima radi provjere garantnih veličina od isporučilaca opreme ili radi poboljšanja ekonomike postrojenja.

STUDIJ VISOKONAPONSKE OPREME I PRIJENOSNIH MREŽA

Osnovno rješenje prijenosne 400 kV i 220 kV mreže Jugoslavije za godinu 1990. uz dopunsko angažiranje 1800 MW iz bazena Kosova za potrebe republike i Autonomne pokrajine Vojvodine

Naručitelj: Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Beograd
Autor: mr Zdenko Tonković, dipl. ing.
Završeno u svibnju 1982.

Superponirana mreža Jugoslavije razvijat će se slijedeći pojavu novih velikih izvora i konzumnih središta. Jedna od mogućnosti je izgradnja velikih proizvodnih kapaciteta na Kosovu zajedničkim ulaganjem republike i pokrajina. U ovom radu razmatrana je veličina izgradnje 6 × 300 MW, pa su ispitivana potrebna pojačavanja mreže da bi se ta snaga mogla izvoziti iz Kosova.

Elektroenergetske podloge su razrađene tako da je modelirana potrošnja i proizvodnja na 110 kV strani TS 400/110 kV i TS 220/110 kV prema podacima republika i pokrajina. Angažirani i varirani izvori priključeni su na 400 kV i na 220 kV. Razmjena sa UCPTE-om uzimana je u obzir samo u havarijskim situacijama.

Nakon određenja osnovne mreže, s polaznom mrežom kakva se očekuje oko 1985, mreža je pojačavana uz ispitivanje da li prijenosni sistem zadovoljava postavljene kriterije opteretivosti pojedinih komponenti i dozvoljenih varijacija napona u uvjetima normalnog pogona, kao i istovremenog ispada jedne proizvodne jedinice i jednog relevantnog dalekovoda. Korišteni su i kriteriji statičke stabilnosti (kut, jalova snaga), kao i gubici modela sistema. Mreža je tako građena istovremenim sagledavanjem kriterija planiranja i pogona.

U radu su dani vodovi i transformatorske stanice koje treba izgraditi za sigurni prijenos 1 800 kW iz područja Kosova i istaknute su moguće alternative.

Opseg rada: 116 stranica, 53 stranica dokumentacije, 27 slika i protokoli s računskog stroja.

Pouzdanost 110 kV mreže na širem području Zagreba te ispitivanje mogućnosti njenog povišenja

Naručitelj: Elektroprenos — Zagreb
Autor: mr Zdenko Tonković, dipl. ing.
Završeno u studenom 1982.

Neangažiranje elektrane na tekuće gorivo, kao i uklopno stanje mreže doveli su do neharmonične raspodjele opterećenja između stanica superponirane mreže koje napajaju zagrebačko područje. Time se naglašeno opterećuje dio 110 kV mreže, čime pada sigurnost cijele mreže područja.

Ispitivane su posljedice mogućih kvarova i ukazano je na mogućnosti da se mreža prilagodi i ovoj elektroenergetskoj situaciji (koja bi mogla postati trajnom). Predložena su rješenja od neposredno moguće izgradnje do sistemskih zahvata za koja su potrebna dalja ispitivanja.

Opseg rada: 31 stranica, 15 slika i protokoli s računskog stroja.

Optimalno rješenje uklapanja HE Đurđevac u 110 kV mrežu

Naručitelj: Elektroprenos — Zagreb
Autor: mr Zdenko Tonković, dipl. ing.
Završeno u ožujku 1982.

U ovom radu istraživane su mogućnosti priključka HE Đurđevac s obzirom na čvorišta i mrežu kakva se u međimurskom području očekuje poslije 1990. Posebna je pažnja posvećena kriterijima i ukazano je na neke aspekte mogućeg formuliranja jedinstvenih kriterija za priključak elektrana.

Ustanovljeno je nekoliko mogućnosti priključka. Među njima je kritičkim sagledavanjem dana prednost varijanti koja uz najmanju izgradnju osigurava potrebnu sigurnost.

Opseg: 20 stranica, 8 slika i protokoli s računskog stroja.

Ispitivanje mogućnosti priključka bloka 300 MWe u TE-TO Zagreb

Naručitelj: »Elektroprivreda« Zagreb
Autori: mr Davor Nevečerel, dipl. ing.
mr Zdenko Tonković, dipl. ing.
Završeno u prosincu 1982.

U istraživanju mogucnosti priključka bloka 300 MWe u TE-TO Zagreb, kontrolom tokova snaga i veličina struja tropolnog i jednopolnog kratkog spoja, razmatrane su mogućnosti priključka bloka 300 MWe na 220 kV mrežu i 110 kV mrežu za različita stanja mreže relevantno za promatrani problem.

Opseg: 18 stranica 13 slika, 4 tablice.

Analiza stanja postojećih prijenosnih objekata i mjere koje bi trebalo poduzeti za poboljšanje pogonske spremnosti starih i dotrajalih objekata

Naručitelj: ZEOH — Zagreb
Autor: Dragutin Mihalic, dipl. ing.
Završeno u siječnju 1982. godine

U mreži Hrvatske postoji velik broj prijenosnih objekata koji su u eksploataciji više od 25 godina, pa je njihova oprema dobrim dijelom pri kraju životnog vijeka. Pogonska spremnost takvih objekata nije na zadovoljavajućem nivou.

Zadatak ove studije bio je dvostruk. Analizom dostupnih podataka najprije je procijenjeno pogonsko stanje i pouzdanost 6 zadanih 110 kV dalekovoda i 6 110 kV postrojenja i upozoreno na opremu čije je stanje zabrinjavajuće, a onda predložene eksperimentalne metode za odredivanje i praćenje pogonskog stanja opreme koja nije evidentno ugrožena. Na kraju, uzimajući u obzir buduću ulogu svakog objekta, predloženi su konkretni radovi u svrhu postizanja pouzdanog pogona.

Studija je podijeljena u dvije tematske cjeline: I. transformatorska 110 kV postrojenja, II. dalekovodi 110 kV. Unutar svake cjeline razmatrano je najprije pogonsko stanje, a onda preporučena potrebna ispitivanja radi sigurne procjene i praćenje pogonskog stanja opreme.

Sistematski je prikazana metodologija ispitivanja: od izbora suvremenih mjernih metoda (uzimajući u obzir raspoloživu mjernu opremu) pa do komentara postojećih kriterija o ocjeni stanja opreme. Na taj način dana je potpuna teoretska podloga za početak praktičke provedbe sistematskog periodičkog ispitivanja postrojenja u Hrvatskoj u svrhu neprekidnog praćenja pogonskog stanja. Dokazano je već da se jedino na takav način postiže velika pouzdanost prijenosa el. energije.

Opseg: 184 stranice, 25 tabela, 25 crteža i dijagrama.

Proračun konstanata vodova 110 kV i raspodjele početnih struja jednopolnog kratkog spoja na potezu Resnik – Dubrava – Sjever I – EL TO Zagreb, razrada II

Naručitelj: »Dalekovodprojekt«, Zagreb
Autor: mr Davor Nevečerel, dipl. ing.
Završeno u ožujku 1982.

Zbog promjene dužine dvostrukog kabelskog i nadzemnog voda i primjene pretpostavljene glave stupa nadzemnog voda 2 × 110 kV u odnosu na ranije podatke, ponovno je izvršen proračun parametara dvostruke nadzemne – kabelske veze 110 kV Resnik – EL TO Zagreb, koju čine paralelni kabeli 2 × 3 × (FXKJ 1 × 500/95) i dvostruki nadzemni vod 2 × 3 × 240/40 Al/Fe + 1 × 95/55 EA1Mg1/Fe. Na temelju izračunatih parametara i raspoloživih podataka o utjecaju elektroenergetskog sistema izvršen je zatim proračun raspodjele struja jednopolnog kratkog spoja i inducirajućih struja u tlu kod neistodobnih kvarova na različitim mjestima duž trase promatrane veze. Rezultati su prikazani tabelarno i grafički.

Opseg: 15 stranica, 7 tablica, 16 slika i protokol računskog stroja u posebnom uvezu.

Proračuni očekivanih najmanjih struja početnih tropolnih i jednopolnih kratkih spojeva kao i pripadnih napona, koji mjere distantni releji u mrežama visokog napona na području »Elektroprenosa« Zagreb (1982)

Naručitelj: »Elektroprivreda« Zagreb, OOUR »Elektroprenos« Zagreb
Autor: mr Davor Nevečerel, dipl. ing.
Završeno u lipnju 1982.

Za dogovoreno najmanje uvrštenje generatora na području regije Zagreb i uz istodobno uvrštenje svih utjecajnih dijelova elektroenergetskog sistema Jugoslavije i izravno uzemljenje zvjezdišta svih transformatorskih namota nazivnih napona 110 kV i viših, proveden je proračun primarnih vrijednosti impedancija koji mjere distantni releji u TS 400/110 kV Zagreb, TS 220/110 kV Mraclin i releji u mreži 110 kV u transformatorskim stanicama TE-TO Zagreb, Resnik, Jarun i Rakitje kod kvarova u užem području »Elektroprenosa« Zagreb.

Proračuni su provedeni za neistodobne pocetne tropolne i jednopolne kratke spojeve uz sukcesivno isključenje najutjecajnijih grana mreže, i to: na sabirnicama prvog i sljedeća dva postrojenja prema kojima je usmjereno djelovanje promatranog distantnog releja, te na 20, 50 i 80% dužine svakog voda između navedenih postrojenja, tako da se sa sigurnošcu obuhvati cijelo područje zaštite svakog releja, uključivši i njegov III stupanj.

Opseg: 10 stranica teksta, 2 slike, 5 tablica na 52 stranice i protokol računskog stroja u posebnom uvezu.

Proračun konstanata i raspodjele najvećih početnih struja jednopolnog kratkog spoja za vodove 110 kV:

1. **HE Čakovec — Prelog**
2. **Prelog — HE Dubrava**
3. **HE Dubrava — Koprivnica**
4. **Koprivnica — Virje**
5. **Karlovac II — Duga Resa**
6. **Duga Resa — HE Gojak**
7. **Karlovac I — Karlovac II/2**
8. **Karlovac II — Vojnić**

Naručitelj: »Elektroprivreda« Zagreb, OOUR »Elektroprenos« Zagreb
Autor: mr Davor Nevečerel, dipl. ing.
Završeno u rujnu 1982.

Izvršeni su proračuni konstanata i raspodjele početnih struja jednopolnog kratkog spoja za navedene vodove 110 kV.

Opseg: 26 stranica teksta, 14 slika, 8 tablica i protokoli računskog stroja s proračunom konstanata nadzemnih vodova.

Prenaponi sklapanja kondenzatorskih baterija na tercijaru autotransformatora 220/110/10 kV u TS Mraclin

Naručitelj: »Elektroprenos« — Zagreb
Autori: Srećko Bojić, dipl. ing.
dr Ivo Hrs, dipl. ing.
dr Miroslav Jung, dipl. ing.
Suradnici: mr Dragutin Markovinović, dipl. ing.
Tomislav Veselić, ing.
Tomislav Peremin, tehn.
Završeno 1982.

U TS Mraclin provedena su ispitivanja prenapona sklapanja kondenzatorskih baterija sa svrhom da se ocijeni usklađenost izolacionog nivoa kondenzatorskih baterija i ostale opreme s nivoom prenaponskih smetnji, te da se izrade smjernice za sprečavanje ili ograničenje previsokih napona sklapanja.

Rezultati ispitivanja oscilografirani su kroz 64 pokusa sklapanja i statistički su obrađeni. Zaključeno je da se prilikom sklapanja baterija na tercijaru opterećenog autotransformatora ne pojavljuju prenaponi koji bi mogli ugroziti opremu standardno izoliranu za nivoe 10, 110 i 220 kV. Nadalje, ispitivanja su pokazala da je nivo prenaponskih smetnji prilikom sklapanja autotransformatora na strani 110, odnosno 220 kV, uz priključene baterije na tercijaru, znatno veći u slučaju pogona s neuzemljenim zvjezdištem. Stoga se preporučuje transformator s priključnim baterijama držati u pogonu s uzemljenim zvjezdištem.

Ispitivanja provedena u TS Mraclin nastavak su sličnih ispitivanja provedenih u drugim postrojenjima i daju skup novih podataka vezanih za tu problematiku.

Opseg: 16 stranica, 18 tablica, 65 oscilograma, 5 slika.

Zaštita postrojenja TLM Šibenik od prenapona

Naručitelj: TLM »B. Kidrič« — Šibenik, Tvornica aluminija Ražine
Autori: dr Miroslav Jung, dipl. ing.

Ante Sekso, dipl. ing.
Željko Zlatar, dipl. ing.

Proračun na rač. stroju: mr Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u prosincu 1982.

I. dio: Uzemljenje zvjezdišta mreže 30 kV TLM Ražine

U prvoj točki obrađeno je uzemljenje zvjezdišta i proračun kratkog spoja.

Predloženo je idejno rješenje prelaska elektroenergetske razdjelne mreže nazivnog napona 30 kV u tvornici aluminija Šibenik od pogona s izoliranim zvjezdištem na pogon sa zvjezdištem uzemljenim neizravno preko djelatnog otpora, sa svrhom da se uvede mogućnost isklapanja jednopolnih kvarova, odnosno da se ograniče unutarnji prenaponi u mreži s autotransformatorima čije zvjezdište nije dostupno. Pri izradi studije uzeta je u obzir i mogućnost iznimnog pogona tvorničke mreže vezane za mrežu 30 kV grada Šibenika.

U točki Relejna zaštita obrađene su pretpostavke za dopunu postojeće odnosno izbor nove relejne zaštite mreže, provedena je toplinska provjera vodova i dan je prijedlog i obrazloženje, kao i analiza djelovanja odnosno načela proračuna udešenja relejne zaštite promatrane mreže.

II. dio: Prenaponska zaštita TS 110/30/10 kV Ražine i tvorničke mreže 30 kV TLM-a Šibenik

Nakon pregleda sadašnjeg stanja prenaponske zaštite dan je pregled i analiza kvarova u tvorničkoj mreži 30 kV. Veoma velik broj kvarova dogodio se na najskupljoj opremi, kao što su regulacioni autotransformatori, prigušnice, kompenzaciono postrojenje i sl. U ocjeni nivoa prenapona u tvorničkoj mreži nazivnog napona 30 kV pošlo se od domaćih i stranih iskustava u sličnim tvorničkim mrežama. Analizirane su prilike kod nastanka zemljospoja, kod njegovog isklapanja, a posebno je obrađena prenaponska ugroženost autotransformatora u spoju Y bez izvedenog zvjezdišta. Utvrđeno je da bi se prava slika o visini prenapona mogla dobiti mjerenjima u postrojenju pri namjernim operacijama sklapanja. U posljednjoj točki određene su izmjene i dopune postojeće prenaponske zaštite u kompletnoj tvorničkoj mreži.

Opseg: ukupno 106 stranica, 3 tablice i 26 slika.

Uzemljenje zvjezdišta mreže 30 kV Jarun, aktualizacija studije iz godine 1975.

Naručitelj: »Elektra«, Zagreb
Autori: dr Miroslav Jung, dipl. ing.
Josip Kučak, dipl. ing.

Završeno u lipnju 1982.

Studija je podijeljena u dva dijela, i to:

I. dio: Uzemljenje zvjezdišta i proračun kratkog spoja u kojem su od događaja 16. X 1981. g., u promatranoj mreži aktualizirana rješenja i rezultati studije iz 1978., osobito s obzirom na sinhroni rad lokalnih generatora, kao i nova redovita i iznimna uklopna stanja. Pokazalo se je da uz ranije predloženi otpornik za uzemljenje zvjezdišta U_n = 18 kV, I_n = 1000 A u pojnoj točki TS 110/30 kV Jarun zvjezdište treba iz razloga selektivnog djelovanja relejne mreže uzemljiti i u novoj pojnoj točki EL–TO, s kojom se 1975. g. nije računalo. Uz proračune kratkog spoja u studiji je prikazano dimenzioniranje, izbor tipa, lokacija i način priključka otpornika na mrežu. Predloženo rješenje je realizirano, te je zvjezdište mreže 30 kV Jaruna neizravno uzemljeno 14. travnja 1983.

Opseg: 42 stranica teksta, 10 tablica, 97 nacrta.

II. dio: Uzemljivači postrojenja

Obavljeno je mjerenje potencijala uzemljivača U-I metodom na svih 11 trafo-stanica, od kojih su 3 trafo-stanice iz kojih izlaze vodovi niskog napona. Mjerenje napona uzemljivača TS 30/10 vršeno je niskim naponom, a kratki spoj je napajan iz TS 110/30 kV Jarun kao u stvarnom pogonu, gdje će zvjezdište 30 kV biti uzemljeno preko malog otpora za ograničenje struje jednopolnog kratkog spoja. Iz raspodjele struja kroz plašt kabela i zemlju dobiveni su i stvarni redukcioni faktori kabela IPZO-13.

Rezultati mjerenja napona uzemljivača za kombinaciju otpornika s ograničenjem na 1 000 A u Jarunu i EL–TO pokazuju da nisu potrebne nikakve korekcije na uzemljivačima ispitanih trafo-stanica. Najveći potencijal uzemljivača izmjeren je u TS Uklopna VII, s otežavajućom okolnošću, što se iz ove trafo-stanice napaja konzum na niskom naponu. Dodatna mjerenja iznošenja potencijala i napona dodira ove TS pokazala su da nije nužno odvajanje konzuma jer je izmjereni napon dodira nula, a maksimalno izmjerena razlika potencijala na izvodu 0,4 kV u neposrednoj blizini znatno ispod dozvoljenih 65 V.

Mjerenja pokazuju da je neposredno prije prelaska s izoliranog zvjezdišta mreže 30 kV na uzemljenje preko malog otpora potrebno kontrolirati uzemljivače.

Opseg: 42 stranice, 10 nacrta.

Mjerenje opasnih napona kod jednopolnih kratkih spojeva na sabirnicama 110 kV u RP 110 kV Omišalj

Naručitelj: DINA — Petrokemija, Omišalj
Autori: Srećko Bojić, dipl. ing.
dr Miroslav Jung, dipl. ing.
Suradnici: Josip Mužny, dipl. ing.
Tomislav Veselić, ing.
Đuro Juretić, tehn.

Završeno u prosincu 1982.

Radi opskrbe električnom energijom industrijskog kompleksa DINA — Petrokemija, Omišalj izgrađen je kabelsko – nadzemni vod 110 kV TS Melina — TS DINA – Petrokemija.

Visokonaponska ispitivanja utjecaja struje jednopolnog kratkog spoja na okolne objekte provedena su u RP Omišalj izazivanjem jednopolnih kratkih spojeva na sabirnicama 110 kV.

Težište studije je utjecaj elektroenergetskih objekata na signalne i telekomunikacijske vodove te cjevovod Jugoslavenskog naftovoda i vodovod »Ponikve« — Krk.

U studiji su dani rezultati mjerenja, kao i kritička ocjena prema postojećim tehničkim propisima.

Opseg: 14 stranica, 10 tablica, 10 oscilograma, 7 slika.

Mjerenje raspodjele potencijala na uzemljivaču i okolici RP 110 kV Omišalj, te smjernice za eventualnu korekciju uzemljivača

Naručitelj: DINA — Petrokemija, Omišalj
Autor: Dragutin Mihalic, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1982. godine

U okviru studije prikazana je situacija uzemljivača, analizirana projektna dokumentacija i pokazana nerealnost vrijednosti u projektu očekivane struje jednopolnog kratkog spoja. Proračunata je struja jednopolnog kratkog spoja mjerodavna za dimenzioniranje uzemljivača, za predviđeno stanje 110 kV mreže i **najnepovoljnije** moguće uvjete.

Analizom rezultata mjerenja utvrđena je zadovoljavajuća izvedba uzemljivača, osim na jednom mjestu gdje je preporučen način sanacije.

Opseg: 35 stranica, 6 tabela, 10 crteža.

Mjerenje i ispitivanje utjecaja struja jednopolnih kratkih spojeva na PTT postrojenja u okolici TS Melina i TS Krasica

Naručitelj: »Elektroprenos«, Opatija
Autori: dr Miroslav Jung, dipl. ing.
Josip Kučak, dipl. ing.

Završeno u prosincu 1982.

Studija je podijeljena u dva dijela:

I. dio: Visokonaponska ispitivanja obuhvaćaju izravno mjerenja ukupnih uzdužnih elektromotornih sila u dojavnim kabelima RO PTT prometa, Rijeka, na području MZ Krasica, kod neistodobnih jednopolnih kratkih spojeva na kritičnim mjestima elektroenergetskih vodova 220 kV Melina — TE Rijeka i Melina — HE Senj, odnosno 110 kV Melina — Krasica. U studiji su prikazani postupak i rezultati mjerenja. Potonji su još (linearno) preračunati na utjecajne struje u srednjoročnoj budućnosti, te su tako konačno utvrđene utjecajne veličine mjerodavne za poduzimanje nužnih mjera zaštite prema našim propisima.

II. dio: Niskonaponska ispitivanja

Udaljenost između uzemljivača TS Melina i TS Krasica iznosi 1 000 m, a međusobna povezanost uzemljivača je preko armature 4-žilnog kabela 35 kV. Niskonaponskim ispitivanjima dobiveni su utjecaji struja jednopolnih kratkih spojeva na PTT postrojenja u okolici ovih dviju transformatorskih stanica. Analizom rezultata mjerenja određene su točno zone utjecaja EE postrojenja TS Melina i Krasica na TK postrojenja, na temelju kojih su, u skladu sa propisima za zaštitu telekomunikacionih postrojenja, predložene mjere za zaštitu.

Opseg: 44 stranice, 11 nacrta.

Mjerenje napona dodira i koraka na točkama prijelaza nadzemni vod — podzemni kabel — pomorski kabel voda Melina — Kraljevica — Omišalj

Naručitelj: DINA — Petrokemija, Omišalj

Autor: Dragutin Mihalic, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1982. godine

Mjerenja napona dodira i koraka na prijelaznim točkama 110 kV voda Meline — Omišalj izvedena su u 2. mjesecu 1982. U studiji je dan prikaz složenog uzemljivačkog sistema uzduž ovog voda, analizirane su prilike kod mogućeg jednopolnog kratkog spoja i dan proračun najvećih mogućih struja jednopolnog kratkog spoja, uz zadanu konfiguraciju mreže.

Analizom rezultata mjerenja utvrđena je zadovoljavajuća izvedba svih uzemljivača s obzirom na napone dodira i koraka.

Opseg: 28 stranica, 3 tablice, 9 crteža.

Smjernice za zaštitu od iznošenja potencijala iz TS 110/35/10 kV Straža

Naručitelj: »Elektroprivreda« — Zagreb, OOUR »Elektroprenos«

Autor: Ante Sekso, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1982.

Transformatorska stanica Straža gradi se za potrebe sigurnijeg napajanja susjedne tvornice stakla, kao i razdjelnih mreža napona 35 i 10 kV. S obzirom na veći broj kabela kojim se iz TS Straža napajaju spomenute mreže, postavilo se pitanje zaštite ljudi i opreme od iznesenih napona opasnosti, odnosno od interferentnih utjecaja. U radu su analizirane moguće opasnosti i dane smjernice za zaštitu n. n. potrošača od iznošenja potencijala, kao i za zaštitu signalnih i upravljačkih kabela koji izlaze iz TS Straža.

Opseg: 13 stranica, 1 slika.

Tehnička regulativa u oblasti nuklearne energetike — prvi nacrt jugoslavenskog standarda za osiguranje kvalitete

Naručitelj: Zeoh Zagreb

Autori: mr Boris Kalan, dipl. ing.
Ivan Đurđek, dipl. ing.
Franc Pribac, dipl. ing.

Završeno u lipnju 1982. g.

U studiji je razrađen nacrt standarda za osiguranje kvalitete s obzirom na postojeće propise i standarde, specifičnosti opće organizacije industrija, kao i pojedine zahtjeve u toku upravnog postupka za nuklearne objekte. Studija se sastoji od 3 dijela. Prvi dio sadrži prikaz standarda za osiguranje kvalitete od MAA-e, Nº. 50—C—QA »Quality Assurance for Safety in Nuclear Power Plants«, dok drugi dio sadrži prikaz zapadnonjemačkog standarda KTA—1401 »Allgemeine Anforderungen an die Qualitätssuchennung«. Na osnovi navedenih standarda i standarda prikazanih u studiji »Komparativni prikaz standarda za osiguranje kvalitete za nuklearne elektrane« izrađen je nacrt standarda za osiguranje kvalitete koji je prikazan u trećem dijelu studije.

Opseg: 100 stranica.

Aktivnosti na programu osiguranja kvalitete za I & C opremu na NE Krško

Autori: Dimitrije Avdejev , dipl. ing.
mr Boris Kalan, dipl. ing.

Program osiguranja kvalitete sastojao se je od pregleda projektne, tehničke atestne dokumentacije, kao i dokumentacije o kalibraciji nakon ugradnje instrumenata i elektronske opreme u NE Krško. Pratilo se testiranje u toku Start—up—a, te potrebna testiranja prije i u toku pokusnog rada s ocjenjivanjem rezultata pojedinih testiranja. Obavljeni su svi potrebni poslovi u vezi s dobivanjem uporabnih dozvola inspekcijskih službi.

Konačni izvještaj o osiguranju kvalitete HE »Čakovec«

Naručitelj: Elektroprivreda« Zagreb

Autori: dr Fedor Šprung, dipl. ing.
Pal Zahorec, dipl. ing.

Na osnovi sistematskog ispitivanja komponenti elektrane, od materijala do dogotovljenih objekata, izrađen je konačni izvještaj o osiguranju kvalitete HE »Čakovec«. Izvještaj obuhvaća sinhrone i asinhroni generator, blok—transformatore i transformatore vlastite potrošnje, prekidače, rastavljače, mjerne transformatore, izolatore 110 kV postrojenja, te regulatore napona i brzine vrtnje.

Posebno su obrađene okolnosti kod kojih je došlo do zamjene komponenti opreme. Izvještaj se sastoji od 4 toma s ukupno 1 250 stranica tekstova, dijagrama i nacrta.

Na temelju ovog materijala elektrotenički dio elektrane dobio je uporabnu dozvolu.

Dokumentacija osiguranja kvalitete elektrotehničke opreme za TE-TO »Osijek«

Naručitelj: »Elektroslavonija« Osijek

Autori: dr Fedor Šprung, dipl. ing.
Pal Zahorec, dipl. ing.

Mnoge inovacije primijenjene u prototipnoj verziji u gradnji ovog objekta zahtijevale su, u okviru osiguranja kontrole kvalitete dogotovljenih komponenti, posebno pogonskih motora napojnih i cirkulacijskih pumpi, opsežne studijske pripreme. Svrha je tih studija bila konformnost svojstava ovih motora i pripadnih pumpi, kako bi se ustanovila pouzdanost pogona, posebno kod ispada jedne i trenutnog uključivanja druge napojne pumpe pod opterećenjem.

Obavljene su također kontrole ispravljačkih slogova elektrane i dogotovljenog blok-transformatora.

Nadalje je provedeno osiguranje kvalitete rotora, statora turbogeneratora i inspekcija 6,3 kV postrojenja pred otpremu. Također je razrađen sustav osiguranja kvalitete montaže elektroopreme prvi put kod nas.

Dokumentacija osiguranja kvalitete elektrotehničke opreme RHE »Obrovac«

Autori: dr Fedor Šprung, dipl. ing.
Pal Zahorec, dipl. ing.

Prva reverzibilna hidroelektrana značajne snage u SRH ima mnogo rješenja koja su općenito novost u našoj elektroprivrednoj praksi i zahtijevala su studijski pristup pripremama i izvršenju osiguranja kvalitete. Tako je pitanje dimenzioniranja prekidača u krugu uzbude, direktno na stezaljkama generatora, dakle s vrlo velikom snagom kratkog spoja, riješen posebnim, novim isklopnim aparatom, koji ima ulogu visokonaponskog osigurača kod struja inače nerješivih klasičnim izvedbama. Ovaj aparat reagira kako na iznos struje, tako i na njezinu derivaciju, tako da u slučaju kratkog spoja u krugu uzbude prekida struju u trenutku samog početka kratkog spoja, kada je zbog induktiviteta, što ih krug sadrži gradijent struje kratkog spoja najveći, a ona sama jedva nešto veća od pogonske s obzirom na to da se iskapčanje odigrava u vremenu manjem od 2 milisekunde. U principu je ova novost značajna jer se odgovarajućom ugradnjom na snage kratkog spoja na mjestu njihova priključka, mogu upotrebljavati prekidači prema snazi koja odgovara potrošačima, a ne prema snazi kratkog spoja priključnog mjesta, jer se potrošač, ili dio potrošača, na mjestu priključka iskapča kod prvog prolaza struje kroz nulu, a ostali potrošači dalje nesmetano rade.

Zbog takvih rješenja razrađen je za ovu elektranu poseban program ispitivanja radi kontrole kvalitete. Po tom programu preuzete su do sada jezgre dvaju blok-transformatora i jednog već opisanog isklopnog aparata.

Obavljeno je također osiguranje kvalitete limova, segmenata i statorskog paketa, te štapova i namota za jedan sinhroni generator.

Posebnu okolnost kod ove elektrane uvjetuje ugradnja oklopljenih veza generatora i pripadnih blok-transformatora s novousvojenom tehnologijom uz upotrebu prevladavajućeg udjela domaćih komponenti i angažiranje novih proizvođača i montažera. Ujedno je prvi put omogućen najispravniji pristup aktivnosti osiguranja kvalitete, tako da su kriteriji tog osiguranja i programi njegove provedbe do u detalje razrađeni paralelno s projektiranjem te komponente objekta. Ovi kriteriji i programi ušli su u tendersku dokumentaciju kao njezin sastavni dio i potakli su proizvođače i montažere opreme na najsavjesniji pristup poslu.

Programi su omogućili i selekciju proizvođača.

Ispitivanja prijevoznom visokonaponskom ispitnom stanicom

Naručitelj: Elektroprivredne organizacije SRH

Posljednjih nekoliko godina Institut za elektroprivredu uz pomoć elektroprivrednih organizacija SRH, dobro se opremio za izvođenje ispitivanja elemenata električnih postrojenja na terenu. Brojna prijenosna ispitna oprema omogućuje izdvođenje svih potrebnih ispitivanja za cjelovitu ocjenu stanja električne opreme elektrana, transformatorskih stanica, nadzemnih vodova i kabela. Na taj je način organiziran pokretni visokonaponski laboratorij čiji je osnovni dio prijevozna visokonaponska ispitna stanica. Ona je namijenjena za naponsko ispitivanje komponenti visokonaponske opreme na terenu, i to za ispitivanje izmjeničnim i istosmjernim ispitnim naponom. Izmjeničnim naponom uglav-

nom se ispituju jednominutni podnosivi naponi opreme i ispravnost odvodnika prenapona, dok se istosmjernim naponom uglavnom ispituje ispravnost izolacije kabela nakon polaganja. Visine ispitnih napona su takve da stanica omogućava:

- ispitivanje jednominutnih podnosivih izmjeničnih napona opreme do najviših napona opreme 123 kV
- ispitivanje odvodnika prenapona i sekcija odvodnika do nazivnih napona odvodnika, odnosno sekcija, od 110 kV
- ispitivanje izolacije kabela na kabelima nazivnog napona do 110 kV.

Prijevoznom visokonaponskom ispitnom stanicom vršena su u 1982. godini mnogobrojna ispitivanja odvodnika prenapona i izolacione čvrstoće opreme u elektroprivrednim postrojenjima, pa je potvrđena njezina velika praktična vrijednost.

Razni radovi

Naručitelj: Elektroprivredne i druge organizacije

Autori: Kolektiv studijske jedinice

Ispitivanje uzemljivača

Na nizu trafo-stanica različitih naponskih nivoa obavljena su ispitivanja uzemljivača i kontrolna mjerenja napona dodira i koraka kod očekivanih struja zemljospoja ili jednopolnih kratkih spojeva.

Ispitivanje kabela

Ispitivani su kabeli radi određivanja kvalitete i karakterističnih konstanti.

Mjerena su svojstva izolacije izmjeničnim, istosmjernim i udarnim naponima, kao i dielektrički gubici. Rezultati mjerenja poslužit će za usporedbu različitih konstrukcija i izvedbi kabela.

Uz ispitivanje u proizvodnji i na novim kabelima obavljena su ispitivanja kabela nakon polaganja.

Značenje takvih ispitivanja je veliko jer se pravodobno mogu otkriti pogreške učinjene prilikom polaganja i izbjeći kasniji prekidi pogona.

Ispitivane su kabelske glave i spojnice. Ispitivanja su obuhvatila naponska ispitivanja izmjeničnim i udarnim naponima, kao i nepropusnost na mjestima brtvljenja. Također su ispitivane kabelske mase i razna ulja.

Ispitivanje i atestiranje zaštitnih sredstava

Prema propisima JUS-a moraju se gumene rukavice i gumene čizme za električare ispitivati svakih šest mjeseci, a ako su neupotrijebljene na skladištu, svakih 12 mjeseci. Sva ta zaštitna sredstva koja su zadovoljila atestirana su u visokonaponskom laboratoriju. Također su ispitivane i atestirane izolacijske rasklopne motke za uzemljenje, te izolacijske ploče kod rada u postrojenju pod naponom.

Ispitivanje prototipa opreme i odvodnika prenapona u laboratoriju

Ispitivani su prototipovi neke opreme. Pri tome je bila osobito uspješna suradnja između VN laboratorija i proizvođača, jer se nije samo formalno upozorilo na nedostatke, nego su se davali i prijedlozi za njihovo uklanjanje sve dok navedena ispitivanja nisu pokazala da proizvod potpuno zadovoljava propise i naznačenu primjenu. Nakon toga naručitelj je od Instituta dobio atest za ispitivani proizvod.

Ispitivanje odvodnika prenapona obuhvaća kontrolu izmjeničnog i udarnog proradnog napona.

U okviru ovih ispitivanja vršena su i dodatna ispitivanja odvodnika prenapona udarnim naponom u laboratoriju, pošto su prethodno terenska ispitivanja tih odvodnika prijevoznom visokonaponskom ispitnom stanicom ustanovila sumnjive vrijednosti proradnih izmjeničkih napona.

Uređaj za ispitivanje kabela IPKN-10

Ispitivanje ovim uređajima obavlja se istosmjernom strujom, što ima prednost jer je uređaj lakši i pogodniji za pronalaženje eventualne pogreške u kabelu. Za što točnije ustanovljavanje mjesta pogreške potrebno je, naime, da na tom oštećenom mjestu bude što manji otpor izolacije, tj. što bolji spoj. To se postiže tzv. propaljivanjem kabela tako da se pošto je ispitivanjem ili pak za vrijeme pogona ustanovljena pogreška u izolaciji kabela dovoljno jakom strujom i dovoljno visokim naponom propaliti kabel dok se na oštećenom mjestu ne postigne karbonizirani sloj minimalnog otpora. Nakon toga nije teško odrediti mjesto pogreške bilo kojom poznatom metodom.

Prema tome, uređaj služi za ispitivanje izolacije kabela napona 10 kV poslije polaganja. On također omogućuje brzo i točno pronalaženje mjesta pogreške u kabelima bilo kojom od poznatih metoda, a može se upotrijebiti u granicama svojih karakteristika i u druge svrhe.

Uređaj za ispitivanje kabela IPKN-1

Ovaj uređaj namijenjen je za ispitivanje kabela do 1 kV; u nekim slučajevima njime se mogu propaljivati i kabeli do 10 kV, a da prethodno nisu obrađivani visokonaponskim dijelom uređaja IPKN-10.

Uređaj IR-2S 50 A

Ovaj uređaj služi za ispitivanje i udešavanje sekundarnih neusmjerenih nadstrujnih releja i njihovih vremenskih članova. Proizvodi struju od 5, 15 i 50 A, čija se vrijednost može kontinuirano mijenjati. Može se koristiti i kao izvor reguliranog napona od 0-300 V.

Priključuje se na izmjenični napon 220 V.

Uređaj služi za regulaciju i mjerenje s dodatnim uređajima (IR-1 000 A ili IR-2 000 A).

Uređaj IR-UZ

Ovaj uređaj služi za ispitivanje i udešavanje sekundarnih usmjerenih nadstrujnih, zemljospojnih i sličnih releja i njihovih vremenskih članova.

Uz dodatak IR-1 000 i IR-2 000 A mogu se obaviti primarna ispitivanja spomenutih releja. Fazni pomak između struje i napona može se grubo mijenjati po 60° induktivno, a unutar grubih stupnjeva kontinuirano, te se na taj način može ustanoviti i osjetljivost releja pri faznim pomacima.

Uređaj se priključuje na trofaznu mrežu 380/220 V.

Uređaj IR-1 000 A i IR-2 000 A i više

Ovi uređaji su dodatni uređaji za IR-2S 50 A i IR-UZ, pa imaju kontinuiranu regulaciju i mjerenje stanja do 1 000 A, 2 000 A i više.

STUDIJ HIDROTEHNIČKIH SISTEMA

Osnove dugoročnog plana razvoja elektroprivrede Hrvatske za razdoblje 1985 – 2000. godine

Pregled mogućih hidroelektrana za izgradnju s noveliranim troškovima izgradnje

Naručitelj: RZ Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske,

Autori: Đuro Hatić, dipl. ing.
mr Mladen Petričec, dipl. ing.
Krunoslav Klak, dipl. ing.
Nedjeljko Šimundić, dipl. ing.
Boris Štajer, dipl. ing.
Aleksander Russo, dipl. ing.
Ljiljana Aleksić, dipl. ing.
Marijan Zelić, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
Josip Bunjevčević, tehn.

U elaboratu je izrađen pregled potencijalnih HE na osnovi postojećih projektnih i studijskih rješenja s potrebnim podacima za ekonomsko-energetsku valorizaciju.

S tim u vezi dan je metodološki postupak, na temelju kojeg je dan prikaz hidroenergetskih objekata koji dolaze u obzir za izgradnju na slivovima rijeka u SR Hrvatskoj. Pri tome je za pojedino rješenje prikazan:

- kratak opis rješenja
- osnovni tehničko-ekonomski podaci
- naznake vodoprivrednih interesa i problematike
- hidrološke podloge za energetske proračune
- moguća proizvodnja postrojenja
- troškovi građenja
- situacioni prikaz postrojenja
- shematski uzdužni profil postrojenja.

Osim toga dan je zbirni prikaz hidroenergetskih objekata po slivovima sa sljedećim osnovnim podacima:

— vodotok
— osnovne tehničke karakteristike
— proizvodnja
— troškovi.

Opseg: 373 stranice, 57 priloga,

Osnovni projekt vodoprivrednog rješenja i energetskog iskorištenja rijeke Mure na dionici od Gibine do ušća

Naručitelji: Vodoprivredna RO za vodno područje »Drava — Dunav« Osijek, OOUR »Vodogradnja« i RZ »Vodoprivreda Varaždin«
»Elektroprivreda« Radna organizacija za proizvodnju i prijenos električne i toplinske energije, sa sol. odgovornošću OOUR-a
»Zveza vodnih skupnosti Slovenije«
»Združeno elektrogospodarsko podjetje Slovenije«, n. sub. o.

Autori: Đuro Hatić, dipl. ing.
Nedjeljko Šimundić, dipl. ing.
Ljiljana Aleksić, dipl. ing.
Alesander Russo, dipl. ing.
mr Mladen Petričec, dipl. ing.
Irena Pavić, dipl. ing.
Krunoslav Klak, dipl. ing.
Boris Štajer, dipl. ing.
Marijan Zelić, dipl. ing.

Suradnici: Đuro Stanoković, dipl. ing.
mr Zdenko Tonković, dipl. ing.
mr Slavko Alerić, dipl. ing.
Neda Komerički, ek.
Ivica Posavec, teh.

»Osnovni projekt vodoprivrednog rješenja i energetskog iskorištenja rijeke Mure na dionici od Gibine do ušća« rezultat je sagledavanja kompleksne problematike vezane za realizaciju višenamjenskih postrojenja na rijeci, a obuhvaća sljedeće obrade:

Knjiga O: Skupni izvještaj;
Knjiga 1: Gospodarsko-tehnička analiza vodoprivrednog rješenja i energetskog iskorištenja rijeke Mure na dionici od Gibine do ušća;
Knjiga 2: Vodoprivredno rješenje
2/1. Obrana od poplava, odvodnja i regulacije;
2/2. Kvaliteta voda i vodoopskrba;
Knjiga 3: Energetsko rješenje
3/1. Vodna stepenica Kotoriba;
3/2. Vodna stepenica Letenje;
3/3. Vodna stepenica Lendava;
3/4. Vodna stepenica Mursko Središće;
3/5. Moguća proizvodnja HE na Muri i njihovo uklapanje u elektroenergetske sustave SR Hrvatske i SR Slovenije;
Knjiga 4: Troškovi izgradnje;
Knjiga 5: Utjecaj predloženih rješenja na privredne grane, čovjeka i okolinu;
Knjiga 6: Gospodarska, pravna i pogonska problematika;
Knjiga 7: Proračun vodnih lica.

Projekt sadrži oko 1 400 stranica teksta s proračunima i oko 140 priloga (situacije, karakteristični presjeci objekata i ostali grafički prikazi na većim formatima).

Pregled ukupnog hidroenergetskog potencijala u SR Hrvatskoj s prijedlogom metodoloških osnova za izbor prioriteta realizacije

Naručitelj: RZ Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske, **Zagreb, Proleterskih brigada 37**

Autori: Đuro Hatić, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
Aleksander Russo, dipl. ing.
Krunoslav Klak, dipl. ing.
mr Mladen Petričec, dipl. ing.
Nedjeljko Šimundić, dipl. ing.
Marijan Zelić, dipl. ing.

U elaboratu je izrađen pregled ukupnog hidroenergetskog potencijala u SR Hrvatskoj, sa prijedlogom metodoloških osnova za izbor prioriteta realizacije.

Studijski pregled je izrađen prema programu u kojem je dan pregled ukupnog hidroenergetskog potencijala u SR Hrvatskoj po vodotocima:

— Dunav
— Drava
— Mura
— Sava
— Kupa s porječjem
— Una
— Rječina
— Lokvarka i Ličanka
— Lika i Gacka
— Krka i Zrmanja
— Cetina
— Trebišnjica (HE Dubrovnik).

U okviru ovog pregleda opisane su osnovne karakteristike vodotoka, hidroenergetskih postrojenja, te su prikazane mogućnosti povećanja snage postojećih HE i pregled osnovnih karakteristika i mogućnosti izgradnje malih i crpnih HE u SR Hrvatskoj.

Opseg: 160 stranica.

Ekonomsko vrednovanje učešća pojedinih grana u realizaciji višenamjenskih rješenja iskorištenja vodnog blaga

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autori: dr Stevan Bruk, dipl. ing.
Đuro Hatić, dipl. ing.
Krunoslav Klak, dipl. ing.
Marijan Magdić, dipl. ing.
Žarko Nikolić, dipl. ing.
mr Mladen Petričec, dipl. ing.

U studiji je razmatrano definiranje odnosa sudionika u realizaciji izgradnje i korištenja višenamjenskog vodoprivrednog objekta. Dan je prikaz metoda koje se danas u svijetu koriste za raspodjelu investicionih troškova i troškova održavanja na korisnike, i predložene su metode pogodne za korištenje u našim uvjetima.

Opseg: 88 stranica, 14 priloga.

»Optimalna izvedba rashladnog sistema NE — Prevlaka« — građevinski dio

Naručitelj: »Elektroprivreda — Zagreb«

Autori: mr Mladen Petričec, dipl. ing.
Boris Štajer, dipl. ing.

U građevinskom dijelu studije dano je tehničko rješenje pojedinih građevinskih elemenata zatvorenog i kombiniranog sistema hlađenja. Kompjutorskim proračunom određeni su troškovi izvedbe uz variranje vrijednosti pojedinih ulaznih parametara: količine glavne rashladne vode, broja crpki glavne i vode za recirkulaciju, brzine vode u cijevovodu i tipa rashladnog tornja. Tekstualni dio studije popraćen je sa 14 grafičkih priloga, 65 tabličnih prikaza i oko 100 stranica kompjutorskih lista.

Energija, God 32 (1983) 4 314-317

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

DEVIZE ZA NE KRŠKO

Na zahtjev Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske za osiguranje deviznih prava i sredstava za najhitnije potrebe NE Krško Izvršno vijeće zadužilo je SIZ Hrvatske za ekonomske odnose s inozemstvom da u dogovoru sa ZEOH-om nađe rješenje za osiguranje deviza. Devize su potrebne za uvoz nuklearnog goriva i rezervnih dijelova za tekuće održavanje NE Krško, te za namirenje fiksnih i garantnih obveza Zajednice.

I. R.

ENERGETSKA BILANCA JUGOSLAVIJE

Usaglašavanjem republika i pokrajina konačno je usvojena energetska bilanca SFRJ za 1983. godinu. Bilancom je predviđeno da se uveze 11 milijuna tona sirove nafte i 1,4 milijun tona naftnih derivata. Uvoz nafte osigurat će se s konvertabilnog tržišta 6.500 milijuna i klirinškog 4.500 milijuna tona, te 4,260 milijuna tona s domaćih izvora, ukupno 15.260 milijuna tona nafte.

Usvojenom bilancom također je predviđeno da se ove godine proizvede 70,8 milijardi kWh, da se milijarda kWh uveze, a 580 milijun kWh električne energije izveze. Budući da je osiguran ugljen iz Kolubare i iz bosanskohercegovačkih ugljenokopa, odlučeno je da se još proizvede 600 milijuna kWh u termoelektrani Šoštanj, što bi značilo da bi elektroprivreda Jugoslavije u ovoj godini mogla proizvesti oko 71,4 milijarde kWh. Tu količinu je i skupština JUGEL-a i planski predvidjela.

U ugljenokopima bi prema bilanci, trebalo iskopati 60,6 milijuna tona ugljena, a još bi 897 tisuća trebalo uvesti. Da bi rudnici nabavili i devize za najnužnije potrebe te osigurali dovoljno čvrstog goriva za proizvodnju električne energije i industrijsku i široku potrošnju, odlučeno je da se milijun tona ugljena izveze. Za koksiranje je potrebno uvesti 3,4 milijuna tona ugljena. Ta bi količina bila dovoljna za planiranu proizvodnju čelika.

I. R.

ELEKTROPRENOS SPLIT

RADOVI NA ZAPOČETIM OBJEKTIMA

Plan izgradnje elektroprijenosnih objekata na području RO »Elektroprenos« Split za 1983. godinu obuhvatio je u prvom redu objekte čija je izgradnja počela 1982. godine. To su transformatorske stanice 110/35 kV Trogir, Sinj, Knin i rasplet 110 kV Vrbobran, kod Splita. Od objekata u izgradnji ostaje dalekovod 2 × 110 kV Konjsko – Kaštela. U ovoj godini potrebno je ubrzano završiti i izgradnju DV 110 kV Zadar – Knin i DV 2 × 380 kV Veselinovići – Obrovac (rasplet 380 kV mreže crpne hidroelektrane Obrovac). Ovaj dalekovod valja izgraditi do kraja 1983. godine kad se predviđa da će CHE Obrovac ući u probni rad.

U planu 1983. godine ušla je i izgradnja DV 110 kV Zadar – Nin, koji je važan za razvoj turizma toga područja, kao i za opskrbu električnom energijom srednjovalnog odašiljača RTV Zagreb.

Za dovršenje izgradnje započetih prijenosnih objekata investitor »Elektroprenos« Split osigurao je ulaganja u iznosu od 150 milijuna dinara u ovoj godini, a preostalih 30 milijuna dinara bit će uloženo u 1984.

I. R.

RO »ELEKTROPRIMORJE«

PLAN INVESTICIJA

Plan izgradnje energetskih objekata za 1983. godinu na području RO »Elektroprimorje« iz Rijeke programiran je prema raspoloživim sredstvima. Nedostatak sredstava predviđa ograničena ulaganja u pojedine objekte.

Radi dotrajalosti opreme predviđena je veća rekonstrukcija TS 35/10 kV Školjić, TS 35/10 kV Opatija, TS 35/10 kV Goli Otok. U distributivnoj hidroelektrani Zeleni Vir uvest će se daljinsko upravljanje. Nadalje, u TS 35/20 kV Lošinj zamijenit će se dotrajali kabel dužine 4,5 km. U ostalim trasformatorskim stanicama predviđeni su manji zahvati.

Radi sigurnosti napajanja u plan je uvrštena temeljita rekonstrukcija DV 35 kV Rab – Goli otok, za koju su potrebne investicije od oko 6 milijardi starih dinara.

Kritični su objekti o kojima se mora voditi računa dalekovodi za napajanje otoka Raba, Lošinja i Cresa. Ovi otoci su važni za razvoj turizma na području Kvarnera, te je vrlo važno da se loše i nesigurno napajanje poboljša.

Napajanje otoka Raba treba svrstati u grupu kritičnog napajanja zbog nesigurnih prijenosnih vodova koji prolaze kroz teško klimatsko područje. Nužno je ubrzati izgradnju DV 110 kV Cres – Lošinj i vezu tog dalekovoda s Rabom. Ova dalekovodna veza treba biti završena do kraja 1985. godine, a budući da su u pitanju velike investicije, oko 10 milijardi starih dinara, treba riješiti financiranje na razini cjelokupne elektroprivrede Hrvatske. Za taj dalekovod izrađena je tehnička dokumentacija i obavljene su sve pripreme za razradu glavnih projekata.

Sredstva investicija pojedinih objekata »Elektroprimorje« će osigurati iz amortizacije i kredita banaka.

Udružena sredstva pojedinih OOUR-a, u sastavu RO »Elektroprimorje«, financirat će izgradnju prijenosnih objekata napona 10 kV i 0,4 kV iz vlastitih fondova.

RO »Elektroprimorje« s poduzećem »Elektroprenos« Opatija zajednički su sudjelovali u financiranju izgradnje TS 110/20 kV Lovran čija je gradnja u završnoj fazi. Sredinom ove godine TS Lovran se uključuje u jedinstveni elektroenergetski sistem. Uključenjem ove TS u sistem 110 kV distribucija Opatije povećat će sigurnost napajanja kvalitetnom električnom energijom.

U plan izgradnje prijenosnih objekata 1983 – 1985. godine uvrštena je i gradnja TS 110/35 kV Delnice. Potrebu za tim objektom nametnulo je Željezničko transportno poduzeće iz Zagreba radi povećanog prometa na elektrificiranoj pruzi Rijeka – Zagreb. Osim toga i potrebe konzuma Gorskog kotara su u stalnom porastu što će se mnogo popraviti izgradnjom ove TS. Za TS 110/35 kV Delnice investicije od 10 milijardi starih dinara osigurat će »Elektroprimorje«, »Elektroprenos« Opatija i ŽTP Zagreb.

I. R.

Energija, God 32 (1983) 4 314-317

OPREMA ZA UPRAVLJANJE U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

Zajednica Jugoslavenske elektroprivrede — JUGEL — u ime elektroprivrednih organizacija 6 republika i dvije autonomne pokrajine, potpisala je ugovor o zajmu s Evropskom investicionom bankom i obratila se Međunarodnoj banci za učešće u financiranju Tehničkog sistema upravljanja u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije.

Sistem za planiranje pogona predstavlja dio tehničkog sistema upravljanja i obuhvaća isporuku i instalaciju računarskih uređaja za obavljanje preddispečerskih i postdispečerskih funkcija i drugih analiza i obračuna.

Sistem za planiranje pogona sastoji se od računskog sistema instaliranog u dispečerskom centru Zajednice jugoslavenske elektroprivrede, i osam računskih sistema instaliranih u dispečerskim centrima elektroprivreda republika i pokrajina. Svi računarski sistemi instalirani u dispečerskim centrima elektroprivreda republika i pokrajina bit će povezani sa zajedničkim računarskim sistemom instaliranim u dispečerskom centru ZJE, odgovarajućim kanalima za prijenos podataka.

Računarski sistem u dispečerskim centrima elektroprivreda republika i pokrajina po karakteristikama, kapacitetima i konfiguracijama odgovaraju potrebama dispečerskog centra gdje su instalirani.

Predviđa se da će u tri dispečerska centra biti instalirani računarski sistemi velikog kapaciteta, a u pet dispečerskih centara — manji.

Za potrebe planiranja pogona predviđa se implantiranje sljedećih programa: predviđanje opterećenja agregata, planiranje remonta, studijske analize sigurnosti, proračun tokova snaga, planiranje razmjene optimizacije hidro-slivova, dnevna proizvodnja hidroelektrana, obračun razmjene, studije dugoročnog planiranja i druge analize i obračuni.

Isporuka i instalacije sistema za planiranje pogona predviđaju se u dvije faze, prva će biti realizirana u 1984, a druga krajem 1985. godine.

I. R.

RADOVI NA RUDNIKU URANA

Prema ranije utvrđenom planu proizvodnja iz rudnika urana Žirovski vrh, Slovenija, trebala je početi u srpnju 1983. godine, ali je zbog nedostatka financijskih sredstava odgođena do sredine iduće godine.

Radovi na otvaranju rudnika urana i gradnji objekata za preradu uranove rudače počeli su još prije pet godina, ali se zbog nedovoljnih investicija tempo radova odvijao mnogo sporije od planiranog. U prošloj je godini prioritet dobio pokusni otkop, a od pratećih objekata sagrađeni su samo oni koji su osnova za pokusnu proizvodnju.

U toku prošle godine iskopano je 13.000 tona rudače i izvršena su prva ispitivanja. Rezultati su zadovoljavajući.

I. R.

HE ĐERDAP II

MONTAŽA AGREGATA

Početkom ožujka 1983. godine počeli su radovi na montaži prvih dvaju agregata na hidroelektrani Đerdap II. Montaža će biti završena u prvom tromjesečju iduće godine. Radovi na pregrađivanju Dunava planirani su da budu završeni do kraja 1983. godine.

Istovremeno se montiraju agregati i na rumunjskoj strani hidroenergetskog sistema »Đerdap II«, kod mjesta Ostrovul Mare. Glavna montaža obavlja se na rotorima turbina i ležištima generatora buduće hidroelektrane. Krov hale, gdje se montiraju generatori, završen je u siječnju ove godine. Istovremeno se već radi na montiranju pokretnih vrata na prevodnici za brodove, a izvode se i drugi radovi unutar prevodnice, kao i u samoj elektrani.

Planirano je da i s naše i rumunjske strane svi radovi budu završeni do kraja 1985. godine.

I. R

NOVE TERMOELEKTRANE U POGONU

Povećanoj proizvodnji prema elektroenergetskoj bilanci Jugoslavije za 1983. godinu u znatnoj mjeri će pridonijeti i puštanje u rad novih termoelektrana. Početkom godine puštene su u probni rad: TE »Plevlja«, instalirane snage 1 × 210 MW, TE »Bitola« I, etapa, snage 210 MW i TE »Gakko«, snage 1 × 300 MW. Tijekom prvog polugodišta ove elektrane uključit će se u redovnu proizvodnju.

Prema stanju izgradnje predviđa se da će početkom lipnja 1983. godine TE »Nikola Tesla B« u Obrenovcu, snage 614 MW ići u probnu proizvodnju. Druga faza TE »Nikola Tesla« planirano treba da bude završena sredinom 1985. godine.

Početkom kolovoza ove godine u probni rad ulazi i TE »Kosovo B 1«, locirana u Obiliću, kod Prištine, snage 339 MW. U toj elektrani paralelno se gradi i drugi blok iste snage kao i prvi, koji će ići u pogon sredinom 1984. godine.

Radi uravnoteženja potreba u električnoj energiji poduzimaju se odgovarajuće mjere kako bi se slobodni kapaciteti termoelektrane Šoštanj, Slovenija, mogli koristiti za druga elektroenergetska područja. TE Šoštanj ima mogućnost povećanja proizvodnje za oko 1 200 milijuna kWh električne energije.

Združena elektroprivreda Srbije dogovorila se da od te količine preuzme 200 milijuna i elektroprivreda SR Bosne i Hercegovine 250 milijuna kWh. Isporuka električne energije iz TE Šoštanj za navedena područja isključivo će biti kompenzirana odgovarajućim isporukama ugljena. Preostali dio veće proizvodnje TE Šoštanj će društvenim dogovorom prepustiti i drugim elektroenergetskim područjima.

I. R.

PLINOFIKACIJA ISTRE I KVARNERA

Istraživanjima na području sjevernog Jadrana u organizaciji poduzeća »INA — Naftaplin« utvrđeno je da se iz podmorja, nedaleko Pule, mogu dobiti velike količine plina.

Po ocjeni stručnjaka budućnost energetike na području Istre, Kvarnera i Gorskog kotara mogla bi se temeljiti na eksploataciji plina iz jadranskog podmorja. Planovi i proračuni potvrđuju da bi se iz plinskog polja kod Pule moglo godišnje dobiti oko 500 milijuna m^3 zemnog plina.

No prije eksploatacije treba točno utvrditi pruža li istražena lokacija na pučini iznad Pule optimalne izglede za ekonomsku opravdanost takvog zahvata.

Prije nego što će se plin iskorištavati treba riješiti niz pitanja. Prvenstveno treba izgraditi glavni plinovod i lokalnu plinsku mrežu za opskrbu riječke regije plinom.

Stručnjaci radne organizacije »Jadranplin« iz Pule izradili su studiju o opskrbi plinom toga područja. Predloženo je nekoliko varijanti za gradnju plinovoda i distributivne

mreže. Prema prvoj varijanti sagradio bi se glavni plinovod od lokacije (u podmorju), odakle bi se instalirali sabirni uređaji do južnog dijela istarskog poluotoka, a zatim plinovoda u smjeru Pula – Lovran – Rijeka, dužine oko 100 km i Pula – Buje, 75 km.

U drugoj etapi predviđena je gradnja plinovoda Rijeka – Omišalj, oko 30 km, a s druge strane na relaciji Buje – Piran – Izola – Kopar dužine 30 km. Istodobno treba pristupiti gradnji lokalnih distributivnih plinskih mreža, jer one, osim djelomično u Rijeci i Puli, ne postoje.

Ako istraživanja pokažu veće količine plina u podmorju nedaleko Pule, kao i na novim plinskim poljima, daleko veće od potreba riječke regije, razmatra se mogućnost priključka plinovoda na postojeću mrežu sjeverne Hrvatske i Slovenije.

I. R.



IZGRAĐENA TS 110/10 kV SPLIT 3

U povodu Dana Republike 1982. svećano je puštena u pogon nova TS 110/10 kV Split 3. Locirana je na Visokoj, a opskrbljivat će električnom energijom novi istočni dio grada Splita u kojem su predviđeni (i dobrim dijelom izgrađeni) stambeni objekti, neki turistički objekti i prateći sadržaji za oko 50.000 stanovnika. TS 110/10 kV Split 3 je najveća distributivna transformatorska stanica na području »Elektrodalmacije«, prva s neposrednom transformacijom, instalirane snage 3 × 40 MVA u konačnoj izgradnji. U komandnom dijelu zgrade smješten je i centar daljinskog upravljanja (CDU).

Investitor tog objekta je OOUR Distribucije — Split. Projektnu dokumentaciju izradio je OOUR Projektiranje i razvoj a elektromontažne radove je obavio OOUR Izgradnja i radionice, dakle organizacije u sastavu »Elektrodalmacije«. Montaža je trajala 18 mjeseci. Transformatorska stanica je izvedena klasično, s otvorenim konvencionalnim postrojenjem 110 kV i zidanim ćelijama u postrojenju 10 kV. Skoro sva oprema je proizvodnje »Končar«.

Vanjsko postrojenje 110 kV sastoji se od tri blok spoja kabel-transformator, a priključak je predviđen iz obližnje TS 220/110 kV Vrboran. U prvoj etapi izgradnje montirana su dva polja 110 kV, od kojih je svako opremljeno izlaznim rastavljačem, strujnim transformatorima, odvodnicima prenapona i naponskim transformatorom u jednoj fazi. Budući da se kabelski priključci 110 kV za sada nisu mogli izraditi, jedno polje je dodatno otpremljeno malouljnim prekidačem i naponskim transformatorima zbog provizornog nadzemnog priključka kao odvojak na DV 110 kV Konjsko – Sučidar. Prema tome, u prvoj etapi će biti u pogonu jedan od dva instalirana trofazna uljna regulacijska transformatora snage 40 MVA. Vani se također nalaze i dva maloomska otpornika za uzemljenje zvjezdišta 10 kV.

Unutarnje postrojenje 10 kV izvedeno je s glavnim sabirnicama smještenim na katu i pomoćnim sabirnicama u prizemlju. Glavne sabirnice su prstenaste, to jest izvedene kao jednostruke sabirnice formirane u prsten. Budući da nije moguć paralelan rad transformatora, sastoje se od tri sekcije povezane rastavnim sklopkama otvorenima u normal-

nom pogonu. Svaka sekcija podijeljena je u dvije polusekcije, koje su s transformatorskim poljem također povezane rastavnim sklopkama. U postrojenju 10 kV ima ukupno 44 vodna polja priključena na sabirničke sekcije. Na posebne transformatorske sabirnice priključena su ostala polja: 3 transformatorska polja, 3 spojna polja, 3 mjerna polja, 2 polja kućnih transformatora, 3 polja mrežne tonfrekventne komadne (MTK), 9 polja kompenzacije i 3 uzdužna sekciona polja. U prvoj etapi polja MTK i kompenzacije nisu opremljena. Prema tome, postrojenje 10 kV sastoji se od 70 polja koraka 1,2 m smještena u četiri reda u prostoriji dužine 32 m. Također su izvedena i 5 polja za uzemljenje zvjezdišta 10 kV.

U donjem prizemlju komandnog dijela zgrade montirana su dva kućna transformatora 10/0,4 kV snage 630 kVA i razvod izmjeničnog napona. U donjem prizemlju smještene su i dvije akumulatorske baterije, napona 110 V za postrojenje a 220 V za CDU, te ispravljači i usmjerivač s pripadnim razvodom istosmjernog napona. U gornjem prizemlju nalaze se ormari za razdvajanje, do kojih su dovedeni svi signalni kabeli, te CDU s elektrodistributivnim informacijskim sistemom SINDAC 801 za nadzor i upravljanje ovom TS 110/10 kV u svim gradskim TS 35/10 kV. U posebnoj prostoriji na prvom katu montirano je 10 ormara zaštite sa statičkim relejima u modularnoj izvedbi (combiflex).

Ukratko, izgradnja TS 110/10 kV Split 3 predstavlja veliki korak u razvoju distributivne mreže Splita i značajan uspjeh radnika »Elektrodalmacije«.

A. Fagarazzi

INSTITUT
ZA
ELEKTROPRIVREDU
Zagreb

1953 – 1983

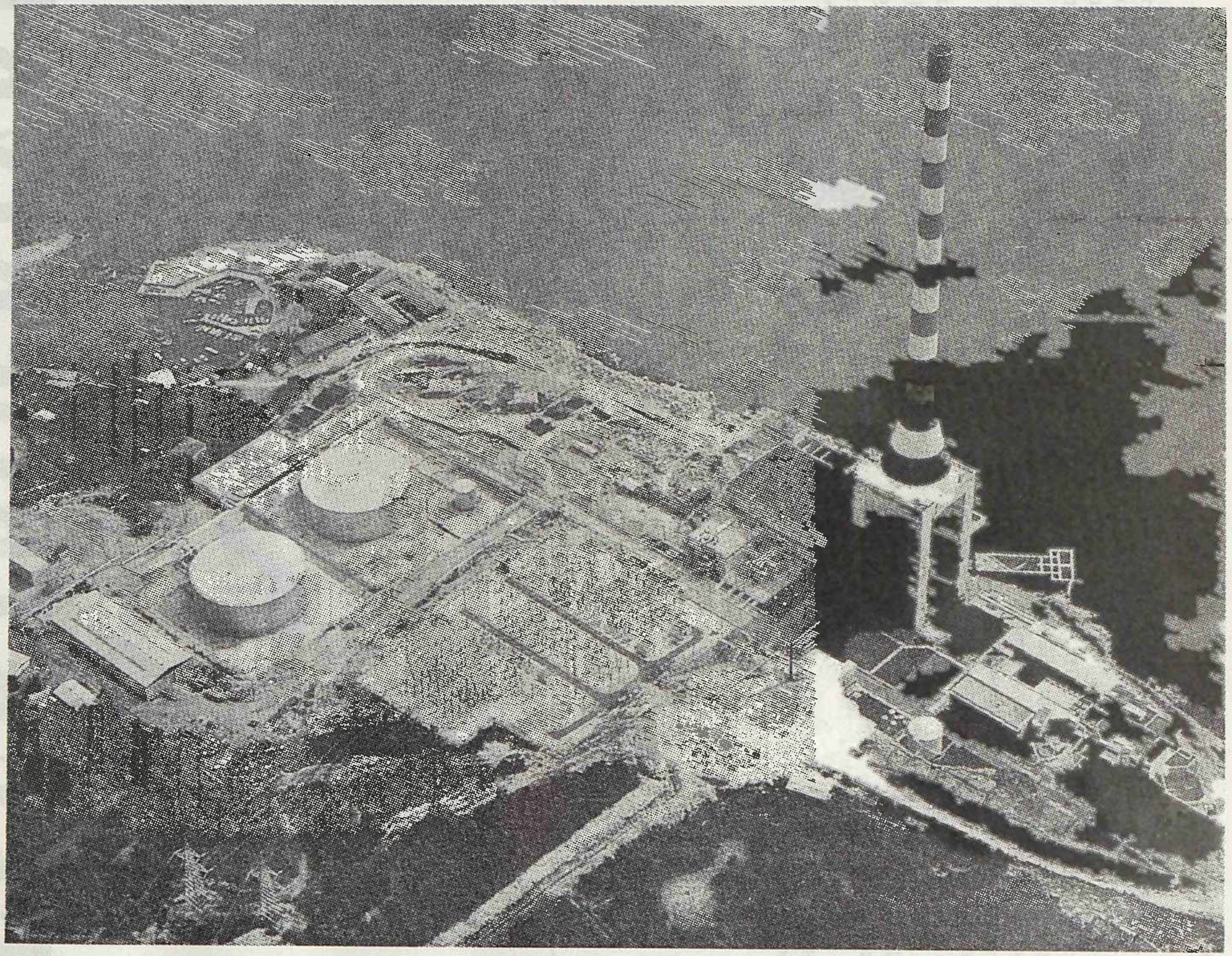
TERMOELEKTRANA »RIJEKA 1«

INSTALIRANA SNAGA
1 × 320 MW

GORIVO

teško loživo ulje
koksni plin

U 1978. GODINI
OTPOČELA
S
PROIZVODNJOM
ELEKTRIČNE
ENERGIJE



51221 KOSTRENA

telefon: 424-222,
424-647
telex: 24493 YU INATER

UDK 621.31

ENJAAC 32(5)–(1983) 337–412

YU ISSN 0013-7448

energija

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

Godište 32 (1983) Zagreb 1983 Br. 5

SADRŽAJ

Čorak D.: Opskrba Zagreba ogrjevnom toplinom iz nuklearne elektrane Prevlaka (Originalni znanstveni rad) 339

Delbianco L.: Metode proračuna uzemljivača razdjelnih mreža (Pregledni rad) 351

Bobetko M.: Modeliranje vanjskih mreža za »ON-LINE« obrade dispečerskog centra (Pregledni rad) . 359

Granić G. – Pešut D.: Metoda predviđanja krivulje trajanja opterećenja (Originalni znanstveni rad) . . 363

Tropin K.: Električno grejanje savremenih zgrada (Stručni rad) 373

Ringwald Z.: Reduciranje isporuke električne energije elektrolizi aluminija sa stajališta racionalnog korištenja energije (Stručni rad) 391

Vijesti iz elektroprivrede 395

Nove knjige 397

Obavijesti proizvođača 399

Časopis je osloboden plaćanja poreza na promet rješenjem Republičkog sekretarijata za prosvjetu, kulturu i fizičku kulturu SR Hrvatske broj 886/1-1979.

Izdavači:

Združeno poduzeće »Elektroprivreda«, Rijeka
Združeno poduzeće »Elektroprivreda Dalmacije«, Split
SIZ za znanstveni rad SR Hrvatske
Elektra, Karlovac
Elektroslavonija, Osijek
Elektroistra, Pula
Elektroprimorje, Rijeka
Elektrodalmacija, Split
Elektra, Zagreb
Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos
Institut za elektroprivredu, Zagreb

IZDAVAČKI SAVJET

Dragutin *Stanić,* dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Združeno poduzeće, Split — Enco *Tirelli* i Boris *Simončić, dipl. ing., »Elektroprivreda« Rijeka — Josip Brkljačić,* dipl. ing., HE Senj — Petar *Kuzele,* dipl. ing., »Elektra«, Zagreb — Ivo *Božin,* dipl. ing., Institut za elektroprivredu, Zagreb — dr. Zorko *Cvetković,* Elektroprenos, Zagreb — Šimun *Šimundža,* dipl. ing., »Elektrodalmacija«, Split — Anđelko *Dujmović,* dipl. ing., »Elektroslavonija«, Osijek — »Elektroistra«, Pula — Branko *Mrakovčić,* dipl. ing., »Elektroprimorje«, Rijeka — Marko *Šimunović,* dipl. ing., »Elektra«, Karlovac

GLAVNI UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: Boris *Markovčić,* dipl. ing. — Urednik: Zdenka *Jelić,* dipl. fil. — Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola *Bilčar,* dipl. ing. — »Hidroelektrane«, Đuro *Hatić,* dipl. ing. — »Termoelektrane i Toplane«, Mladen *Nadinić,* dipl. ing. — Prijenos električne energije, Zorko *Cvetković,* dipl. ing., Zagreb — Josip *Nevešćanin,* dipl. ing., Split — »Razvod, distribucija i potrošnja električne energije«, Tomislav *Balen,* dipl. ec., Jure *Šimović,* dipl. ec., Petar *Kuzele,* dipl. ing. — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslovanja«. — Tehnički urednik: Branko *Mališ.*

Redakcija završena 1983 — 09 — 01

Uredništvo i uprava:

41000 Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 511-455, 513-822 (328)

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300 dinara, a za poduzeća i ustanove 1500 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 200 dinara.

Za inozemstvo $ 80 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

Institut za elektroprivredu (za »Energiju«) broj 30101-603-565

Tisak i klišeji. RO »Zrinski« TIZ Čakovec

Trideset godina Instituta za elektroprivredu Zagreb



1953 – 1983

4. *Razdjelne mreže, distribucija i potrošnja električne energije*

— analiza distributivnog konzuma, prognoziranje potrošnje električne energije, normativi potrošnje
— oblikovanje distributivnih mreža, optimiranje parametara mreže
— analize i proračuni naponskih prilika, tokova snaga i pouzdanosti i opasnosti od prenapona
- vođenje i nadzor distributivne mreže, primjena mreže tonfrekventne komande
— problemi mreže niskog napona i javne rasvjete
— racionalizacija potrošnje električne energije

Karakteristični obavljeni radovi

— metodološke obrade i analize konzuma široke potrošnje općenito, posebno u kućanstvu i turizmu za distributivne organizacije i ZEOH (Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske)
— osnovna rješenja distributivnih mreža na području Elektroslavonije — Osijek, Elektroprivrede Dalmacije — Split, Elektroprivrede — Rijeka, grada Zagreba, grada Skopja, Cetinja itd.
— optimiranje elektrodistributivnih mreža i opreme: izbor naponskih sustava, tipizacija TS 10/0,4 i opreme 0,4 kV za različite gradove u SR Hrvatskoj
— kompenzacija jalovih snaga u distributivnoj električnoj mreži na području TS 110/35 kV Pehlin, Nedeljanec, Lički Osik, TS 110/35/6 kV Rafinerije Sisak i dr.
— rješenje kratkog spoja i zaštita 110 kV mreže Zagreba, uzemljenje zvjezdišta i iznošenje potencijala iz TS 110/10 kV, Split III
— obrada pogonskih događaja u distributivnoj mreži i banka podataka distributivne djelatnosti za potrebe ZEOH

5. *Planiranje, izgradnja i korištenje termoelektrana (TE)*

— studij termoenergetskih sistema i njihovih komponenata
— optimiranje sistema za prijenos topline na veće udaljenosti
— studij utjecaja termoenergetskih postrojenja na okoliš
— konzalting-usluge na području izgradnje i pogona, termoenergetskih postrojenja (od pripreme lokacije, izrade investicijske dokumentacije do pretpogonskih funkcionalnih ispitivanja)
— izrada tenderske dokumentacije za opremu i evalvacija ponuda
— osiguranje kvalitete opreme pri izgradnji termoelektrana
— garancijska, funkcionalna i osnovna ispitivanja opreme termoenergetskih postrojenja
— eksploatacija termoenergetskih postrojenja

Karakteristični obavljeni radovi

— konzalting-usluge pri izgradnji termoenergetskih objekata za TE Sisak II, TE-TO Zagreb i dr.
— planiranje i priprema gradnje energetskih postrojenja za PTE Osijek, TE-TO i EL-TO Zagreb, i dr.
— kontrola osiguranja kvalitete oprema u TE-TO Osijek
— investicijski programi za TE-TO Vukovar i plinsku TE-TO Osijek
— ispitivanje energetske opreme postrojenja u TE Sisak, TE Plomin, TE Kosovo, TE Rijeka i dr.

OPSKRBA ZAGREBA OGRJEVNOM TOPLINOM IZ NUKLEARNE ELEKTRANE PREVLAKA

Dr Duško Čorak, Zagreb

UDK 621.039.52

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U članku se govori o tome kako najbolje riješiti energetske potrebe urbanih sredina čistom i jeftinom energijom, u ovom slučaju grada Zagreba. Govori se o predvidenoj izgradnji NE Prevlaka u neposrednoj blizini grada, što bi u znatnoj mjeri pridonijelo rješavanju opskrbe električnom i toplinskom energijom.

Ključne riječi: grad Zagreb, električna energija, toplinska energija, NE Prevlaka.

1. STANJE ENERGETSKE OPSKRBE ZAGREBA

Osnovna karakteristika energetske opskrbe Zagreba jest ovisnost o energetskim izvorima drugih područja. Osim neznatnih količina ogrjevnog drveta, Zagreb drugih izvora primarne energije nema. Dakle, opskrbu grada (i područja) energijom moguće je rješavati jedino u sklopu energetske politike republike i zemlje u cjelini, pri čemu energetska rješenja u gradu predstavljaju dio te politike uz uvažavanje svih specifičnosti grada koje proizlaze iz njegova geografskog položaja i značenja republici i zemlji.

U razdoblju 1969-1978. god. ukupno korištena energija (bruto-raspoloživa energija za energetske svrhe — temeljna energija) na području 13 zagrebačkih općina rasla je sa stopom 4,71% godišnje od 38,446 PJ ($1{,}312 \cdot 10^6$ t ekvivalentnog ugljena) u 1969. god na 58,197 PJ ($1{,}986 \cdot 10^6$ t ekvivalentnog ugljena) u 1978. god.

Strukturu potrošnje bruto-raspoložive energije za energetske svrhe u 1978. godini karakterizira dominirajuća potrošnja nafte i plina 77,96% (nafta 50,46% i plin 27,50%). Učešće ugljena, drveta i otpadaka biljnog porijekla iznosilo je svega 12,08% (ugljen 8,57%, a drvo i biljni otpad 3,51%), dok je udio električne energije iznosio oko 7,63%, a gorivog otpada 2,33%.

Centralizirana toplinska opskrba (CTO) ima važno mjesto u zadovoljenju ukupnih potreba. Tako je u 1978. god. isporučena toplina iz toplana iznosila oko 13,28% ukupne potrošnje u sektoru opće potrošnje, a 19,24% u sektoru industrije. Nešto manje od 50% ukupnih potreba pare i vrele vode u sektoru industrije na području 10 gradskih općina dolazi iz centraliziranog sistema.

U pogledu korištenja energetskih oblika na području 13 gradskih općina može se dati opća karakteristika da je u razdoblju 1969-1978. god. došlo do znatnih strukturnih promjena. Opća je tendencija u svim sektorima korištenja energije korištenje takozvanih čistijih (plemenitijih) oblika energije. Ovakva orijentacija, ako se ima u vidu da se radi o velikoj urbanoj sredini s izraženim problemom zagađenja zraka, može se ocijeniti u osnovi ispravnom.

Unatoč povećanju potrošnje svih oblika energije na promatranom području, strukturne promjene pozitivno su djelovale na smanjivanje štetnih sastojaka (SO_2) i dima u zraku. Prema mjerenjima koja su obavljena na 11 mjernih stanica na užem području grada, prosječna godišnja koncentracija SO_2 je, u periodu 1969-1978. god., više nego dvostruko smanjena. Koncentracija dima također ima opću tendenciju smanjivanja iako je ukupna potrošnja energije u tom razdoblju povećana za oko 65%.

Navedeno poboljšanje kvalitete sredine na području grada dijelom je posljedica povećanja učešća centraliziranog toplinskog sistema, a dijelom povećanja udjela plina u ukupnoj opskrbi grada.

2. OSNOVE RAZVOJA ENERGETSKE OPSKRBE 1980-2000. GOD.

Osnovna značajka dugoročne energetske opskrbe Zagreba jest ovisnost o dobavi energije s drugih područja — republike, zemlje u cjelini i uvoza. S obzirom na navedeno, dugoročnu strategiju opskrbe nužno je, između ostalog, postaviti tako da bude fleksibilna, da se nedostatak jednog primarnog oblika može supstituirati drugim oblikom.

U Zagrebu se očekuje da će na području 13 gradskih općina — širi obuhvat grada (1200 km²) 1985. god. živjeti 950 000 stanovnika. Stambeni fond će raspolagati s 316 000 stanova s neto-površinom od $17{,}7 \cdot 10^6$ m². Zajednički sadržaji raspolagat će s oko $4{,}5 \cdot 10^6$ m² neto.

Predviđa se da će na promatranom području 2000. godine živjeti oko 1 900 000 stanovnika. Stambeni fond će raspolagati s oko 418 500 stambenih jedinica s ukupnom neto-površinom od $26{,}5 \cdot 10^6$ m². U okviru

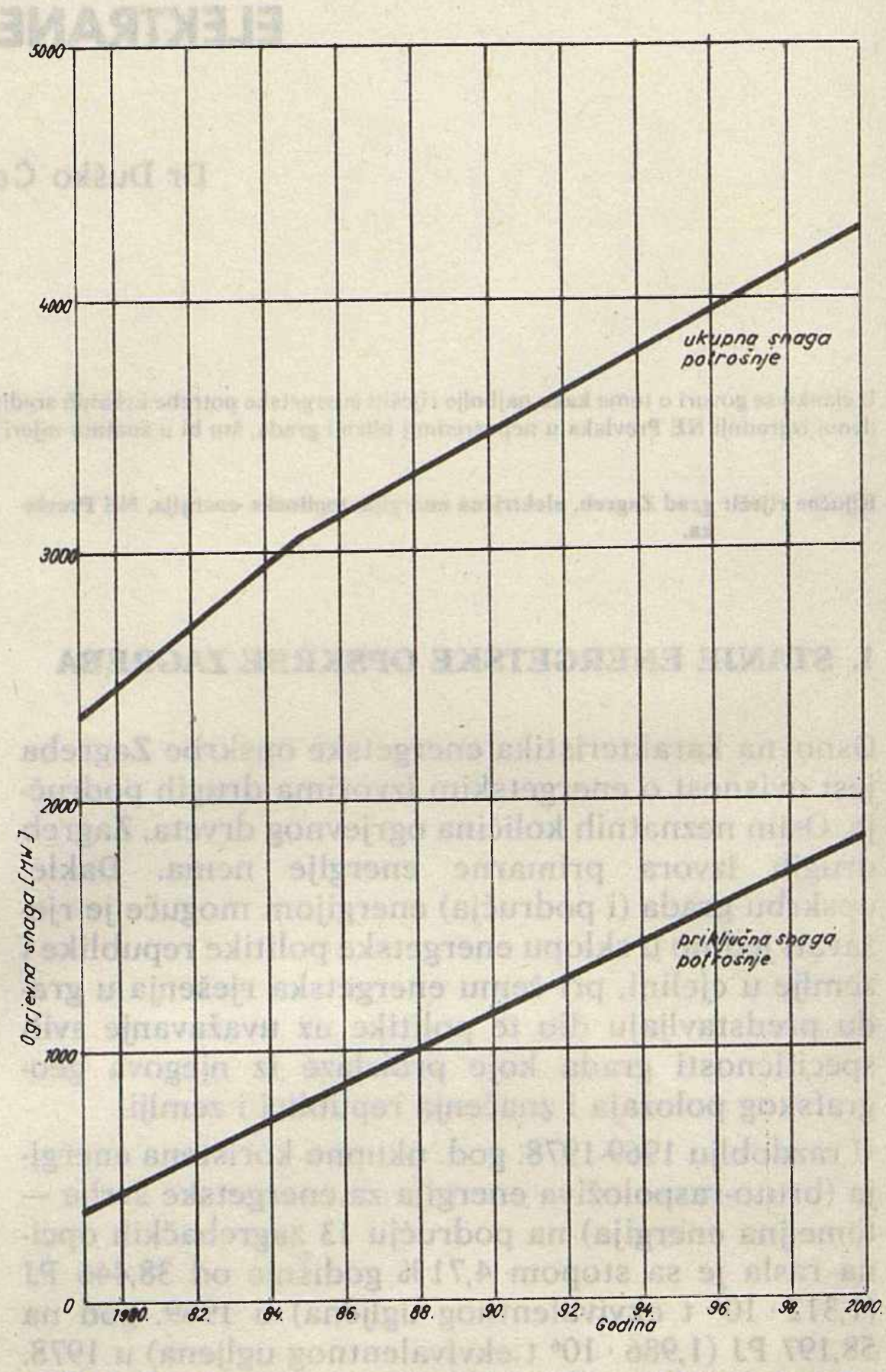
zajedničkih sadržaja predviđa se da će na kraju stoljeća raspolagati s 8,87 · 10^6 m^2 neto. Da bi se ostvario navedeni stambeni fond, potrebno je u periodu 1986-2000. god. prosječno godišnje graditi 8 700 stanova, što je nešto više nego od 1979. do 1985. god.

Za zadovoljenje potreba u sektoru opće potrošnje predviđa se da će u 1985. god. biti potrebno osigurati 20,42 · 10^{15} J/god. korisne energije za potrebe grijanja, pripremu potrošne tople vode i kuhanja. Električne energije za rasvjetu i pogon kućanskih aparata te za one svrhe gdje se električna energija ne može supstituirati bit će potrebno 4,76 · 10^{15} J/god.

U 2000. god. očekuju se potrebe od 45 · 10^{15} do 50 · ^{15} J/god. od čega na nesupstituirajuću električnu energiju otpada 11,98 · 10^{15} J/god. Osnovno pitanje na koje je potrebo dati odgovor glasi: kakva toplinska opskrba u gradu treba biti u periodu do 2000. god.? Pri tome se misli na definiranje sistema opskrbe (pojedinačno, etažno, centralno) te vrstu goriva i sistem transformacije. U uvjetima kad je između ostalih vrsta goriva na raspolaganju i plin za zadovoljenje potreba korisnika, a toplinska gustoća građenja pogoduje razvoju centraliziranog sistema opskrbe — sistem voda/para, u prvi se plan postavlja razgraničenje centraliziranog plinskog sistema opskrbe od centraliziranog toplinskog sistema (voda/para). Jedno je sigurno: ako je opravdano primijeniti centralizirani toplinski sistem opskrbe, tada je to upravo na području grada s većim toplinskim gustoćama gradnje i objektima višekatne gradnje.

Prema sagledavanju (L 1) može se očekivati da će CTO (voda/para) pokrivati 40-50% toplinskog konzuma u sektoru opće potrošnje. Centralizirani plinski sistem pokrivat će također značajni dio preostalog konzuma, a udio ovog zadnjeg ovisit će, između ostalog, o raspoloživim količinama i cijenama plina do 2000. god.

Do 2000. god. očekuje se da će snaga ukupnog ogrjevnog konzuma na užem gradskom području (obuhvat 10 gradskih općina) rasti s prosječnom godišnjom stopom 3,32%, dok će u isto vrijeme stopa rasta ogrjevnog konzuma u okviru centraliziranog toplinskog sistema iznositi oko 8%. Očekivane snage ukupnog ogrjevnog konzuma teritorijalnog obuhvata 10 gradskih općina do 2000. god. te ogrjevnog konzuma koji će se nalaziti u okviru jedinstvenog centraliziranog toplinskog sistema prikazane su ú tablici 1. i slici 1.



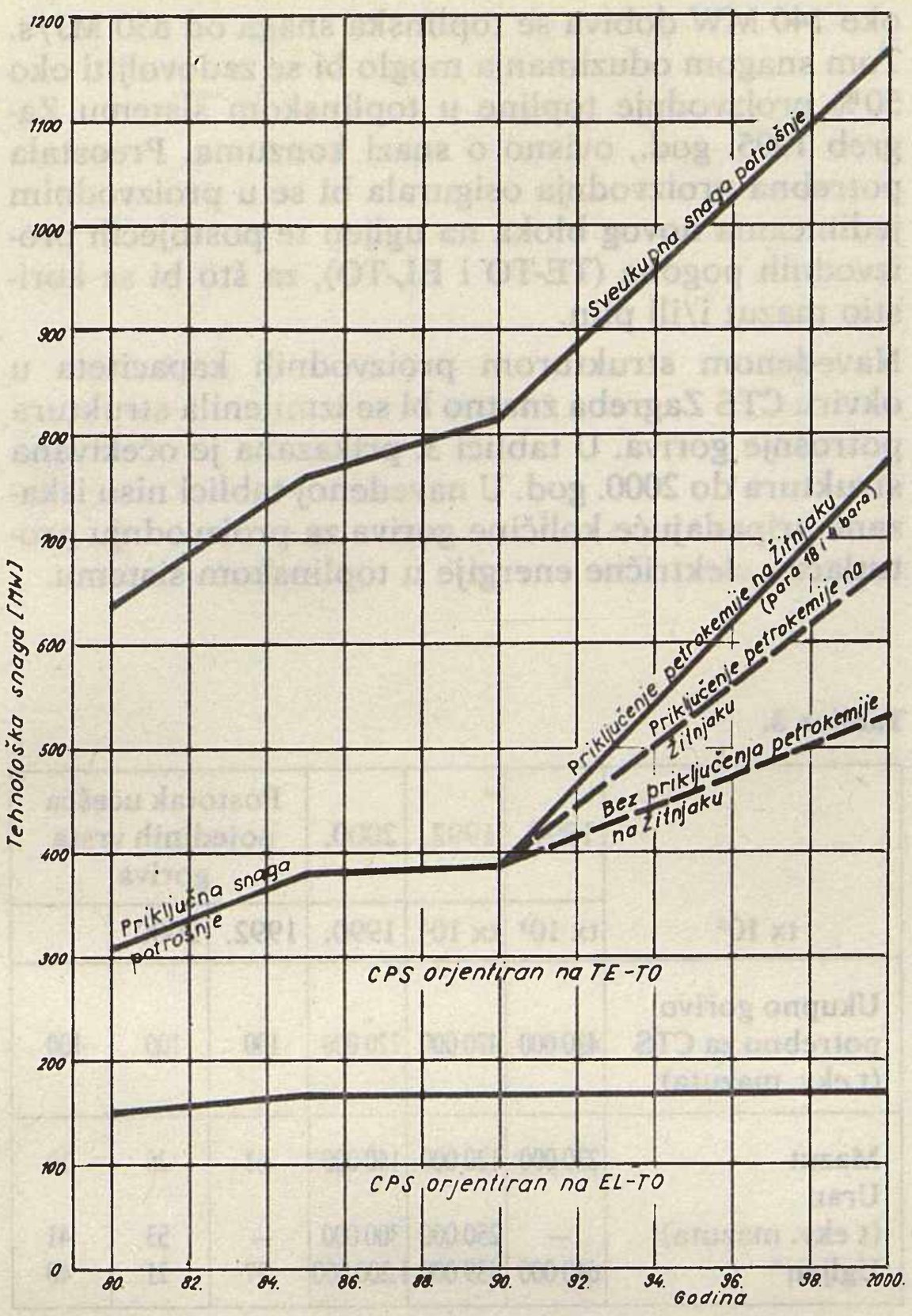
Slika 1. Snaga ogrjevne potrošnje za 10 gradskih općina Zagreba

Tablica 1.

Godina	Mjerna jedin.	1982.	1985.	1992.	2000.	1995
Ukupni ogrijevni konzum (obuhvat 10 gradskih općina)	MW	2 700	3 050	3 620	3 860	4 280
Centralizirani ogrjevni toplinski konzum	MW	580	770	1 275	1 480	1 850
Udio snage CTS u pokrivanju ukupnog ogrjevnog konzuma	%	21,5	25,2	35,2	38,4	43,2

Očekuje se da će energija potrebna za industrijske korisnike u 1985. god. iznositi 18,05 · 10^{15} J, a u 2000. god. 25,89 · 10^{15} J. Struktura korištenih energetskih oblika promijenit će se u razdoblju 1978/2000. god. u korist povećanog učešća vrele vode i vodene pare.

Objašnjenje se može naći u strukturnim promjenama industrije: tendenciji izgradnje »čiste« industrije, pretežno prerađivačke, daljem rastu zagrebačkog petrokemijskog kompleksa (koji je velik korisnik tehnološke pare) te preseljenju cementare s područja grada. Godine 1985. udio energije u obliku pare i vrele vode u ukupnoj energiji predanoj korisnicima iznosit će 60,26 % (10,88 · 10^{15} J), a u 2000. godini čak 68,72 % (17,77 · 10^{15} J). Postavlja se pitanje koliki će se dio vrele vode i vodene pare proizvesti u centraliziranom plinskom sistemu EL-TO, TE-TO).
Ocjenjuje se /L 1/ da će udio centraliziranog toplinskog sistema u pokrivanju ukupnih potreba topline u industriji iznositi kao što je prikazano na sl. 2.



Slika 2. Snaga tehnološke potrošnje za 10 gradskih općina Zagreba

Prema predviđenom porastu toplinskog konzuma, potrebna energija koja se predaje korisnicima te količine goriva za zadovoljenje navedenih potreba (bez potrebnih količina goriva za proizvodnju dijela protutlačne električne energije) iznosi kao što je dano u tablici 2.

Tablica 2.

God.	Ogrjevne toplin. potrebe		Tehnološke toplinske potrebe		Ukupno	
	10^{15} J	10^3 t mazuta	10^{15} J	10^3 t mazuta	10^{15} J	10^3 t mazuta
1981.	3,91	114	3,64	112	7,55	226
1985.	5,90	172	4,72	145	10,62	317
1990.	9,22	275	4,91	151	14,13	426
1992.	10,43	305	5,23	164	15,66	469
2000.	13,79	404	9,89	312	23,68	716

Kakvim se mogućnostima raspolaže u pogledu korištenja vrste goriva za zadovoljenje navedenih potreba u okviru CTS Zagreba?

Kad je riječ o izgradnji novih proizvodnih postrojenja za potrebe centraliziranog toplinskog sistema, treba imati na umu u prvom redu sirovinsku osnovicu koja može dati sigurnu opskrbu postrojenja kroz njihov životni vijek (obično 25-30 god.), ali isto tako da upotrijebljeno gorivo zadovoljava kriterije o zaštiti okoline, posebno ako se takva postrojenja predviđaju graditi na urbanom području.

Gledajući sirovinsku osnovicu SR Hrvatske, nema sumnje da su plin i nafta glavni izvori energije. Na žalost, oni nisu dovoljni za zadovoljenje ukupnih potreba republike. Nadalje, nema dovoljno potvrđenih podataka o rezervama jer tek predstoji intenzivno istraživanje u Jadranskom moru, gdje postoje izgledi da se dođe do novih rezervi, u prvom redu plina, a isto tako nafte. Gleda li se zagrebačko područje, nije teško utvrditi da je to najgušće naseljeno područje u SR Hrvatskoj (u okviru 13 gradskih općina skoro 1/5 ukupnog stanovništva republike). Zbog problema zaštite okoline sigurno je da u ovo područje treba dovesti čiste oblike energije. To znači da bi ono trebalo imati prioritet u opskrbi plinom i tekućim gorivom.

Može se očekivati da će se proizvodnja plina i nafte u SR Hrvatskoj u razdoblju do 2000. god. povećati, ali je malo vjerojatno da će i nova nalazišta omogućiti zadovoljenje vlastitih potreba, a to znači da će i SR Hrvatska, kao i ostali dio zemlje, morati rješenja za zatvaranje energetske bilance tražiti u djelomičnom uvozu energije.

Svjetsko energetsko tržište poslije 1973. god., posebno što se tiče nafte, postalo je veoma nestabilno. To se odnosi uglavnom samo na cijene, jer do sada se nije osjetila nestašica. Prema mnogim prognozama očekuje se da će proizvodnja u navedenom razdoblju porasti. Plin, kao vjerni pratilac nafte, iako neusporedivo manje sudjeluje na svjetskom energetskom tržištu, nije u toj mjeri otresao svijet kao nafta, niti se to očekuje. Ovo se dijelom može pripisati njegovu otežanom prekomorskom transportu, a i drugim nedostacima u odnosu prema nafti kao strateškom gorivu. Međutim, sigurno je da će cijena plina pratiti cijene nafte na svjetskom tržištu (danas je njegova cijena oko 85% cijene sirove nafte).

Što se tiče tekućeg goriva, ne treba posebno isticati u kakvom je stanju naša zemlja, niti opredjeljenja koja su savezni organi zakonom utvrdili. Unatoč tome treba imati na umu da u zadovoljavanju potreba grada, uključujući potrebe centraliziranog toplinskog sistema ovim oblikom goriva, treba dugoročnije računati. Do 1987/88. god. uz plin to je svakako jedino gorivo koje dolazi u obzir u zadovoljavanju potreba ne samo za potrebe toplana, već i za industrijske energane i kotlovnice. Nakon navedenog perioda moguće je računati s mogućnošću supstitucije jednog dijela (oko 40%) potreba mazuta i plina, ali i nakon tog perioda također se javljaju znatne potrebe.

Nema sumnje da je ugljen najvažnija sirovinska osnovica zemlje. Na žalost, njegove rezerve su veoma

nepovoljno raspoređene, posebno kad se promatra položaj Zagreba. Oko 83% rezervi nalazi se na području između Banovića, Kostolca i Kosova. Najbliži rudnici ugljena su Kamengrad, Ugljevik i Kreka-Banovići. Prvi je na udaljenosti oko 150 km, a druga dva na oko 350 km. Ugljen iz tih rudnika ima donju ogrjevnu vrijednost: Kamengrad — 15 400 kJ/kg, Ugljevik — 10 670-14 650 kJ/kg, Kreka-Banovići — 9 600-11 400, te 15 000 kJ/kg. Sadržaj sumpora je relativno visok: Kamengrad 3,72%, Ugljevik 4,9% i Kreka-Banovići 1-2,73%.

Mogućnost upotrebe ugljena iz navedenih rudnika kao pogonskog goriva za proizvodne jedinice za opskrbu Zagreba toplinom, uglavnom za podmirenje potreba u okviru centraliziranog toplinskog sistema, može doći u obzir ako se dislociraju proizvodni izvori s gradskog područja, što je u fazi istraživanja. Mogućnost dugoročnog osiguranja potrebnih količina ugljena iz navedenih rudnika, te ekonomičnost takvog rješenja predmet je detaljnog istraživanja, kao i ekoloških utjecaja na urbano područje.

Osim problema osiguranja ugljena u određenom rudniku, kao najznačajniji problem javlja se problem transporta i utjecaj spaljivanja takvog ugljena na promatranom urbanom području.

Unatoč svim problemima koji se javljaju u korištenju ugljena u pokrivanju toplinskih potreba u Zagrebu, može se ipak očekivati da će do 1990. god. biti izgrađen proizvodni kapacitet spojnog procesa snage 200-300 MW koji će se koristiti ugljenom kao pogonskim gorivom.

S navedenim rješenjima nisu iscrpljene sve mogućnosti za osiguranje goriva, u prvom redu za potrebe centraliziranog toplinskog sistema. Tu se, prije svega, misli na nuklearno gorivo kojeg naša zemlja, prema sadašnjim spoznajama nema u znatnijim količinama. Svjetske rezerve, posebno kad se promatra njihovo iskorištenje, uključujući brze oplodne reaktore, znatno su veće od svih skupa ostalih neobnovljivih konvencionalnih oblika energije.

Naša zemlja namjerava do kraja ovog stoljeća izgraditi 3-6 nuklearnih elektrana za proizvodnju električne energije. Samo u SR Hrvatskoj namjerava se izgraditi i pustiti u pogon 2000-3500 MW. Prva nuklearna elektrana iz ovog programa predviđena je da se gradi u neposrednoj blizini Zagreba (lokacija Prevlaka), što je kojih 30 km nizvodno na Savi od Zagreba. Prema posljednjim procjenama NE Prevlaka mogla bi ući u pogon između 1992. i 1994. godine. Pođe li se od činjenice da će NE Prevlaka biti izgrađena u tom razdoblju, onda nema sumnje da ona može odigrati presudnu ulogu u rješavanju dugotrajne i sigurne toplinske opskrbe Zagreba. Poznato je da se kod nuklearnih elektrana s termalnim reaktorima više od 2/3 razvijene topline u reaktoru putem rashladnog medija (vode) predaje kao otpadna toplina okolini. Ta toplina zagađuje recipijente: rijeku, jezero, more ili zrak. U uvjetima kad se pojavljuju značajne potrebe za ogrjevnom toplinom čiji je temperaturni nivo do 150 °C, postoji mogućnost da se dio otpadne topline iskoristi na račun smanjenja električne snage elektrane. Tako npr. uz smanjenje električne snage od oko 140 MW dobiva se toplinska snaga od 850 MJ/s. Tom snagom oduzimanja moglo bi se zadovoljiti oko 50% proizvodnje topline u toplinskom sistemu Zagreb 1995. god., ovisno o snazi konzuma. Preostala potrebna proizvodnja osigurala bi se u proizvodnim jedinicama novog bloka na ugljen te postojećih proizvodnih pogona (TE-TO i EL-TO), za što bi se koristio mazut i/ili plin.

Navedenom strukturom proizvodnih kapaciteta u okviru CTS Zagreba znatno bi se izmijenila struktura potrošnje goriva. U tablici 3. prikazana je očekivana struktura do 2000. god. U navedenoj tablici nisu iskazane pripadajuće količine goriva za proizvodnju protutlačne električne energije u toplinskom sistemu.

Tablica 3.

tx 10^3	1990.	1992.	2000.	Postotak učešća pojedinih vrsta goriva		
	tx 10^3	tx 10^3	1990.	1992.	2000.	
Ukupno gorivo potrebno za CTS (t ekv. mazuta)	430 000	470 000	720 000	100	100	100
Mazut	270 000	120 000	140 000	63	26	19
Uran (t ekv. mazuta)	—	250 000	300 000	—	53	41
Ugljen*	640 000	439 000	1,200 000	37	21	40

* Ogrjevna vrijednost ugljena 10 050 kJ/kg

3. OSNOVNA KONCEPCIJA OPSKRBE OGRJEVNOM TOPLINOM IZ NUKLEARNE ELEKTRANE PREVLAKA

Na temelju sagledavanja razvitka elektroenergetskog sistema do 2000. god. predviđeno je da se NE Prevlaka treba izgraditi i pustiti u pogon 1992. god. Električna snaga elektrane u svim dosadašnjim sagledavanjima predviđena je sa oko 1 000 MW. U pogledu tipa reaktora (PWR, BWR, PHWR) u ovoj fazi planiranja izgradnje može se sa sigurnošću tvrditi da će on biti prvi iz serije budućih nuklearnih elektrana koji se namjeravaju graditi u Jugoslaviji, ali za sada još nije utvrđen. O tipu reaktora i isporučiocu primarnog dijela nuklearne elektrane ovise parametri pare na ulazu u turbinu. Snaga reaktora također je različita za isti tip reaktora, ovisno o proizvođaču. Navedene razlike, pak, nisu takve da mogu bitno promijeniti koncepcijsko rješenje vezano za predviđeno korištenje NE Prevlaka za opskrbu toplinskog sistema Zagreba ogrjevnom toplinom.

U istraživanjima koja su se odnosila na korištenje NE Prevlaka kao toplane /L 2,3/ uvijek se polazilo od pretpostavke da će biti izvedena s reaktorom PWR tipa. Time se, dakako, ne želi ništa unaprijed predodrediti, no zbog sužavanja područja istraživanja i zbog ograničenog utjecaja izbora tipa reaktora

na rješenje oduzimanja topline za ogrjevne svrhe ovakva pretpostavka je moguća.

U pogledu osnovnih karakteristika reaktora i parogeneratora, pretpostavljene su sljedeće tehničke karakteristike:

Reaktor		
— termička snaga reaktora	3 027	MW
— tip reaktora	PWR	
— broj parogeneratora	3	
Parogenerator		
— tlak pare na izlazu	64,5	bara
— vlažnost pare	0,25	%
— entalpija pare	2 776,2	kj/kg
— protok pare	1 645	K/s
— temperatura napojne vode	218	°C
— tlak napojne vode	76	bara
— entalpija	936,1	kj/kg

Osnovni problemi vezani za korištenje nuklearne elektrane za opskrbu ogrjevnom toplinom mogu se svrstati u tri grupe:

I.

U prvu grupu ulazi problematika vezana uz samu elektranu

a) dimenzioniranje reaktora s obzirom na potrebe snage i energije u elektroenergetskom i toplinskom sistemu.
b) utvrđivanje količine i parametara oduzimanja i utjecaj na snagu na generatoru,
c) utvrđivanje toplinske sheme oduzimanja i gubitak snage na generatoru,
d) utjecaj oduzimanja topline na izbor turbine,
e) način regulacije oduzimanja topline i predaje u toplinski sistem.

II.

Druga grupa problema odnosi se na prijenos topline od elektrane do mjesta predaje u urbanom području. Tu spadaju:

a) određivanje vrste prijenosnog medija,
b) određivanje parametara prijenosnog medija,
c) utvrđivanje vrste i karakteristika cjevovoda, te način polaganja,
d) utvrđivanje hidrauličkih karakteristika cjevovoda.

III.

Posljednja grupa problema vezana je za način predaje topline u distributivnu mrežu, te uključivanje ostalih proizvodnih jedinica za pokrivanje preostalog dijela dijagrama opterećenja.

U sklopu ovog prikaza iznijet će se osnovna problematika vezana za prvu grupu problema. Druga i treća grupa problema nije neka posebna specifičnost vezana za korištenje nuklearne elektrane kao izvora za proizvodnju topline, pa se stoga ova problematika neće iznositi.

3.1. Način rada i dimenzioniranje reaktora s obzirom na potrebe snage i energije u elektroenergetskom i toplinskom sistemu

Na temelju analiza prilika u elektroenergetskom sistemu koji se očekuje u budućnosti utvrđuju se potrebe izgradnje novih proizvodnih kapaciteta te njihovih karakteristika za zadovoljenje potreba potrošnje (izgradnja hidroelektrana, termoelektrana na fosilna goriva i nuklearnih elektrana). Kod analiza prilike u elektroenergetskom sistemu za termoelektrane i nuklearne elektrane uvijek se pretpostavlja da takve jedinice raspolažu određenom jednakom snagom u toku godine i da mogu proizvesti energiju koja odgovara umnošku snage i vremena.

Kada se iz termoelektrane ili nuklearne elektrane oduzima toplina za potrebe ogrjevnih i/ili tehnoloških korisnika pri istoj ulaznoj količini svježe pare u turbinu, dolazi do smanjivanja, odnosno gubitka električne snage na generatoru. Pri tome gubitak snage ovisi o količini i parametrima oduzimanja pare, kao i parametrima svježe pare.

Ako bi se pak željelo ostvariti oduzimanje topline na turbini a da snaga na generatoru ostane nepromijenjena u odnosu na čisti kondenzacijski pogon, tada je potrebno povećati termičku snagu generatora pare, odnosno reaktora. U prvom slučaju riječ je o postrojenju koje ima promjenljivu snagu na generatoru, a konstantnu snagu na generatoru pare, odnosno reaktoru. U drugom slučaju riječ je o postrojenju s konstantnom snagom na el. generatoru, a s promjenljivom snagom na generatoru pare, odnosno reaktoru.

Koja od navedenih varijanta izgradnje ima prednost, ovisi u prvom redu o prilikama u elektroenergetskom, a isto tako o prilikama u toplinskom sistemu.

U slučaju izgradnje NE Prevlaka razmatrana su oba slučaja /L 2/. Snaga oduzimanja uzela se kao jedna varijabla, a parametri zagrijavanja vrele vode kao druga varijabla. Ukupno su promatrane 22 varijante: jedanaest s konstantnom snagom reaktora i jedanaest s konstantnom snagom na el. generatoru. Kao konačan rezultat tehničko-ekonomskog vrednovanja rješenje s konstantnom snagom reaktora pokazalo se znatno povoljnijim.

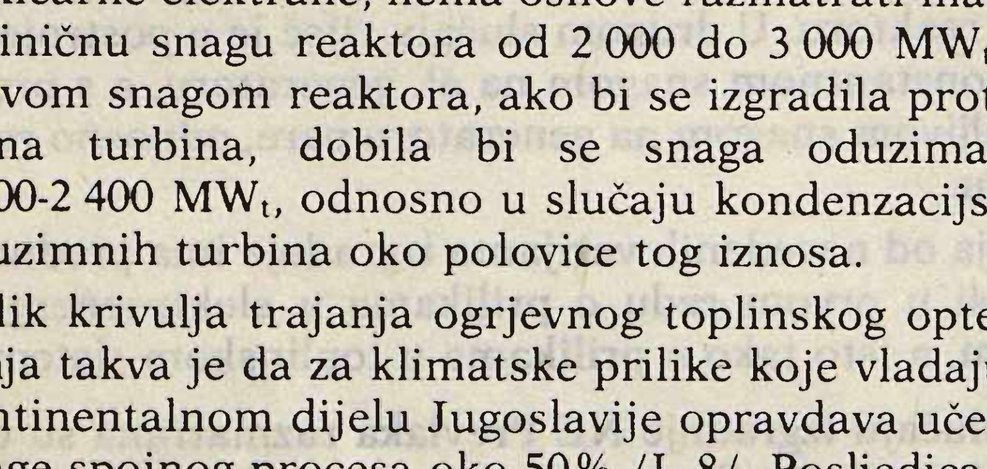
3.2. Utvrđivanje količine i parametara oduzimanja

Općenito, uključivanje nuklearnih elektrana u centralizirani toplinski sistem opskrbe ima niz specifičnosti u odnosu na proizvodne jedinice spojnog procesa s pogonom na fosilno gorivo. Nuklearne elektrane imaju znatno veće jedinične snage u odnosu na termoelektrane na fosilna goriva. Najmanje jedinične snage nuklearnih elektrana koje se danas grade iznose 600 MW_e, a najčešće su sa snagom 1 000-1 300 MW. Pri tome treba imati na umu da su optimalne jedinične snage NE znatno iznad snage 1 300 MW. S druge strane, najveće do sada izgrađene proizvodne jedinice spojnog procesa imaju snagu 300 MW_e.

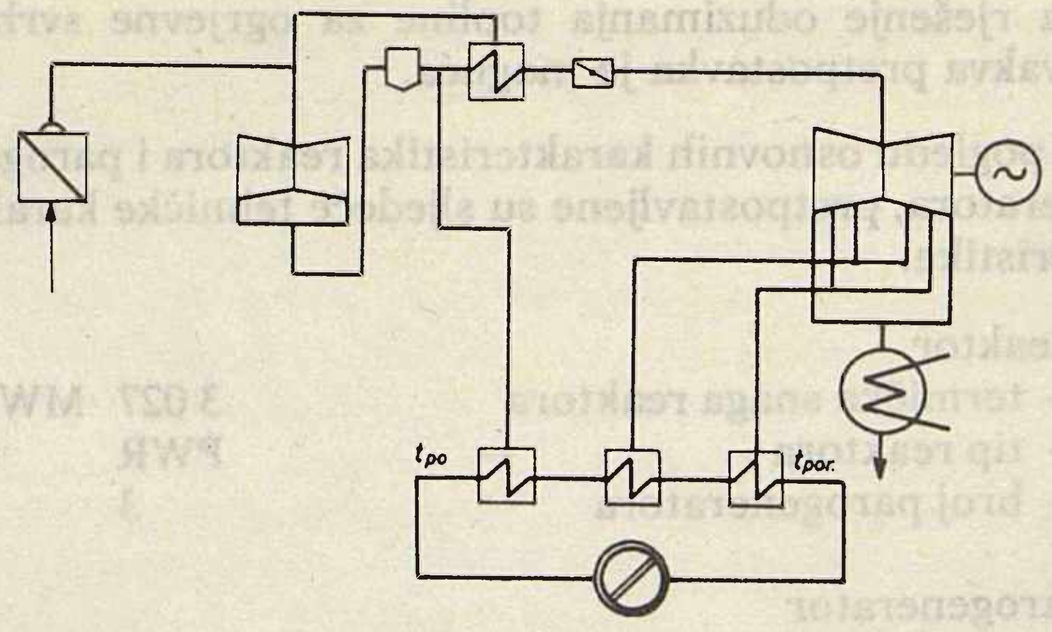
Izgradnja nuklearnih elektrana, s obzirom na zahtjeve o lociranju, u pravilu je na udaljenosti 25-50 km od toplinskog konzuma. To znači da u slučaju ako želimo nuklearnu elektranu koristiti za zadovoljenje toplinskih potreba, treba graditi skupe transportne sisteme. Za slučaj ogrjevnih potreba temperaturni nivo nositelja topline u distributivnoj mreži dosiže maksimalne vrijednosti 100-150°C. U slučaju transporta topline na veću udaljenost troškovi transportnog sistema su toliko niži koliko je temperatura nositelja topline viša, pa je s ovog gledišta tendencija povećanja ove vrijednosti. S druge strane, s povećanjem temperature nositelja topline povećavaju se parametri oduzimanja pare iz turbine, što ima za posljedicu umanjenje el. snage koju proizvodi oduzeta para što izaziva negativan efekt. Očito je da ovdje postoji određeni optimum koji ovisi o već navedenim i drugim utjecajima koje treba uključiti u numeričku analizu.

Osnovni parametar koji određujuće utječe na izbor termoelektrane ili nuklearne elektrane kao jedinice spojnog procesa svakako je toplinska snaga oduzimanja. Kod proizvodnih jedinica spojnog procesa na fosilna goriva, maksimalna snaga oduzimanja za ogrjevne potrebe ostvarena je do danas u vrijednosti 400 MW_T na temperaturnom nivou nositelja topline do 125°C (L 7). Za uključivanje jedinice navedene snage dovoljna je veličina toplinskog sistema s ukupnom snagom 800 do 1 000 MW. U slučaju izgradnje nuklearne elektrane, nema osnove razmatrati manju jediničnu snagu reaktora od 2 000 do 3 000 MW_t. S takvom snagom reaktora, ako bi se izgradila protutlačna turbina, dobila bi se snaga oduzimanja 1 600-2 400 MW_t, odnosno u slučaju kondenzacijsko-oduzimnih turbina oko polovice tog iznosa.

Oblik krivulja trajanja ogrjevnog toplinskog opterećenja takva je da za klimatske prilike koje vladaju u kontinentalnom dijelu Jugoslavije opravdava učešće snage spojnog procesa oko 50% /L 8/. Posljedica toga je da za uključivanje nuklearne elektrane u pokrivanje ogrjevnih potreba protutlačnim turbinama treba raspolagati u toplinskom sistemu ukupnom snagom 4 000-5 000 MW_t. Mali je broj urbanih sredina u svijetu koja raspolažu gornjom vrijednosti opterećenja ogrjevnog konzuma u CTS. Zbog navedenog razloga, kao i zato što nuklearna elektrana može ostvariti proizvodnju el. energije samo za vrijeme ogrjevnog perioda godine u trajanju od oko 4 000 h/god, rješenje s protutlačnom turbinom (sl. 3) gotovo da ne može naći svoju primjenu. Znatno je povoljnija



Slika 3.



Slika 4.

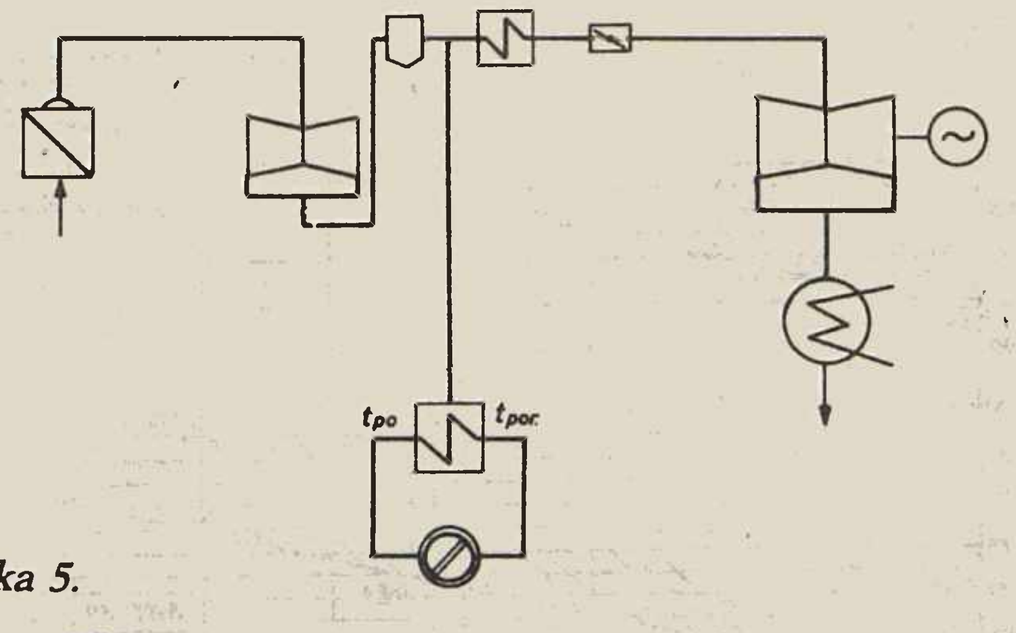
situacija kod korištenja kondenzacijsko-oduzimnih turbina. Kod ovog tehničkog rješenja (sl. 4) moguće je ostvariti tehnički i ekonomski povoljno rješenje za dosta široko područje snage oduzimanja. Za nuklearnu elektranu s reaktorom od 3 000 MW_t moguće je postići toplinsku snagu oduzimanja do oko 1 100 MW bez značajnih konstruktivnih zahvata, odnosno modifikacije standardne kondenzacijske turbine.

Pri razmatranju korištenja nuklearne elektrane Prevlaka za toplinsku opskrbu Zagreba razmatran /L 2, L 3/ je veliki broj mogućih varijanti. Toplinska snaga oduzimanja varijantno je razmatrana: 348,9 MW, 581,5 MW, 814,1 MW i 1 046,7 MW. Temperaturni nivo nositelja topline u prijenosnom vodu (polazna/povratna temperatura) razmatrana je 95/50°C, 125/50°C, 145/50°C, 165/50°C. Za sve varijante postavljen je uvjet da se razmatra standardna kondenzacijska turbina.

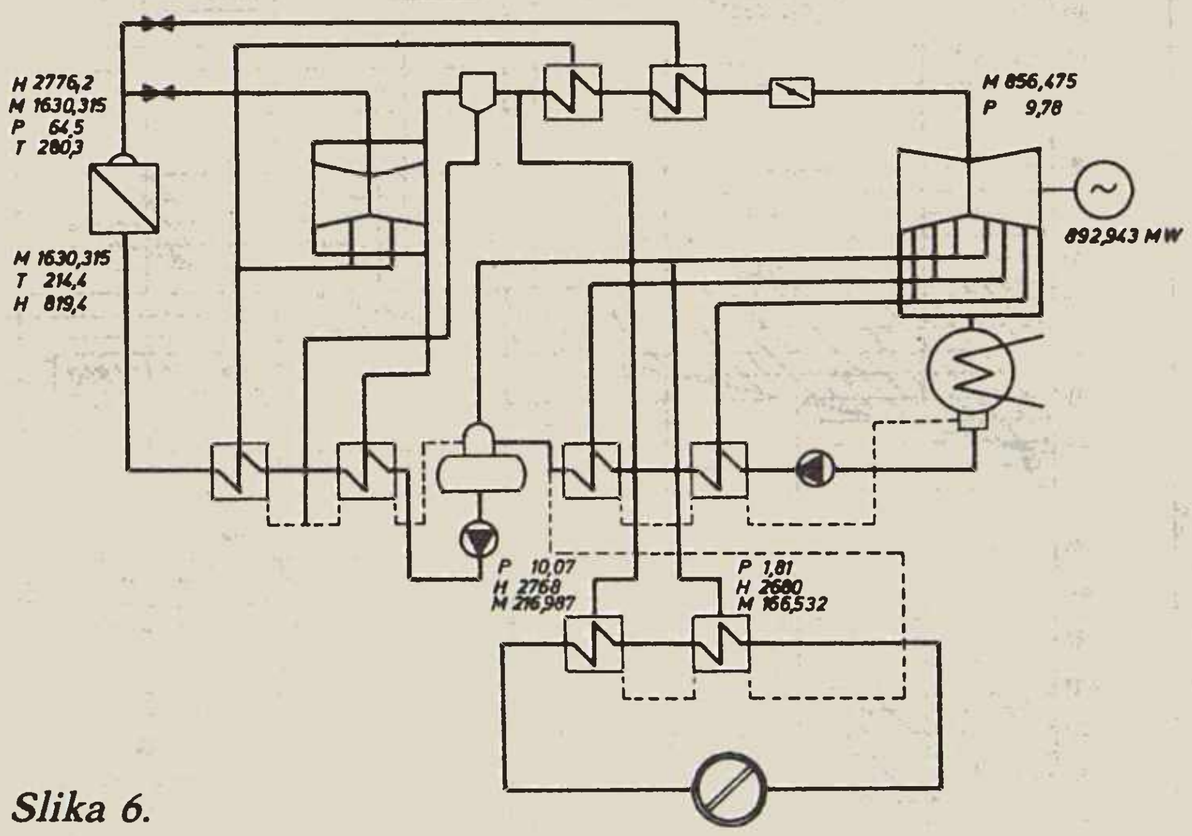
3.3. Utvrđivanje toplinske sheme oduzimanja i gubitak snage na generatoru

Parne turbine predviđene za rad sa suhozasićenom parom koncipirane su tako da se sastoje od visokotlačnog (VT) i niskotlačnog dijela (NT). Visokotlačni dio turbine izveden je uvijek u jednom dvoprotočnom kućištu s tlakom na izlazu između 7 i 14 bara kod 100% opterećenja. Niskotlačni dio turbine ovisno o snazi, broju okretaja i izlaznom presjeku, odnosno dužini posljednjeg stupnja lopatica izveden je s 2, 3 ili 4 dvoprotočna kućišta.

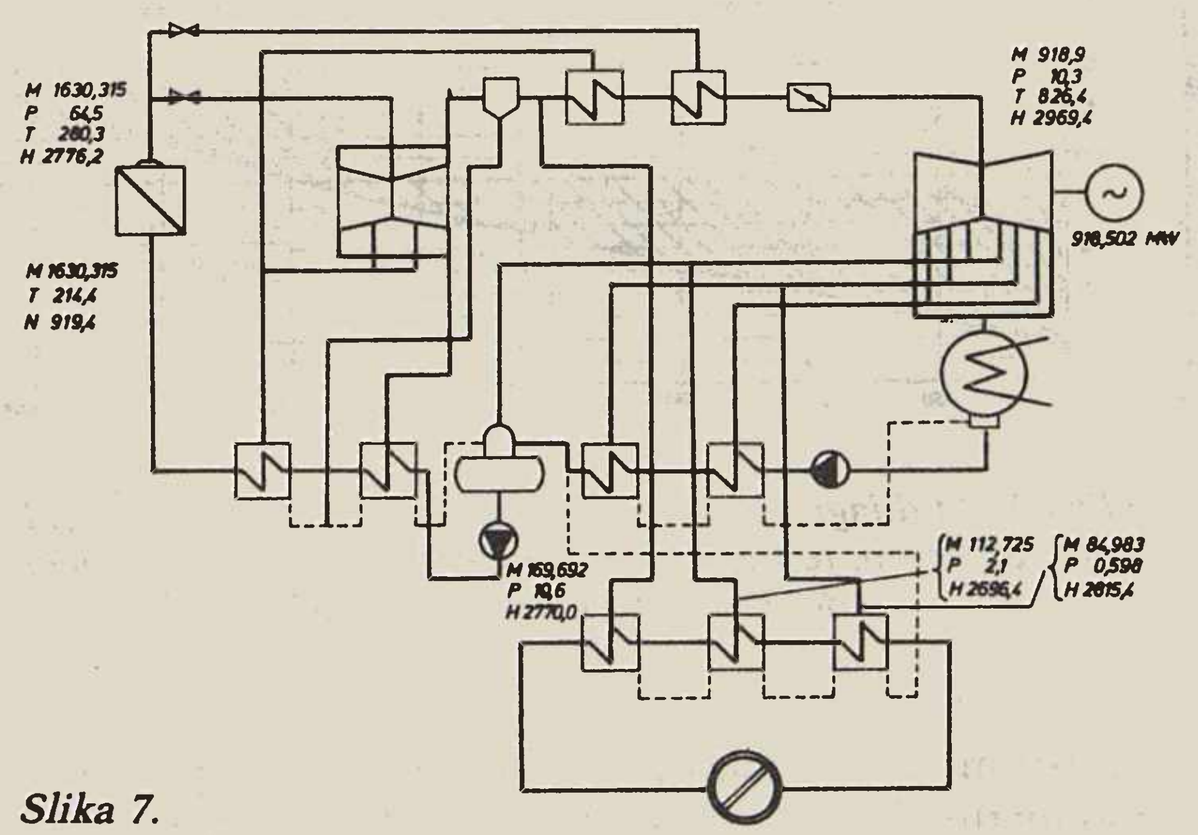
Najpogodnije mjesto oduzimanja pare za ogrijevne zagrijače svakako je prestrujni vod između VT i NT kućišta. Temperatura zasićene pare na prestrujnom vodu kreće se od 170 do 195°C. Zagrijavanje mreže vode (nositelj topline) od temperature povratka koja iznosi 50-55°C na temperaturu 160°C (sl. 5) (optimalna temperatura za slučaj NE Prevlaka) parom s prestrujnog voda nije ekonomično. Zbog toga je razumno istražiti opravdanost oduzimanja topline na dva, odnosno tri energetska nivoa. Pri tome bi bilo poželjno mjesto drugog i trećeg oduzimanja na turbini da bude tako raspoređeno da se u svakom stupnju osigura zagrijavanje mrežne vode za isti temperaturni prirast. Ovaj kriterij, na žalost, neće biti moguće uvi-



Slika 5.



Slika 6.



Slika 7.

jek osigurati ako se želi prije svega koristiti standardna izvedba kondenzacijske turbine.

Za standardna rješenja kod razmatranja NE Prevlaka razmatrana su rješenja BBC, Jugoturbine i KWU. Pri tome su u razmatranje uzete sljedeće varijante izvedbe turbine: BBC, 50-8/867*, BBC 50-6/950 i BBC 25-4/1450 te KWU 50-6/1050 i KWU 25-4/1365. Raspored oduzimanja kod zagrijavanja mrežne vode u tri stupnja uzet je tako da prvo oduzimanje ide s prestrujnog voda, drugo oduzimanje na mjestu određenom za oduzimanje za otplinjač, a treće na mjestu oduzimanja drugog niskotlačnog zagrijača napojne vode (sl. 7). U slučaju zagrijavanja u dva stupnja mreže vode raspored oduzimanja je isti, s tim što otpada treće oduzimanje (sl. 6).

* Prva brojka označava broj okretanja turbine (50 ili 25 s^{-1}), druga brojka označava broj niskotlačnih izlaza, a treća dužinu posljednje lopatice.

Oduzimanja pare s prestrujnog voda omogućava tri različita rješenja:

a/ prije odvajača vlage,
b/ između odvajača vlage i pregrijača,
c/ iza pregrijača pare.

Rješenje pod a/ je najjednostavnije u konstruktivnom pogledu. Ono izaziva najmanji pad el. snage na generatoru. Nedostatak ovog rješenja koji anulira prethodne prednosti odnosi se na izraženost erozijske pojave kod ovakve izvedbe. Naime, erozijska korozija najizraženija je pri temperaturama zasićene pare između 150 i 200°C, odnosno tlaka 5 i 17 bara. Na žalost, ova stanja pare su tipična u slučaju oduzimanja pare za ogrjevne potrebe na ovom mjestu u količini od 10 do 15% od količine svježe pare na ulazu u turbinu.

Želi li se koristiti ovakvo rješenje, nužno je za izlazni cjevovod i armature umjesto ugljičnog čelika, koji je slabo otporan na erozijsku pojavu, upotrijebiti legirani čelik sa sadržajem kroma 1-2.5%. Upotreba legiranog čelika poskupljuje ovo rješenje, pa je stoga uputno razmotriti i druga tehnička rješenja.

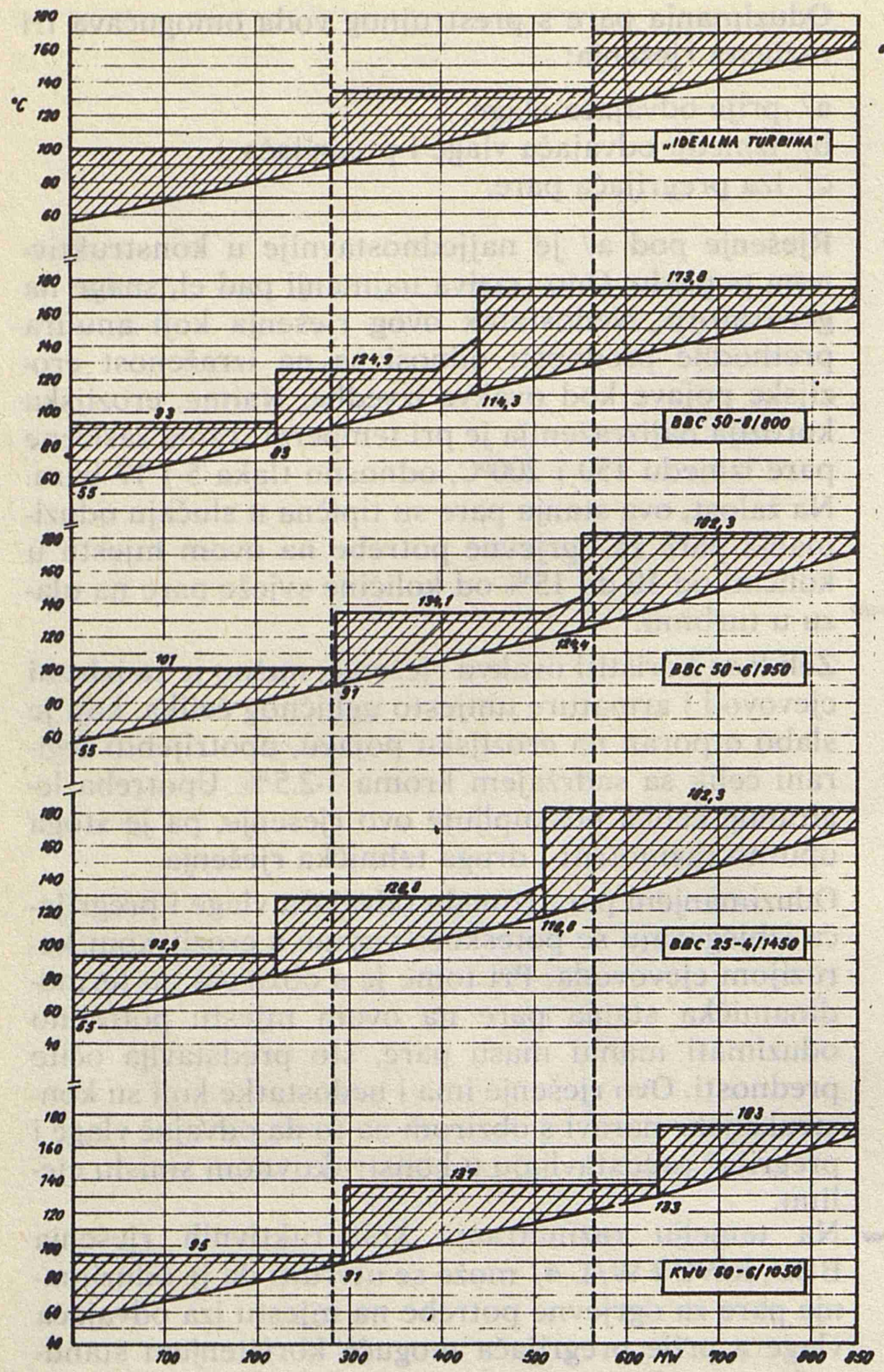
Oduzimanjem pare između odvajača vlage i pregrijača izbjegavaju se poteškoće vezane s erozijskom korozijom cjevovoda. Pri tome je s obzirom na termodinamička stanja pare na ovom mjestu potrebno oduzimati manju masu pare, što predstavlja očite prednosti. Ovo rješenje ima i nedostatke koji su konstrukcijske naravi s obzirom na to da odvajač vlage i pregrijač predstavljaju u konstruktivnom smislu cjelinu.

Na temelju razmatranja konstruktivnih rješenja BBC, KWU i W/L 4/ može se utvrditi da je oduzimanje pare za ogrjevne potrebe na mjestu iza odvajača vlage a prije pregrijača moguće korištenjem standardnog uređaja, pri čemu kod nijednog režima rada ne dolazi do poremećaja strujanja unutar odvajača vlage — pregrijača. Određeni manji konstruktivni zahvati nužni su na odvajaču vlage — pregrijaču, za priključenje cjevovoda i eventualno razmicanje odvajača vlage — pregrijača (BBC), što bi izazvalo povećanje promjera vanjskog plašta. Sve u svemu, ovo rješenje može se ocijeniti pogodnim.

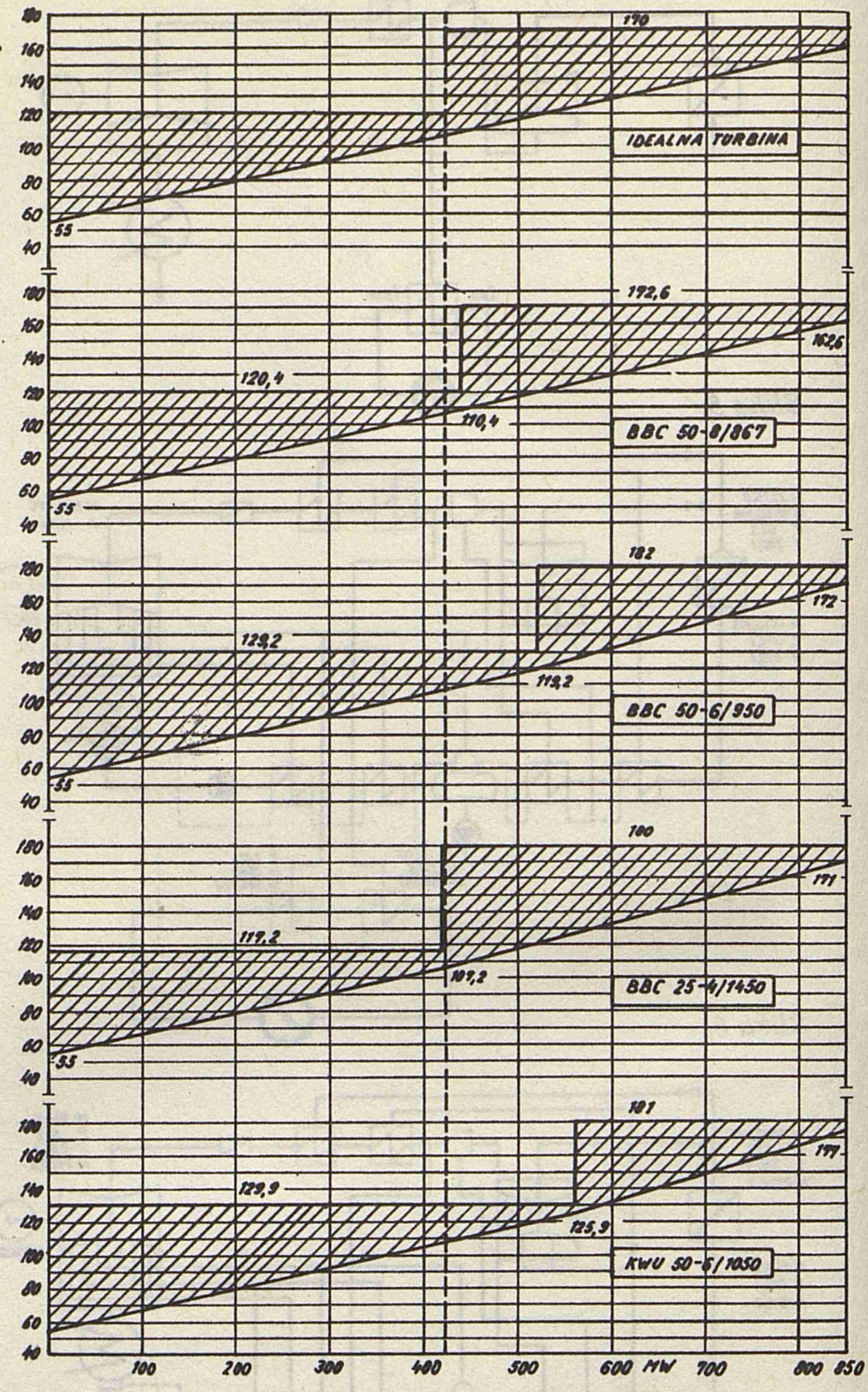
Posljednje rješenje je oduzimanje iza pregrijača pare. To je rješenje u konstruktivnom pogledu najjednostavnije. Izbjegavaju se sve pojave vezane za erozijsku koroziju. Dodatni troškovi zbog oduzimanja topline približno su jednaki kao i u prethodnom slučaju. Glavni je nedostatak ovog rješenje u termodinamičkom pogledu. Za zagrijavanje mrežne vode koristi se para visokog eksergetskog nivoa, pa je s tog stajališta ovo rješenje najlošije.

Na osnovi iznesenog, za slučaj NE Prevlaka predloženo je rješenje oduzimanja topline iza odvajača vlage, odnosno ispred pregrijača pare.

Oduzimanje topline na NT dijelu turbine, kako je prije navedeno, prilagođeno je rasporedu oduzimanja na standardnoj čistokondenzacijskoj izvedbi turbine za regenerativno zagrijavanje napojne vode. U slučaju zagrijavanja u tri odnosno dva stupnja na sl. 8. i sl.



Slika 8. Q-t dijagram ogrjevnih zagrijača (3 stupnja) s idealnom turbinom, te turbinama BBC 50-8/800; BBC 50-6/950; BBC 25-4/1450 i KWU 50-6/1050



Slika 9. Q-t dijagram ogrjevnih zagrijača (2 stupnja) s idealnom turbinom, te turbinama BBC 50-8/867; BBC 50-6/950; BBC 25-4/1450 i KWU 50-6/1050

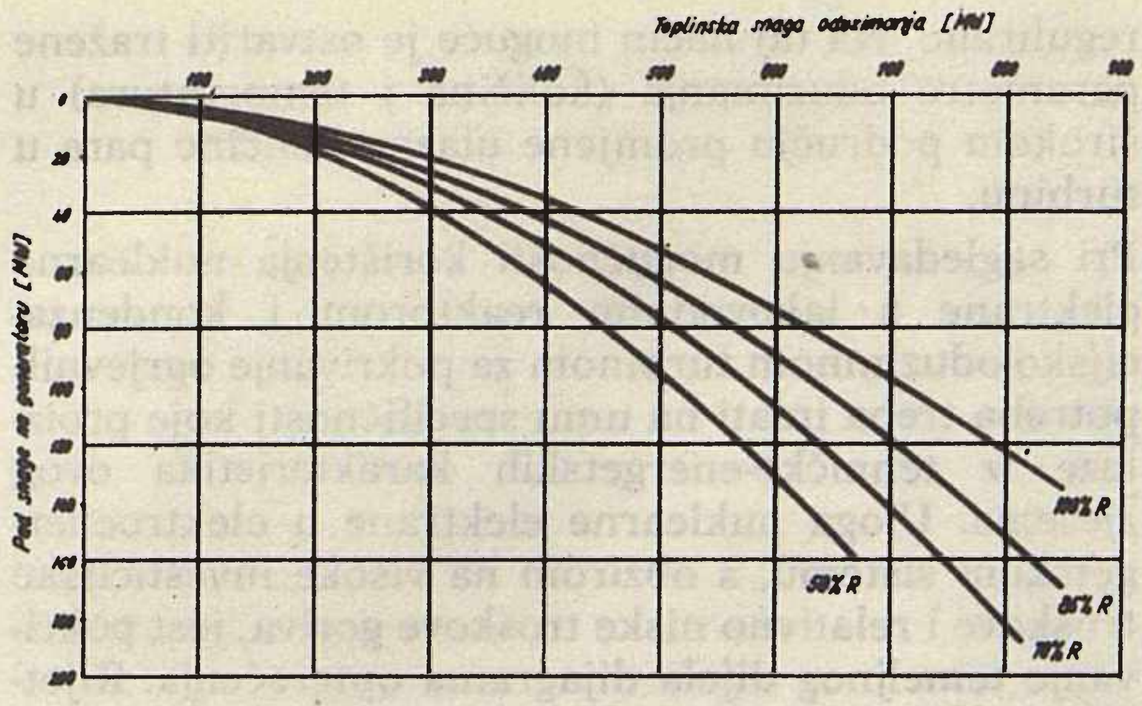
9. prikazan je Q-t dijagram za promatrane tipove turbina, a za oduzimanje od 850 MJ/s ogrjevne topline. Snaga od 850 MJ/s utvrđena je kao optimalna vrijednost na temelju numeričke analize provedene za promatrane slučajeve (navedene u 3.2).

Koje je rješenje oduzimanja pare (s dva, tri, ili pak četiri stupnja) s tehničkog i ekonomskog stajališta najpovoljnije? Rješenje oduzimanja u dva stupnja izaziva značajne konstruktivne probleme kod velikih snaga oduzimanja u pogledu smještaja i razvoja cjevovoda. U slučaju rješenja s tri oduzimanja može se ustvrditi da u konstruktivnom pogledu ovo rješenje ne izaziva poteškoće kod turbine sa 25 s^{-1} niti kod turbina sa 50 s^{-1} okretaja. Ako bi se ipak prihvatilo da se mogu naći povoljna konstruktivna rješenja kod dva stupnja zagrijavanja, ostaje ipak da se s ekonomsko-energetskog stajališta utvrdi povoljnost jednog u odnosu na drugi.

Oduzima li se para s turbine u tri umjesto dva stupnja, pri čemu se parametri mrežne vode zadržavaju na istom nivou, dobit će se rješenje s povoljnim termodinamičkim karakteristikama. U stvari, gubitak snage po jedinici oduzete topline bit će manje kod tri u odnosu na dva stupnja zagrijavanja, pa će el. snaga proizvedena u ogrjevnoj sezoni biti manja. S druge strane investicijski troškovi u elektrani s tri oduzimanja veći su nego kod one sa dva.

Usporede li se razlike ukupnih troškova u slučaju izgradnje turbine s dva i tri oduzimanja, odnosno četiri, tako da se promatraju stalni i promjenljivi troškovi u elektroenergetskom i toplinskom sistemu, može se utvrditi optimalan izbor broja stupnjeva oduzimanja. Očito je da dijagram trajanja toplinskog opterećenja, prilike u elektroenergetskom sistemu i dodatni investicijski troškovi te specifična proizvodnja el. energije po jedinici oduzete topline predstavljaju glavne utjecajne veličine.

Gubitak el. snage zbog oduzimanja topline ovisi o termodinamičkim parametrima i količini oduzete pare, parametrima svježe pare i tlaku u kondenzatoru,



Slika 10. Rad snage na generatoru u funkciji toplinske snage oduzimanja (BBC 50-6/950)

karakteristikama same turbine te broju stupnjeva oduzimanja. Ovisno o opterećenju reaktora gubitak snage je utoliko veći što je opterećenje reaktora manje. Na sl. 10. prikazana je ovisnost gubitka snaga na turbini BBC 50-6/950 u ovisnosti količine oduzimanja i snage reaktora u slučaju oduzimanja u tri stupnja i tlaka u kondenzatoru 0,05 bara kod oduzimanja, odnosno 0,08 bara kod čistog-kondenzacijskog pogona, a u tabl. 4. specifični gubici električne snage po jedinici oduzete topline za promatrane tipove turbina.

Gubici el. snage na generatoru zbog oduzimanja topline za ogrjevne potrebe od 850 MJ/s iznose 128 do 143 MW u slučaju oduzimanja u tri stupnja, odnosno 136 do 157 MW kod oduzimanja u dva stupnja. Gubici el. snage zapravo su nešto veći ako bi se gubici svodili na isti tlak u kondenzatoru kod rada u spojenom procesu i čistokondenzacijskom pogonu. Kod oduzimanja pare za ogrjevne potrebe preostali dio pare u turbini ostvaruje nešto veći toplinski pad zbog snižavanja tlaka u kondenzatoru 0,05 bar.

Oduzimanje topline u tri stupnja povoljnije je od oduzimanja u četiri stupnja zbog značajnih poteškoća i dodatnih troškova koje se javljaju u prilagođavanju turbine u odnosu na standardnu izvedbu. Standardna rješenja kondenzacijskih turbina nemaju izvedena regenerativna oduzimanja prikladna za korištenje četiri stupnja zagrijavanja mrežne vode, pa bi u tom smislu trebalo izraditi potpuno novo konstruktivno rješenje.

Poradi navedenog za NE Prevlaka predviđeno je oduzimanje pare za ogrjevne potrebe u tri stupnja.

Tablica 4.

Tip turbine	El. snaga u kondenzac. pogonu /MW/	El. snaga u oduzimnom pogonu kod oduzimanja 850 MJ/s		Gubitak el. snage zbog oduzimanja 850 MJ/s		Spec. gubitak el. snage po jedin. oduz. topline MW_e/MW_t kod oduzim. 850 MJ/s		Specif. proizvodnja topline po jedinici izgubljene el. snage kod oduzimanja 850 MJ/s	
		tri stupnja	dva stupnja	tri stupnja	dva stupnja	tri stupnja	dva stupnja	tri stupnja	dva stupnja
BBC 50-8/865	1 035,87	897,27	897,06	138,59	156,81	0,163	0,184	6,135	5,434
BBC 50-6/950	1 029,39	893,11	872,80	136,28	156,59	0,160	0,184	6,250	5,434
BBC 25-4/1450	1 056,17	912,50	892,94	143,67	136,23	0,169	0,920	5,917	5,208
KWU 50-6/1050	1 017,90	889,8	875,8	128,1	142,1	0,151	0,167	6,662	5,988

3.4. Utjecaj oduzimanja topline na izbor turbine

Turbina predstavlja jedan od najznačajnijih dijelova postrojenja elektrane u pretvaranju energije goriva u mehaničku, a zatim u električnu energiju. O karakteristikama turbine ovisi u najvećoj mjeri stupanj efikasnosti transformacije. Današnji tehnološki stupanj razvoja, kad je riječ o turbinama za nuklearno-energetska postrojenja s lakovodnim tipom reaktora, omogućuje da se postigne stupanj korisnog djelovanja transformacije oko 34%. Veliki napori čine se u pravcu daljnjeg poboljšanja specifičnog potroška topline. Da bi se to postiglo, nužna su daljnja poboljšanja pojedinih dijelova turbinskog ciklusa:

— povećanje parametara pare na ulazu u turbinu
— povećanje ulazne temperature napojne vode u parogenerator
— povećanje broja stupnjeva dogrijavanja u prestrujnom vodu
— povećanje broja stupnjeva regenerativnog zagrijača vode
— povećanje postotka vlage u pari na izlazu iz turbine
— smanjenje izlaznog tlaka pare u kondenzatoru
— povećanje ukupnog izlaznog presjeka niskotlačnog kućišta turbine
— smanjivanje unutrašnjih gubitaka u turbini.

Uključujući sve mogućnosti koje proizlaze iz današnjeg tehnološkog razvoja, moguće je stupanj korisnog djelovanja turbine poboljšati maksimalno 3-4%, ali zato, na žalost, ne postoji još i ekonomska opravdanost.

Korištenjem nuklearne elektrane za zadovoljavanje ogrjevnih potreba topline moguće je znatno povećati stupanj iskorištenja. Tako npr. za slučaj NE Prevlaka stupanj korisnog djelovanja pri oduzimanju 850 MJ/s topline dostiže vrijednost od 58%. Jasno je da se ovdje radi o dva različito vrijedna eksergetska izlaza i da navedeno svođenje nije s termodinamičkog stajališta u potpunosti korektno, no ono ipak pokazuje u energetskom pogledu određeni pokazatelj valjanosti ciklusa u cjelini.

Navedeno upućuje da oduzimanjem topline možemo znatno poboljšati ukupni stupanj efikasnosti transformacije.

Oduzimanje značajnih količina pare za ogrjevne potrebe na turbini moguće je ostvariti s različitim tehničkim rješenjima. U poglavlju 3.2. navedene su prednosti rješenja kondenzacijsko-oduzimne turbine u odnosu na rješenje s protutlačnom turbinom. S oduzimanjem pare za ogrjevne potrebe na nukleararanim elektranama PWR tipa s reaktorom od 3 000 MW_t i turbinom nazivne snage od 1 000 MW_e neovisno o broju okretaja — 25 s^{-1} ili 50 s^{-1}, moguće je korištenjem standardnog rješenja turbine uz minimalne konstrukcijske izmjene oduzeti toplinsku snagu od 1 000 do 1 100 MW_t. Sve izmjene na turbini, koje se očituju u prvom redu na povećanju dimenzija priključaka za oduzimanje te njihov smještaj uz turbinu, kao i ostale izmjene koje su vezane za ovakvo rješenje dovode do povećanja ukupnih troškova 1,5 do 3% od cijene turbine.

Oduzimanje topline svakako ima određen utjecaj na izbor karakteristika hladnog dijela turbine, ali isto tako na izbor tipa turbine s tzv. punim ili polovičnim brojem okretaja. Kod turbina s punim brojem okretaja (50 s^{-1}) niskotlačno kućište turbine identično je kućištu turbine na elektranama s fosilnim gorivom koja su već upotrijebljena za oduzimanje pare za ogrjevne potrebe. Doda li se tome da oduzimnje topline na prestrujnom vodu također nije nikakva novost i da već postoji iskustvo na izgrađenim postrojenjima spojnog procesa koja se koriste fosilnim gorivom, tada se u cjelini može ustvrditi da kod rješenja s turbinom sa 50 s^{-1} ne bi trebalo očekivati nikakve tehničke probleme.

U pogledu izbora parametara hladnog dijela turbine, na temelju analize provedene u /L 9/, utvrđeno je da u slučaju NE Prevlaka na ukupan rashladni sistem (tlak u kondenzatoru, rješenje sistema hlađenja) nema utjecaja oduzimanje topline za ogrjevne svrhe.

3.5. Način regulacije oduzimanja topline i predaje u toplinski sistem

Proizvodne jedinice spojnog procesa, neovisno o vrsti goriva, imaju ulogu u toplinskom sistemu pokrivanja temeljnog dijela dijagrama opterećenja. Oduzimanje topline kod rješenja spojnog procesa s kondenzacijsko-oduzimnim turbinama koje koriste fosilno gorivo u pravilu su izvedena s dva oduzimanja, od kojih je najčešće jedno regulirano a drugo neregulirano. Na taj način moguće je ostvariti tražene parametre oduzimanja (količina i temperatura) u širokom području promjene ulazne količine pare u turbinu.

Pri sagledavanju mogućnosti korištenja nuklearne elektrane s lakovodnim reaktorom i kondenzacijsko-oduzimnom turbinom za pokrivanje ogrjevnih potreba treba imati na umu specifičnosti koje proizlaze iz tehničko-energetskih karakteristika ovog rješenja. Uloga nuklearne elektrane u elektroenergetskom sistemu, s obzirom na visoke investicijske troškove i relativno niske troškove goriva, jest pokrivanje temeljnog dijela dijagrama opterećenja. Rijetke su prilike u elektroenergetskom sistemu koje mogu nastupiti pa da se nuklearna elektrana potisne iz temeljnog dijela dijagrama opterećenja (izuzetno povoljne hidrološke prilike i relativno smanjene potrebe u elektroenergetskom sistemu).

Druga karakteristika turbina namijenjenih za rad sa suhozasićenom parom jesu relativno niski termodinamički parametri svježe pare na ulazu u turbinu (t 300°C i tlak 60 bara), a velike protočne količine pare kroz turbinu. Korištenje regulacijskih organa kod parcijalnih opterećenja snage reaktora radi dovođenja parametara na pojedinom oduzimanju da bi se postigli željeni parametri nositelja topline mrežne vode imaju izuzetno nepovoljno eksergetsko djelovanje. Tako je npr. kod opterećenja reaktora od 70% moguće s turbine BBC 50-6/950 oduzeti 813,4 MJ/s. Želi li se povećati toplinska snaga oduzimanja na projektiranu vrijednost od 850 MJ/s, trebalo bi izvršiti prigušivanje pare na ulazu u NT dio turbine, tako da bi za povećanje toplinske snage od 36,6 MJ/s izgubili el. snagu na generatoru od 15 MW. Očito je da regulacija količina oduzimanja na ovakvom tipu turbine nema nikakvog smisla, pa je stoga nužno prihvatiti koncept rješenja s nereguliranim oduzimanjem.

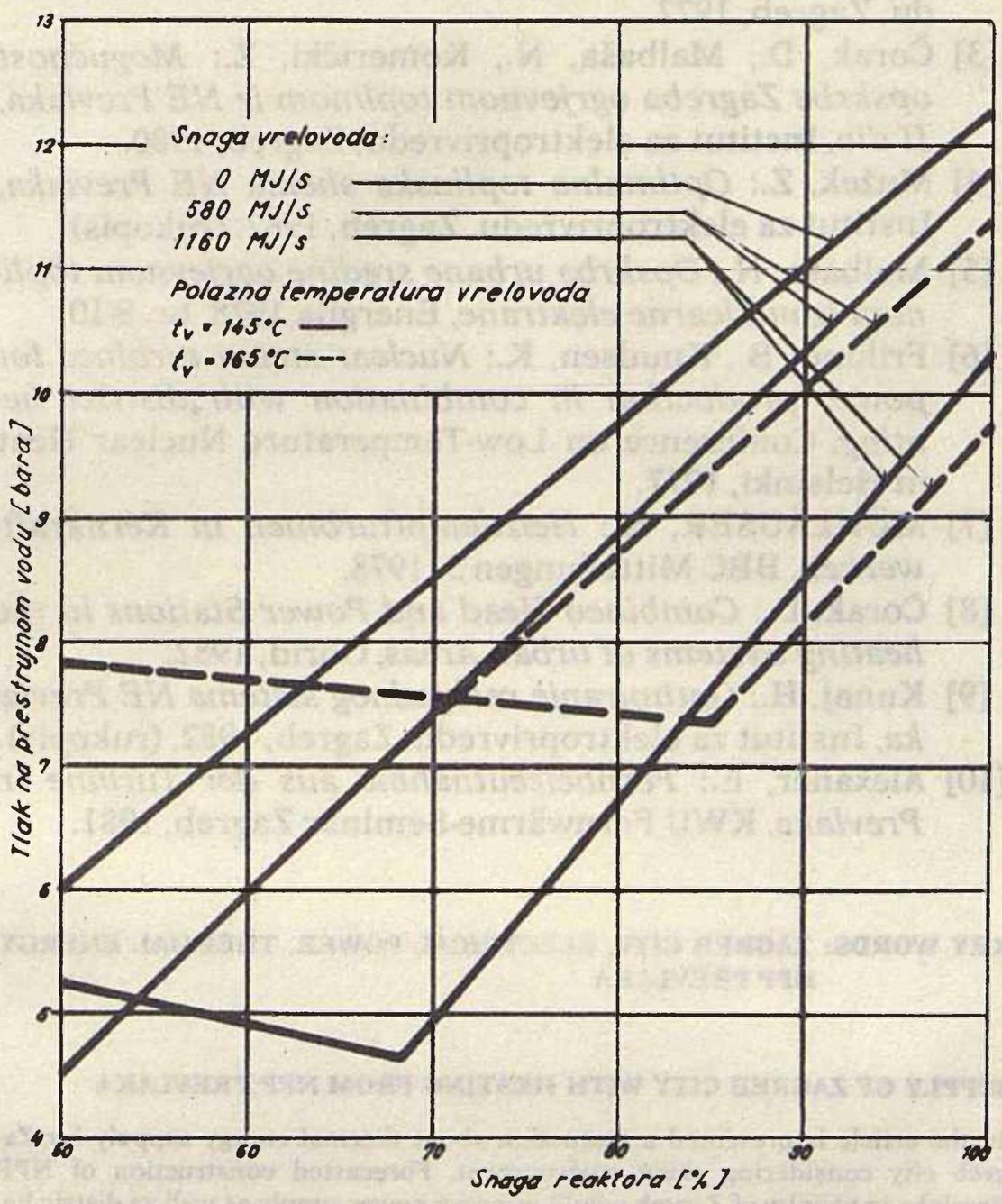
Oduzimanje pare na turbini za ogrjevne potrebe izaziva promjenu stanja pare na pojedinim oduzimanjima ovisno o količini oduzimanja, temperaturi na koju se želi zagrijati mrežna voda te protoku svježe pare na ulazu u turbinu, odnosno opterećenju reaktora. Na sl. 11. /L 10/ prikazan je utjecaj promjena tlaka pare na prestrujnom vodu u ovisnosti o snazi oduzimanja i temperaturi nositelja topline mreže vode. Iz dijagrama se vidi da se temeperatura nositelja topline od 165°C može zadržati kod snage oduzimanja 1160 MJ/s i opterećenja reaktora 84%. Pri nižim opterećenjima reaktora — ako se želi zadržati isto toplinsko opterećenje, odnosno temperatura nositelja topline — nužno je prigušivati paru koja odlazi u NT dio turbine. Nasuprot tome, bez prigušivanja, a pri nižim opterećenjima reaktora, doći će do smanjenja snage toplinskog oduzimanja.

Za NE Prevlaka predviđeno je da se količina oduzimanja od 850 MJ/s osigura u području rada reaktora 85%. Kod manjih opterećenja reaktora snaga oduzimanja će se smanjiti shodno karakteristikama turbine

U uvjetima kad su potrebe toplinskog sistema manje od projektirane vrijednosti snage oduzimanja, post-

avlja se pitanje kakav je način regulacije toplinske snage u principu moguć. Snaga toplinskog oduzimanja može se regulirati na ovaj način:

a/ promjenom protoka mrežne vode,
b/ promjenom polazne temperature,
c/ kombinacijom a/ i b/.

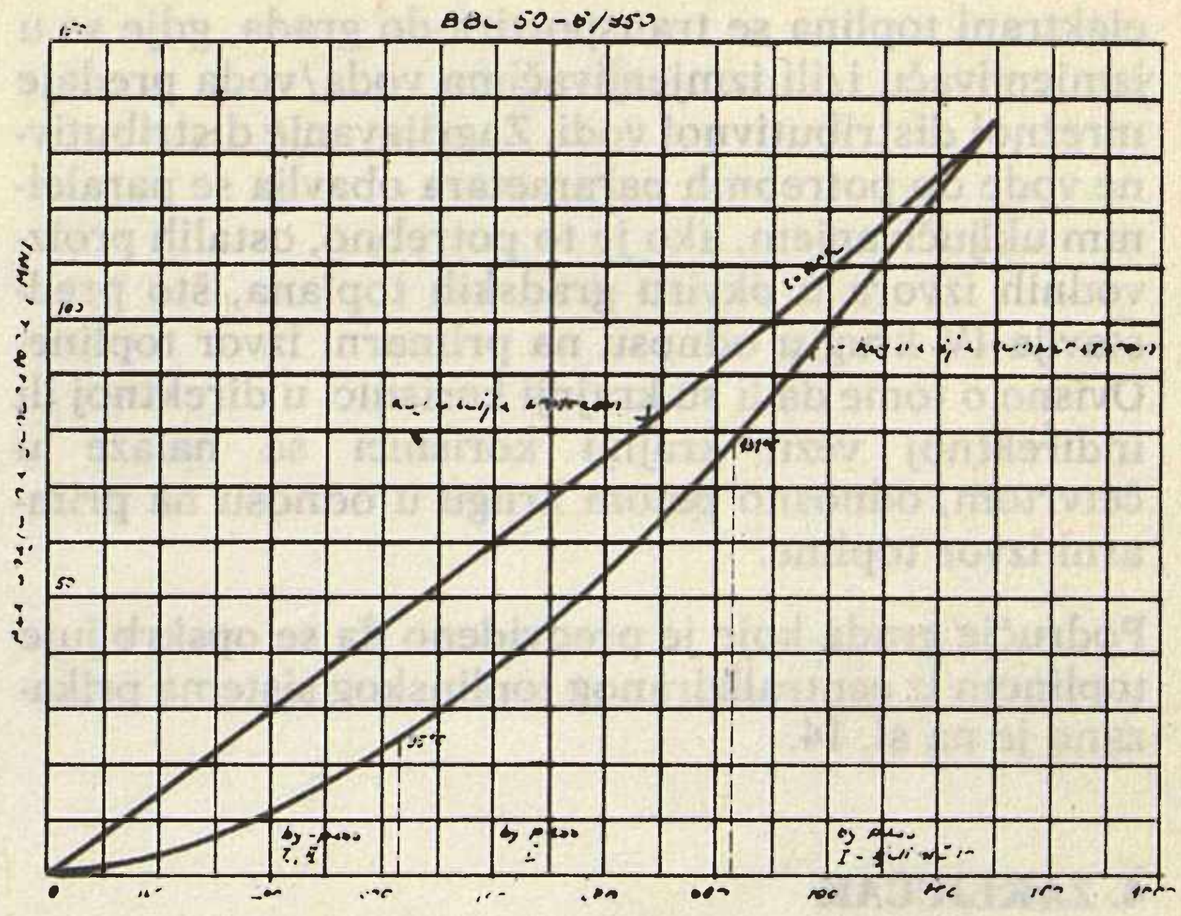


Slika 11. Promjena tlaka pare na prestrujnom vodu ovisno o snazi reaktora, snazi vrelovoda i polaznoj temperaturi vrele vode

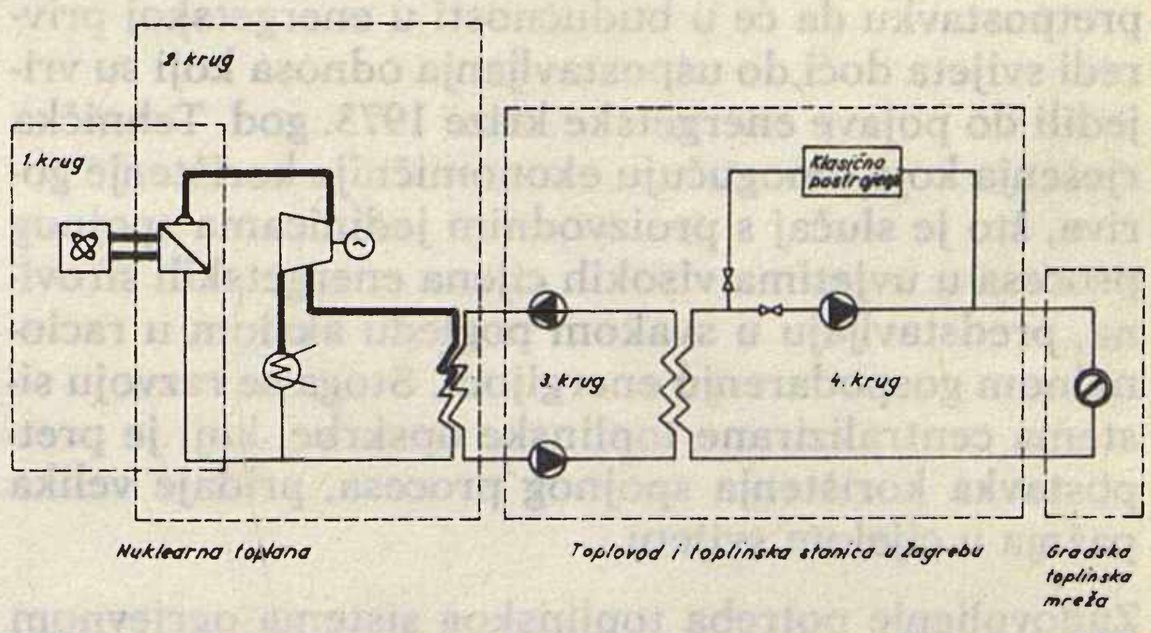
Regulacija snage oduzimanja u slučaju a/ pretpostavlja da je polazna temperatura u nuklearnoj elektrani konstantna (160°C), a promjena snage se obavlja promjenom količine mrežne vode. U ovom slučaju snaga cirkulacijskih pumpi mrežne vode smanjivat će se sa smanjenjem snage oduzimanja, dok u slučaju b/ potrebna snaga cirkulacijskih pumpi ostaje nepromijenjena, ali će se smanjivanjem polazne temperature smanjiti gubitak el. snage na generatoru po jedinici oduzete topline.

Izbor — koji je sistem povoljniji — ovisi između ostalog i o dužini transportnog sistema, odnosno ukupnoj potrebnoj snazi cirkulacijskih pumpi. Analizom samo konkretnog slučaja moguće je dati odgovor o prednostima rješenja a/ ili b/. Za slučaj NE Prevlaka, to je pokazano na primjeru turbine BBC 50-6/950, gubitak snage kod djelomičnih opterećenja reaktora za slučaj a/ i b/ i prikazano na sl. 12. Stavi li se u odnos potrebna snaga cirkulacijskih pumpi i gubitak snage na stezaljkama generatora, regulacija količine oduzimanja promjenom temperature polazne vode ima očite prednosti.

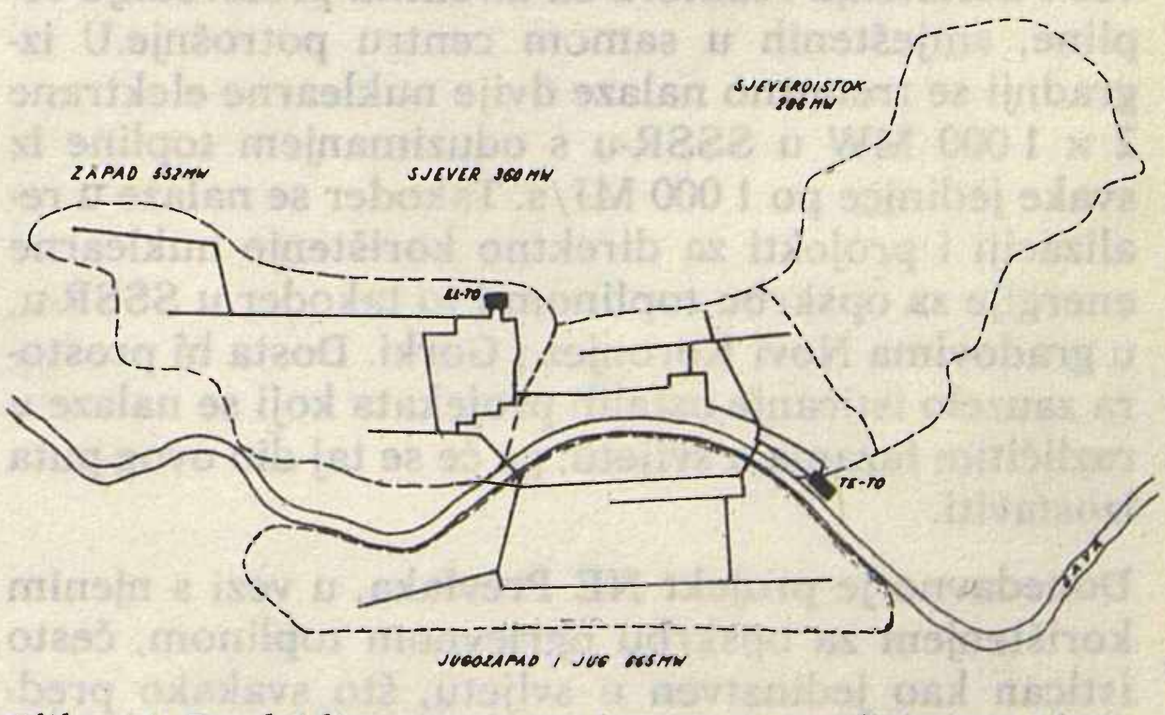
Predaja ogrjevne topline iz NE Prevlaka u toplinski sistem Zagreba u osnovi je koncipirana kao što je



Slika 12. Regulacija toplinske snage oduzimanja promjenom protoka i promjenom prolazne temperature C 50-6/950



Slika 13. Sistem za opskrbu ogrjevnom toplinom iz NE Prevlaka



Slika 14. Predvidivo stanje ogrjevnog centraliziranog sistema oko 2000 god.

prikazano na sl. 13. Uz pretpostavku da je elektrana PWR tipa oduzimanje topline na turbini obavlja se u drugom krugu u odnosu na primarni izvor topline. Predviđeno je da tlak vode u zagrijačima mrežne vode bude veći od tlaka oduzete pare iz turbine, tako da do prodora radioaktivnih čestica ne može ni u kojem slučaju doći. Nakon zagrijača mrežne vode u

Energija, God. 32/1983/5, 339-350

elektrani toplina se transportira do grada, gdje se u izmjenjivaču i/ili izmjenjivačima voda/voda predaje mrežnoj distributivnoj vodi. Zagrijavanje distributivne vode do potrebnih parametara obavlja se paralelnim uključivanjem, ako je to potrebno, ostalih proizvodnih izvora u okviru gradskih toplana, što predstavlja IV krug u odnosu na primarni izvor topline. Ovisno o tome da li su krajnji korisnici u direktnoj ili indirektnoj vezi, krajnji korisnici se nalaze u četvrtom, odnosno petom krugu u odnosu na primarni izvor topline.

Područje grada koje je predviđeno da se opskrbljuje toplinom iz centraliziranog toplinskog sistema prikazano je na sl. 14.

4. ZAKLJUČAK

U rješavanju ukupne energetske opskrbe urbanih sredina, centralizirana energetska opskrba u uvjetima stalnog povećanja cijena svih vrsta energetskih goriva dobiva posebnu važnost. Nema osnove za pretpostavku da će u budućnosti u energetskoj privredi svijeta doći do uspostavljanja odnosa koji su vrijedili do pojave energetske krize 1973. god. Tehnička rješenja koja omogućuju ekonomičnije korištenje goriva, što je slučaj s proizvodnim jedinicama spojnog procesa u uvjetima visokih cijena energetskih sirovina, predstavljaju u svakom pogledu aksiom u racionalnom gospodarenju energijom. Stoga se razvoju sistema centralizirane toplinske opskrbe, koji je pretpostavka korištenja spojnog procesa, pridaje velika pažnja u cijelom svijetu.

Zadovoljenje potreba toplinskog sistema ogrjevnom toplinom iz nuklearnih elektrana bilo je u prošlom desetljeću fikcija. Danas je to stvarnost ne samo u pogledu korištenja rješenja sa spojnim procesom, već i korištenja reaktora za direktnu proizvodnju topline, smještenih u samom centru potrošnje.U izgradnji se trenutno nalaze dvije nuklearne elektrane 2 × 1 000 MW u SSSR-u s oduzimanjem topline iz svake jedinice po 1 000 MJ/s. Također se nalaze u realizaciji i projekti za direktno korištenje nuklearne energije za opskrbu toplinom i to također u SSSR-u, u gradovima Novi Koronjez i Gorki. Dosta bi prostora zauzelo isticanje ostalih projekata koji se nalaze u različitim fazama u svijetu, pa će se taj dio ovog puta izostaviti.

Donedavno je projekt NE Prevlaka, u vezi s njenim korištenjem za opskrbu ogrjevnom toplinom, često istican kao jedinstven u svijetu, što svakako predstavlja prošlost. Prikaz koji je prethodno dan pokazuje da NE Prevlaka može odigrati ključnu ulogu u zadovoljenju ogrjevnih potreba grada i rješavanju energetskih problema opskrbe u cjelini.

Tehnički problemi vezani za realizaciju tog koncepta detaljno su analizirani u ovom prikazu. Može se na kraju ustvrditi da ni jedan tehnički problem vezan za oduzimanje topline ne prelazi okvire tehničkih rješenja kod proizvodnih jedinica spojnog procesa na fosilna goriva.

LITERATURA

[1] Čorak, D., i grupa autora: *Usmjeravanje energetske opskrbe grada i područja Zagreba do 2000. godine,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1982.

[2] Čorak, D., Malbaša, N., Komerički, Z.: *Mogućnost korištenja otpadne topline iz NE Prevlaka za opskrbu Zagreba ogrjevnom toplinom,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1977.

[3] Čorak, D., Malbaša, N., Komerički, Z.: *Mogućnost opskrbe Zagreba ogrjevnom toplinom iz NE Prevlaka, II dio,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1980.

[4] Mužek, Z.: *Optimalna toplinska shema NE Prevlaka,* Institut za elektroprivredu. Zagreb, 1982. (rukopis)

[5] Malbaša, N.: *Opskrba urbane sredine ogrjevnom toplinom iz nuklearne elektrane,* Energija 1978, br. 9-10

[6] Frilund, B., Knudsen, K.: *Nuclear steam turbines for power production in combination with „district heating,* Conference on Low-Temperature Nuclear Heat in Helsinki, 1977.

[7] MÜHLÄUSER, H.: *Heizdampfturbinen in Kernkraftwerken,* BBC Mitteilungen 3/1978.

[8] Čorak, D.: *Combined Head and Power Stations in the heating Systems of urban Areas,* Ohrid, 1982.

[9] Kunaj, H.: *Optimiranje rashladnog sistema NE Prevlaka,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1982. (rukopis)

[10] Alexaner, E.: *Fernheizeutnahme aus der Turbine in Prevlaka,* KWU Fernwärme-Seminar Zagreb, 1981.

KEY WORDS: ZAGREB CITY, ELECTRICAL POWER, THERMAL ENERGY NPP PREVLAKA

SUPPLY OF ZAGREB CITY WITH HEATING FROM NPP PREVLAKA

In the article is presented a discussion about thermal energy suppoly for Zagreb city considering clean environment. Forecasted construction of NPP Prevlaka in vicinity of Zagreb would improve power supply as well as distric heating.

WÄRMEVERSORGUNG DER STADT ZAGREB DURCH DAS KERNKRAFTWERK PREVLAKA

Erörtert wird die Frage einer optimalen Energieversorgung von städtischen Siedlungsgebieten durch umweltfreundliche und billige Energie, in diesem Fall der Stadt Zagreb. Untersucht wird die in Aussicht stehende Errichtung des Kernkraftwerkes Prevlaka in unmittelbares Stadtnähe, wodurch ein wesentlicher Beitrag zur Frage der Elektrischen-u. Wärmeenergieversorgung geleistet werden könnte.

СНАБЖЕНИЕ ГОРОДА ЗАГРЕБ ОТОПИТЕЛЬНЫМ ТЕПЛОМ ИЗ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ »ПРЕВЛАКА«

В статье посвествуется о том как можно наилучшим образом удовлетзорить энергетические потребности сред городской застройки при помощи дешовой энергии и соблюдении чистоты, что в данном случае касается города Загреб. Речь идет о предусмотренном строительстве АЭС »Превлака« в непосредственной близости от города, што в значительной мере способствовало бы решению снабжения электрической и тепловой энергей.

Naslov pisca:

Dr Duško Čorak, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu
Proleterskih b. 37.
41000 ZAGREB

Uredništvo primilo rukopis 1983-03-31-

METODE PRORAČUNA UZEMLJIVAČA RAZDJELNIH MREŽA

Luciano Delbianco, Pula

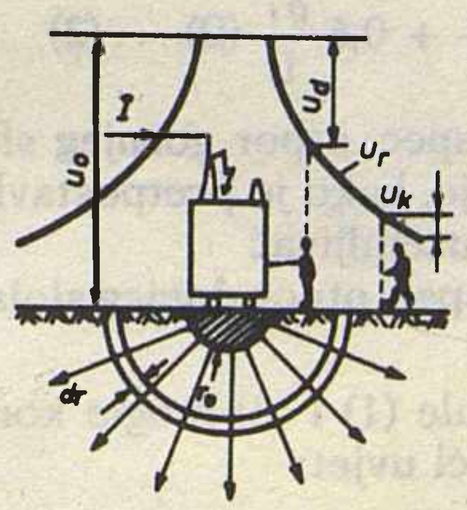
UDK 621. 316. 99
PREGLEDNI RAD

U radu su prikazani najčešći oblici i dimenzije uzemljivača TS 35/10(20)kV, kao i metode koje se koriste za približan proračun njihovih karakterističnih veličina. Jednoj od ovih metoda, metodi fizičkog modeliranja uzemljivača, posvećena je posebna pažnja.

Ključne riječi: distributivna električna mreža, uzemljivači, proračun uzemljivača, modeliranje uzemljivača.

UVOD

Da bi se proveo bilo koji oblik uzemljenja, potrebno je objekt koji se želi uzemljiti putem uzemljivačkog vodiča vodljivo povezati s uzemljivačem u zemlji ili betonu. Pri tome se pod uzemljivačem smatra vodič položen u zemlju (ili beton) koji je s njima po cijeloj svojoj dužini vodljivo povezan. Sastoji se od horizontalnih i vertikalnih elektroda, a osnovne veličine koje ga karakteriziraju jesu otpor rasprostiranja, te napon dodira i koraka (sl. 1)



Sl. 1. Karakteristične veličine uzemljivača:

r — otpor rasprostiranja (Ω)
Ud — napon dodira (V)
Uk — napon koraka (V)
Ur — potencijal uzemljivača (V)

S obzirom na navedene karakteristične veličine uzemljivač treba dimenzionirati tako da se u slučaju jednopolnog kvara u mreži na njemu ne pojavi potencijal:

a) koji bi na uzemljenim djelovima postrojenja uzrokovao opasne napone dodira i koraka;
b) koji bi se preko uzemljenih zaštitnih vodiča, odnosno plašteva ili ekrana kabela prenio u niženaponsku mrežu.

Oba uvjeta ovise o potencijalu koji se u slučaju jednopolnog kvara javlja na uzemljivaču trafo-stanice.

Pri tome potencijal uzemljivača ovisi o veličini struje koja njime teče, kao i o njegovu otporu.

Struja koja utječe na potencijal uzemljivača ovisi nadalje o veličini struje jednopolnog kvara, kao i o redukcionom djelovanju zaštitnih vodiča, plašteva ili ekrana kabela.

Otpor rasprostiranja ovisi pak isključivo o dimenzijama uzemljivača i o specifičnom otporu tla u kojem se nalazi.

Dakle, poznavajući sve te elemente, moguće je nekom od mnogobrojnih formula i metoda za proračun izračunati, odnosno odrediti osnovne veličine uzemljivača. Međutim, i pored toga, kao što rezultati mjerenja karakterističnih veličina uzemljivača TS 35/10(20) kV u mreži »Elektroistre« pokazuju (1), uzemljivači se često predimenzioniraju (prevelike dimenzije ili preguste mreže), što je često rezultat nedovoljnog poznavanja problema.

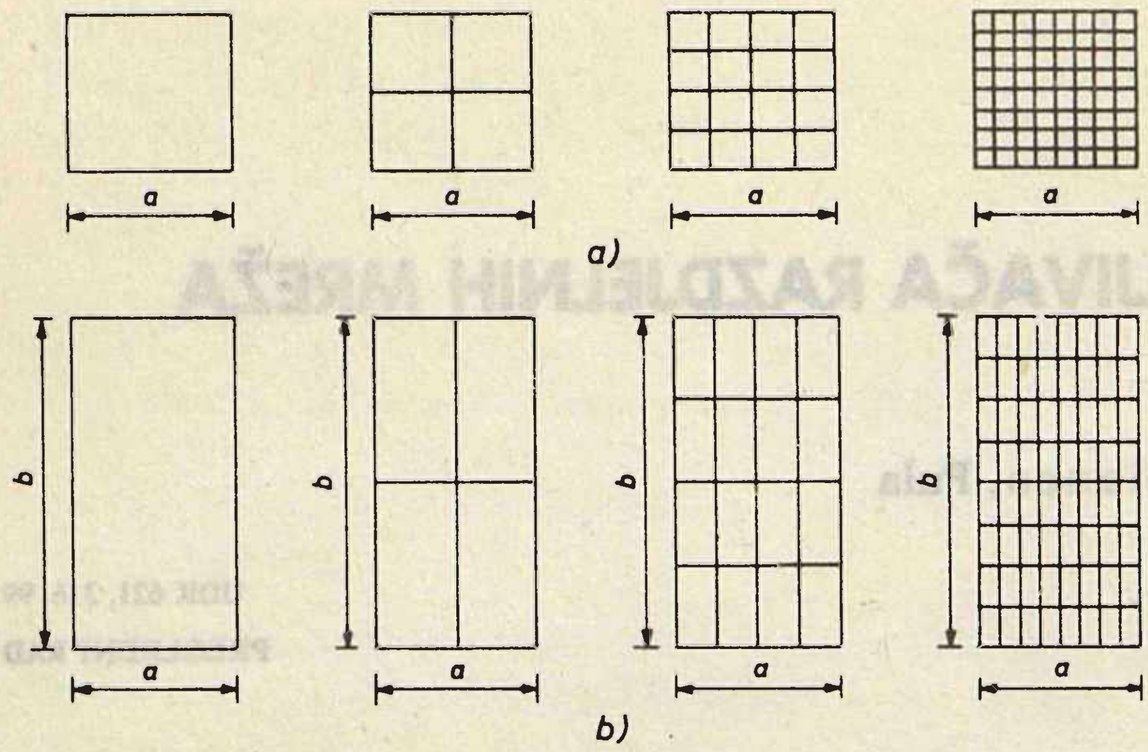
Tako se npr. prema iskustvu određuje specifični otpor tla, upotrebljavaju se formule koje daju orijentacione rezultate, ne uzimaju se u obzir dodatni elementi uzemljivača (uzemljeni plaštevi odnosno ekrani kabela, utjecaj zaštitnog vodiča dalekovoda i uzemljivača stupova) i dr.

Zbog toga će u nastavku biti prikazane neke od formula i metoda za relativno brzi proračun karakterističnih veličina uzemljivača.

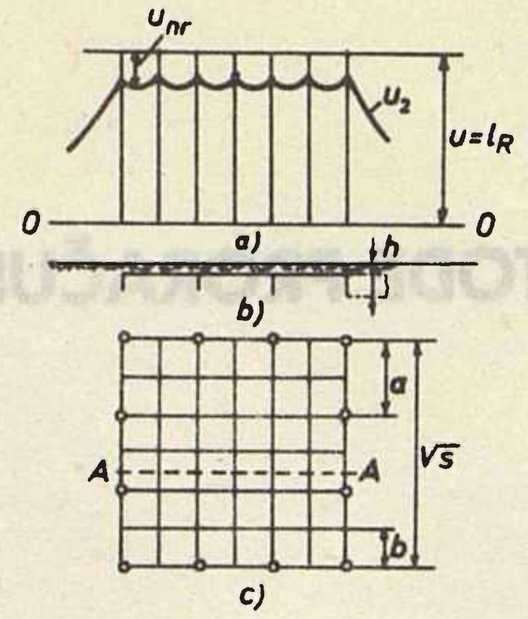
1. UZEMLJIVAČI TS 35/10(20)kV

Uzemljivače razdjelnih TS 35/10(20) kV razlikuju međusobno vrsta mreže (kabelska, mješovita ili nadzemna), veličina struje jednopolnog kvara (300, 700, ili 1 000 A), specifični otpor tla i dr. S obzirom na iskustva u 35 kV razdjelnoj mreži »Elektoristre« Pula, za navedene trafo-stanice najbolje je upotrebljavati horizontalne mrežaste uzemljivače pravokutnog ili kvadratnog oblika (sl. 2).

Naime, tim se tipovima i oblicima uzemljivača postižu najmanji otpori rasprostiranja i najblaže promjene potencijala (1).



Sl. 2. Najčešći oblici uzemljivača TS 35/10(20)kV



Sl. 3. Raspodjela potencijala na površini zemlje:
a) raspodjela potencijala
b) presjek uzemljivača
c) tlocrt uzemljivača

Karakteristične veličine razmatranih uzemljivača moguće je odrediti:

a) izborom tipskog uzemljivača;
b) proračunom za svaki pojedini slučaj.

Pri tome treba naglasiti da se tipizacijom ne mogu obuhvatiti svi specifični uvjeti koji utječu na oblik i dimenzije uzemljivača (spec. otpor tla, broj odvoda, površina trafo-stanice i dr.), pa je zbog toga prihvatljiv jedino proračun za svaki pojedini slučaj.Navedeni proračun trebao bi teći na sljedeći način:

a) mjerenjima na izabranoj lokaciji buduće TS 35/10(20)kV određuje se specifični otpor tla;
b) s obzirom na lokaciju TS određuju se oblik i dimenzije mrežastog uzemljivača;
c) izračunava se dio struje jednopolnog kvara koja protječe uzemljivačem;
d) nekom od metoda proračuna određuju se karakteristične veličine uzemljivača;
e) na realnom uzemljivaču mjerenjima (U-I metodom) provjeravaju se izračunate veličine;
f) ako rezultati mjerenja ne zadovoljavaju, potrebno je korigirati uzemljivač (povećati gustoću mreže) odnosno primjeniti dodatne zaštitne mjere (asfaltiranje, pošljunčavanje, ekvipotenciranje).

2. FORMULE I METODE PRORAČUNA KARAKTERISTIČNIH VELIČINA UZEMLJIVAČA TS 35/10(20)kV

U nastavku izlaganja bit će prikazane neke od često korištenih formula i metoda za proračun karakterističnih veličina uzemljivača. Pri tome su karakteristične veličine mrežastih uzemljivača otpor rasprostiranja i potencijalna razlika polja (sl. 3).

2. 1. Laurenova formula

Otpor rasprostiranja uzemljivača u homogenom tlu može se izračunati pomoću izraza (6):

$$R = 1{,}6\frac{\rho}{P} + 0{,}6\frac{\rho}{L}\ (\Omega) \ldots (1)$$

gdje je Ω — spec. otpor tla (Ωm)
P — vanjski opseg mreže (m)
L — ukupna dužina položenih uzemljivačkih vodiča (m).

Za otpor rasprostiranja mrežastog uzemljivača u dvoslojnom tlu isti je autor predložio ovu formulu (6):

$$Ru = 1{,}6\frac{\rho_2}{P} + 0{,}6\frac{\rho_1}{L}\ (\Omega) \ldots (2)$$

gdje je ρ_1 — spec. otpor gornjeg sloja tla u kojem je, kako je pretpostavljeno, postavljen uzemljivač (Ωm)
ρ_2 — spec. otpor donjeg sloja tla (Ωm).

Da bi se formule (1) i (2) mogle koristiti, mora biti ispunjen sljedeći uvjet:

$$\frac{H}{\sqrt{S}} \leq 0{,}05 \ldots (3)$$

gdje je H — dubina gornjeg sloja zemlje (m)
S — površina mrežastog uzemljivača (m^2).

2. 2. Schwarzova formula

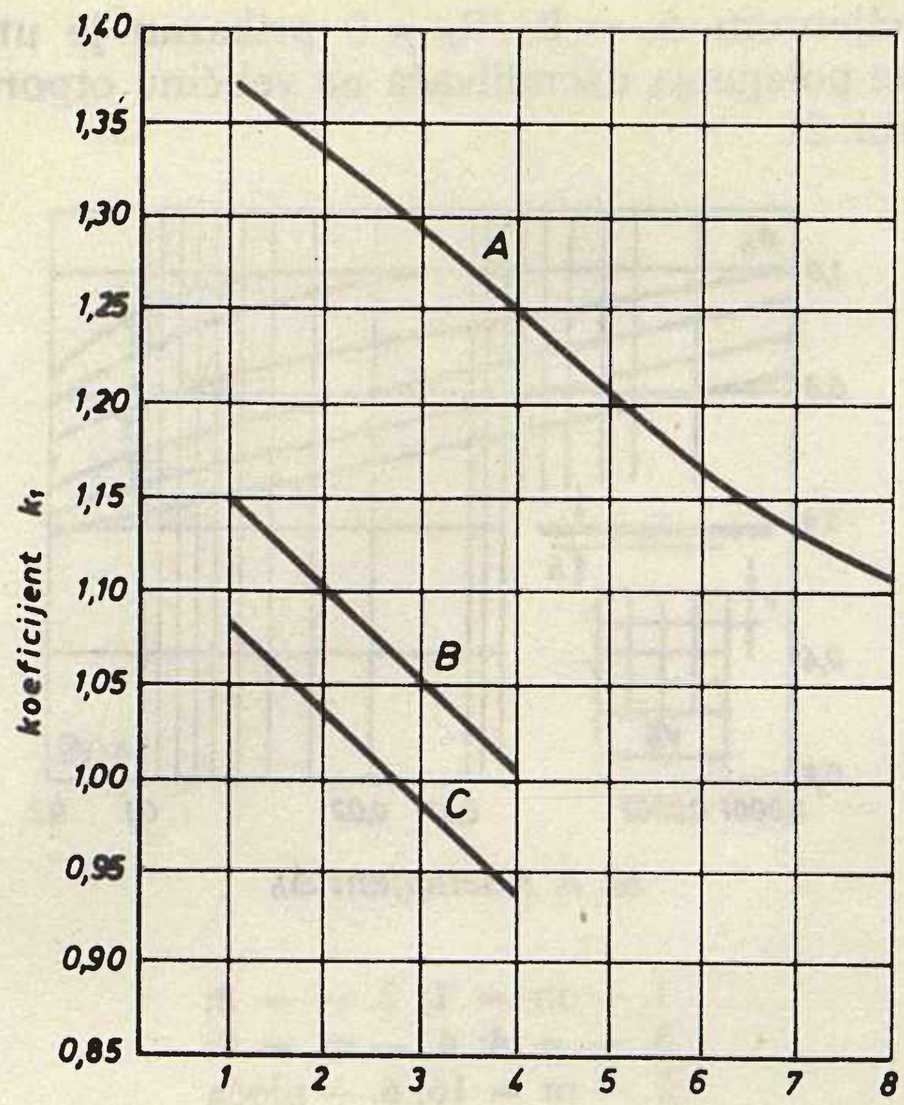
Ova formula uzima u obzir geometrijsku konfiguraciju mreže, promjer uzemljivačkog vodiča »d« (m), dubinu ukopavanja »h« (m) i dr. (6):

$$R = \frac{\rho}{\pi L}\left(\ln\frac{2L}{\sqrt{dh}} + (K)\right)(\Omega) \ldots (4)$$

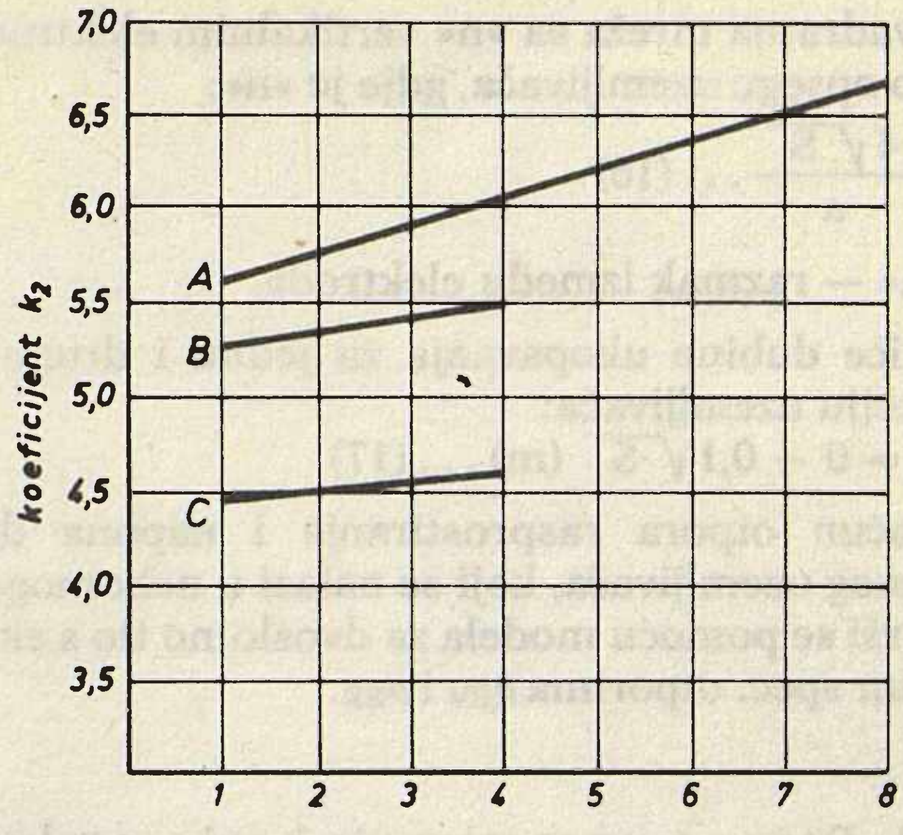
gdje je K — koeficijent koji ovisi o odnosu dužine i širine mreže kao i o dubini ukopa, a određuje se pomoću izraza:

$$K = K_1\frac{L}{S} - K_2 \ldots (5)$$

Koeficijenti »k_1« i »k_2« prikazani su na sl. 4.



a) Odnos dužina/širina (l_1/l_2)



b) Odnos dužina/širina (l_1/l_2)

Sl. 4 Vrijednosti faktora k_1 i k_2

A — za dubinu ukopa h = 0

B = za dubinu ukopa $h = \frac{1}{10}\sqrt{S}$ (S = površina mreže)

C — za dubinu ukopa $h = \frac{1}{6}\sqrt{S}$

Na kraju ovog kratkog pregleda najvažnijih formula istaknimo i formulu koja je nastala kao aproksimacija rezultata dobivenih na računskom stroju (7):

$$R = \rho \left(\frac{0{,}53}{\sqrt{S}} + \frac{1{,}75}{L\sqrt[3]{n}} \right) \left[1 - 0{,}8 \left(\frac{100\, h \cdot d}{n\sqrt{S}} \right)^{0{,}25} \right] \ldots (\Omega) \ldots (6)$$

gdje je: n — broj traka uzemljivača u jednom pravcu.

Za proračun potencijalne razlike dodira kod mrežastih uzemljivača može se upotrijebiti sljedeća formula (4):

$$E_d = k_d \cdot \rho \frac{I_{uz}}{L} \ldots (7)$$

$$k_d = 0{,}9 + 0{,}1 \frac{\sqrt{S}}{b} - 2{,}5 + 0{,}0248\sqrt{S} - 10^{0{,}72} \ldots (8)$$

gdje je: k_d — koeficijent koji uglavnom ovisi o geometrijskim karakteristikama uzemljivača, a obično se usvaja: $k_d = 0{,}6 \div 1{,}4$

b — širina polja uzemljivača (m)

I_{uz} — struja koja teče uzemljivačem (A).

U lit. (9) navedeni su složeni, ali i najtočniji izrazi za proračun potencijalnih razlika mreže (Em) i koraka (Ek)

$$E_m = K_m \cdot K_{mi} \cdot \frac{I_z}{L} \ldots (V) \ldots (9)$$

$$E_k = K_s \cdot K_{si} \cdot \frac{I_z}{L} \ldots (V) \ldots (10)$$

gdje su:

$$K_s = \frac{1}{\pi}\left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{b+h} + \frac{1}{b} \sum_{j=3}^{j=n} \frac{1}{j-1} \right) \ldots (11)$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{b^2}{16\, h \cdot d} + \frac{1}{\pi} \operatorname{Ln} \prod_{j=3}^{j=n} \frac{2 \cdot j - 3}{2(j-1)} \ldots (12)$$

a korekcioni faktori

$$K_{si} = K_{mi} = 0{,}65 + 0{,}172 \cdot n \ldots (13)$$

h — dubina ukopa uzemljivača (m)

b — razmak između susjednih traka uzemljivača (m)

d — promjer uzemljivačkih traka (m)

n — broj traka uzemljivača u jednom smjeru.

2. 3. Metoda fizičkog modeliranja

Metoda fizičkog modeliranja složenih uzemljivača temelji se na ispitivanju modela uzemljivača u elektrolitskoj kadi (3, 11, 12, 13).

Ispitivanjem dobiveni rezultati, prema teoriji sličnosti, primjenjuju se na geometrijski slične uzemljivače bilo koje površine. Pri tome su obuhvaćene ove konstrukcije uzemljivača:

a) kvadratna mreža, sa širinom polja:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m} \ldots (14)$$

m — broj polja po stranici mreže;

$$m = \frac{L}{2\sqrt{S}} - 1 \ldots (15)$$

b) kvadratna mreža sa »n« vertikalnim elektrodama po opsegu uzemljivača, gdje je »n«:

$$n = \frac{4\sqrt{S}}{a} \quad \ldots (16)$$

»a« — razmak između elektroda.

Granice dubine ukopavanja za jednu i drugu konstrukciju uzemljivača:

$$h = 0 - 0{,}1\sqrt{S} \ (m) \quad \ldots (17)$$

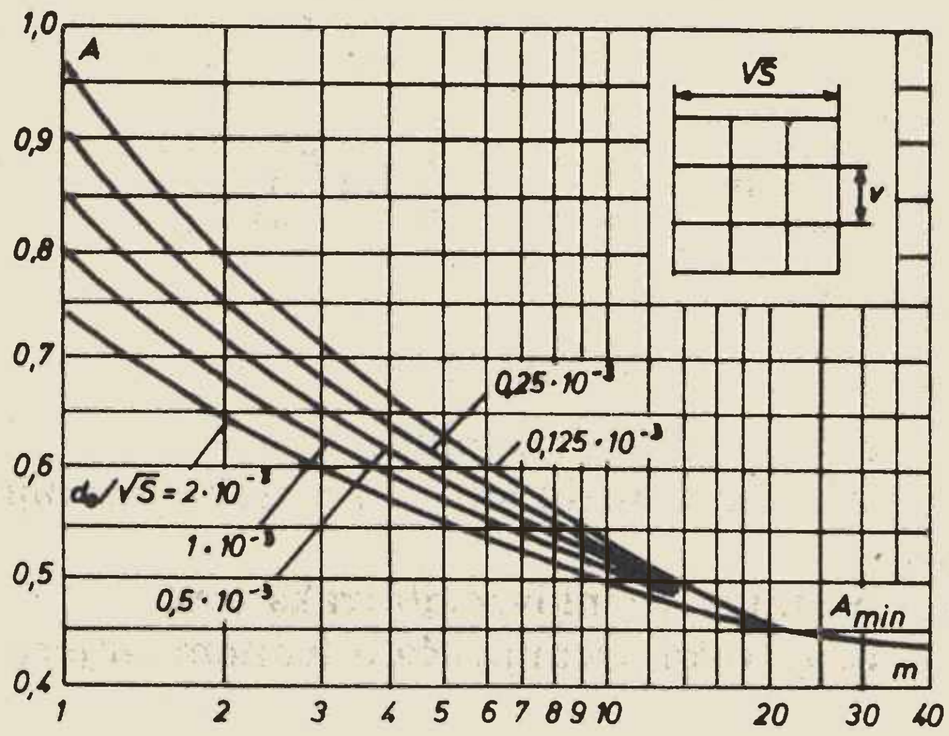
Proračun otpora rasprostiranja i napona dodira složenog uzemljivača, koji se nalazi u nehomogenom tlu, vrši se pomoću modela za dvoslojno tlo s ekvivalentnim spec. otporima ρ_{EV} i ρ_{ER}.

2.3.1. Otpor rasprostiranja horizontalnog mrežastog uzemljivača

Formula za proračun otpora rasprostiranja mrežastog uzemljivača koji je položen u nehomogeno tlo na dubinu »h« glasi:

$$R = \frac{A \cdot \Delta h \cdot \rho ER}{\sqrt{S}} \ (\Omega) \quad \ldots (18)$$

gdje je: A— geometrijski koeficijent sličnosti za h = 0, koji ovisi o dimenziji stranice mreže $\sqrt{S}$ (uz d_0 = const. i o broju polja »m« po stranici (sl. 5. i tabl. 1)A = f (m, do/$\sqrt{S}$)



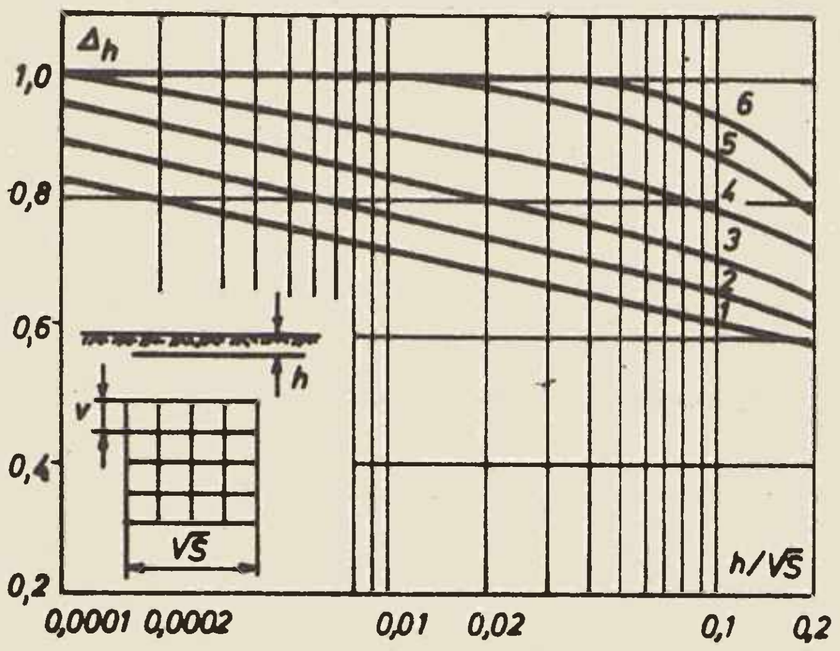
Sl. 5. Geometrijski koeficijent sličnosti A.

Tablica 1.

Koeficijent A za mreže

Prom. vodiča $d/\sqrt{S}$	Omjer $L/\sqrt{S}$ za mreže s paralelnim vodičima					
	4/4	6/5,5	10/7,5	18/11,5	34/19	Ploča
2.10^{-3}	0,73	0,63	0,57	0,52	0,46	0,44
1.10^{-3}	0,78	0,67	0,59	0,53	0,46	0,44
$0{,}5.10^{-3}$	0,84	0,71	0,62	0,53	0,46	0,44
$0{,}25.10^{-3}$	0,9	0,75	0,64	0,54	0,46	0,44
$0{,}125.10^{-3}$	0,95	0,79	0,67	0,55	0,46	0,44

Koeficijentom $\Delta_h = R_h/R_h = 0$ prikazan je utjecaj dubine polaganja uzemljivača na veličinu otpora (sl. 6. i tabl. 2)



Sl. 6. Koeficijent Δ_h

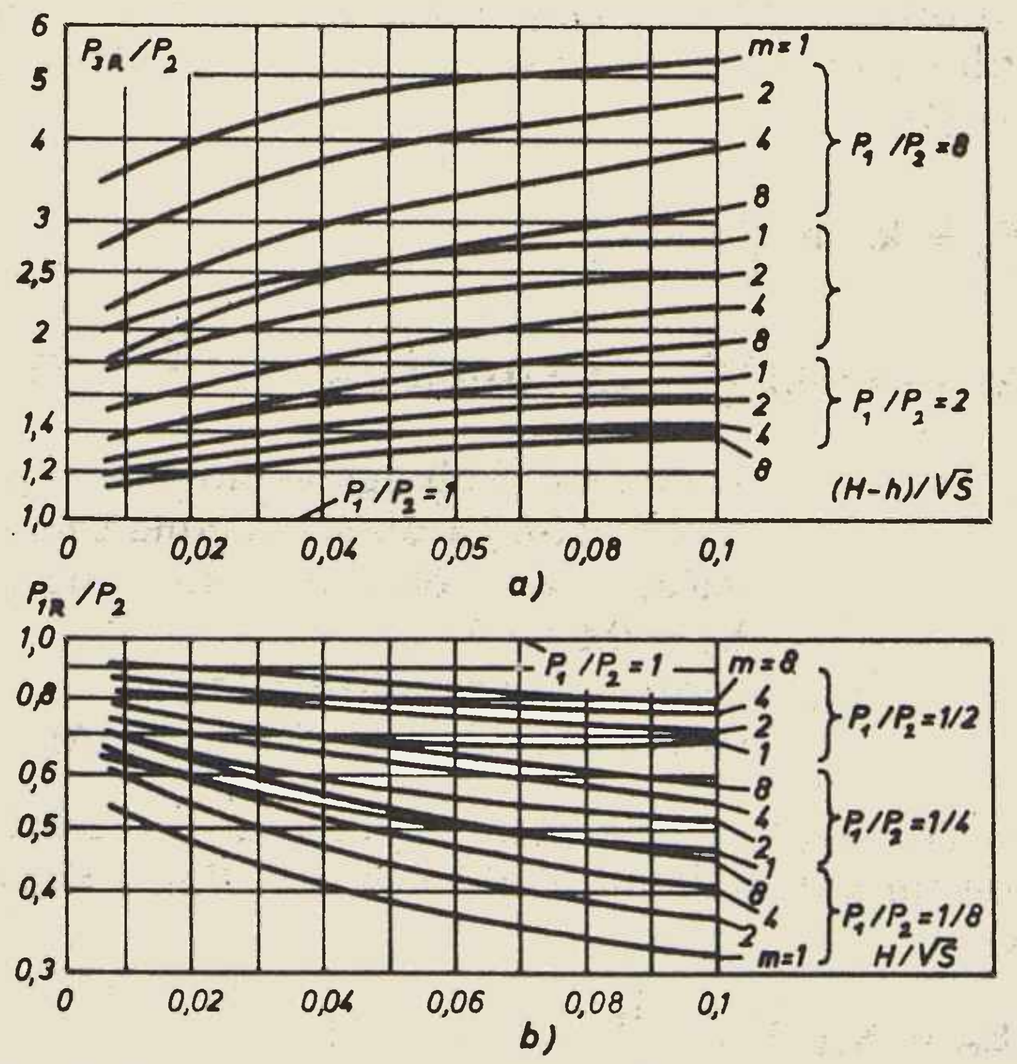
1. — m = 1; 2. — = 2;
3. — = 4; 4. — m = 8;
5. — m = 16; 6. — ploča

Tablica 2.

Koeficijent Δ_h za mreže sa $d/\sqrt{S} = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$

Dubina polag. $h/\sqrt{S}$	Omjer $L/\sqrt{S}$ za mreže sa paralelnim vodičima					
	4/4	6/6,5	10/7,5	18/11,5	34/19	Ploča
0,005	0,77	0,82	0,88	0,94	0,99	1
0,01	0,74	0,78	0,84	0,91	0,98	1
0,02	0,7	0,75	0,8	0,88	0,97	1
0,08	0,62	0,68	0,74	0,81	0,9	0,96

Na slici 7. prikazane su krivulje za proračun otpora rasprostiranja mrežastog uzemljivača u nehomogenom tlu.



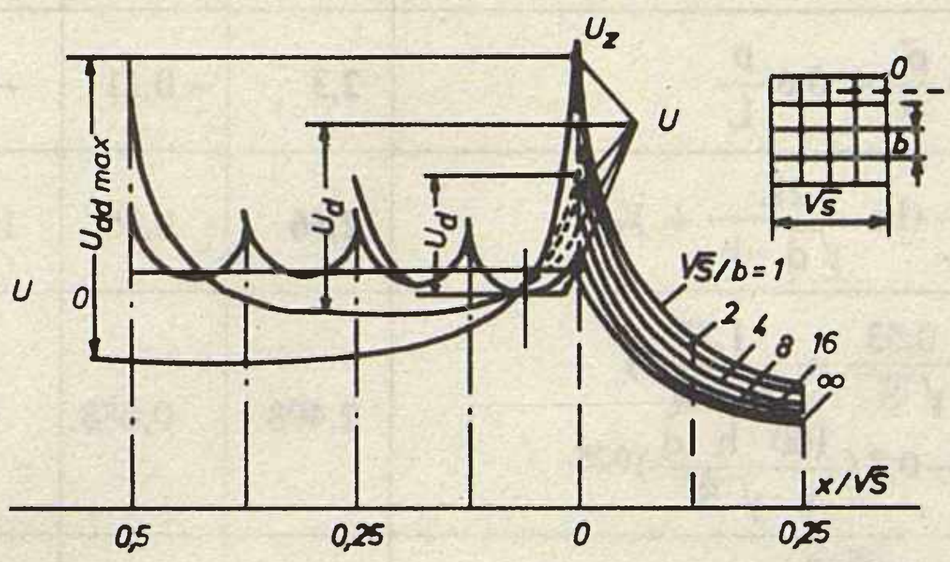
Sl. 7. Ekvivalentni spec. otpor tla kojim se proračunava otpor mreže:

a) $\rho_1/\rho_2 \geq 1$; b) $\rho_1/\rho_2 \leq 1$

Energija, God. 32/1983/5, 351-358

2.3.2. Proračun napona dodira za horizontalne mrežaste uzemljivače

Najveći napon dodira javlja se u središtu kutnog polja uzemljivača (sl. 8), a predstavlja razliku potencijala uzemljivača i spomenutog polja na površini zemlje.



Sl. 8. Krivulja raspodjele potencijala mreže s brojem polja po stranici $\sqrt{S}/b = 1 \div 16$. Dubina ukapanja $h = 0$

Slijedi da je napon dodira:

$$U_d = \alpha_d U_{uz}\,(V) \ldots\ldots (19)$$

gdje je: U_d napon dodira (V)

α_d — koeficijent napona dodira, koji ovisi o dimenzijama uzemljivača i karakteristikama tla

U_{uz} — napon uzemljivača (V).

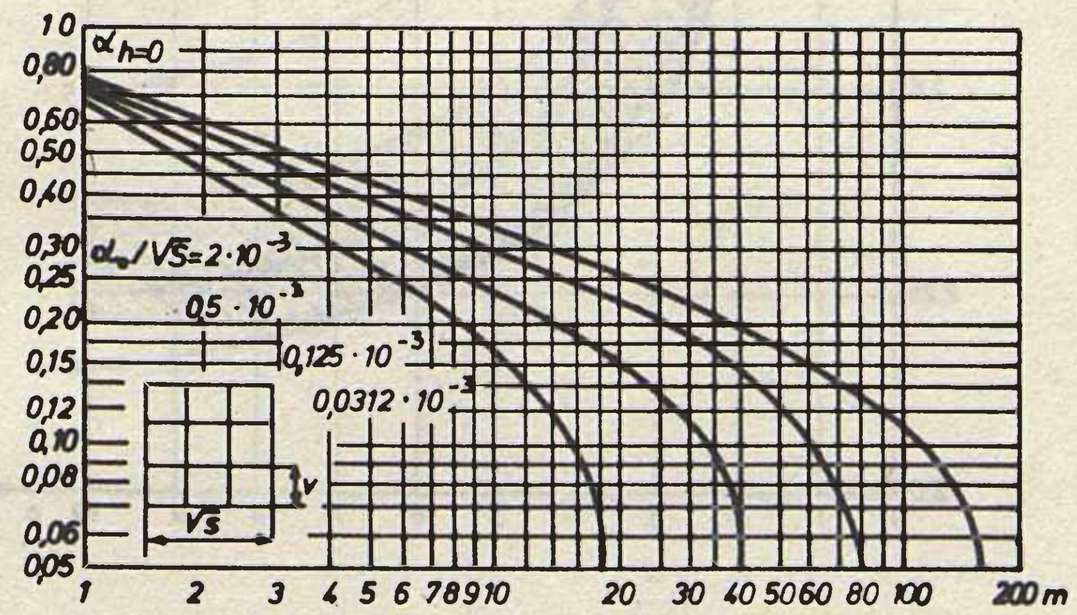
Koeficijent α_d se može izračunati pomoću izraza:

$$\alpha_d = \alpha_{h=0} \cdot \alpha_h \cdot \frac{\rho_{EU}}{\rho_{ER}} \ldots (20)$$

gdje je: $\alpha_{h=0}$ — koeficijent napona dodira u središtu kutnog polja za dubinu polaganja $h = 0$

α_h — koeficijent kojim se uzima u obzir dubina polaganja.

Na slici 9. prikazan je $\alpha_{h=0}$ u ovisnosti o broju polja »m« po stranici mrežastog uzemljivača za različite omjere $do/\sqrt{S}$.



Sl. 9. Koeficijent napona dodira mreže $\alpha_{h=0}$

Maksimalan koeficijent napona dodira javlja se u centru pravokutne horizontalne konture, a može se izračunati pomoću formule (14):

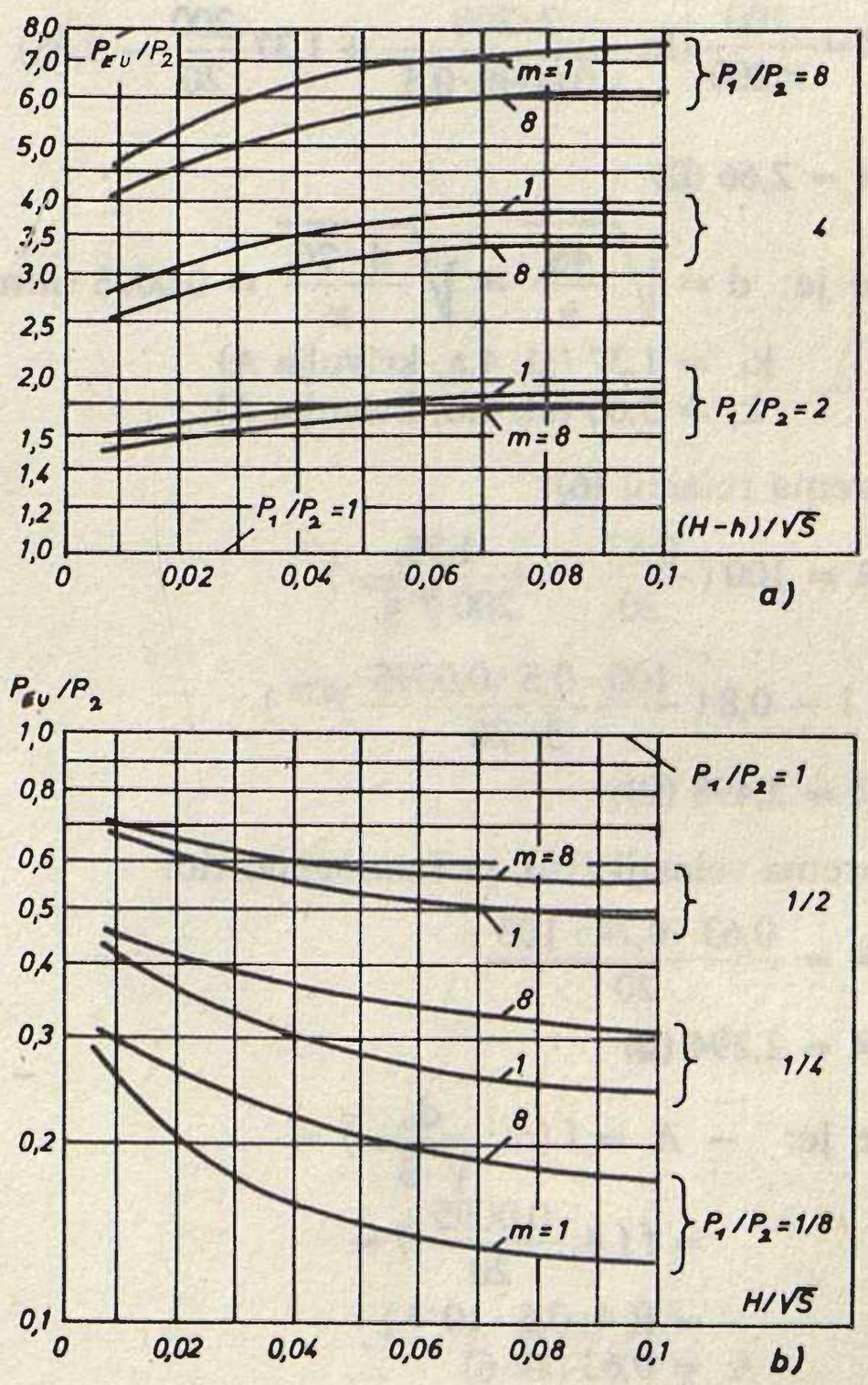
$$\alpha_{dmax} = \frac{\log \frac{\sqrt{S}}{do} - 0{,}25}{\log \frac{\sqrt{S}}{do} + 1{,}27} \ldots (21)$$

U tablici 3 prikazana je ovisnost koeficijenta α_h o dubini ukopavanja $h/\sqrt{S}$.

Tablica 3.

$\frac{h}{\sqrt{S}}$	0,001	0,005	0,01	0,02	0,04	0,08
α_h	0,91	0,84	0,79	0,76	0,72	0,68

Ekvivalentni spec. otpor ρ_{ER} prikazan je na slici 7, a ρ_{EU} na slici 10.



Sl. 10. Ekvivalentni spec. otpor tla ρ_{EU}

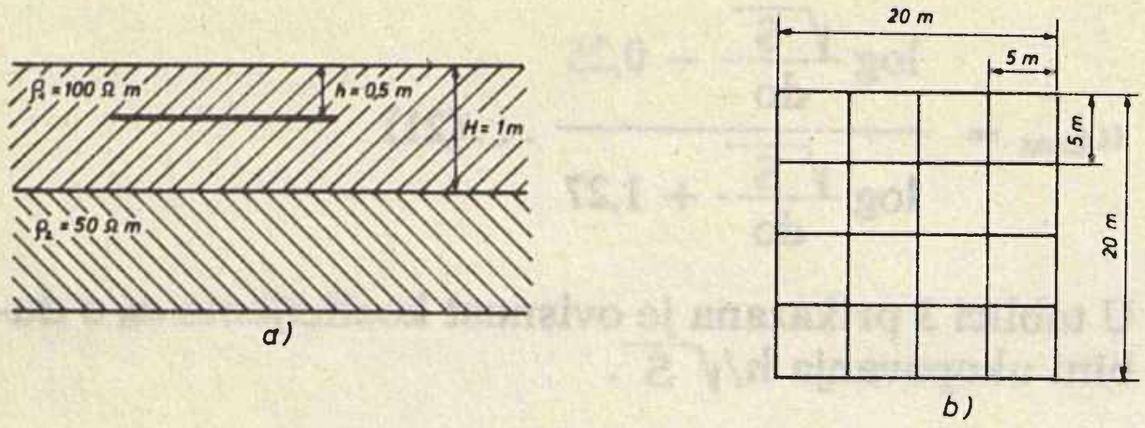
a) $\rho_1/\rho_2 \geq 1$; b) $\rho_1/\rho_2 \leq 1$

2.4. Numerički primjer

Numeričkim primjerom prikazat će se primjenjivost prikazanih formula, kao i metode fizičkog modeliranja na mrežasti pravokutni uzemljivač (sl. 11) od bakrenog užeta poprečnog presjeka $\phi = 70$ mm².

Upotrebom navedenih relacija dobivaju se sljedeće vrijednosti otpora rasprostiranja uzemljivača:

Energija, God. 32/1983/5, 351-358



Sl. 11. Primjer mrežastog pravokutnog uzemljivača:
a) položaj u tlu
b) dimenzije

a) prema relaciji (1)

$$R = 1{,}6\,\frac{100}{80} + 0{,}6\,\frac{100}{200} = 2{,}3\ (\Omega);$$

b) prema relaciji (4)

$$R = \frac{100}{\pi\,200}\left(\ln\frac{2\cdot 200}{\sqrt{0{,}0095\cdot 0{,}5}} + 1{,}37\,\frac{200}{20} - 5{,}65\right)$$

$$R = 2{,}66\ (\Omega)$$

gdje je: $d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4\cdot 70}{\pi}} = 0{,}0095$ (mm)

$k_1 = 1{,}37$ (sl. 4.a, krivulja A)
$k_2 = 5{,}65$ (sl. 4.b, krivulja A);

c) prema relaciji (6):

$$R = 100\left(\frac{0{,}53}{20} + \frac{1{,}75}{200\sqrt[3]{5}}\right)$$

$$\left[1 - 0{,}8\left(\frac{100\cdot 0{,}5\cdot 0{,}0095}{5\cdot 20}\right)^{0{,}25}\right]$$

$$R = 2{,}498\ (\Omega);$$

d) prema relaciji (18), za homogeno tlo:

$$R = \frac{0{,}63\cdot 0{,}74\cdot 100}{20}$$

$$R = 2{,}294\ (\Omega)$$

gdje je: $- A = f\left(m; \frac{d_o}{\sqrt{S}}\right) =$

$$= f\left(4; \frac{0{,}0095}{20}\right) =$$

$$= f(4; 0{,}5\cdot 10^{-3})$$

$A = 0{,}63$ (sl. 6)

$-\Delta_h = f\left(\frac{h}{\sqrt{S}}; m\right) = f(0{,}0025; 4)$

$\Delta_h = 0{,}74$ (sl. 7)

$-\frac{\rho_1}{\rho_2} = 1$ (homogeno tlo); slijedi

$\frac{\rho_{ER}}{\rho_2} = 1$ i $\rho_{ER} = 100\cdot(\Omega_m)$;

e) prema lit. (10), pomoću računala izračunata je točna vrijednost otpora rasprostiranja:

$R = 2{,}41\ (\Omega)$.

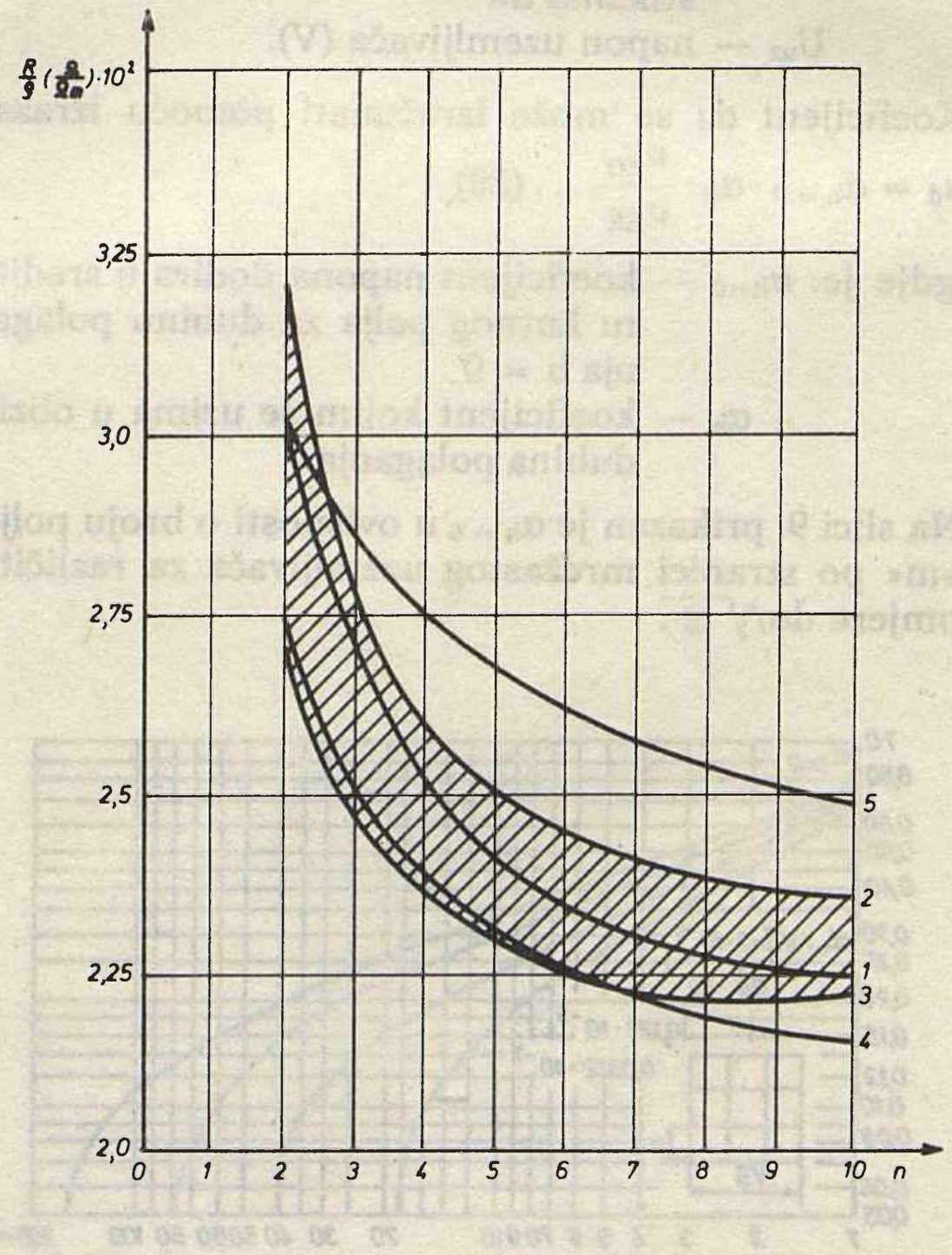
Tabelarni prikaz rezultata dan je u tablici 4.

Tablica 4.

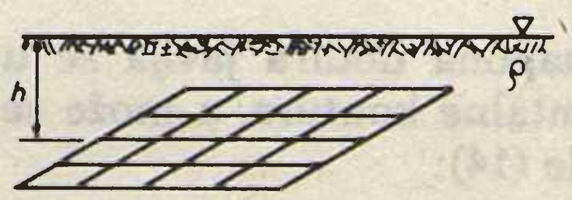
Prikaz dobivenih vrijednosti otpora rasprostiranja uzemljivača

Formula za R	R	$\Delta_{aps.}$	$\Delta_{rel.}$
	Ω	Ω	%
$1{,}6\,\frac{\bar{\rho}}{P} + 0{,}6\,\frac{\rho}{L}$	2,3	−0,11	−4,5
$\frac{\rho}{\pi L}\left(\ln\frac{2L}{\sqrt{d}\cdot h} + K\right)$	2,66	0,25	10,3
$\rho\left(\frac{0{,}53}{\sqrt{S}} + \frac{1{,}73}{L\sqrt[3]{n}}\right)$ $\left[1-0{,}8\left(\frac{100\cdot h\cdot d}{n\cdot\sqrt{S}}\right)^{0{,}25}\right.$	2,498	0,088	3,65
$\frac{A\cdot\Delta h\,\bar{\rho}_{ER}}{\sqrt{S}}$	2,294	−0,116	−4,8
elektroničko računalo	2,41	—	—

Na sl. 12. prikazana je usporedba vrijednosti otpora rasprostiranja mrežastih kvadratnih uzemljivača, dobivenih pomoću razmatranih formula, u ovisnosti o gustoći mreže.



Sl. 12. Proračun otpora rasprostiranja mrežastog horizontalnog uzemljivača



$\sqrt{S} = 20$ m
h = 0,5 m
d = 0,0095 m

Energija, God. 32/1983/5, 351-358.

1. točan proračun na računalu

2. $\frac{R}{\rho} = \left(\frac{0{,}53}{\sqrt{S}} + \frac{1{,}75}{L\sqrt[3]{n}}\right)\left[1 - 0{,}8\left(\frac{100 \cdot h \cdot d}{n \cdot \sqrt{S}}\right)^{0{,}25}\right]$

3. $\frac{R}{\rho} = \frac{A \cdot \Delta h}{\sqrt{S}}$

4. $\frac{R}{\rho} = \frac{1{,}6}{P} + \frac{0{,}6}{L}$

5. $\frac{R}{\rho} = \frac{1}{\pi L}\left(\ln \frac{2L}{\sqrt{h \cdot d}} + K\right)$

B. U nastavku obrade ove tematike prikazat će se za uzemljivač na sl. 18. proračun potencijalne razlike dodira, uz $I_{uz} = 300$ A.

a) Prema relaciji (7) i (8)

$$k_d = 0{,}9 + 0{,}1/\frac{20}{5} - 2{,}5/ + 0{,}0248/20 - 10/^{0{,}72}$$

$$k_d = 1{,}18$$

$$E_d = 1{,}18 \cdot 100\,\frac{300}{200}$$

$$E_d = 177 \text{ (V)}.$$

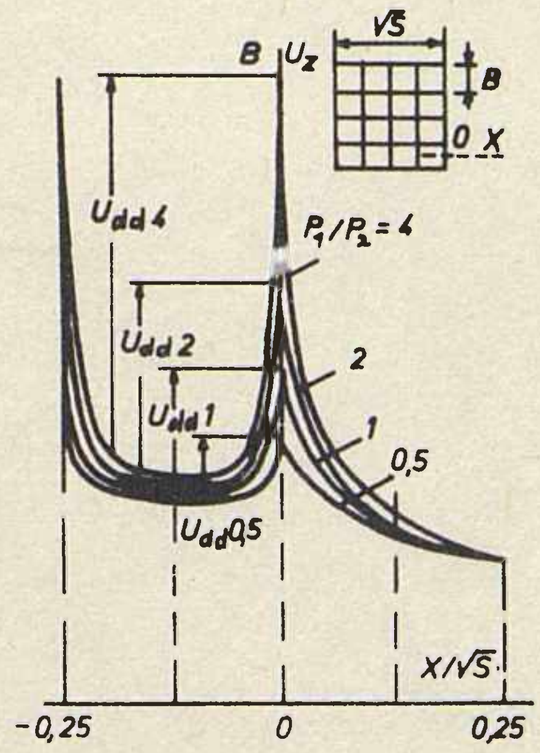
b) Prema relaciji (9), (12) i (13)

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{5^2}{16 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}0095} + \frac{1}{\pi} \ln \left\{ \left[\frac{2 \cdot 3 - 3}{2\,(3-1)}\right] \left[\frac{2 \cdot 4 - 3}{2\,(4-1)}\right] \left[\frac{2 \cdot 5 - 3}{2\,(5-1)}\right] \right\}$$

$$K_m = 0{,}92$$

$$K_{mi} = 0{,}65 + 0{,}172 \cdot 5 = 1{,}51$$

$$E_m = 0{,}92 \cdot 1{,}51 \cdot 100\,\frac{300}{200} = 165{,}5 \text{ (V)}.$$



Sl. 13. Krivulje raspodjele potencijala na površini zemlje u polju mreže s $\sqrt{S}/b = 4$.

Debljina gornjeg sloja zemlje $H = 0{,}05\sqrt{S}$, omjer $\rho_1/\rho_2 = 0{,}5 \div 8$, dubina ukapanja $h = 0$

c) Prema relaciji (19), (20), (sl. 13)
sa sl. 9. slijedi $\alpha_{h=0} = 0{,}39$ iz tablice 4. slijedi $\alpha_h = 0{,}75$
$U_d = 0{,}39 \cdot 0{,}75 \cdot 300 \cdot 2{,}294$
$U_d = 201{,}3$ (V).

3. ZAKLJUČAK

Prikazanim formulama, kojima se proračunavaju karakteristične veličine mrežastih uzemljivača, postižu se vrlo dobri rezultati.

Pri tome treba naglasiti da su proračuni obavljeni za uzemljivač u homogenom tlu, što je samo približno točna pretpostavka.

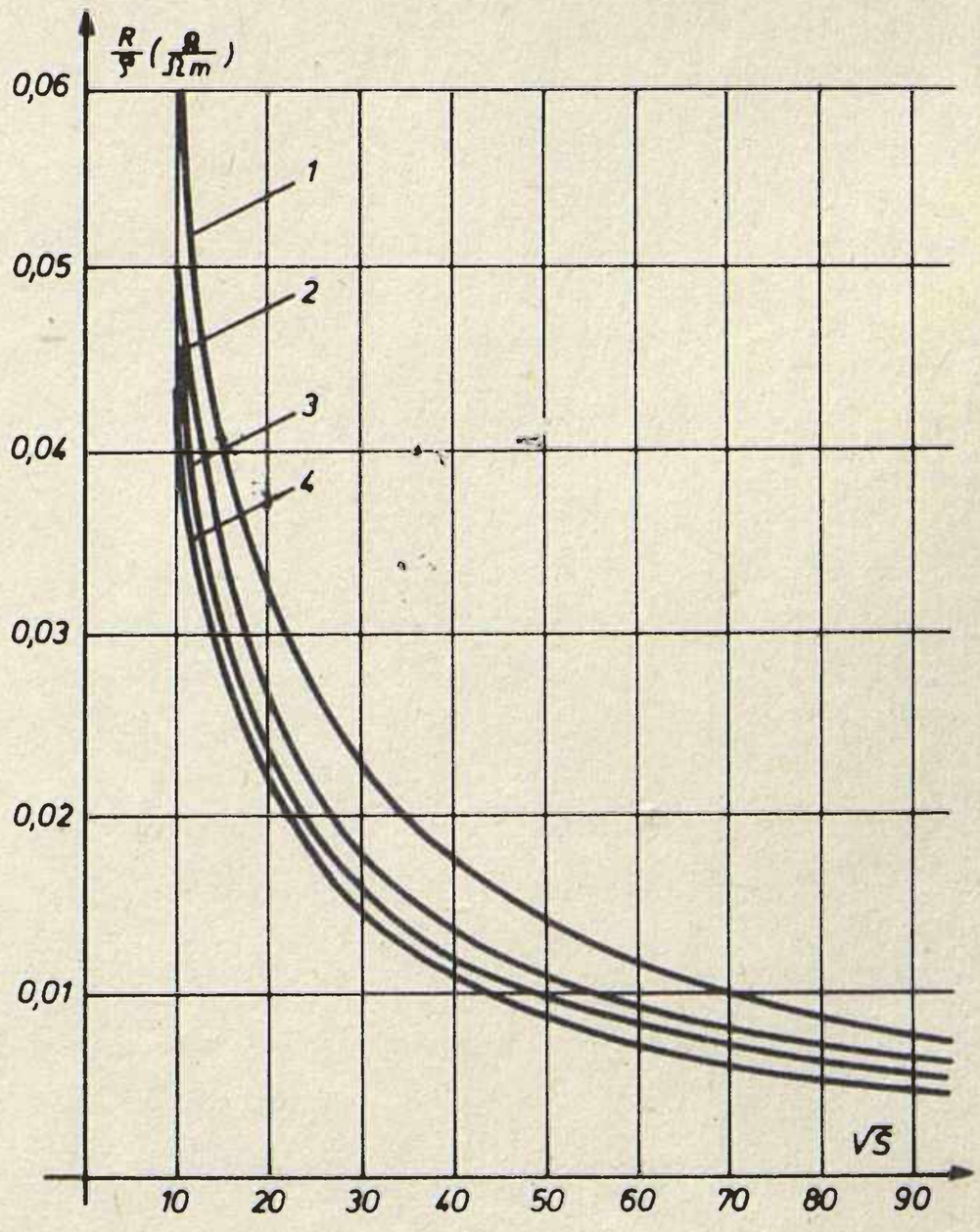
Ako se promatra isti uzemčljivač u dvoslojnom tlu ($\rho_1 \gtrless \rho_2$), primjenom metode fizičkog modeliranja postižu se ove vrijednosti:

$R = 1{,}52\ (\Omega)$ $\quad (\rho_{ER} = 65\ \Omega m)$
$U_d = 166$ (V) $\quad (\rho_{EU} = 81\ \Omega m)$.

Istom je metodom također moguće analizirati i mrežaste uzemljivače s vertikalnim elektrodama.

Na kraju, potrebno je istaknuti, a to i sl. 16. dokazuje, da se bez obzira na to koju formulu primijeniti, otpor rasprostiranja može smanjiti samo do određene granice, i to neovisno o povećanju dimenzija i gustoće mreže.

To je naročito vidljivo na sl. 14.



Sl. 14. Ovisnost otpora rasprostiranja uzemljivača o dimenzijama i gustoći mreže

LITERATURA

[1] Delbianco, L.: *Uzemljivači razdjelnih mreža u uvjetima uzemljenja zvjezdišta preko malog otpora* — mag. rad (u izradi)

[2] Dolin, P. A.: *Osnovi sigurnosne tehnike u električnim postrojenjima* (knjiga na ruskom), Energija 1979.

[3] Rjabkova, E. Ja.: *Proračun uzemljivača* (knjiga na ruskom) MEI 1973.

[4] Nahman, J.: *Uzemljenje neutralne točke distributivnih mreža* Naučna knjiga, Beograd, 1980.

[5] Laurent, P.: *Guide sur le calcul, l'execution et la mesure des prises de terre* RGE, 1972, str. 455-467.

[6] Schwarz: *Resistance of groundig systems* AIEE Trans., III dio, str. 1010-1016, 1954.

[7] Nahman, J.: *Škuletić, S.: Otpornosti rasprostiranja i potencijalne razlike okca mrežastih uzemljivača CIGRE;* Sarajevo, 1979.

[8] *Ieee Guide for safety in substation groundig,* IEEE Std. 80, 1976.

[9] Žutobradić, S. Filipović, B.: *Zaštita od opasnog dodirnog napona u distributivnim mrežama i potrošačkim instalacijama za razne slučajeve tretiranja nul-točke napojne mreže* IE — Zagreb, 1980.

[10] Rjabkova, E. Ja. Voronina, A. A.: *Utjecaj dimenzija uzemljivača na njihov otpor* Električeskije stancii, 1967, br. 3, str. 67-72.

[11] Rjabkova, E. Ja. Voronina, A. A.: *Das stationare Verhalten von Erdern in Hochspannungsanlagen,* DDR — »Energietechnik«, 1969, br. 3, str. 128-130.

[12] Voronina, A. A., Menjšov, M. G., Razevig, D. V. Rjabkova, E. Ja.: *Proračun uzemljivača trafostanica s obzirom na dozvoljen otpor* Električeskije stancii, 1970, br. 2, str. 59-65.

[13] Voronina, A. A.: *Naponi dodira i potencijal složenih uzemljivača u homogenom tlu,* Električestvo, 1969, br. 7, str. 52-56.

KEY WORDS: DISTRIBUTION NETWORK, GROUND CALCULATION OF CONNECTORS MODELING OF CONNECTORS

A METHOD FOR CALCULATION OF GROUND CONNECTION IN DISTRIBUTION NETWORKS

In the article is presented common used ground connection in TS 35/10 20 kV, as well as methods used for aproximate calculation of characteristic values. Special attention is given to the method for ground connection modeling.

BERECHNUNGSMETHODER FÜR ERDERANLAGEN IN MITTELSPANNUNGSVERSORGUNGSNETZEN

Beschrieben werden die häufigst vorkommenden Ausführungen und Dimensionen von Erdungsanlagen in 35/10–/20/ kV Trafostationen und Methoden zur ungefären Berechnung der Kenngrössen derartigen Anlagen.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В работе представлены наиболее часто встречающиеся формы и размеры заземлителей подстанций 35/10(20) кВ, а также методы, применяемые для приближенного расчета их характерных величин.
Одному из указанных методов — методу моделирования заземлителей — уделяется особое внимание.

Naslov pisca:
Luciano Delbianco
RO »Elektroistra«
52000 Pula, Vergirijeva 10

Uredništvo primilo rukopis
1983–01–26





MODELIRANJE VANJSKIH MREŽA ZA »ON-LINE« OBRADE DISPEČERSKOG CENTRA

Milan Bobetko, Zagreb

UDK 621.315 : 621.316

PREGLEDNI RAD

Budući da dispečarski centar (DC) nadgledava određenu mrežu (regionalnu ili nacionalnu), obrade realnog proširenog vremena odnose se na tu mrežu, pa je nužno poznavati utjecaj dijela s kojim je nadgledana mreža povezana. To poznavanje naročito je važno kod analiza sigurnosti nadziranog sistema.

U ovom referatu prikazan je način modeliranja vanjskih mreža za »ON-LINE« potrebe DC-a.

Ključne riječi: električna mreža, ekvivalentiranje mreže, dispečing.

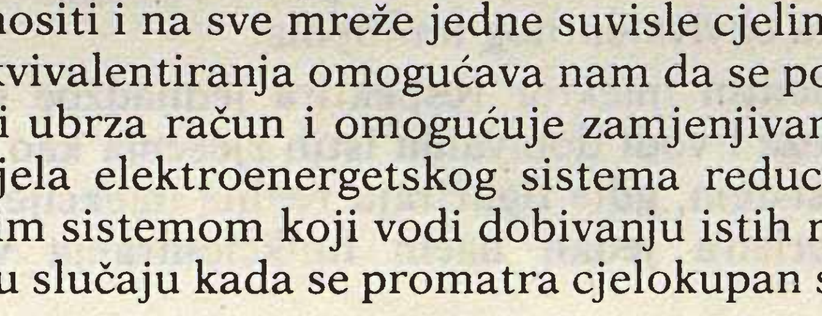
1. UVOD

Zbog sve veće međusobne povezanosti elektroenergetskih sistema teško je odvojeno kontrolirati samo dio sistema, a da se ne uzmu u obzir utjecaji koje vrše dijelovi kojima je kontrolirani sistem povezan. Bez spomenute spoznaje bilo bi nemoguće vršiti analize sigurnosti. Analize sigurnosti (simuliranje ispada jednog generatora ili linije) ne mogu se ograničiti samo na kontroliranu mrežu, već se one moraju teoretski odnositi i na sve mreže jedne suvisle cjeline. Tehnika ekvivalentiranja omogućava nam da se pojednostavni i ubrza račun i omogućuje zamjenjivanje jednog dijela elektroenergetskog sistema reduciranim fiktivnim sistemom koji vodi dobivanju istih rezultata kao u slučaju kada se promatra cjelokupan sistem.

Dosad je najviše poznat ekvivalent pod nazivom WARDOV ekvivalent (L1). Sve novije metode ekvivalentiranja uglavnom se više ili manje baziraju na tome ekvivalentu.

2. WARDOV EKVIVALENT

Pretpostavimo da postoji električna mreža kod koje razlikujemo dva područja — unutarnje i vanjsko, odnosno konvencionalno nazvano regionalno i eksterno.



Slika 1.

Unutarnji dio je direktno kontroliran, odnosno proučavan u studijama. Vanjski dio pojavljuje se kao nužna posjedica jednadžbi mreža, pa nas zanima samo kao ekvivalent koji omogućava dobivanje istih rezultata kao u slučaju kad se proučava kompletni sistem.

Jednadžbe mreže pisane u matičnoj formi glase:

$$YV = I \tag{1}$$

gdje je:

Y = matrica admitancija čvorova

V = vektor napona u čvorovima

I = vektor injektirane struje u čvoru.

Sistem (1) može se napisati u formi jednog sistema od dvije jednažbe. Pri tome se mora voditi briga o pripadnosti čvorova vanjskoj odnosno unutarnjoj mreži.

$$\begin{vmatrix} Y_{EE} & Y_{ER} \\ Y_{RE} & Y_{RR} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} V_E \\ V_R \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} I_E \\ I_E \end{vmatrix} \tag{2}$$

$$\begin{cases} Y_{EE} \cdot V_E + Y_{ER} \cdot V_R = I_E \\ Y_{RE} \cdot V_E + Y_{RR} \cdot V_R = I_R \end{cases} \tag{3}$$

Indeksi E i R označavaju pripadnost pojedinom dijelu mreže. Grupni indeksi RE i EE karakteriziraju podmatrice međusobne povezanosti čvorova smještenih u različitim područjima, a indeksi RR i EE podmatrice unutarnje, odnosno vanjske mreže. Da bi se smanjila veličina početnog sistema predstavljenog sistemom jednadžbi (1), neophodno je poništiti injekcije u vanjskoj mreži i njih zamijeniti jednim ekvivalentnim injektorom. To je moguće ako se modificiraju naponi u čvorovima u kojima želimo anulirati injekcije.

Ako postoji fiktivan plan napona primijenjen na skup čvorova vanjske mreže takav da je

$$V'_E = V_E - Y_{EE}^{-1} \cdot I_E \tag{4}$$

jednadžbe sistema (3) prelaze u sljedeću formu:

$$\begin{cases} Y_{EE} \cdot V'_E + Y_{ER} \cdot V_R = 0 \\ Y_{RE} \cdot V'_E + Y_{RR} \cdot V_R = I_R + J \end{cases} \tag{5}$$

gdje je
$J = -Y_{RE} \cdot Y_{EE}^{-1} \cdot I_E$ . . (6) vektor ekvivalentnih injekcija (ekvivalentni injektor) svih injekcija vanjskih čvorova. Njegova primjena je korisna zbog toga što on reducira vanjsku mrežu u stanje pasivne mreže, gdje su sve injekcije jednake nuli.

Eliminiranjem napona V_E' u jednadžbi (5) dobivamo ovaj izraz:

$$(-Y_{RE} \cdot Y_{EE}^{-1} \cdot Y_{ER} + Y_{RR}) \cdot V_R = I_R + J \qquad (7)$$

gdje je:

$$W = -Y_{RE} \cdot Y_{EE}^{-1} \cdot Y_{ER} \qquad (8)$$

ekvivalentni multipol.

W je jedna matrica admitancije koja predstavlja eliminiranu mrežu, odnosno izraz (7) možemo pisati u obliku:

$$Y'_{RR} \cdot V_R = I'_R \qquad (9)$$

gdje je:

$$Y'_{RR} = Y_{RR} + W_{RR} \qquad (10)$$

$$I'_R = I_R + J_R \qquad (11)$$

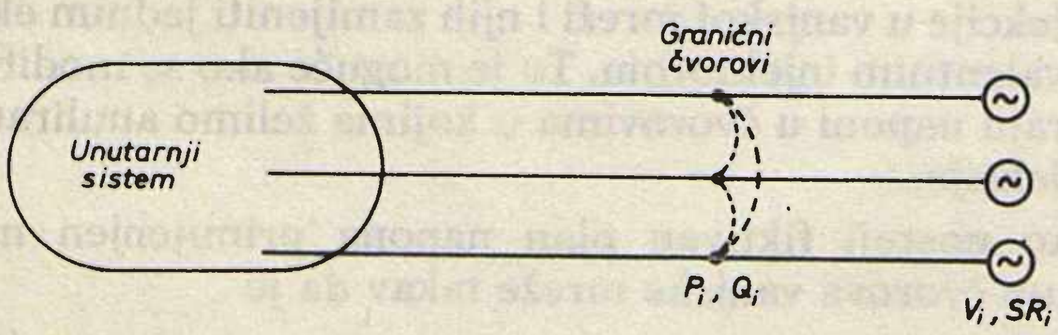
Iz izraza (9) vidi se da smo dobili jedan reducirani sistem dimenzija unutarnje mreže, čemu smo i težili.

3. PROŠIREN WARDOV EKVIVALENT

Wardov ekvivalent je korektan ako se injekcije vanjskih čvorova odnose kao izvori konstantne struje, bez obzira na to kakav je režim rada unutarnje mreže. Poznato je da realne mreže nikada ne ispunjavaju taj zahtjev. Prema tome, iz prednjega slijedi da klasični Wardov ekvivalent ne može poslužiti kao ekvivalentni model vanjske mreže u slučaju gubitka proizvodnje i u slučaju poremećaja naponskog stanja mreže.

Taj problem (L2) pokušava se razriješiti na više načina. Prošireni Wardov ekvivalent može se dobiti uvođenjem fiktivnih generatora u klasični model (L3). Ovi generatori imaju u normalnom režimu rada aktivnu snagu nula i regulirajuću snagu koja je različita od nule u slučaju deficita proizvodnje. Osim toga, pretpostavlja se da su ti generatori u stanju držati konstantan napon na svojim stezaljkama.

Prošireni ekvivalent možemo shematski prikazati:



Slika 2.

Pi je injekcija radne snage u čvoru i
Qi je injekcija reaktivne snage u čvoru i
Vi je konstantan napon pridružena čvoru i
SRi je regulirajuća snaga pridružena čvoru i.

U takvim slučajevima granični čvorovi se tretiraju kao čvorovi u kojima su injekcije snaga fiksne.

4. RAČUNANJE EKVIVALENTNOG INJEKTORA »ON-LINE«

U prethodnom izlaganju smo prikazali na koji se način može jedan dio mreže zamijeniti fiktivnim sistemom, koji omogućava dobivanje istih rezultata kao kad se promatra cjelokupni sistem.

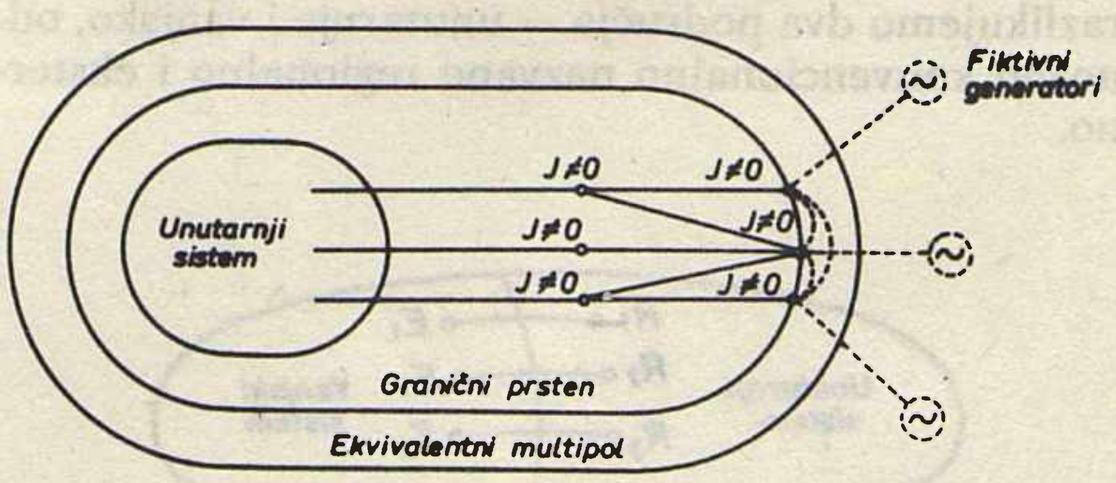
Pri tome se uvijek mora imati na umu da ekvivalentni injektor ovisi o injekcijama, prema tome o proizvodnji i potrošnji svakog čvora vanjske mreže, za razliku od ekvivalentnog multipola koji ovisi o topologiji vanjskih mreža, pa je zato stabilnijeg karaktera.

Da bismo izbjegli stalna preračunavanja ekvivalentnog multipola zbog promjene topologije vanjske mreže, moguće je očuvati, odnosno direktno uzeti u obzir, realnu mrežu koja je blizu unutarnje mreže. Ovu zonu nazivamo graničnim prstenom (L3).

Promjena topologije graničnog prstena uzima se direktno u obzir (telesignalizirano ili ručno), kao i svaka promjena unutarnje mreže. Ekvivalentni multipol računa se za udaljene mreže, mreže izvan graničnog prstena. Na taj način zakašnjenja u preračunavanju ekvivalentnog multipola ne dovode do značajnijih pogrešaka u proračunima koji se vrše na unutarnjoj mreži, odnosno promjena sheme udaljene mreže uzima se u obzir u slučaju značajnijih promjena karakteristika ekvivalentnog multipola.

Ekvivalentni injektor respektira jednadžbe unutarnje mreže i vodi dobivanju istih rješenja kao i kompletni sistem, gdje figuriraju realne injekcije I_E. On karakterizira jedan način funkcioniranja vanjske mreže.

Prikazivanjem mreže pomoću graničnog prstena i ekvivalentnog multipola možemo ekvivalentni injektor računati na nivou čvorova graničnog prstena, koji su povezani s unutarnjom mrežom (slika 3). Ekvivalentni injektor ima komponente različite od nule samo u onim čvorovima koji su povezani s unutarnjom mrežom.

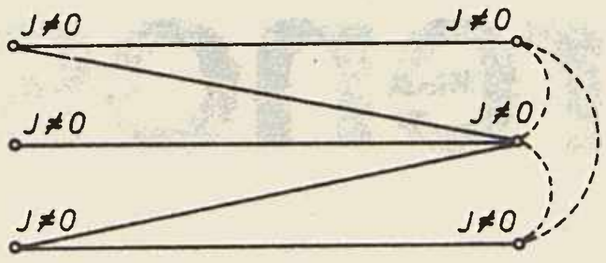


Slika 3.

Kod daljinskog vođenja EES računalo neprekidno prima mjerenja iz onog dijela mreže koji je nadgledan. Program za procjenu stanja filtrira skup primljenih mjerenja i preračunava električno stanje

mreže u stanje koje je najbliže realnom stanju. Program za procjenu stanja može procijeniti napone graničnih čvorova (modul i kut) ako je unutarnja mreža premjerljiva i ako se mjere tranziti od graničnih čvorova (u linijama razmjene) (L4).

Poznavajući te napone, lako je odrediti napone u vanjskim čvorovima koji su susjedni čvorovi graničnim čvorovima i vrijednosti injekcija u graničnim čvorovima (slika 4).



Slika 4.

Granični čvorovi
— naponi poznati
— injekcije nepoznate

Udaljeni čvorovi
— napon nepoznat
— injekcije su nule

5. ZAKLJUČAK

U članku je prikazan jedan način ekvivalentiranja vanjskih mreža koji nam omogućava smanjenje ukupne mreže (čvorovi i linije) i dobivanje istih rezultata kao kad se promatra ukupni sistem.

Važno je napomenuti da prikazani principi vrijede kako za »ON-LINE« obrade, tako i za »OF-LINE« obrade. Pri tome se jedino mora voditi briga o dimenzijama matrice administracije vanjskih mreža kod računanja ekvivalentnih injektora i ekvivalentnih multipola.

LITERATURA

[1] Ward, J. P.: *Equivalent Circuits for Power Flow Studies* A I EE TRANS, od 68, 1949, str. 373-382.

[2] Monticelli, A., Ceckmann, S. Garcia, A. i Stott, B.: *Real time external equivalent for static security analysis* IEEE TRANS PAS, Vol 98, March/April 1979. str. 498-508.

[3] LE ROY: *Determination de multipole equivalent dokumentacija E. D. F.*

[4] Kontić, B.: *Detekcija i indentifikacija u procesu procjene stanja EES-a u realnom vremenu.* *III Simpozij o upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije,* Cavtat 1980.

KEY WORDS: ELECTRICAL NETWORK, EQUIVALENT NETWORK, DISPATCHING

NETWORK MODELING FOR »ON-LINE« DISPATCHING

As dispatching centar surveys a particular network/ a regional or national/ and calculation in real time is performed for that network, it is necessary to know impacts of connected networks. It is especially important for safety analyses of observed system.

DIE MODELLIERUNG VON ÜBERLANDNETZEN FÜR DIE »ONE-LINE« BEARBEITUNG IN LASTVERTEILERN

Nachdem über einen Lastverteiler nur ein bestimmter /regional oder national/ begrenzter Netzbereich erfasst wird, bezieht sich auch die Bearbeitung der erweiterten Realzeit nur auf diesen Bereich. Es ist jedoch unbedingt notwendig, auch die Einflüsse der angeschlossenen benechbarten Netze zu kennen. Diese Unterlagen sind ausserordentlich wichtig für die Bearbeitung der Netzverhältnisse des eigenen Verbundsystems.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕШНИХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТОК В ХОДЕ РАБОТЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО ЦЕНТРА

Поскольку диспетчерский центр осуществляет надзор определенной сети (регияональной или национальной) для обработок в ходе работы, относящихся к этой сети, необходимо знать влияние той части сети, с которой связана данная сеть. Это знание особенно важно при анализах надежности надзираемой электроэнергетической системы.

Naslov pisca:

Milan Bobetko, dipl. ing.
ZEOH — Zagreb
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukopis
1983—02—11

ELEKTROPRIVREDA ZAGREB

OOUR **Elektroprenos**

ZAGREB

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti:
prijenos električne energije, izraduje studije, razvoj i projektiranje, izgradnju i nadzor izgradnje elektroprijenosnih postrojenja i telekomunikacionih uređaja, te svojim vozilom marke

Kaelble

i prikolicom

Scheuerle

prevozi teški teret do 120 tona.

OOUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB
Proleterskih brigada 37 - Tel.: 513-822 i 511-455

METODA PREDVIĐANJA KRIVULJE TRAJANJA OPTEREĆENJA

Dr Goran Granić i mr Damir Pešut, Zagreb

UDK 621.3.052.
ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu je razvijen postupak za predviđanje tjedne ili mjesečne krivulje trajanja opterećenja. Za predviđanje pojedinih parametara krivulje trajanja opterećenja primjenjuje se metoda eksponencijalnog izgladivanja. Faktori izgladivanja određuju se gradijentnom metodom.

Ključne riječi: opterećenje, krivulje trajanja, metoda predviđanja.

1. UVOD

U svim elektroenergetskim analizama u kojima je jedinični vremenski period veći od 24 sata za opisivanje karakteristika potrošnje električne energije koristi se krivulja trajanja opterećenja. Dok je predviđanje potrošnje i maksimalnog opterećenja relativno jednostavan zadatak, predviđanje krivulje trajanja opterećenja je složen zadatak jer ono uključuje osim predviđanja potrošnje i maksimalnog opterećenja i predviđanje konstantnog opterećenja i vremenskog trajanja opterećenja.

Metoda za predviđanje krivulje trajanja opterećenja temelji se na aproksimaciji krivulje trajanja opterećenja s tri pravca, odnosno na ostvarenjima krivulje trajanja opterećenja u prošlosti i projekciji zakonitosti ostvarenja u prošlosti za buduće razdoblje.

Za predviđanje pojedinih parametara krivulje trajanja opterećenja koristi se metoda eksponencijalnog izgladivanja poznata u literaturi kao Generalized Exponential Smoothing Method. Faktori izgladivanja određuju se gradijentnom metodom.

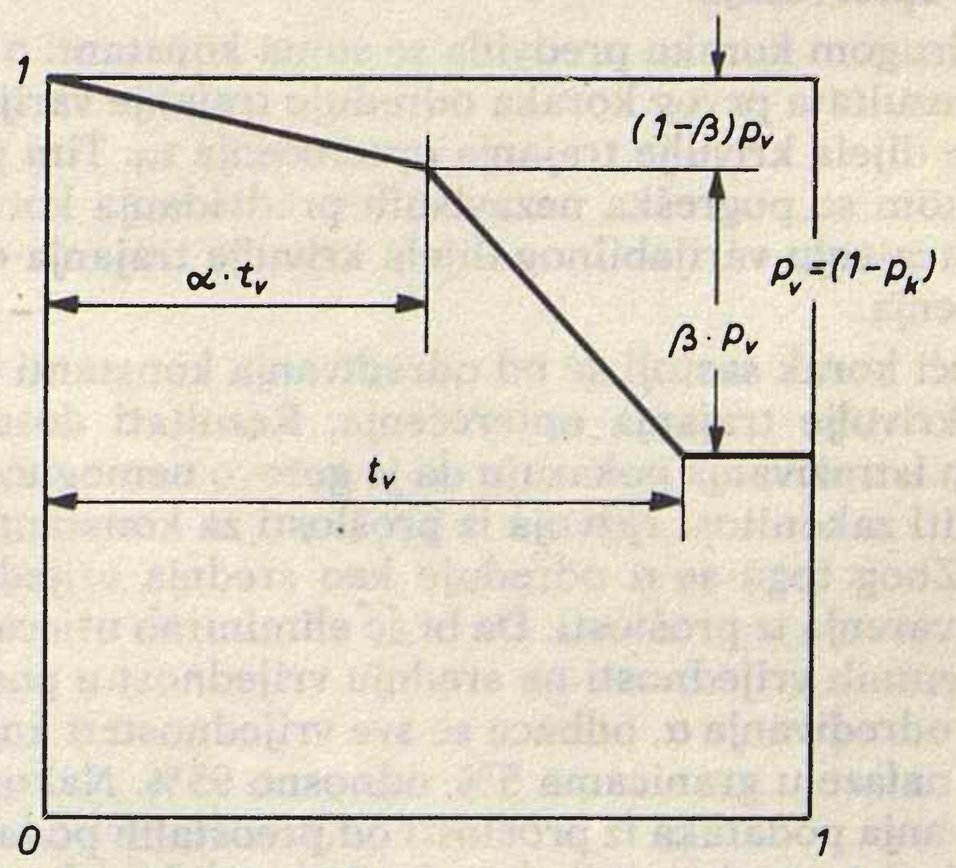
2. METODA PREDVIĐANJA KTO

2.1. Osnovni postupak predviđanja

Oblik krivulje trajanja opterećenja u funkciji je razvoja elektroenergetskog sustava i ukupnog razvoja društva. Naime, razvojnim planovima društva određuje se razvoj elektroenergetskog sustava i struktura potrošnje električne energije, koja ima direktan utjecaj na oblik krivulje trajanja opterećenja. Osim toga, razvojem društva mijenjaju se mogućnosti i navike u potrošnji električne energije, što se također odražava na oblik krivulje opterećenja. Iz toga proizlazi da oblik krivulje trajanja opterećenja nije samo u funkciji porasta potrošnje, već da ima i određenu vremensku zakonitost koja je samo djelomično u funkciji porasta potrošnje, a većim dijelom u funkciji ostalih promjena u elektroenergetskom sustavu i društvu u cjelini.

Da bi se isključio utjecaj porasta potrošnje, svi parametri krivulje trajanja opterećenja promatraju se u relativnim iznosima. To se odnosi na:

- udio tjedne ili mjesečne potrošnje električne energije u godišnjoj potrošnji w_j
- tjedni ili mjesečni faktor opterećenja m_j
- relativno konstantno (tjedno i mjesečno) opterećenje p_{kj}
- relativno trajanje varijabilnog opterećenja t_{vj}
- konstanta α_j i β_j koje opisuju položaj pravaca u varijabilnom dijelu krivulje trajanja opterećenja
- relativno trajanje vremenske jedinice (tjedna ili mjeseca) $T = 1$.



Sl. 1. Krivulja trajanja opterećenja

U tako opisanoj krivulji trajanja opterećenja (preko relativnih vrijednosti), kao što je prikazano na sl. 1, površina ispod krivulje trajanja opterećenja odgovara vrijednosti faktora opterećenja m_j. Budući je trajanje promatrane vremenske jedinice jednako 1, konstanta potrošnje jednaka je relativnom konstantnom opterećenju p_{kj}. Varijabilni dio potrošnje može se

odrediti ako se poznaje faktor opterećenja m_j i konstantno opterećenje p_{kj}.

$$w_{vj} = m_j - p_{kj} \qquad (1)$$

$$\text{za } j = 1,2 \ldots\ldots L$$

Varijabilni dio krivulje trajanja opisan je s dvama pravcima prema sl. 1. i pripadajuća potrošnja može se također izračunati upotrebom izraza

$$w_{vj} = \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cdot t_{vj} \cdot p_{vj} \qquad (2)$$

$$\text{za } j = 1, 2 \ldots\ldots L$$

gdje je p_{vj} — relativno varijabilno opterećenje koje uz poznato konstantno opterećenje iznosi

$$p_{vj} = 1 - p_{kj}$$

Izjednačavanjem izraza (1) i (2) dobije se da je

$$(\alpha + \beta) \cdot t_{vj} = 2 \cdot \frac{m_j - p_{kj}}{1 - p_{kj}} \qquad (3)$$

$$\text{za } j = 1, 2 \ldots L$$

i izraz (3) određuje međupovezanost parametara krivulje trajanja opterećenja.

Da bi se zadovoljio izraz (3), nemoguće je nezavisno predviđati ove parametre, već je potrebno postupak predviđanja provoditi postupno (korak po korak), vodeći brigu o jednakosti postavljenoj u izrazu (3).

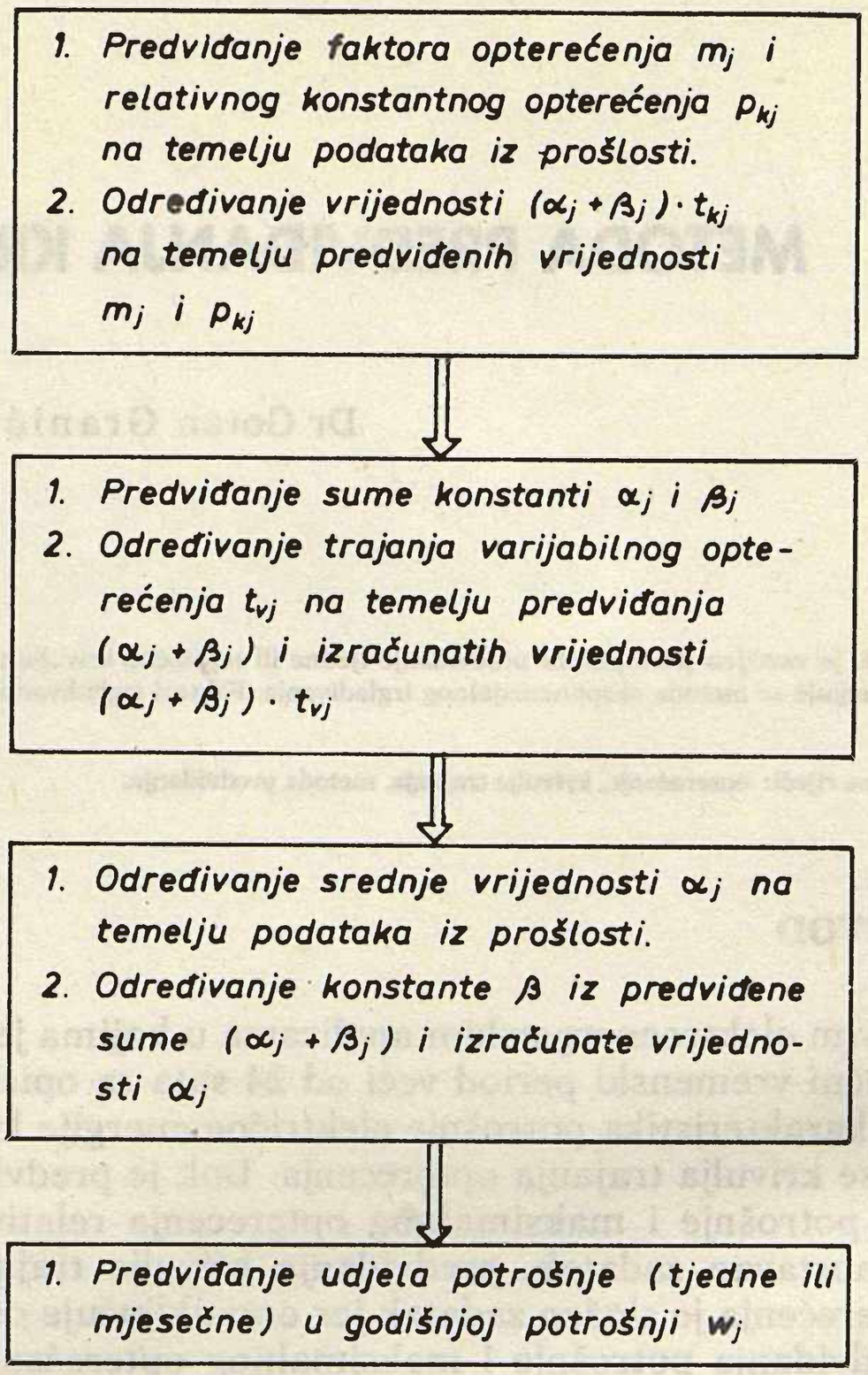
Prvi korak sastoji se u predviđanju faktora opterećenja m_j i konstantnog opterećenja p_{kj}. Poznavajući ta dva parametra krivulje trajanja opterećenja, prema izrazu (3) može se za svaki vremenski interval j odrediti odgovarajuća vrijednost $(\alpha + \beta) \cdot t_{vj}$ koja opisuje na neki način varijabilnu potrošnju u krivulji trajanja opterećenja.

U drugom koraku predviđa se suma konstanti α i β i iz rezultata prvog koraka određuje trajanje varijabilnog dijela krivulje trajanja opterećenja t_{vj}. Tim postupkom se pogreška nezavisnih predviđanja korigira na trajanju varijabilnog dijela krivulje trajanja opterećenja.

Treći korak sastoji se od određivanja konstanti α i β iz krivulje trajanja opterećenja. Rezultati dosadašnjih istraživanja pokazuju da je gotovo nemoguće uhvatiti zakonitost razvoja iz prošlosti za konstante α i β. Zbog toga se α određuje kao srednja vrijednost ostvarenja iz prošlosti. Da bi se eliminirao utjecaj ekstremnih vrijednosti na srednju vrijednost u postupku određivanja α, odbace se sve vrijednosti α koje se ne nalaze u granicama 5%, odnosno 95%. Nakon filtriranja podataka iz prošlosti od preostalih podataka odredi se srednja vrijednost α_j koja predstavlja predviđenu vrijednost konstante α_j. Konstanta β dobije se iz predviđene sume konstanti $(\alpha_j + \beta_j)$ i izračunate konstante α_j.

Četvrti korak proračuna je predviđanje udjela tjedne ili mjesečne potrošnje električne energije w_j.

S predviđanjem udjela tjedne ili mjesečne potrošnje u godišnjoj potrošnji zaokruženo je predviđanje parametara KTO. Na temelju izračunatih parametara moguće je za bilo koju potrošnju električne energije



Sl. 2. Blok-dijagram postupka predviđanja parametara krivulje trajanja opterećenja

odrediti raspodjelu potrošnje po tjednima i mjesecima i ostale karakteristične vrijednosti KTO koje su potrebne u elektroenergetskim analizama.

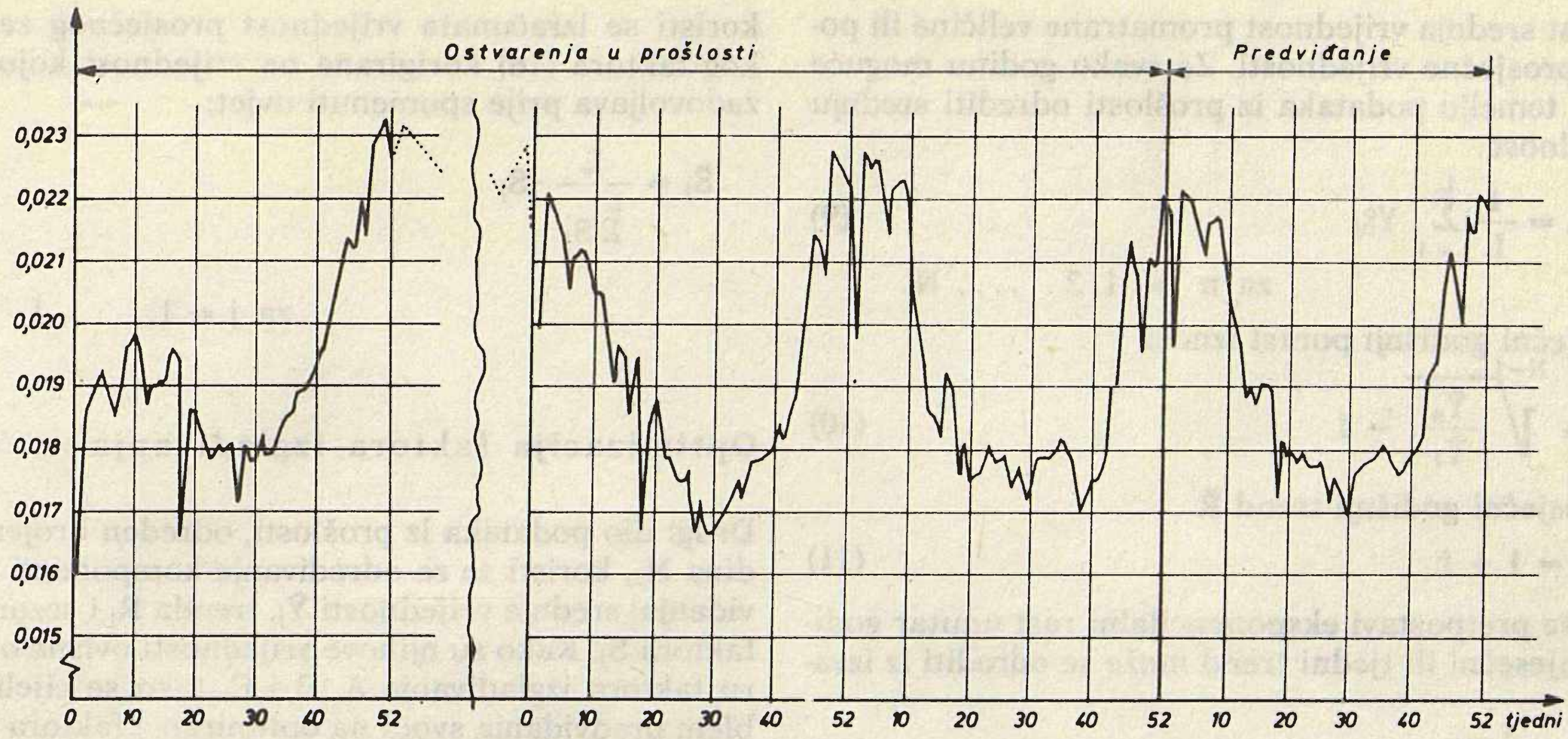
2. 2. Predviđanje parametra krivulje trajanja opterećenja metodom eksponencijalnog izglađivanja

Predviđanjem su, kako je to već prije navedeno, obuhvaćena četiri parametra koji opisuju krivulju trajanja opterećenja:

- faktor opterećenja m_j
- relativno konstantno opterećenje p_{kj}
- suma konstanti α_j i β_j
- udio tjedne ili mjesečne potrošnje u godišnjoj potrošnji električne energije w_j.

Sva četiri parametra predviđaju se na temelju istog niza podataka iz prošlosti. Kako je to problem vremenskih nizova, ostvarenja promatranih parametara ponavljaju se iz godine u godinu prema istim zakonitostima, za predviđanje je upotrijebljena metoda eksponencijalnog izglađivanja koja omogućava predviđanje vremenskih nizova.

Vremenski nizovi ovih četiriju parametara pretpostavljaju postojanje sezonske komponente koja daje osnovu zakonitosti ostvarenja unutar jedne godine i koja se ponavlja iz godine u godinu (sl. 3). Osim toga,



Sl. 3. Zakonitost promjene tijekom godine (godina) jednog od parametara tjedne krivulje trajanja opterećenja

kako su promjene parametara koje opisuju KTO u funkciji razvoja elektroenergetskog sustava, sastavni dio vremenskih nizova je i porast, odnosno trend. Osnovni izraz za predviđanje parametara krivulje trajanja opterećenja metodom eksponencijalnog izglađivanja glasi:

$$Y_j = \tilde{Y}_j \cdot R_j \cdot S_j - L \qquad (4)$$

$$\text{za } j = 1, 2, \ldots L$$

gdje je Y_j — predviđena vrijednost jednog od parametara a odnosi se na: m_j, p_{kj}, $(\alpha_j + \beta_j)$ i w_j

$\tilde{Y}_j$ — srednja vrijednost

R_j — trend

S_j — sezonski faktor.

(1) Srednja vrijednost $\tilde{Y}_j$ određuje se prema izrazu:

$$\tilde{Y}_j = A \cdot Y_j^o / S_{j-L} + (1 - A) \cdot \tilde{Y}_{j-1} \cdot R_j \qquad (5)$$

gdje je A — faktor izglađivanja srednje vrijednosti, $0 \leq A \leq 1$.

Y_j^o — ostvarenje.

(2) Sezonski faktor S_j određuje se prema relaciji:

$$S_j = B \cdot Y_j^o / \tilde{Y}_j + (1 - B) \cdot S_{j-L} \qquad (6)$$

gdje je B — faktor izglađivanja sezonske komponente $0 \leq B \leq 1$.

(3) Izraz za trend glasi:

$$R_j = C \cdot \tilde{Y}_j / \tilde{Y}_{j-1} + (1 - C) \cdot R_{j-1} \qquad (7)$$

gdje je C — faktor izglađivanja trenda $0 \leq C \leq 1$.

Metode predviđanja eksponencijalnim izglađivanjem sastoje se u tome da se optimiranjem faktora izglađivanja A, B i C minimizira pogreška predviđanja u odnosu na ostvarenja u prošlosti.

$$e = Y_j^o - Y_j \rightarrow \min. \qquad (8)$$

Predviđanje eksponencijalnim izglađivanjem temelji se na podacima iz prošlosti. Broj podataka određen je sa:

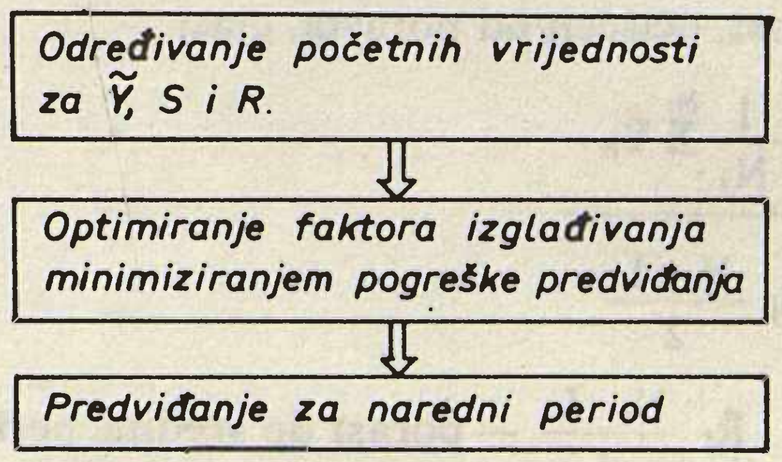
N — broj godina na temelju kojih će se izvršiti predviđanje

L — broj vremenskih intervala u godini.

Prema postupku predviđanja period u prošlosti može se podijeliti u dva dijela:

— period zalijetanja ograničen s N_1 godina

— period optimizacije ograničen s N_2 godina.



Sl. 4. Blok-dijagram postupka predviđanja metodom eksponencijalnog izglađivanja

Na temelju podataka iz perioda zalijetanja (N_1) — određuju se početne vrijednosti za srednju vrijednost $\tilde{Y}_j$, sezonski faktor S i trend R.

Drugi se korak sastoji u optimiranju faktora izglađivanja A, B i C minimiziranjem pogreške predviđanja. Optimiranje faktora izglađivanja vrši se gradijentnom metodom i podacima iz drugog perioda N_2.

Treći dio postupka predviđanja jest predviđanje za iduće razdoblje koje se započinje nakon završetka optimizacije i proračuna vrijednosti $\tilde{Y}_j$, S_j i R_j.

Početne vrijednosti

Početni trend može se odrediti na temelju podataka iz perioda zalijetanja (N_1) ili cijelog niza podataka. Realnije je da se početni trend odredi na temelju dužeg niza podataka (N). Osnova za određivanje tren-

da jest srednja vrijednost promatrane veličine ili porast prosječne vrijednosti. Za svaku godinu moguće je na temelju podataka iz prošlosti odrediti srednju vrijednost

$$\bar{Y}_n = \frac{1}{L}\sum_{j=1}^{L} Y^o_{nj} \qquad (9)$$

$$\text{za } n = 1, 2 \ldots\ldots, N$$

Prosječni godišnji porast iznosi

$$\bar{r} = \sqrt[N-1]{\frac{\bar{Y}_n}{\bar{Y}_1}} - 1 \qquad (10)$$

a prosječni godišnji trend $\bar{R}$

$$\bar{R} = 1 + \bar{r} \qquad (11)$$

Ako se pretpostavi eksponencijalni rast unutar godine, mjesečni ili tjedni trend može se odrediti iz izraza

$$\bar{R}_j = \sqrt[L]{\bar{R}} \qquad (12)$$

a tako određeni trend predstavlja početni trend za optimizaciju faktora izgladivanja A, B i C.

Srednja vrijednost izračunava se iz izračunate srednje vrijednosti (izraz 9), ali samo za period N_1.

$$\bar{Y} = \frac{1}{N_1}\sum^{N_1} \bar{Y}_n \qquad (13)$$

Budući je u tako određenu srednju vrijednost uključen i porast, potrebno je srednju vrijednost normalizirati, tj. isključiti utjecaj porasta. Izraz za srednju vrijednost, očišćen od porasta, glasi

$$\bar{Y} = \frac{\frac{1}{N_1}\sum^{N_1} \bar{Y}_n}{\bar{R}_j \frac{N_1 \cdot L}{2}} \qquad (14)$$

gdje je $\bar{R}_j \frac{N_1 \cdot L}{2}$ — porast do sredine perioda zalijetanja.

Početne vrijednosti sezonskih faktora određuju se na temelju usporedbe ostvarenja i predviđanja preko prosječnih vrijednosti $\bar{Y}$ i prosječnog trenda $\bar{R}_j$:

$$S_{nj} = \frac{Y^o_{nj}}{\bar{Y}} \cdot \bar{R}_j^{(n-1)\cdot L + j} \qquad (15)$$

$$\text{za } n = 1, 2, \ldots, N_1$$
$$\text{za } j = 1, 2, \ldots, L$$

Da bi se eliminirao utjecaj porasta, određuje se srednja vrijednost sezonskih faktora:

$$S_j = \frac{1}{N_1}\sum^{N_1} S_{nj} \qquad (16)$$

$$\text{za } j = 1, \ldots, L$$

Sezonski faktor pokazuje odstupanje u odnosu na srednju vrijednost i po karakteru je relativna vrijednost, i za njega vrijedi da je suma vrijednosti sezonskih faktora unutar godine jednaka broju promatranih vremenskih intervala L. Kao početna vrijednost koristi se izračunata vrijednost prosječnog sezonskog faktora (16) korigirana na vrijednost kojom se zadovoljava prije spomenuti uvjet:

$$\bar{S}_j = \frac{L}{\sum^{L} S_j} \cdot S_j \qquad (17)$$

$$\text{za } j = 1, \ldots, L$$

Optimizacija faktora izgladivanja

Drugi dio podataka iz prošlosti, određen brojem godina N_2, koristi se za određivanje komponenti predviđanja: srednje vrijednosti $\bar{Y}_j$, trenda R_j i sezonskog faktora S_j. Kako su njihove vrijednosti ovisne o izboru faktora izgladivanja A, B i C, tako se cijeli problem predviđanja svodi na optimiranje faktora izgladivanja minimiziranjem pogreške odstupanja. Kriterij optimalnosti u općem obliku iskazan je izrazom 8. Praktično, on se ostvaruje minimiziranjem sume kvadrata odstupanja prognozirane od ostvarene vrijednosti.

Optimalni kriterij točnosti predviđanja definiran je izrazom

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{M}\Sigma e^2_m} \qquad (18)$$

gdje je s — standardna devijacija greške predviđanja
M — ukupni broj perioda predviđanja
$M = N_2 \cdot L$
ε_m — greške predviđanja $Y^o - Y$
m — indeks perioda predviđanja
$m = 1, \ldots, N_2 L.$

Greška predviđanja ovisna je o ostvarenjima i predviđenim vrijednostima, odnosno posredno (prema izrazima 5, 6 i 7) o faktorima eksponencijalnog izgladivanja, pa se izraz za grešku može napisati u obliku

$$\varepsilon_m = f(Y^o_1, Y^o_2 \ldots . Y_{N_2 L}, A\ B,\ C) \qquad (19)$$

S obzirom na to da su iznosi ostvarenja poznati, slijedi da je greška predviđanja u funkciji faktora izgladivanja:

$$\varepsilon_m = f \cdot (A,\ B,\ C) \qquad (20)$$

odnosno da je optimalan kriterij točnosti predviđanja također u funkciji faktora izgladivanja

$$\sigma = f(e) = f(A,\ B,\ C) \qquad (21)$$

Određivanjem minimalne funkcije cilja s slijede optimalne vrijednosti parametara A, B i C.

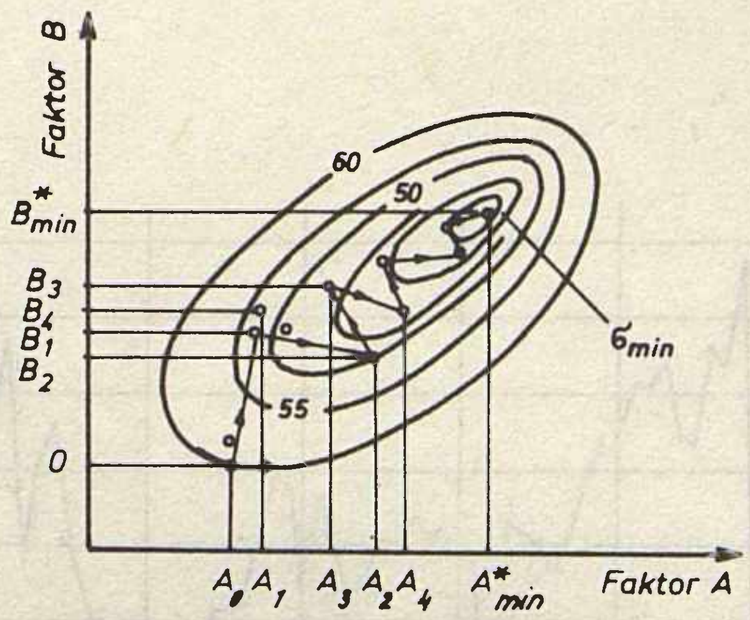
Odabrana je gradijentna metoda optimiranja jer u odnosu na druge optimizacione postupke najbrže dovodi do cilja. Postupak se bazira na pronalaženju smjera najbržeg porasta, odnosno pada funkcije cilja prilikom prijelaza iz jednog iteracionog koraka u drugi. Optimiranje počinje simuliranjem predviđanja poznatih vrijednosti vremenskog niza iz prošlosti nekakvim početnim vrijednostima A_o, B_o i C_o. Nakon toga se provode još tri simulacije uz male varijacije

parametara izglađivanja. Ove četiri simulacije daju sljedeće vrijednosti za s:

$$\begin{aligned} &\sigma^1\ A_o, B_o, C_o) \\ &\sigma^2\ (A_o + \Delta A_o, B_o, C) \\ &\sigma^3\ (A_o, B_o + \Delta B_o, C_o) \\ &\sigma^4\ (A_o, B_o, C_o + \Delta C_o) \end{aligned} \qquad (22)$$

iz kojih e određenim postupkom određuje gradijent-vektor koji definira najbrži pad funkcije s i polaznu točku sljedeće iteracije A_1, B_1, C_1. Iz te se točke ponovo izvode četiri simulacije, određuje gradijent-vektor i nalazi polazna točka iduće iteracije. Postupak se ponavlja dok se ne postigne minimum funkcije s, kada su ujedno određene i optimalne vrijednosti parametara A_{min}, B_{min} i C_{min}.

Na slici 5. je, radi jednostavnosti, predočen gradijentni postupak optimiranja u sistem s dva parametra izglađivanja.



Sl. 5. Grafički prikaz primjene gradijentne metode s dva faktora (A i B)

Predviđanje za idući period

Rezultat proračuna prethodnog koraka jesu faktori izglađivanja A, B i C, odnosno srednja vrijednost $\bar{Y}$, trend R i sezonski faktori S_j. Predviđena vrijednost može se odrediti prema izrazu

$$Y_j = \bar{Y} \cdot R_j \cdot S_j \qquad (23)$$

$$\text{za } j = 1, \ldots, L$$

gdje je $\bar{Y}$ — srednja vrijednost posljednje godine podataka iz prošlosti

R_j — trend. tjedni ili mjesečni koji se računa iz godišnjeg R_G prema izrazu: $R_j = R_G^{j/L}$

S_j — sezonski faktor.

2. 3. Krivulja trajanja opterećenja za predviđenu godišnju potrošnju

Krivulju trajanja opterećenja opisuju ukupna potrošnja, maksimalno opterećenje, konstantno opterećenje ili konstantna energija, trajanje varijabilnih opterećenja i konstante α i β. Zbog međuzavisnosti karakterističnih parametara krivulje trajanja opterećenja predviđanjem su obuhvaćena četiri parametra, a ostali se izvode prema zadanosti krivulje trajanja opterećenja. Predviđanjem je obuhvaćeno, kako je to već navedeno, udio tjedne ili mjesečne potrošnje u godišnjoj potrošnji, faktor opterećenja, konstantno opterećenje i suma konstanti α + β.

Ulazni podatak za određivanje krivulje trajanja opterećenja za neko buduće razdoblje jest podatak o predviđenoj godišnjoj potrošnji električne energije. Tjedna ili mjesečna potrošnja određena je ukupnom godišnjom potrošnjom i pripadajućom vrijednosti udjela tjedne ili mjesečne potrošnje u godišnjoj potrošnji:

$$W_j = w_j \cdot W_{god} \qquad (24)$$

$$\text{za } j = 1.2., \ldots, L$$

Iz podatka o tjednoj ili mjesečnoj potrošnji, a uz poznavanje faktora opterećenja m_j, mogu se odrediti maksimalna opterećenja prema izrazu

$$P_{maxj} = \frac{W_j}{T \cdot m_j} \qquad (25)$$

$$\text{za } j = 1, 2, \ldots, L$$

Konstantna energija određuje se preko relativnog konstantnog opterećenja p_{kj} prema izrazu

$$W_{kj} = P_{kj} \cdot P_{maxj} \cdot T \qquad (26)$$

$$\text{za } j = 1, 2, \ldots, L$$

Ostali parametri krivulje trajanja opterećenja (t_v, α i β) rezultat su predviđanja parametara iz prošlosti prema već opisanom postupku.

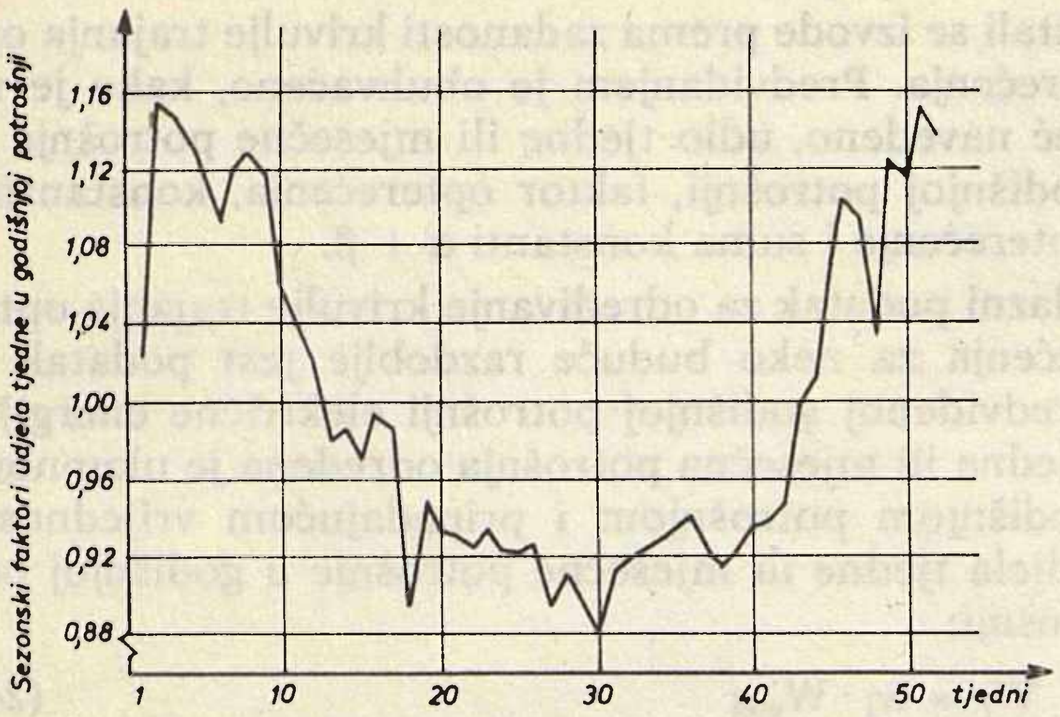
3. PRIMJER PRORAČUNA

Za provjeru metode za predviđanje krivulje trajanja opterećenja i razvijenog programa korišteni su podaci o tjednim karakteristikama potrošnje za SRH, i to za razdoblje 1974-1981. godina. Od ukupno osam godina podataka iz prošlosti podaci od prve dvije godine korišteni su za zalet, a ostalih šest za optimiranje parametara izglađivanja.

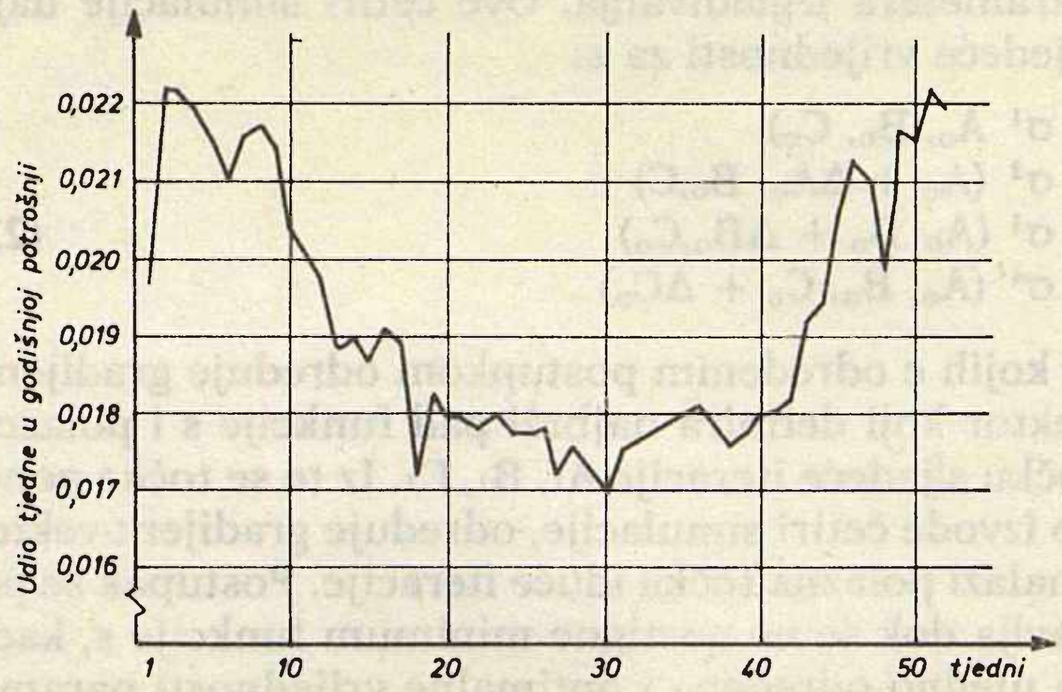
U prvom dijelu proračuna izvršeno je nezavisno predviđanje parametara tjedne krivulje trajanja opterećenja: udjela tjedne potrošnje u godišnjoj, relativnog konstantnog opterećenja, faktora opterećenja i sume konstanti α i β. Rezultati proračuna prikazani su grafički.

Udio tjedne potrošnje u godišnjoj potrošnji električne energije u odnosu na ostale parametre ima svoje specifičnosti. Naime, srednja vrijednost udjela, koja iznosi 1./52 = 0.01923 ili 1.923% ne mijenja se iz godine u godinu, što uzrokuje da je i trend u svim godinama jednak. Jedine promjene koje s vremenom nastaju odnose se na sezonske faktore. Uzrok promjena mogu biti strukturne promjene u potrošnji električne energije i oscilacije uzrokovane različitim temperaturama u istim periodima godina ili nekim drugim specifičnostima potrošnje koje nemaju zakonitosti ponavljanja.

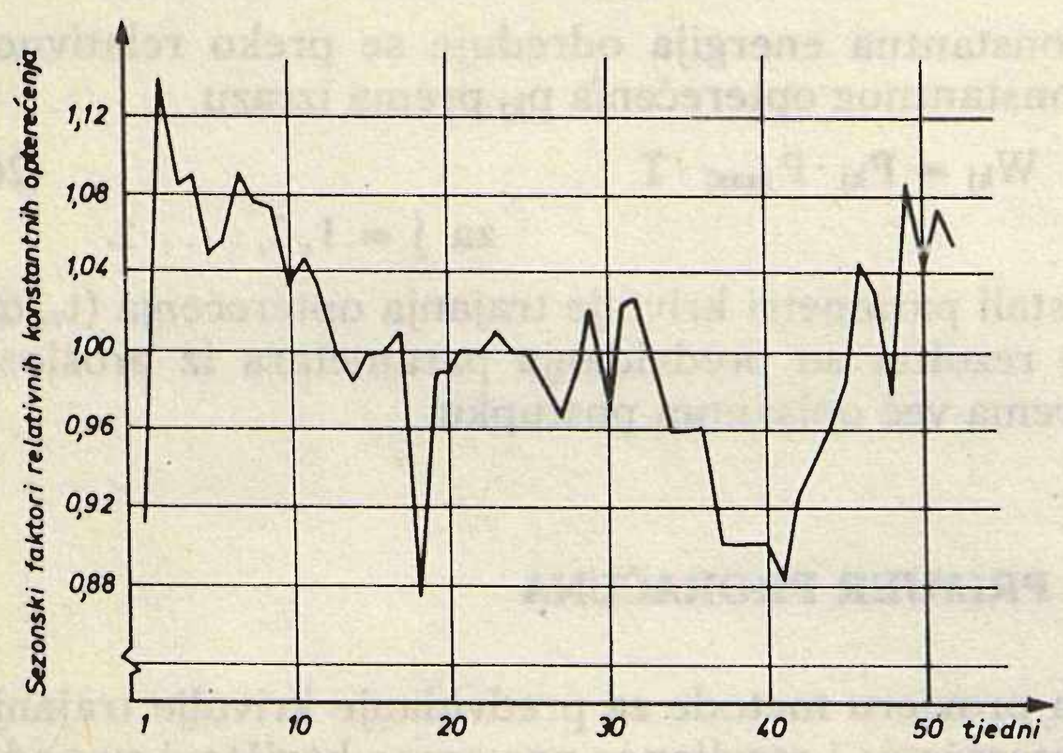
Sezonski faktori, kako se može vidjeti iz sl. 6, osim promjena koje su u funkciji mijenjanja godišnjih do-



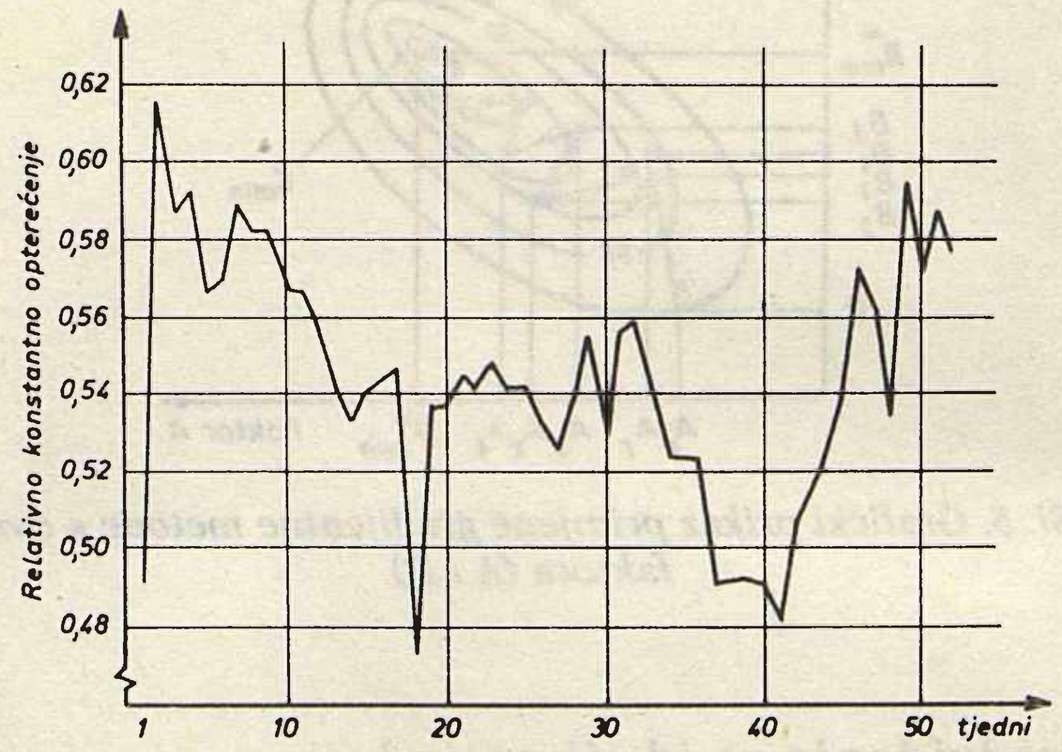
Sl. 6. a. Predviđeni sezonski faktori udjela tjedne potrošnje u godišnjoj potrošnji u elektroenergetskom sistemu SRH



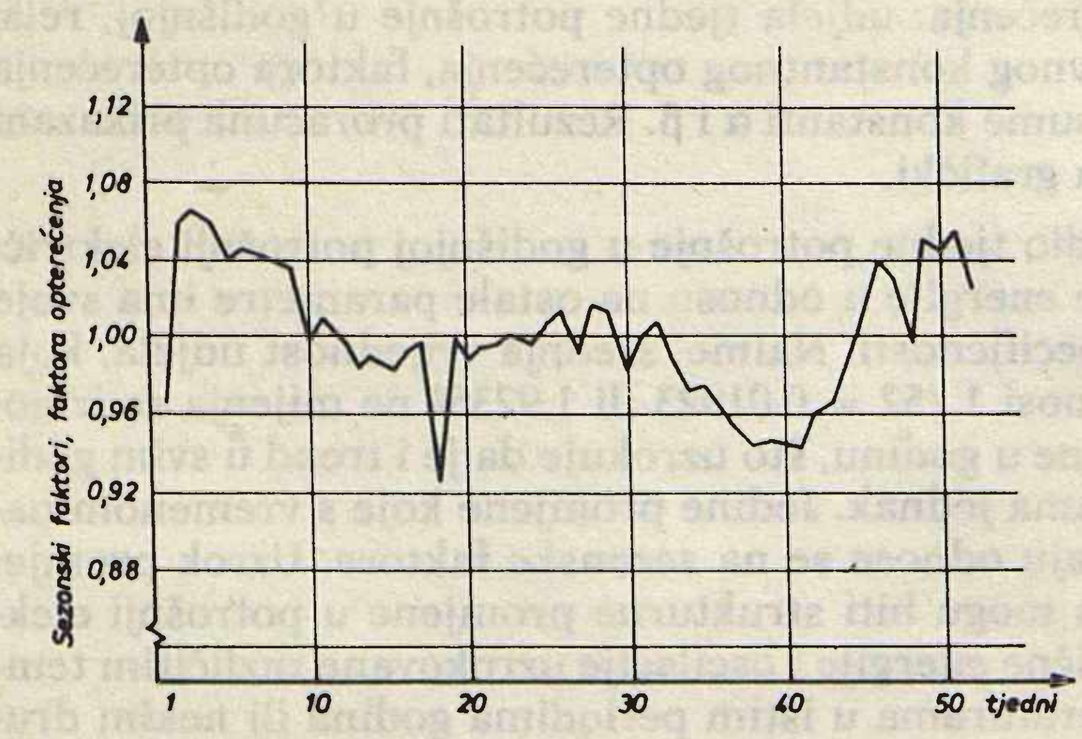
Sl. 6. b. Predviđeni udjeli tjedne potrošnje u godišnjoj potrošnji u elektroenergetskom sistemu SRH



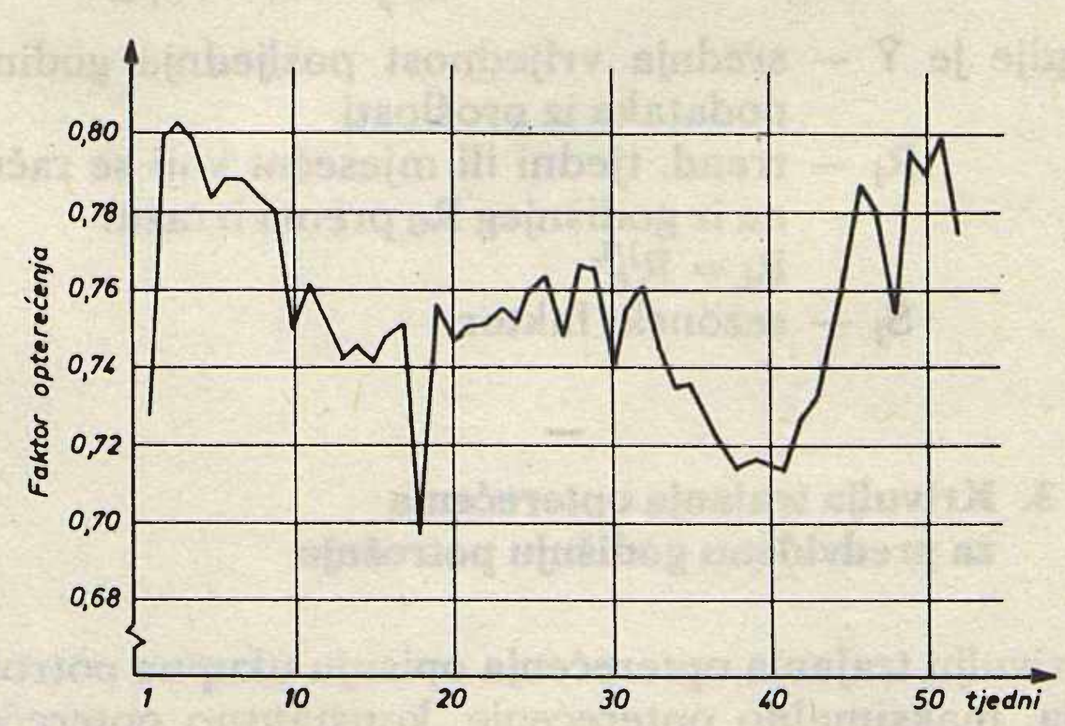
Sl. 7. a. Predviđeni sezonski faktori relativnih konstantnih opterećenja za elektroenergetski sistem SRH



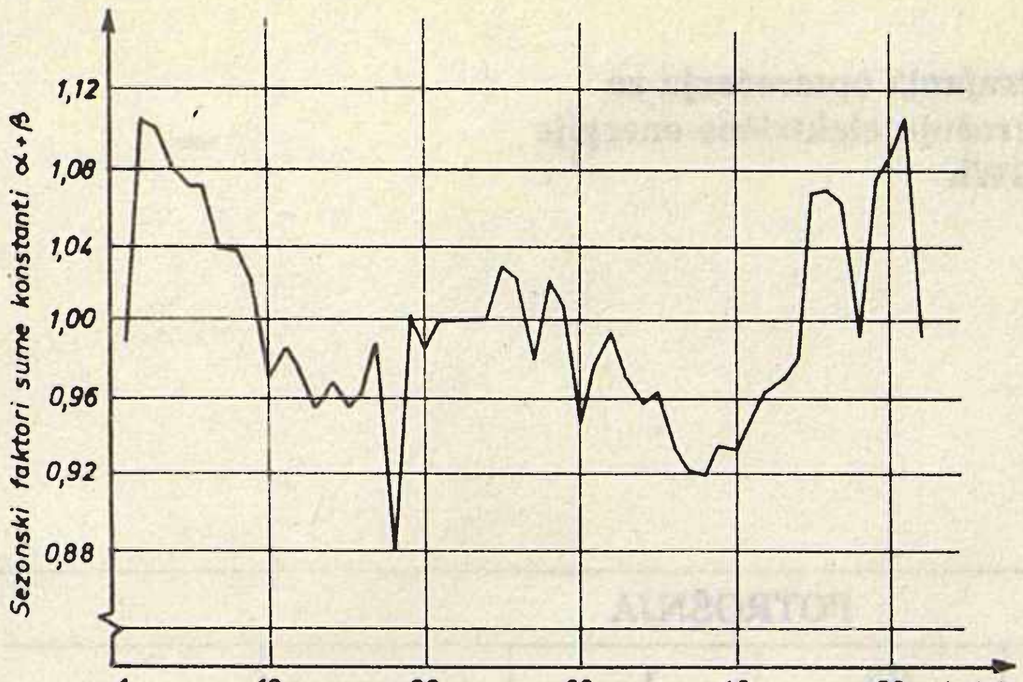
Sl. 7. b. Predviđena relativna konstanta opterećenja za elektroenergetski sistem SRH



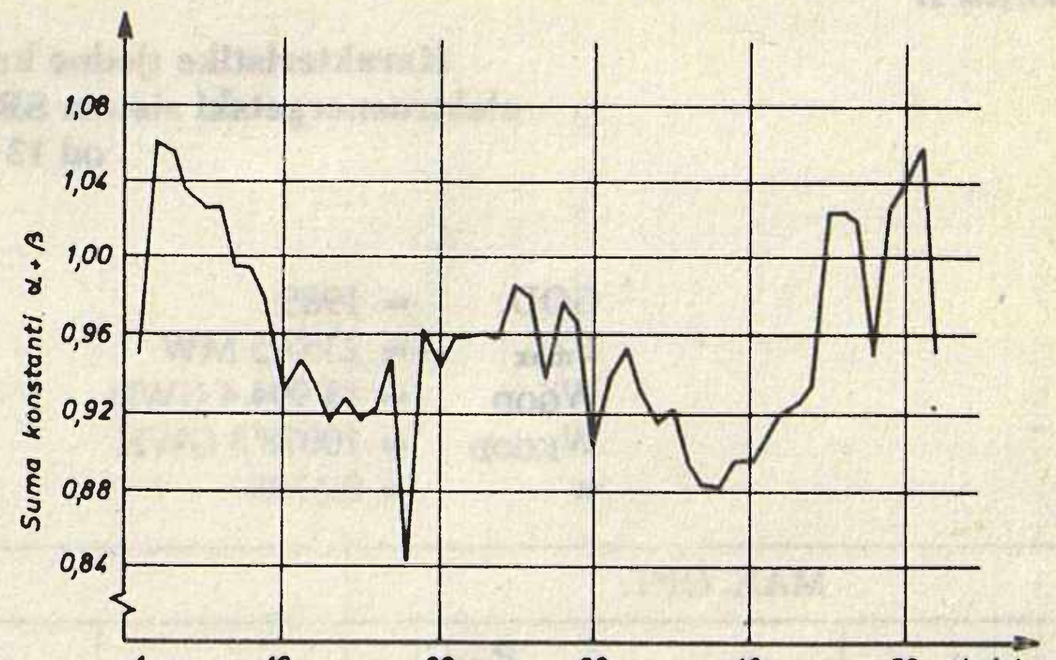
Sl. 8. a. Predviđeni sezonski faktori faktora opterećenja za elektroenergetski sistem SRH



Sl. 8. b. Predviđeni faktori opterećenja za elektroenergetski sistem SRH



Sl. 9. a. Predviđeni sezonski faktori sume konstanti a i b za elektroenergetski sistem SRH



Sl. 9. b. Predviđena suma konstanti a i b za elektroenergetski sistem SRH

ba, a time i klimatskih uvjeta u toku godine, ovisni su i o blagdanima, korištenju godišnjih odmora, sezonskim radovima itd.

Trend relativnih konstantnih opterećenja veći je od 1, što pokazuje da je u periodu 1974-1981. god. došlo do povećanja srednje vrijednosti. Na sl. 7. prikazane su promjene sezonskih faktora i predviđenih vrijednosti relativnih konstantnih opterećenja po tjednima. Oscilacije relativnih konstantnih opterećenja tijekom godina u funkciji su godišnjeg doba, blagdana i ostalih utjecajnih faktora koji imaju zakonito ponavljanje u istim razdobljima godine.

Promjene u strukturi potrošnje koje su ostvarene u razdoblju 1974-1981. godine imale su za posljedicu rast srednje vrijednosti faktora opterećenja. Prema rezultatima proračuna ostvaren je rast trenda u godišnjem iznosu 0,573%. Rezultati proračuna grafički su prikazani na sl. 8. Oscilacije sezonskog faktora opterećenja između sezona nisu tako velike kao kod drugih parametara, ali se mogu jasno prepoznati sezonski utjecaji, kao i specifičnosti pojedinih godišnjih doba ili pojedinih tjedana. Tako se najniži faktor opterećenja ostvaruje u tjednu u koji pada 1. svibnja.

Suma konstanti α i β određuje oblik krivulje trajanja u varijabilnom dijelu krivulje trajanja opterećenja. Rezultati predviđanja pokazuju da je promjena srednje vrijednosti podložna vremenskoj promjeni (trend manji od jedan), kao i da postoje jasno izražene sezonske oscilacije sume konstanti α i β. Prema sl. 9. period godine može se podijeliti u dva dijela. Period 11, 12, 1. mjeseca kada su dani kratki i traje sezona grijanja i kada je $\alpha + \beta > 1$ ili ostali period godine kada su vrijednosti $\alpha + \beta < 1$. Primjećuje se također da su vrijednosti suma konstanti $\alpha + \beta$ u ljetnim mjesecima veće od onih u proljetnim ili jesenskim zbog intenzivnije potrošnje električne energije u turističkim područjima. U tjednu kada su državni blagdani uočavaju se osjetno niže vrijednosti suma konstanti $\alpha + \beta$ od onih u tjednima prije i poslije blagdana.

Drugi dio proračuna odnosi se na predviđanje krivulje trajanja opterećenja za određeni nivo potrošnje. U ovom slučaju to je 1985. god. s procijenjenom godišnjom potrošnjom od 1 3994,4 GWh. Rezultati proračuna navedeni su u tablici 1.

U tablici 1. prva kolona je omjer tjednog maksimalnog opterećenja i maksimalnog opterećenja u godini, druga kolona su maksimalna opterećenja, treća — udio tjedne potrošnje u godišnjoj, četvrta — ukupno potrošnja po tjednima, peta — konstantna potrošnja, šesta — trajanje varijabilnog opterećenja, sedma — konstanta α, a osma — konstanta β.

Iz rezultata proračuna proizlazi da će se maksimalno opterećenje ostvariti u posljednjem tjednu godine i u iznosu od 2 357,5 MW. Kod godišnje potrošnje električne energije od 13 994,4 GWh i maksimalnog opterećenja od 2 357,5 faktor opterečenja iznosi 0,6795 ili u satima korištenja maksimalnog opterećenja 5 952,4 sata godišnje.

Tablica 1.

Karakteristike tjedne krivulje trajanja opterećenja za elektroenergetski sistem SRH i potrošnju električne energije od 13 994,4 GWh

GOD. = 1985
P_{max} = 2357.5 MW
W_{GOD} = 13 994.4 GWH
W_{KGOD} = 10078.8 GWH
w = 0.6795

MAX. OPT.			POTROŠNJA					
	RP_{max}	P_{max} MW	w	W GWH	W_k GWH	t_v h	α	β
1	0.95392	2248.9	0.01966	274.9	185.9	164	0.42491	0.47491
2	0.98162	2314.2	0.02220	310.7	239.5	151	0.21402	0.36664
3	0.97121	2289.6	0.02208	309.0	225.6	166	0.65061	0.41016
4	0.96964	2285.9	0.02188	306.2	226.9	164	0.63757	0.34661
5	0.96913	2284.7	0.02149	300.8	217.5	164	0.68729	0.33856
6	0.94194	2220.6	0.02100	293.9	213.1	165	0.72747	0.30163
7	0.96693	2279.5	0.02157	301.9	226.2	163	0.68626	0.30950
8	0.98000	2310.3	0.02171	303.8	225.7	162	0.49863	0.49863
9	0.97597	2300.8	0.02157	301.8	224.8	163	0.49071	0.49071
10	0.96172	2267.2	0.02042	225.8	212.2	157	0.46637	0.46627
11	0.92888	2189.8	0.02005	280.6	208.8	160	0.47403	0.47403
12	0.92305	2176.1	0.01969	275.5	203.9	159	0.46779	0.46779
13	0.89686	2114.3	0.01883	263.5	192.8	159	0.46020	0.46020
14	0.89996	2121.6	0.01898	265.6	190.2	164	0.46496	0.46496
15	0.88989	2097.9	0.01866	261.1	190.5	160	0.45731	0.45781
16	0.90168	2125.7	0.01909	267.2	194.3	163	0.46152	0.46152
17	0.89785	2104.9	0.01900	265.9	193.7	160	0.47377	0.47377
18	0.87175	2055.1	0.1721	240.9	163.6	168	0.42531	0.42531
19	0.85331	2011.7	0.01324	255.3	198.8	165	0.43241	0.48241
20	0.85107	2006.4	0.01796	251.3	180.9	160	0.47307	0.47307
21	0.84393	1989.6	0.01791	250.7	182.2	157	0.48189	0.49189
22	0.83664	1972.4	0.01780	249.0	179.7	160	0.47902	0.47992
23	0.83967	1979.5	0.01796	251.3	182.3	160	0.49227	0.48227
24	0.83404	1966.2	0.01775	248.4	179.2	160	0.43110	0.48110
25	0.32418	1943.0	0.01773	248.1	176.9	162	0.49399	0.49399
26	0.82411	1942.8	0.01780	249.1	174.3	168	0.49224	0.49224
27	0.81153	1913.2	0.01718	240.4	169.0	167	0.47119	0.47119
28	0.80848	1906.0	0.01755	245.6	172.4	168	0.71251	0.27771
29	0.79662	1878.0	0.01725	241.5	175.4	163	0.48582	0.48592
30	0.80946	1908.3	0.01696	237.3	169,6	166	0.45382	0.45382
31	0.81906	193.9	0.01751	245.0	180.8	160	0.46925	0.46925
32	0.81968	1932.4	0.01767	247.3	181.7	161	0.47914	0.47914
33	0.84052	1981.5	0.01775	248.4	179.6	162	0.46554	0.46554
34	0.85726	2021.0	0.01783	249.5	177.5	162	0.46044	0.46044
35	0.86248	2033.3	0.01797	251.5	179.1	162	0.46225	0.46225
36	0.87863	2071.3	0.01810	253.3	182.5	160	0.44901	0.44901
37	0.87473	2062.2	0.01781	249.2	170.1	168	0.44881	0.44881
38	0.87008	2051.2	0.01759	246.2	169.5	166	0.44306	0.44306
39	0.87348	2059.2	0.01770	247.7	170.4	165	0.44857	0.44852
40	0.83891	2095.6	0.01798	251.6	173.1	164	0.44928	0.44928
41	0.89553	211.2	0.01306	252.8	171.2	165	0.45287	0.45287
42	0.88481	2085.9	0.01822	254.9	177.0	163	0.46320	0.46320
43	0.92473	2180.0	0.01916	268.2	188.2	162	0.46560	0.46560
44	0.91840	2165.3	0.01941	271.6	190.3	168	0.46836	0.46886
45	0.94748	2233.7	0.02059	288.1	201.9	163	0.70361	0.32114
46	0.95618	2254.2	0.02129	297.9	216.8	164	0.699116	0.33487
47	0.95400	2249.0	0.02107	294.9	213.1	164	0.71894	0.29857
48	0.93096	2194.7	0.01989	278.4	197.2	167	0.47600	0.47600
49	0.96195	2267.8	0.02168	303.4	227.0	162	0.7347	0.29404
50	0.96011	2263.4	0.02147	300.5	217.0	165	0.71046	0.33079
51	0.98001	2310.6	0.02219	310.5	228.4	162	0.60874	0.36727
52	1.00000	2357.5	0.02189	306.4	228.3	164	0.47682	0.47682

4. ZAKLJUČAK

Predviđanje krivulje trajanja opterećenja, zbog međusobne povezanosti njezinih parametara, složen je postupak. Pokušaj s četiri nezavisna parametra, kako je predloženo u ovom radu, prema rezultatima proračuna je uspio i predviđena krivulja trajanja opterećenja u potpunosti oslikava svoj razvoj u prošlosti (npr. sl. 3. za udio tjedne u godišnjoj potrošnji). To se najbolje može vidjeti na svim tjednima koji se zbog svojih specifičnosti znatno razlikuju od ostalih. Razvojni postupak u prvom redu je prilagođen predviđanju trajanja opterećenja za iduću godinu, kod planiranja eksploatacije elektroenergetskog sistema. Međutim, njegova primjena je moguća i kod predviđanja krivulje trajanja opterećenja za potrebe razvoja elektroenergetskog sistema. Pri tome se nameće pitanje trendova: da li takve trendove zadržati ili ostati na parametrima krivulje trajanja opterećenja koji su utvrđeni proračunom. Ova druga varijanta je korektnija, jer trendovi, iako maleni ipak iz razdoblja u razdoblje mijenjaju smijer ili iznos, pa se s pretpostavljanjem jednog trenda za duži period može napraviti mnogo veća pogreška nego u slučaju da se ostane na čvrstim parametrima za cijelo promatrano razdoblje. Naravno da ovakav izbor pretpostavlja konstantno praćenje i eventualne korekcije ako se primijeti znatnija promjena kod nekih karakterističnih pokazatelja oblika krivulje trajanja opterećenja.

KEY WORDS: LOAD, LOAD CURVE, METHOD FOR ESTIMATION

METHOD FOR ESTIMATION OF LOAD CURVE

In the article is presented a method for estimation of weekly or monthly load curves. Estimation of parameters is done by method of exponential fitting. Factors are determined by gradient method.

EINE METHODE ZUR VORAUSBESTIMMUNG VON BELASTUNGSKENNLINIEN

Gezeigt wird ein Verfahren zur Vorausbestimmung zukünftiger Wochen — oder Monatsbelastungsdauerkennlinien. Zur Ermittlung der einzelnen Kennlinienwerte (Paramter) wird die exponentielle Ausgleichsmethode angewendet, wobei die Ausgleichsfaktoren mit der Gradientenmethode bestimmt werden.

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КРИВОЙ НАГРУЗКИ

В статье разработан способ прогнозирования недельной и месечной кривых продолжительности нагрузки. Для прогнозирования отдельных параметров кривой продолжительности нагрузки применен метод экспоненциального выравнивания. Факторы выравнивания определяются градиентным методом.

Naslov pisca:

dr Goran Granić, dipl. inž.
mr Damir Pešut, dipl. inž.

Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih brigada 37

Uredništvo primilo rukopis
1983 — 02 — 03

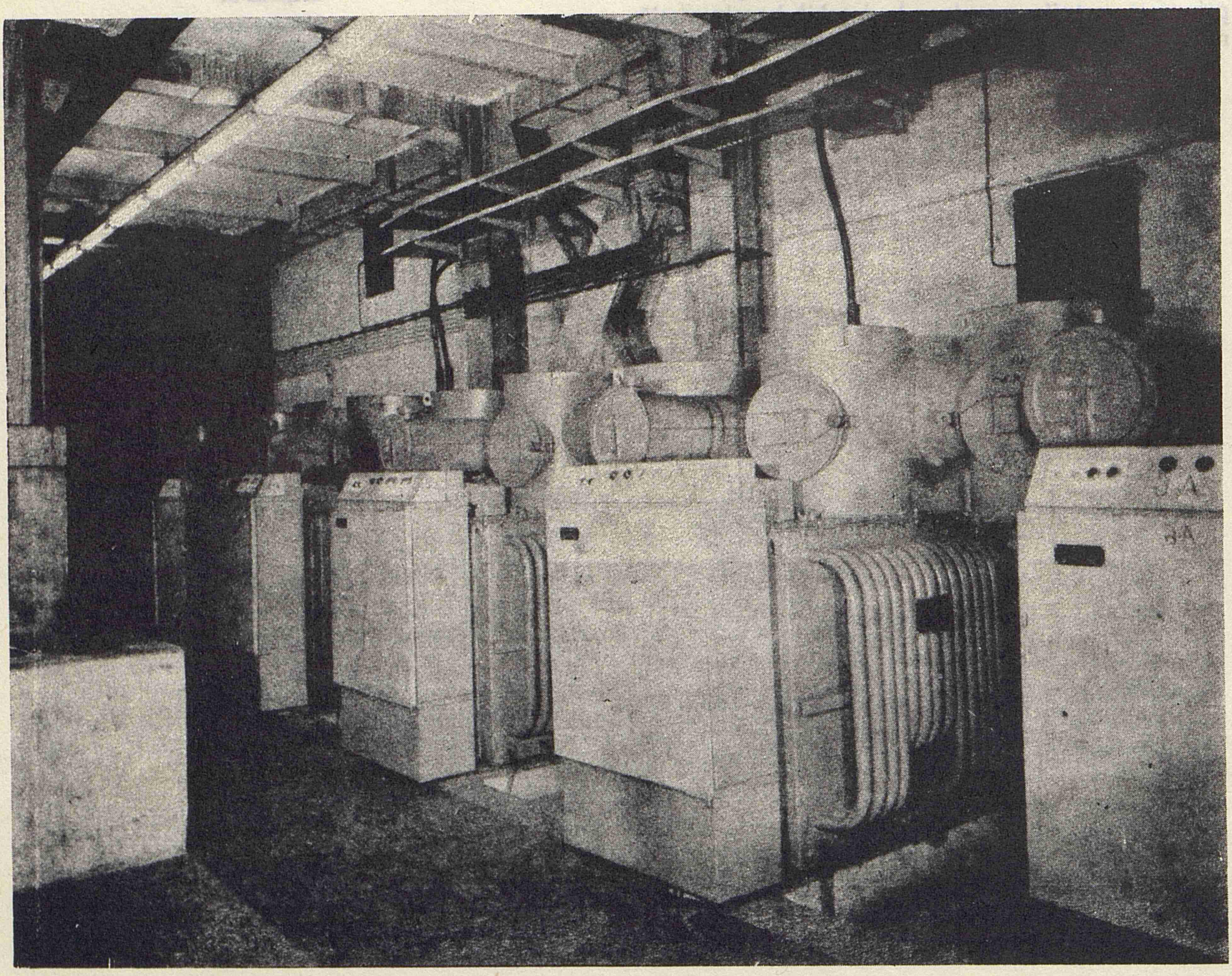
SOUR
MONTING
ZAGREB n.sol.o.

Radna organizacija za montažu industrijskih postrojenja
OOUR za elektromontažne radove

ZAGREB • Dimitrovljeva 2-6

- **montaža i remont visoko i niskonaponskih postrojenja i razvodnih mreža**
- **montaža i remont kompletnih elektromotornih razvoda, rasklopnih postrojenja, instalacije rasvjete i uzemljenja**
- **montaža i remont uređaja, opreme i instalacija za automatiku, mjerenje, regulaciju**
- **kontrola i izrada tehničke dokumentacije za navedene djelatnosti**

Radove izvodi u zemlji i inozemstvu



ELEKTRIČNO GREJANJE SAVREMENIH ZGRADA

Kiril A. Tropin, Beograd

UDK 621.365
STRUČNI RAD

Prikazani su gotovo svi sistemi centraliziranog i lokalnog električnog grijanja koji se danas primjenjuju u novim zgradama i prilikom rekonstrukcije zastarjelih sistema grijanja. Dan je njihov opis, tehničko-ekonomske karakteristike i područje primjene. Također se razmatraju perspektive planski usmjerene i šire upotrebe električnog grejanja u nas.

Ključne riječi: električno grejanje, sistemi grejanja, suvremene zgrade.

Početkom šezdesetih godina nastupilo je oživljavanje električnog grejanja zahvaljujući uglavnom sprovođenju novih tehničkih ideja, novim vrstama toplotne izolacije, kao i poboljšanju načina i kvaliteta izrade uređaja za električno grejanje.

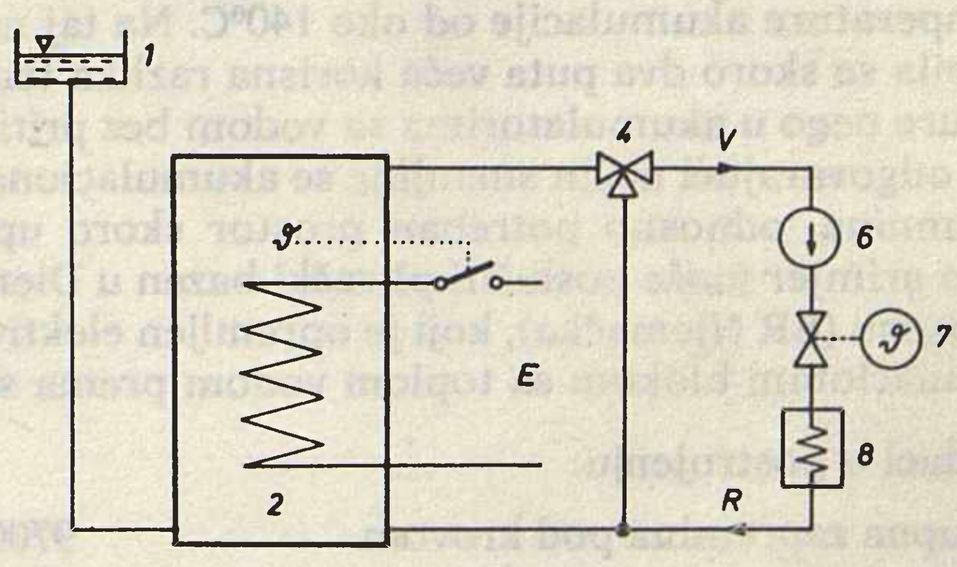
Razvoj sistema centralizovanog električnog grejanja i klimatizacije otpočeo je primenom elektroakumulacionih blokova* za centralno grejanje toplim vazduhom i nastavio se nizom raznih sistema grejanja elektroakumulacionim podovima sve do primene poluprovodnika.

1. GREJANJE ELEKTROAKUMULACIONIM BLOKOVIMA

Velike toplane sa elektroakumulacionim blokovima u kombinaciji sa klasičnom tehnikom razvođenja toplog vazduha počele su da se koriste za grejanje velikih prostorija negdje oko 1960. godine. Ovaj način grejanja s obzirom na izvanrednu elastičnost režima grejanja pokazao se kao naročito prikladan u sportskim salama, izložbenim halama i drugim prostorijama gde se okuplja mnogo ljudi. U elektroakumulacioni blok toplota se dovodi noću i 2-3 časa preko dana tako da se pre početka korišćenja prostorije raspolože »toplotnim punjenjem«, koje može za kratko vreme da oslobodi veoma veliku količinu toplote. Međutim, ostaje nerešen problem prenosa toplote s obzirom na gubitke, kao i u klasičnih instalacija centralnog grejanja. Problemi elektroakumulacionih blokova za grejanje toplim vazduhom danas se praktično svode na građevinske probleme. Ugrađeni ventilator potiskuje topli vazduh u grejanu prostoriju. Cirkulacija vazduha preko odvodne klapne, ventilatora, kanala za dovod i odvod vazduha, filtra i dovoda svežeg vazduha ravnomerno se reguliše između čistog režima sa uzimanjem samo svežeg vazduha i čistog režima cirkulacije samo vazduha koji se nalazi u sistemu.

Sem pretežne primene u novogradnjama, ovaj sistem u posebnoj izradi nalazi sve veću primenu pri rekonstrukciji etažnog grejanja, čije se ložište zamenjuje jezgrom u toplotnoj izolaciji, koje se zagreva na principu otpornika.

Elektroakumulacioni blokovi za grejanje toplom vodom imaju relativno dobre izglede za u buduće. Međutim, pogonski troškovi i nasleđena od sistema grejanja toplom vodom relativno loša regulacija, kao i površinski gubici bloka, koji su za oko 15 do 20% veći od gubitaka elektroakumulacionih uređaja postavljenih decentralizovano u svakoj prostoriji, imaju za posledicu manje korišćenje u novogradnjama elektroakumulacionih blokova za grejanje toplom vodom. Grejanje ovim blokovima privlači naročitu pažnju u poslednje vreme, jer se kotlovi za centralno grejanje, loženi čvrstim i tečnim gorivom ili gasom, mogu zameniti.

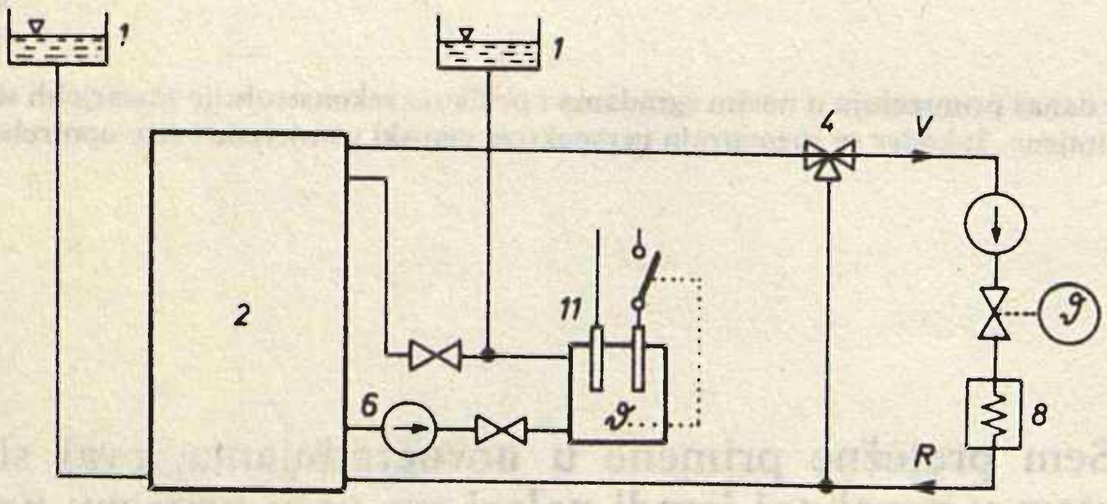


Sl. 1. Elektroakumulacioni blok za grejanje toplom vodom
1 — kompenzacioni sud; 2 — akumulirajući materijal; 4 — mešač-ventil; 6 — cirkulaciona pumpa; 7 — ventil grejnog tela; 8 — grejno telo; 9 — obvodna klapna (Bypass); E — dovod električne energije; V — napojni vod; R — povratni vod

Sama se po sebi nameće ideja da se voda u klasičnim sistemima grejanja iskoristi u svojstvu akumulacione sredine elektroakumulacionog bloka (sl. 1). Sem cirkulacionih pumpi i ventila na grejnim telima starih instalacija, postoji još i mešač-ventil, koji je jedini potreban regulacioni organ. Sem toga voda je sre-

* Ovde i u daljem tekstu koristi se radi kratkoće izraz »elektroakumulacioni« umesto izraza »električni termoakumulacioni«.

dina koja ima najveću moć akumuliranja toplote od svih poznatih materijala, a još je i najjeftinija. Međutim, korisna razlika temperatura je relativno mala jer izlazna temperatura vode, odnosno akumulacije ne bi smela da bude ispod 50°C i preko 95°C da bi se izbegla buka od ključanja.To znači da je potrebna velika akumulaciona zapremnina, veći smeštajni prostor, veće površine grejnih tela, ali ovo poslednje ima tu prednost što u prostorijama vlada jedna veoma prijatna klima i u svakom slučaju nema lebdenja prašine.



Sl. 2. Elektroakumulacioni blok za grejanje toplom vodom sa kotlom sa elektrodama

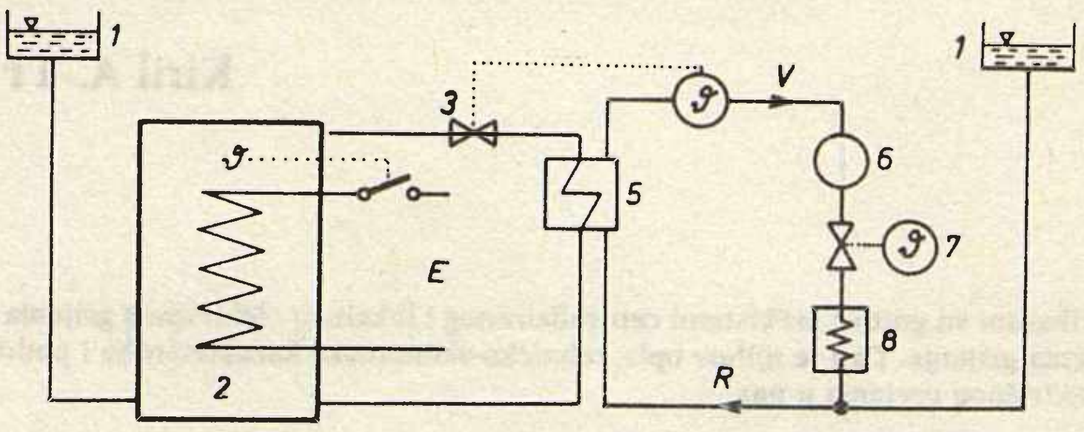
Za velike prostorije je opravdanije generator toplote i akumulacioni rezervoar odvojiti jedan od drugog. Za zagrevanje vode u većini slučajeva koristi se kotao sa elektrodama (sl. 2). Takve instalacije obično se opremaju samo ravnomernom regulacijom snage, tako da se one mogu koristiti uz relativno male, čisto tehničke zahvate u zavisnosti od spoljne temperature.

U većini slučajeva umesto otvorenih kompenzacionih sudova koristi se postrojenje za prinudno napajanje pod pritiskom, koje održava u akumulacionom rezervoaru stalan natpritisak od oko 2,5 at. Pomeranjem tačke ključanja mogu da se postignu gornje temperature akumulacije od oko 140°C. Na taj način dobija se skoro dva puta veća korisna razlika temperature nego u akumulatorima sa vodom bez pritiska. Na odgovarajući način smanjuje se akumulaciona zapremnina, odnosno potreban prostor skoro upola. Kao primjer može poslužiti plivački bazen u Dieringhausenu (SR Njemačka), koji je opremljen elektroakumulacionim blokom sa toplom vodom prema sl. 2.

Podaci o postrojenju:

Ukupna zapremina pod krovom	9700 m³
Od toga zapremina plivališta	3700 m³
Zapremina plivačkog bazena	860 m³
Najveća potrebna toplota za grejanje i provetravanje	365000 kcal/h
Zapremina elektroakumulacionog bloka sa vodom	110 m³
Najveća temperatura vode za grejanje	110°C
Najmanja temperatura vode za grejanje	60°C
Moć akumuliranja bloka	5,5 Gcal
Vreme punjenja	9 + 2 h
Priključna snaga električnog kotla sa elektrodama	11250 kW

Instalirani niskonaponski kotao sa elektrodama podmiruje ukupnu potrošnju toplote plivališta. Dok je za sam plivački bazen, usled njegove sopstvene akumulacije, dovoljno zagrevanje isključivo noću, toplota za grejanje prostorija, provetravanje i spremanje tople vode za opštu upotrebu mora da se akumulira u elektroakumulacionom bloku sa vodom.

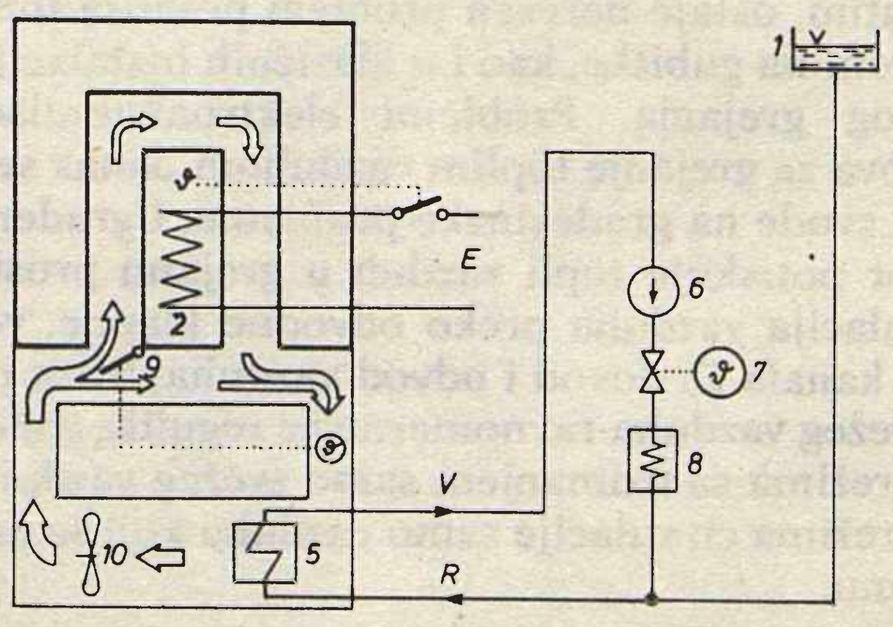


Sl. 3. Elektroakumulacioni blok sa uljem

Elektroakumulacioni blok sa uljem (sl. 3) ima primarno cirkulaciono kolo i akumulacioni rezervoar napunjen specijalnim uljem koje se preko noći zagreva približno na 300°C. Toplota akumulirana u ulju predaje se vodi grejnog cirkulacionog kola u izmenjivaču toplote. Pomoću motora ili magnetskog ventila automatski se održava željena temperatura napojne (grejne) vode. Primarno cirkulaciono kolo sa uljem i sekundarno cirkulaciono kolo sa vodom rade na otvorenom principu kako bi se sprečile štete u slučaju da otkažu regulacioni organi.

Nedostatak ovog sistema ispoljava se u tome što su sva mineralna ulja podložna starenju koje mnogo zavisi od temperature. Zbog toga blokovi sa uljem nisu dobili vrednu pomena primenu za grejanje prostorija.

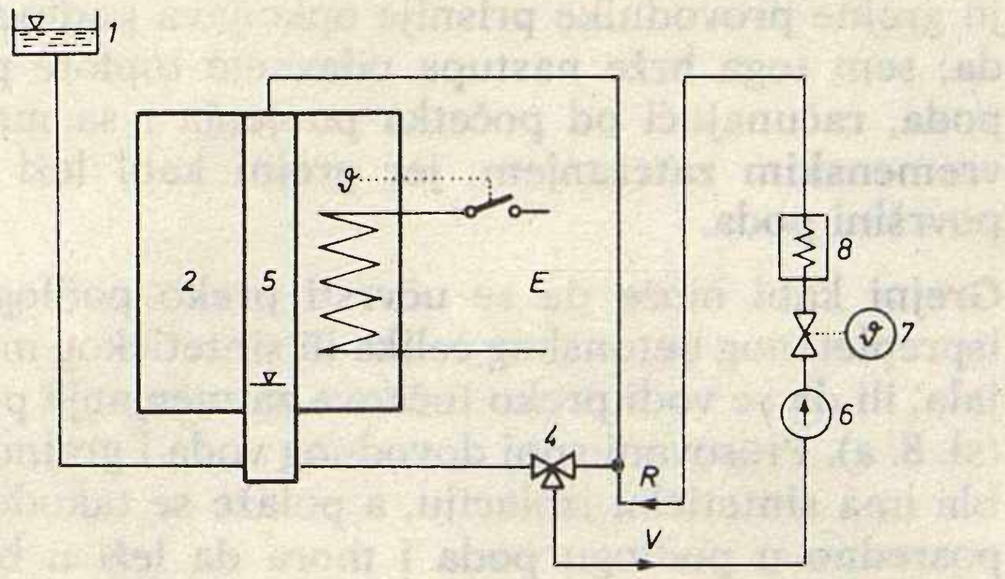
Keramički elektroakumulacioni blok predstavlja u suštini sistem za zagrevanje vazduha na principu elektroakumulacionog uređaja sa dinamičkim (prinudnim) pražnjenjem. Izlazni topli vazduh odaje svoju toplotu vodi za grejanje posredstvom izmenjivača toplote i preko zatvorenog cirkulacionog kola voda se ponovo vraća u elektroakumulacioni blok (sl. 4). Pomoću odvodne klapne postiže se stalan rad izmenjivača toplote pod približno stalnim uslovima. Keramički materijal sme da se zagreva približno do 600°C; na većim temperaturama raste njegova električna provodljivost.



Sl. 4. Keramički elektroakumulacioni blok

Toplotnoj izolaciji treba pokloniti naročitu pažnju jer se blokóvi ove vrste postavljaju po pravilu van stambenih prostorija i statičko odavanje toplote preko spoljnih površina predstavlja gubitke toplote.

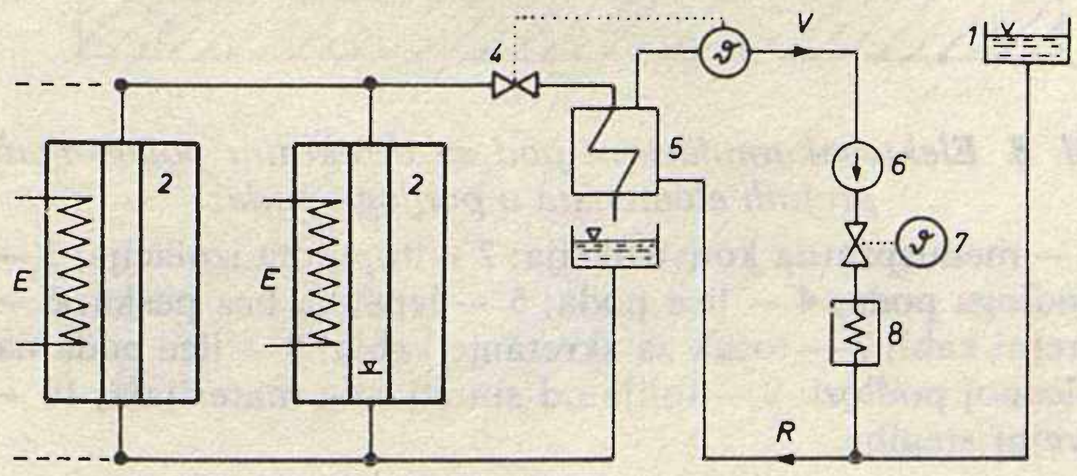
Elektroakumulacioni blok sa jezgrom od livenog gvožđa ima ulivenu vertikalnu cev koja predstavlja izmenjivač toplote (sl. 5) povezan sa sistemom grejanja. U hladnom bloku cev je napunjena



Sl. 5. Elektroakumulacioni blok sa jezgrom od livnog gvožđa

vodom iz kompenzacionog suda. Pri zagrevanju, čim se postigne tačka ključanja, voda se usled isparavanja potiskuje u kompenzacioni sud sve dok se ne prekine dalje zagrevanje. Manja količina vode, koja je preostala u cevi izmenjivača toplote, skoro je na temperaturi ključanja. U slučaju potrebe da se izvesna količina ove vode uputi preko mešač-ventila u sistem za grejanje, mora ista količina hladne povratne vode da se odozgo prinudno pusti kap po kap u parni prostor iznad tečnosti. Pri tome se kondenzuje jedan deo pare. Nivo vode će se uspinjati sve dok se ne uravnoteži isparavanje i kondenzovanje.

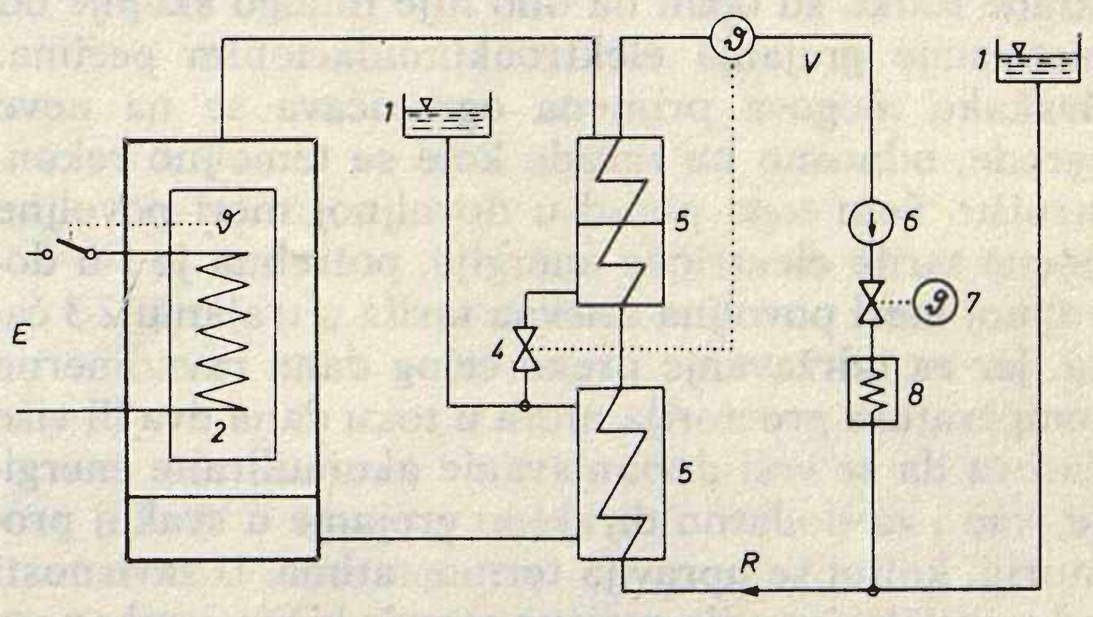
Treba istaći da blok sa jezgrom od livenog gvožđa radi kao sistem sa jednim cirkulacionim kolom i da se odavanje toplote automatski reguliše prema potrebama u toploti bez korišćenja bilo kakvog organa za regulaciju.



Sl. 6. Elektroakumulacioni blok sa mešavinom soli (sistem EWI)

Elektroakumulacioni blok sa mešavinom soli shematski je prikazan na sl. 6. On se sastoji od odvojenih rezervoara sa soli kroz koje su provučene isparivačke cevi. Rezervoari se sprežu po modulnom sistemu u baterije u zavisnosti od potrebne toplotne snage. Isparivačke cevi su pune vode dok su hladne. Kad se u toku zagrevanja pređe temperatura ključanja vode, usled stvaranja pare potiskuje se iz bloka. Čim u sekundarnom kolu zatreba voda za direktno grejanje, preko regulatora temperature napajanja otvara se motorni ventil i omogućava prolaz pare u izmenjivač toplote, gde se ona kondenzuje i zagreva vodu za grejanje. Kondenzat kaplje u kompenzacioni sud primarnog cirkulacionog kola. Prednost ovog uređaja je u tome što on zauzima mali prostor i ima malu težinu, jer so ima najveću moć akumuliranja toplote, ali stvara opasnost od korozije. Pri zagrevanju so menja svoje agregatno stanje i zapremina raste. Zbog toga akumulirajuća zapremina obično se deli da apsolutno širenje ne pređe granicu elastičnih deformacija zidova rezervoara.

Na sl. 7 prikazana je još jedna konstrukcija bloka sa soli.



Sl. 7. Elektroakumulacioni blok sa mešavinom soli (sistem Bertrams)

Blokovi se izvode prema modulnom sistemu od jedinica, od kojih je svaka potpuno sposobna za rad. Svaki od rezervoara sa soli smešten je u rezervoaru većem za nekoliko santimetara; međuprostor je u hladnom stanju ispunjen vodom primarnog cirkulacionog kola. Kada akumulirajuće jezgro pređe temperaturu ključanja, voda iz ovog omotača prodire usled isparavanja u kompenzacioni sud. U jednoj polovini dvodelnog izmenjivača toplote, koja je povezana sa parnim prostorom, para po potrebi predaje svoju toplotu u grejno cirkulaciono kolo. Magnetski ventil, upravljen prema temperaturi napajanja, utiče na oticanje kondenzata tako da se veći ili manji deo površine za izmenjivanje toplote pokriva preostalim kondenzatom, te se tako smanjuje ili povećava predaja toplote u sekundarno cirkulaciono kolo, a u zavisnosti od potrebe.

Drugi deo izmenjivača toplote odvodi toplotu iz vode koja je pri zagrevanju procurila iz elektroakumulacionog bloka, a koja je približno na temperaturi ključanja, da bi se i ta toplota koristila za grejanje prostorija.

U Münsteru u zgradi zapremine oko 20000 m³ postoji instalacija, koja obuhvata tri zasebna elektroakumulaciona bloka sa površinom osnove 4750 × 4325 i visine 2350 mm. Svaki se blok sastoji od po 90 čeličnih ćelija debelih zidova, koje su napunjene solju koja

predstavlja termoakumulirajuću sredinu. Postrojenje se koristi za zagrevanje vode koja odlazi u sistem za kondicioniranje vazduha i u centralni sistem vodenog grejanja. Potrebna snaga svakog bloka je 900 kW. Punjenje se vrši noću za vreme niže tarife električne energije.

2. GREJANJE ELEKTROAKUMULACIONIM PODOVIMA

Ova vrsta grejanja pruža izvanrednu mogućnost arhitektima i graditeljima da zgradu opreme praktično neprimetnom instalacijom grejanja, a može da se ostvari u granicama opravdanih troškova i obezbedi prijatnu klimu u prostorijama. Usled konkurencije i stalnog tehničkog razvoja ove vrste grejanja troškovi izrade toliko su opali da ono nije mnogo skuplje od instalacije grejanja elektroakumulacionim pećima. Svakako njegova primena ograničava se na nove zgrade, odnosno na zgrade koje se temeljno rekonstruišu. Sem toga pored u dovoljnoj meri povoljne noćne tarife električne energije, potrebna je i u dovoljnoj meri povoljna dnevna tarifa u trajanju 2-3 časa, jer za održavanje preko celog dana ravnomerne temperature prostorija mora u toku dana dva ili više časova da se vrši dopunjavanje akumulirane energije, kao i za dodatno direktno grejanje u svakoj prostoriji, kojim se upravlja termostatima. U zavisnosti od termičke inercije grejane zgrade biće potreban veći ili manji udeo dodatnog direktnog grejanja. Opšte uzevši, udeo dodatnog direktnog grejanja iznosi od 20 do 30%.

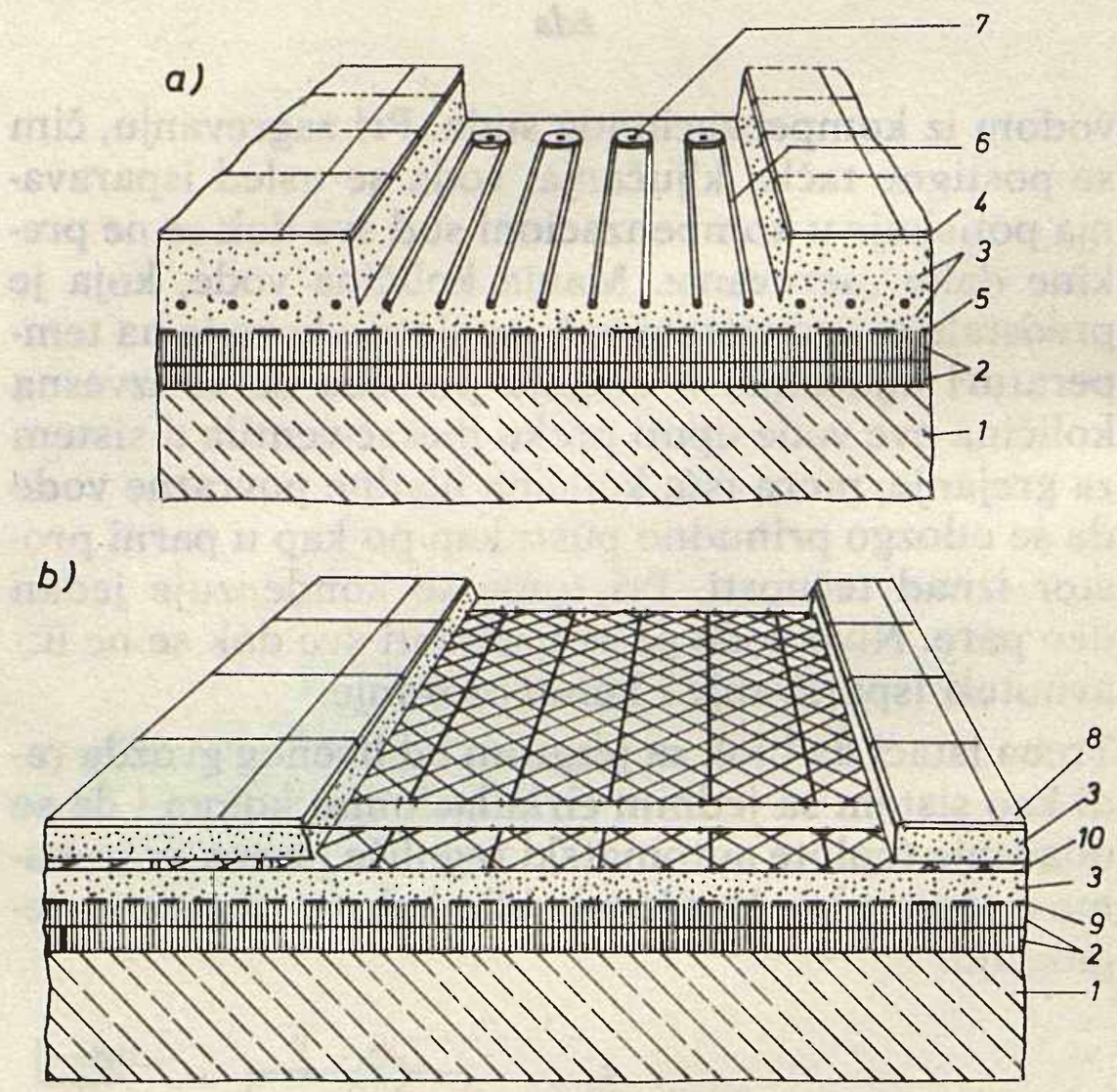
Dodatno direktno grejanje može da se izvede u vidu nešto jače grejane zone poda pored zidova sa prozorima širine oko 50 cm. U ovoj zoni se postiže nešto veća temperatura, tako da pored prozora postoji slabi uzgon toplog vazduha, pa se ne oseća nikakva promaja. Sem toga dodatno direktno grejanje sprečava faktore koji izazivaju poremećaje, kao što je Sunčevo ozračavanje i obezbeđuje stalnu temperaturu prostorije.

Principi koje treba poštovati pri izradi instalacije grejanja elektroakumulacionim podovima, koji, međutim, ne mogu uvek da se zadovolje, nalažu da grejni kabl dobro prenosi svoju toplotu na akumulirajuću podlogu poda, kako se ne bi pregrejao. Zato nije prihvatljivo da se grejni kabl položi u izolacioni materijal. Za odgovarajući prenos toplote u poprečnom pravcu u podu, na primer preko rešetaka od građevinskog čelika, treba se pobrinuti da se pri mestimičnom pregrevanju ne bi pojavilo na podu osetno povišenje temperature u poređenju s ostalom površinom poda.

U instalacijama u kojima pod može da se izloži vlazi, mora uvek da se pazi, što se uostalom preporučuje i za druge prostorije, da se između grejnih provodnika i površine poda položi uzemljeni provodljiv sloj, na primer uzemljena rešetka od građevinskog čelika. Tada se ispred dovoda za instalaciju postavi automatski zaštitni prekidač. Čim bi se oštetila izolacija grejnog kabla, automatski zaštitni prekidač bi izbacio.

U nas još nema propisa za izgradu instalacija električnog grejanja. U svim sistemima sa grejnim elementima direktno ugrađenim u podlogu poda grejni elementi se polažu ili neposredno na sloj toplotne izolacije ili na prethodno naneti sloj podloge poda preko toplotne izolacije i pokrivaju se slojem podloge poda najmanje debljine 5 cm. U poslednjem slučaju grejne provodnike prisnije opkoljava podloga poda; sem toga brže nastupa odavanje toplote preko poda, računajući od početka punjenja i sa manjim vremenskim zatezanjem, jer grejni kabl leži bliže površini poda.

Grejni kabl može da se učvrsti preko podloge od isprepletenog betonskog čelika ili sintetičkog materijala, ili da se vodi preko točkova za menjanje pravca (sl. 8. a). Presovani spoj dovodnog voda i grejnog kabla ima sintetičku izolaciju, a polaže se također neposredno u podlogu poda i mora da leži u blizini priključne kutije.



Sl. 8. Elektroakumulacioni pod sa direktnim polaganjem grejnih elemenata u podlogu poda:

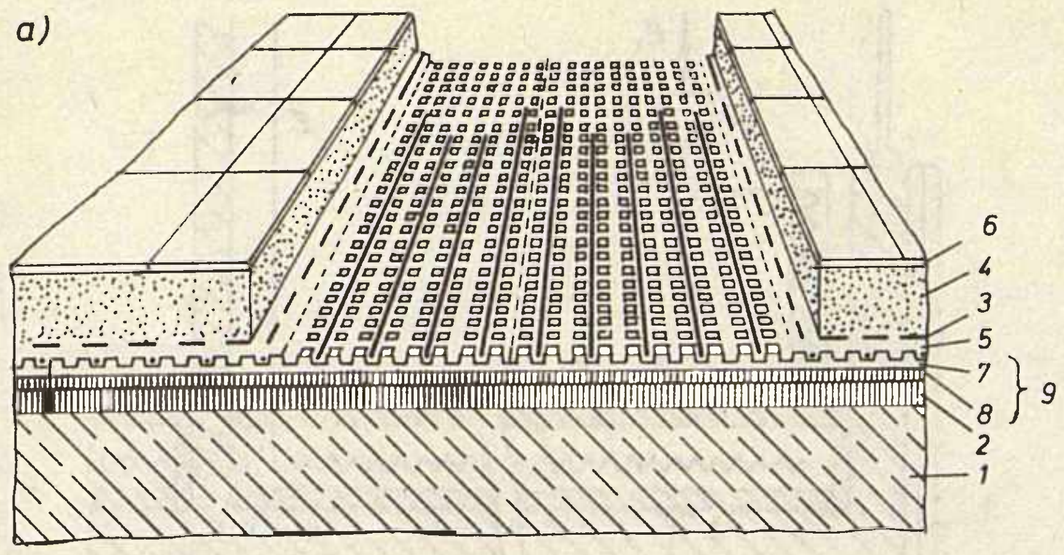
1 — međuspratna konstrukcija; 2 — toplotna izolacija; 3 — podloga poda; 4 — lice poda; 5 — lepenka bez peska; 6 — grejni kabl; 7 — točak za skretanje kabla; 8 — lice poda na filcanoj podlozi; 9 — folije od sintetičkog materijala; 10 — grejni »tepih«

Na sl. 8. b prikazan je fabrički izrađen »tepih« od grejnog kabla koji treba samo rasprostrti na mestu ugradnje i utopiti u podlogu poda.

Opisani sistemi predstavljaju samo primere. Pored njih postoji ceo niz drugih mogućnosti, na primer direktno polaganje u podlogu poda grejnih kablova u cevnim omotačima.

Razmotrićemo sisteme sa grejnim elementima indirektno ugrađenim u podlogu poda.

Energija, God. 32/1983/5, 373-389



Sl. 9. Elektroakumulacioni pod sa indirektnim polaganjem grejnih elemenata u podlogu poda:

1 — međuspratna konstrukcija; 1 — toplotna izolacija; 3 — folije od sintetičkog materijala; 4 — podloga poda; 5 — pesak; 6 — lice poda; 7 — sloj kvarcnog peska; 8 — meka vlakna; 9 — profilisana ploča za grejni kabl; 10 — grebenasta letva; 11 — »toplotna kočnica«; 12 — rebrasta ploča za grejni kabl; 13 — odstojnik; 14 — grejni kabl u sintetičkim cevima; 15 — žičana mreža; 16 — crevo od sintetičkog materijala; 17 — »tepih« od građevinskog čelika sa čeličnim cevima; 18 — grejni kabl

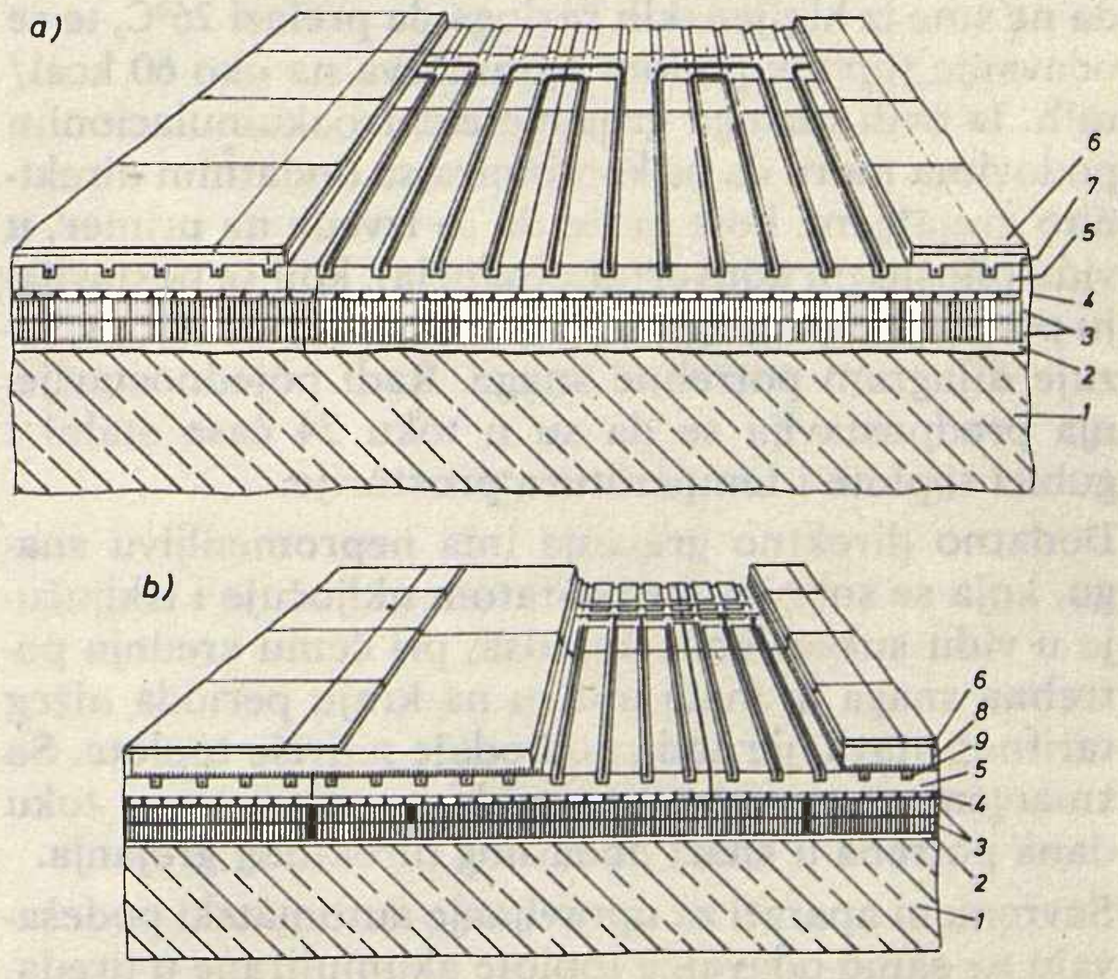
Na sl. 9. a prikazane su ograničeno elastične ploče (debljine oko 2 cm) sa kablovskim kanalima fabričke izrade, čija je donja polovina napravljena od termoizolacionog materijala, a u njenoj gornjoj polovini, koja je od kompaktno sabijenog peska, izvedeni su kablovski kanali. Pošto se položi grejni kabl, kablovski kanali se ispune peskom, a ploče se pokriju polietilenskom folijom. Posle toga odozgo se nanese sloj za izravnavanje debljine 5 cm.

U konstrukciji prema sl. 9. b na sloj toplotne izolacije polažu se termoizolacione ploče od cementne podloge poda fabričke izrade. Kablovski kanali se ispune peskom, a ploče se pokriju slojem toplotne izolacije debljine oko 0,5 cm, koja deluje kao »toplotna kočnica«. Na taj način mogu da se postignu veće temperature jezgra u donjoj zoni i niže temperature jezgra u gornjoj zoni, kao i velika moć akumuliranja toplote i veoma ravnomerna temperatura površine poda.

Sl. 9. c prikazuje još jednu konstrukciju grejnog tepiha fabričke izrade. Ona se sastoji od sintetičkih cevi oblika slova »U« sa uvučenim grejnim elementima i sa odgovrajućim odstojnicima. Gornji tepih jednostavno se rasprostre na mestu ugradnje. Dovodi struje za pojedine grejne elemente oblika slova »U« priključeni su na jednu sabirnicu, izvedenu u vidu podne letvice.

Konstrukcija prikazana na sl. 9. d predviđa grejni tepih od bešavnih vučnih čeličnih cevi sa poprečno zavarenim šipkama. Grejni kabl je provučen kroz čelične cevi. Prelaz od cevi na cev izveden je pomoću elastičnog ili krutog cevnog luka. Hladni priključni krajevi su opremljeni nepromočivim spojnicama.

Pri suvom načinu gradnje grejni kablovi se polažu prema sl. 10 u kablovske kanale suvih ploča podloge poda prema planu instalacije. U vrlo velikim prostorijama instalacija grejanja se deli u više »grejnih polja«.

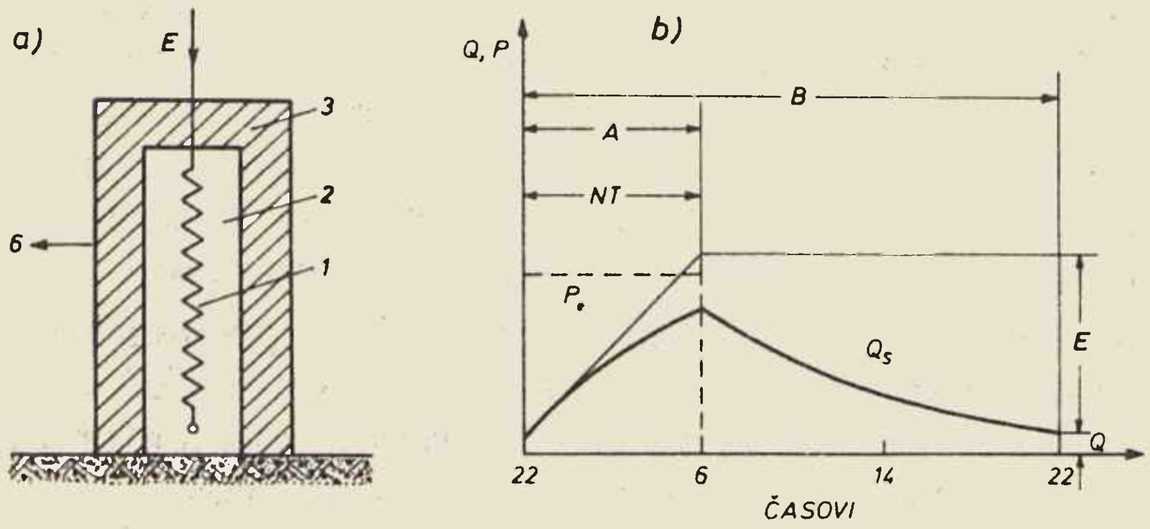


Sl. 10. Elektroakumulacioni pod pri suvom načinu gradnje:

1 — međuspratna konstrukcija; 2 — sitež perilita; 3 — toplotna izolacija; 4 — žičana mreža; 5 — gipsana ploča za grejni kabl; 6 — lice poda od PVC; 7 — noseća ploča; 8 — gipsana ploča; 9 — »toplotna kočnica«

Sl. 10. a prikazuje jednu konstrukciju u kojoj se u svojstvu elektroakumulirajuće mase koriste gipsane ploče debljine 25 cm. Preko zalepljene noseće ploče polaže se lice poda.

Sl. 10. b prikazuje jednu konstrukciju poda sa dvostrukim elektroakumulacionim pločama. Između ovih dveju ploča umetnuta je »toplotna kočnica« tako da se usled najviše moguće temperature jezgra u donjem delu postiže dalje povećanje moći akumuliranja toplote. U ovom sistemu lice poda polaže se neposredno preko kitovane gornje gipsane ploče.



Sl. 11. Elektroakumulacioni uređaj sa statičkim neregulisanim odavanjem toplote:

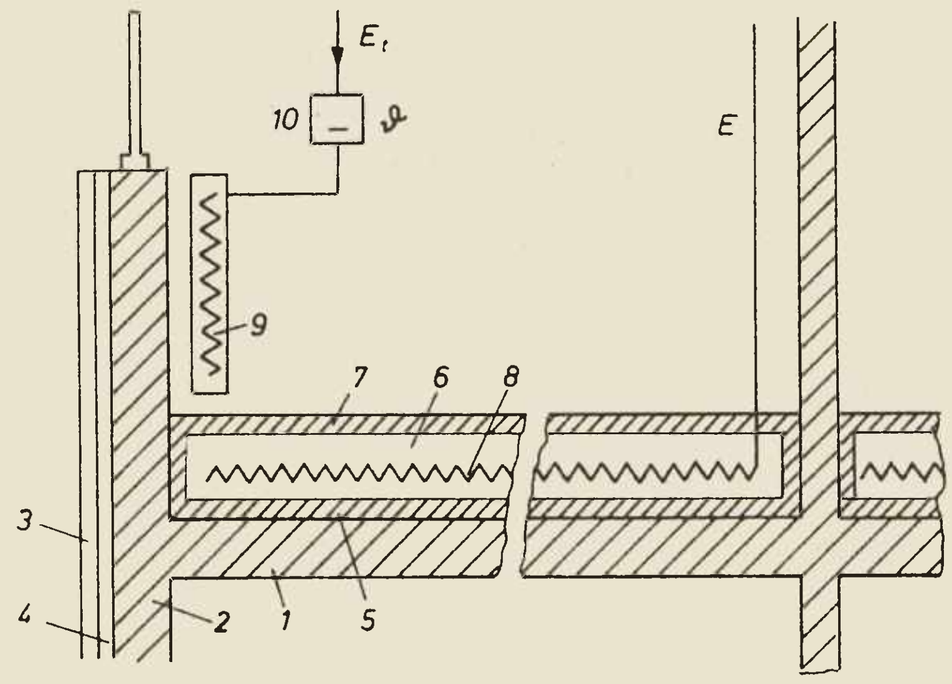
a) principijelna konstrukcija; b) dijagram akumuliranja i odavanja toplote

1 — električni grejači; 2 — akumulirajuće jezgro; 3 — toplotna izolacija; 6 — odavanje toplote površinom uređaja

Grejanje elektroakumulacionim podovima ima karakteristike elektroakumulacionih uređaja sa statičkim neregulisanim odavanjem toplote. Odavanjem toplote (sl. 11) upravlja se samo na taj način što se menja trajanje punjenja ili snaga punjenja. Preuzeta količina električne energije jednaka je u kvazistacionarnom stanju količini toplote koju instalacija odaje u toku jednog dana. Temperatura površine poda ne sme iz higijenskih razloga da prelazi 26°C, te se odavanje toplote podom ograničava na oko 60 kcal/m²h. Iz ovih razloga grejanje elektroakumulacionim podovima mora da se kombinira sa dodatnim direktnim grejanjem, koje može da se izvede na primer, u vidu pljosnatih konvertora (panela), koji se postavljaju pored parapeta ispod prozora (sl. 12). Sl. 13. prikazuje dijagram potrebne snage. Radi pojednostavljenja predpostavlja se da su u toku 24 časa stalni i gubici toplote i temperatura prostorije.

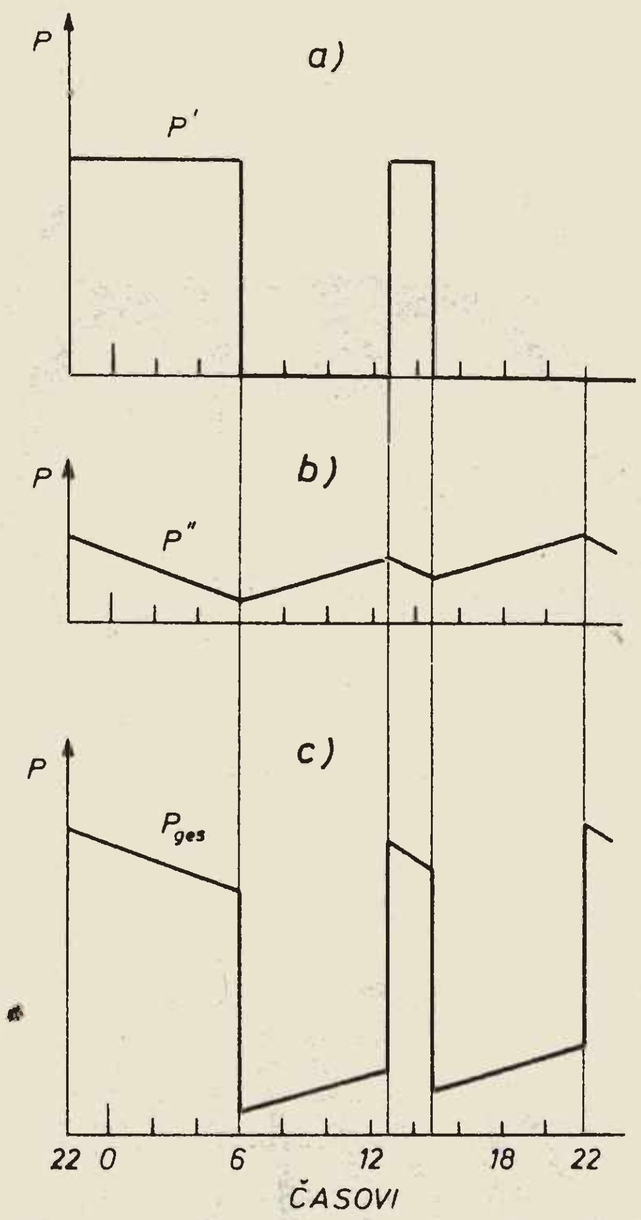
Dodatno direktno grejanje ima nepromenljivu snagu, koja se sobnim termostatom uključuje i isključuje u vidu sukcesivnih impulsa, pri čemu srednja potrebna snaga je mala ujutru na kraju perioda nižeg tarifnog stava, jer tada pod odaje najviše toplote. Sa smanjenjem temperature poda povećava se u toku dana potreba u snazi dodatnog direktnog grejanja.

Savremeni aparati za upravljanje automatski podešavaju ne samo odavanje toplote akumulirane u uređaju, već i količinu akumulirane toplote u zavisnosti od atmosferskih prilika, kao i od preostale toplote u uređaju. U poslednje vreme skoro svi uređaji za upravljanje opremaju se vremenskim organom tako da se punjenje uključuje ne odmah na početku niže tarife,



Sl. 12. Principijelna konstrukcija elektroakumulacionog poda (poprečni presek):

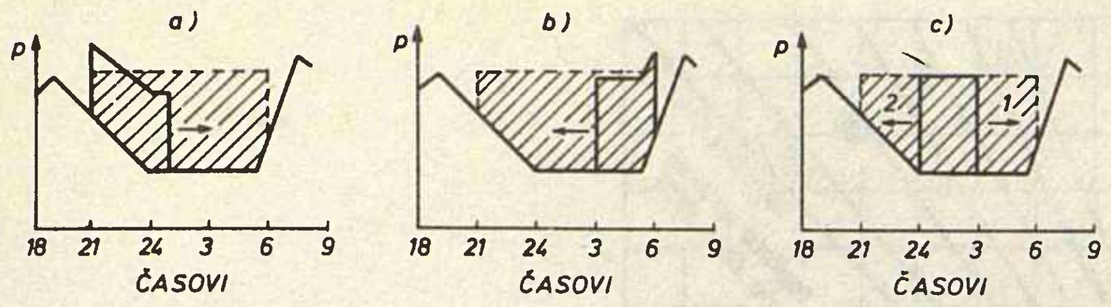
1 — međuspratna konstrukcija; 2 — spoljni zid; 3 — toplotna izolacija; zgrade; 4 — spoljni lep; 5 — toplotna izolacija instalacije grejanja elektroakumulacionim podom prema zgradi; 6 — akumulirajuća podloga poda; 7 — lice poda; 8 — grejni elementi, koji se uključuju u periodu niže tarife; 9 — dodatno direktno grejanje, koje radi preko dana



Sl. 13. Potrebna snaga instalacije grejanja elektroakumulacionim podom:

a) učešće elektroakumulacionog grejanja koji se uključuje u periodu niže tarife: b) potrebna snaga dodatnog direktnog grejanja regulisana sobnim termostatom; c) ukupna potrebna snaga

već prema spoljnoj temperaturi sa većim ili manjim vremenskim zatezanjem. Time se sprečava da se opterećenje od elektroakumulacionog grejanja superponira sa večernjim vrhom opterećenja od osvetljenja koji još nije dovoljno opao oko 22 časa. Sl. 14. pokazuje kako se popunjava noćna dolja dijagrama opterećenja elektroenergetskog sistema putem upravljanja akumuliranjem električne energije. Ako aparat za upravljanje punjenjem nije opremljen vremenskim organom, onda nastaju prilike kao na sl.



Sl. 14. Popunjavanje dolje dijagrama opterećenja elektroenergetskog sistema potrebama elektroakumulacionog grejanja

14. a. Ako, pak, postoji vremenski organ dolja dijagrama opterećenja elektroenergetskog sistema, ispunjava se kao na sl. 14. b. U mnogim slučajevima optimum se postiže samo aparatom za upravljanje punjenjem sa »razvlačenjem« opterećenja (sl. 14. c).

Da bi se prilagodilo različitom korišćenju prostorija (spavaće, dnevne, dečje sobe i dr.), treba, ako je to tehnički moguće, izvršiti podelu opterećenja u tri termička strujna kola podjednakih snaga. Pri tome će, na primer, biti dovoljno uključiti samo jedno termičko strujno kolo da bi se prostorija smlačila. Da bi se pokrile ukupne osnovne potrebe u toploti trebalo bi uključiti sva tri termička strujna kola. Pomenuta termička kola, u zavisnosti od sistema grejanja elektroakumulacionim podovima, mogu da se polože vijugavo jedno u drugo ili podeljeno u zone. U prvom slučaju, ako se uključi samo jedno termičko kolo, smlačiće se cela površina poda, dok će se u drugom slučaju zagrejati samo jedan određeni deo površine poda. Pri podeli u zone treba omogućiti da se prema potrebi uključi prvo ono termičko strujno kolo čija zona obuhvata prostor pored prozora, odnosno pored spoljnih zidova, pošto se tamo javljaju najveći gubici toplote.

Tabela 1.

Časovne specifične potrebe zgrada u toploti q_h prema DIN 4701

Tip zgrade	q_h kcal/m² · h	
	preporučljivo	maksimalno
Višeporodične zgrade visine do 4 sprata	70	80
Red zgrada jedna uz drugu	75	85
Ugaone ili razdvojene zgrade u redu	80	90
Usamljene jednoporodične zgrade	95	110
Višespratnice do 4 sprata	75	85
Višespratnice do 9 spratova	90	100
Višespratnice od 10 i više spratova	95	120

Toplotno dimenzionisanje instalacije grejanja elektroakumulacionim podovima bitno se razlikuje od određivanja parametara instalacije grejanja samo elektroakumulacionim uređajima (elektroakumulacione peći, elektroakumulacioni blokovi) s obzirom na pomenuta ograničenja (26°C i 60 kcal/m²). Toplotna snaga koja je potrebna za pokrivanje časovnih potreba u toploti iznad ovih vrednosti svakako dovodi do poboljšanja sposobnosti regulacije putem dodatnog direktnog grejanja. Zbog toga pri dimenzionisanju instalacije grejanja odvojeno se posmatraju obe vrste grejanja.

Pošto vrednosti časovnih specifičnih potreba u toploti savremenih zgrada (tabela 1) uvek prelaze pomenuta ograničenja, to toplotni proračun ne utiče na dimenzionisanje instalacije grejanja elektroakumulacionim podom.

Moć akumuliranja poda sasvim neznatno zavisi od vrste primenjenog materijala za podlogu poda, ali u velikoj meri zavisi od debljine akumulirajućeg sloja, kao i od vrste materijala toplotne izolacije, koja opkoljava ovaj sloj. Na odavanje toplote, a prema tome i na moć akumuliranja, u ovom slučaju naročito utiče površinski pokrivač poda. Debeli tekstilni pokrivači predstavljaju bolju »toplotnu kočnicu« nego tanki pokrivači od sintetičkih materijala. Zbog toga može da se računa sa većom temperaturom jezgra, a prema tome sa većom moći akumuliranja poda, ako se koriste tepisi i filcani pokrivači.

Nomogram na sl. 15. omogućava dimenzionisanje grejanja, pri čemu su uzete u obzir i količine toplote koje se sa poda prenose u prostoriju ispod njega.

Za dimenzionisanje snage direktnog dodatnog grejanja mora u svakom slučaju da se proračuna za grejanu prostoriju časovna potrebna toplota. Pri ovome nije potrebno uzimati u obzir gubitke toplote kroz pod.

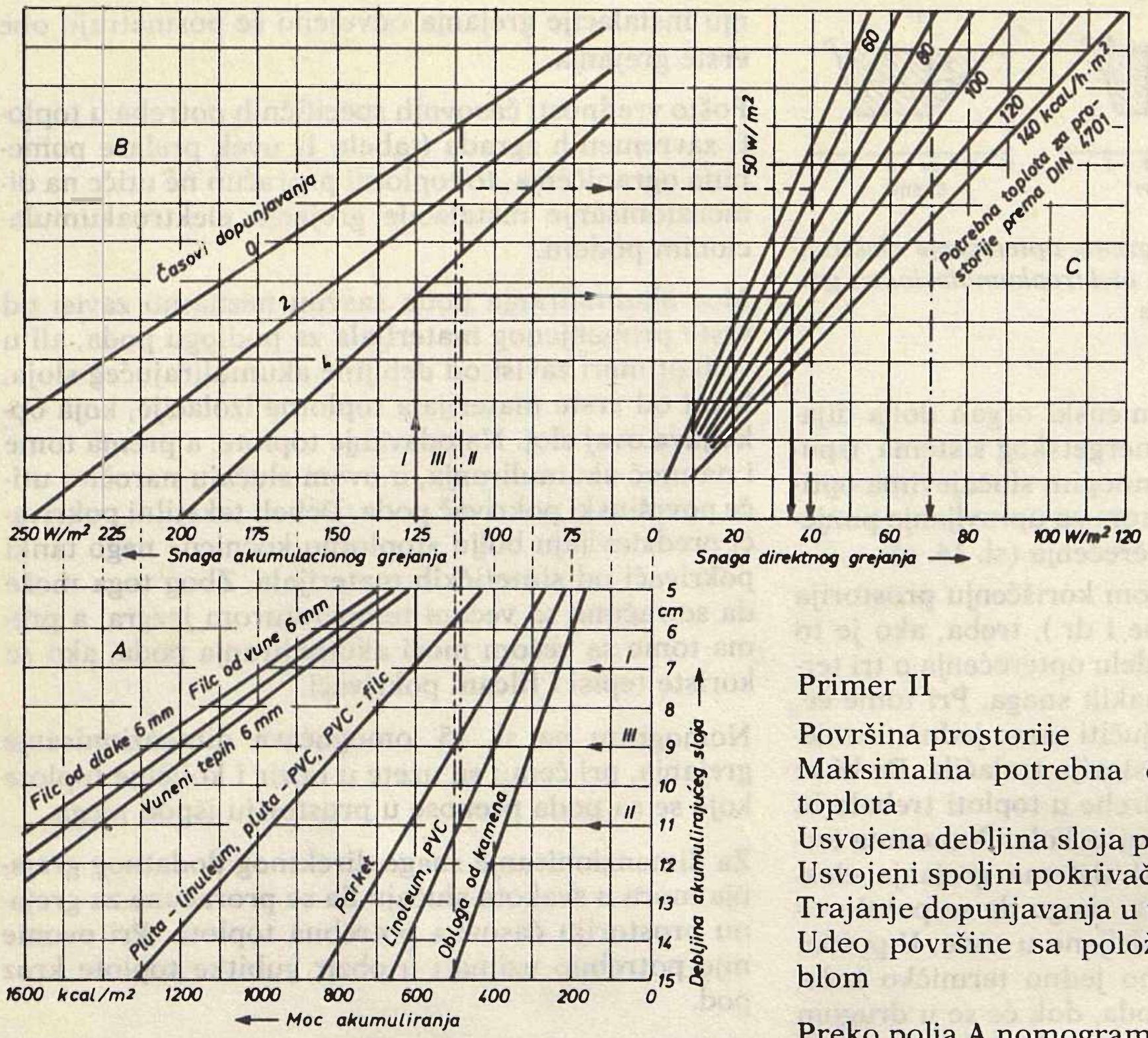
Na nomogramu (sl. 15) može da se očita snaga dodatnog direktnog grejanja, polazeći od kvadranta A, zavisno od broja časova dopunjavanja (kvadrant B) u zavisnosti od računski dobivene najveće časovne specifične potrebne toplote (kvadrant C). Pošto bi dodatnim direktnim grejanjem trebalo da se izregulišu, takođe, i iznenadni dobici toplote i gubici toplote, to je neophodno u svakom slučaju predvideti najmanje po 50 W/m² grejane površine, kao minimalnu snagu dodatnog direktnog grejanja ako gubici toplote prostorije dobiveni čisto računskim putem iznose manje od navedene vrednosti.

Citirane vrednosti priključnih snaga dodatnog direktnog grejanja važe samo uz pretpostavku da su ispod celokupne grejane površine položeni grejni kablovi. Ako se pak, kao što je to slučaj u kuhinjama i kupatilima, greje smo jedan deo površine poda, za određivanje snage dodatnog direktnog grejanja u svakom slučaju treba koristiti koeficijent popravka, kojim se uzima u obzir smanjenje grejane površine poda (tabela 2).

Tabela 2.

Koeficijent popravke pri smanjenju grejane površine prostorije

Učešće površine obuhvaćene grejnim podom	90 50	80 40	70	60
Koeficijent popravke za dodatno direktno grejanje	1,18 1,86	1,34 2,03	1,51	1,68



Sl. 15. Nomogram za određivanje snage dodatnog direktnog grejanja

Primer I

Površina prostorije	15 m²
Maksimalna potrebna časovna specifična toplota	90 kcal/m² · h
Usvojena debljina sloja podloge poda	7 cm
Usvojeni spoljni pokrivač	pluta-PVC
Trajanje dopunjavanja u toku dana	4 h
Udeo površine sa položenim grejnim kablom	70%

Preko polja A nomograma dobije se specifična snaga akumuliranja 125 W/m² grejane površine. Pri polaganju grejnog kabla na 70% površine prostorije dobija se instalirana snaga grejanja elektroakumulacionim podom:

$$P_{ak} = 15\ m^2 \cdot 0{,}125 \frac{kW}{m^2} \cdot 0{,}7 = 1{,}3\ kW \qquad (1)$$

Prema polju C nomograma specifična snaga dodatnog direktnog grejanja iznosi 35 W/m² grejane površine. Međutim, s obzirom na sposobnost regulacije, snaga dodatnog direktnog grejanja treba da iznosi najmanje 50 W/m² grejane površine. Iz tablele 2. za delimično grejanu površinu od 70% dobija se koeficijent popravke jednak 1,51. Prema tome snaga dodatnog direktnog grejanja treba da iznosi:

$$P_{dir} = 15\ m^2 \cdot 0{,}05 \frac{kW}{m^2} \cdot 1{,}51 = 1{,}2\ kW \qquad (2)$$

Primer II

Površina prostorije	25 m²
Maksimalna potrebna časovna specifična toplota	100 kcal/m² · h
Usvojena debljina sloja podloge poda	11 cm
Usvojeni spoljni pokrivač	Linoleum
Trajanje dopunjavanja u toku dana	nema
Udeo površine sa položenim grejnim kablom	100%

Preko polja A nomograma dobija se specifična snaga akumuliranja 112,5 W/m². Prema tome snaga instalacije grejanja elektroakumulacionim podom iznosi:

$$P_{ak} = 25\ m^2 \cdot 0{,}1125 \frac{kW}{m^2} = 3\ kW \qquad (3)$$

Za snagu dodatnog direktnog grejanja dobija se iz polja B i C nomograma zaokruženo 70 W/m². Odavde se dobija snaga dodatnog direktnog grejanja:

$$P_{dir} = 25\ m^2 \cdot 0{,}07 \frac{kW}{m^2} = 1{,}75\ kW \qquad (4)$$

Pri izvođenju statičkog proračuna zgrada treba imati u vidu da se pri ugradnji grejanja elektroakumulacionim podovima povećava opterećenje međuspratne konstrukcije usled ojačanja sloja podloge poda. Pošto se sve podloge poda skupljaju pri stvrdnjavanju, a sem toga su dejstvom grejanja elektroakumulacionim podom izložene većim kolebanjima temperature, treba u datom slučaju na svakih 7 m podeliti podlogu poda delatacionim šavovima. U svojstvu lica poda ne mogu da se koriste samo termoplastični materijali, npr. asfalt. Naročito pogoduju tekstilni pokrivači pri izvođenju grejanja elektroakumulacionim podovima. Oni su termički postojani u opsegu pomenutih temperatura, predstavljaju dobru »toplotnu kočnicu« i na taj način povećavaju moć akumuliranja toplote podom. Sem toga, usled svoje strukture oni povećavaju površinu odavanja toplote. Pri lepljenju poda treba naročito paziti na okolnost da se mogu koristiti samo termički postojani lepkovi.

Ispitivanja u naseljima sa elektroakumulacionim grejanjem pokazuju da se veća ekonomičnost snabdeva-

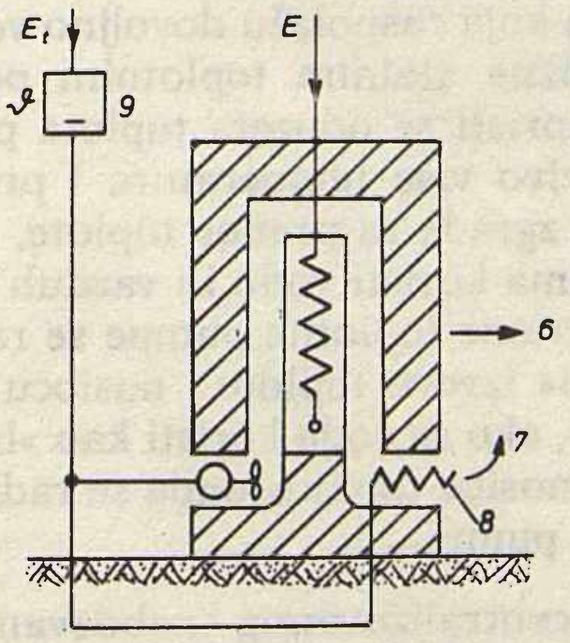
nja električnom energijom postiže, ako se stambeni objekti opremaju ne čisto elektroakumulacionim uređajima, jer će se u protivnom unutar naselja javiti prevelike razlike između noćnog opterećenja i osetno manjeg dnevnog opterećenja tako da dimenzioniranje lokalne mreže samog naselja neće biti ekonomski opravdano. Ekonomičnije je predvideti mešovito grejanje s tim da se preko dana dopunjavaju elektroakumulacioni uređaji, a sem toga da se oni upotpunjuju dodatnim direktnim grejanjem. Iz ovoga sledi da bi za dodatno direktno grejanje trebalo da postoji povoljnija tarifa električne energije.

Mešovito grejanje nalazi sve veću primenu u praksi. Grejanje elektroakumulacionim podovima predstavlja upravo mešovito elektroakumulaciono i direktno grejanje.

Međutim, grejanje elektroakumulacionim podovima nije našlo u nas široku primenu. Sem u nekoliko većih hotela, npr. u hotelu »Palisad« na Zlatiboru, ono dosada nije korišćeno najverovatnije zbog nestabilnih cena električne energije i ograničenja u njenom napajanju, a i iz drugih razloga.

3. GREJANJE ELEKTROAKUMULACIONIM PEĆIMA

Elektroakumulacione peći sa prinudnim (dinamičkim) odvajanjem toplote, upravljane sobnim termostatom (sl. 16) u nas se mnogo koriste i ne zahtevaju posebna objašnjenja.



Sl. 16. Elektroakumulacioni uređaj sa dinamičkim regulisanim odavanjem toplote i dodatnim grejačem

Prolazeći na potpuno električno grejanje celih stanova, moglo bi se preporučiti da se kupatila i prostorije koje se ređe koriste, a koje bi trebalo ovlaš smlačiti, opremaju radijacionim grejalicama. Druge prostorije, koje zahtevaju da se uvek odžava osnovna temperatura, a samo izuzetno moraju jače da se zagrevaju, mogu da se opreme poddimenzionisanim elektroakumulacionim uređajima (pećima) sa dodatnim ugrađenim grejačem (sl. 16) koji se uključuje u slučaju veće potrebe u toploti.

U pogledu automatskih aparata za upravljanje, mogućnosti primene tonfrekventne komande i povoljnijih tarifa električne energije važi sve ono što je već rečeno za grejanje elektroakumulacionim podovima.

4. POLUPROVODIČNO GREJANJE I HLAĐENJE

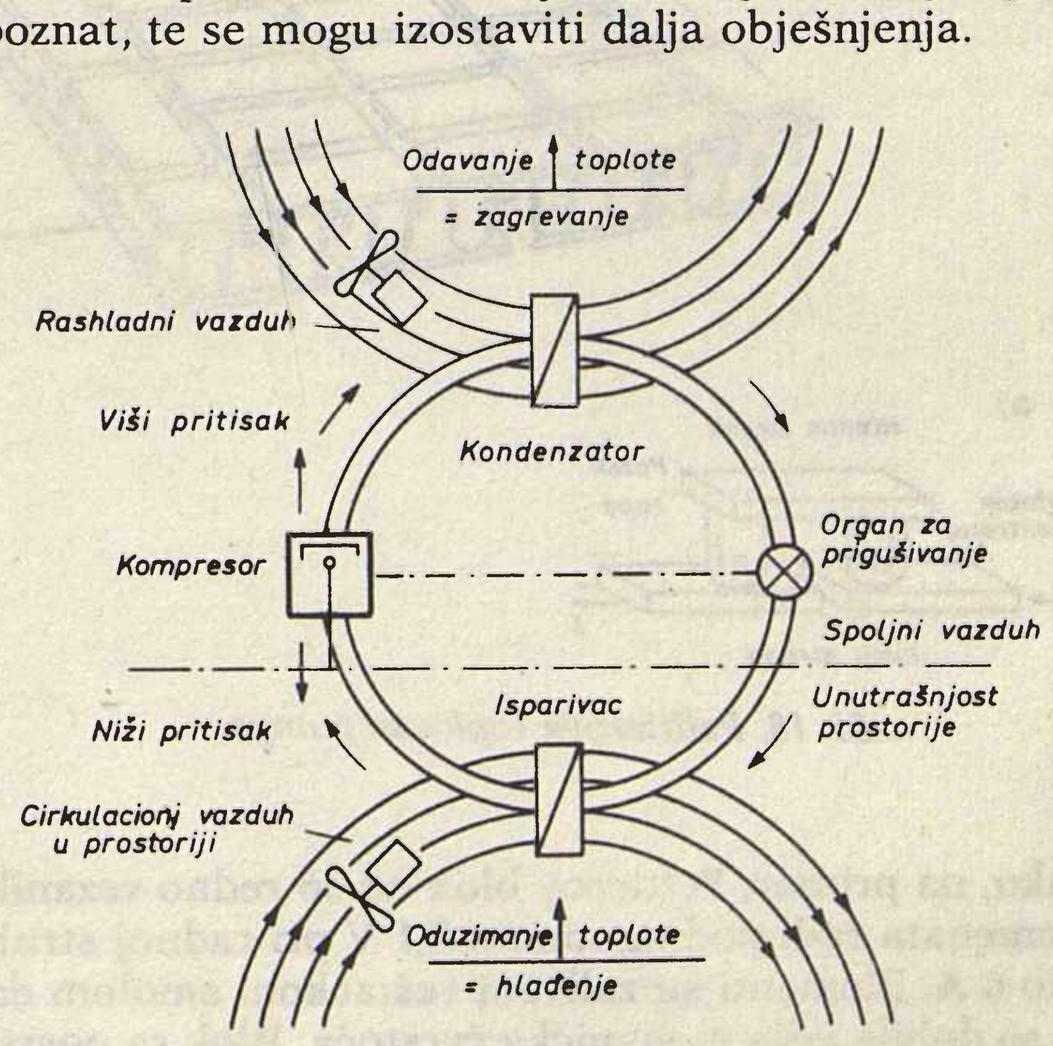
Grejanje i hlađenje prostorija, odnosno klimatizacija prostorija, može da se izvede pomoću toplotnih pumpi.

Toplotna pumpa predstavlja postrojenje koje obavlja prenos toplote od manje zagrejanog tela (okoline) na više zagrejano telo na račun utroška energije. Procesi koji se odvijaju u toplotnoj pumpi su obrnuti (inverzni) procesima koje obavlja fluid u mašini za hlađenje. Toplotna pumpa se koristi, na primer, sistemima za grejanje i klimatizaciju.

Da bi se ovo ostvarilo — obrnuti Karnoov ciklus — postoje dva sistema:

— elektromehanički princip kompresione toplotne pumpe i — čisto električni princip Peltierove toplotne pumpe.

Glavni sastavni delovi kompresione toplotne pumpe su isparivač, rashladni kompresor i kondenzator (sl. 17), koji su zajedno sa organom za prigušivanje priključeni na rashladno cirkulaciono kolo, kao i u svakom kompresionom hladnjaku. Ovaj sistem je opšte poznat, te se mogu izostaviti dalja obješnjenja.



Sl. 17. Shema kompresione toplotne punpe

Kompresione toplotne pumpe imaju određene nedostatke, npr. gubitke toplote usled centralnog položaja uređaja, neprijatnu buku i habanje.

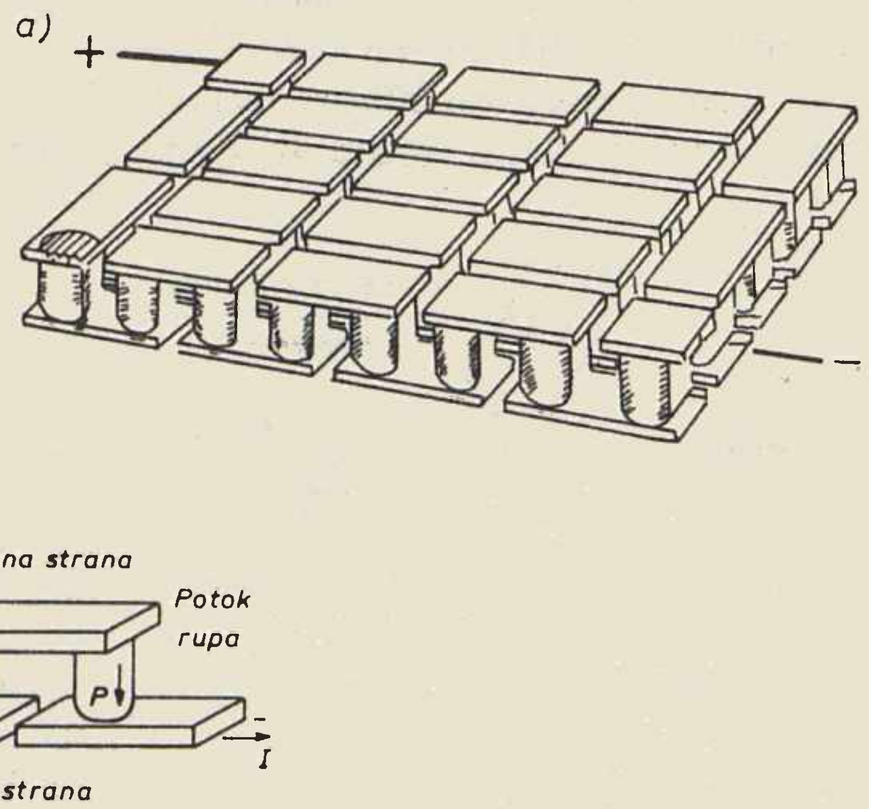
Pre izvesnog vremena počelo je da se razvija elektrotermičko hlađenje primenom Peltierovih ćelija takođe i za klimatizaciju prostorija što je omogućio opšti razvoj tehnike poluvodnika, naročito u pogledu proizvodnje i obrade poluprovodničkih materijala.

Peltier je 1834. godine zapazio sledeći efekt: ako kroz spojno mesto dvaju različitih metala prolazi jednos-

merna struja, onda se u zavisnosti od smera struje javlja hlađenje ili zagrevanje tih spojnih mesta. Tek 1854. godine Thomson objašnjava fizički ovaj proces. Prema ponašanju negativnih i pozitivnih nosioca punjenja (elektrona, šupljina), koji se nalaze u materijalu provodnika, ispoljava se pri razlici temperatura veća brzina kretanja u toploj zoni nego u hladnoj zoni, tako da više nosilaca punjenja kreće u smeru od toplijeg prema hladnijem mestu spoja nego u obratnom smeru. Na ovaj način postiže se ravnoteža, te se na oba mesta spoja ustaljuje razlika temperatura čija vrednost zavisi, sa jedne strane, od postojećeg napona, a sa druge strane, od određenih osobina provodnika.

Oba provodnika treba da imaju po mogućnosti što manje toplotne gubitke, odnosno da imaju veliku električnu provodljivost i da što manje prenose toplotu sa toplijeg na hladnije mesto spoja, odnosno da imaju malu provodljivost toplote. Za ovu svrhu su najprikladnije kombinacije poluprovodnika na primer: bizmut — telurit, antimon — telurit, bizmut — selenit i antimon — selenit.

Jedna Peltierova baterija sastoji se od više Peltierovih elemenata, koji su u obliku bloka vezani električno na red a u toplotnom pogledu — paralelno (sl. 18).



Sl. 18. Pelitierova toplotna pumpa

Tako, na primer, Peltierov blok od 36 redno vezanih elemenata radi pod naponom 0,1 V pri radnoj struji oko 6 A. Elementi su zaliveni veštačkom smolom da bi se dobila veća mehanička čvrstoća. Blok sa površinom odavanja toplote od 16 cm² ima snagu hlađenja oko 23 W i razliku temperatura između tople i hladne strane oko 65°C.

Snaga hlađenja, koju može da ostvari Peltierov elemenat utoliko je veća ukoliko je manja dužina kraka i veći njegov presek — što se iz fizičkih, tehnoloških i konstruktivnih razloga može ostvariti prema prilikama samo u jednom određenom odnosu.

Rashlađivanjem jedne strane bloka oduzima se toplota od okoline i prenosi se čisto električnim putem na toplu stranu bloka i tamo opet predaje okolini. Tako Peltierov blok radi kao prava toplotna pumpa. U skladu sa toplotnom bilansom ćelije predata toplotna snaga na toploj strani jednaka je zbiru moći rashlađivanja hladne strane i džaulovih gubitaka ćelije.

Prema tome, koeficijent rahlađivanja Peltierovog bloka utoliko je veći ukoliko je veća moć rashlađivanja i ukoliko je manja električna snaga potrebna za pokrivanje džaulovih gubitaka. Ukoliko je veća razlika temperatura između tople i hladne strane, utoliko je manja moć rashlađivanja, a prema tome i koeficijent rashlađivanja.

Koeficijent rashlađivanja je bezdimenziona veličina koja se koristi u termodinamici kao karakteristika energetske efikasnosti obrnutog kružnog procesa — ciklusa rashladnog postrojenja. Koeficijent rashlađivanja ε jednak je odnosu količine toplote Q_2 odvedene u obrnutom ciklusu od hlađenog sistema prema utrošenom radu A:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A} = \frac{1}{\eta_t} - 1 \qquad (5)$$

gdje je η_t termički koeficijent korisnog dejstva isto takvog direktnog kružnog ciklusa.

Kružni proces, ciklus, je termodinamički proces usled čijeg dejstva se radno telo vraća u prvobitno stanje. U obrnutom kružnom procesu ostvaruje se za račun utrošenog rada prenos toplote od manje zagrejanih tela na tela koja su više zagrejana. Obrnuti (inverzni) kružni proces odigrava se u rashladnim mašinama i postrojenjima za klimatizaciju.

Kao »hladni« izvor toplote za centralizovane instalacije Peltievorih toplotnih pumpi mogu da se koriste reke, podzemna voda, otpadna voda, tle, vazduh — dakle sva tela koja raspolažu dovoljno velikom i vremenski približno stalnim toplotnim potencijalom. Za grejanje koristi se oduzeta toplota pošto se ona podigne na nivo više temperature i preda centralnom sistemu zgrade za prenos toplote, koji pri klasičnim načinima koristi vodu ili vazduh kao nosioce toplote. Električne toplotne pumpe se razlikuju prema »hladnom« izvoru toplote i nosiocu toplote. Tako, na primer, ako se voda koristi kao »hladni« izvor toplote i kao nosioc toplote, onda se radi o vodovodnoj toplotnoj pumpi.

Kao primjer centralizovanog snabdevanja toplotom može da posluži jedan veliki pogon za reviziju brojila električne energije. Ukupna zapremina zgrade iznosi oko 27000 m³ i deli se u niz povezanih kancelarija i niz povezanih radionica. Dužina zgrade je 63, a širina 15 m (ukupno 4 sprata), sem toga još prostorija ispitne stanice površine osnove 23 × 23 m, a koja nema prozora. U ostalim prostorijama površina prozora iznosi oko 50% od površine zidova. Skelet zgrade je od armiranog betona.

Ukupne potrebe u toploti iznose oko 400000 kcal/h pri spoljnoj temperaturi −12°C; potrebe u hladnoći iznose oko 328000 kcal/h pri spoljnoj temperaturi +32°C.

Za toplotnu pumpu nije potrebno dodatno grejanje jer se podzemna voda koristi i kao izvor i kao apsorber toplote. Ona se pumpa iz bunara dubokog 10 m

pri prosečnoj temperaturi +10°C. Najveća potrebna količina podzemne vode je 60 m³/h, dok je sredinom godine dovoljno oko 20 m³/h.

Potrebna snaga toplotne pumpe iznosi oko 145 kW. Proizvedena količina toplote i hladnoće u centrali toplotne pumpe prenosi se vodom preko sistema cevi do 180 naglavaka za dovod vazduha u grejane, odnosno hlađene prostorije. Svaki od naglavaka ima svoj ventilator koji obezbeđuje potrebne izmene vazduha, a istovremeno usisava ispod fasade zgrade do 25% svežeg vazduha i dovodi ga u prostoriju.

Cela mreža za razvođenje vode za niz radionica podelena je u 5 zona. Temperaturu ulazne vode podešavaju termostati, koji prema potrebi utiču na rad kompresora toplotne pumpe ili na mešač-ventil na početku voda.

U kancelarijskom delu zgrade položena je četvorocevna mreža za vodu. Protočnim ventilima na naglavcima za vazduh individualno se podešava željena temperatura prostorija.

Opisana instalacija je veoma ekonomična u eksploataciji, pošto srednji koeficijent rashlađivanja iznosi 4,5 usled relativno visoke temperature raspoloživog »hladnog« izvora toplote.

Za grejanje jednoporodičnih zgrada u prvom redu dolazi u obzir vazduho-vazdušna toplotna pumpa, mada se izvode instalacije sa voda-vodenim, odnosno zemlja-vazdušnim toplotnim pumpama. Međutim, sistem vazduh-vazdušnih toplotnih pumpi nije u stanju da potpuno pokrije maksimalne gubitke toplote zgrade, jer se nepovoljno ispoljava zavisnost koeficijenta rashlađivanja od temperature »hladnog« izvora toplote. Pri opadanju spoljne temperature istovremeno opada koeficijent rashlađivanja, a sa tim i termička sposobnost toplotne pumpe. Potrebno je ostvariti dodatno grejanje.

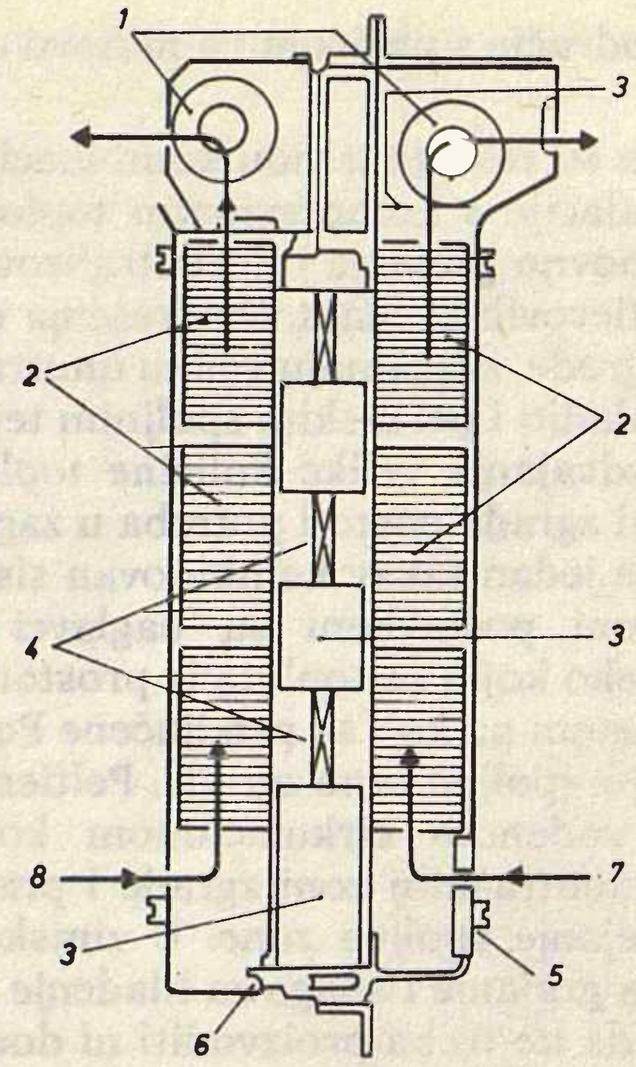
Za decentralizovanu klimatizaciju, odnosno grejanje i hlađenje pojedinih prostorija u velikim zgradama koriste se uređaji za klimatizaciju koji mogu da se montiraju u zidovima ili prozorima, ispod prozora ili se izrađuju u obliku naglavaka za dovod vazduha i klimatizacioni ormani.

Rashladni agregati obično mogu da se prespajaju i za grejanje i za hlađenje. Radi pokrivanja vršnih potreba prostorija u toploti treba obezbediti dodatno grejanje koje se uključuje po potrebi.

U decentralizovanoj instalaciji toplotnih pumpi nema nikakve veze između pojedinih uređaja za klimatizaciju.

Na sl. 19. shematski je prikazana vazduho-vazdušna toplotna pumpa sa ukupno 32 Peltierova bloka, koji su električno redno povezani i napajaju se preko ispravljača 120 V jednosmernom strujom 6-8 A. Svaka dva bloka su spojena sa pripadajućim rebrastim izmenjivačima toplote u jedan unificirani sklop. Po jedan poprečni duvajući ventilator na primarnoj i sekundarnoj strani obezbeđuje proticanje svežeg i cirkulacionog vazduha prostorije.

Peltierove toplotne pumpe imaju niz dobrih osobina. Tako, sem u oba ventilatora, one nemaju pokretne



Sl. 19. Konstrukcija vazduhno-vazdušne toplotne pumpe:
1 — ventilator; 2 — rebrasti izmenjivač toplote; 3 — kruti porozni materijal (penoplasti); 4 — Peltierov elemenat; 5 — vazdušni filtar; 6 — odvod kondenzata; 7 — vazduh iz prostorije; 8 — sveži vazduh

delove; Peltierove ćelije nisu podložne habanju i kao svi poluvodični elementi ne zahtevaju nikakvo održavanje; dugovečnost Peltierovih elemenata je veoma visoka. Zato se osetno smanjuju troškovi eksploatacije. Neprijatna buka, koja je glavni problem kompresionih agregata, a pre svega malih uređaja, potpuno otpada pri korišćenju Peltierovih ćelija. Dok u kompresionih toplotnih pumpi presmeravanje toka rashladnog sredstva sa grejanje na hlađenje i obratno još i danas predstavlja tehničke i konstruktivne teškoće, u Peltierovim ćelijama ovo obavlja običan električni prekidač, koji menja smer struje kroz ćelije. I ovde održavanje i eventualne opravke svode se na najmanju meru.

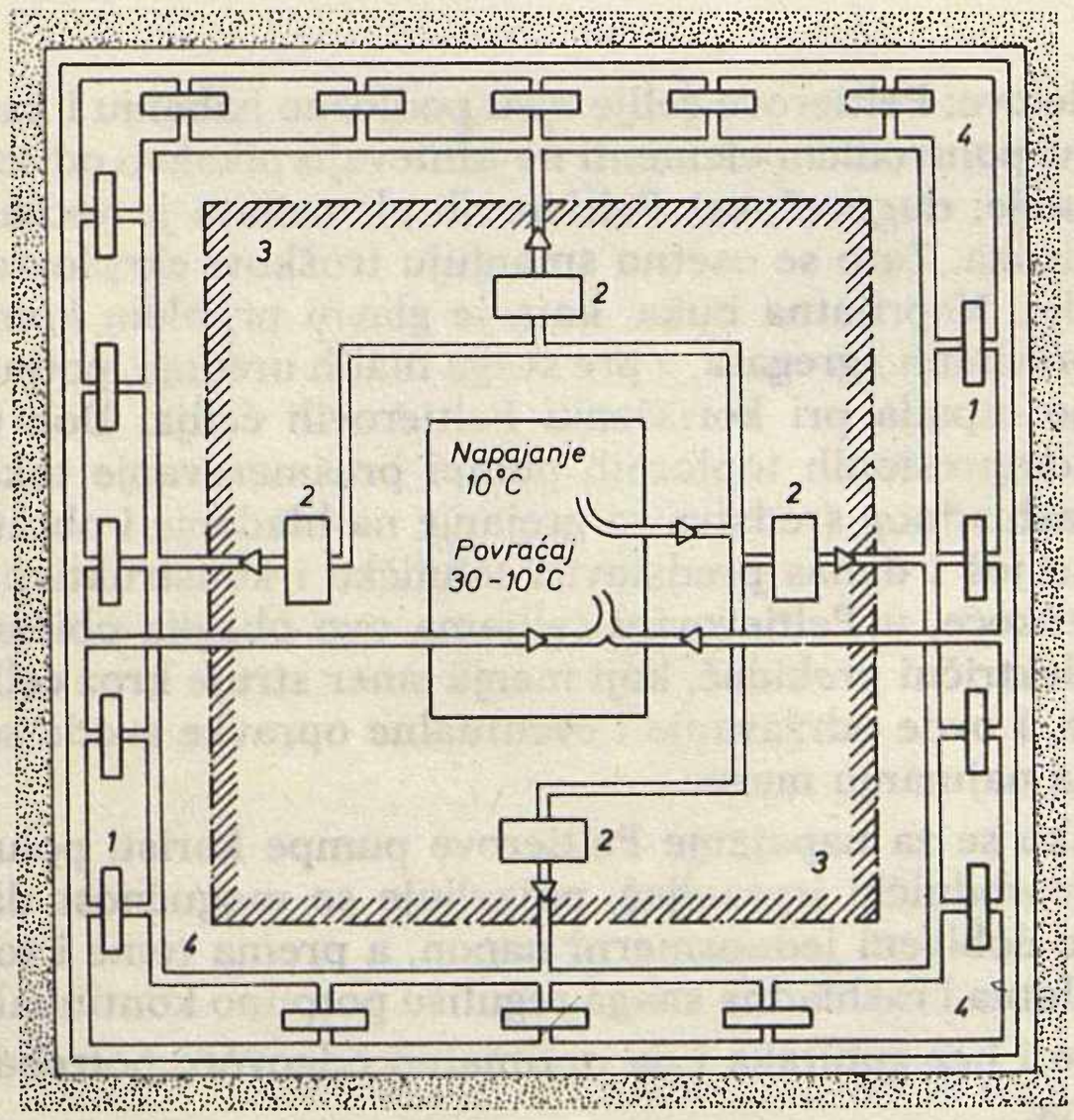
Ako se za napajanje Peltierove pumpe koristi poluprovodnički ispravljač, pojavljuje se mogućnost da se dobiveni jednosmerni napon, a prema tome i toplotna i rashladna snaga regulišu potpuno kontinualno i bez gubitaka i da optimalno odgovore potrebama.

Kompresione toplotne pumpe se koriste za grejanje i hlađenje velikih zgrada prvenstveno u centralizovanim instalacijama iz razloga izdataka i u interesu dobre regulacije. Peltierove toplotne pumpe, čija se snaga može podeliti prema svakom zahtevu, imaju tu prednost što se mogu postavljati neposredno na mestu korišćenja. Zbog toga osetno se poboljšava sposobnost regulacije cele instalacije i skoro potpuno nestaju gubici usled prenosa toplote i hladnoće, koji se javljaju u centralizovanim sistemima.

Decentralizovane instalacije opremljene samo Petlierovim toplotnim pumpama, na primer u velikim administrativnim zgradama, danas obuhvataju jedno

određeno područje s obzirom na njihovu cenu koštanja.

Interesantna su rešenja u vidu kombinacija centralizovane instalacije s kompresionim toplotnim pumpama za osnovno grejanje i decentralizovano raspoređenih Peltierovih uređaja. Ova rešenja obuhvataju uglavnom zgrade, koje imaju veliku unutrašnju zonu, koju treba hladiti i pri niskim spoljnim temperaturama usled izdvajanja velike količine toplote, dok u spoljnoj zoni zgrade postoji potreba u zagrevanju.Sl. 20. prikazuje jedan takav kombinovan sistem. U unutrašnjoj zoni postavljeni su naglavci za odvod vazduha, preko kojih se toplota iz prostorije prenosi na vodeni sistem na koji su priključene Peltierove toplotne pumpe spoljne zone zgrade. Peltierove pumpe oduzimaju vodenom cirkulacionom kolu toplotu preuzetu u unutrašnjoj zoni zgrade i predaju tu toplotu za grejanje spoljne zone. U zimskom režimu rad snaga za grejanje i snaga za hlađenje tako su uravnotežene da ne treba proizvoditi ni dodatnu hladnoću, ni toplotu. Preko leta, pošto spoljna zona treba da se hladi, menja se smer rada Peltierovih toplotnih pumpi, pa se povećava izlazna temperatura vode usled hlađenja spoljne zone zgrade. Ukupna toplota vodenog sistema tada se predaje okolnom vazduhu preko rashladnog tornja.



Sl. 20. Kombinovani sistem

1 — Peltierova toplotna pumpa; 2 — naglavci za dovod vazduha; 3 — centralna zona; 4 — spoljna zona

Prednost ovog kombinovanog sistema je u tome što je vodeni sistem osetno pojednostavljen tako da je smanjena količina vode koja se prepumpava, pa se mogla izostaviti rashladna mašina.

Pri planiranju velikih instalacija za raspodelu toplote i hladnoće pomoću toplotnih pumpi treba grejanu, odnosno hlađenu zgradu sa svim njenim izvorima i potrošačima toplote, uključujući električno osvetljenje, posmatrati kao jednu energetsku celinu kojoj mora da se prilagodi optimalno tehničko rešenje.

5. EKONOMSKO UPOREĐENJE DIREKTNOG I AKUMULACIONOG ELEKTRIČNOG GREJANJA

Razlika direktnog i akumulacionog električnog grejanja najpre se ispoljava u različitom uticaju na konfiguraciju i parametre dnevnog dijagrama opterećenja elektroenergetskih sistema, koji imaju osetnu neravnomernost. Problem njihove regulacije nije nov i rešava se sa jedne strane stvaranjem energetskih blokova veće sposobnosti manevrisanja i specijalnih vršnih elektrana, a sa druge strane popunjavanjem dijagrama opterećenja elektroenergetskih sistema i to u prvom redu za račun popunjavanja njihovih dolja.

U sadašnje vreme u tu svrhu mogu principijelno da se koriste akumulaciona postrojenja raznih vrsta koja omogućavaju da se vremenski razvuku procesi generacije i potrošnje energije i da se na taj način »ispegla« dijagram opterećenja generirajuće opreme, i to:

1) proizvodnja i akumulacija vodenika;
2) proizvodnja i akumulacija komprimovanog vazduha, mehaničke, električne i toplotne energije;
3) izgradnje pumpnih hidroelektrana.

Opravdanost primene svake od pomenutih vrsta postrojenja treba ekonomski dokazati. Najjednostavniji i najpristupačniji način popunjavanja dolja dijagrama, uporedo sa izgradnjom pumpnih hidroelektrana, predstavlja akumulacija toplotne energije pomoću sistema akumulacionog električnog grejanja, koje čini celokupnost individualnih i centralizovanih kućnih instalacija što se sastoje od električnih grejnih elemenata, termoakumulacionih materijala (voda ili materije velikog toplotnog kapaciteta) i termoakumulacionog kućišta.

U slučaju sistema direktnog električnog grejanja maksimalno opterećenje elektroenergetskog sistema povećava se za vrednost ukupne instalisane snage svih uređaja za električno grejanje P_{DEG} (sl. 21. a), a potrošnja električne energije za 24 časa biće veća za

$$W_{DEG} = 24\, P_{DEG} \qquad (6)$$

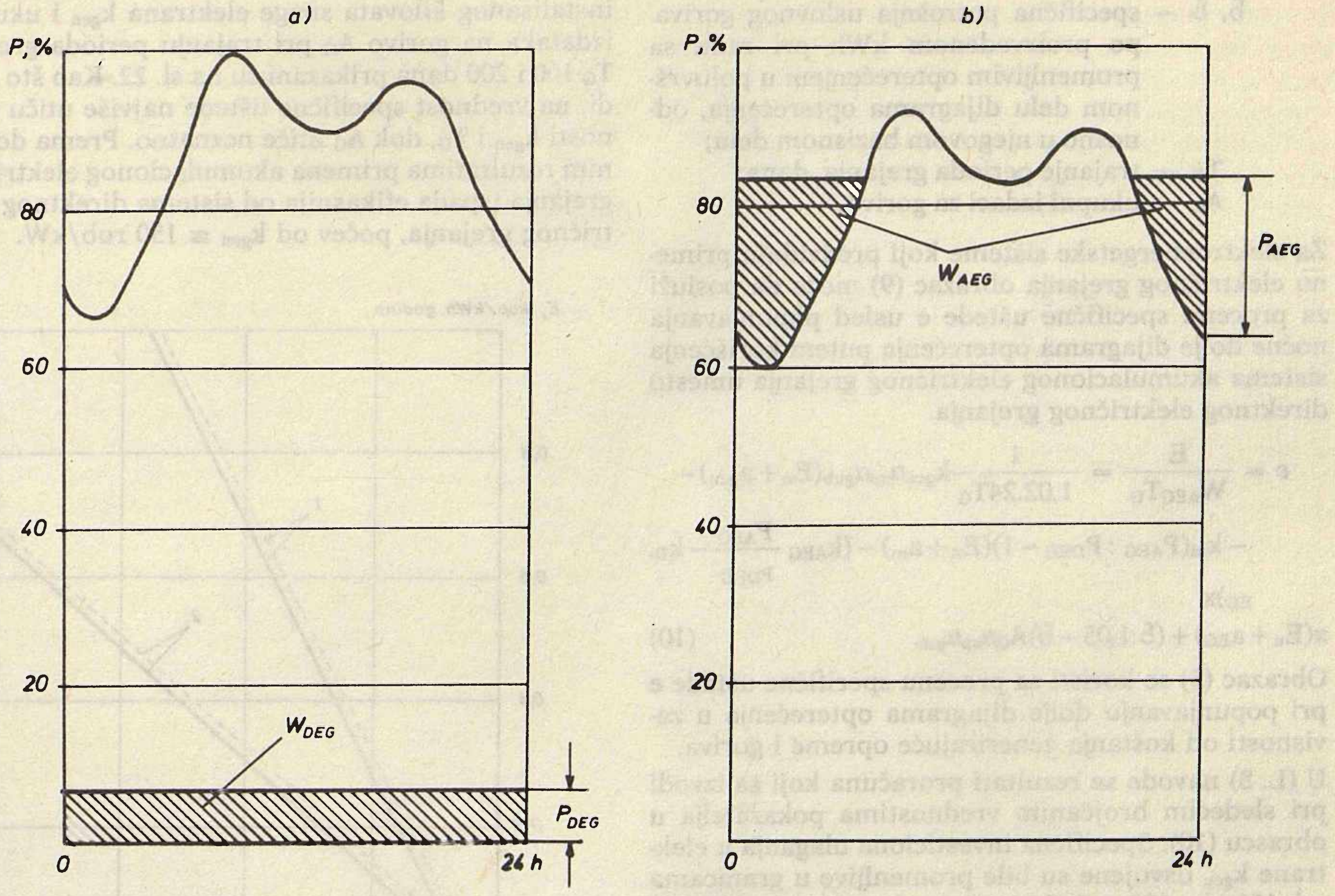
Za slučaj akumulacionog električnog grejanja količine energije koja će se utrošiti u časovima noćne dolje W_{AEG} (sl. 21. b) odrediće se iz odnosa

$$W_{DEG}\,\eta_{i\,DEG} = W_{AEG}\,\eta_{AEG}$$

i pri koeficijentu korisnog dejstva sistema direktnog i akumulacionog električnog grejanja $\eta_{i\,DEG} = 1$, odnosno $\eta_{i\,AEG} = 0{,}98$ iznosi

$$W_{AEG} = 1{,}02\, W_{DEG} \qquad (7)$$

Ukupna snaga svih uređaja može da se nađe iz uslova analognog (1)



Sl. 21. Konfiguracija dnevnog dijagrama opterećenja elektroenergetskog sistema, uzimajući u obzir opterećenje od električnog grejanja:
a — direktno el. grejanje, b — akumulaciono el. grejanje

$$W_{AEG} = \bar{t}_p P_{AEG}$$

gdje je $\bar{t}_p$ — prosečno trajanje punjenja jednog termoakumulatora, koje se određuje trajanjem noćne dolje dijagrama opterećenja. Pri trajanju dolje 6 časova snaga svih uređaja akumulacionog električnog grejanja biće:

$$P_{AEG} = W_{AEG} : 6$$

dok odnos snaga sistema akumulacionog i direktnog električnog grejanja s obzirom na (1) i (2) iznosi:

$$P_{AEG} : P_{DEG} = 4{,}2 \qquad (8)$$

Prema tome, obe vrste električnog grejanja, mada su istovetne sa gledišta pružanja komfornih uslova potrošačima u vidu individualne regulacije temperaturnog režima, međusobno se razlikuju po uticaju na parametre i konfiguraciju dnevnog dijagrama opterećenja elektroenergetskog sistema i, prema tome, na potrebe u instalisanoj snazi njihovih elektrana i režima rada generirajuće opreme, koja pokriva poluvršni deo dijagrama opterećenja. Sem toga, upoređenje vrste sistema električnog grejanja razlikuju se prema koštanju instalacija električnog grejanja i izdacima u električnim mrežama.

Zbog toga procena relativne efikasnosti sistema direktnog i akumulacionog električnog grejanja treba da se vrši na osnovu sistemskog prilaza, uzimajući u obzir sve komponente troškova i u elektroenergetskom sistemu, a i u potrošača električne energije radi grejanja.

Godišnji ekonomski efekat od primene sistema akumulacionog električnog grejanja umesto direktnog može da se odredi prema obrascu:

$$E = A_{DEG} - A_{AEG} = k_{gen}\alpha_{sp}\alpha_{gub}P_{DEG}(E_n + a_{gen}) - k_m(P_{AEG} - P_{DEG}(E_n + a_m) - (k_{AEG}P_{AEG} - k_{DEG}P_{DEG})x$$
$$x(E_n + a_{EG}) + (W_{DEG}б - W_{AEG}б)T_G A_G \alpha_{sp}\alpha_{gub} \qquad (9)$$

gde su:

A_{DEG}, A_{AEG} — godišnji aktualizirani troškovi za upoređene sisteme električnog grejanja;

k_{gen}, k_m — specifična investiciona ulaganja u generirajuću opremu i električne mreže;

α_{sp}, α_{gub} — koeficijenti koji uzimaju u obzir potrošnju električne energije za sopstvene potrebe elektrana i gubitka u mrežama;

a_{gen}, $a_m a_{EG}$ — odbici na amortizaciju i održavanje generirajuće opreme, distributivnih mreža i u sistemu električnog grejanja;

k_{AEG}, k_{DEG} — specifična investiciona ulaganja u instalacije akumulacionog odnosno direktnog električnog grejanja;

$б$, $б$ — specifična potrošnja uslovnog goriva po proizvedenom kWh pri radu sa promenljivim opterećenjem u poluvršnom delu dijagrama opterećenja, odnosno u njegovom bazisnom delu;
T_G — trajanje perioda grejanja, dana;
A_G — ukupni izdaci za gorivo.

Za elektroenergetske sisteme koji predviđaju primenu električnog grejanja obrazac (9) može da posluži za procenu specifične uštede e usled popunjavanja noćne dolje dijagrama opterećenja putem korišćenja sistema akumulacionog električnog grejanja umesto direktnog električnog grejanja.

$$e = \frac{E}{W_{AEG}T_G} = \frac{1}{1{,}02.24T_G}k_{gen}\alpha_{sp}\alpha_{gub}(E_n + a_{gen}) - $$

$$- k_m(P_{AEG} : P_{DEG} - 1)(E_n + a_m) - (k_{AEG}\frac{P_{AEG}}{P_{DEG}} - k_{D-}$$

$$_{EG})x$$

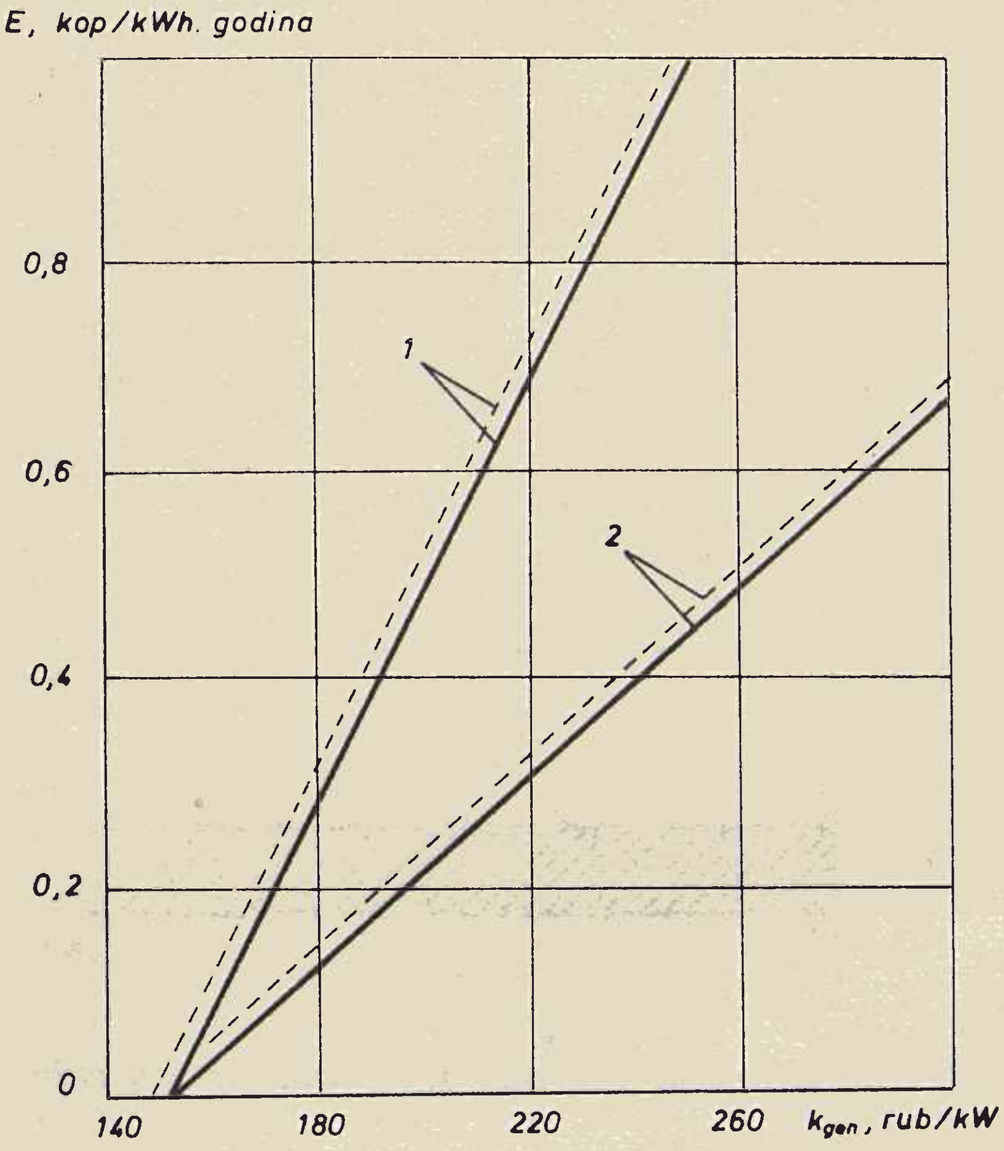
$$x(E_n + a_{EG}) + (б:1{,}05 - б)A_G\alpha_{sp}\alpha_{gub} \qquad (10)$$

Obrazac (5) se koristi za procenu specifične uštede e pri popunjavanju dolje dijagrama opterećenja u zavisnosti od koštanja generirajuće opreme i goriva.

U (L. 8) navode se rezultati proračuna koji se izvodi pri sledećim brojčanim vrednostima pokazatelja u obrascu (10). Specifična investiciona ulaganja u elektrane k_{gen} usvojene su bile promenljive u granicama od 130 do 270 rub/kW. Početak raspona (130-150 rub/kW) odgovara specifičnim investicionim ulaganjima u kondenzacione elektrane na ugalj, njegova sredina (190-220 rub/kW) odnosi se na atomske elektrane sa reaktorima hlađenim i modeliranim vodom, a gornja granica na atomske elektrane sa reaktorima kanalnog tipa.

Sopstvena potrošnja električne energije ovih elektrana u proseku procenjena je na vrednost $\alpha_{sp} = 1{,}06$. Za specifična investiciona ulaganja u električne mreže usvojena je vrednost 20 rub/kW, za koeficijent gubitaka u mrežama usvojeno je $\alpha_{gub} = 1{,}1$. Za normative odbitaka na amortizaciju i održavanje elektrana, distributivnih mreža i sistema električnog grajanja usvojene su vrednosti: $a_{gen} = 0{,}08$; $a_m = 0{,}05$ i $a_{EG} = 0{,}05$. Normativni koeficijent efikasnosti usvojen je prema njegovoj vrednosti u energetici, tj. da je $E_n = 0{,}12$ 1/godina. Specifična investiciona ulaganja u sisteme električnog grejanja su $k_{DEG} = 25$ rub/kW i $k_{AEG} = 40$ rub/kW. Poslednja vrednost zavisi od srednjeg trajanja punjenja elektrotermoakumulatora. Srednje vrednosti specifične potrošnje goriva u elektroenergetskim sistemima pri radu blokova kondenzacionih termoelektrana sa promenljivim i stalnim opterećenjem usvojena su: $б = 325$ g odnosno $б = 315$ g uslovnog goriva. Ukupni izdaci na gorivo A_G usvojeni su u granicama od 10 do 40 rub/t us. goriva. Trajanje perioda grejanja varirano je od 100 do 200 dana.

Rezultati proračuna specifične uštede od popunjavanja noćne dolje dijagrama opterećenja elektroenergetskog sistema opterećenjem od sistema akumulacionog električnog grejanja u zavisnosti od koštanja instalisanog kilovata snage elektrana k_{gen} i ukupnih izdataka na gorivo A_G pri trajanju perioda grejanja T_G 100 i 200 dana prikazani su na sl. 22. Kao što se vidi, na vrednost specifične uštede najviše utiču vrednosti k_{gen} i T_G, dok A_G utiče neznatno. Prema dobivenim rezultatima primena akumulacionog električnog grejanja ispada efikasnija od sistema direktnog električnog grejanja, počev od $k_{gen} \cong 150$ rub/kW.



Sl. 22. Zavisnost specifične uštede od popunjavanja dolje dnevnog dijagrama elektroenergetskog sistema opterećenjem od akumulacionog električnog grejanja od koštanja instalisanog kilovata snage elektrana pri trajanju perioda grejanja 100 (1) i 200 (2) i ukupnih izdataka na gorivo: 10 (puna linija) i 40 rub/t us. goriva (isprekidana linija)

Zavisnost specifične uštede e od popunjavanja dijagrama opterećenja u funkciji parametara k_{gen} i T_G ima oblik

$$e = \frac{1}{T_G}(0{,}95\ k_{gen} - 144) + (0{,}02\ \text{kop/kWh}),$$

gdje su:

k_{gen} u rub/kW, a T_G dana.

Ukupni efekt primene akumulacionog električnog grejanja umesto direktnog električnog grejanja iznosi

$$E = eW_{AEG}$$

i zavisi od udela snage akumulacionog grejanja u ukupnoj potrošnji električne energije u elektroenergetskom sistemu.

Razmatrana metodologija dvaju sistema električnog grejanja — direktnog i akumulacionog — može takođe da se koristi pri upoređivanju drugih grupa potrošača električne energije, koje se razlikuju prema režimu rada i uticaju na parametre dnevnog dijagrama opterećenja elektroenergetskog sistema.

Primena sistema akumulacionog električnog grejanja umesto direktnog električnog grejanja efikasna je pretežno za područja sa kraćim trajanjem perioda grejanja i pri velikoj ceni jednog kilovata instalisane snage novoizgrađenih elektroenergetskih postrojenja, što je karakteristično za naše prilike.

NAŠE PERSPEKTIVE KORIŠĆENJA ELEKTRIČNOG GREJANJA

Električno grejanje u toku poslednje decenije sve se više primenjuje u nizu ekonomski razvijenih zemalja, pri čemu se ono koristi i u novim i u starim stambenim i javnim zgradama. Na ovo na određeni način utiče povećanje cene goriva uz održavanje relativno niskih tarifnih stavova za noćnu potrošnju električne energije u poređenju sa tarifnim stavovima za dnevnu potrošnju. Tako, na primer, u Parizu cena noćne potrošnje električne energije za grejanje stanova i za pripremanje tople vode je nekoliko puta manja od cene dnevne potrošnje.

Diferencija tarifnih stavova za potrošnju električne energije pokazala se korisnom ne samo za potrošače, već i za snabdevače električnom energijom zbog postizanja »peglanja« dijagrama opterećenja elektroenergetskog sistema, tj. usled popunjavanja njegove dnevne i noćne dolje, odnosno usled ravnomernijeg opterećenja termoelektrana i drugih postrojenja.

Na razvoj električnog grejanja u pojedinim zemljama velik uticaj imaju i klimatske prilike.

Grejanje celih stanova elektroakumulacionim pećima u nas je počelo da se koristi u većoj meri sredinom 60-tih godina. Prve elektroakumulacione peći dočekali su jaka konkurencija grejanja mazutom i strepnje preduzeća za distribuciju električne energije izazvane strahovanjem od preopterećenja ionako nedovoljnih postrojenja za distribuciju električne energije. A i mogućnosti združene elektroprivrede u pogledu proizvodnje i prenosa električne energije tada su zaostajale iza potreba.

Dalji razvoj električnog grejanja u nas se odvijao u znaku opšteg povećanja društvenog standarda i težnje za komforom, kao i primene električnog grejanja tamo gde ne mogu da se koriste druge vrste grejanja, dakle bez nekih naročitih ekonomskih analiza, jer su one jako otežane, pa čak i neizvodljive zbog nestabilnih cena na jugoslavenskom tržištu i električne energije i svih vrsta goriva, kao i uređaja za razne sisteme grejanja.

U ovim okolnostima naša domaća industrija sredinom 70-ih godina već je proizvodila oko 150 hiljada električnih termoakumulacionih peći godišnje (»CER« oko 20-25; »ELIND« oko 30-35; »MAGNOHROM« oko 100 hiljada peći godišnje).

Razmišljajući o perspektivama razvoja i korišćenja električnog grejanja u nas, trebalo bi imati u vidu više okolnosti značajnih i za njegove korisnike i za elektroprivredne organizacije svih nivoa.

Relativno blagih zima 1980/81. i 1981/82. godine veliki broj domaćinstava našao se u veoma teškoj situaciji jer nije mogao da obezbedi dovoljno zagrevanje stanova. Naročito teško bile su pogođene porodice sa malom decom, starijim osobama, bolesnicima i dr. usled neurednog snabdevanja mazutom naročito u manjim mestima, koji se sada praktično jedino i troši za grejanje stanova bez instalacija centralnog grejanja toplom vodom, a i u zgradama sa instalacijama centralnog grejanja toplom vodom nije bilo dovoljno toplo i usled oskudice u mazutu, a i usled raznih načina »štednje«: skraćivanja trajanja grejanja u toku dana, sniženja temperature tople vode itd.

U nedostatku peći za drva i ugalj (stare peći već su davno bačene i u malim mestima), kao i prostora za skladištenje uglja i drva, pogotovu u novijim zgradama, a u zgradama sa instalacijama centralnog grejanja u većini i bez dimnjaka, problem grejanja je rešavan stihijski putem grejalica i električnih termoakumulacionih peći u zavisnosti od materijalnih mogućnosti korisnika, a i slučaja, jer električne termoakumulacione peći ne čekaju kupce, već ih traže kupci, mada je njihova proizvodnja već dostigla oko 200 hiljada komada godišnje, što predstavlja godišnje povećanje opterećenja elektroenergetskog sistema SFR Jugoslavije za oko 500 MVA (snaga jedne termoelektrane nešto snažnije od prve faze TE Obrenovac, TE Sisak).

Pomanjkanje na našem tržištu dvotarifnih brojila, a naročito uklopnih časovnika (jer dvotrifna brojila mogu zameniti dva obična jednotarifna brojila sa uklopnim časovnikom i relejem za prekidanje, odnosno za zatvaranje naponskog kola brojila za vreme odgovarajuće tarife) nepovoljno pogađa i potrošače i elektroprivredne organizacije svih hijerarhijskih nivoa.

Potrošači, pošto dobijaju električnu energiju po istoj ceni u toku svih 24 časa, radije koriste radijacione električne termičke uređaje, jer zahtevaju manje investicije, a brzog su dejstva, i uključuju ih po potrebi, što se svakako poklapa i sa zimskim večernjim vrhom opterećenja. Električni termoakumulacioni uređaji koriste se mahom »protočno«, tj. istovremeno se pune i odaju toplotu, jer se tako efikasnije iskorišćava toplota prikupljena u akumulirajućem jezgru, nego pri postepenom hlađenju od završetka punjenja do početka grejanja — uključenja ventilatora na termoakumulacionom uređaju. Prema tome, elektroenergetski sistem i preduzeće za distribuciju električne energije nisu u mogućnosti da najpriklad-nije izregulišu svoj dnevni dijagram opterećenja, što ima teške ekonomske posledice.

Stihijska potrošnja električne energije za potrebe grejanja nije imala naročito teških energetskih posledica zimi 1982/83. g. samo zahvaljujući izuzetno visokim temperaturama, ali su raspadi elektroenergetskog sistema neminovni pri najmanjim zahlađenjima.

Takvo korišćenje elektrotermičkih uređaja materijalno pogađa i potrošače.

Na taj način grejanje uopšte (snabdevanje mazutom nije garantovano, potrošnja električne energije bez dvotarifnih brojila skupa) postaje socijalni problem!

Za uredno korišćenje električnog grejanja uglavnom treba:

— obezbediti nemonopolističku i količinski dovoljnu proizvodnju dvotarifnih brojila, koja sada u nas proizvodi samo jedno preduzeće u ograničenom broju i po vrlo visokim (nepristupačnim) cenama
— uvesti mrežnu tonfrekventnu komandu umesto isto tako monopolistički skupih uklopnih časovnika (za uvođenje MTK ima više tehničko-ekonomskih razloga, o kojima se mnogo i pisalo i govorilo, a koje je uvidela i mala distribucija u Vrnjačkoj banji, koji će se još jasnije uvideti u većim distributivnim organizacijama s obzirom na višestruku primenu MTK)
— odrediti tehničko-ekonomski obrazložene (stvarno kalkulisane) cene električne energije u časovima manjih opterećenja izvora jer, izgleda da važeći instrumenti za interni obračun proizvodnje u elektroprivredi ne stimulišu elektrane za veću proizvodnju, za rad »u traci«, tj. za tehničko-ekonomsku racionalnu proizvodnju sa stalno punim nazivnim opterećenjem, odnosno sa maksimalnim koeficijentom korisnog dejstva i maksimalnom proizvodnjom.

Usled neprekidnog i nezadrživog rasta potrošnje električne energije elektroprivreda mora da obezbedi dovoljnu snagu izvora, a pošto su sve hidroelektrane zavisne od meteoroloških uslova, dok većina naših hidroelektrana još nije protočnog tipa, to za pouzdano pokrivanje najvećih godišnjih opterećenja, koja nastupaju po pravilu zimi, kada su dotoci minimalni ili potpuno prestali usled mrazeva, to se proizvodni kapaciteti moraju obezbediti u termoelektranama. S obzirom, pak, na neravnomernost dijagrama opterećenja našeg elektroenergetskog sistema (mesečni odnos maksimalnog i minimalnog opterećenja iznosi oko 4 : 1, a godišnji oko 8 : 1 i imaju tendenciju stalnog porasta, kao i u celom svetu), termoelektrane bi radile za vreme malih opterećenja, tj. za vreme dolja dijagrama opterećenja sistema sa tehničkim minimumom, kao što je to doskoro bio slučaj npr. u elektroenergetskom sistemu Srbije sve do početka eksploatacije pumpne hidroelektrane Bajina Bašta, čija je potrošnja popunila njegovu noćnu dolju, dok je proizvodnja podmirila potrebe u vršnoj energiji, što je omogućilo rad termoelektrana praktično stalno sa nazivnom snagom, ali samo trenutno, jer će se u perspektivi smanjiti specifično učešće hidroelektrana uopšte u poređenju sa povećanjem specifičnog učešća termo i atomskih elektrana, a i preuređenje svih hidroelektrana u pumpne hidroelektrane teško će se moći opravdati i ekonomski i tehnički.

Na osnovu rečenog može se pretpostaviti da će u budućnosti u doba manjih opterećenja elektroenergetskog sistema biti slobodne veće količine jeftinije električne energije, koja bi se mogla koristiti za podmirenje potreba pomenutih specijalnih potrošača u koje spada i električno termoakumulaciono grejanje.

Prema tome ne bi bilo najpravilnije uslovljavati razvoj električnog termoakumulacionog grejanja posebnim investiranjem u izvore i postrojenja za prenos i distribuciju električne energije, jer se njihovi kapaciteti određuju, kao što je već rečeno, najvećim opterećenjima zimi, a ne potrebama električnog termoakumulacionog grejanja, koje se uključuje u časovima malih opterećenja.

Veštačko prigušivanje potrošnje električne energije, npr. putem uvođenja visokih cena, ukidanje nižeg tarifnog stava za časove malih opterećenja sistema, limitiranje potrošnje po glavi korisnika ili domaćinstvu sa velikim novčanim kaznama za prekoračenje predstavljaju pre svega drastične, ali malo efikasne poduhvate, jer neki potrošači, kao što su porodice sa malom djecom, biće prinuđeni da ostanu gladni i u mraku da bi uštedili električnu energiju radi zaštite dece od hladnoće.

Štednja skupe uvozne nafte i naftinih derivata primorava da se u svim oblastima javnog života, industriji i drugim granama privrede prouči mogućnost njene zamene drugim oblicima energije, a pre svega električnom energijom, koja je u nas jedina energija »domaćeg porekla«.

Tako, na primer, gradsko saobraćajno poduzeće »Beograd« u tu svrhu od 5 200 miliona dinara, koliko se predviđa planom razvoja gradskog saobraćaja do 1985. godine, najveći deo izdvaja za finansiranje izgradnje novih tramvajskih i trolejbuskih linija, koje bi zamenile oko 200 autobusa i na taj način bi se godišnje uštedile velike količine skupe uvozne nafte. Sem toga, potiskivanjem autobusa iz najprometnijih delova grada i onako zagađeni beogradski vazduh ostao bi »siromašniji« u ugljen-oksidima i smogu.

Sve ovo važi i za grejanje spaljivanjem mazuta bilo u javnim reonskim toplanama, bilo u individualnim pećima u zgradama bez centralnog grejanja: poslovnim, javnim, stambenim, kao i u dobrom delu prodavnice svih vrsta, skladištima itd.

O dugoročnoj strategiji snabdevanje stanovništva toplotom, tj. o planskom usmeravanju raznih načina grejanja, svakako će odlučiti naši najviši organi vlasti, ali za takvo odlučivanje elektroprivreda, pre svega, mora da pruži iscrpne tehničko-ekonomske podloge u pogledu perspektiva električnog grejanja.

S obzirom na blago podneblje Jugoslavije, ne može da se sumnja u dobre perspektive električnog grejanja u nas, a posebno kombinaciju električnog grejanja i kondicioniranja vazduha.

Sigurno je takođe da će i u nas naći primenu sistemi centralnog elektroakumulacionog grejanja kako pri rekonstrukciji zastarelih sistema grejanja, tako i iz razloga zaštite čovekove sredine naročito u velikim gradovima, gde već izvedena urbanizacija centralnih delova grada ne dopušta polaganje mreža grejanja toplom vodom ili gasom.

Energija, God. 32/1983/5, 373-389

6. ZAKLJUČAK

Težnja za što većim komforom dovodi do sve kritičnijeg izbora vrste energije, pri čemu električna energija usled njenih izuzetnih prednosti ponajbolje odgovara ovim težnjama. Ona omogucava na najjednostavniji način dalji razvoj grejanja u sistemu kombinovanog grejanja i hlađenja. Primena toplotnih pumpi predstavlja veoma značajni korak na putu ka potpunoj klimatizaciji, koja je konačno cilj svih zalaganja u ovoj oblasti.

LITERATURA

[1] *Energohozjajstvo za rubežom,* br. 1 1973; br. 2 1974; br. 3 1975; br. 6 1978.
[2] *Engineering News — Record,* br. 1 1974.
[3] *El. Heizung,* br. 1 1974.
[4] *Betiment,* br. 5 1977.
[5] *Elektrizität* (BRD), br. 4 1973.
[6] *Elektrizitätsverwertung,* br. 2 1973; br. 4 1974; br. 7 1976.
[7] *Energieanwendung,* br. 3 1970.
[8] *Energetika* (Izv. vuzov SSSR) br. 7 1982.

KEY WORDS: ELECTRICAL HEATING, HEATING SYSTEMS MODERN HOVSES

DIE ELEKTRISCHE BEHEIZUNG VON MODERNEN WOHNBAUTEN

Beschrieben wird die Mehrzahl der derzeit angewandeten zentralen und räumlich beschränkten zentralen Heizungsanlagen, die in Neubauten installiert werden oder bei Umbau veralteter Anlagen in Betracht kommen. Angegeben werden wirtschaftliche und technische Daten und der Verwendungsbereich solcher Einrichtungen. Gleichzeitig werden erörtert und vorgeschlagen weitere Möglichkeiten des Einsatzes von Elektroheizungen.

ELECTRICAL HEATING IN MODERN HOUSES

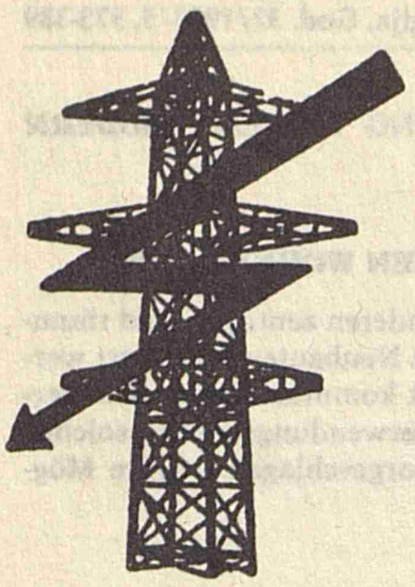
In the article are presented all systems of central and local electrical heating which are to-day in use in modern houses and in reconstruction of old heating systems. A description, technical-financial characteristics and application is given. Also, an discusion of planed and extensive use of electrical heating by us is presented.

ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЗДАНИЙ

Показаны практически все системы централизованного и местного электроотопления, применяемые ныне в новых зданиях и при реконструкции устаревших систем отопления. Даны: их описание, технико-экономические характеристики и область применения. Кроме того рассматриваются перспективы планово направленного и более широкого применения электроотопления в Югославии.

Naslov pisca:
Kiril A. Tropin, dipl. inž. 11000 Beograd

Uredništvo primilo rukopis:
1983 — 04 — 18

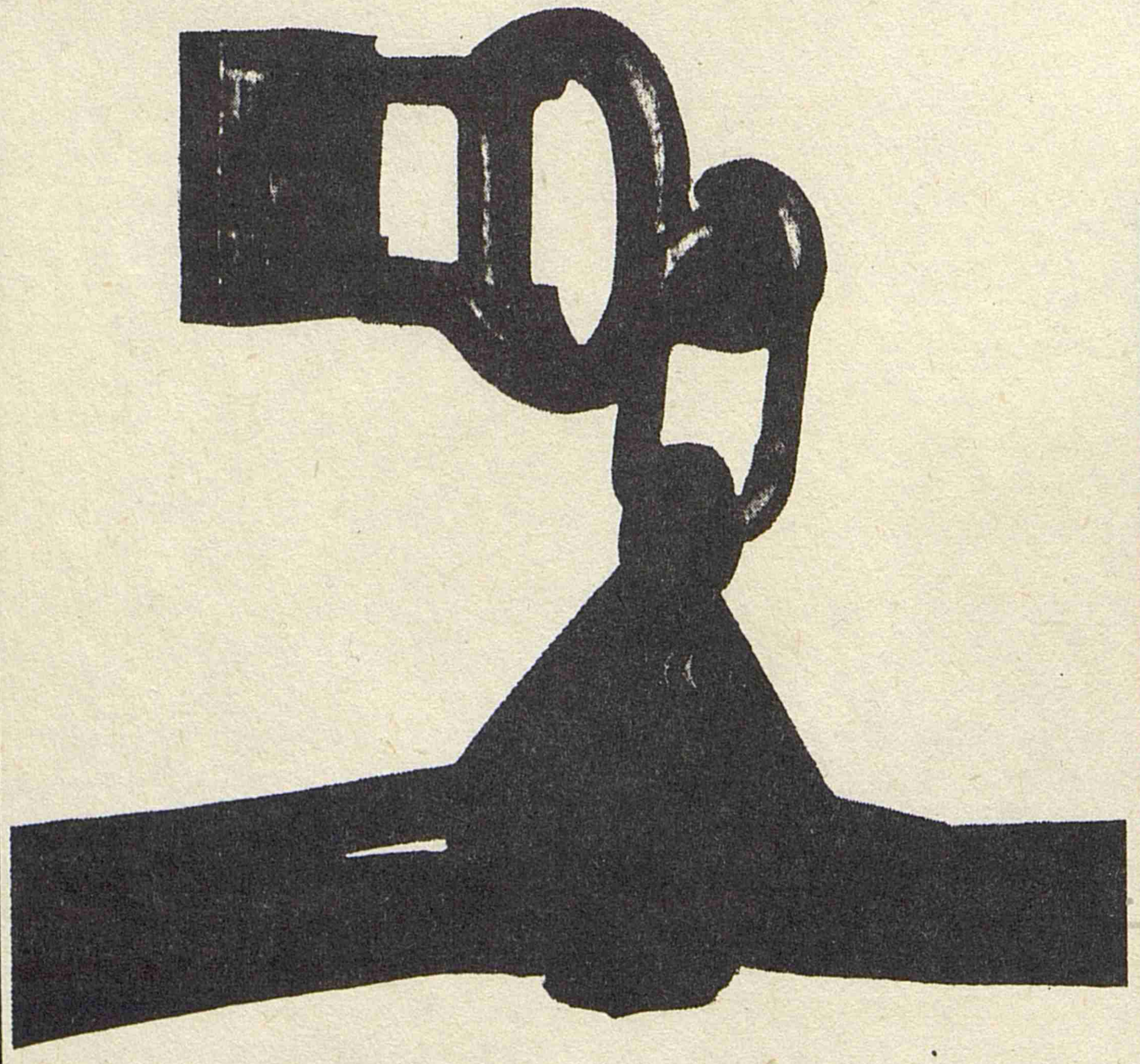


„Struja“

ZAGREB, GUNDULIĆEVA 16
TELEFON: 449-702, 449-486, 416-209
DIREKTOR: 410-408,

Proizvodni program:

- **kompletni montažni pribor za priključak mreže**
- **univerzalni osigurači za ELKALEX kabele**
- **spojni pribor za priključke i mreže za Elkalex mreže i priključke**
- **razvodni ormari i pribor**
- **gromobranska oprema i pribor**
- **pribor za samonosive kabele**
- **stupne krak lampe za uličnu rasvjetu**
- **kompletna oprema za NN mreže na betonskim stupovima**
- **specijalni EZ elementi sa stopicama za prelaz bakar-aluminij i obrnuto**
- **izvođenje elektroinstalacija i investiciono i tekuće održavanje**



UNIVERZALNI OSIGURAČ ZA ELKALEX I OSTALE KABELE

ZA SVE OSTALE INFORMACIJE IZ PROIZVODNJE IZVOLITE SE OBRATITI DIREKTNO NA »STRUJA« ZAGREB, GUNDULIĆEVA 16

REDUCIRANJE ISPORUKE ELEKTRIČNE ENERGIJE ELEKTROLIZI ALUMINIJA SA STAJALIŠTA RACIONALNOG KORIŠTENJA ENERGIJE

Zdravko Ringwald, Šibenik

UDK 621. 31 : 542. 8

STRUČNI RAD

U članku je dan pregled utjecaja redukcije isporuke električne energije s gledišta racionalnog korištenja električne energije u elektrolizi aluminija i sa stajališta racionalnog korištenja elektroenergetskog sistema.

Ključne riječi: elektrolitska peć, elektroliza aluminija, redukcije el. energije

1. UVOD

Elektrolize aluminija u Lozovcu i Šibeniku, Tvornica elektroda i ferolegura iz Šibenika i Dalmacija iz Dugog Rata grupa su specijalnih potrošača. Osnovne karakteristike ovih potrošača su:

— to su ujedno i najveći pojedinačni potrošači u elektroenergetskom sistemu
— karakter tehnološkog procesa omogućuje dobro korištenje električne snage, što je posebno interesantno za velike elektroenergetske sisteme sa većim brojem TE i NE
— zbog velike instalirane snage i relativno automatiziranog proizvodnog procesa kod ovih potrošača imamo, u odnosu na ostalu privredu, najmanji broj zaposlenih po instaliranoj jedinici snage
— gubitak po neisporučenoj jedinici snage, prema nekim proračunima, najmanji je upravo kod ovih potrošača.

Iskustva iz posljednje nestašice električne energije pokazuju da se redukcija potrošnje efikasno može provoditi jedino kod ovakvih potrošača. Unatoč prisilnom iskapčanju koje su provodile distributivne radne organizacije, planirana uštede nije ostvarivana, a u postrojenjima je zabilježen veći broj kvarova i nesretnih slučajeva.

Kada je, zbog različitih pogonskih događaja potrebno naglo smanjiti potrošnju u sistemu, specijalni potrošači su zbog svoje veličine najpogodniji.

Jedini izbor iskapčanja specijalnih potrošača je iskapčanje cijelih gradova ili područja. Specijalni potrošači, prema tome, omogućuju dispečerskoj službi da brzo i **efikasno** djeluje u slučaju nestašice snage ili nestašice energije, a ujedno pridonose **racionalnijem** korištenju elektroenergetskog sistema.

Zbog spremnosti specijalnih potrošača da se prilagode zahtjevima isporučioca električne energije, te zbog činjenice da načinom njezina korištenja pridonose racionalnijem korištenju elektroenergetskih postrojenja, Zakonom o elektroprivredi i Tarifnim sistemom predviđeno je ugovaranje popusta na tarifne stavove sa specijalnim potrošačima.

Elektroliza aluminija u Šibeniku sa svojih 144 MW instalirane snage i gotovo 1 200 GWh godišnje potrošnje ujedno je najveći pojedinačni potrošač električne energije u SR Hrvatskoj.

Prilagođavanje elektrolize aluminija zahtjevima isporučioca električne energije izaziva u elektrolizi niz problema. Pokušat ćemo dati kraći pregled problematike provođenja redukcije u slučaju

— kratkotrajnih ograničenja raspoložive snage
— dužih ograničenja isporuke električne energije.

2. OPĆENITO O ELEKTROLITSKOJ PEĆI

Na slici 1. nacrtan je presjek elektrolitske peći. Ukupni napon peći je zbog elektromotorne sile i pada napona na omskom otporu peći

$$U = E + I \cdot R \qquad (1)$$

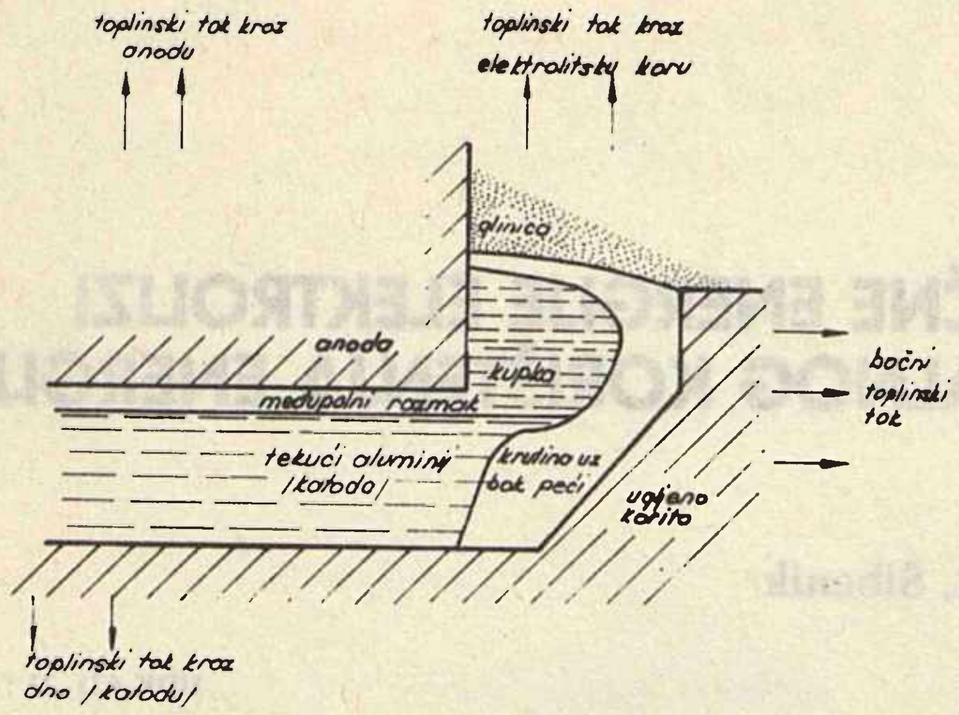
Iz (1) izlazi da se snaga koja se u peći troši

$$P = I \cdot E + I^2R \qquad (2)$$

može podijeliti na dio snage (I. E) koji se troši za razlaganje glinice odnosno proizvodnju aluminija i dio (I^2R) koji predstavlja Jouleovu toplinu.

Stabilan tok tehnološkog procesa podrazumijeva toplinsku ravnotežu peći kroz duži vremenski period, odnosno izjednačenje energije dovedene u peć s energijom koja se iz peći gubi u raznim vidovima

Prema tome, nužno je iz peći odvoditi određenu količinu topline. Tako ostvarujemo optimalne proizvodne uvjete reprezenirane kroz temperaturu kupke, veličinu međupolnog razmaka i oblik krutine uz bok peći. Krutina je elektrolit u krutom stanju, a predstavlja faktor toplinske samoregulacije peći, fizičku



Sl. 1. Izgled radnog profila elektrolitske peći

prepreku za kemijsko napadanje ugljenog korita peći tekućom kupkom. Krutina predstavlja ujedno električnu izolaciju koja sprečava skretanje struje izvan proizvodne zone peći. Međupolni razmak iznosi kod elektrolitske peći oko 5 cm i iz tehnoloških razloga nije ga moguće mijenjati. Usavršavanjem elektrolitske peći ne teži se ostvarenju njene idealne toplinske izolacije, nego prije svega ostvarenju optimalnog rasporeda odvoda topline kroz dno i stranice peći.

3. UTJECAJ KRATKOTRAJNIH SMANJENJA ILI PREKIDA DOVODA ENERGIJE NA STABILNOST TEHNOLOŠKOG PROCESA

Ako je zbog manjka energije u sistemu potrebno kratkotrajno ograničiti isporuku energije elektrolizi, to je moguće ostvariti potpunim prekidom ili ograničenjem raspoložive količine energije.

Razmotrimo najprije kratkotrajni prekid dovoda energije i njegove posljedice.

Prilikom prekida dovoda energije temperatura unutrašnjosti peći neće se bitno promijeniti zbog relativno velike mase peći. Elektrolitska peć Tvornice aluminija Ražine dugačka je oko 9 m, široka 4,8 m, a ukupna masa peći u pogonu (ugljeno korito, tekući metal, kupka, anode, glinica) iznosi oko 140 t. Budući da je, zbog potrebe stvaranja krutine, peć na bokovima slabije izolirana, bokovi peći će se relativno brže hladiti, što ima za posljedicu povećanje krutine uz bok, odnosno povećanje količine krute na račun tekuće faze kupke. Povećanje krutine prijeti da u krajnjem slučaju blokira anode i onemogući njihovo buduće pokretanje. Ista masa tekućeg metala izdignut će se i povećati hlađenje već ohlađene peći.

Širenje krutine pod anodu prijeti da nakon prestanka perioda redukcije poremeti raspodjelu struje, čime će se poremetiti magnetska ravnoteža peći. Poremećena magnetska ravnoteža dovodi do gibanja metala u peći, što još više remeti raspodjelu struje, a bitno smanjuje i iskorištenje struje. Poremećena raspodjela struje izaziva pregrijavanje tekuće faze kupke, iako je peć u cjelini zahlađena, pa to može dovesti do stvaranja velikih muljnih naslaga nerazložene glinice na dnu peći. S obzirom na bliske specifične težine tekućeg aluminija i kupke, zahlađivanje prijeti da dovede do tzv. točke inverzije, kada kupka i metal počinju međusobno mijenjati položaj.

Samo je po sebi razumljivo da smanjenje dovoda električne energije elektrolitskoj peći ima praktično iste posljedice kao i prekid dobave energije, jer se u oba slučaja radi o poremećaju toplinske ravnoteže peći. Želimo li kompenzirati promjenu jakosti struje, to je prema (2) moguće jedino promjenom vrijednosti omskog otpora, odnosno povećanjem napona peći. Budući da je proizvodnja aluminija u peći proporcionalna struji, ovakav zahvat znači manju proizvodnju i povećanje specifičnog utroška električne energije.

Vraćanje zahlađene peći u normalno stanje toplinske ravnoteže moguće je jedino povećanim dovodom energije. Budući da peć nakon zahlađenja ima vrlo loše iskorištenje struje, kratkotrajni prekid ili smanjenje dovoda električne energije neprihvatljivi su sa stajališta racionalnog korištenja električne energije u elektrolizi aluminija.

U 1982. godini elektroliza u Ražinama smanjivala je u razdoblju nestašice energije svoju potrošnju u 24 navrata. Ostvarene **energetske** uštede nije bilo, čak je u nekim slučajevima prosječna dnevna potrošnja peći bila veća od 1,5%. Međutim, ako problem promatramo s gledišta elektroenergetskog sistema i ostalih potrošača, ovakva ograničenja sigurno imaju svoje opravdanje.

Ako bi, zbog potrebe smanjenja angažirane snage za dvadesetak MW umjesto smanjivanja struje u elektrolizi aluminija iskapčali neke druge radne organizacije, potrebno je iskopčati

	Zaposleno radnika	angažirano MW
»Brodogradilište« — Split	6 000	9
»Varteks« — Varaždin	8 000	5
»Rade Končar« — Zagreb	7 000	3,9
»Prvomajska« — Zagreb	6 000	2,5
Ukupno:	27 000	20,4

S druge strane, ako zbog nemogućnosti naglog rasterećenja dođe do raspada elektroenergetskog sistema, štetu trpi cijela privreda, a proizvodnja je obustavljena sve do ponovnog uspostavljanja sistema.

Zbog posljedica koje u elektrolizi aluminija izazivaju kratkotrajna ograničenja u isporuci električne energije, Tarifnim sistemom (član 24) ograničen je broj, visina i vrijeme trajanja ograničenja.

4. UTJECAJ DUŽIH OGRANIČENJA ISPORUKE ELEKTRIČNE ENERGIJE NA PROIZVODNJU ALUMINIJA

Već smo prije rekli da je za održavanje propisanih parametara tehnološkog procesa nužno ostvariti toplinsku ravnotežu peći. Utjecaj eventualnog smanjenja jakosti struje moguće je kompezirati povećanjem otpora kupke (povišenjem napona peći), odnosno zadržavanjem istog dovoda topline. Smanjenje jakosti struje, kao način da se smanji potrošnja električne energije u elektrolizi moguće je provesti jedino uz promjenu tehnoloških parametara procesa. Moguće smanjenje potrošnje iznosi svega nekoliko postotaka, a bazira se na mogućem sniženju nivoa tekućeg metala u peći, čime se smanjuju gubici na bokovima peći. Mijenjanje tehnoloških parametara nije moguće provesti bez višemjesečnog eksperimentiranja i uhodavanja, a rezultati koji će se postići ne mogu biti, što se tiče ekonomičnosti i iskorištenja kapaciteta, bolji od rezultata koji se postižu u normalnom pogonu. Kod promjene tehnoloških parametara procesa postoji osim toga velika opasnost da, zbog osjetljivosti tehnološkog procesa, dobra namjera rezultira negativnim efektima.

Jedino moguće rješenje u ovakvim situacijama jest isključivanje iz pogona potrebnog broja peći. Tehnika isključivanje peći iz pogona je takva da ne dozvoljava isključivanje više od dvije peći dnevno, što znači da se smanjenje potrošnje električne energije odvija postepeno. Isključivanjem peći iz pogona nastaju u tvornici aluminija golemi gubici koji proizlaze iz:

— gubitaka proizvodnje primarnog aluminija

— izvanrednih troškova izazvanim remontom isključenih peći i njihovim ponovnim uključivanjem u proizvodnju nakon prestanka perioda redukcije

— pogoršavanjem normativa utroška sirovina i energije koji nastaju zbog potrošnje energije na iskopčanim pećima i djelovanjem iskopčanih peći na peći koje su u pogonu.

Prema odluci Odbora za opskrbu električnom energijom i uvjete korištenja elektroenergetskih objekata i postrojenja te komisije za operativno usklađivanje potrošnje električne energije, elektrolize u Ražinama i Lozovcu trebale su od 1. 10. 82. ograničiti potrošnju za 50% prema članu 23. i 24. tarifnog sistema. Tom prilikom napravljen je proračun gubitaka koji, za tražene uvjete, nastaju po osnovi gubitaka proizvodnje i troškova remonta i ponovnog starta pećiju.

	u mln din
— gubitak zbog neostvarene proizvodnje	453,5
— troškovi remonta i starta	239,9
Ukupno	693,4

Takvo drastično smanjenje proizvodnje izazvalo bi

— smanjenje isporuke primarnog aluminija DDR
— smanjenje isporuke aluminija domaćoj industriji (45 proizvođača u svim republikama).

Gubici koji bi zbog toga nastali ovdje nisu uzeti u račun jer ih je vrlo teško izračunati. Izvoz u DDR naplaćuje se 85% u konvertabilnoj valuti ako se uzmu u račun konvertibilne robe koje se preko DDR nabavljaju za SOUR industrija aluminija i ostale radne organizacije u zemlji, za koje je uvezeno robe u vrijednosti od 13 mln $.

Odluka Odbora za opskrbu i Komisije za operativno usklađivanje potrošnje električne energije naknadno je preinačena, tako da je elektrolizama dozvoljeno da ostanu u pogonu sa 75% kapaciteta. Budući da za elektrolizu u Šibeniku redukcija de facto još traje, jer još uvijek traje puštanje u pogon peći isključenih za vrijeme redukcije, danas još nije moguće napraviti obračun ukupnih gubitaka zbog redukcije.

5. ZAKLJUČAK

5. 1. Elektroliza aluminija je veliki pojedinačni potrošač električne energije, a karakterizira ga velika neelastičnost. Neelastičnost je posljedica karaktera tehnološkog procesa i zahtijeva za što racionalnijim korištenjem energije u proizvodnom procesu.

5. 2. Promatramo li elektroenergetski sistem kao cjelinu, postoji mogućnost prilagođavanja ovakvog potrošača zahtjevima sistema.

5. 2. 1. Prilagođavanje zahtjevima sistema može se provoditi ograničenjem snage do 100% (ovisno o dužini trajanja ograničenja) ili ograničenjem snage i energije u dužim periodima.

5. 2. 2. Vrlo velika angažirana snaga elektrolize moguće vrlo brzo i efikasno rasterećivanje elektroenergetskog sistema u kriznim situacijama. Rasterećivanje sistema iskapčanjem cijelih gradova, područja ili velikih radnih organizacija sigurno bi izazvala daleko više štete u privredi i društvu nego što je šteta izazvana u industriji aluminija.

5. 3. Načinom korištenja angažirane snage elektroliza aluminija (kao i ostali specijalni potrošači) pridonosi racionalnijem korištenju elektroenergetskog sistema u cjelini. Postojanje ovakvog potrošača električne energije u interesu je **svih** potrošača u sistemu.

KEY WORDS: ELECTROLYSIS OVEN, ALUMIUM ELECTROLYSIS REDUCTION OF ELECTRIC POWER

REDUCED ELECTRIC POWER DELIVERY TO ALUMINIUM ELECTROLYSIS FROM THE STANDPOINT OF POWER RATIONALIZE

In the article is presented a review of reduced power delivery impacts from the standpoint of power rationalize in aluminium electrolysis and from standpoint of optimal use of electrical system.

HERABGESETZTE STROMLIEFERUNG FÜR DIE ALUMINIUMELEKTROLYSE VOM STANDPUNKT EINES WIRTSCHAFTLICHEREN STROMVERBRAUCHS

Die Arbeit bringt eine Übersicht reduzierter Stromlieferung für den Bedarf der Aluminiumelektrolyse vom Standpunkt einer wirtschaftlicheren Stromerzeugung und eines rationelleren Stromverbrauchs im Verbundsystem.

СОКРАЩЕНИЕ ПОСТАВКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЛИЗА АЛЮМИНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

В статье дан обзор влияния сокращения поставки электроэнергии для электролиза алюминия с точки зрения рационального использования электроэнерги при электролизе алюминия и с точки зрения рационального использования электроэнергетической системы.

Naslov pisca:
Zdravko Ringwald, dipl. inž.
Tvornica aluminija Ražine,
59000 Šibenik

Uredništvo primilo rukopis
1983 — 03 — 15

INSTITUT
ZA
ELEKTROPRIVREDU
Zagreb

1953 – 1983

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

BOGATO NALAZIŠTE PLINA KALINOVAC

Plan istražnih radova utvrđivanja novih nalazišta prirodnog plina u SR Hrvatskoj uspješno se realizira. Radnici »INA — Naftaplina« nedavno su otkrili bogato nalazište plina u Kalinovcu u Podravini, nedaleko Đurđevca.

Prilikom ispitivanja istražnom bušotinom Kalinovac dobiveno je oko 250.000 m³ plina i više od 200 m³ kondenzata dnevno. Ispitivanja se nastavljaju kako bi se došlo do što točnijih podataka. Procijenjeno je da je nalazište Kalinovac bogatije od plinskog polja Molve, do sada najvećeg nalazišta u Jugoslaviji. Da bi se što prije koristila ta dva naša najveća plinska nalazišta potrebno je ubrzati radove na eksploataciji ovih plinskih polja. Valja hitno osigurati potrebne devize za opremu iz uvoza. Udruženje naftaša Jugoslavije uputilo je zahtjev Skupštini SFRJ da se pitanje osiguranja potrebnih deviza hitno riješi.

I. R.

STUDIJA O PROJEKTIRANJU I IZGRADNJI MALIH HIDROELEKTRANA

U radnoj organizaciji »Elektroprojekt« iz Zagreba izrađena je studija »Metodologija i smjernice za projektiranje i izgradnju malih hidroelektrana u SR Hrvatskoj«. Studija predstavlja metodološki pristup akciji na realizaciji malih hidroelektrana.

Recenzija studije povjerena je stručnjacima Instituta za elektroprivredu iz Zagreba.

Izostavljajući napomene o opravdanosti izgradnje malih hidroelektrana u ovom energetskom trenutku, o našem zaostajanju u odnosu na ostali svijet itd. utvrđeno je da taj materijal može poslužiti kao solidna osnova za sistematičnu pripremu malih hidroelektrana za izgradnju preko katastra malih vodnih snaga, katastra malih hidroelektrana koji sadrži i izvjesnu energetsku i ekonomsku valorizaciju. Izrađena je i projektna dokumentacija za koju su u predloženoj studiji dane također solidne smernice.

Katastar malih hidroelektrana

Da bi se postigla efikasnost, brzina i tempo izrade katastra malih vodnih snaga, a kasnije kao logičan slijed katastra malih hidroelektrana, izvjestitelji predlažu napuštanje grafičkih metoda. Danas u tzv. eri kompjutora, zaista ih je šteta ne koristiti. S obzirom na velik broj malih vodotoka u SR Hrvatskoj predlaže se izrada programa za elektroničko računalo za određivanje bruto energetskog potencijala, jer bi se na taj način ubrzao cijeli postupak, a i troškovi bi bili znatno niži.

Utvrđeno je da bi bilo opravdano da se određivanje veličine izgradnje i energetsko — ekonomske vrijednosti malih hidroelektrana osnivaju na pojednostavljenom računu energetsko — ekonomske vrijednosti s time da se načini program za elektroničko računalo koji bi polazeći od pada i prosječnog protoka obuhvatio:

— određivanje tipa turbine i postrojenja,
— proračun moguće proizvodnje, za nekoliko vrijednosti Q_1,— proračun troškova izgradnje za istu vrijednost Q_1,
— izbor optimalne veličine izgradnje proračunom relativne energetsko — ekonomske vrijednosti raznih rješenja,
— određivanja najvećeg broja agregata,
— proračun moguće proizvodnje za odabrani Q_1,
— proračun relativne energetsko — ekonomske vrijednosti kao osnove određivanja prioriteta malih hidroelektrana, također za odabrani Q_1.

To su samo osnovne naznake koje bi sadržavao program. Izvjestitelji su predložili elektroprivredi Hrvatske da se studija prihvati, jer je izrađena korektno i kvalitetno, a obuhvatila je praktički svu polaznu problematiku u realizaciji izgradnje malih hidroelektrana u našoj republici.

I. R.

NOVA ENERGANA U KUTINI

Glavni pogoni druge faze Tvornice umjetnih gnojiva u Kutini su pri završetku, tako da će uskoro početi redovna proizvodnja.

U sklopu ovog značajnog kemijskog kombinata izgrađena je i energana, snage 32 MW koja će za potrebe tvornice proizvoditi toplinsku i električnu energiju. Višak električne energije bit će stavljen na raspolaganje elektroenergetskom sistemu Hrvatske. Kao pogonsko gorivo koristit će se prirodni plin i loživo ulje, koje osigurava INA — Naftaplin.

Glavni isporučioci opreme su tvornica »Rade Končar«: generator snage 40 MVA, transformatore i drugu elektroopremu, a »Jugoturbina« crpke i turbine. U isporuci opreme sudjelovat će i druga poduzeća naše stojogradnje i elektroindustrije, dok će se jedan dio osigurati iz uvoza.

Montažni radovi su uglavnom završeni i već su izvršena probna ispitivanja na većini uređaja. Kontrolu pojedinih uređaja obavili su stručnjaci Instituta za elektroprivredu i poduzeće »Elektroprenos« iz Zagreba.

I. R.

MONTAŽA U TE — TO OSIJEK

Investitor i izvođači radova na gradnji TE — TO Osijek, snage 45 MW, planirali su da do kraja 1983. godine objekt bude završen. Da bi se taj program izvršio ubrzano se radi na montaži glavne opreme.

Kotlovi su izrađeni prema tehničkoj dokumentaciji Wagner-biroa iz Graza. Jedan kotao je proizvede u tvornici Wagner-biroa, a drugi u Tvornici parnih kotlova, Zagreb. Kotlovi su montirani, a izvedeni su tako da mogu raditi na mazut i na zemni plin.

Na glavnom pogonskom objektu do sada su uglavnom montirani osim kotlova i turbina, izmjenjivači, crpke, razne posude i dr. U toku ožujka započela je i montaža cjevovoda. To je posebno značajan posao zbog velikog broja cjevovoda koji će povezivati kompletnu tehnološku opremu u novoj Termoelektrani — Toplani.

Opsežni radovi izvode se i na zgradi komande, gdje su u toku završeni poslovi. Ti se radovi izvode vrlo brzo kako bi se što prije omogućila montaža električnih uređaja.

Radi se i na montaži generatora, snage 45 MW, što ga je proizvela tvornica »Rade Končar« iz Zagreba. Montaža generatora povjerena je stručnjacima poduzeća »Monting« pod nadzorom isporučioca.

Prema dinamici montažnih poslova na glavnom pogonskom objektu ocijenjeno je da bi svi radovi mogli biti završeni do kraja 1983. godine.

I. R.

MANJA POTROŠNJA TEKUĆIH GORIVA

Radi smanjenog uvoza tekućih goriva potrošak u termoelektranama i toplanama u SR Hrvtskoj znatno je manji od planiranih količina za 1983. godinu.

Tako je za razdoblje siječanj — travanj ove godine potrošeno ukupno 146.000 tona tekućeg goriva. potrošnja je manja za 94.000 tona nego što je planirano. Najveću količinu tekućeg goriva, oko 100.000 tona, potrošile su TE — TO Zagreb i EL — TO Zagreb, ostatak oko 46.000 tona TE Rijeka i TE Sisak. U termoelektranama Rijeka i Sisak rezervoari za tekuće gorivo bili su dva mjeseca prazni.

Za isto razdoblje termoelektrane u Hrvatskoj potrošile su 46,5 milijuna m³ zemnog plina i 10,5 milijuna m³ koksnog plina. U PTE Osijek i KTE Jertovec koristile su se povremeno isporuke zemnog plina. Ukupno su proizvele 12 GWh električne energije. TE Plomin koja koristi kameni ugljen u isto je vrijeme ostvarila veću proizvodnju. Za razdoblje od I-IV mjeseca 1983. godine TE Plomin je potrošila 74.000 tona kamenog ugljena i proizvela 144,5 GWh električne energije.

I. R.

NOVA NALAZIŠTA NAFTE

Nakon višegodišnjih istraživanja radnici kolektiva »INA — Naftaplina« utvrdili su više nalazišta nafte i prirodnog plina na području jugoistočnog dijela SR Hrvatske.

Najbogatija nalazišta otkrivena su na bušotinama Ilača 1, te na bušotinama Djeletovci i Privlaka. Ta su nalazišta na području općine Vinkovci.

Prema dosadašnjim saznanjima na naftonosnim poljima Ilača 1, Djeletovci, i Privlaka treba izbušiti ukupno 31 bušotinu iz kojih bi se dobilo više od 500.000 tona početne godišnje proizvodnje. Planirano je da redovna proizvodnja na tim naftonosnim poljima počne već u 1985. godini.

Već ove godine radnici Naftaplina počet će bušiti razradne bušotine, a u 1984. godini planirana je izgradnja najvećeg broja bušotina. Proizvodni lanac transporta i prirodnog plina počeo bi od Ilače preko Djeletovca do Privlake. Kaptažni plin bi se odvojio i transportirao 12 kilometara dugim plinovodom do Vinkovaca. Prema procjenama Vinkovci bi godišnje raspolagali s oko 20 milijuna m³ kaptažnog plina.

Budući da su nova nalazišta nafte i prirodnog plina locirana na području općine Vinkovci odlučeno je da se u Vinkovcima osnuje poslovni centar, sa zadatkom da rukovodi izgradnjom, postrojenja prema utvrđenim planovima.

I. R.

TS 110/35 kV VARAŽDIN U POGONU

Na dan oslobođenja Varaždina, 7. svibnja ove godine svećano je puštena u pogon TS 110/35 (10) kV »Varaždin I«. Gradnja ove transformatorske stanice počela je 1980. godine, a za izgradnju je uloženo 9,6 starih milijardi dinara. Glavni dio investicijskih sredstava osigurali su OOUR »Elektra« Varaždin i poduzeće »Elektroprenos« iz Zagreba, te OSIZ potrošača električne energije, Varaždin, RSIZ. Također su upotrebljeni krediti proizvođača opreme i izvođača radova.

TS 110/35 kV »Varaždin I« opremljena je s dva transformatora snage po 31,5 MVA, sa 110 kV postrojenjem otvorenog tipa. Prekidači su SF_6 proizvod tvornice »Rade Končar«. Postrojenje 35 i 10 kV smješteno je u zgradi. Stanica je priključena novosagrađenim 110 kV vodom na TS Nedeljanec, odnosno energetski sistem Hrvatske. Predviđena je i druga veza neposredno na HE Čakovec, kada to bude moguće. Radi se i na montaži opreme za daljinsko upravljanje. Oprema je dijelom uvozna, a dijelom domaće proizvodnje.

Značaj novosagrađenog transformatorskog postrojenja je velik ne samo za grad Varaždin, nego i čitavo distributivno varaždinsko područje.

Transformacija na 35 kV može se neposredno uklopiti u 35 čkV prsten oko Varaždina, odnosno sistem preko Nedeljanca za pogone Ivanec, Novi Marof i Vinicu, a 10 kV ulazi direktno u 10 kV sistem grada, odnosno potrošača u industrijskoj zoni.

I. R.

PLAN UZEMLJENJA ZVJEZDIŠTA 30/35 kV NULTOČKE

Skupština Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske i RSIZ — potrošača električne energije odobrila je plan »Uzemljenje zvjezdišta 30/35 kV« za 1983 i 1985. godinu. Plan su izradili stručnjaci »Elektroprenosa« — odsjek relejne zaštite — iz Zagreba za područje RO »Elektroprivrede« Zagreb.

I. faza uzemljenja zvijezdišta 30/35 kV za 1983. godinu obuhvaća ove objekte:

— TS — Resnik, 110/30 kV, struja zemnog spoja 290 A
— TE — TO Zagreb, 110/30 kV, struja zemnog spoja 200
— TS — Koprivnica 110/35 kV, struja zemnog spoja 10 A
— TS — Virovitica, 110/35 kV, struja zemnog spoja 8 A
— TS — Nedeljanec, 110/35 kV, struja zemnog spoja 55 A

Plan realizacije izrađen je za I fazu prema ponudama tvornica »Rade Končar« iz Zagreba i Iskre iz Ljubljane. Za ostvarenje I. faze potrebna su ulaganja od 16,000.000, dinara. Predviđena sredstva utrošit će se za opremu, elektromontažne radove i transport, te građevinske radove i izradu tehničke dokumentacije.

II faza uzemljenja zvjezdišta 35 kV u 1984. godini obuhvaća objekte:

— TS Raktje 110/30 kV, struja zemnog spoja 20 A
— TS Čakovec 110/35 kV, struja zemnog spoja 20 A
— TS Međurić 110/35 kV, struja zemnog spoja 26 A
— TS Karlovac 110/35 kV, struja zemnog spoja 22 A
— TS Zabok 110/35 kV, struja zemnog spoja 21 A
— TS Bjelovar 110/35 kV, struja zemnog spoja 10 A
— TS Sisak 110/35 kV, struja zemnog spoja 15 A
— TS Križevci 110/35 kV, struja zemnog spoja 8 A

Predračun troškova za ovaj plan izrađen je također na osnovi ponuda tvornica »Rade Končar« i Iskre koje su vrijedile do 31. siječnja 1983. godine. Kako će se radovi obavljati u planskoj 1984. godini to su nužne i određene korekcije cijena, da bi se dobila prava vrijednost troškova, kako za opremu, tako i za montažne radove.

III faza uzemljenja zvjezdišta 35 kV predviđena je za 1985. godinu. Planom su obuhvaćeni objekti: Transformatorske stanice 110/35 kV Nova gradiška, Ivanić Grad, Daruvar, Varaždin, Jertove, Gojak, Zdenčina, Ludbreg, Karlovac II, Straža, zatim TS 110/30 kV Dugo Selo i Dubrava.

Kao i za drugu fazu plan je učinjen na temelju ponuda tvornica Iskre i »Rade Končar.«

I. R.

NOVE KNJIGE

W. Riesner, **Rationelle Energieanwendung,** Izdavač VEB Deutscher Velag für Grundstoffindustrie — Leipzig 1982.

Drugo znatno prerađeno izdanje, 139 stranica, 36 slika, 29 tablica, broširano, 16,5 × 25. Cijena 10 M.

U knjizi su prikazani putovi i smjernice kako se s obzirom na odnose u navedenom gospodarstvu može racionalizirati upotreba električne energije. Posebno je stavljeno težište na kompleksno razmatranje. Brojni primjeri iz društvenog i tehničko-tehnološkog područja daju poticaj za razmišljanje u rješavanju problema.

Materija knjige podijeljena je u 5 poglavlja. Reprodukcioni uvjeti energetskog gospodarstva obrađeni su u prvom poglavlju, a zatim se govori o korisnoj, upotrebnoj i primarnoj energiji. Treće poglavlje obrađuje pokrivanje energijom. Glavne smjernice za provedbu racionalne primjene električne energije predmet je 4. poglavlja. Razmatraju se najrazličitiji utjecaji na potrošnju kao npr. utjecaji društva, materijalnog stanja, struktura, načina života, organizacije gospodarstva itd. Posebni je dio posvećen racionalizaciji tehnoloških procesa, grijanja, rasvjete i transporta.

Posljednje 5. poglavlje obrađuje ekonomsku i pravnu regulativu za postizanje racionalne upotrebe električne energije.

Ovakva knjiga može interesirati široki krug čitalaca kao npr. studente tehničkih i ekonomskih škola, pa konstruktore, projektante, energetičare i ekonomiste u različitim granama industrije.

Rezultati pokusa i analize novog 20 kV kabela s izolacijom od umrežnog polietilena

Donedavno su u Francuskoj korišteni distubitivni kabeli 20 kV, koji su imali izolaciju od impregniranog papira i davali su zadovoljavajuće rezultate. Unatoč tome poduzeta su istraživanja na kabelu sa sintetičkom izolacijom iz nekoliko rezloga: jednostavnije je polaganje, osobito što se tiče spojnica i glave kabela, povećanje snage kratkog spoja i činjenica da se sintetička izolacija već koristi za niskonaponske i visokonaponske kabele.

U članku je dan sažeti opis kabela s tablicom s dozvoljenim jakostima struje ovisno o mjestu polaganja i godišnjem dobu u ovisnosti o presjeku vodiča. Nadalje, iznesene su pojedinosti vezane za kontrole nepropusnosti kabela. Pokus je rađen uranjanjem kabela u vodu i prikazan je tabelarno. Također su pravljeni pokusi trajnosti kabela u zemlji. Nadalje su vršena ispitivanja utjecaja vode na žilu kabela te apsorbcija vode u umreženi polietilen.

U poglavlju o ponašanju kabela na preopterećenje prikazani su pokusi vezani za starenje materijala i zasebno ponašanje armature kabela. U zadnjem poglavlju prikazano je ponašanje kabela kod konstantnih napona.

E. - F. serie b, Nº 3 1979 M. Paris i A. Pinet

»JUGOTURBINA«

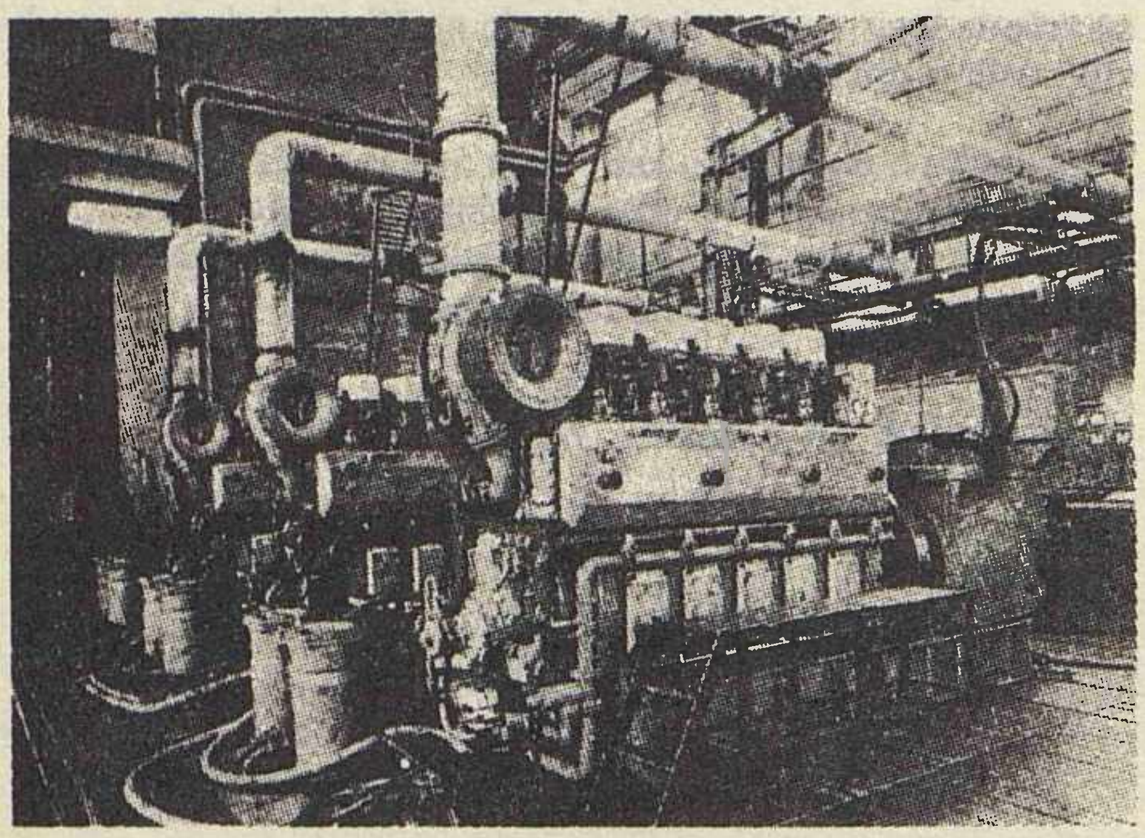
— INDUSTRIJA METALNIH PROIZVODA, OPREME I POSTROJENJA SOUR o.sub.o.

47000 KARLOVAC — JUGOSLAVIJA • Telex: 23736, 23745

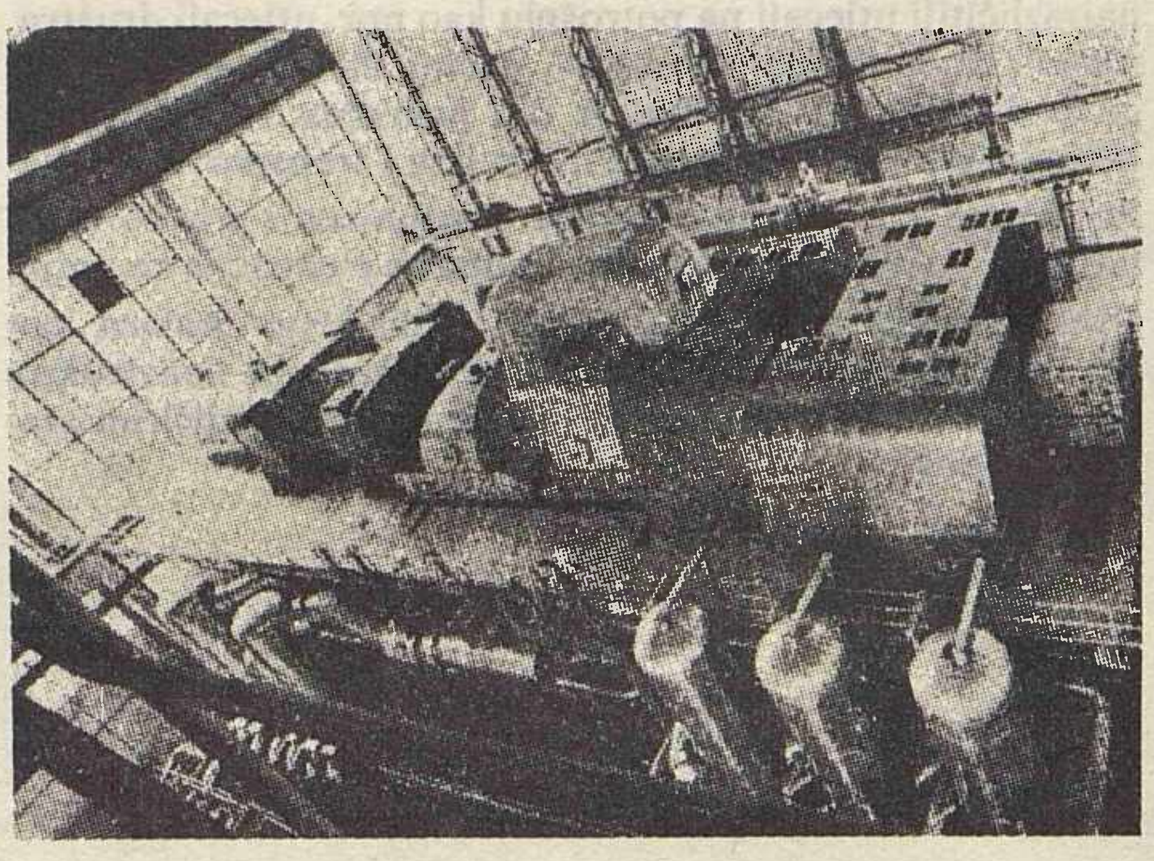
PROIZVODNI PROGRAM:

ENERGETSKA OPREMA I POSTROJENJA: turbine za toplane i elektrane, turbine za industrijski i mehanički pogon, turbokompresori, dizel agregati i kompletna energetska postrojenja

BRODSKA OPREMA: dizel motori-brodski propulzioni i brodski dizel agregati, parne turbine, pumpe i brodska automatika



DIZELMOTORI JUGOTURBINA—SULZER 5A25



JUGOTURBINA 125 MW PLOMIN

PUMPE I PUMPNA POSTROJENJA

POSTROJENJA ZA PROČIŠĆAVANJE KOMUNALNIH I INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA

KLIZNI LEŽAJEVI

ČELIČNE KONSTRUKCIJE, SILOSI I MLINSKA POSTROJENJA

GRAĐEVINSKI OKOVI, ČAVLI I DRUGI ŽIČANI PROIZVODI

PROIZVODI OD TERMOPLASTIČNIH MASA DJELATNOSTI:

EXPORT-IMPORT, ZASTUPSTVO, UNUTRAŠNJA TRGOVINA

CONSULTING, PROJEKTIRANJE I INŽINJERING ZA ENERGETSKA, HIDRO I INDUSTRIJSKA POSTROJENJA

REFERENCE: NA SVIM KONTINENTIMA

500 turboagregata

1.200 dizel motora

65.000 pumpnih agregata

UDK 621.31

ENJAAC 32 (6) – (1983) 413 – 540

YU ISSN 0013-7448

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

energija

Izdavači:

Združeno poduzeće »Elektroprivreda«, Rijeka
Združeno poduzeće »Elektroprivreda Dalmacije«, Split
SIZ za znanstveni rad SR Hrvatske
Elektra, Karlovac
Elektroslavonija, Osijek
Elektroistra, Pula
Elektroprimorje, Rijeka
Elektrodalmacija, Split
Elektra, Zagreb
Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos
Institut za elektroprivredu, Zagreb

IZDAVAČKI SAVJET

Dragutin *Stanić,* dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Združeno poduzeće, Split — Enco *Tirelli* i Boris *Simončić,* dipl ing. »Elektroprivreda« Rijeka — Josip *Brkljačić,* dipl. ing., HE Senj — Petar *Kuzele,* dipl. ing., »Elektra«, Zagreb — Ivo *Božin,* dipl. ing., Institut za elektroprivredu, Zagreb — dr. Zorko *Cvetković,* Elektroprenos, Zagreb — Šimun *Šimundža,* dipl. ing., »Elektrodalmacija«, Split — Anđelko *Dujmović,* dipl. ing., »Elektroslavonija«, Osijek — »Elektroistra«, Pula — Branko *Mrakovčić,* dipl. ing., »Elektroprimorje«, Rijeka — Marko *Šimunović,* dipl. ing., »Elektra«, Karlovac

GLAVNI UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: Boris *Markovčić,* dipl. ing. — Urednik: Zdenka *Jelić,* dipl. fil. — Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola *Bilčar,* dipl. ing. — »Hidroelektrane«, Đuro *Hatić,* dipl. ing. — »Termoelektrane i Toplane«, Mladen *Nadinić,* dipl. ing. — Prijenos električne energije, Zorko *Cvetković,* dipl. ing., Zagreb — Josip *Nevešćanin,* dipl. ing., Split — »Razvod, distribucija i potrošnja električne energije«, Tomislav *Balen,* dipl. ec., Jure *Šimović,* dipl. ec., Petar *Kuzele,* dipl. ing. — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslovanja«. — Tehnički urednik: Branko *Mališ.*

Redakcija završena 1983 – 09 – 23

Godište 32 (1983) Zagreb 1983 Br. 6

SADRŽAJ

Božin, I.: 30 godina Instituta za elektroprivredu . . 415

Bilčar, N.: Potrebe, raspoloživi izvori i aktualni problemi opskrbe energijom u Jugoslaviji (Prethodno priopćenje) 417

Udovičić, B.: Mogućnosti i potrebe optimalne izgradnje elektrana u elektroenergetskom sustavu Hrvatske do 2.000 godine (Originalni znanstveni rad) 434

Schenner, R.: Analiza konzuma u distribuciji (Prethodno priopćenje) 445

Baldasari, D.: Planiranje globalnog rasta distributivne električne mreže s obzirom na prognoziranu potrošnju električne energije (Prethodno priopćenje) 449

Čorak, D.: Stanje i perspektive razvoja energetske opskrbe Zagreba (Originalni znanstveni rad) . . 459

Malbaša, N.: Utjecaj nuklearnih elektrana na okolinu (Prethodno priopćenje) 479

Hatić, Đ. – Šimundić N.: Izbor najpovoljnijeg vodoprivrednog rješenja i energetskog istraživanja Mure na dionici od Gibine do ušća (Prethodno priopćenje) 495

Tonković, Z.: Jedna perspektiva jugoslavenske superponirane mreže (Prethodno priopćenje) 504

Sekso, A. – Hrs, I.: Prenaponi sklapanja na sjevernoj magistrali mreže 400 kV (Prethodno priopćenje) . 511

Jakšić, P.: Trogodišnje iskustvo u korištenju računala PDP-11/70 (Stručni rad) 521

Obavijesti proizvođača 526

Časopis je oslobođen plaćanja poreza na promet rješenjem Republičkog sekretarijata za prosvjetu, kulturu i fizičku kulturu SR Hrvatske broj 886/1-1979.

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 511-455, 513-822 (328)

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300 dinara, a za poduzeća i ustanove 1500 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 200 dinara.

Za inozemstvo $ 80 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

Institut za elektroprivredu (za »Energiju«) broj 30101-603-565

Tisak i klišeji. RO »Zrinski« TIZ Čakovec

Institut za elektroprivredu Zagreb

1953 — 1983

6. Planiranje, izgradnja i korištenje hidroelektrana (HE) i višenamjensko iskorištenje voda

— planiranje razvoja višenamjenskog korištenja voda na vodotocima i slivovima
— studije, izbor optimalnog rješenja i izrada osnovnih projekata energetskog, vodoprivrednog i ostalih korištenja vodnih resursa
— planiranje i vođenje istraživanja za potrebe izrade studije i projekata i građenja hidroenergetskih postrojenja
— izrada tenderske dokumentacije za opremu i evalvacija ponuda
— priprema izgradnje i nadzor izgradnje hidroenergetskih i višenamjenskih postrojenja
— osiguranje kvalitete opreme pri izgradnji HE
— garancijska i funkcionalna ispitivanja opreme HE
— tehničko promatranje hidroelektrana u pogonu
— priprema i vođenje nadzora sanacije hidrotehničkih i građevinskih postrojenja hidroelektrana

Karakteristični obavljeni radovi

— srednjoročni plan razvoja vodoprivrede SRH — energetski dio
— idejno rješenje HE Moslavina i HE Osijek na Dravi
— osnovni projekt energetskog iskorištenja i vodoprivrednog uređenja Mure u SR Hrvatskoj
— idejno rješenje crpne HE Borovnik na Vuki
— hidrološki informacioni sistem SR Hrvatske
— tehničko promatranje hidrotehničkih i građevinskih objekata u HE Varaždin
— nadzor sanacije objekata HE Varaždin i HE Ozalj

7. Planiranje, izgradnja i korištenje nuklearnih elektrana (NE)

— programiranje izgradnje nuklearnih elektrana u elektroenergetskom sistemu
— izbor lokacija nuklearnih elektrana — istraživanje, studije, izvještaji i prijedlozi
— utjecaj mogućnosti upotrebe nuklearne energije na okoliš
— studij mogućnosti upotrebe nuklearne energije za opskrbu toplinom
— studij sistema i komponenti, optimiranje pojedinih sistema — postrojenja, izbor tehničkih karakteristika i karakterističnih parametara opreme nuklearnih elektrana i gorivog ciklusa
— planiranje i priprema izgradnje, izrade investicijskog programa, tenderske dokumentacije, evalvacije ponuda za nuklearne elektrane
— planiranje i praćenje izgradnje nuklearnih elektrana
— osiguranje kvalitete pri izgradnji nuklearnih elektrana
— priprema i provedba ispitivanja radi utvrđivanja osnovnog stanja opreme prije ulaska u pogon (Pre Service Inspection — PSI)
— priprema ili praćenje i ocjena »start-up« aktivnosti u toku probnog pogona
— priprema i provedba ispitivanja za utvrđivanje tehničkih i energetskih karakteristika opreme
— priprema i provedba ispitivanja za utvrđivanje stanja opreme u toku pogona (In Service Inspection — ISI)

Karakteristični obavljeni radovi

— sistem žaštite tlakovodnih reaktora nuklearnih elektrana (analiza rješenja u svijetu)
— program aktivnosti izgradnje nuklearnih elektrana u SR Hrvatskoj do 2000. godine
— usporedba teškovodnih PHWR i tlakovodnih PWR reaktora nuklearnih elektrana sa svih aspekata kao priprema za nove NE u SR Hrvatskoj
— radovi na izboru lokacije za NE Prevlaka, NE Dalmacija i NE Slavonija
— pretpogonska i pogonska ispitivanja opreme NE Krško
— planiranje i priprema gradnje nuklearnih postrojenja (rađeno za NE Prevlaka)
— konzalting-usluge i ispitivanje energetske opreme u NE Krško

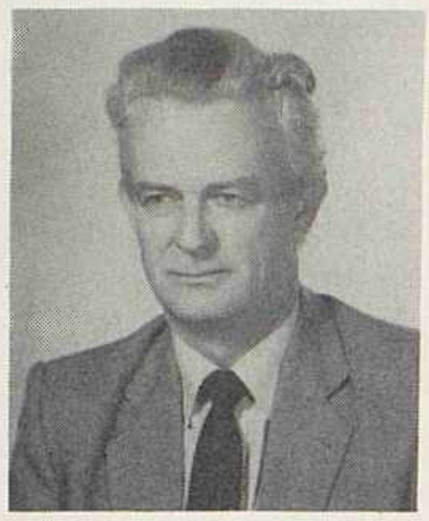
8. Ispitivanja pogonske sposobnosti postrojenja i električne opreme energetskih objekata

— organizacija i provođenje sistematskih preventivnih terenskih i laboratorijskih ispitivanja
— analiza karakterističnih parametara električne opreme, njihova tipizacija i standardizacija
— kontrolna i atestna ispitivanja opreme
— funkcionalna ispitivanja rasklopnih postrojenja
— ispitivanja za svrhe koordinacije izolacije (prenaponskih pojava u mreži, prikladnosti pojedinih izolacija u uvjetima onečišćenja)
— ispitivanje prenaponskih pojava u mreži i na modelima
— ispitivanje uzemljivačkih sistema
— ispitivanje nadzemnih vodova i kabela

Karakteristični obavljeni radovi

— ispitivanje i analiza stanja opreme HE »Nikola Tesla«
— ispitivanje i analiza stanja DV 110 kV Slavonski Brod — Osijek
— mjerenja iznošenja potencijala iz TS Velika Gorica, Sučidar, Bilice i Osijek
— laboratorijsko istraživanje karakteristika zaštitnih iskrišta
— tipska ispitivanja kabela i kabelskog pribora
— ispitivanje prenapona prilikom sklapanja kondenzatorskih baterija u TS Resnik i TS Mraclin

30 godina Instituta za elektroprivredu



IVO BOŽIN

Ova publikacija priređena je u povodu 30. godišnjice znanstvenoistraživačkog i stručnog rada Instituta za elektroprivredu. Tako dugo razdoblje aktivnosti nalaže potrebu sumiranja i prezentiranja postignutih rezultata. Razmatrajući više vatrijanti sadržaja publikacije, a uzimajući u obzir postojeću ekonomsku situaciju koja zahtijeva maksimalnu štednju, odlučili smo se da u posebnom broju Energije objavimo članke iz osnovnih područja naše aktivnosti. Uvjeren sam da ćemo na taj način čitaocima dati uvid u značajnije radove na kojima smo posljednjih godina angažirani.

Ne ulazeći ovom prilikom u opisivanje rada i razvoja Instituta u proteklih 30 godina, radi prigodnog karaktera publikacije smatram potrebnim iznijeti nekoliko misli o sadašnjem trenutku njegova razvoja.

Institut je formiran u svibnju 1953. godine, a razvijao se je i rastao paralelno s razvojem Elektroprivrede. Danas smo ekipirani i opremljeni bolje i više nego ikada u 30-godišnjem razvoju. Napravljen je kvalitetan napredak i time što su u radnim timovima, često na istim zadacima, angažirani znanstveni radnici s visokim teorijskim znanjem i stručnjaci s bogatim iskustvom i poznavanjem problematike planiranja, izgradnje i vođenja pogona elektroprivrednih objekata. Oprema kojom danas raspolažemo suvremena je i kvalitetna, pa nam omogućuje brzu obradu pojedinih znanstvenih i stručnih problema te ispitivanje elektroenergetskih objekata.

Za postignuti nivo razvoja zaslužni su svi oni radnici Instituta koji su u proteklih 30 godina svojim predanim dugogodišnjim radom pridonijeli znanstvenoj i stručnoj afirmaciji sebe i Instituta. Svima koji su tako radili, a takvih je veliki broj, i ovom prilikom izražavam duboku zahvalnost. Jednako tako izražavam zahvalnost i našim poslovnim partnerima, u prvom redu Elektroprivredi SR Hrvatske koja je angažiranjem Instituta na velikom broju zadataka iz područja razvoja i rada elektroenergetskog sistema stvorila uvjete za naš kadrovski i materijalni razvoj.

U današnjoj situaciji, kada smo u privređivanju suočeni sa značajnim ekeonomskim problemima, izlaz se ne može naći u stagnaciji ili zaustavljanju razvoja, nego samo u kvalitetnijem i efikasnijem razvoju i radu. To posebno vrijedi za područje energetike, gdje se prema svjetskim iskustvima i našim spoznajama moraju trajno ulagati znatna financijska sredstva. Svi koji smo na tom programu angažirani moramo preispitati i vlastite slabosti u dosadašnjem radu. Međutim, još je važnije većim anagažiranjem, uz preciznije definiranu odgovornost svakog sudionika u tom radu, stvoriti uvjete za pronalaženje kvalitetnijih rješenja budućeg razvoja. Sadašnji zastoj u razvoju trebamo iskoristiti u intenzivnim i kvalitetnim razradama podloga za efikasniji budući razvoj.

Institut za elektroprivredu sa svojim kadrovskim potencijalom i materijalnom osnovom kojom danas raspolaže može i treba dati svoj udio u postizanju takvog cilja.

Direktor Instituta za elektroprivredu *Ivo Božin,* dipl. ing.

POTREBE, RASPOLOŽIVI IZVORI I AKTUALNI PROBLEMI OPSKRBE ENERGIJOM U JUGOSLAVIJI

Nikola Bilčar, Zagreb

UDK 620.92(497.1)
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Prikazane su osnove »Strategije dugoročnog razvoja energetike Jugoslavije«. Razvoj potrošnje energije do 2000. godine u višoj i nižoj varijanti raste predviđeno je osigurati prvenstveno domaćim izvorima energije, uključujući postepenu zamjenu loživog ulja, odnosno smanjenje uvoza sirove nafte. Naznačene su mjere i akcije za ostvarivanje takve strategije.

Ključne riječi: strategija razvoja, potrošnje energije, domaći izvori energije, energetske bilance, supstitucija uvozne energije.



NIKOLA BILČAR

1. UVOD

Odavno je energetska privreda prestala biti predmetom pažnje samo privrednika, jer njezinim tokovima sve više upravljaju političari, pa čak i vojnici. Nejednolika geografska rasprostranjenost energetskih izvora ima za posljedicu nejednoliko raspolaganje energetskim izvorima pojedinih zemalja, a time i nužnost međunarodne razmjene, jer bez energije nema razvoja privrede ni društva i cjelini.

Nagao porast potrošnje nafte do 1973. godine, uz ondašnje cijene, doveo je do toga da su se razvijene zemlje još brže razvijale bilo da su naftu koristile u energetske ili u neenergetske svrhe (petrokemija), tako da je ostvaren još veći raskorak između razvijenih i nerazvijenih zemalja. Na drugoj strani, paralelno, zemlje izvoznice nafte, koje su većim dijelom stekle nezavisnost nakon drugoga svjetskog rata, formiraju svoju organizaciju (OPEC), da bi nakon toga postupno prišle organiziranju proizvodnje i izvozu nafte u vlastitoj režiji, formirajući vlastite petrolejske kompanije koje osvajaju sve veće udjele u proizvodnji nafte. Navedene dvije okolnosti dovode uz ostalo do povećanja cijene nafte od 1973. do danas za blizu petnaest puta. Taj trenutak naglog povećanja cijene nafte u 1973. godini označen je kao početak tzv. energetske krize. Neovisno o tome može li se to ili ne nazvati krizom, odnosno početkom krize, sigurno je da je to početak mnogih akcija u većini zemalja koje se odnose općenito na izmjenu strategija razvoja, osobito na pravcima tijesno povezanim s novonastalom situacijom u opskrbi energijom. Te akcije, koje su u osnovi značile uspostavljanje nove energetske politike pojedinih zemalja, obuhvaćale su:

— štednju ili racionalnu upotrebu energije čije je osnovno polazište u tome da su ulaganja po energetskoj jedinici za uštođenu energiju manja od ulaganja za pridobivanje nove energije za tu istu jedinicu (ako ne bi bilo štednje) bez obzira na to o kojem se energetskom izvoru radi. Pri tome valja zadovoljiti uvjet da na ovaj način smanjena potrošnja energije ne ugrožava rast nacionalnog dohotka i životnog standarda. Štednja energije uz ulaganja obuhvaća pronalaženje i proizvodnju energetski efikasnijih proizvoda, što istodobno stvara mogućnost većeg zapošljavanja i postiže efekt manjeg zagađivanja okolice. Poticajnim mjerama stimulira se razvoj i uvođenje nekonvencionalnih (obnovljivih) izvora energije — energija Sunčeva zračenja, energije vjetra, biomase, te se uvode poticajna porezna oslobađanja za korištenje nafti alternativnih izvora energije, kao i progresivno oporezivanje za automobile s velikom potrošnjom itd. S druge strane, u punoj se mjeri podrazumijeva štednja energije koja se može postići bez ulaganja ili s neznatnim ulaganjima (za edukaciju potrošača). Naime, racionalna upotreba energije zahtijeva promjen ponašanja potrošača koji je moguće ostvariti ako potrošač pozna mogućnosti za takvu promjenu (odgovarajuća edukacija), ako je (preko cijena) zainteresiran za tu promjenu ili ako je propisima prisiljen na takvu promjenu. Na primjer, paušalno naplaćivanje (grijanje iz toplana ili centralnih grijanja, obračuna potrošnje vode i dr.) potiče neracionalno trošenje energije, ali isto tako potiču ga i loše održavana postroje-

nja, čistoća ogrjevnih površina, neispravno funkcioniranje mjernih i regulacijskih uređaja i sl.

— orijentaciju na vlastite izvore enrgije radi minimiziranja uvoza, odnosno energetske zavisnosti zemlje. Naime, povećane cijene nafte čine ekonomičnom zamjenu loživog ulja ugljenom (uključujući povećane troškove radi zaštite okoline) ili nuklearnom energijom. Isto tako, nagao porast cijena nafte opravdava crpljenje nafte i plina iz vlastitih poznatih nalazišta (Sjeverno more, Aljaska, Tjumenska oblast) iz koji je nekada bila neekonomična eksploatacija

— diverzifikaciju uvoza energije (isto tako radi smanjivanja energetske zavisnosti zemlje) ili uvoz energije u više oblika (ugljen, nafta, plin, nuklearno gorivo itd.);

— poticajne mjere (kreditne olakšice, oslobađanje poreza i drugi popusti) koje stimuliraju kako proizvođače, tako i potrošače energije na ostvarivanje strategije dugoročnog razvoja energetike zemlje koja obuhvaća i proizvodnju zadanih oblika energije i štednju, proizvodnju energetski efikasnijih proizvoda i upotrebu nekonvencionalnih oblika energije itd.

— cijene pojedinih oblika energije koje se postavljaju tako da, zajedno s poticajnim mjerama, pokrivaju dodatne troškove koji nastaju kada se supstituira gorivo alternativnim (preferirajućim) gorivom i koje stimuliraju proizvodnju koja se želi

— znatno povećanje ulaganja u energetska istraživanja, razvoj i primjenu

— niz drugih, ali za svaku zemlju specifičnih mjera i akcija (zabranu izgradnje termoelektrana na pogon s tekućim gorivom, energetsku samostalnost, izjednačavanje cijena domaćih izvora energije i onih uvoznih i dr.).

U našoj zemlji deklarativno izjašnjavanje za orijentaciju na domeće izvore energije nisu pratile odgovarajuće poticajne i druge mjere, pa su, naravno, izostali rezultati. Tek se organiziranim restrikcijama smanjuje potrošnja naftnih derivata, a nedostatak alternativnih goriva prisiljava potrošače na povećanu potrošnju električne energije, koju također ne možemo proizvesti u dovoljnim količinama. Opskrba energijom potrošača u zemlji ne zadovoljava, jer smanjeni uvoz nafte ne možemo kompenzirati vlastitim izvorima kojih ima, ali čiju proizvodnju nismo na vrijeme organizirali i potakli. Takvo stanje dijelom je uzrokovano i nepostojanjem dugoročno utvrđenih potreba pojedinih oblika energije u zemlji, nepostojanjem dugoročnih aranžmana koji bi obavezivali proizvođače na potrebnu proizvodnju energije i napokon nepostojanjem odgovornog koordinatora u energetskom sistemu zemlje.

»Strategija dugoročnog razvoja energetike Jugoslavije«, koja je izrađena u okviru Komisije saveznih društvenih savjeta za probleme ekonomske stabilizacije, predstavlja logičan slijed u odnosu na današnje stanje opskrbe energijom. Strategija, koja će se u ovom članku ukratko prezentirati, temelji se na sljedećim odrednicama:

— maksimalnom razvoju domaćih izvora energije (ugljena, nafte, plina, vodnih snaga, nuklearne energije i ogrijevnog drveta);
— racionalnoj upotrebi, ili štednji energije
— minimalnom ili nužnom uvozu energije i
— ekonomski opravdanom korištenju nekonvencionalnih oblika energije.

Analizom strukture potrošnje energije u Jugoslaviji i drugim zemljama svijeta radi utvrđivanja polaznog stanja i mogućih pravaca prestruktuiranja, prognozom potrošnje energije u dvije varijante — nižoj i višoj, te registracijom utvrđenih rezervi primarnih izvora energije u Jugoslaviji načinjene su podloge za energetske bilance kako bi se utvrdili potrebne proizvodnje pojedinih oblika energije do 2000. godine te također potrebne mjere i akcije radi ostvarivanja takve strategije razvoja energetike u Jugoslaviji.

Ostvarivanje tako koncipirane strategije razvoja energetike ovisit će u velikoj mjeri o njezinoj daljnjoj razradi za primjenu (studije i istraživanja), a još u znatno većoj mjeri o sredstvima za postizavanje cilja — cijeni pojedinih oblika energije, koje bi (na bazi potrebnih analiza) trebale biti takve (u pogledu odnosa) da se ostvaruje upravo naznačena strategija razvoja, ali i takve da osiguraju i sredstva za razvoj. U dijelu u kojem to nije moguće postići, bit će potrebno osigurati sredstva na drugi način.

2. STRUKTURA POTROŠNJE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI I USPOREDBA S OSTALIM ZEMLJAMA

Za prognoziranje potrošnje energije i njezine strukture nužno je poznavati ostvarenu potrošnju u proteklom razdoblju i strukturu te potrošnje. Struktura potrošnje koja je neposredno ostvarena predstavlja polazno stanje, koje, ako se pokaže potrebnim mijenjati, treba mijenjati kontinurano i postupno u toku dužeg vremenskog perioda, jer prestruktuiranje energetske potrošnje zahtijeva vrijeme i znatna sredstva.

2.1. Potrošnja energije po stanovniku i porast potrošnje

Specifična potrošnja energije ili potrošnja energije po stanovniku indikator je intenzivnosti potrošnje energije i indikator stupnja razvoja s obzirom na čvrstu zavisnost porasta društvenog proizvoda i porasta potrošnje energije. Zbog toga će se pokazati (tabl. 1) potrošnja energije po stanovniku, za SAD i evropske zemlje, i to redom po veličini potrošnje za 1970. i 1980. godinu, te ostvaren porast bruto raspoložive energije u tom razdoblju.

Tablica 1. Potrošnja energije u kg EU/stan. i porast (%) bruto raspoložive energije u razdoblju 1970/1980. godine

1970. godina		1980. godina		porast %	
SAD	10 870	SAD	10 410	Švedska	−0,58
Njemačka DR	6 128	Njemačka DR	7 408	V. Britanija	−0,31
Švedska	5 769	Čehoslovačka	6 482	Danska	−0,03
Belgija	5 608	Norveška	6 434	SAD	0,62
Danska	5 420	Nizozemska	6 183	Belgija	0,95
Čehoslovačka	5 402	Belgija	6 037	SR Njemačka	1,26
SR Njemačka	5 124	SR Njemačka	5 727	Švicarska	1,63
V. Britanija	5 029	Bugarska	5 678	Njemačka DR	1,73
Norveška	4 616	SSSR	5 595	Francuska	1,90
Nizozemska	4 595	Poljska	5 590	Austrija	2,40
Poljska	4 226	Švedska	5 269	Čehoslovačka	2,52
SSSR	4 084	Danska	5 225	Finska	2,73
Finska	4 070	Finska	5 135	Italija	2,91
Francuska	3 814	V. Britanija	4 835	Mađarska	3,57
Bugarska	3 775	Rumunjska	4 593	Poljska	3,76
Austrija	3 319	Francuska	4 351	Nizozemska	3,86
Švicarska	3 222	Austrija	4 160	Norveška	3,93
Rumunjska	3 032	Mađarska	3 850	SSSR	4,13
Mađarska	2 809	Švicarska	3 708	Bugarska	4,61
Italija	2 647	Italija	3 318	**Jugoslavija**	**4,78**
Španjolska	1 467	Španjolska	2 530	Rumunjska	5,24
Jugoslavija	**1 409**	Grčka	2 137	Portugal	5f,40
Grčka	1 109	**Jugoslavija**	**2 049**	Španjolska	6,69
Portugal	712	Portugal	1 097	Grčka	7,72
Svijet	1 758	Svijet	1 955	Svijet	2,89

Usporedbom podataka vidimo da većoj potrošnji energije po stanovniku odgovara manji godišnji porast potrošnje. Prosječni godišnji porasti u razvijenim zemljama dosta su niski, čak i negativni, na što je utjecala privredna recesija, ali i nova energetska politika koja na prvo mjesto stavlja štednju energije. Drugim riječima, mjerama štednje neke zemlje kontroliraju rast potrošnje energije bez ograničenja potrošnje, dok je u našoj zemlji prosječni godišnji porast dijelom smanjen i zbog ograničenja potrošnje pojedinih oblika energije, osobito u posljednje dvije godine promatranog razdoblja. To je vjerojatno i razlog da je u 1980. godini zamijenjen položaj Grčke i Jugoslavije na ljestvici potrošnje energije.

2.2. Struktura primarne energije

Struktura utrošene primarne energije u Jugoslaviji bitno se izmijenila u posljednjih 30. godina (tabl. 2). U razdoblju 1950-1980. godine udio krutih goriva opada, a tekućih raste. Istodobno se smanjuje udio vlastitih izvora energije iako je ostvren stalni rast udjela plinovitih goriva i hidroenergije.

Slične su tendencije i u ostalim zemljama do 1973. godine. Međutim, od 1973. godine u svim zemljama dolazi do usporavanja smanjivanja udjela krutih goriva (tabl. 3).

Jugoslavija je među zemljama u kojima je najviše smanjen udio krutih goriva u razdoblju 1960-1973. godine, ali i među šest zemalja u kojima je u razdoblju 1973-1980. godine najviše smanjen udio krutih goriva u opskrbi energijom. Iako supstitucija tekućih goriva (loživo ulje) ugljenom nije jednostavna, ipak ima zemalja u kojima je poslije 1973. godine povećan udio krutih goriva u opskrbi energijom.

S druge strane, iako je naša zemlja ostvarila najveće povećanje udjela tekućih goriva u opskrbi energijom od 1973. do 1980. godine (tabl. 4), naša zemlja pripada među zemlje s najmanjom potrošnjom tekućih goriva po stanovniku. Međutim 23 navedene evropske zemlje i SAD Jugoslavija se nalazi na 22. mjestu po potrošnji tekućih goriva u 1980. godini:

1. SAD	2 944	kg/stan.
5. Norveška	2 131	kg/stan.
10. Nizozemska	1 678	kg/stan.
15. V. Britanija	1 246	kg/stan.
20. Mađarska	883	kg/stan.
22. Jugoslavija	633	kg/stan.
23. Portugal	632	kg/stan.
24. Poljska	402	kg/stan.

Po potrošnji pojedinih derivata — goriva položaj naše zemlje je još nepovoljniji jer zauzimamo 22.

Tablica 2. Struktura utrošenih primarnih oblika enrgije i opskrba vlastitim energetskim izvorima (%) u Jugoslaviji

	Kruta goriva	Tekuća goriva	Plinovita goriva	Hidro-energija	Udio vlastitih izvora
1950.	90,15	7,80	0,25	1,80	93,0
1955.	87,41	9,12	0,43	3,04	86,1
1960.	83,80	11,24	0,44	4,52	88,6
1965.	75,11	17,99	1,90	5,00	85,1
1970.	54,63	34,30	4,57	6,40	74,8
1971.	53,10	36,38	4,71	5,81	70,5
1972.	49,94	37,38	5,90	6,78	71,6
1973.	48,07	39,86	6,12	5,95	78,5
1974.	45,21	41,69	6,18	6,92	66,1
1975.	47,25	40,19	6,08	6,38	67,6
1976.	45,42	41,89	6,17	6,52	66,2
1977.	42,26	44,71	6,29	6,74	63,8
1978.	43,09	44,17	6,04	6,70	63,2
1979.	43,42	44,23	5,60	6,75	63,6
1980.	42,56	44,51	5,61	7,32	62,4

Tablica 3. Udio krutih goriva u opskrbi energijom, te povećanje (+) ili smanjenje (−) tog udjela

	Udio krutih goriva (%)			Promjena udjela (%)	
	1960.	1973.	1980.	1973/1960.	1980/1973.
Mađarska	83,6	46,2	33,5	−37,4	−12,7
Njemačka DR	97,5	79,9	67,8	−17,6	−12,1
Bugarska	83,4	54,4	43,9	−29,0	−10,5
Čehoslovačka	92,6	72,6	64,9	−20,0	− 7,7
SSSR	63,1	39,9	33,7	−23,2	6,2
Jugoslavija	**83,8**	**48,1**	**42,6**	**−35,7**	**−5,5**
Portugal	27,9	9,7	5,4	−18,2	− 4,3
Austrija	52,3	19,8	16,6	−32,5	− 3,2
Poljska	95,3	85,2	83,1	−10,1	− 2,1
SR Njemačka	77,5	34,5	32,6	−43,0	− 1,9
V. Britanija	77,2	49,7	38,6	−37,5	− 1,1
Norveška	12,1	6,2	5,3	− 5,9	− 0,9
Belgija	71,9	27,3	26,5	−44,6	− 0,8
Rumunjska	22,4	22,8	22,5	+ 0,4	− 0,3
Švedska	15,1	4,7	5,3	−10,4	+ 0,6
Švicarska	25,7	2,0	3,2	−23,7	+ 1,2
Nizozemska	55,1	4,9	6,2	−50,2	+ 1,3
Italija	20,4	6,9	8,3	−13,5	+ 1,4
Francuska	61,2	19,4	21,6	−41,8	+ 2,2
Grčka	26,5	21,2	23,8	− 5,3	+ 2,6
SAD	24,3	19,3	23,3	−5,0	+ 4,0
Španjolska	64,8	20,8	25,0	−44,0	+ 4,2
Turska	44,1	16,5	23,6	−27,6	+ 7,1
Danska	43,0	13,1	36,3	−29,9	+23,2
Svijet	49,9	30,3	31,2	−19,6	+ 0,9

mjesto u potrošnji motornog benzina sa 94 kg/stanovniku, posljednje — 24 mjesto — po potrošnji dizelskog goriva sa svega 149 kg/stanovniku i 19 mjesto po potrošnji loživog ulja s 340 kg/stanovniku. To nedvojbeno pokazuje na nepovoljnu strukturu potrošnje derivata nafte, jer je pozicija naše zemlje na dnu ljestvice kod potrošnje derivata koji su, barem za sada, nezamjenjivi, dok je viša pozicija kod zamjenjivog dijela — loživog ulja.

Tablica 4. Udio tekućih goriva u opskrbi enrgijom te povećanje (+) ili smanjenje (−) toga udjela

	Udio tekućih goriva (%)			Promjena udjela (%)	
	1970.	1973.	1980.	1973/70.	1980/73.
Jugoslavija	**34,3**	**39,9**	**44,5**	**+5,6**	**+4,6**
Portugal	70,4	79,8	83,5	+9,4	+3,7
Njemačka DR	14,1	16,0	19,1	+1,9	+3,1
Čehoslovačka	16,3	22,0	24,1	+5,7	+2,1
Nizozemska	47,5	37,2	39,3	−10,3	+2,1
Mađarska	26,2	33,7	35,0	+6,5	+1,3
Rumunjska	22,5	23,6	24,7	+1,1	+1,1
Poljska	7,5	9,7	10,5	+2,2	+0,8
SSSR	32,0	34,1	34,0	+2,1	−0,1
Austrija	49,7	54,7	53,5	+5,0	−1,2
SAD	41,6	45,0	42,4	+3,4	−2,6
Španjolska	65,4	70,5	67,7	+5,1	−2,8
Norveška	53,5	51,4	48,4	−2,1	−3,0
Grčka	74,8	76,9	73,8	+2,1	−3,1
Bugarska	36,8	42,9	39,1	+6,1	−3,8
Belgija	53,8	53,9	48,6	+0,1	−5,3
Italija	75,1	75,7	69,6	+0,6	−6,1
SR Njemačka	50,2	52,1	44,9	+1,9	−7,2
Švedska	82,2	78,8	71,5	−3,4	−7,3
V. Britanija	42,4	45,5	37,5	+3,1	−8,0
Švicarska	79,2	80,6	70,7	+1,4	−9,9
Francuska	60,4	67,7	57,1	+7,3	−10,6
Finska	76,1	75,3	62,3	−0,8	−13,0
Danska	88,7	86,9	63,5	−1,8	−23,4
Svijet	43,5	46,5	43,4	+3,0	−3,1

Najviši porast potrošnje tekućih goriva nakon poskupljenja nafte u 1973. godini djelomično je i posljedica relativno niske potrošnje po stanovniku u odnosu na druge zemlje, ali i nedovoljnog broja efikasnih akcija koje bi djelovale na usporenje rasta potrošnje loživog ulja, koje je najlakše od svih derivata nafte zamijeniti drugim oblicima energije.

Naprotiv, udio loživog ulja (tabl. 5) u opskrbi energijom u Jugoslaviji stalno raste tako da je godišnji porast od 9,34 % u razdoblju 1973. do 1980. godine jedan od najvećih među razmatranim zemljama:

Porast udjela loživog ulja u Jugoslaviji od 14,3% u 1970. godini na 24,2% u 1980. godini znači da je gotovo četvrtina potrebne energije dobivena izgaranjem loživog ulja. Nasuprto tome, u većini evropskih zemalja udio loživog ulja je smanjen, pogotovo poslije 1973. godine.

2.3. Opskrbljenost vlastitim energetskim izvorima

Nakon poskupljenja nafte u 1973. godini pojačana je tendencija povećanja opskrbljenosti vlastitim izvorima energije. U povećanju stupnja energetske neovis-

Tablica 5. Udio loživog ulja u opskrbi energijom, te povećanje (+) ili smanjenje (−) toga udjela

	Udio loživog ulja (%)			Promjena udjela (%)	
	1970.	1973.	1980.	1973/70.	1980/73.
Jugoslavija	**14,3**	**17,5**	**24,2**	**+3,2**	**+6,7**
Nizozemska	19,5	8,8	15,2	−10,7	+6,4
Rumunjska	6,7	7,6	10,7	+0,9	+3,1
Čehoslovačka	8,4	12,0	13,5	+3,6	+1,5
Njemačka DR	6,1	8,1	9,5	−2,0	+1,4
Portugal	28,2	38,3	39,2	+10,1	+0,9
Poljska	1,7	2,4	2,8	+0,7	+0,4
SSSR	12,1	13,2	12,9	+1,1	−0,3
Mađarska	11,3	12,6	11,3	1,3	−1,3
Norveška	18,0	13,1	11,8	−4,9	−1,3
Austrija	26,6	27,9	25,7	+1,3	−2,2
SAD	7,7	9,1	6,9	+1,4	−2,2
Bugarska	20,2	23,7	21,1	+3,5	−2,6
Grčka	34,6	39,4	36,7	+4,8	−2,7
Belgija	24,4	23,0	17,9	+1,4	−5,1
SR Njemačka	14,4	14,0	8,9	−0,4	−5,1
Italija	43,8	41,0	35,0	−2,8	−6,0
Španjolska	35,0	39,6	33,3	+4,6	−6,3
Švedska	43,8	38,6	31,3	−5,2	−7,3
V. Britanija	21,5	21,6	13,3	+0,1	−8,3
Švicarska	16,6	15,9	7,3	−0,7	−8,6
Finska	35,4	36,4	25,4	+1,0	−11,0
Francuska	38,3	45,8	33,4	+7,5	−12,4
Danska	43,0	37,5	23,5	−5,5	−14,0
Svijet	15,8	16,5	14,0	+0,7	−2,5

Tablica 6. Opskrbljenost u % vlastitim izvorima energije (omjer proizvodnje i potrošnje)

	Opskrbljenost u %			Povećanje (+) i smanjenje (−) opskrbljenosti %	
	1970.	1973.	1980.		1973/1980.
Norveška	41,8	54,9	318,9	Švedska	+7,2
SSSR	121,8	121,0	130,5	Švicarska	+6,4
Nizozemska	75,6	114,6	112,1	Finska	+4,6
Poljska	114,3	117,0	106,5	Grčka	+4,4
V. Britanija	54,4	54,8	102,1	Španjolska	+2,3
SAD	95,7	87,0	88,2	Danska	+1,2
Rumunjska	106,2	101,0	84,9	SAD	+1,2
Njemačka DR	78,4	74,2	67,6	Francuska	−0,2
Čehoslovačka	82,3	75,1	67,2	Belgija	−2,3
Jugoslavija	**74,8**	**68,5**	**62,4**	Portugal	−2,5
Mađarska	70,9	63,5	51,7	SR Njemačka	−2,9
SR Njemačka	55,8	48,3	45,4	Italija	−3,1
Bugarska	50,4	41,0	33,5	**Jugoslavija**	**−6,1**
Austrija	45,2	37,9	30,1	Njemačka DR	−6,6
Španjolska	28,4	23,8	26,1	Bugarska	−7,5
Švicarska	19,4	18,1	24,5	Austrija	−7,8
Švedska	11,1	16,3	23,5	Čehoslovačka	−7,9
Grčka	20,8	19,0	23,4	Mađarska	−11,8
Francuska	31,3	21,7	21,5	Rumunjska	−16,1
Italija	18,2	17,1	14,0		
Belgija	21,2	14,9	12,6		
Finska	6,3	6,1	10,7		
Portugal	15,4	13,1	10,6		
Danska	0,2	0,4	1,6		

nosti postignuti su u posljednje vrijeme nakon otkrića nalazišta nafte i zemnog plina znatni rezultati u nekim zemljama (Norveška, Nizozemska, V. Britanija), a u drugim je zemljama smanjena ovisnost u uvozu boljim iskorištenjem vlastitih izvora (Grčka, Švedska, Švicarska, Španjolska).

Opskrbljenost vlastitim izvorima energije u našoj zemlji smanjila se za posljednjih desetak godina od 3/4 na nešto manje od 2/3 energetske potrošnje (tabl. 6).

Takav pad opskrbljenosti vlastitim izvorima energije mogao bi se opravdati jeftinom naftom do 1973. godine, ali nastavak sve manje opskrbljenosti iza 1973. godine teško je braniti, pogotovo što su postojale (i postoje) dvije mogućnosti za povećanje opskrbljenosti vlastitim izvorima energije: povećanje proizvodnje ugljena i povećanje proizvodnje nafte i zemnog plina.

Budući da je izostala proizvodnja domaćeg ugljena, nafte i plina, logično je da je izostao proces supstitucije loživog ulja ugljenom, kao što je izostala domaća proizvodnja nafte i zemnog plina, pa je preostao uvoz. Kako uvoz nije odgovarao potrebama iz poznatih razloga, nastupili su poremećaji u opskrbi energijom potrošača.

Svakako da je opravdano psotaviti pitanje gdje su uzroci nepovoljnog razvoja energetike u našoj zemlji u posljednjih desetak godina. S jedne strane, činjenica je da se u energetskim bilancama predviđala određena preorijentacija u potrošnji energije, ali ta predviđanja nisu bila praćena ni mjerama ekonomske politike ni određenim akcijama. Tako nije riješen problem investicija za povećanje proizvodnje mrkog ugljena kao ni problem sredstava za intenzivnije istraživanje nafte i zemnog plina. S druge strane, ne poznaju se ni stvarne mogućnosti za pregradnju kotlova i ostalih postrojenja u industriji, pa je logično da su izostali rezultati.

3. RAZVOJ POTROŠNJE ENERGIJE

Svako prognoziranje, pa i prognoziranje potrošnje energije nosi sobom veliku nesigurnost. To je razlog da je razvijeno više metoda za prognoziranje. Sve te metode polaze od ostvarenog razvoja u prošlosti iz kojeg izdvajaju neku određenu zakonitost za projiciranje buduće potrošnje energije. Dakako, zakonitosti vrijede ako je u prošlosti ostvarivan kontinuirani razvoj.

Budući da potrošnja energije u našoj zemlji u posljednje tri godine stagnira, neznatno opada ili raste, većina od tih metoda nije primjerena u takvim situacijama. Jedina pouzdana metoda, uz uvjet da je realna prognoza rasta društvenog proizvoda, jest metoda koja se osniva na korelacijskoj vezi između rasta društvenog proizvoda i rasta potrošnje energije.

3.1. Tendencije u potrošnji energije u najrazvijenijim zemljama

Prema podacima ekonomske komisije za Evropu (lit. 4) očekuje se sljedeći porast energije:

	1980/1990.	1990/2000.
Zapadna Evropa	2,65	1,84 %
Istočna Evropa	2,11	1,48 %
SSSR	3,22	1,97 %
SAD	1,24	1,42 %

pa bi potrošnja u kg ekvivalentnog ugljena po stanovniku iznosila:

	1980.	1990.	2000
Zapadna Evropa	4467	5465	6180
Istočna Evropa	5291	6021	6443
SSSR	6690	8396	9332
SAD	13370	13958	14842

U svim područjima predviđa se znatna promjena energetske strukture. Zajedničko je u tim promjenama da se predviđa smanjenje udjela tekućih goriva (na cijelom području od 42,0% u 1980. godini na 27,1% u 2000. godini, što znači da se predviđa potrošnja tekućih goriva u 2000. godini na nivou 95% od potrošnje u 1980. godini), povećanje udjela nuklearne energije i skormno učešće (do 4%) nekonvencionalnih oblika enrgije. Ostale promjene zavise od raspoloživosti vlastitih izvora energije, pa se predviđa porast udjela ugljena u Zapadnoj Evropi i SAD, a stagnacija u Istočnoj Evropi i SSSR-u. Udio zemnog plina smanjuje se u svim područjima zbog iscrpljivanja rezervi, osim u SSSR-u gdje je velik porast udjela. Udio vodnih snaga se znatnije ne mijenja, što znači da će se hidroelektrane i dalje graditi, uključujući i manje ekonomične.

3.2. Proračun razvoja potrošnje energije i električne energije

Budući da ne postoji procjena razvoja društvenog proizvoda niti je moguće taj razvoj utvrditi s iole većom sigurnošću, pogotovo kad se radi o dugoročnom predviđanju, promatran je razvoj potrošnje energije uz pretpostavku razvoja društvenog proizvoda u dvije varijante — višoj i nižoj — što je i inače uobičajeno kod dugoročnog predviđanja.

Predviđen je sljedeći prosječni porast društvenog proizvoda (%):

	V_1	V_2
1980/1985.	3,00	3,50 %
1985/1990.	3,50	4,00 %
1990/1995.	3,50	5,00 %
1995/2000.	3,50	4,50 %

Na temelju takvog porasta društvenog proizvoda i broja stanovnika proračunat je društveni proizvod u 10^3 dinara/stanovniku i društveni proizvod u 10^9 dinara (vrijednost dinara 1972. godine):

	Broj stanov.	V_1 Društveni proizvod		V_2 Društveni proizvod	
	10^3	10^3 d/stan.	10^9 d	10^3 d/stan.	10^9 d
1980.	22344	17,30	386,6	17,30	386,6
1985.	13236	20,06	446,1	20,55	477,5
1990.	24107	23,82	574,2	25,00	602,7
1995.	24908	28,29	704,6	31,91	794,8
2000.	25653	33,60	861,9	39,76	1020,0

Na temelju korelacijske veze između potrošnje energije i društvenog proizvoda po stanovniku proračunata je potrošnja energije i električne energije u dvije varijante (tabl. 7. i 8).

Tablica 7. Potrebna ukupna energija, energija po stanovniku i porast potrošnje po stanovniku

	V_1			V_2		
	10^6 t EU	kgEU/stan.	%	10^6t EU	kgEU/stan.	%
1980.	48,94	2 190,4		48,94	2 190,4	
			2,62			3,06
1985.	57,91	2 492,9		59,17	2 546,6	
			3,11			3,57
1990.	70,03	2 905,0		73,15	3 034,3	
			3,16			4,56
1995.	84,56	3 394,9		94,44	3 791,6	
			3,22			4,17
2000.	102,02	3 976,9		119,34	4 652,0	

Tablica 8. Potrebna električna energija, električna energija po stanovniku i porast potrošnje el. energije po stanovniku

	V_1			V_2		
	TWh	kWh/stan.	%	TWh	kWh/stan.	%
1980.	58,12	260,1,1		58,12	2 601,1	
			3,75			4,36
1985.	72,65	3 126,8		74,82	3 220,2	
			4,21			4,78
1990.	92,67	3 843,1		98,06	4 067,9	
			4,08			5,77
1995.	116,94	4 694,8		134,11	5 384,3	
			3,98			5,02
2000.	146,38	5 706,2		176,48	6 879,7	

Usporedbom stopa porasta potrošnje energije po stanovniku i stopa porasta društvenog proizvoda po stanovniku dobivaju se omjeri tih dviju stopa porasta, koji se nazivaju koeficijentom elastičnosti:

	V_1	V_2
1980/1985.	0,873	0,874
1985/1990.	0,889	0,893
1990/1995.	0,903	0,912
1995/2000.	0,920	0,927

Prema tome, koeficijent elastičnosti raste s povećanjem potrošnje, u prvom redu zbog smanjivanja stupnja efikasnosti energetskog sistema, što je posljedica bržeg porasta potrošnje električne energije od potrošnje ukupne energije. Efikasnost je termoelektrana, naime, vrlo niska, pa se brzim povećanjem proiz-

vodnje električne energije eliminiraju efekti racionalnije upotrebe energije.

Međutim, kao indikator o vezi između potrošnje energije i društvenog proizvoda može se uvesti omjer između predviđene potrebne energije i društvenog proizvoda. Taj omjer iznosi:

	V_1	V_2
1985.	0,1243	0,1239
1990.	0,1220	0,1214
1995.	0,1200	0,1188
2000.	0,1184	0,1170

Očito je da se predviđa stalno smanjivanje potrošnje energije po jedinici društvenog proivzoda, što pokazuje da je računato s promjenom strukture industrije (u smjeru razvoja prema industriji s manjim potroškom energije) i s racionalnijom upotrebom energije.

Drugim riječima, potreban je stanovit oprez kod upotrebe koeficijenta elastičnosti. Naime, postoje znatne razlike u potrebnoj energiji po jedinici društvenog proizvoda, jer potrebna energija ovisi o strukturi industirje, pa zemlje poput SSSR-a, SAD i V. Britanije u kojima je razvijena metalurška i kemijska industrija (intenzivni potrošači energije) imaju visoku potrošnju energije po jedinici društvenog proizvoda. Nasuprot tome, zemlje koje imaju pretežno prerađivačku industriju (Švicarska) imaju malu potrošnju energije po jedinici društvenog proizvoda. S druge strane postoje djelatnosti koje traže manje energije po jedinici društvenog proizvoda, npr. turizam, voćarstvo, povrtlarstvo, pa u zemljama u kojima je to zastupljeno također je i manji potrošak energije po jedinici društvenog proizvoda. Osim toga, velik udio hidroenergije također pridonosi manjem potrošku energije po jedinici društvenog proizvoda, jer se u hidroelektranama ostvaruje bolje iskorištenje primarne energije nego u ostalim tipovima elektrana.

Dakako, na smanjivanje potrošnje energije po jedinici društvenog proizvoda utječe i racionalno iskorištenje energije. I, obratno, potrošnja energije u neproktivne svrhe (udobnost življenja, individualni prijevoz, grijanje cijelog stna i dr.) povećava potrošnju energije po jedinici društvenog proizvoda.

4. PRIMARNI OBLICI ENERGIJE I MOGUĆNOSTI NJIHOVA ISKORIŠTAVANJA

Energetske su rezerve u Jugoslaviji dosta skromne. Naime, stanovništvo Jugoslavije čini 0,5% svjetskog stanovništva u 1980. godini potrošnja energije u Jugoslaviji iznosila je 0,53% svjetske energetske potrošnje u istoj godini, dok su jugoslavenske geološke energetske rezerve svega 0,1% svjetskih geoloških rezervi.

Od ukupnih jugoslavenskih energetskih rezervi 84,2% otpad na ugljen, koji je većim dijelom lignit (88,4%), s dosta niskom ogrjevnom moći (7,76 do 10,82 MJ/kg), 11,1% otpada na mrki ugljen, a samo 0,5% na kameni.

4.1. Rezerve ugljena

Rezerve ugljena kojima se računa u ovom razmatranju osnivaju se na podacima iz elaborata (lit. 6), što ga je izradilo Opće udruženje rudnika ugljena Jugoslavije, pri čemu valja naglasiti da te rezerve ne sadrže rezerve što se nalaze na područjima na kojima danas ne postoji eksploatacija.

Ako se te rezerve izraze u količinama ekvivalentnog ugljena donje orjevne moći od 29,31 MJ/kg, tada se za rezerve dobivaju sljedeći podaci:

10^6 tona EU	kameni	mrki	lignit	Ukupno	%
Bilančne rezerve	53,7	652,2	3 757,1	4 466,0	63,9
Vanbilančne rezerve	14,6	127,1	479,3	666,0	9,5
Potencijalne rezerve	32,6	429,9	1 400,1	1 862,6	26,6
Ukupno	100,9	1 257,2	5 636,5	6 994,6	100,0
Udio	1,4	18,0	80,6	1000,0	

Od navedenih rezervi računat će sa iskoristivim rezervama, i to:

kameni ugljen	32,2 · 10^6 tona EU
mrki ugljen	452,5 · 10^6 tona EU
lignit	3 172,6 · 10^6 tona EU
ukupno	3 657,3 · 10^6 tona EU

Iako ne raspolažemo tako malim rezervama ugljena, zbog kvaliteta je nužan uvoz kamenog ugljena za koksiranje. Kameni ugljen iz labinskog bazena predviđen je za izgaranje u kotlovima termoelektrana jer ima vrlo visok sadržaj sumpora.

Upotreba mrkog ugljena predviđa se također za proizvodnju električne energije, ali i u druge svrhe. Naime, ogrjevna moć mrkog ugljena dupušta transport na veće udaljenosti, pa ga treba usmjeriti, u prirodnom stanju, na opskrbu industrijskih i malih potrošača. Osim toga, dijelom će se mrki ugljen briketirati (šira mogućnost upotrebe, izgaranjem se postiže bolje iskorištenje, a transport i manipulacija su jednostavniji), dijelom za proizvodnju bezdimnog goriva, dijelom kao dodatak kamenom ugljenu za proizvodnju koksa i dijelom kao polukoks za metalurgiju.

Upotreba lignita predviđena je većim dijelom u prirodnom stanju za proizvodnju električne energije u termoelektranama izgrađenim neposredno uz nalazište, te također u prirodnom stanju za male potrošače unutar 50 km od nalazišta jer ogrijevna moć lignita ne dopušta transport na veće udaljenosti. Na veće udaljenosti moguće je transportirati brikete od lignita, jer se briketiranjem postiže dvosturko veća ogrjevna moć. Osim toga, dijelom će se lignit plinificirati (već postoje takva postrojenja na Kosovu), a udio će ovisiti o usporednoj analizi upotrebe lignita za proizvodnju električne energije i upotrebe lignita za proizvodnju plina.

4.2. Rezerve nafte i zemnog plina

Rezerve nafte i zemnog plina, koje su dane u tabl. 9, određene su na temelju izvjesnog stupnja istrživanja. Zbog toga se ni u potencijalnim ni u geološkim rezervama ne spominju područja na kojima se danas obavljaju istraživanja, npr. srednji i južni Jadran, Posavina, Majevica i uže područje SR Srbije.

Tablica 9. Rezerve nafte i plina u Jugoslaviji

	Potencijalne rezerve 10^6 tona ekv. nafte	Geološke rezerve (A+B+C1)			
		Nafta 10^6 t	Zemni plin naftni 10^9 m³	Zemni plin suhi 10^9 m³	Ukupno 10^6 tona ekv. nafte
Murska depresija	125,9	0,8	0,1	0,1	1,0
Dravska depresija	231,9	82,7	6,7	44,1	133,5
Savska depresija	710,3	159,3	17,0	14,9	191,2
Sjeverni Jadran	1 185,0	—	—	7,0	7,0
SR Hrvatska	2 253,1	242,8	23,8	66,1	332,7
Banat	195,4	91,8	7,0	37,8	136,6
Bačka	54,6	28,8	1,8	5,9	36,5
Srijem	5,0	—	—	—	—
uže područje Srbije	15,0	—	—	—	—
SR Srbija	270	120,6	8,8	43,7	173,1
Sveukupno	2,523,1	363,4	32,6	109,8	505,8

Naime, za sada nisu utvrđene rezerve i mogućnosti pronalaska komercijalnih nalazišta nafte i zemnog plina ovdje su mnogo manje nego u panonskom i jadranskom području.

U potencijalnim rezervama (tabl. 9), valja napomenuti, obuhvaćšene su A, B, C_1, C_2, D_1 i D_2 rezerve.

Na temelju tih rezervi porocijenjena je mogućnost proizvodnje nafte (tabl. 10) i zemnog plina (tabl. 11) do 2000. godine u Jugoslaviji.

Tablica 10. Prognoza proizvodnje nafte u Jugoslaviji (10^6 tona)

	Domaća nafta		Inozemne koncesije	Ukupno
	Panon	Jadran		
1985.	5,00	—	—	5,00
1990.	3,60	1,40	2,00	7,00
1995.	2,62	2,88	3,00	8,50
2000.	1,96	4,04	4,00	10,00

U prognozi proizvodnje nafte računa se i s naftom iz inozemstva na temelju istraživanja nafte i plina u inozemstvu koje obavljaju naše radne organizacije s pravom na dio pronađene nafte.

Navedene prognoze proizvodnje nafte i zemnog plina ovise o opsegu i intenzivnosti istraživanja, koji su gotovo uvijek ograničeni pomanjkanjem sredstava, što se naročito odnosi na devizna sredstva kako za

Tablica 11. Prognoza proizvodnje zemnog plina u Jugoslaviji (10^9 m³)

	Panon	Jadran	Ukupno
1985.	4,05	1,00	5,05
1990.	4,50	3,90	8,50
1995.	4,70	5,50	10,20
2000.	4,20	8,00	12,20

istraživanja u zemlji, tako i u inozemstvu. Osim toga, u proizvodnji domaće nafte računato je s povećanjem iscrpka korištenjem sekundarnih metoda, dok se mogućnosti primjene tercijarnih metoda istpituju.

Rafinerijski kapaciteti u Jugoslaviji (izgrađenost 1980) omogućuju preradu 24 mln tona godišnje. Dovršetkom rafinerijskih kapaciteta u izgradnji, povisti će se kapacitet prerade na 30,66 mln tona godišnje (Bosanski Brod, 4,2, Lendava 0,7, Novi Sad 3,0, Pančevo 5,5, Skoplje 2,5, Rijeka 8,0 i Sisak 6,7).

Uz te primarne kapacitete u našim rafinerijama izgrađena su brojna sekundarna postrojenja, a druga se grade. Zastupljenost sekundarnih postrojenja slična je onoj u rafinerijama u Zapadnoj Evropi. Tako npr. u Francuskoj, Italiji, SR Njemačkoj i Velikoj Britaniji učešće postrojenja za krekiranje iznosi 6,7 do 12,8% (u nas 12%), a učešće postrojenja za reformiranje 7,9 do 12,1% (u nas reformiranje + izomeracija 15%). Prema tome, tehnološka struktura u našim rafinerijama nije inferiornija od one u zapadnoevropskim zemljama.

Struktura proizvodnje u rafinerijama, međutim, uvijek je funkcija dvaju faktora: faktora potraživanja i faktora tehnološke strukture rafinerija. Zbog toga ne može se govoriti o nekom optimalnom omjeru bijelih i crnih derivata. Podaci o strukturi potrošnje i strukturi proizvodnje u 1980. godini pokazuju da je struktura proizvodnje bolja od struktura potrošnje, jer se pojavljuje velik manjak loživog ulja.

Ako se pođe od potreba prerade nafte za Jugoslaviju do 2000. godine (što će se kasnije kao element energetskih bilanci pokazati), izgrađeni kapaciteti u našim rafinerijama moći će zadovoljiti sve naše potrebe do 2000. godine, uključujući i potrebe bazne petrokemije, odnosno potrošnje derivata nafte u neenergetske svrhe (ove potrebe su procjenjene od $3{,}3 \cdot 10^6$ tona u 1985. godini do $6{,}35 \cdot 10^6$ tona u 2000. godini).

4.3. Vodne snage

Bruto-iznos vodnih snaga Jugoslavije jest oko 110 TWh/god., dok se tehnički može iskoristiti oko 66 TWh/god. (tabl. 12).

Ne postoji, međutim, procjena ekonomski iskoristivih vodnih snaga, ali se danas slobodne procjene kreću oko 55 TWh/godinu. Ako se ovo uzme kao realno, onda je do danas izgrađeno polovocu vodnih snaga. Najveće mogućnosti postoje još na Drini s Tarom i Pivom, gdje se još može ostvariti prosječna godišnja

Tablica 12. Vodne snage u Jugoslaviji (TWh/god).

	Bruto iznos vodne snage	Tehnički iskorist. snage	Izgrađene vodne snage	Izgrađenost %
Dunav	13,88	6,65	5,635	84,7
Tisa	0,28	0,08	–	–
Drava	8,92	5,80	2,635	45,4
Sava	9,76	4,09	0,163	3,9
Kupa	3,03	2,00	0,239	11,9
Una	2,90	2,00	0,040	2,0
Vrbas	3,35	2,30	0,697	30,3
Bosna	4,99	3,30	0,046	1,3
Drina	18,50	11,80	3,661	31,0
Kolubara	0,20	0,10	–	–
Morava	6,23	4,00	0,209	5,2
Mlava	0,17	0,15	–	–
Pek	0,25	0,15	–	–
Porečka reka	0,07	0,04	–	–
Timok	0,91	0,57	–	–
Soča	2,71	1,80	0,288	16,0
Rječina	0,56	0,18	0,100	55,0
Reka	0,69	0,22	–	–
Mirna	0,08	0,04	–	–
Raša	0,04	0,02	–	–
Lika i Gaska	2,00	1,25	1,150	92,0
Krka	1,02	0,66	0,160	24,2
Zrmanja	0,20	0,10	–	–
Cetina	5,70	3,70	2,595	70,0
Neretva s Trebišnjicom	10,42	6,90	5,010	72,6
Morača	3,41	2,10	1,170	55,7
Beli Drim	1,23	0,65	0,040	6,1
Crni Drim	1,90	1,20	0,625	52,0
Dragovština	0,16	0,10	–	–
Strumica	0,14	0,05	–	–
Vardar	6,22	4,00	0,813	20,3
Ukupno	110,00	66,00	25,276	38,3

proizvodnja od 8 TWh. Ujedno je to i najekonomičniji dio vodnih snaga.

Međutim, potrebno je naglasiti da je gradnja hidroelektrana u posljednjim godinama zanemarena, pa prema tome i razrada projektne dokumentacije. Naime, ne postoji katastar hidroelektrana na temelju kojeg bi se potencijalne hidroelektrane uvrstile u prostorne planove društveno-političkih zajednica i na taj način zaštitile lokacije tih elektrana od gradnje (na istim lokacijama) privrednih, infrastrukturnih i drugih objekata jer će troškovi izmještanja takvih objekata ekonomski onemogućiti izgradnju mnogih, danas vrlo ekonomičnih hidroelektrana.

U izmijenjenim uvjetima povišenja cijena goriva iskorištavanje vodnih snaga predstavlja ekonomski opravdanu orijentaciju. Zbog toga bi bilo korisno da se novelira projektna dokumentacija potencijalnih hikroelektrana uzimajući u obzir potrebe što boljeg iskorištavanja zemljišta za proizvodnju hrane, izmijenjene prilike u odnosu na otkup zemljišta i na izgrađene komunikacije i druge objekte, promijenjene odnose u elektroenergetskom sistemu i uopće tzv. sekundarne efekte, kako bi se utvrdile ekonomski iskoristive vodne snage, izradio katastar hidroelektrana, zaštitile lokacije i time onemogućilo daljnje smanjivanje ekonomski iskoristivog hidropotencijala kao izvora obnovljive energije.

4.4. Rezerve urana

Prema najnovijim procjenama (lit. 7) bilančne, vanbilančne i potencijalne rezerve urana u našoj zemlji iznose (tabl. 13):

Tablica 13. Rudne rezerve urana u Jugoslaviji (tone U_3O_8)

	Bilančne rezerve	Vanbilančne rezer.	Potencijal	Ukupno
SR Bosna i Herc.	–	–	6 000	6 000
SR Crna Gora	–	–	–	–
SR Hrvatska	–	–	–	–
SR Makedonija				
Zletovska reka	–	298	902	1 200
Padareš	–	62	738	800
Selce	–	6	244	250
Suvodol	–	–	230	230
Ostalo	–	–	9 000	9 000
Ukupno	–	366	11 114	11 480
SR Slovenija				
Žirovski vrh	2 740	–	9 260	12 000
Ostalo	–	–	10 000	10 000
Ukupno	2 740	–	19 200	21 940
SR Srbija				
Bukulja	–	73	3 927	4 000
Iverak	–	207	793	1 000
Stara planina	–	345	1 155	1 500
Ostalo	–	–	15 000	15 000
Ukupno	–	625	20 875	21 500
Sveukupno	2 740	991	63 189	66 920

Po bilančnim rezervama lako je zaključiti da je istaženost urana u Jugoslaviji vrlo mala. (Noviji izvještaji o istraživanjima u SR Sloveniji pokazuju da se radi o znatno većim rezervama od ovih navedenih u tabl. 12.) S obzirom na neminovnost uključivanja nuklearne energije radi osiguranja ukupnih potreba energije u zemlji očito je da se treba pristupiti intenzivnije i organiziranije istraživanju urana u zemlji.

Praktički je moguća proizvodnja uranova koncentrata iz fosfata u procesu proizvodnje fosfatne kiseline. Fosfati koji se uvoze sadrže relativno velike količine urana. U pripremi su pokusni uređaji za takvu proizvodnju. Računa se da bi se moglo dobiti oko 150-250 tona uranova koncentrata iz postojećih tvornica ili tvornica u izgradnji u Kutini, Prahova, Šapcu, Titov Velesu, Trepči i Hrasniku.

4.5. Nekonvencionalni izvori energije

Veliko povišenje cijena nafte od 1973. godine uvjetovalo je proces presktruktuiranja u energetskoj potrošnji u području konvencionalnih izvora energije i istaklo potrebu znanstveno istraživačkog rada na području dobivanja energije iz nekonvencionalnih izvora energije. Mnoge zemlje, prema tome, mijenjaju svoju energetsku politiku i strateske pravce te predviđaju sredstva za znanstveno istraživači rad na primjeni nekonvencionalnih izvora energije.

Međutim, od eksperimentalnih ispitivanja do komercijalne upotrebe novih tehnoloških rješenja uvijek je trebalo utrošiti znatna sredstva kroz duže vrijeme. Nema sumnje da to isto čeka i nekonvencionalne izvore energije, pa su i predviđanja (lit. 4) o njihovu učešću u ukupnim potrebama energije u 2000. godini (tabl. 14) vrlo skromna. Današnje korištenje vidi se iz podataka za 1978. godinu.

Tablica 14. Potrošnja nekonvencionalnih i nekomercijalnih oblika energije (10^6 tona ekv. ugljena)

	1978.	2000.
Ogrjevno drvo, otpaci drva	141	275 . . . 435
Uljni škriljavci	4	125 . . . 150
Bituminozni prijesak	6	75
Treset	22	15
Geotermička energija (vrela voda)	12	35 . . . 40
Neposredno Sunčevo zračenje	—	120 . . . 230
Biomase (bez ogrjevnog drva i drvanih otpadaka)	. . .	220
Energija vjetra, valova, plime i oseke, razlike temperature u oceanu, drveni ugljen	—	15 . . . 20
Ukupno	185	880 . . . 1185
Ukupno bez ogrjevnog drva i treseta	22	570 — 735
Ukupno bez ogrjevnog drva, treseta, uljnih škriljavaca i bituminoznog pijeska	12	370 . . . 510
Udio u ukupnim potrebama	0,2	3,5 . . . 4,8%

U našim prilikama, izuzev drva i otpadaka od drva, izgledi za korištenje nekonvencionalnih izvora energije još su skromniji, što će se u kraćem osvrtu pokušati pokazati.

a) Bituminozni škriljavci

Bituminozni ili uljni škriljavci jesu sedimentno stijenje s većim ili manjim sadržajem organske materije koja je raspršena u stjenama u obliku sitnih čestica. Ta se organska materija naziva ulje ili kerogen, a sadržaj mu varira od 20 do 400 litara po toni. Računa se da se svjetske rezerve kreću oko 500-10^9 tona kerogena, što je više od vrlo optimističkih procjena o rezervama sirove nafte.

Pridobivanje kerogena, međutim, zatijeva rješenje mnogih tehničkih, tehnoloških i ekonomskih problema. Eksperimentalna postrojenja malog kapaciteta ne mogu za sada dati meritoran odgovor o ulozi škriljavaca u budućem zadovoljenju energetskih potreba. To će ovisiti o razvoju metoda eksploatacije i metoda prerade, ali i o ograničenim rezervama nafte, u čemu je osnova vjerovanja da će uljni škriljavci u budućnosti zamijeniti naftne proizvode. Kad će to biti ekonomski oprvadano, ovisi o nizu faktora koje danas nije moguće predvidjeti.

U nas su, čini se, uljni škriljavci veoma rasprostranjeni jer je njihova pojava primijećena gotovo u svim krajevima, ali do sada se nisu poduzimali istražni radovi.

Ocjenjuje se da bi bilo korisno detaljnije istraživati potencijalna nalazišta, te pratiti razvoj i rezultate istraživanja u svijetu.

b) Geotermička energija

U Jugoslaviji nema prirodnih izvora vrele vode ili vodene pare koja bi se mogla upotrijebiti za proizvodnju električne energije. Prirodni izvori vruće vode imaju relativno malu izdašnost i niske temperature (20 do 80°C), pa se oni mogu energetski iskoristiti radi rekreacije i liječenja, te kao sredstvo za zagrijavanje staklenika i plastenika.

Postoji, međutim, i druga mogućnost iskorištavanja energije akumultirane u tlu. Naime, temperatura tla se povisuje s povećanjem dubine, Temperaturni gradijent, povišenje temperature po kilometru dubine, iznosi uz površinu tla 30°C/km, ali on postaje sve manji što je udaljenost od površine tla veća. Toplinu tla moguće je iskoristiti prirodnom ili stvorenom cirkulacijom vode.

U nas se nije posebno istraživala mogućnost iskorištavanja geotermičke energije, ali se raspolaže podacima na temelju bušotina pri istraživanju nafte i plina. Na temelju tih podataka mogu se procijeniti srednji temperaturni gradijenti na nekim područjima:

Panonsko područje	50°C/km
Dinaridi	15°C/km
Jadransko podmorje	25°C/km.

Energija akumulirana u vrućoj vodi dovedenoj iz tih dubina mogla bi se iskoristiti za grijanje stanova i za niskotemperaturne procese u industriji, naravno u neposrednom okolišu bušotine.

Prema tome, postoje potencijalne mogućnosti za iskorištavanje geotermičke energije u nas, pa bi trebalo sistematizirati rezultate istraživanja nafte i plina, te na toj osnovi organizirati dodatna istraživanja na područjima koja najviše obećavaju, jer se smatra da je geotermička energija prvi od nekonvencionalnih izvora koji bi se mogao u nas iskoristiti.

c) Energija Sunčeva zračenja

Mogućnost iskorištavanja Sunčeva zračenja ovisi o trajanju insolacije, koje u našim geografskim širinama iznosi 4 470 h/godinu. Stvaro je trajanje insolacije zbog oblaka i magle znatno kraće i iznosi 1 600 do 2 700 h/godišnje. Osim o trajanju insolacije, energija Sunčeva zračenja ovisi i o dobu godine i dana, te o smještaju plohe koja prima Sunčevo zračenje.

Praktički su moguća tri načina za iskorištavanje Sunčeva značenja:

- niskotemperaturno za zagrijavanje vode i prostorija
- visokotemperaturno zagrijavanje za proizvodnju električne energije i
- neposredna transformacija u električnu energiju.

Niskotemperaturno zagrijavanje vode u kolektorima, koji se najčešće postavljaju na krovove, može služiti za dobivanje tople vode u kućanstvima, kampovima i hotelima, te za zagrijajanje prostorija. Čini se, za sada, da ovaj način iskorištavanja Sunčeva zračenja koji smanjuje potrošnju drugih oblika energije, ali povećava investicije (jer moraju postojati alternativni uređaji kada nema Sunčeva zračenja), može naći u određenim slučajevima ekonomsko opravdanje. Ovaj način zaslužuje da bude i stimuliran.

Visokotemperaturno zagrijavanje vode za proizvodnju električne energije postiže se koncentracijom Sunčeva zračenja pomoću pomičnih zrcača koja slijede kretanje Sunca. Eksperimentalna solarna elektrana od 100 MW koja se gradi u SAD imala bi 12 500 zrcala površine po 40 m² (500 000 m²).Takva elektrana bi u našim najpovoljnijim prilikama (južni Jadran) proizvela 156 GWh/god. ili 4 puta manje od konvencionalne termoelektrane iste snage, što znači da bi solarna elektrana trebala imati 4 puta veću snagu za istu energiju. Prema današnjim procjenama, specifične investicije za takve solarne elektrane iznose 2 do 4 puta više nego specifične investicije za konvencionalne termoelektrane, odnosno 8 do 16 puta više za istu energiju. Prosječna efikasnost takvih solarnih elektrana iznosi oko 20 %.

Još je nopovoljnija situacija u pogledu neposredne konverzije Sunčeva zračenja u električnu energiju. Efikasnost je, naime, manja i iznosi 12 do 15%, a specifične investicije iznose 20 000 do 30 000 dolara/kW ili 40 do 60 puta više nego investicije u konvencijonalnim termoelektranama.

Treba, međutim, naglasiti da se izgradnjom solarnih elektrana, ako ne postoji mogućnost akumulacije energije, praktički ne smanjuje potrebna izgradnja drugih tipova elektrana. Pri današnjem stanju razvoja akumulacija električne energije u akumulatorima ne dolazi u obzir. Stoga se traže privhvatljiva rješenja da se elektreična energija iz solarnih elektrana upotrijebi za elektrolizu vode kojom se dobiva vodik koji bi se mogao spremiti u podzemnim prostorijama i razvoditi do mjesta potrošnje.

Sva su ta istraživanja na početku i sve je to ostvarivo u daljoj budućnosti, za barem 30 — 40 godina.

d) Energija vjetra

Energiju vjetra (koja je odavno korištena) moguće je iskorištavati za proizvodnju električne energije. Kao i solarne elektrane, tako i elektrane na vjetar ne smanjuju izgradnju ostalih tipova elektrana, pa se njihovom proizvodnjom štedi gorivo, naravno uz povećane investicije.

Osim toga, treba imati na umu da se snaga vjetra manje brzine od 3 m/s ne može koristiti. S druge strane postoji ograničenje iskorištenja snage vjetra do brzine za instaliranu snagu, pa je i korištenje takvih elektrana vrlo malo, što se najbolje vidi iz tablice 15. u kojoj su dane brzine vjetra na osnovi mjerenja u četiri naše meteorološke stanice (Beograd, Dubrovnik, Vršac, Zlatibor).

Tablica 15. Trajanje brzina vjetra (h/god.)

Brzina m/s	Beograd	Dubrovnik	Vršac	Zlatibor
0,0 — 0,9	572	272	3 355	823
1,0 — 1,9	2 512	1 103	1 040	2 798
2,0 — 2,9	2 277	1 454	1 207	1 891
3,0 — 3,9	1 514	1 820	753	1 127
4,0 — 4,9	815	1 113	450	743
5,0 — 5,9	444	752	371	562
6,0 — 6,9	301	587	265	369
7,0 — 7,9	185	471	192	188
8,0 — 8,9	81	356	168	108
9,0 — 9,9	33	233	153	57
10,0 —10,9	9	183	159	43
11,0 —11,9	4	132	129	18
12,0 —12,9	5	92	125	11
13,0 —13,9	2	82	126	8
14,0 —14,9	3	46	93	5
15,0 —15,9	2	31	57	4
16,0 —16,9	—	18	54	3
17,0 —17,9	1	7	45	1
18,0 —18,9	—	4	17	—
19,0 —19,9	—	2	6	—
20,0 —20,9	—	1	5	1

Da se dobije slika o bogućnostima elektrana s vjetrenjačama, uspoređena je takva elektrana (s promjerom vjetrenjače od 100 m) s konvencionalnom termoelektranom od 300 MW. Za istu proizvodnju električne energije kao u konvencionalnoj termoelektrani potrebno je izgraditi sljedeći broj vjetrenjača na pojedinim lokacijama.

Beograd	2 857	vjetrenjača
Dubrovnik	711	vjetrenjača
Vršac	750	vjetrenjača
Zlatibor	2 278	vjetrenjača

Ako bismo htjeli postići istu proizvodnju kao s termoelektranom od 300 MW, bila bi potrebna 7 do 11 puta veća ukupna snaga vjetrenjača. Očito je da je ekonomičnost elektrana na vjetar vrlo malena. Kada bi se poznavale prilike na nizu lokacija, možda bi se takva elektrana na pogodnoj lokaciji za vjetrenjaču

(nema drugih izvora energije, postoji voda za navodnjavanje) ekonomski opravdala za natapanje.

e) Biljni i životinjski otpaci

Biljni otpaci čine vrlo veliki energetski potencijal koji se svake godine obnavlja.

Kukuruzovina, koje se dobije 4 tone po hektaru, ima ogrjevnu moć 16 MJ/kg, kao kilogram mrkog ugljena. Slama, koja se dobiva pri proizvodnji žitarica — kg slame po kg žita — ima ogrjevnu moć od 12,6 MJ/kg ili kao 1,5 kg lignita.

Prema proizvodnji kukuruza i žita lako je procjeniti da se radi o energiji od oko $4{,}8.10^6$ tona ekvivalentnog ugljena. Korištenje biljnih otpadaka u neposrednoj blizini, uz rješenu pripremu i odgovarajuće konstruirano ložište, može zamijeniti upotrebu drugih oblika energije.

Ako se stajski gnoj prepusti razgradnji bez pristupa zraka, djelovanjem bakterija nastat će plinska smjesa koja sadrži 70 do 75% metana. Ogrjevna moć takvog plina iznosi 20 — 25 MJ/m³. Da se ostvari takva razgradnja, dovoljno je dovesti životonjske otpatke u zatvoreno gnojilište, Plin koji se skuplja u gornjem dijelu gnojilišta može se neposredno upotrijebiti kao gorivo. Investicije za gnojilište i dovod plina do mjesta potrošnje minimalne su, pa je u interesu da se ta energija koristi, što bi trebalo stimulirati.

5. ENERGETSKE BILANCE

Iako postoji razvijen matematički model za optimazaciju potrošnje energije u nekom energetskom sistemu, taj model nije mogao biti primijenjen u ovom slučaju jer nisu poznati troškovi u postojećem sistemu, posebno kod potrošača gdje dolazi u obzir supstitucija dosadašnjeg goriva, ali ni investicije za preorijentaciju, niti su današnje cijene pojedinih oblika energije postavljene tako da bi se nešto moglo očekivati od optimizacije.

Nužno je bilo stoga utvrditi stanovite polazne osnove ili odrednice, polazeći, naravno, od današnje strukture potrošnje i uvažavajući činjenicu da promjena strukture zahtijeva i sredstva i vrijeme, te načiniti energetske bilance na jednostavniji način. U osnovi, izrada energetskih bilanca temeljila se na sljedećem:

a) Na maksimalnoj orijentaciji na domaće izvore energije (što istodobno znači minimiziranje uvoza ili maksimalno smanjivanje energetske zavisnosti), što znači:

— upotrebu ugljena u prirodnom obliku za proizvodnju električne energije, u industeriji i kod malih potrošača (koliko dopuštaju transporti troškovi), te oplemenjavanje ugljena (briketiranje, plinifikacija i dr.) radi povećanja transportnag radijusa, odnosno šire upotrebe;

— intenzivno istraživanje i privođenje eksploataciji utvrđenih rezervi nafte i zemnog plina i

— cjelokupno iskorištenje vodnih snaga.

b) na racionalnoj upotrebi i štednji energije. Naime, smatra se da su uložena sredstva u štednju energije manja od sredstava koja je potrebno uložiti po energetskoj jedinici u pridobivanje nove energije. S tim u vezi računa se s uštedom energije na dva načina;

— bez ulaganja ili s neznatnim ulaganjima (za edukaciju potrošača), čemu je cilj promjena ponašanja potrošača edukacijom, stimulacijom (preko cijena) i prisilom (preko propisa) i

— s ulaganjima, polazeći prije svega od intenziviranja znanstvenoistraživačkig rada u okviru privrede i izvan privrede u smislu pronalaženja i proizvodnje energetski efikasnijih proizvoda, razvoja i uvođenja nekonvencionalnih izvora energije, energetsko-ekonomski opravdanih supstitucija nekih goriva alternativnim i dr.

c) na minimalnom, ali nužnom uvozu energije, i to kamenog ugljena za koksiranje, računajući pri tome s mogućim dodatkom mrkog ugljena, nafte za zadovoljenje potrošnje (za sada) nezamjenjivih derivata i za petrokemiju, što znači relativno smanjivanje i zamjenu loživog ulja te zemnog plina. Međutim, gledišta u pogledu uvoza zemnog plina vrlo su različita s obzirom na velike mogućnosti proizvodnje u nas. Stoga će se računati s uvozom zemnog plina uz uvjet da se ne ostvare današnje namjere izvoznika da se cijene izjednače s naftom, odnosno ako se ne ostvari moguća i planirana proizvodnja u našoj zemlji i

d) na ekonomski opravdanom korištenju nekonvencionalnih izvora energije, i to geotermičke energije, energije Sunčeva zračenja za zagrijavanje vode u obiteljskim kućama, hotelima i kampovima, te za grijanje prostorija u obiteljskim kućama, što bi trebalo stimulirati, te korištenju energije biljnih i životinjskih otpadaka.

Na temelju navedenih usmjerenja i ostvarene strukture potrošnje u 1979. godini izrađene su energetske bilance do 2000. godine za nižu (V_1) i višu (V_2) varijantu čiji će se izlazni elementi nastavno navoditi.

5.1. Struktura ukupne energije

Postojeće stanje u energetskom sistemu, te navedene smjernice za korištenje primarnih izvora energije morale su utjecati na strukturu ukupne energije. Svakako je najzanimljivije pitanje kako se mijenja struktura potrebnih oblika energije. Prema energetskim bilancama dobiva se sljedeća struktura primarnih oblika energije:

		Sve vrste ugljena	Sirova nafta	Zemni plin	Vodene snage	Nukl. gorivo	Ogrjev. drvo	Nekonv. oblici
1985.	V_1	40,3	41.9	7,8	6,4	1,3	2,3	— %
	V_2	40,3	41,9	7,8	6,4	1,3	2,3	— %
1990.	V_1	44,6	34,7	10,7	6,7	1,1	2,2	— %
	V_2	45,6	34,2	10,4	6,5	1,1	2,2	— %
1995.	V_1	48,8	28,5	11,5	6,7	2,3	2,0	0,2 %
	V_2	51,5	27,2	11,1	6,0	2,2	1,8	0,2 %
2000.	V_1	49,3	25,7	12,4	6,5	3,8	1,6	0,7 %
	V_2	52,3	24,5	11,6	5,6	3,8	1,5	0,7 %

5.2. Udio vlastitih izvora u opskrbi energijom

Prema energetskim bilancama potreban je uvoz ugljena za koksiranje, nafte i zemnog plina, pa udio vlastitih izvora u opskrbi energijom iznosi:

	V_1	V_2
1985.	65,4	64,7
1990.	74,5	74,4
1995.	81,1	81,0
2000.	83,5	82,9

5.3. Potrebne investicije

Utvrđivanje potrebnih investicija za razvoj energetskih grana u Jugoslaviji temeljeno je:

— na potrebnoj proizvodnji primarnih oblika energije, potrebnim transformacijama i trasportu da potrošača prema energetskim bilancama i

— na specifičnim investicijama za proizvodnju svih primarnih oblika energije (dinara/toni) specifični investicijama za preradu ili transformaciju (d/toni, d/MW), specifičnim investicijama za supstituciju (d/toni) i specifičnim investicijama za transportne putove — plinsku i električnu mrežu.

Na temelju prirasta količina ili kapaciteta po petogodištima i specifičnih investicija, proračunate su potrebne investicije u energetiku do 2000. godine, koje iznose:

1985 — 1990. godine	602 500 mln dinara
1990 — 1995. godine	751 340 mln dinara
1995 — 2000. godine	935 205 mln dinara

Ako se, radi kontrole, projiciraju investicije u privredi i nacionalni dohodak do 2000. godine te primjeni ostvareno učešće investicija za energetiku u privrednim investicijama (12,4%) ili učešće investicija za energetiku u nacionalnom kohotku (4%), dobivaju se investicije nešto niže od navedenih. Ili, obratno, ako se ostane na navedenim investicijama, onda učešće investicija za energetiku u ukupnim privrednim investicijama ili u nacionalnom dohotku raste:

	Učešće investicija za energetiku u priv. investicijama u nac. dohot.
Ostvarene učešće	12,4 4
1980. — 1985.	12,4 4,2
1985 — 1990.	13,0 4,4
1990. — 1995.	14,0 4,6
1995. — 2000.	15,0 4,8

Porast učešća investicija u energetiku logičan je ako se imaju na umu sljedeće činjenice:

— da nam je preostalo privođenje korištenju mnogo skupljeg hidroenergetskog potencijala

— da nam preostaju mnogo dublja bušenja za otkrivanje i pridobivanje nafte i plina

— da su nam preostali rudnici ugljena s većom otkrivkom i

— da moramo dodatno ulagati radi supstutucije loživog ulja alternativnim gorivima.

5.4. Napomene uz energetske bilance

Izrađene energetske bilance mogu poslužiti za određivanje strategije razvoja energetike, ali kvantifikacije u energetskim bilancama predstavljaju samo grube procjene, jer u nas nisu bile izrađene konsistentne energetske bilance za prošlo razdoblje. Nema podataka o potrošnji energije po oblicima energije i po mjestima potrošnje, kao ni podataka o potrošnji pojedinih grupa potrošača.

Zbog toga su se u energetskim bilancama pokušali prikazati tokovi energije, ali samo, kako je već rečeno, kao prva aproksimacija koja treba poslužiti kao osnova za određivanje strategije razvoja. Iz toga slijedi da se to može uzeti kao prvi korak u takvom poslu, ali u kojm su neminovni sljedeći koraci da bi se došlo do konzistentnih energetskih bilanci.

Smatra se da bi u daljnjem radu trebalo načiniti sljedeće:

a) utvrditi metode obrade svih polaznih podataka o potrošnji energije, o energetskim transfomacijama i o energetskim izvorima, uz napomenu da već postoje razrađene metode;

b) rekonstruirati potrošnju svih oblika energije po grupama (za male potrošače posebno za veće gradove, a posebno za seoska područja i male gradove), po republikama i pokrajinama (za veće republike po mogućnosti i za uža područja). Ta rekonstrukcija trebala bi da obuhvati nekoliko godina unatrag;

c) izraditi katastar svih energetskih izvora po republikama i pokrajinama s naznakom mogućeg tempa razvoja proizvodnih kapaciteta i s naznakom o potrebnim ulaganjima za taj razvoj te s podacima o potrebnoj energiji za ekspoataciju;

d) utvrditi mogućnosti i ograničenja izgradnje postrojenja za energetske transformacije s naznakom potrebnih sredstava za gradnju i podacima o potrebnoj energiji za pogon tih postrojenja;

e) utvrditi moguće putove transporta i ograničenja transporta za različite oblike energije s podacima o troškovima transporta i investicijama, te s podacima o potrebnoj energiji za transport;

f) definirati potrebne investicije i treoškove distribucije oblika energije s podacima o potrebnoj energiji za distribuciju;

g) na temelju tih podataka i prognoze potrošnje energije (pri čemu treba uzeti u obzir i strukturu industrije) izraditi varijante opskrbe energijom a po mogućnosti (ako budu na raspolaganju svi ekonomski podaci) i optimalnu varijantu opskrbe energijom, s prijedlogom mjera i akcija za ostvarenje takve energetske bilance.

Takvim postupkom, koji se ne može ostvariti u kratkom vremenu, došlo bi se do mnogo vjerodostojnijih bilanca pomoću kojih bi se moglo s većom sigurnošću djelovati. Ne smije se pri tome odbaciti ta ideja s obrazloženjem da je dugotrajan posao, jer to mora postati stalna aktivnost, jer je potrebno stalno pratiti i promjene koje se ostvaruju i nova tehnička dostignuća.

6. MJERE I AKCIJE ZA OSIGURANJE OPSKRBE ENERGIJOM

Iako naše energetske rezerve nisu baš velike, a njihova je struktura dosta nepovoljna (relativno velike količene niskokaloričnog lignita), one mogu biti siguran oslonac privrednom razvoju zemlje do kraja ovog stoljeća, pa je potrebno odgovarajućim mjerama i akcijama nadoknaditi dosadašnje zaostajanje u njihovu korištenju kako bi se postigli postavljeni ciljevi. Te akcije, međutim, ne ograničavaju se samo na razvoj proizvodnih kapaciteta i potrošnje energije, već one moraju obuhvatiti i proizvodnju energetske opreme. Osim toga, potrebno je osigurati racionalniju upotrebu energije, o čemu će biti riječi kasnije.

Prema tome, do 2000. godine, računa se sa sljedećim:

6.1. Kameni ugljen

Prema raspoložvim podacima ne računa se s povećanjem proizvodnje kamenog ugljena, ali ne bi se smjelo zapustiti istraživanje potencijalnih nalazišta kamenog ugljena.

6.2. Mrki ugljen

Računa se s intenzivnim ulaganjem u razvoj proizvodnje mrkog ugljena koja, prema energetskim bilancama, iznosi:

1985. oko $11{,}5 \cdot 10^6$ tona
1990. oko $13{,}0 \cdot 10^6$ tona
1995. oko $16{,}5 \cdot 10^6$ tona
2000. oko $20{,}0 \cdot 10^6$ tona.

Od navedenih količina oplemenjivanjem mrkog ugljena računa se s proizvodnjom briketa i bezdimnog goriva:

1985. oko $0{,}3 \cdot 10^6$ tona
1990. oko $1{,}3 \cdot 10^6$ tona
1995. oko $2{,}4 \cdot 10^6$ tona
2000. oko $4{,}0 \cdot 10^6$ tona.

6.3. Proizvodnja lignita

Brzo povećanje proizvodnje lignita jedan je od ključnih problema energetike. Potrebna proizvodnja iznosi:

1985. oko $54{,}0 \cdot 10^6$ tona
1990. oko $81{,}0 \cdot 10^6$ tona
1995. oko $124{,}0 \cdot 10^6$ tona
2000. oko $155{,}0 \cdot 10^6$ tona.

Osim upotrebe u prirodnom obliku, uglavnom za proizvodnju električne energije, računa se u energetskim bilancama i s oplemenjivanjem lignita, i to:

	briketi lignita	sintetički plin
1985. oko	$0{,}3 \cdot 10^6$ tona	$0{,}5 \cdot 10^9$ m³
1990. oko	$1{,}3 \cdot 10^6$ tona	$3{,}0 \cdot 10^9$ m³
1995. oko	$2{,}5 \cdot 10^6$ tona	$9{,}2 \cdot 10^9$ m³
2000. oko	$4{,}0 \cdot 10^6$ tona	$13{,}0 \cdot 10^9$ m³

6.4. Istraživanje, proizvodnja i uvoz nafte

Potvrda navedenih rezervi nafte i njihovo privođenje eksploataciji, računajući i s primjenom sekundarnih i tercijalnih metoda radi povećanja iscrpka, također je jedan od ključnih problema energetike Jugoslavije. Računa se da bismo intenzivnim istraživanjima, uključujući i ona u inozemstvu, postigli proizvodnju na nivou od 50% potreba.

Ukupne potrebe, prema energetskim bilancama, iznose:

1985. $17{,}5 \cdot 10^6$ tona
1990. $17{,}5 \cdot 10^6$ tona
1995. $18{,}5 \cdot 10^6$ tona
2000. $19{,}5 \cdot 10^6$ tona.

6.5. Istraživanje, proizvodnja i uvoz zemnog plina

Rezerve zemnog plina su znatne, pa se računa s intenzivnim istraživanjima i odgovarajućom proizvodnjom zemnog plina. Od intenziteta istraživanja u zemlji, odnosno proizvodnje zavisit će i nivo uvoza, što treba detaljnim analizama utvrditi.

Dakako, računa se s odgovarajućom izgradnjom plinske mreže.

6.6. Smanjenje potrošnje nafte

Smanjenje potrošnje nafte svodi se zapravo na smanjenje potrošnje loživog ulja, jer se računa da će današnja nezamjenjivost nafte trajati i do 2000. godine. Zbog toga je energetskim bilancama predviđeno postepeno smanjivanje potrošnje loživog ulja, i to:

— u industriji pregradnjom ili zamjenom kotlova uz alternativna goriva tamo gdje je to moguće s obzirom na raspoloživi prostor i s obzirom na procese koji nisu ograničeni zbog viših temperatura koje zahtijevaju određeni tehnološki procesi

— u elektroprivredi dodatnom izgradnjom hidroelektrana, kasičnih termoelektrana ili nuklearnih elektrana, jer, prema već učinjenim analizama, pregradnju kotlova nije moguće ekonomski opravdati i

— kod malih potrošača rekonstrukcijom ili zamjenom kotlova za centralno grijanje u stambenim zgradama.

6.7. Struktura proizvodnje derivata nafte

S obzirom na postojeće kapacitete ne računa se s povećanjem kapaciteta rafinerija. Računa se, međutim, s dovršenjem sekundarnih postrojenja, a po potrebi i dodatnih radi usklađivanja proizvodnje s potrošnjom derivata. Predviđeno smanjenje udjela loživog ulja od današnjih 43% na oko 20% u 2000. godini nameće potrebu proučavanja mogućnosti usklađivanja strukture proizvodnje s predviđenom strukturom potrošnje.

6.8. Koks

Računato je da se sav potreban koks proizvodi u zemlji, pa je u skladu s time predviđen i uvoz ugljena za koksiranje, kojem se u procesu proizvodnje dodaje 10% mrkog ugljena.

Prema bilacama potrebe koksa iznose:

1985. $2{,}5 \cdot 10^6$ tona
1990. $3{,}1 \cdot 10^6$ tona
1995. $3{,}7 \cdot 10^6$ tona
2000. $4{,}4 \cdot 10^6$ tona.

6.9. Proizvodnja električne energije

Za razmatrane dvije varijante razvoja potrebno je osigurati proizvodnju električne energije:

1985. 73 — 75 TWh
1990. 93 — 98 TWh
1995. 117 — 134 TWh
2000. 146 — 176 TWh.

Iz elektroenergetskih bilanci, prema pogonskim sredstvima, približno struktura proizvodnje električne energije izgleda:

		Ugljen	Vodne snage	Nuklear. gorivo	Ostalo
1985.	V_1	44,2	42,7	5,2	7,9 %
	V_2	45,5	41,4	5,1	8,0 %
1990.	V_1	48,0	42,1	4,1	5,8 %
	V_2	50,7	39,8	3,9	5,6 %
1995.	V_1	47,1	40,2	8,0	4,7 %
	V_2	53,5	35,0	7,3	4,2 %
2000.	V_1	45,0	37,6	12,6	4,8 %
	V_2	52,4	31,2	12,4	4,0 %

Takva struktura zahtjeva izgradnju sljedećih elektrana:

— hidroelektrana čija bi proizvodnja trebala iznasiti

1985. 31 TWh
1990. 39 TWh
1995. 47 TWh
2000. 55 TWh

pri čemu se pretpostavlja da će se novelirati svi projekti hidroelektrana i načiniti katastar hidroelektrana kao osnova za uvrštenje u prostorne planove DPZ radi zaštite lokacija kako bi se izbjeglo poskupljenje izgradnje radi izmještanja nekih objekata izgrađenih na istim lokacijama ili čak onemogućavanje izgradnje, Isto tako računa se s izradom katastra malih hidroelektrana i odgovarajućom njihovom izgradnjom;

— konvencionalnih termoelektrana

1985 — 1990. oko 4 000 MW
1990 — 1995. 3 000 — 4 100 MW
1995 — 2000. 3 000 — 5 500 MW ili 10 000 do

13 600 MW do 2000. godine. Računato je da će se te snage izgraditi samo s jednim tipom agregata jednakih parametara, što bi smanjilo potreban broj rezervnih dijelova, te omogućilo domaćoj strojogradnji proizvodnju opreme:

— nuklearnih elektrana 3 000 do 4 000 MW do 2000. godine, pri čemu je računato da ćemo se odlučiti za jedan tip reaktora kao preduvjet uspješnog uključivanja strojogradnje u proizvodnji potrebne opreme, te

— odgovarajuću izgradnju električne mreže.

6.10. Gradnja toplana

U okviru predviđanja izgradnje termoelektrana opravdano je graditi termoelektrane — toplane ako postoji odgovarajuća potrošnja topline u industriji ili kombinirano u industriji i kod malih potrošača

6.11. Nekonvencionalni oblici energije

Prema energetskim bilancama računa se sa stanovitim korištenjem nekonvencionalnih izvora energije do 2000. godine, i to prije svega geotermičke energije, energije Sunčeva zračenja te korištenje biljnih i životonjskih otpadaka, dok se kod ostalih izvora predviđaju minimalna istraživanja i praćenje dostignuća u svijetu.

6.12. Energetska oprema

Ako se nastavi dosadašnja praksa s uvozom energetske opreme, sigurno je da će raspoloživa devizna sredstva za uvoz opreme postati **limitirajući faktor razvoja energetike**, a tim i cjelokupnog razvoja.

Zbog toga je s obzirom da postoji baza, potrebno, da se industrija pripremi za proizvodnju energetske opreme. Pri tome je potrebno da se definiraju potrebe sa svim tehničkim parametrima i da industrija bude sigurna da će naći kupca za tu opremu. U tu svrhu treba ostvariti povezivanje industrije energetske opreme uz najracionalniju podjelu rada, te ostvariti usku suradnju između proizvođača i korisnika opreme.

Ta suradnja trebala bi da obuhvati sljedeće: zajedničko planiranje razvoja kapaciteta korisnika uz usklađivanje razvoja proizvođača opreme, standardizaciju i tipizaciju opreme, usklađivanje istraživačkog rada od zajedničkog interesa i angažiranje korisnika u projektiranju i kupovini licenci.

6.13. Cijena energije

Dosadašnje održavanje cijena energije na niskoj razini dovelo je sve energetske grane u stanje da nisu mogle svojim razvojem pratiti porast potreba i da se nisu mogle prilagoditi novim situacijama.

Smatra se da se pri utvrđivanju opće politike cijena u nas mora polaziti od tzv. svjetskih kriterija cijena kako bi se uopće mogla objektivirati »cijena koštanja« proizvoda i usluga, ali one ne smiju biti kopija »svjetskih« cijena. Drugim riječima, uvažavajući svjetske kriterije cijene energije, one u nas moraju biti tako postavljene da upravo garantiraju ostvarivanje ovakve strategije razvoja, jer se s politikom cijena (najčešće kao jedinim sredstvom) može ostvariti ili promašiti cilj. Dakako, pretpostavka je da u Jugoslaviji na području energetike može biti nekoliko politika cijena.

6.14. Organizacija energetike

Prikazani razvoj energetske potrošnje u nas nakon 1973. godine pokazuje u osnovi nepostojanje organiziranog pristupa u prilagođavanju novonastalim uvjetima. Tromost u povećanju proizvodnje ugljena koji bi mogao makar i djelomično supstituirati tekuća goriva, te nastavljanje dotadašnjim trendom potrošnje goriva, a naročito loživog ulja, to najbolje ilustrira.

Ta neorganiziranost energetike kao cjeline rezultirala je nepostojanjem konsistentne energetske politike iako je deklarativno prihvaćena orijentacija na domaće izvore energije, pa su izostali rezultati. Naime, energetska preorijentacija traži niz akcija koje moraju biti ne samo međusobno usklađene, nego i praćene potrebnim financijskim sredstvima. To pokazuje da se bez definirane energetske politike i bez organiziranih kratkoročnih i dugoročnih akcija i mjera ne mogu u energetici postići željeni rezultati.

Očito je potrebna čvrsta veza na razini zemlje svih energetskih grana kako bi se mogla osigurati koordinacija svih akcija za provođenje definirane energetske politike, praćenje izvršenja i poduzimanje odgovarajućih mjera za slučaj odstupanja, dakako na samoupravnim osnovama i odgovorno.

6.15. Racionalizacija potrošnje energije

Štednjom i racionalnom upotrebom energije mogu se postići znatni rezultati. Zbog toga bi trebalo ove mogućnosti posebo elaborirati, pa će ovdje biti nabrojena samo područja kao mogućnosti djelovanja:

— informiranje potrošača o racionalnijoj upotrebi energije
— propisi o mjerenju potrošnje energije
— energetska inspekcija za kontrolu racionalne upotrebe energije
— energetski znak kvalitete
— racionalizacija potrošnje energije u industriji
— izgradnja novih industrijskih postrojenja u odnosu na potrošnju energije
— iskorištavanje otpadaka
— industrijski proizvodi s duljim vijekom trajanja
— proizvodi s manjim utroškom energije
— ponovna upotreba ambalaže
— racionalizacija u prometu
— transport dobara
— izolacija zgrada
— temperatura u grijanim prostorijama i
— energija potrebna za proizvodnju energije.

ZAKLJUČAK

Načinjenim analizama tokova i potrošnje energije u proteklim godinama, naročito od 1973. godine, u zemlji i usporedbom tokova i potrošnje s drugim zemljama u svijetu uočena su i pokazana neodgovarajuća kretanja i ostvareni raskoraci između potroš-

nje i proizvodnje u našoj zemlji te tromost u prilagođavanju novo nastaloj situaciji u energetici.

Polazeći od takvog stanja, a imajući na umu činjenicu da je energija osnova privrednog i društvenog razvoja, dane su osnove budućeg razvoja energetike u zemlji, koje se temelje:

a) na maksimalno mogućem razvoju domaćih izvora energije

b) na maksimalno mogućem smanjenju uvoza energije

c) na racionalnoj upotrebi energije uz stalno povećanje energetske efikasnosti

d) na ekonomski opravdanom iskorištavanju nekonvencionalnih oblika energije i

e) na smanjivanju zagađivanja okoline, pogotovo u velikim gradovima.

Na navedenim osnovama ukazano je na osnovne linije razvoja, na potrebnu organiziranost radi ostvarivanja strategije razvoja energetike u zemlji, na potrebnu odgovornost i praćenje realizacije, te iznad svega na potrebnu dalju razradu strategije na republike, pokrajine, radne organizacije, odnosno na sve odgovorne sudionike u realizaciji strategije razvoja.

LITERATURA

[1] Požar i drugi; *Strategija dugoročnog razvoja energetike Jugoslavije,* 1982.

[2] Yearbook of World Energy Statistics, United Nations, 1980.

[3] *Statistički godišnjak Jugoslavije*

[4] *Problemes de l'energie et cooperation en materie d'energie dans la region de la CEE,* Energy/R. 20, 23 octobre 1981. godine

[5] Vinski, *Kretanje društvenog proizvoda svijeta od 1910. do 1975. godine,* Zageb, 1978.

[6] *Projekcija razvoja proizvodnje uglja u SFRJ od 1981. do 1985. godine,* Opšte udruženje rudnika uglja Jugoslavije, Beograd, 1980.

[7] Putnik i dr., *Stanje i perspektive sirovinske baze nuklearnog goriva u SFRJ,* Savjetovanje Razvoj energetike Jugoslavije, Opatija, 1980.

KEY WORDS: DEVELOPMENT STRATEGY, POWER DEMAND, DOMESTIC RESOVRXES, POWER DEMAND CALCULATION, INTERCHANGE OF IMPORTED ENERGY

DEMANDS, AVAILABLE RESOURCES AND PROBLEMS WITH POWER SUPPLY IN YUGOSLAVIA

In the article is presented an outline of « Strategy of long term power production in Yugoslavia«. Increase of power demand till 2000 year, in case of higher and lower rate, is considered to be supplied with domestic power resources with gradual decreasing of imported oil. Described are some measures and actions for realisation of that strategy.

DER ENERGIEBEDARF, DIE VERFÜGBAREN ERZEUGUNGSANLAGEN UND AKTUELLEN PROBLEME DER ENERGIEVERSORGUNG IN JUGOSLAWIEN

Behandelt werden die Grundlagen der »Strategie der langfristigen Energieversorgung von Jugoslawien«. Die Entwicklung des Energieverbrauchs bis zum Jahre 2000 bei jöheren oder niedrigeren Verbrauchsvarianten soll hauptsächlich durch eigene Energievorkommen gedeckt werden, einschliesslich eines langsam durchzuführenden Ersatzes von Heizöl bzw. Verringerung der Einfuhr, von Rohöl. Angeführt werden die in Frage kommenden Massnahmen und Möglichkeiten der Durchführung solcher Vorhaben.

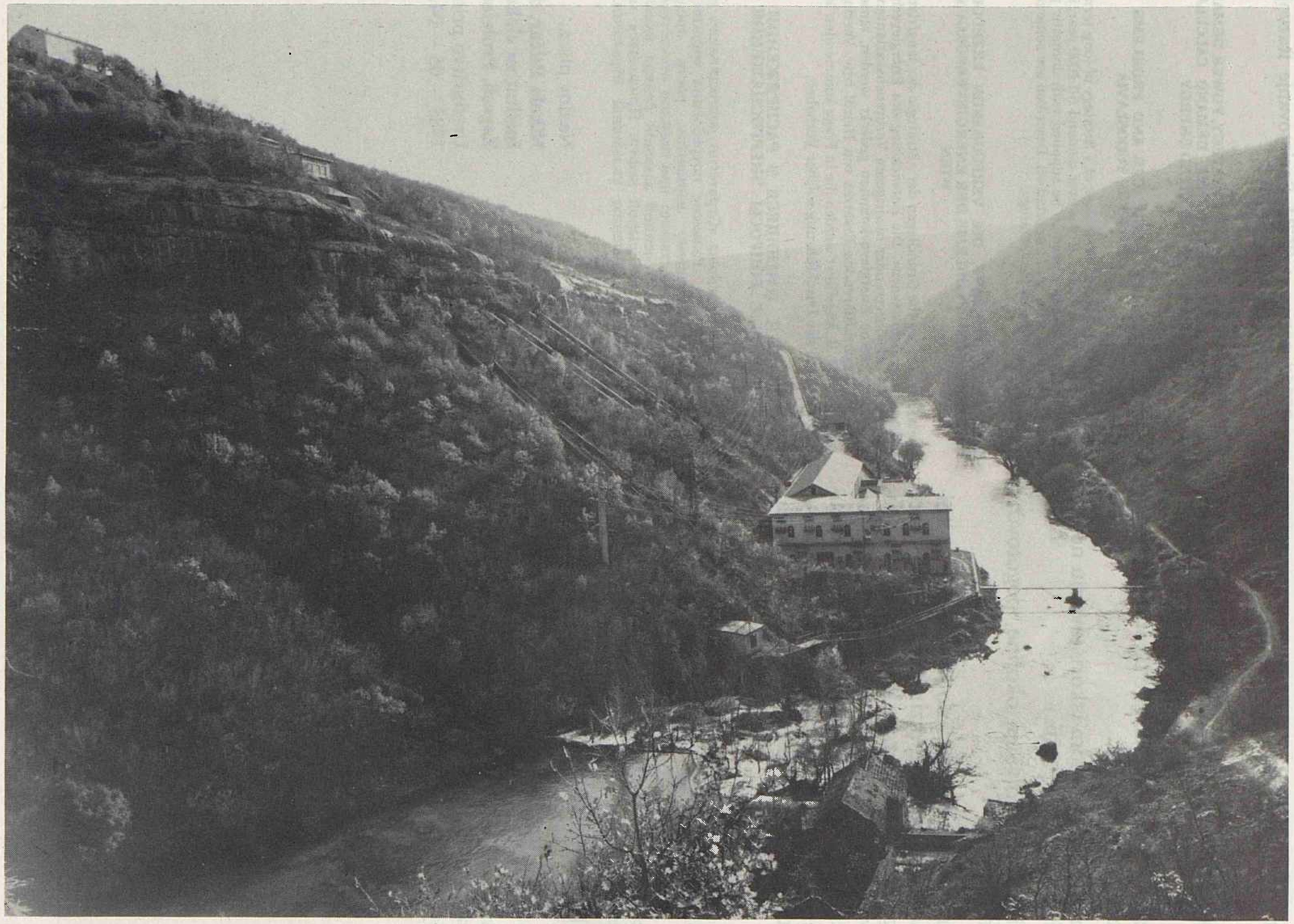
ПОТРЕБНОСТИ, ИМЕЮЩЕЙСЯ В РАСПРЯЖЕНИИ ИСТОЧНИКИ И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГОСНАЖЕНИЯ ЮГОСЛАВИИ

Представлены основы »Стратегии долгосрочного развития энергетики Югославии«. Развитие потребления энергии до 2000 года по высшему и низшему вариантам роста предусматривается обеспечить преимущественно при помощи отечественных источников энергии, с постепенной заменой соляра включительно, т.е. с уменьшением ввоза сырой нефти. Приводятся мероприятия и действия по осуществлению указанной стратегии.

Naslov pisca:

Nikola Bilčar, dipl. ing.
Institut za elekroprivredu
Zagreb, Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukupis
1983 — 05 — 04.



HE MANOJLOVAC

MOGUĆNOSTI I POTREBE OPTIMALNE IZGRADNJE ELEKTRANA U ELEKTROENERGETKSKOM SUSTAVU HRVATSKE DO 2000. GODINE

Prof. dr. Božo Udovičić, Zagreb

UDK 621.311

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U članku je prikazano određivanje optimalne strukture proizodnje električne energije u elektroenergetskom sistemu Hrvatske do 2000. godine. U uvodu su dani nivoi potrošnje električne energije do 2000. godine, na temelju čega je prikazan metodološki pristup i utvrđene optimalne strukture proizvodnje, pri čemu su u obzir uzete relativne energetsko-ekonomske vrijednosti novih hidroelektrana.

Ključne riječi: **Planiranje proizvodnje električne energije, izbor hidroelektrana, elektroenergetske sistem SRH.**



BOŽO UDOVIČIĆ

1. UVOD

U članku se daje prikaz određivanja optimalne strukture proizvodnje električne energije u elektroenergetskom sustavu Hrvatske do 2000. godine. Određivanje strukture temelji se na već predviđenoj potrošnji električne energije do 2000. godine te hidroenergetskom potencijalu Hrvatske (čija su rješenja novelirana po investicijskom iznosu) klasičnim termoelektranama na ugljen u Hrvatskoj i izvan nje, te nuklearnim elektranama čije će investicije biti procjenjene.

Energetsko-ekonomske analize, koje će biti rađene radi određivanja optimalne strukture proizvodnje, bit će dirigirane u smislu parcijalnog određivanja udjela proizvodnje između navedenih mogućnosti: hidroelektrana (HE), termoelektrana (TE) i neklearnih elektrana (NE). Naime, zbog činjenica da nijedan od tri navedena izvora ne može sam za sebe predstavljati rješenje do 2000. godine zbog stanovitih ograničenja, nužno je utjecati na određivanje strukture proizvodnje imajući na umu ta ograničenja koja se sastoje u sljedećem:

— Ne iskorišteni hidroenergetski potencijal Hrvatske procjenjuje se na 4 000GWh, što nije dovoljno do 2000. godine, niti bi ona najskuplja rješenja prema današnjim mjerilima mogla ući u optimalnu strukturu.

— Klasične termoelektrane na ugljen u SR Hrvatskoj (postojat će ako se utvrde dovoljne količine ugljena u Koromačnom) te druga etapa TE Gacko i termoelektrana na Kosovu. Izgradnja termoelektrana sa snagom koja odgovara manjku do 2000. godine također ne može predstavljati rješenje samo za sebe, jer se radi o velikim snagama za koje su potrebni vrlo veliki kapaciteti rudnika ugljena, te takvi prijenosni putovi što je teško ostvariti kada ne bi bilo i drugih interesenata, odnosno kada bismo to radili izolirano jer se radi o vrlo velikim pripremnim poslovima (studije, istraživanja, projektiranje, posebno prijenosnog puta koji traži i potrebne suglasnosti ostalih republika) i potrebnim sredstvima (uključujući i devizna). Uz činjenicu da su zainteresirane i druge republike i pokrajena Vojvodina, očito je da izolirani pristup otpada, što se svodi na već rečenu ocjenu da termoelektrane na ugljen ne mogu predstavljati rješenje za sebe.

— Isto tako i nuklearne elektrane ne mogu realno predstavljati rješenje u slučaju samo njihove izgradnje jer bi to zahtijevalo vrlo velika ukupna sredstva i isto tako devizna sredstva koja bi izlazila iz uobičajenih okvira, a da se i ne govori da za takav program nismo ni pripremljeni.

Imajući na umu činjenicu da je neiskorišteni hidroenergetski potencijal u Hrvatskoj za sada jedini primarni izvor energije za proizvodnju električne energije, kao i to da u svijetu više nije sporna izgradnja hidroelektrana, uključujući i mikrohikroelektrane, to će se na temelju relativne energetsko-ekonomske vrijednosti hidroelektrana načiniti prioritetna ranglista hidroelektrana. Isto tako će se odrediti po broju, snazi i proizvodnji udio hidroelektrana po petogodištima neovisno o tome što po današnjim energets-

ko-ekonomskim vrijednostima neka od onih skupljih rješenja ne bi došla u obzir. U prilog takvom pristupu govori činjenica da stalno rastu cijene fosilnih goriva, da sadašnja projektna dokumentacija hidroelektrana ne mogućava valorizaciju niza sekundarnih efekata i da je to jedini primarni izvor energije za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj.

Dopuna termoelektrana na ugljen i nuklearnih elektrana do potpuno potrebne proizvodnje i zadanog faktora sigurnosti opskrbe potrošača električnom energijom odredit će se u razumnom odnosu, ocjenjujući ponajprije realne mogućnosti izgradnje nuklearnih elektrana do 2000. godine kao povoljnijeg rješenja, dok bi razlika do zadane sigurnosti preostala za klasične termoelektrane na ugljen.

Na kraju je potrebno naglasiti da će se u ovom radu posvetiti posebna pažnja hidroelektranama, jer se radi o jedinom primarnom izvoru energije za proizvodnje električne energije u Hrvatskoj.

Budući da je današnje stanje studija, istraživanja i projektiranja ili pripremanja pojedinih rješenja-hidroelektrana za izgradnju na nezadovoljavajućem nivou, redoslijed po ekonomičnosti trebao bi poslužiti, osim za petnaestogodišnji plan razvoja od 1985. do 2000. godine, i za utvrđivanje programa studija. Istraživanja i projektiranja jednog dijela hidroelektrana, (naravno ekonomičnijeg), u tekućem petogodišnjem razdoblju osnova su sistematičnijem pristupu privođenja korištenju preostalog hidropotencijala.

2. POLAZNI PODACI

Proračun optimalane strukture proizvodnje ili prioritetna lista hidroelektrana i drugih elektrana radi određivanja prioriteta po kojem će se pojedini objekti pripremati za izgradnju direktno je i presudno ovisno o ulaznom podacima s kojima će se ta struktura proračunavati.

2.1. Razvoj potrošnje električne energije

Analize će se provesti sa sljedećim nivoima potrošnje električne energije:

1985. godine	14 000	GWh
1990. godine	17 450	GWh
1995. godine	23 700	GWh
2000. godine	29 050	GWh.

Mjesečni raspored navedene potrošnje po godinama načinit će se na temelju uobičajenih i upotrebljavanih metoda, koje se baziraju na karakteristikama potrošnje ostvarenim u prošlom vremenskom intervalu.

2.2. Postojeće hidroelektrane i one u izgradnji

HE Čakovec je odnedavna u probnom pogonu, pa od hidroelektrana u izgradnji ostaje još RHE Obrovac čiji se početak rada očekuje u idućoj godini.

Prema tome, od 1983. do 1990. računat će se sa sljedećim hidroelektranama:

Hidroelektrana	Instalirana snaga (MW)	Prosječna moguća proizvodnja (GWh/god.)
1. HE Vinodol	75 (84)	133,6
2. HE Senj	215	932,5
3. HE Sklope	22,5	80,9
4. HE Rijeka	36.8	97,9
5. HE Peruča	41,6	118,7
6. HE Orlovac	237	497,0
7. HE Kraljevac	68	38,9
8. HE Zakučac	476	1 944,4
9. HE Golubić	6.5	28,5
10. HE Manojlovac I	20 (24)	122,9
11. RHE Obrovac (1983.)	276	574,7
12. HE Gojak	48	195,4
13. HE Varaždin	86	426,3
14. HE Čakovec	80,4	418,6
15. HE Dubrovnik	83 (216)	496,8
Ukupno	1 772,8	6 103,1

Iskazane prosječne moguće proizvodnje hidroelektrana bazirane su na 40-godišnjem hidrološkom nizu (1926 — 1965.),

2.3. Postojeće termoelektrane i one u izgradnji

Osim TE Plomin II, koja predstavlja elektranu kontinuiteta, koja je ranije definirana i za koju će se računati alternativno rok ulaska u pogon 1987. i 1988. godine, ostale termoelektrane u izgradnji TE-TO Osijek i TE Gacko — ulaze u pogon tako da se s njima može računati u 1983. godini.

Prema tome, računat će se sa sljedećim termoelektranama:

1. TE-TO Zagreb II	120 MW
2. NE Krško (50%)	332 MW
3. TE Plomin I	125 MW
4. EL-TO Zagreb I	11 MW
5. EL-TO Zagreb II	30 MW
6. TE Rijeka	320 MW
7. TE Sisak	420 MW
8. TE-TO Zagreb I	64 MW
9. KTE Jertovec	90 MW
10. PTE Osijek	50 MW
11. TE Obrenovac	300 MW
12. TE Tuzla IV	200 MW
13. TE Kakanj	50 MW
14. TE-TO Osijek (1983)	45 MW
15. TE Gacko (1982)	100 MW
16. TE Plomin II (alt. 1987. i 1988)	200 MW
Ukupno	2 457 MW

Na temelju važećih ugovora za termoelektrane na ugljen izvan Hrvatske i vijeka trajanja za termoelektrane od 25 godina, isključene su iz elektroenergetskih bilanca sljedeće termoelektrane:

— TE Plomin I od 1995. godine
— TE Tuzla IV od 1995. godine
— TE Sisak I od 1995. godine
— EL-TO Zagreb i od 1997. godine,

te je pretpostavljena zamjena bloka u TE-TO Zagreb I.

2.4. Osnovni podaci novih hidroelektrana

Postojeća dokumentacija — idejne studije, idejna rješenja, osnovni i idejni projekti — preostalog hidroenergetskog potencijala u Hrvatskoj novelirana je po investicijskoj vrijednosti s cijenama materijala i usluga na dan 1. I 1981. Hidroenergetski potencijal, koji je bio predmet spomenute novelacije, predstavlja glavninu neiskorištenog potencijala (tablica 1). Manji dio, koji nije obuhvaćen novelacijom, odnosi se na daljnje iskorištenje Like i Gacke, o čemu se radi posebna studija radi određivanja kompleksnog optimalnog korištenja neiskorištenog dijela, pa je prirodno da to nije moglo biti uključeno. Isto tako ni neka rješenja Krke — Zrmanje, s obzirom na to da je idejnom studijom bilo predviđeno prevođenje dijela voda rijeke Zrmanje u Krku, bit će potrebno daljnjom studijom preispitati. Osim toga, novelacijom nisu obuhvaćene ni hidroelektrane koje se mogu graditi zajedno s elektroprivredom SR Bosne i Hercegovine (širi sliv Buškog Blata) kao i druga etapa HE Dubrovnik te male hidroelektrane.

Međutim, neke od hidroelektrana koje imaju idejne projekte, i koje su razrađene u nedavno izvršenom izboru redoslijeda izgradnje, nisu izabrane pa im na neki način treba odrediti položaj. Radi se naime o sljedećim hidroelektranama ili crpno-akumulacijskim postrojenjima:

— PAHE Vinodol, crpno-akumulacijsko postrojenje, bez nove vode, odnosno nove energije, instalirane snage 390 MW s gotovim idejnim i dijelom glavnim projektom. Drugim riječima, postrojenje je, u pogledu pripremljenosti projektne dokumentacije spremno (pošto se utvrdi njegova potreba) za početak izgradnje.

— HE Senj 2 također ima razrađen idejni projekt, također bez nove vode i energije, ali s novom snagom, i to 2 × 200 MW u HE Senj II, ali s višenamjenskim karakterom jer se ovim projektom rješava vodoopskrba stanovništva priobalja.

— HE Manojlovac 2, koja zbog korištenja istog pada kao i HE Manojlovac 1 ima dva položaja u obavljenom izboru redoslijeda — kao vrlo ekonomično postrojenje ako se računa bez oduzimanja proizvodnje HE Manojlovac 1 i manje ekonomično u drugom slučaju — što je u postupku rješavanja.

2.5. Osnovni podaci termoelektrana i specifična investiciona vrijednost

Uz napomenu da će termoelektrana snage 200-300 MW u Koromačnom imati prednost, ako se pokažu rezerve kamenog ugljena eksploatabilnim, u osnovi se radi o termoelektranama na ugljen izvan Hrvatske, i to manjim dijelom u SR BiH i uglavnom u SAP Kosovu.

Prema već postignutom dogovoru u okviru koordinacionog odbora za pripremu izgradnje termoelektrana na Kosovu za zajedničke potrebe, odabrane su za ovu fazu jedinice snage do

— 300 MW.

Prema tome, za jedinice snage 300 MW procjenjuju se ovi ostali potrebni podaci za proračun:

— vlastiti potrošak 8%

— faktor raspoloživosti računat će se različito prema razdobljima, i to:

1990. 0,74
1995. 0,77
2000. 0,81

— trajanje remonta — 2 mjeseca

— specifične investicije — 35 mln d/MW i

— cijena goriva 151 p/kWh, što je iznad cijena goriva u Kosovu, ali se računa da se time uključuju troškovi prijenosa.

2.6. Osnovni podaci nuklearnih elektrana i specifična investicijska vrijednost

Pripreme za izgradnju NE Prevlaka već su u toku prema pridviđenom programu. Na temelju već definirane strategije o potrebi uvođenja jedne nuklearne tehnologije u Jugosloviji, programom je predviđeno da se na temelju međunarodnog natječaja, uz prethodno ispitivanje i analize, odlučimo za jednu od tehnologija. Dakako da investicije za izgradnju nuklearnih elektrana ovisne o tome izboru, pa je sada preuranjeno govoriti o investicijama na bazi nekakve dokumentacije. Drugim riječima, i za nuklearne elektrane preostaje procjena.

Računat će se s jedinicama reda veličine

900 MW.

Nadalje, za takve jedinice, računat će se, za potrebe proračuna strukture proizvodnje, sa sljedećim podacima;

— vlastiti potrošak 6%

— faktor raspoloživosti 0,71

— trajanje remonta — 2 mjeseca

— specifične investicije (prema svjetskim i iskustvenim podacima 1,6 × specifične investicije za klasične termoelektrane na ugljen) — 56 mln dinara/MW i — cijena goriva — 24 p/kWh.

Valja spomenuti da su ovakvim podacima približno obuhvaćene sve vrste tehnologija reaktora, neovisno

Tablica 1. Osnovni podaci za nove hidroelektrane

Vodotok	Postrojenje	Instalir. snaga (MW)	Moguća proizvodnja GWh	Investiciona vrijednost (10^3 DIN)	Spec. investicije d/kW	Spec. investicije d/kWh
Mura	HE M. Središće	8,5*	44,1*	1 802,396*	212 047*	40,9*
	HE Lendava	14,8*	77,6*	2 188,507*	147 872*	28,2*
	HE Letenje	8,0*	43,4*	1 664,383*	208 048*	38,3*
	HE Kotoriba	7,7*	43,4*	1 845,726*	239 705*	42,5*
Drava	HE Đurđevac	126,9*	676,8*	12 133,077*	95 611	17,9*
	HE Brač	40,9*	210,4*	7 006,933*	171 319	33,3*
	HE Moslovina	20,5*	116,0*	3 976,998*	194 000	34,3*
	HE Osijek	17,5*	131,6*	5 458,055*	311 889	41,5*
Dunav	HE Bezdan HE Novi Sad	59,2*	378,1*	11 118,119*	187 806*	29,4*
Sava	HE Podsused	41,0	22,9	4 515,492	110 133	19,6
	HE Prečko	15,0	85,7	2 492,709	166 181	29,1
	HE Drenje	30,0	171,5	3 109,389	103 646	18,1
	HE Strelečko	21,7	121,2	4 855,695	223 765	40,0
Kupa	HE Brod	19,2	114,9	4 153,502	216 328	36,1
	HE Blaževci	12,3	64,5	993,452	80 768	15,4
	HE Damalj	10,3	56,3	900,388	87 416	16,0
	HE Novi grad	21,0	115,1	2 751,172	131 008	23,9
Dobra	HE Lešće 1	22,0	76,8	1 062,918	48 314	13,8
	HE Lešće 2	9,2	32,1	940,321	102 209	29,3
	HE Lipa 1	4,6	20,2	668,620	145 352	33,1
	HE Lipa 2	4,1	18,0	644,435	157 179	35,8
	HE Majur	2,1	11,5	489,011	244 505	42,5
Mrežnica	HE Zbjeg	8,0	49,1	1 345,269	168 158	27,4
	HE Juzbašić	10,4	45,4	1 364,042	131 158	30,2
	HE Ključarić	6,8	43,1	663,431	97 563	15,4
	HE Zvečaj	6,8	43,8	675,914	99 399	15,4
Korana	HE Somoljanac	2,0	12,5	1 016,487	81 319	81,3
	HE Slunj	3,2	16,8	452,577	141 430	26,9
	HE Primišlje	6,1	34,5	726,449	119 090	21,0
	HE Lučice	14,8	70,3	1 073,966	72 565	15,3
Rječina	HE Valići	18,0	44,4	1 883,184	104 621	42,4
Zrmanja	HE Ervenik	9,3	69,5	2 444,460	262 845	35,2
	HE Žegar	6,6	46,2	1 185,899	179 682	25,7
	HE Krupa	12,2	52,8	1 208,000	99 016	22,9
Čikola	HE Čikola 1	2,4	9,3	443,491	184 788	47,7
	HE Čikola 2	10,8	60,1	1 887,799	174 796	31,4
Krka	HE Krčić gornji 1	12,0	28,9	2 107,084	175 590	72,9
	HE Krčić donji 2	18,8	40,1	654,146	34 759	16,3
	HE R. Slap	24,2	66,7	1 542,847	63 754	23,1
	HE Jaruga	55,6	169,2	2 422,721	43 574	14,3
	UKUPNO	744,4	3 741,4			

* Odnosi se na hrvatski dio.

o tome što su navedeni podaci različiti za pojedine tehnologije, jer u krajnjem povoljniji ovaj ili onaj podatak kompenzira se drugim nepovoljnijim, tako da su proizvodne cijene električne energije približno iste. Te manje razlike, naravno, mogu i trebaju utjecati na konačnu odluku o izboru tehnologije.

2.7. Ostali podaci

Za proračun odnosno određivanje strukture proizvodnje potrebno je definirati još neke podatke, i to:

— Sigurnost opskrbe potrošača električnom energijom kao vrlo važan element za dimenzioniranje izgradnje elektroenergetskog sustava računat će se sa 95%.

— Rotirajuća rezerva računat će se prema izrazu: 90% snage najvećeg agregata + 1,5%maksimalnog opterećenja u elektroenergetskom sustavu.

— Dopunska termoelektrana uzet će se kao klasična termoelektrana na ugljen s istim podacima kao za termoelektrane u točki 2.5.

Radi izbjegavanja poznatog utjecaja dopunske termoelektrane na energetsko-ekonomsku vrijednost elektrana između kojih će se određivati struktura proizvodnje računat će se dopunska termoelektrana sa snagom koja je jednaka iskoristivoj snazi promatrane elektrane.

3. METODOLOŠKI PRISTUP

Polazeći od uvodnih, okvirno iznesenih naznaka, a izostavljajući opis niza metoda koje se ovdje koriste kao pomoćne (metoda točnijeg izračunavanja proizvodnje hidroelektrana, metode za optimalno korištenje akumulacija i drugo), ovdje će se u najkraćim crtama pokazati način proračuna energetsko-ekonomske vrijednosti elektrana.

Postojeće stanje elektroenergetskog sustava predstavlja temelj za sagledavanje budućeg stanja. Pri tome se pod postojećim stanjem misli na sve elektrane u pogonu, ali i one u izgradnji, s njihovom strukturom i karakteristikama te potrošnjom, odnosno karakteristikama potrošnje električne energije, kako bi se odredili manjkovi snage i energije u razdoblju za koje treba struktura elektrana. Dakako, pri tome je potrebno uzeti u obzir i stanje postojećih elektrana u smislu zamjene dotrajalih, čija je životna dob istekla.

Proračun redoslijeda izgradnje elektrana kandidata za izbor polazi od toga da svaka elektrana ima određeno mjesto u elektroenergetskom sustavu i da se ono može kvantificirati na temelju energetsko-ekonomsku vrijednost. Energetski-ekonomska vrijednost elektrane ovisna je o velikom broju faktora kao što su instalirana snaga, moguća proizvodnja (tehnički minimum i cijena goriva kod termoelektrana), visina investicija, stalni godišnji troškovi, struktura i karakteristike postojećeg elektroenergetskog sustava i t.d., pa je prema tome nemoguće odrediti energetsko-ekonomsku vrijednost bez odgovarajuće analize simulacijom prilika u elektroenergetskom sustavu. Takvom simulacijom moguće je za neku elektranu odrediti energetsko-ekonomsku vrijednost koja se dobije na temelju usporedbe svake od elektrana s referentnom elektranom. Radi izbjegavanja utjecaja dopunske termoelektrane na redoslijed računat će se dopunska termoelektrana sa snagom koja je jednaka iskoristivoj snazi promatrane elektrane.

Proračun energetsko-ekonomske vrijednosti elektrane provodi se na sljedeći način:

— za pretpostavljeni, analizom utvrđen ili zadan nivo potrošnje odredi se potrebna izgradnja elektrana za zadanu sigurnost opskrbe potrošača, odrede se troškovi goriva i štete zbog redukcija i

— za svaku elektranu (kandidata za izbor) s liste kao »prvu«, tj. kao da je ona sama ušla u pogon od novih elektrana, za isti nivo potrošnje također se odrede potrebna izgradnja elektrana, troškovi goriva i štete zbog redukcija.

Usporedbom troškova u elektroenergetskom sustavu određuje se kao prva ona elektrana koja daje minimalne troškove u sustavu.

Na temelju relativnih energetsko-ekonomskih vrijednosti načinit će se rang-lista svih hidroelektrana u Hrvatskoj, odnosno njihov udio po petogodištima.

Također će se pokazati i energetsko-ekonomska vrijednost kalasičnih termoelektrana na ugljen i nuklearnih elektrana, a njihov udio ili dopuna bit će određeni u zavisnosti od mogućnosti ulaska u pogon prve nuklearne elektrane u Hrvatskoj i realnog mogućeg tempa daljnjih nuklearnih elektrana do 2000. godine, dok bi razliku do ukupno potrebne strukture zauzele klasične termoelektrane na ugljen izvan Hrvatske.

4. ODREĐIVANJE OPTIMALNE STRUKTURE PROIZVODNJE

Dugoročno planiranje je traženje optimalnih planova kroz razdoblje planiranja uz zadovoljenje postavljenih ograničenja. Takvi planovi, svestrano analizirani s uvažavanjem nužnih ograničenja, osnova su za usmjeravanje aktivnosti u pripremama za realizaciju. Oni znače zapravo starategiju razvoja.

Predviđanje investicijskih troškova u ovakvim planovima kod elektrana je jedan od najnesigurnijih koraka u planiranju elektroenergetskog sustava.

Na investicijsku vrijednost elektrana utječe velik broj faktora, od kojih se neki mogu, a neki ne mogu kvantificirati. Ukratko (lit. 3) utjecajni faktori mogu se podijeliti na:

— tehničke (tip, instalirana snaga, lokacija, vrijeme izgradnje, iskustava, standardi, kadrovi)

— ekonomske (stvarne cijene zemlje za opremu, gospodarenje kapitalom i ogranočenje investicija)

— sigurnosne i zaštita okoline (sigurnosne mjere, kriterij zaštite okoline, zahtjeve, pravila, zakonska procedura dobivanja dozvole)

— računske (metoda proračuna, cilj proračuna, porez, carine itd.)

— ugovorne (tip ugovora, formula eskalacije)

— komercijalne (tip tržišta, broj tržišta, konkurencija između isporučioca opreme, konkurencija alternativnih energetskih izvora, rizici prodavaoca, kupca, banke) i

— političke (međunarodna situacija, transfer tehnologije, energetska politika, prihvaćanje od stanovništva).

Očito je da se utjecaj svih navedenih faktora ne može uvažiti, jer neki nisu poznati uglavnom zato što neka pitanja iz područja energetske politike nisu riješena za zemlju kao cjelinu.

Određivanje optimalne strukture proizvodnje nije i ne može biti samo predmet primjene metode i proračuna, nego su u proceduri samog proračuna potrebne i neke intervencije. O svim tim intervencijama,

Tablica 2. Relativna energetsko-ekonomska vrijednost novih hidroelektrana na temelju prosječnih godišnjih troškova

Vodotok	HE	Stalni god. trošk.	Uštede u elektroenergetskom sustavu				EEUE
			str. troš. dop.	trošk. gor.	štete reduk.	UKUPNO	
Mura	Mursko Središće	225,299	52,6	67,0	−0,2	119,4	0,53
	Lendava	273,563	91,6	128,6	1,9	222,1	0,81
	Letenje	208,048	67,3	70,6	0,8	138,7	0,67
	Kotoriba	230,716	67,3	**70,6**	**0,8**	138,7	0,60
	UKUPNO	937,626	236,8	287,4	1,0	525,2	0,56
Drava	Đurđevac	1 516,635	873,8	1 087,9	−21,5	1 940,2	1,28
	Brač	857,867	336,8	336,1	− 7,3	665,6	0,78
	Moslavina	497,124	166,3	183,5	− 0,8	349,0	0,70
	Osijek	682,257	142,2	**211,0**	**1,9**	355,1	0,52
	UKUPNO	3 571,883	1 524,4	1 819,6	−34,2	3 309,8	0,93
Dunav	Novi Sad	1 389,765	466,4	570,0	− 3,3	1 033,1	0,74
Sava	Posused	564,437	196,9	393,9	− 0,4	590,4	1,05
	Prečko	311,589	67,3	138,6	1,1	207,0	0,66
	Drenje	388,674	148,5	285,3	− 0,7	433,1	1,11
	Strelečko	606,962	130,5	**198,9**	**1,2**	330,6	0,54
	UKUPNO	1 871,662	574,8	1 015,9	− 6,9	1 583,8	0,85
Kupa	Brod	519,188	141,8	184,8	− 4,2	321,7	0,62
	Blaževci	124,182	85,3	101,3	− 1,9	184,7	1,49
	Damalj	112,549	74,7	87,0	− 2,3	159,4	1,42
	Novigrad	343,897	148,5	182,8	− 4,3	327,0	0,95
	UKUPNO	1 099,816	440,0	565,0	−10,5	994,5	0,90
Dobra	Lešće 1	132,865	88,5	125,4	1,9	215,8	1,62
	Lešće 2	117,540	37,9	47,3	− 0,1	85,1	0,72
	Lipa 1	83,578	19,9	29,2	0,5	49,6	0,59
	Lipa 2	80,554	15,8	25,9	0,6	42,3	0,53
	Majur	61,126	7,4	**14,5**	**0,7**	22,6	0,37
	UKUPNO	475,663	185,3	266,0	2,3	453,6	0,95
Mrežnica	Zbjeg	168,159	67,3	75,9	− 0,3	142,9	0,85
	Juzbašić	170,505	46,3	74,0	− 0,1	120,2	0,70
	Ključarić	82,929	52,6	67,6	0,2	120,4	1,45
	Zvečaj	84,489	53,7	**68,7**	**0,2**	122,6	1,45
	UKUPNO	506,082	216,9	303,2	0,5	520,6	1,03
KORANA	Smoljanac	127,061	12,6	14,1	0,8	27,5	0,22
	Slunj	56,572	15,8	24,3	1,0	41,1	0,73
	Primišlje	90,806	35,7	51,2	− 0,1	86,8	0,96
	Lučice	134,246	77,9	**121,6**	**2,3**	201,8	1,50
	UKUPNO	408,685	151,5	232,0	1,8	385,3	0,94
RIJEČINA	Valići	235,398	40,0	79,3	1,8	121,1	0,51
ZRMANJA I ČIKOLA	Ervenik	305,558	61,0	118,9	− 0,8	179,1	0,59
	Žegar	148,237	50,5	75,8	− 0,5	125,8	0,85
	Krupa	151,000	69,5	83,9	− 1,4	152,0	1,01
	Čikola 1	55,436	8,4	8,1	0,6	17,1	0,31
	Čikola 2	235,975	66,3	**91,1**	**− 1,4**	156,0	0,66
	UKUPNO	896,206	241,1		− 1,6	649,3	0,72
				409,8			
KRKA	Krčić-g	263,386	49,4	45,1	− 2,1	92,4	0,35
	Krčić-d	81,768	69,3	69,1	0,6	136,0	1,66
	Roški Slap	192,856	105,2	120,8	− 0,3	225,7	1,17
	Jaruga	302,840	248,5	**289,5**	**− 3,0**	535,0	1,77
	UKUPNO	840,850	379,0	528,5	1,6	909,1	1,08

pretpostavkama i spoznajama na temelju ranijih radova bit će riječi u nastavku.

Za globalno opredjeljenje imalo se u vidu sljedeće:

— Porast investicija hidroelektrana u odnosu na porast investicija i porast cijena fosilnih goriva za termoelektrane ide u korist hidroelektrana, pa je pretpostavljeno da će se tijekom vremena kod većine hidroelektrana mijenjati, odnosno poboljšavati njihova relativna energetsko-ekonomska vrijednost. Osim toga, ono što nije moguće valorizirati danas, nego će biti moguće kad budu gotovi idejni projekti, računa se i sa sekundarnim efektima: obrana od poplava, vodoopskrba, plovidba i dr. koji će sa šireg društvenog stajališta svakako

opravdavati izgradnju većine hidroelektrana, pogotovo što je to i jedini primarni izvor energije za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj. Zbog toga je protpostavljeno da će se iskoristiti mogući preostali hidroenergetski potencijal u cjelini,

— izgradnja nuklearnih elektrana je ograničena na 1 500 MW do 2000. godine računajući sa zajedničkom izgradnjom s ostalim republikama, tako da se 1 500 MW sastoji od 50% triju nuklearnih elektrana. Ograničenje je rezultat ocjene raspoloživosti i osposobljenosti kadrova kako u elektroprivredi, tako i u strojogradnji, te mogućnosti zaduženja u inozemstvu.

— Razlika u ukupno potrebnoj snazi za zadanu potrošnju i zadanu sigurnost opskrbe potrošača gradila bi se u klasičnim termoelektranama na ugljen u drugim republikama.

a) Analizama s početka ove godine (lit. 1) pokazano je da u uvjetima stabilizacije nije opravdano računati s dinamičnijim rastom potrošnje električne energije. S druge strane, današnja pripremljenost potencijalnih hidroelektrana ne omogućava po sadašnjoj ocjeni realizaciju hidroelektroenergetskog potencijala u Hrvatskoj do kraja stoljeća, već bi se ta realizacija pomakla za jedno petogodište u iduće stoljeće.

Prema tome, iako se ne odstupa od generalne linije iz »Elektroenergetskih osnova . . . . .«, neminovno je revidirati neke od elemenata.

b) Ne raspolaže se projektnom dokumentacijom za termoelektrane na ugljen izvan Hrvatske. S tim u vezi pretpostavljeno je na temelju jednog rada (lit. 5) da će se ugrađivati blokovi jediničnih snaga 200 ili 300 MW (ove jedinične snage su u skladu sa SAS-om o zajedničkom razvoju jugoslavenske elektroprivrede, a i prihvaćene su u koordinacijskom odboru za pripremu izgradnje termoelektrana na Kosovu za potrebe republika i pokrajina) jednakih parametara i od jednog ili dvaju proizvođača, što bi smanjilo potreban broj rezervnih dijelova, omogućilo formiranje specijalnih ekipa za održavanje i remont uz kraćenje trajanja obustava.

Tablica 3. Varijanta proračuna: Prosječna godišnja stopa troškova

	Hidroelektrane grupirane prema energetsko-ekonomskoj vrijednosti											
e	> 2	1,5 – 2		1,25 – 1,5		1,0 – 1,25		0,75 – 1,0		0,5 – 0,75		< 0,5	
1		Jaruga	1,77	Blaževci	1,49	R. Slap	1,17	Primišlje	0,96	N. Sad	0,74	Majur	0,37
2		Krčić-d	1,66	Ključarić	1,45	Drenje	1,11	Novigrad	0,95	Slunj	0,73	Krčić-g	0,35
3		Lešće 1	1,62	Zvečaj	1,45	Podsused	1,05	Zbjeg	0,85	Lešće 2	0,72	Čikola 1	0,31
4		Lučice	1,50	Damalj	1,42	Krupa	1,01	Žegar	0,85	Moslavina	0,70	Smoljance	0,22
5				Đurjevac	1,28			Lendava	0,81	Juzbašić	0,70		
6								Barč	0,78	Letenje	0,67		
7										Prečko	0,66		
8										Čikola 2	0,66		
9										Brod	0,62		
10										Kotoriba	0,60		
11										Ervenik	0,59		
12										Lipa 1	0,59		
13										Strelečko	0,54		
14										M. Središće	0,53		
15										Lipa 2	0,53		
16										Osijek	0,52		
17										Valići	0,51		
18													
19													
20													

Isto tako, u nedostatku projektne dokumentacije, procjenjene su specifične investicije i cijene goriva za klasične termoelektrane na ugljen na temelju podataka za TE Plomin 2.

c) Analizama je (lit. 4) utvrđeno, s obzirom na ukupne rezerve ugljena u Jugoslaviji, da je neminovno (prema današnjim saznanjima) uključivati nuklearne elektrane u elektroenergetski sustav.

I kod nuklearnih elektrana, kao i kod konvencionalnih termoelektrana bilo je potrebno procijeniti specifične investicije i cijenu goriva. Na temelju iskustva drugih, jer ga mi nemamo dovoljno, i uvažavajući razlike u veličini jedinica, što bitno utječe na specifične investicje, odlučili smo se za odnos 1.6 vrijednost investicja po MW za nuklearne elektrane u odnosu na investicije po MW za klasične termoelektrane.

d) Određivanjem strukture proizvodnje nije tretiran problem supstitucije tekućeg goriva u termoelektranama na tekuće gorivo, jer do ovog momenta nije bila raspoloživa projektna dokumentacija ili potrebni podaci koji bi omogućili valorizaciju opravdanosti pregradnje kotlova u TE Sisak i TE Rijeka na alternativno gorivo. Budući da je supstituciju, za koju sma-

tramo da je opravdana u određenom stupnju, moguće rješavati i povećanom izgradnjom drugih tipova elektrana, osobito hidroelektrana, ostaje da se naknadno valoriziraju pregradnja ili dodatna izgradnja, te da se, ovisno o odluci, korigira i struktura proizvodnje. U vezi sa suptitucijom ranije su izrađene stanovite valorizacije (vidi lit. 1), naravno i tada u funkciji raspoloživih podataka.

e) Na kraju je pretpostavljeno da ćemo imati definiranu energetsku politiku u koju će se uklapati upravo ovakva struktura proizvodnje, ali koja će (energetska politika) poticajnim i drugim mjerama podržavati takav razvoj kako bi se on i ostvario. Jedna od osnovnih pretpostavki u okviru energetske politike jest i reguliranje cijena pojedinih oblika energije, koje bi u osnovi trebale biti na nivou svjetskih cijena. Dakako, dopuštena su i odstupanja od svjetskih cijena, ali samo ako to karakteristike naše energetske politike zahtijevaju kao poticajnu mjeru.

4.1. Određivanje relativne energetsko-ekonomske vrijednosti novih hidroelektrana

Imajući na umu upravo navedene polazne osnove, pretpostavke i procjene, izvedene su elektroenergetske bilance za svih 40 novih hidroelektrana radi određivanja relativne enegetsko-ekonomske vrijednosti.

Na temelju proračunom dobivenih rezultata, dakle računajući s prosječnim godišnjim troškovima, izračunate su relativne energetsko-ekonomske vrijednosti za sve hidroelektrane (tablica 2). Redoslijed hidroelektrane po bonitetu (tablica 3) načinjen je zavisno od visine relativne energetsko-ekonomske vrijednosti.

4.2. Određivanje optimalne strukture proizvodnje

Osnovni je cilj strukture proizvodnje ili strategija razv oja da se rangiraju mogući izvori i sistematiziraju pripremni radovi (studije, istraživanja i projektiranje) kako bismo imali nužan i dovoljan broj zrelih projekata za izradu i donošenje srednjoročnih planova izgradnje. Dakle organiziranim pristupom treba izbjegavati izradu projektne dokumentacije postrojenja koja po svojim karakteristikama nije potrebna elektroenergetskom sustavu u promatranom vremenskom razdoblju po svojoj energetsko-ekonomskoj vrijednosti. Na taj način se izbjegavaju prijevremena nepotrebna ulaganja sredstava, a time se smanjuju troškovi u elektroenergetskom sustavu.

Naime, proces razvoja elektroprivrede odvija se u uvjetima kontinuiranih promjena porasta potrošnje električne energije, tehničkog napretka, društveno-ekonomskih promjena u svijetu i kod nas i sve složenijih problema opskrbe potrošača energijom, što nameće potrebu dinamičkog planiranja i stalnog preispitivanja razvojnih planova, a sve radi traženja najpovoljnijih rješenja za društvo u cjelini. Drugim riječima planiranje razvoja elektroprivrede je zaista proces od samog početka zasnivanja nekog projekta do realizacije, što traje 15 ili više godina. Predselekcija objekata na temelju nižeg stupnja projektne dokumentacije i stalno preispitivanje razvojnih planova zapravo je pravi početak planiranja, pri čemu treba imati na umu da se glavnina od onoga što daje optimizacija planiranja i izgradnje postiže u početnom, prvom dijelu procesa planiranja.

Na temelju energetsko-ekonomskih vrijednosti hidroelektrana, a imajući na umu navedene pretpostavke i ograničenja, podijeljena je realizacija hidroenergetskog potencijala na tri dijela, koje bi trebalo realizirati u tri potogodišta:

— prvo petogodište 800 — 1 000 GWh
— drugo petogodište 1 200 — 1 400 GWh i
— treće petogodište ostatak do 3 740 GWh.

Budući da se elektranama kontinuiteta pokriva potrošnja električne energije do 1990. godine, očito je da treba očekivati proizvodnju hidroelektrana iz prvog petogodišta (800 — 1 000 GWh) u razdoblju od 1990. do 1995. godine, što dalje znači početak izgradnje od 1985. do 1990. godine.

Zanemarujući ovog časa vrlo veliku vjerojatnost da sav hidroenergetski potencijal Hrvatske neće biti realiziran (bilo iz ekonomskih razloga, bilo zbog nemogućnosti izvedbe iz danas nedefiniranih ili nepoznatih razloga), navedeni ritam realizacije hidroenergetskog potencijala pretpostavlja:

a) da će za izabrane elektrane kontinuiteta:
   — započeti izgradnja 1981 – 1985. (sukcesivno) i
   — ostvarivati sukcesivni ulazak u pogon 1985 – 1990.

b) da će za prvu grupu hidroelektrana:
   — biti dovršeni idejni projekti do 31. 12. 1989.
   — biti izvršen izbor redoslijeda izgradnje do 31. 12. 1985. u veličini od 800 do 1 000 GWh
   — započeti izgradnja izabranih hidroelektrana prema dinamici koju zahtijeva rast konzuma od 1985. do 1990.
   — ostvariti odgovarajući ritam ulaska u pogon od 1991. do 1995.

c) da će za drugu grupu hidroelektrana:
   — biti dovršeni idejni projekti do 31. 12. 1989.
   — biti izvršen izbor redoslijeda izgradnje, uključujući u izbor i projekte hidroelektrana iz prve grupe koje nisu prethodnim izborom određene za izgradnju do 31. 12. 1990. s mogućom proizvodnjom izabranih hidroelektrana od 1 200 do 1 400 GWh
   — započeti izgradnja izabranih hidroelektrana prema rastu konzuma u razdoblju 1990 – 1995. i
   — završiti izgradnja, zavisno od započinjanja izgradnje, sukcesivno od 1995. do 2000.

d) da će za treću grupu hidroelektrana:
   — biti dovršeni idejni projekti do 31. 12. 1994.

— biti izvršen izbor redoslijeda izgradnje, uključujući projekte hidroelektrana iz druge grupe, koje nisu prethodnim izborom određene za izgradnju, dakle redoslijed svih preostalih hidroelektrana
— započeti izgradnja 1995 – 2000. i
— završiti izgradnja 2000 – 2005.

Prema energetsko-ekonomskoj vrijednosti (tablica 3) podjela hidroelektrana na grupe bila bi:

I Grupa	MW	GWh	Investicije 10^3
HE Jaruga	55,6	169,2	2 422 721
HE Krčić-d	18,8	40,1	654 146
HE Lešće 1	22,0	76,8	1 062 918
HE Lučice	14,8	70,3	1 073 966
He Blaževci	12,3	64,5	993 452
He Ključarić	6,8	43,1	663 431
He Zvečaj	6,8	43,8	675 914
HE Damalj	10,3	56,3	900 388
HE Đurđevac	126,5	676,8	12 133 077
Ukupno	273,9	1 250,9	20 580 013

i = 16,58 d/kWh

Uz ovu grupu hidroelektrana potrebno je imati na umu sljedeće:

— da idejni projekti trebaju biti dovršeni do 31. 12. 1984.
— da se od 1 240 GWh bira 800 – 1 000 GWh
— da nije definirano kompleksno korištenje voda poriječja Kupe kao ni utjecaj ravničarske pruge Rijeka — Zagreb na neka od rješenja, pa ako to ne bude moguće brzo riješiti, bit će potrebno projektirati najbolja postrojenja iz druge grupe
— da je za izgradnju HE Đurđevac, budući da je na dijelu zahvata Drava granična rijeka, potrebna međudržavna suglasnost
— da je moguća proizvodnja HE Đurđevac veća jer je prikazana proizvodnja dio koji pripada Hrvatskoj i
— da od navedenih hidroelektrana u prvoj grupi samo HE Đurđevac ima idejni projekt i HE Krčić u izradi, pa je vjerojatno, s obzirom na preostalo vrijeme, da će biti problema u vezi s izradom idejnih projekata do zadanog roka.

II Grupa	MW	GWh	Investicije 10^3 dinara
HE Roški Slap	24,2	66,7	1 542 847
HE Drenje	30,0	171,5	3 109 389
HE Podsused	41,0	229,7	4 515 492
HE Krupa	12,2	52,8	1 208 000
HE Primišlje	6,9	34,5	726 449
HE Novigrad	21,0	115,1	2 751 172
HE Žegar	6,6	46,2	1 185 899
HE Zbijeg	8,0	49,1	1 345 269
HE Lendava	14,8	77,6	2 188 507
HE Barč	40,9	210,4	7 006 933
HE Novi Sad	59,2	378,1	11 118 119
HE Slunj	3,2	16,8	452 577
HE Lešće 2	9,2	32,1	940 321
HE Juzbašić	10,4	45,2	1 364 042
Ukupno	287,6	1 525,8	39 455 016

i = 25,86 d/kWh

Za ovu grupu hidroelektrana ima dovoljno vremena za sistematično i organizirano pripremanje projekata. Ipak, i uz ovu grupu treba napomenuti:

— da je sporna izgradnja HE Roški slap iz istih razloga kao i Jaruga
— da za HE sliva Kupe također vrijedi ista napomena
— da HE Barč i HE Lendava trebaju međudržavnu suglasnost i
— da HE Novi Sad treba usklađeno pripremati sa SAP Vojvodina.

III Grupa	MW	GWh	Investicije 10^3 dinara
HE Moslavina	20,5	116,0	3 976 998
HE Prečko	15,0	85,7	2 492 709
HE Čikola 2	10,8	60,1	1 887 799
HE Letenje	8,0	43,5	1 664 383
HE Brod	19,2	114,9	4 153 502
HE Ervenik	9,3	69,5	2 444 460
HE Lipa 1	4,6	20,5	668 620
HE Kotoriba	7,7	43,4	1 845 726
HE Strelečko	21,7	121,2	4 855 695
HE Lipa 2	4,1	18,0	644 435
HE Mursko Središće	8,5	44,1	1 802 396
HE Osijek	17,5	131,6	5 458 055
HE Valići	18,0	44,4	1 883 184
HE Majur	2,0	11,5	489 011
HE Krčić-g	12,0	28,9	2 107 084
HE Čikola 1	2,4	9,3	443 491
HE Smoljanac	2,0	12,5	1 016 487
Ukupno	183,3	974,8	37 834 035

i = 38,81 d/kWh

HE na Dravi i Muri iz ove grupe pripadaju u domenu međudržavnog sporazumijevanja. Među ovim hidroelektranama ima vrlo skupih rješenja prema dašnjim mjerilima, pa vrijeme treba pokazati da li će biti opravdano ulagati u njihovo pripremanje.

S ovako definiranim hidroelektranama za 1995. godinu a imajući na umu da je snaga nuklearnih elektrana do 1995. godine ograničena na 50 % NE Prevlaka, izvedene su elektroenergetske bilance i proračunata energetsko-ekonomska vrijednost elemenata strukture proizvodnje. Pri tome valja naglasiti da je u proračunima uzeta u obzir i energetsko-ekonomska opravdanost uključivanja crpno-akumulacijskih postrojenja u elektroenergetski sustav.

Manjak snage i energije koji se pojavljuje, nakon izgrađenih elektrana kontinuiteta do 1990. godine, u 1995. i 2000. godini iznosi:

— 1995. godine 1140 MW i 6 147 GWh

— 2000. godine 1982 MW i 10 434 GWh.

Uvažavajući da će se u 1995. godini supstituirati (zbog dotrajalosti) samo TE Plomin 1, optimalna struktura izgradnje za 1995. bi izgledala:

1. Izgradnja većeg dijela hidroelektrana prve grupe, čija je instalirana snaga reda 250 MW, ali čija raspoloživa snaga uz 95 % sigurnost opskrbe potrošača odgovara snazi termoelektrane ili 156,1 MW
2. Izgradnja NE Prevlaka, instalirane snage 1000 MW (50 % za SR Hrvatsku) 500,0 MW
3. Izgradnja termoelektrana na ugljen TE Koromačno ili izvan SR Hrvatske (TE Gacko ili Kosovo) 200,0 MW

uz napomenu da se računa sa sukcesivnom supstitucijom TE Sisak I i TE Tuzla IV u razdoblju od 1995. do 2000. godine, koji problem trema imati na umu i na njemu pravovremeno započeti raditi, naravno ako se u međuvremenu na TE Sisak 1 ne supstituira tekuće gorivo alternativnim i time izmjeni njen položaj.

Optimalna struktura za 2000. godinu, bila bi:

1. Izgradnja većeg dijela hidroelektrana II grupe (u izboru redoslijeda izgradnje treba obuhvatiti i neizabrane hidroelektrane iz prve grupe pri izboru za 1995), čija je snaga rada 287 MW, ali čija raspoloživa snaga uz 95 % sigurnost opskrbe potrošača odgovara snazi termoelektrane ili 169,0 MW
2. Etapna izgradnja CAHE Vinodol čiji je doprinos u snazi uz isti uvjet kao pod 1 122,0 MW
3. Zajednička izgradnja dviju nuklearnih elektrana instalirane snage 2 × 1000 MW — po 50 % za elektroenergetski sistem Hrvatske 850,7 MW
4. Izgradnja termoelektrane za ugljen izvan naše republike 200,0 MW

ZAKLJUČAK

Struktura proizvodnje električne energije u elektroenergetskom sustavu Hrvatske do 2000. godine jedan je od niza elemenata koji trebaju poslužiti kao podloga za izradu petnaestogodišnjeg plana razvoja elektroprivrede Hrvatske. Drugim riječima, struktura proizvodnje kao element dugoročnog plana razvoja predstavlja cilj kojem treba podrediti sve aktivnosti, osobito u razvojnom području, u smislu organizacija potrebnih istraživanja i pripremanju projekata kako bi se taj cilj postigao.

Očito je, naime, da zbog vijeka trajanja elektroenergetskih postrojenja od 25 godina i više svaka improvizacija u nedostatku strategije razvoja nosi u sebi velike mogućnosti promašaja, koji, kako je rečeno, povećavaju troškove eksploatacije dugi niz godina.

Stoga je difiniranje strategije razvoja osnovni i nužni preduvjet uspješnog razvoja elektroenergetskog sustava.

LITERATURA

[1] Udovičić, Bilčar, Granić, Alerić i Komerički: *Elektroenergetske podloge za Samoupravni sporazum o osnovama razvoja elektroprivrede 1981 – 1985. godina,* Institut za elektroprivredu Zagreb, 1982. godine

[2] Udovičić, Alerić, Bilčar, Hatić: *Elektroenergetske osnove za 15-godišnji plan razvoja potrošnje i izgradnje izvora električne energije u Hrvatskoj do 1995. godine s osvrtom na 2000 godinu,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1978. godine

[3] Granić: *Optimalni redoslijed izgradnje elektrane u elektroenergetskom sistemu,* Institut za elektroprivredu Zagreb, 1982. godine

[4] Radna grupa u okviru Komisije saveznih društvenih savjeta za probleme ekonomske stabilizacije: *Strategija dugoročnog razvoja energetike Jugoslavije*

[5] Bilčar, Alerić, Komerički: *Izbor optimalnih jediničnih snaga, parametara i tehničkih karakteristika opreme blokova, koji će se graditi na Kosovu za potrebe drugih republika* — I dio Energetsko-ekonomske analize, Zagreb, 1981.

[6] Hatić, *Pregled mogućih hidroelektrana za izgradnju s noveliranim troškovima izgradnje.*

[7] *Cnventional Hydro Parametric costs* HARZA Engineering Company — Chicago

KEY WORDS: PLANING OF ELECTRIC POWER PRODUCTION, DETERMINATION OF HPP, ELECTRIC POWER SYSTEM OF CROATIA

POSSIBILITIES AND NECESSITLES FOR OPTIMAL CONSTRUCTION OF POWER PLANTS IN ELECTRIC POWER SYSTEM OF CROATIA TILL 2000 YEAR

In the article is presented a method for calculation of optimal structure of electric power production in electric power system of C roatia till 2000 year. At the begining are presented levels of demand till 2000 year and on that bases is presented a metrological method and calculated optimal structure of production taking in account relevant parameters for new power plants.

MÖGLICHKEITEN UND DER BEDARF DER OPTIMALEN ERRICHTUNG VON KRAFTWERKEN IM KROATISCHEN VERBUNDSYSTEM BIS ZUM JAHRE 2000.

Der Bericht bringtb einen Überblick der optimalen Zusammensetzung der Stromerzeugungsmöglichkeiten im kroatischen Verbundsystem bis zum Jahre 2000 Einleitend werden die Ebenen des Stromverbrauchs bis zu diesem Zeitpunkt angegeben, anhand dieser Unterlagen erfolgt dann eine metrologische Behandlung der Ermittlung der optimalen Stromerzeugungsmöglichkeiten. Dargestellt werden die dabei in Frage kommenden energiewirtschaftilichen Werte der neuen Kraftwerke.

ВОЗМОЖНОСТЬ И НЕОБХОДИМОСТЬ ОПТИМАЛЬНОГО СООРУЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ХОРВАТИИ ДО 2000 ГОДА

В статье дано изложение определения оптимальной структуры выработки электроэнергии в ЭЭС Хорватии до 2000 года. Ориентационно приводится уровень потребления электроэнергии до 2000 года, на основании чего излагается метрологический принцип и утверждены оптимальные структуры выработки, учитывая соответствующие энергетическо-экономические ценности новых электростанций.

Naslov pisca:

Prof. dr. Božo Udovičić, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 05 – 23.

ANALIZA KONZUMA U DISTRIBUCIJI

Rihard Schenner, Zagreb

UDK 621.316.1.05
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Obrađene su neke specifičnosti prognoza konzuma u distribuciji električne energije. Opisane su i navedene mogućnosti upotrebe sektorskih i globalnih prognoza naročito s obzirom na primjenu za manja distributivna područja.

Ključne riječi: planiranje konzuma električne energije, globalne prognoze el. energije, sektorske prognoze el. energije, normativi potrošnje el. energije.



RIHARD SCHENNER

UVOD

Prognoze konzuma i bilo koje druge veličine uvijek su predstavljale dosta velik problem jer treba odrediti nešto što će se tek dogoditi, odnosno ostvariti, a na to utječe vrlo velik broj faktora.

U članku će se obraditi neke specifičnosti prognoza konzuma u distribuciji električne energije. Činjenica je da prognoze konzuma bilo u proizvodnji, prijenosu ili distribuciji trebaju dati iste rezultate i ovdje nema razlika. Specifičnosti su u tome što prognoza uglavnom služi za planiranje objekata. U proizvodnji nije toliko važna lokacija konzuma, pa se elektrane grade obično tamo gdje ima za to mogućnosti (lokacija rudnika, rijeka i sl.). Može doći do analiza da li gorivo transportirati do konzuma i tamo graditi elektranu ili ne, kada treba poznavati lokaciju, ali ti problemi pripadaju već drugoj problematici određivanju redoslijeda i veličine izgradnje elektrana. Za potrebe prijenosa potrebno je poznavati konzum većih regija. Međutim, u distribuciji je ponekad potrebno poznavati i lokaciju svakog potrošača. U tome je i specifičnost prognoza u distribuciji.

1. VRSTE PROGNOZA U DISTRIBUCIJI

S obzirom na spomenuti problem lokacije, mogu se analize raditi prema lokacijama potrošača. Međutim, takve analize daju ponekad »sumu želja« i sigurno ih je potrebno na neki način kontrolirati. Zbog toga se koriste dvije osnovne vrste prognoza, i to:

— sektorske prognoze
— globalne prognoze.

Sektorskim prognozama definira se i lokacija i veličina konzuma, dok se globalnim dobije samo veličina konzuma. Globalne služe za kontrolu sektorskih.

Očito da se očekuju jednaki rezultati od jedne i druge prognoze. Ako oni to nisu, potrebno je obaviti korekciju.

Međutim, ponekad se i ne trebaju provoditi korekcije. To će se ilustrirati na sljedećim primjerima.

Prema generalnom urbanističkom planu nekog grada predviđa se izgradnja određenog broja domaćinstava u daljnjoj budućnosti. Međutim, preko globalne prognoze može se uvidjeti da se to neće ostvariti zbog velikih trendova porasta ili dolazi do privrednih kriza pa stanogradnja nije u mogućnosti to sve napraviti. Stambena izgradnja obično je locirana na više zona u gradu. Sada se postavlja pitanje što je najpametnije napraviti, jer se pouzdano zna da se ukupan broj stanova neće izgraditi, ali se ne zna na koji način. Može se smanjiti broj stanova u svim zonama jednako. Međutim, ekonomski je opravdano završiti izgradnju stanova u jednoj zoni i tada je početi u drugoj, pa takav pristup dovodi do planiranja preslabe mreže u zoni gdje se izgradnja stanova izvršila u potpunosti. Drugo je rješenje pokušati definirati gdje neće biti stambene izgradnje, ali to je još veća greška jer ima previše nepoznatih utjecajnih faktora. U ovom slučaju potrebno je računati s različitom sektorskom i globalnom prognozom. Međutim, kod razrade mreže potrebno je ove momente uzeti u obzir i elemente mreže i etapnu izgradnju definirati tako da bude optimalna. To znači da planer mreže mora biti upoznat s problematikom prognoze konzuma.

Drugi sličan primjer može se pojaviti u industrijskim zonama, odnosno industriji općenito, gdje su ukupni

zahtjevi tvornica često preveliki u određenom vremenskom periodu, ali svaki zahtjev za sebe je realan, međutim ne zna se da li će se ostvariti u tom periodu. međutim, teško je definirati koji je potrošač nerealan. I u ovom slučaju potrebno je računati s ukupnim konzumom, ali prilagoditi etapnu izgradnju mreže.

U ova dva primjera smatra se realnom globalna prognoza konzuma ali je nepoznata realna raspodjela tog konzuma, pa se za planiranje mreže ipak koristi sektorska s time da je poznat vremenski pomak realizacije te mreže, pa je potrebno pripaziti da ne dođe do preranih investiranja u nju.

Mogući su i obrnuti slučajevi, kada sektorska prognoza daje manji konzum. Tada se obično sektorska prognoza povećava za razliku.

1.1. Globalne prognoze

Globalne prognoze opisat će se ukratko i pokušat će se istaknuti ono osnovno. Detaljnije o njima može se naći u (1). U (1) su globalne prognoze opisane općenito, bez osvrta na elektirčnu energiju. Problematika vezana uz prognoze električne energije u distribuciji opisana je u (2). One se mogu podjeliti u dvije osnovne vrste, i to:

— korelacija potrošnje električne energije i vremena
— korelacija potrošnje električne energije i nekih drugih, uglavnom ekonomskih veličina.

Analize koje se koriste korelacijom s vremenom su starije i više se koriste. Obično se smatra da one preslikavaju prošlost u budućnost; međutim prema (1) to nije sasvim točno. Za te prognoze koriste se u (1) logističke funkcije I, II, III i IV reda. Kod svih tih funkcija osnovno je to da postoji zasićenje u dalekoj budućnosti. U potrošnji električne energije to znači zasićenje potrošnje po stanovniku, a pošto postoji i zasićenje broja stanovnika, to znači i ukupne električne energije. Kod prognoza potrebno je zasićenje zadati odnosno prognozirati. To znači da se vrlo daleka budućnost ($t \to \infty$) analizira posebno i ulazni je podatak za analizu globalne potrošnje. Podaci iz prošlosti i matematička funkcija definiraju način približavanja zasićenju.

Za prognozu potrošnje električne energije koriste se uglavnom dvije logističke funkcijer, i to:

normalna logistička funkcija: $$w = \frac{w_z}{1 + e^{b - at}} \qquad (1)$$

Gompertzova funkcija: $$w = w_z \cdot e^{-b \cdot a^t} \qquad (2)$$

(w — potrošnja potrošnja po stanovniku, $w_z \cdot$ zasićenje potrošnje po stanovniku, a i b — konstante).

Vrlo često se prognozira i bez zasićenja. Međutim, upravo na distributivnim, to znači manjim područjima postoji opasnost da funkcija uđe u zasićenje prerano, odnosno zasićenje je nerealno malo. Razlog tome su konjunkturni utjecaji i oni su dosta detaljno ispitani u (2).

Konstante funkcija a i b odnosno w_z, ako se ne zadaje, određuju se pomoću minimuma sume kvadrata razlika. Izrazi za njihovo određivanje nalaze se u (2).

Prognoziranje zasićenja predstavlja sigurno poseban problem. Općenite su metode opisane u (1). U literaturi sa navode različite vrijednosti, i to od 20 000 kWh/st do 100 000 kWh/st. Kod nekih naših studija koristile su se vrijednosti od 20 000 do 30 000 kWh/st.

Potrebno je napomenuti da kod približno jednakih ili vrlo velikih trendova porasta logističke funkcije prelaze u eksponencijalne.

Globalne prognoze mogu se također na određeni način kontrolirati, ali tu nema nekih pravila. Kod prognoze potrošnje električne energije grada Zagreba smatralo se realnim da će ona oko 2000. god. iznositi po stanovniku približno jednako kakva je danas u većim zapadnoevropskim gradovima, tj. približno 7 000 kWh/st.

Kontrola su također i trendovi porasta i sl.

Kod analize pomoću korelacije potrošnje električne energije i nekih drugih veličina koristi se najčešće linearna korelacija s narodnim dohotkom. Pri tome se pretpostavnja da će se i u budućnosti koristiti jednaka količina energije za stvaranje jedinične količine narodnog dohotka kao i u sadašnjosti. Međutim, moglo bi se pretpostaviti da će se količina energije povećavati. Također postoji mogućnost promjene strukture narodnog dohotka, što utječe na potrošnju. Oko 40 % potrošnje u distribuciji otpada na kućanstva i promjene u toj grupi potrošnje neće utjecati na veličinu narodnog dohotka. Možda najveći problem kod ovog načina prognoze je i realna prognoza narodnog dohotka u budućnosti. Sve ovo treba uzeti u obzir kad se analizira realnost rezultata.

Pošto se definira ukupna potrošnja električne energije, korisno ju je podijeliti po grupama potrošnje. Danas se potrošnja prati po naponskim nivoima, a 0,4 kV nivo dijeli se još na kućanstva, rasvjetu i ostalo na 0,4 kV. Prema tabl. 1. vidase da su procentualni udio svake grupe potrošnje približno konstantan. To znači da će se približno jednako mijenjati potrošnja pojedine grupe kao što se mijenja i ukupna potrošnja. Najmanje se mjenja učešće kućanstva, koje je i najveće. Kod ostalih grupa može doći do promjena. To se naročito odnosi na 10 kV i 30 kV nivo, pa se oni mogu i analizirati zajedno.

Udio kućanstva najveći je u 1982. god., što se može objasniti jedino smanjenjem potrošnje u industriji i ostaloj potrošnji zbog privredne krize. To također navodi na zaključak da će u slučaju kriza kućanstva najkasnije mijenjati svoje trendove potrošnje.

Na kraju treba istaknuti da su globalne prognoze to točnije što je područje veće, odnosno što je manje ovisno o utjecajima izvan njega. Međutim, smatra se da ih treba raditi i za mala područja, makar se dobili

Tablica 1. Procentualni udjeli potrošnji pojedinih naponskih nivoa u ukupnoj potrošnji distribucije SR Hrvatske

Naponski nivo	Godina							
	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.
110 kV	1,06	1,04	1,09	1,27	2,57	3,47	3,35	3,36
35 kV	13,53	14,42	13,76	13,62	12,41	12,70	12,86	11,74
10 kV	24,89	24,18	25,22	25,55	25,25	24,88	25,21	25,12
0,4 kV	60,52	60,36	59,94	59,55	59,78	58,95	58,58	59,79
kućanstva	40,13	39,91	39,22	39,19	40,39	39,89	40,25	41,91
rasvjeta	2,00	2,10	2,31	2,28	2,02	2,09	1,78	1,45
ostalo	18,39	18,35	18,41	18,08	17,37	16,97	16,55	16,43

i različiti rezultati prema sektorskoj prognozi. U tom slučaju treba razliku objasniti.

1.2. Sektorske prognoze

Za dobru sektorsku prognozu potreban je dosta velik broj realnih podataka i upravo je zbog toga potrebna njezina kontrola. Nabrojit ćemo samo neke: raspored i broj kućanstava na području obrade, raspored industrije s pokazateljima na bazi kojih se može odrediti konzum te raspored i količina ostalih sadržaja. Da se odredi konzum, potrebno je odrediti normative, odnosno jedinične potrošnje i opterećenja. Sve te podatke potrebno je poznavati i etapno.

Prilikom sektorske prognoze konzum se obično dijeli na tri osnovne grupe, i to kućanstva, industrija i ostalo, pa će se problemi navesti po tim grupama.

Jedan od osnovnih zadataka odnosno problema prilikom izrade generalnih urbanističkih planova jest odrediti realan broj stanovnika. On se sagledava na taj način da se ocjenjuje uloga određenog područja u republici ili cijeloj državi i na bazi tih analiza odredi se u stvari zasićenje broja stanovnika područja. Pritom se toliko ne sagledava vremenski tok porasta pa pomaci u ostvarenju od nekoliko godina nisu nikakva greška. Kad se definira broj stanovnika, relativno je lagano odrediti broj kućanstava. Na taj način dobije se konačno stanje. Na žalost, generalni urbanistički planovi u pravilu ne daju i etapnost izgradnje, pa se autor sektorske prognoze mora snalaziti na razne načine da dođe do nje. Za određivanje konzuma kućanstava potrebno je odrediti i normative opterećenja i potrošnje električne energije. Za potrebe sektorske prognoze Zagreba napravljeni su takvi općeniti normativi u (3). Osnovna podjela kućanstava napravljena je prema energetskoj opskrbi jer ona najviše utječe na veličinu opterećenja i potrošnje. Kod kolektivne izgradnje ono je i definirano u većini slučajeva prilikom izgradnje objekata. Druga podjela odnosi se na snabdjevenost kućanstava aparatima koji se napajaju isključivo električnom energijom. Očito da se na taj način dobije dosta velik broj kombinacija, koje su u (3) i obrađene. Nakon toga napravljena je procjena tipova kućanstava koja se mogu očekivati oko 2000. god. u Zagrebu. Pojavio se određeni problem kod analize pojave grijanja stanova pomoću električne energije. Pretpostavilo se da neće doći do takvog razvoja grijanja da bi ono utjecalo na vršna opterećenja analiziranih objekata (110 kV i 30 kV trafostanica). To znači da takav tip kućanstva nije u analizi opterećenja uzet u obzir.

Računalo se s četiri tipa kućanstava prema podacima iz tabl. 2.

Tablica 2. Izrazi za izračunavanje vršnog opterećenja grupe kućanstava i udio jednog kućanstva u vršnom opterećenju grupe od 200 kućanstava — normativi iz (3)

Tip kućanstva	Vršno opterećenje grupe od n kućanstava – kW	Udio u opterećenju grupe od 200 kućanstava
Tip 2	$P = 2{,}417 \cdot n + 5{,}280 \cdot \sqrt{n}$	2,79 kW/kuć.
Tip 3	$P = 1{,}850 \cdot n + 4{,}860 \cdot \sqrt{n}$	2,19 kW/kuć.
Tip 4	$P = 2{,}239 \cdot n + 5{,}000 \cdot \sqrt{n}$	2,59 kW/kuć.
Tip 5	$P = 1{,}672 \cdot n + 4{,}549 \cdot \sqrt{n}$	1,99 kW/kuć.

Tip 2 — el. energija se ne koristi za grijanje stana
Tip 3 — el. energija se ne koristi za grijanje stana i kuhanje
Tip 4 — el. energija se ne koristi za grijanje stana i pripremu tople vode
Tip 5 — el. energija se ne koristi za grijanje stana, pripremu tople vode i kuhanje.

Konzum industrije obično se analizira anketom i u (3) nisu rađeni normativi. Prilikom ankete većih potrošača pokušalo se utvrditi koliko je potrebno električne energije za proizvodnju određene jedinice nekog proizvoda. Proizvodi čiji je tehnološki proces jednoznačno utvrđen to je i moguće odrediti. Međutim, za dosta proizvoda može se birati više tehnoloških procesa s različitom potrošnjom električne energije. Zaključilo se da je vrlo teško definirati normative za industriju, pa se od toga i odustalo.

Potrošnju električne energije odnosno opterećenje ostalih sadržaja određuje se jednim dijelom anketom, a drugim, i to većim, pomoću podataka iz generalnih urbanističkih planova i normativa.

Anketiraju se obično komunalna poduzeća (PTT, vodovod i sl.), jer su potrebe za električnom energijom dosta ovisne o specifičnim uvjetima područja.

Drugi dio ostalih sadržaja je prilično raznovrstan (trgovine, poslovni prostor, bolnice, škole itd.). Urbanistički planovi daju za te sadržaje podatke o potrebnim površinama ili neki drugi na bazi koje se može odrediti konzum. Međutim, ostaje problem određivanja normativa, jer ima vrlo velik broj objekata s obzirom na primjenu. Zbog toga uglavnom ne dolazi u obzir izrada nekih modela, kao što se to napravilo kod kućanstava. U (3) je prilikom izrade normativa korištena anketa većih potrošača infrastrukture, podaci iz raznih projekata i podaci iz literature. Pri tome su se htjeli, što je moguće više, obuhvatiti oni objekti čiji standard zadovoljava za duže vremensko razdoblje. Veličine koje su se pratile jesu opterećenje

Energija, God. 32/1983/6, 445-448

po kvadratnom metru površine, odnosno po ležaju kod hotela i bolnica. To znači da se dijelilo vršno opterećenje objekta s korisnom površinom, odnosno brojem ležaja. Normativi koji se smatraju najrealnijima u daljnjoj budućnosti nalaze se u tabl. 3.

Tablica 3. Normativi opterećenja ostalih sadržaja iz (3) za daljnju budućnost

Vrst sadržaja	Normativ
robne kuće i trgovine	120 W/m²
fakulteti i instituti	40 W/m²
srednje škole	40 W/m²
osnovne škole	50 W/m²
dječje ustanove	60 W/m²
socijalne ustanove	40 W/m²
domovi zdravlja	40 W/m²
kulturne ustanove	40 W/m²
poslovni prostor	60 W/m²
zanatstvo	40 W/m²
ugostiteljstvo	110 W/m²
rasvjeta ulica	1,5 W/m²
hoteli (prosjek)	1,2 kW/lež.
bolnice	1,2 kW/lež.

2. ZAKLJUČAK

U članku je dan kraći osvrt na problematiku prognoziranja konzuma u distribuciji. U odnosu na proizvodnju i prijenos specifičnosti su manja područja prognoze i potreba za što točnijom podjelom konzuma po području.

Kod manjih područja problem je u tome što se ponekad gube prirodni zakoni razvoja, pa je teško odrediti globalnu prognozu, a prilikom raspodjele konzuma po području, odnosno sektorske prognoze konzuma potrebno je poznavati i odrediti dosta velik broj podataka koji bi morali biti što realniji.

Napomenuti su također neki momenti kod kojih se vrlo teško odlučiti što je realnije: da li sektorska ili globalna prognoza. Pošto se prognoze najčešće rade za razradu mreža i ako postoje takvi problemi, nužno je potrebno da se kod analize mreže oni uzmu u obzir, i to i kod konačnog i etapnog rješenja. U protivnom može doći ili do preranog investiranja ili do kašnjenja u izgradnji.

LITERATURA

[1] Lewandowski R: *Prognose — und Informationssysteme und ihre Anwendunge.* Bd. 1. Berlin — New York, Walter de Gruyter. 1974.

[2] Schenner R, Žutobradić S, Šimunec R: *Analyse des Einflusses der Daten aus der Vergangenheit auf langfristige Strombedarfsprognosen,* ÖZE·Jg. 36·Heft 1· Januar 1983

[3] Schenner R: *Rješenje elektrodistributivne mreže 110 i 30 kV grada Zagreba do 2000. g. — Normativi opterećenja i potrošnje električne energije,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1980.

KEY WORDS: PLANING OF ELECTRIC DEMAND, GENERAL PREDICTION OF ELECTRIC POWER, SECTROIAL PREDICTION OF ELECTRIC POWER, NORMES FOR DEMAND

AN ANALYSIS OF DEMANDS IN DISTRIBUTION NET

In the article are described some characteristics of demands prediction in distribution nets. Some possibilities of use of sectorial and general prediction especially regarding application for small distirbution areas are described.

UNTERSUCHUNGEN DES STROMVERBRAUCHS IN DER ENERGIEVERTELLUNG

Bearbeitet werden einige von spezifischen Energieverbrauchsschätzungen bei gleichzeitiger Untersuchung von Möglichkeiten der Erstellung von Sektoren- und Globalprognosen unter besonderer Berücksichtigung kleinerer Versorgungsbereiche.

АНАЛИЗ СБЫТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Обработаны некоторые специфичности прогноза сбыта электроэнергии. Описаны и приводятся возможности применения секторных и глобальных прогнозов, в частности имея в виду применение в малых областях сбыта электроэнергии.

Naslov pisca:

Mr Rihard Schenner, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukopis
1983–07–05.

PLANIRANJE GLOBALNOG RASTA DISTRIBUTIVNE ELEKTRIČNE MREŽE S OBZIROM NA PROGNOZIRANU POTROŠNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE

Dasenko Baldasari, Zagreb

UDK 621.316.1.
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Prikazana je problematika i metodologija planiranja globalnog rasta distributivne električne mreže. Također je prikazan razvoj glavnih pokazatelja dosadašnjeg razvoja distributivne mreže, zatim je opisana metoda planiranja na temelju prognoze potrošnje električne energije, a na kraju je dana primjena metode u proračunu rasta distributivne električne mreže u zadnje tri godine planskog razdoblja 1981 – 1985.

Ključne riječi: planiranje distributivne električne mreže, snaga transformacije, ulaganja u el. mrežu.



DASENKO BALDASARI

1. UVOD

Planiranje razvoja elektrodistributivne mreže u SR Hrvatskoj načelno je regulirano Zakonom o elektroprivredi (Narodne novine broj 6 od 22. veljače 1983. god.). Prema odredbama Zakona Skupština ZEOH-a i Skupština RSIZ-a potrošača električne energije zaključuju »Samoupravni sporazum o osnovama zajedničkog plana razvoja proizvodnje i prijenosa, te osnovama razvoja distribucije električne energije (globalni plan razvoja distribucije električne energije)«. Organizacije odnosno OOUR-i koji obavljaju distribuciju električne energije i OSIZ-i potrošača električne energije zaključuju »Samoupravni sporazum o osnovama plana razvoja distribucije električne energije na svom području«. Na temelju zaključenih samoupravnih sporazuma donosi se zajednički srednjoročni i dugoročni plan razvoja proizvodnje i prijenosa na razini ZEOH-a i RSIZ-a potrošača, te zajednički srednjoročni (a po potrebi i dugoročni) plan razvoja distribucije električne energije na razini OSIZ-a i organizacije koja obavlja distribuciju električne energije.

Sa stajališta distributivne djelatnosti važno je uočiti:

— da se globalni plan razvoja distribucije utvrđuje na razini sisteme, i to iskazano kroz energiju u okviru elektroenergetske bilance Republike i ukupni iznos sredstava potrebnih za izgradnju objekata i postrojenja za distribuciju električne energije (član 59. st. a) i d) Zakona o elektroprivredi)

— da Zakonom o elektroprivredi nije reguliran odnos globalnog plana s planovima OOUR-a, makar je jasno da ukupna ulaganja u distribuciju ne mogu biti različita od zbroja pojedinačnih planova

— da Zakonom o elektroprivredi nisu regulirani odnosi ulaganja po djelatnostima.

U vrijeme pisanja ovog materijala nisu još izrađeni dokumenti temeljeni na Zakonu kojima se utvrđuje udruživanje i međusobni odnosi pa se može pretpostaviti da će tim dokumentima biti razjašnjena ta kao i druga brojna pitanja, posebno ona koja nas u ovom trenutku najviše zanimaju iz područja planiranja razvoja.

Čini se posebno značajnim očekivano rješenje kojim će se osigurati ravnomjeran i optimalan razvoj elektroenergetskog sistema u cjelini. Ne bi bilo teško pokazati da dosadašnji način planiranja razvoja sisteme nije bio jedinstven, da nije zajedničkim kriterijima obuhvaćao cjelinu tehnološkog sistema, da je u pravilu razvoj planiran po djelatnostima s minimalnim međusobnim utjecajem i sl. Svestrana analiza tehnološke međuovisnosti pojedinih dijelova sistema nije rađena. Bilo je pokušaja analiziranja visina i udjela ulaganja po djelatnostima i na temelju uspoređivanja tih rezultata sa sličnim pokazateljima drugim razvijenih zemalja zaključivanja na ispravnost ulaganja. Tako su npr. u (L. 1) analizirani udjeli ulaganja i struktura vrijednosti postrojenja po djelatnotima u vremenu od 1945. do 1975. god. U tabl 1. i 2. prikazuju se preuzeti iz (L. 1) samo neki pokazatelji stanja i ulaganja po djelatnostima.

Tablica 1. Struktura vrijednosti postrojenja u %

Godina	Izvori s dobavom iz drugih područja	Prijenosna mreža	Distributivna mreža
1945.	62,7	4,4	32,9
1955.	60,0	9,6	30,4
1960.	54,5	8,9	36,4
1965.	46,5	12,3	41,2
1970.	51,3	12,0	36,7
1975.	52,6	9,0	38,4

Tablica 2. Udjeli ulaganja po razdobljima u %

Razdoblje	Izvori s dobavom iz drugih područja	Prijenos. mreža	Distribut. mreža
Stanje 1945.	62,7	4,4	32,9
1946. do 1955.	60,0	9,6	30,4
1956.	56,6	9,6	33,8
1957. do 1961.	57,1	9,8	33,3
1962. do 1965.	46,2	12,4	41,4
1966. do 1970.	51,5	11,9	36,6
1971. do 1975.	50,9	12,0	37,1

Uspoređivanjem tih pokazatelja sa sličnim iz dvadeset jedne zemlje u razdoblju 1965 — 1967. utvrdile su se sličnosti i zaključilo da su prihvatljivi odnosi ulaganja: distribucija oko 40%, prijenos oko 10%, izvori oko 50%.

Ilustrativan je primjer male međuovisnosti u razvoju pojedinih djelatnosti prikaz veličina postrojenja u mreži prenosa i distribucije sa stanjem u godinama 1970. i 1980. (tabl. 3). Prema (L. 2 i L. 3) veličine postrojenja su u tim godinama iznosile:

Tablica 3. Veličine prijenosne i distributivne električne mreže

Struktura	Jed. mj.	1970. g.	1980. g.	Povećanje aps./%
TS 110/35 (30) kV	kom	29	57	28/96,5%
inst. snaga u TS 110/35 kV	MVA	1 326,5	4 296	2 969,5/223,8%
TS 35/10 kV	kom	201	295	94/46,8%
inst. snaga u TS 35/10 kV	MVA	1 329	2 917	1 588/119,5%
TS 10/0,4 kV	kom	8 940	15 095	6 191/69,5%
inst. snaga u TS 10/0,4 kV	MVA	1 703	3 352	1 649/96,8%
vodovi 110kV	km	2 063	3 342	1279/62%
vodovi 35 kV	km	3 305	4 266	961/29%
vodovi 10 kV	km	16 179	23 249	7 070/43,7%
vodovi 0,4 kV	km	31 127	46 745	15 618/50,2%

U istim godinama veličine električne energije i gubitaka iznosile su prema (L. 2) kako je prikazano u tabl. 4.

Tablica 4. Raspoloživa el. energija, prodaja i gubici (MWh, %)

		1970.	1980.	Prirast u odnosu na 1970. god.
	ukupno raspoloživo	5 577 502	11 607 111	108%
Prijenos	predano distribuciji	4 219 109	8 545 164	102,5%
	predano distribut. potroš.	1 088 536	2 681 020	146,3%
	ukupno predano	5 307 645	11 226 184	111,5%
	gubici ukupno	269 857	380 927	41%
	gubici %	4,83%	3,28%	— 32%
Distribucija	ukupno raspoloživo	4 300 124	8 656 883	101,3%
	predano potroš. 110 i 35 kV	486 748	1 271 540	161,2%
	predano potroš. 10 kV	951 059	1 938 817	103,8%
	predano potroš. 0,4 kV	2 356 460	4 590 408	94,9%
	ukupno predano	3 794 267	7 800 765	105,6%
	gubici ukupno	505 857	856 118	69,9%
	gubici %	11,76%	9,9%	— 15,8%

Ako je točna ocjena u (L. 1) da upravo u 1970. »udio vrijednosti prijenosne mreže opada prema normali od 10%, a udio distributivne mreže raste prema normali od 40%«, onda se iz tabl. 3. i 4. vidi da je ta ravnoteža u idućem desetljeću znatno narušena. U tom pogledu dovoljno je uočiti »iskoristivost transformacije energijom«, tj. MWh/MVAinst., koja je od 1970. do 1980.god. smanjena u transformaciji 110/35 za 37,5%, u transformaciji 35/10 za samo 10%, dok je u transformaciji 10/0,4 zadržala približno jednaku vrijednost (— 1%). Takvo »rasterećenje« gornje transformacije rezultat je nerazmjernog povećanja instalirane snage. Tako je u 1970. godini jednom MVA instalirane snage u transfomaciji 110/35 kV odgovarao 1 MVA, a u transformaciji 35/10 i 1,284 MVA u transformaciji 10/0,4 kV. Deset godina kasnije jednom MVA u 110/35 kV odgovara 0,679 odnosno 0,78 MVA u transformaciji 35/10, odnosno 10/0,4 kV. Na razini grube procjene tendecije razvoja može se reći da je u 1970. godini bio primjerniji odnos veličina postrojenja. Takav stav je moguće potkrijepiti sljedećim pojednostavljenim razmatranjem:

Ako pretpostavimo da se upotrebna vremena vršnih opterećenja na razinama od 10/o,4 kV do 110/35 kV odnose kao 1:1, 6:2,2 onda će se uz ostale jednake uvjete vršna opterećenja odnositi obrnuto proporcionalno tim vremenima (zanemarenim gubici). Ako, nadalje, pretpostavimo da rezerva u transformaciji

definirana kao P_1:P iznosi 1 (0%) za 10 kV transformaciju; 1,5 (50%) za transformaciju 35 kV; 2 (100%) za transformaciju 110 kV (zbog pojednostavljenja cos f = 1) proizlazi da jednom MVA instalirane snage u transformaciji 10/0,4 kV odgovara 0,938 MVA u transformaciji 35/10 kV, odnosno 0,91 MVA u transformaciji 110/35 kV. Sasvim općenito i kao najgrublja ocjena može se reći da se kod jednakih instaliranih snaga u transformacijama 10/0,4 — 35/10 — 11/35 kV ostvaruju rezerve od 50% u transformaciji 35/10 kV i 100% u transformaciji 110/35 kV. Ovo dakako vrijedi iz pretpostavku da jednaka energija teče svim transformacijama.

Navedeni podaci i primjeri potvrđuju iznesenu tezu o nedovoljnoj prisutnosti međuovisnosti u razvoju pojedinih dijelova elektroenergetskog sistema, no još više ukazuju na nužnost jedinstvenog planiranja sistema. Pri tome se čini s tehnološkog stajališta neizbježnim dugoročno planiranje razvoja sistema u okviru kojeg bi se utvrdila generalna strategija razvoja i osigurali uvjeti za racionalan i ravnomjeran razvoj kako pojedinih dijelova, tako i cjeline elektroenergetskog sisţema.

2. PLANIRANJE GLOBALNOG RAZVOJA DISTRIBUCIJE

Za potrebe planiranja globalnog razvoja distributivne električne mreže razrađena je u (L. 4) metoda proračuna rasta elektrodistributivne mreže u funkciji očekivane potrošnje električne energije. Postupak je u cijelosti kompjutoriziran, pa se na temelju ulaznih podataka o energiji po strukturi potrošnje (obrazac DB. 1), zadanih ciljeva razvoja i jediničnih cijena, a oslanjajući se na podatke o stanju postrojenja i potrošnji energije u proteklom dužem razdoblju iz (L. 3) kao izlaz dobiju pregledne tablice s potrebnim stanjem postrojenja u godinama prognoziranog perioda, godišnjim prirastima i troškovima izgradnje.

Ako energije u budućem obrađivanom razdoblju nisu poznate, mogu se programima izrađenim na temelju i u okviru radova (L. 5) i (L. 6) proračunati i kao izlaz dobiti obrazac DB. 1.

S obzirom na organizaciju podataka u (L. 3) postupak se može primjenjivati na razini OOUR-a, RO i distribucije SRH ukupno, pri čemu se veća organizacijska jedinica može dobiti obradom njezinih ukupnih podataka ili kao zbroj rezultata obrada njezinih sastavnih dijelova. Treba napomenuti da točnost metode raste s veličinom obrađivane mreže, pa kod malih OOUR-a distribucije njezina primjena nema smisla.

U nastavku dat će se kratki prikaz postupka proračuna, uz nužan komentar.

2.1 Upotrijebljene oznake

E1	(MWh)	godišnja električna energija kroz transformaciju 35/10 kV
E2	(MWh)	godišnja električna energija kroz transformaciju 10/0,4 kV
MR1	(km)	dužina mreže 35 kV
MR2	(km)	dužina mreže 10 kV
MR3	(km)	dužina mreže 0,4 kV
KB1	(km)	dužina kabelske mreže 35 kv
KB2	(km)	dužina kabelske mreže 10 kV
KB3	(km)	dužina kabelske mreže 0,4 kV
DV1	(km)	dužina nadzemne mreže 35 kV
DV2	(km)	dužina nadzemne mreže 10 kV
DV3	(km)	dužina nadzemne mreže 0,4 kV
S1	(MVA)	ukupno instalirana snaga transformacije 35/10 kV
S2	(MVA)	ukupno instalirana snaga transformacije 10/0,4 kV
TS1	(kom)	ukupan broj TS 35/10 kV
TS2	(kom)	ukupan broj TS 10/0,4 kV
ITR1	(MWh/MVA)	iskoristivost transformacije 35/10 kV
ITR2	(MWh/MVA)	iskoristivost transformacije 10/0,4 kV
PMR1	(km/TS1)	prosječna dužina mreže 35 kV
PM2	(km/TS1)	Prosječna dužina mreže 10 kV
PMR3	(km/TS2)	prosječna dužina mreže 0,4 kV
KB1%	(%)	udio kabelske izvedbe u mreži 35 kV
KB2%	(%)	udio kabelske izvedbe u mreži 10 kV
KB3	(%)	udio kabelske izvedbe u mreži 0,4 kV
PS1	(MVA)	prosječna instalirana snaga TS 35/10 kV
PS2	(MVA)	prosječna instalirana snaga TS 10/0,4 kV

2.2. Metodološke osnove

Metoda se zasniva na činjenici da svakoj energiji E1 i E2 mora stajati na raspolaganju transformacija S1 i S2 ugrađena u odgovarajući broj trafo-stanica TS1 i TS2 tako da se u svakoj promatranoj godini postigne što optimalnije iskorištenje transformacije ITR1 i ITR2 definirane kao

$$ITR = \frac{\text{ukupna energija kroz transformaciju}}{\text{ukupna snaga transformacije}}$$

Određivanjem broja TS1 i TS2 određuju se i potrebne dužine mreža svih napona, kao i udjeli kabelske izvedbe. Radi lakšeg praćenja postupka uvedimo oznake »pg« i »PG« sa pripadnim indeksima, te »CG« tako da znače:

$pg_1, pg_2 \ldots pg_n \ldots$	prva do »n«-ta godina u prošlosti
$PG_1, PG_2 \ldots PG_n \ldots$	prva do »n«-ta godina u budućnosti, tj. godine u kojima se proračunava razvoj
CG	godina u kojoj je zadana ciljna veličina razvoja

U datotekama (L. 3) unesene su veličine MR1, KB1, DV1, S1, TS1, MR2, KB2, DV2, S2, TS2, MR3, KB3, DV3 te E1 i E2 za svaku »pg« (za ukupno distribuciju SRH od 1968. do 1980. god.).

1. Iz tih podataka računaju se karakteristične veličine za svaku godinu u prošlosti

$ITR1 = \frac{E1}{S1}(MWh/MVA)$. iskoristivost transformacije 35/10 kV

$ITR2 = \frac{E2}{S2}(MWh/MVA)$. iskoristivost transformacije 10/0,4 kV

$PS1 = \frac{S1}{TS1}(MVA)$ ..... prosječna instalirana snaga TS 35/10 kV

$PS2 = \frac{S2}{TS2}(MVA)$ ..... prosječna instalirana snaga TS 10/0,4 kV

$PMR1 = \frac{MR1}{TS1}(km)$ ..... Prosječna dužina mreže 35 kV po jednoj TS 35/10 kV

$PRM21 = \frac{MR2}{TS1}(km)$ ..... prosječna dužina mreže 10 kV po jednoj TS 35/10kV

$PMR22 = \frac{MR2}{TS2}(km)$ ..... prosječna dužina mreže 10 kV po jednoj TS 10/0,4 kV

$PMR3 = \frac{MR3}{TS2}(km)$ ..... Prosječna dužina mreže 0,4 kV po jednoj TS 10/0,4 kV

$KB1\% = \frac{KB1}{MR1}(\%)$ ..... postotno učešće kabelske izvedbe u ukupnoj dužini mreže 35 kV

$KB2\% = \frac{KB2}{MR2}(\%)$ ..... postotno učešće kabelske izvedbe u ukupnoj dužini mreže 10kV

$KB3\% = \frac{KB3}{MR3}(\%)$ ..... postotno učešće kabelske izvedbe u ukupnoj dužini mreže 0,4 kV

2. Unose se podaci za E1 i E2 za svaku godinu od PG, do PG_n (ili se proračunaju spomenutim programima).

3. Zadaju se ciljevi razvoja, i to za neku po volji zadanu ciljnu godinu »CG«. Ciljevi se određuju kao podatak koliko mora iznositi svaka ili samo neke od karakterističnih veličina u ciljnoj godini. Ciljna godina može za svaku karakterističnu veličinu biti druga, a koje ćemo ciljeve odrediti ovisi o raspoloživim podacima i ocjenama. Neka smo npr. odredili da kao cilj razvoja ITR1 u 2000. godini iznosi ITR1, a ITR2 da u svakoj idućoj godini zadrži vrijednost jednaku onoj u zadnjoj poznatoj godini. Ostale karakteristične veličine neka se mijenjaju prema zakonitostima promjena u prošlosti.

4. Vrši se analiza i utvrđivanje zakonitosti promjena karakterističnih veličina, i to:

   a) za karakteristične veličine kojima je utvrđen cilj u »CG«, tj, ITR1, bira se zakonitost koja najvjernije opisujući prošle promjene vodi do zadane ciljne veličine. Na temelju te zakonitosti utvrđuju se veličine ITR1 za godine PG_1, PG_2, . . . PG_n;

   b) za karakteristične veličine kojima cilj razvoja nije zadan utvrđuju se zakonitosti promjena u prošlosti, zadržavaju se utvrđene zakonitosti i za buduće razdoblje i utvrđuju sve karakteristične veličine za godine PG_1, PG_2, . . . PG_n.

Na ovaj način utvrđene su za svaku godinu u prošlosti i u budućem razdoblju iznosi svih karakterističnih veličina.

5. Na temelju zadanih E1 i E2 u godinama PG_1 do PG_n i izračunatih ITR1 i ITR2 u tim godinama dobiju se potrebne instalirane snage za svaku od tih godina kao:

$$S1 = \frac{E1}{ITR1}(MVA) \qquad S2 = \frac{E2}{ITR2}(MVA).$$

Dijeljenjem instalirane snage u svakoj godini PG_1 do PG_n s prosječnim snagama trafo-stanica u tim godinama dobije se broj trafo-stanica u tim godinama

$$TS1 = \frac{S1}{PS1}(kom) \qquad TS2 = \frac{S2}{PS2}(kom)$$

Na sličan način se računaju i ostale veličine po godinama:

$MR1 = PMR1 \cdot TS1$
$MR21 = PMR21 \cdot TS1$
$MR22 = PMR22 \cdot TS2$
$MR2 = (MR21 + MR22) : 2$
$MR3 = PMR3 \cdot TS2$
$KB1 = MR1 \cdot KB1\%/100$
$KB2 = MR2 \cdot KB2\%/100$
$KB3 = MR3 \cdot KB3\%/100$

6. Prirasti mreže i postrojenja računaju se kao razlika stanja u godinama između kojih se traži prirast, a umnažanjem s jediničnim cijenama dobiju se ukupni troškovi izgradnje planiranog fizičkog prirasta.

2.3. Određivanje ciljeva razvoja

U cijelom postupku proračuna rasta ključnu ulogu imaju ciljevi razvoja. Za najveći broj karakterističnih veličina kojima se opisuje stanje mreže znaju se osnovni trendovi promjena. Tako npr., dugoročno gledano, stalno rastu prosječne snage transformacije i postotni udjeli kabelske izvedbe u ukupnoj mreži, a opadaju prosječne dužine mreže po jednoj trafo-stanici.

Najveći utjecaj na promjenu stanja mreže ima ciljna veličina iskoristivosti transformacije. Svaki cilj u smislu veće ili manje iskoristivosti transformacije izaziva sporiji ili brži rast svih elemenata mreže.

Ovom cilju stoga treba posvetiti posebnu pažnju. U dosadašnjem korištenju metode ove ciljne veličine su se određivale polazeći od sljedećeg:

Za najveći broj distributivnih područja rađena su osnovna rješenja dugoročog razvoja mreže. Ako se pođe od pretpostavke da je mreža planirana po pravilima racionalnog građena uz zadovoljavanje svih tehničkih pretpostavki za kvalitetnu isporuku električne energije, onda se iz predviđene energije npr. u 2000. god. i stanja transformacije u toj godini može izračunati iskoristivost transformacije za koju možemo reći da je karakteristična za »dobru« mrežu. Kod ovakve analize potrebno je uzeti u obzir što više os-

novnih rješenja kako bi odabrana veličina bila primjerna za cijelo razmatrano područje, tj. obuhvatila sve karakteristike konzuma.

S druge strane, uz stanovita zanemarenja moguće je iskoristivost transformacije dovesti u vezu s vršnim opterećenjem na sljedeći način:

Energiju kroz transformaciju E možemo preko vršnog opterećenja P_v i upotrebnog vremena tog opterećenja t_v prikazati kao

$$E = P_v \cdot t_v$$

Kako je $ITR = \frac{E}{S}$ bit će $ITR = \frac{P_v}{S} \cdot t_v$.

Odnos $f_s = P_v/S$ vršnog opterećenja i instalirane snage daje mjeru angažiranosti transformacije snagom (zbog pojednostavljenja uzeto cosf = 1).

Kako je prema tome $ITR = f_s \cdot t_v$, to znači da ćemo iskoristivost transformacije moći toliko točnije odrediti koliko točnije odredimo f_s i t_v.

U studiji (L. 7) analiziran je dinamičkom modelu rast distributivne mreže te je utvrđeno da se »f_s« razmatrane mreže stabilizira oko neke vrijednosti ovisne o tome koliku rezervu dopuštamo u transformaciji.

Prema tim analizama ovaj faktor iznosi:

0,42 uz 50% rezerve u transformaciji
0,66 uz 20% rezerve u transformaciji
0,74 uz 10% rezerve u transformaciji
0,82 uz 0% rezerve u transformaciji.

Upotrebna vremena vršnih opterećenja mogu se procijeniti analizom podataka koji se vode u okviru (L. 8). Ti podaci i oni iz (L. 3) dopušaju izradu prosječne mreže razmatranog područja, sa svim relevantnim podacima za utvrđivanje trendova razvoja, a time i točnije određivanje ciljeva.

U vezi s iznesenom metodom treba reći:

a) Dugoročna globalna projekcija razvoja (na razini sistema) daje rezultate koji mogu biti osnova za planiranje razvoja. Ne treba, međutim, izgubiti iz vida činjenicu da se radi o uprosječenim veličinama sa svim zamkama koje one u sebi nose. Prosječno zadovoljavanje nekog kriterija ili ostvarenje zadanog uprosječenog cilja moguće je ostvariti i tako da se u dijelu mrže i dalje ostvaruju značajne rezerve uz istovremenu neizgrađenost i preopterećenje u drugom dijelu. Zbog ograničenog dometa distributivne mreže »višak« u nekom području nije moguće koristiti za pokriće »manjkova« u drugom području.

b) Metoda, međutim, omogućava izjednačavanje izgrađenosti po pojedinim područjima po jednakim pravilima. Ako, primjerice, metodu primijenimo na radne organizacije i postavimo kao cilj da se u toku idućeg 30-godišnjeg razdoblja izjednače iskoristivosti transformacije, odnosno poprime optimalne iznose u svim radnim organizacijama, tada će po metodi prirast mreže u funkciji prirasta energije biti brži kod organizacija koje su već postigle visoko iskorištenje. Naprotiv, organizacije s niskim iskorištenjem veći dio prirasta energije morat će pokrivati postojećom neiskorištenom transformacijom, odnosno prirast instaliranih snaga i mreže bit će sporiji.

c) Kod određivanja ciljeva razvoja treba računati da su za distributivnu mrežu karakteristične loše naponske prilike i nedovoljna pouzdanost. Analize pokazuju da su i tamo gdje su iskorištenja transformacije relativno niska naponske prilike loše. Ta činjenica ukazuje na neprimjeran izbor snaga transformacije. Povoljnije bi bilo da se ta ista snaga izradila u većem broju trafo-stanica, što dakako treba uzimati u obzir pri određivanju ciljeva razvoja, odnosno uvjetovati sporiji rast prosječnih snaga transformacije.

d) Od posebnog bi interesa bilo ispitati mogućnost primjene slične metode na prijenosnu mrežu, to prije što se u tom dijelu sistema raspolaže točnim podacima, posebno o vršnim opterećenjima. Slično istrživanje u prijenosnoj mreži omogućilo bi bar u globalnom razmatranju uspostavljanje optimalnih korelacijskih veza između stupnjeva izgrađenosti pojedinih dijelova sistema ili pak potvrdile ispravnost dosadašnje prakse.

3. PRIMJENA METODE U PRORAČUNU RASTA DISTRIBUTIVNE ELEKTRIČNE MREŽE U ZADNJE TRI GODINE PLANSKOG RAZDOBLJA 1981 — 1985. GOD.

3.1. Ocjena stanja mreže na kraju 1980. god.

Ocjena stanja mreže u 1980. god. izvršit će se prvenstveno sa stajališta iskorištenja transformacije kako bi se iz zatečenog stanja i optimalnog iznosa mogli odrediti ciljevi kojima treba podrediti daljni razvoj.

Na temelju (L. 3) i (L. 8) za 1980.godinu u idućim tablicama prikazani su osnovni podaci i iz njih izvedene veličine.

Tablica 5. Potrošnja električne energije u distribuciji SRH u 1980. god.

— potrošači 35kV i (110)		E35 = 1 259 914 MWh
— potrošači 10 kV		E10 = 1 938 827 MWh
— potrošači na 0,4 kV		EO4 = 4 593 840 MWh
od toga:	kućanstva	EKU = 3 108 380 MWh
	I stupanj	EIS = 543 500 MWh
	II stupanj	EIIS = 779 180 MWh
	javna rasvjeta	EJR = 162 780 MWh
Gubici 9,9%		EGU = 858 690 MWh

Tablica 6. Struktura potrošača u distribuciji SRH i njihova opterećenja u 1980. god.

Potrošači		Broj potrošača (kom)	Zbroj vršnih opterećenja (MW)
— kućanstva	NKU =	1 440 744	—
— ostali 0,4 kV I stupanj	NIS =	2 656	P_vIS = 200,53
— ostali 0,4 kV II stupanj	NIIs =	107 930	—
— potrošači 10 kV	N10 =	1 332	P_v10 = 496,16
— potrošači 35 kV	N35 =	78	P_v35 = 300,6

Tablica 7. Vršna opterećenja distributivnih radnih organizacija SRH u 1980. god.

RO	Raspoloživa energija MWh	P_v	(mjesec)	t_v
Osijek	1 302.423	259,00 MW	(XII)	5021
Gospić	88 788	18,1 MW	(IX)	4905
Pula	556 397	97,49 MW	(XII)	5707
Rijeka	952 873	177,90 MW	(XII)	5365
Split	1 773 656	354,60 MW	(XII)	5002
Karlovac	310 219	59,40 MW	(XI)	5233
Sisak	341 618	62,10 MW	(XII)	5501
Zagreb	3 336 909	654,00 MW	(XII)	5102

Tablica 8. Upotrebna vremena vršnog opterećenja na razini jednog potrošača 35 kV (110 kV) u 1980. god.

Ro	Broj potrošača	Energija MWh	Zbroj vršnih opt. MW	t_v
Osijek	17	163 685	45	3 637
Gospić	1	6 934	3 025	2 292
Pula	5	123 404	27,433	4 499
Rijeka	19	210 178	64	3 284
Split	9	335 817	70,70	4 750
Karlovac	6	42 146	13	3 242
Sisak	4	116 079	26,9	4 315
Zagreb	17	261 672	50	5 233

Tablica 9. Upotrebna vremena vršnog opterećenja na razini jednog potrošača 10 kV u 1980. god.

RO	Broj potrošača	Energija MWh	Zbroj vršnih opt. MW	t_v
Osijek	340	276 815	80	3 460
Gospić	40	25 928	7,705	3 365
Pula	154	147 625	79,855	3 900
Rijeka	89	185 659	52	3 570
Split	220	341 769	89,7	3 810
Karlovac	69	72 463	21	3 451
Sisak	20	32 673	7,9	4 136
Zagreb	400	855 877	200	4 279

Tablica 10. Upotrebna vremena vršnog opterećenja na razini jednog potrošača 0,4 kV I stupnja u 1980. god.

RO	Broj potrošača	Energija MWh	Zbroj vršnih opt. MW	t_v
Osijek	286	24 720	12,0	2 060
Gospić	34	5 206	2,135	2 438
Pula	136	21 798	9,497	2 295
Rijeka	136	23 149	9,8	4 362
Split	767	105 291	42,1	2 501
Karlovac	81	9 908	4,0	2 477
Sisak	104	21 738	7,0	3 105
Zagreb	1 112	331 685	114,0	2 909

Tablica 11. Potrošnja električne energije potrošača 0,4 kV II stupnja i kućanstva u 1980. god.

Ro	Potr. 0,4 — II stupnja			Kućanstvo		
	broj	potrošnja MWh		broj	potrošnja MWh	
		Ukupno	po 1 pot.		ukupno	po 1 kućan.
Osijek	15 037	87 600	5,83	227 179	567 273	2,397
Gospić	21 128	10 544	4,95	38 378	25 930	0,914
Pula	7 162	55 566	7,76	71 636	165 005	2,303
Rijeka	10 068	121 076	12,03	116 170	311 580	2,682
Split	18 204	163 663	8,99	292 566	555 894	1,900
Karlovac	4 653	26 784 21-	5,76	65 754	112 578	1,712
Sisak	3 887	336	5,49	54 142	104 038	1,921
Zagreb	46 251	292 612	6,33	584 919	1 197 847	2,048

Tablica 12. Prosječan broj potrošača po 1 TS 10 (20)/0,4 kV i prosječna snaga TS 10(20)/0,4 kV u 1980. god.

	Broj potrošača po 1 TS 10(20)/0,4 kV		Prosječna snaga PS2 kVA
	II stupnja	kućanstva	
Osijek	6,63	100,12	199
Gospić	4,07	54,26	109
Pula	6,05	60,55	145
Rijeka	7,76	89,50	233
Split	5,81	93,41	225
Karlovac	6,00	84,73	126
Sisak	5,43	75,62	115
Zagreb	8,93	112,88	287

Tablica 13. Stanje postrojenja DIS SRH potkraj 1980. god.

— ukupno mreža 35 kV (km)	MR1 = 4 265,7
od toga: kabelska (km)	KB1 = 549,1
nadzemna (km)	DV1 = 3 716,6
— broj TS 35/10 kV (kom)	TS1 = 295
— instalirana snaga u TS 35/10 (MVA)	S1 = 2 916,6
— ukupno mreža 10(20) kV (km)	MR2 = 23 248,6
od toga: kabelska (km)	KB2 = 3 353,0
nadzemna (km)	DV2 = 19 895,6
— broj TS 10(20)/0,4 kV (kom)	TS2 = 15 079
— instalirana snaga u TS 10(20)/0,4 (MVA)	S2 = 3 352,4
— ukupno mreža 0,4 kV (km)	MR3 = 46 745
od toga: kabelska	KB3 = 5 787
nadzemna	DV3 = 40 958

Za kategoriju potrošača na 0,4 kV, i to kućanstva, potrošači II stupnja i javna rasvjeta, ne raspolaže se ostvarenim vršnim opterećenjima, pa je potrebno ta opterećenja procijeniti.

Kućanstva

Da bi se što točnije ocijenilo vršno opterećenje prosječnog kućanstva, utvrđeno je 5 kategorija kućanstava, s obzirom na standard potrošnje, te im se pripisala sljedeća vršna opterećenja

Tablica 14.

Kategorija	Vršno opt. kW	Opis
I	5,5	kućanstva u gradovima iznad 50 000 stanovnika
II	5,0	kućanstva u svim ostalim gradovima
III	3,8	kućanstva u mješovitim naseljima sa 30 do 50 % stanovništva zaposlenih u poljoprivredi
IV	2,5	kućanstva u naprednim selima većim od 100 kućanstava i na udaljenosti najviše od 10 km od grada
V	1,5	kućanstva u ostalim naseljima

Prema podacima iz popisa stanovništva i kategorizaciji prema tabl. 14. dobije se:

Tablica 15. Struktura kućanstava po RO distribucije u 1980. god.

Ro	I	II	III	IV	V	Ukupno
Osijek	37 174	74 711	45 242	74 582	17 432	249 141
Gospić	—	6 635	5 312	7 550	8 298	27 799
Pula	19 578	14 015	9 955	4 081	15 337	62 966
Rijeka	56 402	17 116	23 373	1 533	10 854	109 278
Split	71 422	55 421	54 118	48 871	19 375	249 207
Karlovac	18 888	7 639	6 229	18 217	19 183	70 156
Sisak	—	21 944	4 703	14 391	12 341	53 379
Zagreb	228 338	92 594	68 988	136 707	70 877	597 504
SRH — ukup.	431 802	290 075	217 920	305 932	173 697	1 419 430

Na temelju takve zastupljenosti i odabranog normativa izračunata su vršna opterećenja grupe kućanstava na razini TS 10/0,4 kV prikazana u tabl. 16. Kasniji proračuni pokazali su da je za Gospić prosječno vršno opterećenje kućanstva od 3,05 kW previsoko, pa je u daljnjem računu uzeta vrijednost od 2,95 kW.

Potrošači 0,4 kV — II stupnja

Vršna opterećenja su računata kao i kod kućanstava po Ruskovoj formuli, s tim da je vršno opterećenje jednog potrošača uzeto $P_{v1} = 2\ P_{vlkuć}$

Tablica 16. Vršno opterećenje grupe kućanstava

RO	P_{vl} kW	P_v TS 10/0,4 kW	Upotrebno vrijeme vršnog opterećenja	
			na razini kućanst.	na razini TS
Osijek	3,86	108,19	647	2 311
Gospić	3,05	51,08	300	971
Pula	3,95	72,42	583	1 925
Rijeka	4,62	117,66	581	2 040
Split	4,12	108,82	461	1 631
Karlovac	3,42	83,13	501	1 745
Sisak	3,41	75,29	563	1 928
Zagreb	4,07	126,48	503	1 828
SRH	4,00	107,72	539	1 913

Javna rasvjeta

Opterećenje od javne rasvjete računato je na temelju sljedeće pretpostavke: $365 \cdot 5 \cdot P_v + 365 \cdot 6 \cdot P_v/2 = E$, a odatle $P_v = E/2\,920$.

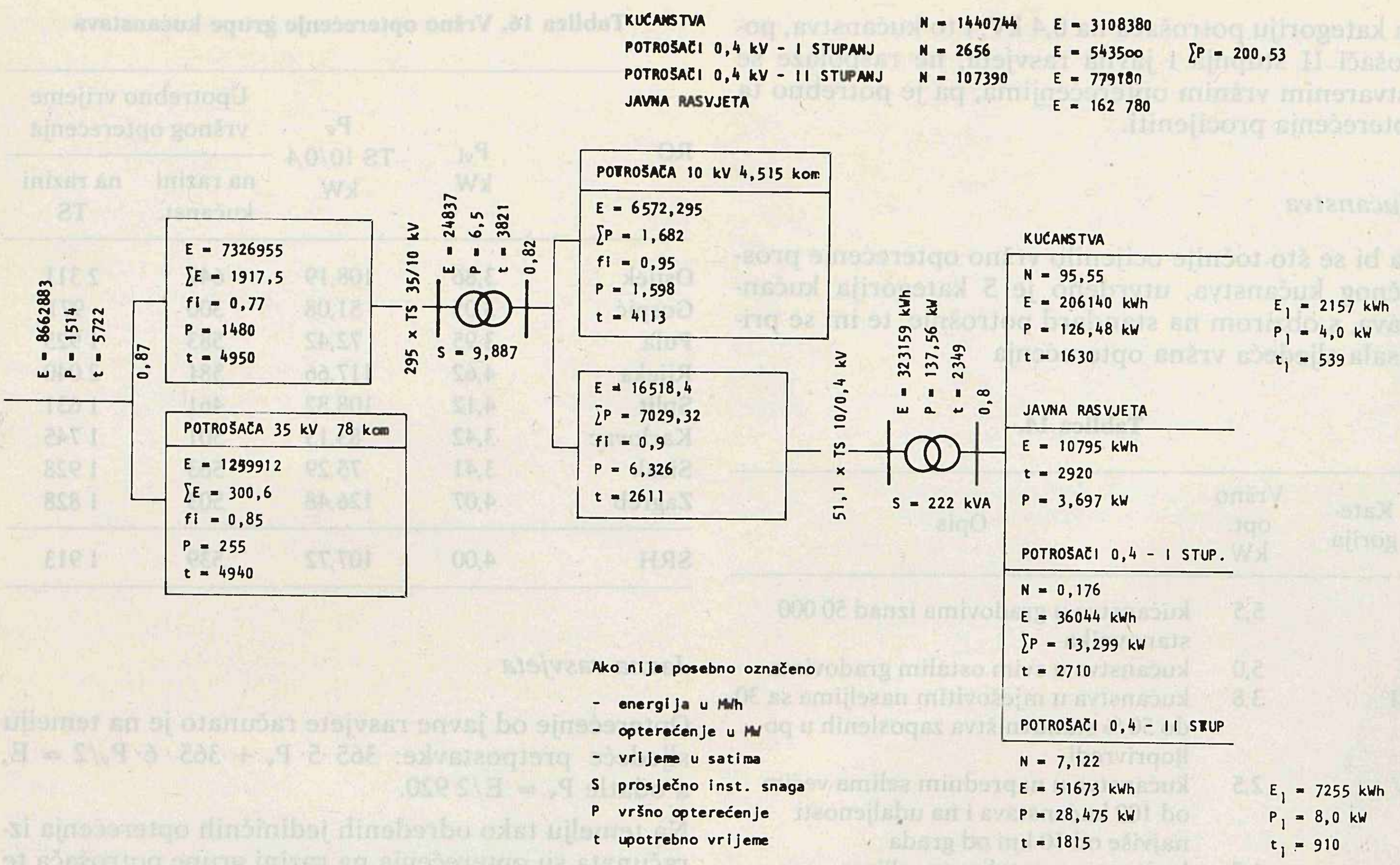
Na temelju tako određenih jediničnih opterećenja izračunata su opterećenja na razini grupe potrošača te napokon vršno pterećenje TS 10/0,4 kV.

Tablica 17. Vršno opterećenje TS 10(20)/0,4 kV

RO	Vršno opterećenje grupe potrošača				P_v TS (kW)	Energija (MWh)	Vrijeme vršnog opterećenja t_v (h)
	kućanstvo (kW)	javna rasvjeta (kW)	I stupanj (kW)	II stupanj (kW)			
Osijek	108,19	4,177	5,289	26,13	126,53	333,85	2 638
Gospić	49,40	0,661	4,082	14,24	58,46	89,85	1 537
Pula	72,42	2,552	8,028	25,12	95,15	220,15	2 314
Rijeka	117,66	4,258	7,550	34,923	144,66	385,42	2 664
Split	108,83	2,668	13,442	25,47	132,36	312,92	2 357
Karlovac	83,13	2,857	5,155	21,6	99	214,98	2 167
Sisak	75,62	2,91	9,777	20,118	95,15	229,14	2 408
Zagreb	126,48	4,771	22,0	33,984	164,77	385,93	2 342
SRH	126,48	3,697	13,299	28,475	137,56	323,16	2 349

Sad se moglo prići određivanju vršnih opterećenja TS 35/10 kV. Procjenom faktora istodobnosti za istovrsne grupe potrošača i među grupama različitih potrošača gradio se tok energije i snage tako da se dobije poznato vršno opterećenje radne organizacije. Na sl. 1. prikazana je prosječna mreža distribucije SRH s tako građenim tokovima snage.

Dakako da bi računanje s mjerenim vršnim opterećenjima TS 35/10 kV omogućilo pouzdaniji proračun. No, u doba postavljanja metode bio je istaknut izričit zahtjev da se operira samo podacima koji se službeno evidentiraju.



Slika 1. Uprosječena mreža distribucije SR Hrvatske za 1980. god.

Tablica 18. Vršno opterećenje TS 35/10 kV

RO	Vršno opterećenje grupe potrošača: TS 10/0,4	Potr. 10 kV	P_{vTS} (MW)	Energija (MWh)	Vrijeme vršnog opterećenja t_v (h)
Osijek	5 876	1 727	7,223	23 640	3 547
Gospić	1 764	504	1,928	6 220	3 227
Pula	4 222	1 498	5,322	17 926	3 368
Rijeka	5 121	1 497	6,287	22 315	3 550
Split	5 742	1 311	6,700	21 917	3 271
Karlovac	5 596	1 718	5,486	23 613	4 305
Sisak	6 087	1 072	6,700	31 053	4 628
Zagreb	7 408	1 939	8,226	31 129	3 784
SRH	6 326	1 598	6,500	24 837	3 821

Sada raspolažemo svim potrebnim podacima za ocjenu iskoristivosti transformacije. U tu svrhu provodi se sljedeći račun

1. računa se odnos vršnog opterećenja i prosječne instalirane snage $f_s = P_v/PS$,
2. iz poznate energije kroz transformaciju i vršnog opterećenja računa se $t_v = E/P_v$,
3. ostvareno iskorištenje transformacije dobije se kao $ITR = E/S = f_s \cdot t_v$,
4. moguće optimalno iskorištenje transformacije, uz ostvareno upotrebno vrijeme vršnog opterećenja t_v, dobije se množenjem tog vremena sa maksimalnim f_s koji odgovara određenom stupnju rezerve u transformaciji, tj.

$ITR = 0{,}42\ t_v \cdots\cdots$ za 50 % rezerve
$ITR = 0{,}66\ t_v \cdots\cdots$ za 30 % rezerve
$ITR = 0{,}74\ t_v \cdots\cdots$ za 10 % rezerve
$ITR = 0{,}82\ t_v \cdots\cdots$ za 0 % rezerve.

Podaci iz tabl. 19. upućuju na sljedeće bitne značajke postojećeg stanja transformacije:

1. Transformacija 10/0,4 kV u povoljnijem je položaju od transformacije 35/10 kV koja je u prosjeku SRH na granici 20 % rezerve, pa bi tu transformaciju trebalo ubrzano graditi.
2. Za ostvarenje 50 % rezerve u transformaciji 35/10 kV trebalo bi ostvariti znatno brži rast snage transformacije od rasta energije.
3. U stanjima obje transformacije bitne su razlike među radnim organizacijama, pa bi daljnji razvoj trebao biti diferentan.

3.2. Ciljevi razvoja

Zbog ograničenosti prostora neće se u ovom primjeru prikazati razvoj po radnim organizacijama, već će se proračun pokazati na globalnom razvoju distribucije Hrvatske.

Prema podacima iz tabl. 19. koji se odnose na SRH vidljivo je da je transformacija 10/0,4 približno u stanju 20 % rezerve, pa će se kao cilj zadati da se do

Tablica 19. Iskoristivost transformacije u 1980. god.

	Transformacija 10(20)/0,4 kV							Transformacija 35/10 kV					
					Promjena ITR2 je za maksimalni f_s uz ostvarene PS2 i t_v i uz rezervu od:							Promjena ITR1 je za maksimalni f_s uz ostvarene PS1 i t_v i uz rezervu od:	
	f_s	t_v	ITR2	PS_2 kVA	20 %	10 %	0 %	f_s	t_v	ITR1	PS1 kVA	50 %	20 %
Osijek	0,636	2 638	1677	199	+3,8	+16,4	+28,9	0,711	3 547	2 522	10 159	−41	+7,2
Gospić	0,536	1 537	824	109	+23,1	+38	+52,9	0,588	3 227	1 898	3 277	−28,6	+12,2
Pula	0,656	2 314	1519	145	+0,6	+12,8	+25	0,66	3 368	2 222	8 067	−36,3	0
Rijeka	0,621	2 664	1654	233	+6,3	+19,2	+32,1	0,709	3 550	2 517	8 867	−40,8	−6,9
Split	0,588	2 357	1387	225	+12,2	+25,8	+39,4	0,628	3 271	2 055	10 662	−33,2	+5,0
Karlovac	0,786	2 167	1703	126	−16,2	−6,0	+4,1	0,849	4 305	3 654	6 464	−50,5	−22,2
Sisak	0,827	2 408	1993	115	−20,2	−10,6	+0,9	0,608	4 628	2 814	11 014	−31	+8,4
Zagreb	0,574	2 342	1345	287	+14,9	+28,9	+42,8	0,733	3 784	2 774	11 220	−42,7	−10,0
SRH	0,62	2 349	1455	222	+6,5	+19,4	+32,3	0,657	3 821	2 510	9 887	−36,1	+0,4

1985. god. održi postignuta vrijednost iskoristivosti ITR2 = 1 430.

Za osiguranje 50 % rezerve u transformaciji 35/10 kV potrebno je iskoristivost ove transformacije sniziti za 36,1 %. To sniženje nije moguće u okviru jednog petogodišta jer bi to zahtijevalo izuzetno brz rast, odnosno velik godišnji prirast ove transforamcije. Postavimo stoga kao cilj da se razvoj ove transformacije odvija tako da se u 2010. godini postigne željena rezerva od 50 %, tj. ITR1 = 1 603 u 2010. god.

Prosječna snaga transformacije 35/10 kV od postignutih 9,887 MVA u 1980. god. neka do 1985. god. poraste na PS1 = 10,3 MVA. Ostale karakteristične veličine mreže 35 i 10 kV neka se razvijaju prema zakonitostima dosadašnjeg razvoja. Prosječna dužina mreže 0,4 kV po jednoj TS 10/0,4 kV neka opada tako da se u 1995. god. postigne PMR3 = 2,5 km. Udio kabelske izvedbe u mreži 0,4 kV neka raste tako da u 1985. god. postigne vrijednost od KB3 % = 15,2.

3.3. Energija

Energija kroz transformaciju 35/10 kV – E1 i 10/0,4 kV – E2 uzeta je prema reduciranom »planu nabave, proizvodnje i prodaje električne energije u distribuciji Hrvatske« ukojem su godine 1981. i 1982. uzete prema ostvarenju ovećanom za redukcije (ađustirano ostvarenje). Struktura potrošnje za 1984. i 1985. god. određena je prema prosječnom učešću pojedine kategorije u prve tri godine, pri čemu je računato s ađustiranim ostvarenjima u prve tri godine plana i planiranom strukturom u 1983. godini.

3.4. Cijene izgradnje

Orijentacijske prosječne cijene izvedene su na temelju podataka prikupljenih od radnih organizacija i kategorizacije preporučene od stručne službe ZEOH.

3.5. Rezultati proračuna

Na priloženim izlaznim listama (458. str.) prikazani su rezultati proračuna za zadane energije i cljeve razvoja, i to:

a) veličine distributivne mreže po strukturi i godinama do kraja 1985. god.,

b) promjene karakterističnih veličina za iste godine,

c) tablični pregled prirasta elemenata mreže po godinama od 1981. do 1985. god. s ukupnom cijenom izgradnje od 1981. do 1985, te s izdvojenim veličinama i troškovima izgradnje u zadnje tri godine petogodišta.

LITERATURA

[1] R. Planić: *Nalazi o investiranju u elektroenergetiku* — ZEOH 1975.
Relativni udjeli ulaganja u proizvodnju, prijenos i raspodjelu električne energije — ZEOH 1976.

[2] ZEOH Godišnjak elektroprivrede Hrvatske za god. 1970. i 1980.

[3] Institut za elektroprivredu Banka podataka distributivne djelatnosti (elektroničko računalo Instituta za elektrop.)

[4] D. Baldasari: *Metoda za utvrđivanje naturalnih veličina potrebnih ulaganja za izradu programa razvoja elektrodistributivnih postrojenja* Institut za elektroprivredu, 1979. god.

9000 ZEOH ZAGREB OBRADJENO: 23. 6.83 09:29

VELIČINE U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI PO STRUKTURI I GODINAMA

	MR1 KM	KB1 KM	DV1 KM	TS1 KOM	S1 MVA	MR2 KM	KB2 KM	DV2 KM	TS2 KOM	S2 MVA
1977	3881.7	441.8	3439.8	259.	2249.6	20836.2	2600.7	18235.5	12907.	2772.5
1978	3975.0	469.9	3505.1	270.	2389.5	21689.8	2868.1	18821.6	13695.	2972.7
1979	4148.8	511.4	3637.4	279.	2517.7	22240.9	3093.2	19147.8	14275.	3156.1
1980	4243.9	549.1	3695.4	295.	2716.6	23249.0	3353.0	19896.0	15095.	3352.4
1981	4348.9	570.0	3779.5	311.	3100.1	23952.4	3614.4	20338.1	15775.	3543.7
1982	4381.1	579.7	3801.4	319.	3207.8	24831.8	3843.4	20991.4	16441.	3749.2
1983	4512.3	609.5	3902.9	335.	3353.1	25345.3	4065.7	21279.6	16505.	3811.5
1984	4611.4	635.8	3975.6	350.	3540.9	26043.5	4329.9	21713.6	16923.	3957.5
1985	4728.3	665.5	4062.8	366.	3770.9	26902.9	4635.8	22267.1	17476.	4138.5

	MR3 KM	KB3 KM	DV3 KM	F1 MWH	F2 MWH
1977	42051.9	4650.5	37401.4	5797175.	3847042.
1978	43535.4	4989.2	38546.2	6313219.	4173878.
1979	44753.8	5217.7	39536.1	6744373.	4520159.
1980	46745.0	5787.1	40957.9	7326955.	4872914.
1981	47840.9	6363.1	41477.8	7663950.	5084713.
1982	48761.3	6689.4	42072.8	8029995.	5361961.
1983	48833.0	6868.4	41964.6	8147708.	5446967.
1984	49371.7	7218.8	42152.9	8493987.	5657399.
1985	50273.5	7641.6	42631.9	8884800.	5918025.

KARAKTERISTIČNE POMOĆNE VELIČINE

ZADANI SU SLIJEDEĆI CILJEVI:

TTR1	MWH/MVA	2010	1603.000
PS1	MVA/TS1	1985	10.300
ITR2	MWH/MVA	1985	1430.000
PMR3	KM/TS2	1995	2.500
KB3%	%	1985	15.200

	TTR1 MWH/MVA	PS1 MVA/TS1	PMR1 KM/TS1	KB1% %	ITR2 MWH/MVA	PS2 MVA/TS2	PMR21 KM/TS1	PMR22 KM/TS2	KB2% %	PMR3 KM/TS2	KB3% %	S2/S1	TS2/TS1
1977	2577.0	8.686	14.99	11.38	1387.6	0.215	80.45	1.614	12.48	3.258	11.06	1.23	49.8
1978	2642.1	8.850	14.72	11.82	1404.1	0.217	80.33	1.584	13.22	3.170	11.46	1.24	50.7
1979	2678.8	9.024	14.87	12.33	1432.2	0.221	79.72	1.558	13.91	3.135	11.66	1.25	51.2
1980	2512.2	9.887	14.39	12.94	1453.6	0.222	78.81	1.540	14.42	3.097	12.38	1.15	51.2
1981	2472.2	9.968	13.98	13.11	1434.9	0.225	77.02	1.518	15.09	3.033	13.30	1.14	50.7
1982	2503.3	10.056	13.73	13.23	1430.1	0.228	77.84	1.510	15.48	2.966	13.72	1.17	51.5
1983	2429.9	9.998	13.46	13.51	1429.1	0.231	77.57	1.495	16.04	2.950	14.07	1.14	49.2
1984	2392.8	10.148	13.18	13.79	1429.5	0.234	77.29	1.480	16.63	2.917	14.42	1.11	48.4
1985	2356.2	10.300	12.92	14.08	1430.0	0.237	77.03	1.465	17.23	2.877	15.20	1.10	47.7

9000 ZEOH ZAGREB OBRADJENO: 23. 6.83 09:28

PRIRAST MREŽE U PLANU 1981 - 1985

		1981	1982	1983	1984	1985	PR81-85	CIJENA	TR81-85	PR83-85	TR83-85
MR1	KM	105	32	131	90	117	484				
KB1	KM	21	10	29	27	30	117	4.909	574.353	86	422.174
DV1	KM	84	22	102	73	87	368	3.004	1105.472	262	787.048
TS1	KOM	16	8	16	15	16	71				
S1	MVA	183	108	145	197	221	854	5.880	5021.520	563	3310.440
MR2	KM	703	880	513	698	860	3654				
KB2	KM	261	229	223	264	306	1283	2.716	3484.628	793	2153.788
DV2	KM	442	653	289	434	553	2371	1.461	3464.031	1276	1864.236
TS2	KOM	680	666	64	418	553	2381				
S2	MVA	192	205	63	146	180	786	3.786	2975.796	380	1472.754
MR3	KM	1096	920	72	539	901	3529				
KB3	KM	576	326	179	351	423	1855	1.935	3589.425	953	1844.055
DV3	KM	520	595	-108	188	479	1674	1.290	2159.460	550	721.110
F1	MWH	336995	366045	117713	346270	390813	1557845				
F2	MWH	211799	277248	85006	210432	260626	1045111				
								TEHNIČKI LIMIT:	22474.685		12575.605

JEDINIČNE CIJENE SU U: 10**6 DIN

[5] R. Schenner: *Metoda prognoziranja potrošnje električne energije i snage u distribuciji SRH — ukupno, po strukturi i mjestu nabave* — Institut za elektroprivredu, 1981.

[6] R. Schenner: *Metoda analize globalnog konzuma na nivou elektrodistributivne mreže* — Institut za elektroprivredu, 1979.

[7] Ž. Rajić, R. Schenner: *Optimiranje izgrađenosti pokrajinskih i gradskih električnih mreža ovisno o veličini i strukturi distributivnog konzuma* — Institut za elektroprivredu, 1983.

[8] ZEOH *Ostvarenje nabave, proizvodnje i prodaje električne energije ukupno i po radnim organizacijama distribucije Hrvatske*

KEY WORDS: PLANING OF DISTRIBUTION NET, POWER OF TRANSFORMATION, INVESTMENT IN NET

PLANING OF GENERAL DISTRIBUTION NET EXPANSION REGARDING PREDICTION OF ELECTRIC POWER DEMAND

In the article is presented a method for planing of general distribution net expansion, with description of main parameters of up–to day development. Method for planing regarding prediction of electric power demand with an example of calculation for net expansion in last 3 lyears of period 1981 — 1985 is described as well.

PLANUNG DER ALLGEMEINENTWICKLUNG DES VERSORGUNGSNETZES MIT BERCKSICHTIGUNG DER SCHÄTZUNG DES ZUKÜnftigen stromverbrauchs

Behandelt werden Fragen und die Methodologie der globalen Planung der Vergrösserung von elektrischen Überlandnetzen. Gleishzeitig wird erertört die Entwicklung der wichtigsten Kennwerte des bisherigen Wachstums von Fernleitungsnetzen mit nachfolgender Beschreibund der Planungsmethode anhand der Prognostizierung des zukünftigen elektrischen Energieverbrauchs. Abschliessend wird gezeigt die Anwendung dieser Methode am Beispiel der Wachstumberechnung des elektrischen Verteilungsnetzes innerhalb der letzten 3 Jahre des Planungszeitraums 1981 — 1985.

ПЛАНИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО РОСТА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ, УЧИТЫВАЯ ПРОГНОЗИРОВАННОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Излагается проблематика и методика планированиа глобального роста распределительной электросети. Также излагается развитие основных показателей предшествовашего развития распредсети. Описывается метод планирования на основании прогноза потребления электроэнергии. В заключение показано применение метода при расчете роста распределительной электросети за последних 3 года планового периода с 1981 по 1985 г.

Naslov pisca:

Dasenko Baldasari, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukopis
1983–07–23.

STANJE I PERSPEKTIVE RAZVOJA ENERGETSKE OPSKRBE ZAGREBA

Dr Duško Čorak, Zagreb

UDK 620.92
ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Iznose se osnovne značajke dosadašnjeg razvoja energetske opskrbe Zagreba te analizira današnje stanje zadovoljavanja potreba u energiji kod konačnih korisnika. Dani su podaci potrebni za optimalizaciju strukture energetske opskrbe promatranog područja: ciljevi i parametri razvoja Zagreba do 2000. godine, podaci o raspoloživosti energetskih oblika u svijetu i u nas, ograničenja prisutna kod energetske opskrbe, te prognoze energetskih potreba pojednih skupina korisnika u Zagrebu do kraja stoljeća. Usmjeravanje energetske opskrbe k najpovoljnijoj strukturi izvršeno je prema kriteriju minimalnih ukupnih troškova. Budući da ova optimalna struktura predstavlja cilj kojem treba težiti, navedene su mjere koje bi trebalo poduzeti u energetskoj politici da se taj cilj ostvari.

Ključne riječi: Zagreb, energetska opskrba.



DUŠKO ČORAK

UVOĐ

U sklopu ukupnih aktivnosti na dugoročnom programu razvoja grada Zagreba, a na osnovi utvrđenog programa rada i aktivnosti Odbora Izvršnog vijeća Skupštine grada Zagreba za dugoročno planiranje razvoja Zagreba, pristupilo se aktivnostima i izradi samostalnog programa istraživanja: »Usmjeravanje opskrbe energijom grada i područja Zagreba do 2000. godine«.

Zadatak istraživanja bio je da se sveobuhvatno sagleda razvoj energetske opskrbe u proteklom razdoblju (1961 – 1978. god.) i da na osnovi sagledavanja razvoja grada i područja Zagreba do 2000. god. (teritorijalni obuhvat 15 općina, 1876,8 km²), odnosa u energetskoj privredi Republike, zemlje i svijeta utvrde osnovni elementi na osnivi kojih treba usmjeravati energetsku opskrbu na promatranom području.

Važno je istaći da se u vremenskom obuhvatu promatranja razvoja energetske opskrbe nalaze dva posebno značajna događaja koji su imali i imat će utjecaja na razvoj i odnose u energetskoj privredi svake zemlje te svijeta u cjelini.

Prvi se zbio krajem 1973. god. i početkom 1974. god., a poznat je kao »svjetska energetska kriza«. Tim događajem došlo je do temeljitog zaokreta u pogledu načina formiranja cijena energetskih sirovina. Do 1973. god. troškovni princip kod pridobivanja energetskih oblika činio je temelj za utvrđivanje cijene pojedinog energetskog oblika. Posljedica takvog pristupa dovela je do toga da je nafta s plinom sudjelovala sa 2/3 u zadovoljavanju ukupnih energetskih potreba u svijetu (samo nafta 55 %). Nasuprot tome, stanje geoloških rezervi obrnuto je razmjerno načinu do tada korištenih primarnih oblika energije. Geološke rezerve svih ugljikovodika (nafta + plin + uljni škriljevci + bituminozni pijesak) čine svega 1/6 ukupnih geoloških energetskih rezervi. Navedenim događajem cijena nafte učetverostručila se u odnosu na cijenu prije tog razdoblja.

Drugi događaj zbio se potkraj 1979. god., kad je cijena sirove nafte od 12 — 15 $/bbl povećana na 35 — 40 $/bbl. Tim povećanjem pojedini energetski oblici, posebno ugljen, postali su veoma atraktivni za upotrebu, čak i u uvjetima njegove transformacije u električnu energiju i plin. Navedena cijena dovela je do toga da je proizvodnja nafte iz nekonvencionalnih oblika (uljni škriljevci i bituminozni pijesak) postala ekonomična.

Posljedica navedenih događaja za razvoj energetske privrede može se ovako okarakterizirati:

— zaustavljen je visok rast potrošnje nafte
— najveći broj zemalja u svijetu preispituje vlastitu strategiju energetskog razvoja i orijentira se na vlastite energetske izvore, u prvom redu ugljen
— visokorazvijene zemlje značajni dio potrošnje nafte, korišten za proizvodnju el. energije, nastojat će supstituirati korištenjem urana.

Navedeni događaji svakako utječu i na dugoročno strukturiranje energetske opskrbe naše zemlje u cjelini. Ovo utoliko više što Jugoslavija, dugoročno gledano, ne može zadovoljavati svoje potrebe iz vlastitih izvora, pa se može reći da je ovisna o uvozu energetskih oblika.

Velika urbana područja poput Zagreba osjetljiva su na strukturu korištenja energetskih oblika s obzirom

na visoku koncentraciju potreba, te zahtjeva u pogledu kvalitete upotrebljene energije, pa je u tom smislu potrebno osigurati:

— korištenje energetskih oblika koji mogu ispuniti zahtjeve u pogledu održavanja kvalitete okoline
— korištenje energetskih oblika i načina zadovoljavanja potreba krajnjeg korisnika koji omogućuju fleksibilnost s obzirom na moguće promjene
— korištenje oblika energije i transformacija koji privredi grada omogućuju konkurentnost u međunarodnoj podjeli rada.

Razvoj energetske infrastrukture do 1973. godine odvijao se u skladu sa svjetskim kretanjima u pogledu supstitucije krutog goriva naftom i plinom u svim sektorima potrošnje. Nakon energetske krize došlo je u visokorazvijenim zemljama svijeta do usporavanja ili pada potrošnje nafte i plina, što nije bio slučaj u Jugoslaviji niti na području Zagreba. Tek uvođenjem administrativnih mjera saveznog organa 1980. i 1981. godine nastojala se, sa znatnim zakašnjenjem u odnosu na svijet, potaknuti suptistucija, u prvom redu nafte, drugim oblicima energije. S obzirom na inertnost energetske infrastrukture u cjelini na promjene koje nisu unaprijed predviđene, što je slučaj i sa zagrebačkom infrastrukturom, ne može se očekivati da se mogu postići bilo kakvi kratkoročni efekti. Neke promjene u odnosu na ostvareno mogu se postići tek nakon 5 — 7 godina.

Energetska privreda je više od ostalih predodređena na dugoročnost planiranja, sagledavanja i usmjeravanja, pri čemu se razdoblje od 15 i 20 godina gotovo i ne može smatrati dugoročnim. Pogrešno je bilo shvatiti da jednom zacrtana dugoročna energetska politika ostaje nepromijenjena u tom razdoblju. Naprotiv, nju treba novelirati, prilagođavati prema kretanjima političkih i privrednih prilika u svijetu. Izrada dugoročne energetske politike je složen zadatak, jer osim sagledavanja svih relevantnih utjecaja prisutan je i pluralitet interesa raznih nosilaca energetske aktivnosti koji mogu biti na lokalnom, regionalnom i republičkom nivou. Nerijetko je vlastita dobit, a ne interes cijele zajednice osnovni motiv djelovanja nosilaca energetske aktivnosti. Pri optimiranju dugoročne energetske opskrbe nužno je pojedinačne interese sagledati jedino u njihovom ukupnom doprinosu cjelokupnom društvenom i privrednom razvoju.

Na isprepletenost uzajamnih veza društvenog, ekonomskog i tehničkog razvoja te prirodnih uvjeta određene sredine s energetskom opskrbom nije potrebno posebno upozoravati. Stoga je jasno da određeni energetski oblik i način energetske opskrbe ne nalazi određeno mjesto u energetskoj opskrbi samo zbog kvaliteta sui generis, već njegovo mjesto određuje cjelokupnost niza faktora. Osnovni faktori koji djeluju na optimalno usmjeravanje energetske opskrbe grada i područja grada jesu:

— društveno uređenje
— geografske i klimatske značajke
— društveno-ekonomski razvoj grada i područja grada
— dosadašnja energetska opskrba te postojeće stanje energetske opskrbe grada i područja grada
— primarni izvori energije u svijetu, zemlji te bližoj i daljoj okolici
— tehnički i energetski razvoj u zemlji i svijetu
— ekonomija dobave i korištenja energije
— ekološke značajke razvoja
— neizvjesnost imanentna budućnosti.

Navedeni redoslijed pojedinih utjecajnih faktora ne predstavlja i njihov rang po značenju. Svaki od njih u određenim okolnostima može odlučujuće djelovati na dugoročno usmjeravanje energetske opskrbe. Zbog toga je posebno vrijedno da se kod istraživanja ovakove vrste što veći broj faktora kvantitativno obuhvati putem matematičkih varijabli kako bi se mogao utvrditi pojedini utjecaj na ukupnu ekonomiju opskrbe i inertnost rješenja energetske opskrbe.

Rezultati istraživanja na početku spomenutom programu u pogledu osnovnih značajki energetske opskrbe grada i područja Zagreba u proteklom razdoblju (1961 — 1978. god.), osnovne značajke razvoja energetskih potreba i, na kraju, mogućnost i rješenja u pogledu načina zadovoljenja energetskih potreba do 2000. god. prikazat će se u nastavku.

KORIŠTENJE ENERGETSKIH OBLIKA U RAZDOBLJU 1961 — 1978. GOD.

U prikazu korištenja energetskih oblika, zbog ranijih teritorijalnih podjela grada, obuhvaćeno je 13 gradskih općina (Samobor i Dugo Selo nisu uključeni).

Na području 13 gradskih općina bruto raspoloživa energija za energetske svrhe u razdoblju 1961 — 1978. god. iznosila je:

— 1961. god. — $20{,}387 \cdot 10^{15}$ J ($0{,}70 \cdot 10^{6}$ t eu — ekvival. ugljen)
— 1969. god. — $38{,}142 \cdot 10^{15}$ J ($1{,}30 \cdot 10^{6}$ t eu)
— 1978. god. — $56{,}856 \cdot 10^{15}$ J ($1{,}94 \cdot 10^{6}$ t eu)

Prosječna godišnja stopa rasta bruto raspoložive energije u cjelokupnom razdoblju 1961/1978. god. iznosila je 6,22 %, dok je u razdoblju 1961/1969. god. iznosila 8,14 %, a u razdoblju 1969/1978. god. 4,54 %.

Struktura korištenja energetskih oblika u bruto raspoloživoj energiji u promatranom razdoblju znatno se promijenila u korist povećanog učešća nafte i plina, i to u prvom redu na račun smanjenja udjela ugljena:

/ % /

Energetski oblik	1961.	1969.	1978. g.
ugljen + drvo	77,39	33,68	12,36
derivati nafte	9,97	42,48	51,66
plin	4,82	12,91	25,79
el. energija uvezena u zagrebačko područje	7,82	8,62	7,81
industrijski otpad	—	2,31	2,38

U proteklom razdoblju najveću godišnju stopu rasta bilježi plin — 16,20 % u periodu 1961/1978., odnosno 22,33 % u perjodu 1961/1969. god. i 12,89 % u periodu 1969/1978. god. Kapljeviti naftni derivati imali su neznatno sporiji rast od plina u razdoblju 1961/1978. — 16,00 %, odnosno u razdoblju 1961/1969. — 29,63 % i u periodu 1969/1978. — 6,83 %. U istom razdoblju 1961/1978. smanjivao se udio ugljena i drva po prosječnoj godišnjoj stopi od 4,91 %.

Energija predana korisnicima na području 13 gradskih općina u razdoblju 1961/1978. god. iznosila je:

— 1961. god. — $19{,}348 \cdot 10^{15}$ J ($0{,}66 \cdot 10^{6}$ t eu)
— 1969. god. — $35{,}142 \cdot 10^{15}$ J ($1{,}20 \cdot 10^{6}$ t eu)
— 1978. god. — $51{,}654 \cdot 10^{15}$ J ($1{,}76 \cdot 10^{6}$ t eu)

Prosječna stopa rasta energije predane korisnicima u razdoblju 1961/1978. god. iznosila je 5,95 %, odnosno u razdoblju 1961/1969. god. — 7,75 %, a u 1969/1978. god 4,37 %.

Energija predana korisnicima po stanovniku u razdoblju 1961/1978. god. iznosila je

— 1961. god. 1,26 t eu
— 1969. god. 1,83 t eu
— 1978. god. 2,11 t eu

Prosječna stopa rasta u razdoblju 1961/1978. iznosila je 3,08 %, odnosno 1961/1969. — 4,69 %, a u razdoblju 1969/1978. — 1,65 %.

Usporedi li se energija predana korisnicima po stanovniku u Zagrebu u 1978. god. s ostvarenjem u SAD i Evropi, proizlazi da je u Zagrebu bila 5,5 puta manja nego u SAD, a 2,5 puta manja nego u Evropi.

Od ukupne energije predane korisnicima u 1978. god. opća potrošnja je koristila 45,62 %, industrija 31,03 %, a promet 23,35 %. Ta struktura u cijelom razdoblju 1961/1978. nije se znatnije mijenjala (opća potrošnja 43,69 %, industrija 33,72 % i 22,59 % kod prometa).

Rast energije predane korisnicima u razdoblju 1961/1978. u pojedinim sektorima bio je različit:

/ % /

	1961/1969.	1969/1978.	1961/1978.
Opća potrošnja	6,77	5,12	6,90
Industrija	10,35	3,13	6,47
Promet	6,01	4,99	5,47

Struktura korištenja energije u pojedinim sektorima u razdoblju 1961/1978. god. znatno se promijenila u korist korištenja čistijih oblika energije. Struktura energije predane korisnicima u 1978. god. po pojedinim sektorima bila je:

	Opća potrošnja	Industrija	Promet
Drvo + ugljen	27,88	0,82	0,11
Kapljeviti derivati nafte	24,28	21,68	98,34
Plin	19,92	17,35	0,34
Toplina u vreloj vodi ili pari	14,03	48,30	—
El. energija	13,90	11,85	1,21

Način na koji se zadovoljavaju energetske potrebe kod krajnjih korisnika

Iz utvrđenih podataka o bruto raspoloživoj energiji privedenoj u područje grada za zadovoljenje potreba i strukture energije predane korisnicima u pojedinim sektorima ne mogu se donostiti kvalitetni zaključci u pogledu načina zadovoljenja potreba krajnjih korisnika, nivoa zadovoljenja potreba te kvaliteti i vrsti uporijebljenih transformacija. Ako se u najkraćim crtama dade osvrt u pogledu načina zadovoljenja potreba i nivoa zadovoljenja potreba te neki kvantitativni podaci o postrojenjima za transformaciju u pojedinim sektorima, dobit će se potpunija slika o energetskoj opskrbi grada.

Od svih sektora opća potrošnja, s obzirom da se radi o takozvanim malim korisnicima, ima najrazličitije mogućnosti zadovoljenja svojih potreba. Za razliku od korisnika u industriji koji svoje potrebe zadovoljavaju na ukupnom potrebnom nivou, korisnici u općoj potrošnji mogu birati nivo zadovoljenja svojih potreba (misli se na korisnika u području stanovanja) ovisno o sposobnosti, odnosno spremnosti odvajanja dijela svog osobnog dohotka za naknadu troškova energetske opskrbe.

Na osnovi podataka dobivenih anketom za zadovoljenje potreba korisnika u općoj potrošnji bilo je na području grada (13 gradskih općina) u 1978 god.:

— 700 kućnih kotlovnica s ukupnom instaliranom toplinskom snagom postrojenja 450 MJ/s
— 8 blokovskih kotlovnica s instaliranom toplinskom snagom postrojenja 100 MJ/s
— 2 gradske toplane (TE–T0 i EL–TO) s ukupnom instaliranom snagom postrojenja za potrebe korisnika u općoj potrošnji 500 MJ/s.

Na području općina Samobor i Dugo Selo bila je 1 blokovska kotlovnica i 41 kućna kotlovnica s ukupno instaliranim kapacitetima 28,8 MJ/s.

Budući da energija potrebna za grijanje i pripremu potrošne tople vode čini više od 80 % ukupnih potreba korisnika u općoj potrošnji, to je način i nivo zadovoljenja ovih potreba posebno značajan.

Ako se korisnici u sektoru opće potrošnje s obzirom na način predaje topline za grijanje i pripremu potrošne tople vode svrstaju u dvije skupine:

a) centralizirani sistem (obuhvaća gradske toplane, blokovske i kućne kotlovnice),
b) etažni i pojedinačni,

tada je u 1978. god. učešće centraliziranog sistema opskrbe iznosilo 34,4 %, svedeno na ukupni broj ekvivalentnih stanova (stanovanje + zajednički sadržaji) kojih je na nivou 13 gradskih općina bilo 288 830. Preostalih 65,6 % ekvivalentnih stanova zadovoljavalo je svoje ogrjevne potrebe pojedinačnih ili etažnim sistemom. Usporede li se navedeni podaci sa stanjem iz 1964. god., kada je učešće centraliziranog sistema iznosilo 3,1 %, a etažnog i pojedinačnog 96,9 %, tada se uočava da je u razdoblju od 15 godina došlo do znatnih promjena. Sigurno je došlo i do promjena u odnosu etažno/pojedinačno u korist etažnog sistema, no, na žalost, kvalitetni podaci za takvu kvantifikaciju ne postoje.

Korisnici u sektoru opće potrošnje koji su priključeni na centralizirani sistem opskrbe zadovoljavali su svoje potrebe u ukupnom iznosu. Za korisnike izvan centraliziranog sistema opskrbe uštanovljeno je da su zadovoljavali u 1978. god. 77 % potreba u grijanju i 52 % u potrošnoj toploj vodi.

Potrošnja goriva po uvjetnom stanu kod korisnika u okviru centraliziranog toplinskog sistema iznosila je za grijanje 50,9 GJ/uvjetni stan i 10,2 GJ/uvjetni stan za potrošnu toplu vodu uz pretpostavku energetske raspodjele utroška goriva za dio proizvodnje topline koji dolazi iz proizvodnih jedinica spojnog procesa. Ako se primijeni eksergetska podjela, tada je potrošnja goriva bila manja i iznosila za grijanje 33,8 GJ/uvjet. stanu i 6,8 GJ/uvjet. stanu za potrošnu toplu vodu.

Kod korisnika izvan centraliziranog sistema za nivo zadovoljenja potreba od 77 % iznosila je za grijanje 58,5 GJ/uvjetni stan i 6,6 GJ/uvjetni stan za pripremu potrošne tople vode.

Na osnovi navedenih podataka proizlazi da je ukupni nivo zadovoljenja energetskih potreba korisnika u sektoru opće potrošnje bio visok (prosjek 79 %). Ukupna energija goriva koja se koristi kod korisnika izvan centraliziranog toplinskog sistema (CTS) znatno je veća iako za niži nivo zadovoljenja potreba (grijanje — 77 %, priprema potrošne tople vode — 52 %), u odnosu na korisnike u okviru CTS. Kod eksergetskih podjela goriva za proizvodnju topline iz spojnog procesa to povećanje iznosi 61,1 %, a kod energetske podjele goriva 5,8 %.

Kod korisnika u industriji od postrojenja za proizvodnju vrele vode i pare na nivou 13 gradskih općina bilo je u industrijskim energanama instalirano:

— za proizvodnju vrele vode	77 MJ/s
— za proizvodnju pare	650 t/h

Jedinični kapacitet vrelovodnih kotlova kretao se u području 0,12 do 8,0 MJ/s, a parnih kotlova od 0,27 do 100 t/h.

U okviru gradskih toplana za opskrbu industrijskih korisnika u 1978. god. bili su instalirani kapaciteti 253,4 MJ/s. Od ukupne energije u pari za industrijske korisnike gradske toplane proizvode oko 49 %.

OSNOVNE ZNAČAJKE DOSADAŠNJEG RAZVOJA GRADA

Na području 15 gradskih općina u 1978. god. živjelo je 885 000 stanovnika, odnosno na području 10 gradskih općina 695 000 stanovnika. Stopa rasta stanovništva na području grada u razdoblju 1900/1978. god. bila je uglavnom jednolika, prosječno je iznosila 2,54 %.

Stambeni fond u 1978. god. na nivou 10 gradskih općina iznosio je $11{,}8 \cdot 10^6$ m² za ukupno 225 756 stanova ili prosječno po stanu 52,2 m². U jednom stanu živjelo je 3,08 stanovnika. U razdoblju 1961/1978. god. ukupna stambena površina po stanovniku povećala se od 11,82 m² u 1961. god.na 16,96 m² u 1978. god.

Osim stambenog fonda na nivou 10 gradskih općina raspolagalo se s $3{,}2 \cdot 10^6$ m² zajedničkih sadržaja, što predstavlja 21 % od ukupnog građevinskog fonda ili 27,1 % od stambenog.

U ostalih 5 općina živjelo je 1978. god. 190 000 stanovnika u 56 600 stanova, čija površina je iznosila $3{,}2 \cdot 10^6$ m², odnosno 16,84 m² po stanovniku.

U razdoblju 1971/1978. god. na području 15 gradskih općina prosječno je građeno 8 100 stanova/god.

Industriju Zagreba u razdoblju 1961/1978. god. karakteriziraju oscilatorna kretanja u pogledu proizvodnje i zaostajanje rasta u odnosu na rast jugoslavenske industrije i industrije SRH. Rast industrijske proizvodnje zagrebačke industrije bio je niži u navedenom razdoblju za 1,2 % u odnosu na SFRJ i 0,03 % u odnosu na SRH. Udio industrije u društvenom proizvodu od 1961. do 1978. god. smanjio se od 56,1 na 34,2 %.

U prometu Zagreba bilo je 1978. god. zaposleno 9,1 % od ukupnog broja zaposlenih u privredi. U ovoj grani ostvareno je 9 % društvenog proizvoda privrede Zagreba.

CILJEVI I PARAMETRI RAZVOJA DO 2000. GOD.

Na osnovi podloga, projekcija i ciljeva dugoročnog razvoja Zagreba pretpostavljeno je da će demografsko-urbanistički razvoj grada imati sljedeće osnovne značajke razvoja:

Na kraju ovog stoljeća na području 15 gradskih općina živjet će 1 300 000 stanovnika u 418 000 stanova. Ukupni stambeni fond ocjenjuje se da će iznositi $28{,}9 \cdot 10^6$ m², dok će u okviru zajedničkih sadržaja biti ukupno $9{,}23 \cdot 10^6$ m². Prosječni rast broja stanovnika u razdoblju 1978/2000. god, iznosit će 1,76 %. Rast stambenog fonda pretpostavljen je s prosječnom godišnjom stopom od 2,19 %, što izraženo u broju stanova za koje se očekuje da će se prosječno graditi iz-

nosi oko 9 300 godišnje (od toga 1 430 stanova godišnje rušenja). Rast zajedničkih sadržaja pretpostavljen je s prosječnom godišnjom stopom od 4,64 %.

Privredna struktura grada u budućem procesu razvoja imat će tendenciju prestrukturiranja u korist razvoja proizvodnje s visokim stupnjem obrade i s većim učešćem visokostručnog rada.

Prosječna stopa rasta društvenog proizvoda ukupne privrede pretpostavljena je u razdoblju 1978/2000. god. 4,2 %, od čega u društvenog sektoru 4,3 % i privatnom sektoru 3,2 %.

Industrija u budućem razvoju zauzima dominantno mjesto u privredi Zagreba. Ocjenjuje se da će se industrijska proizvodnja Zagreba do 2000. god. povećati za 2,43 puta u odnosu na 1978. god., odnosno da će prosječna stopa rasta do 2000. god. iznositi 4,1 %.

RAZVOJ ENERGETSKE OPSKRBE

Zagrebačko područje raspolaže samo neznatnim količinama obnovljivih oblike energije. Od konvencionalnih obnovljivih izvora energije prisutne su na zagrebačkom području male količine ogrjevnog drveta, te mali hidropotencijal rijeke Save (iskoristivo oko 400 GWh/god.). U pogledu nekonvencionalnih obnovljivih oblika treba spomenuti energiju Sunčeva zračenja i energiju geotermalnih izvora.

Korištenje energije Sunčeva zračenja na zagrebačkom području s obzirom na broj sunčanih dana u toku godine, te odnose izravne i difuzione komponente u globalnom zračenju ekonomski je neopravdano.

Što se tiče energije geotermalnih izvora, analize pokazuju da je njezino korištenje konkurentno danas korištenim sistemima i načinu opskrbe. S obzirom na postojeće stanje istraženosti ovaj oblik energije može odigrati samo marginalnu ulogu u opskrbi zagrebačkog područja.

Zbog navedenog sirimaštva u pogledu energetskih izvora zagrebačko područje mora temeljiti svoju opskrbu na dobavi energetskih oblika (primarnih i transformiranih) iz drugih područja republike, SRH i zemlje u cjelini.

Osnovu energetske baze u Jugoslaviji čini ugljen koji u ukupnom bilančnim rezervama sudjeluje s 84 %. Ostali potencijali su raspoređeni ovako: hidropotencijal 11,5 %, nuklearna energija 2 %, nafta 1,4 % i prirodni plin 1,1 %.

Jugoslavija u svjetskom energetskom potencijalu sudjeluje sa 0,1 %, stanovništvu 0,6 %, a u korištenju sa 0,4 %, što znači da smo 6 puta po stanovniku siromašniji od prosjeka svijeta u cjelini, 17 puta od prosjeka industrijski razvijenih zemalja, 2 puta od prosjeka nerazvijenih zemalja u svijetu.

Iako su nam rezerve nafte i plina zaista skromne, ovi oblici energije sudjelovali su u energetskoj opskrbi 1977. god. s ukupno 54,3 % (nafta 49,1 %, a plin 5,2 %), a u 1980. god. s 55,0 %.

Domaćom proizvodnjom nafte, koja je iznosila 1978. god. $4{,}08 \cdot 10^6$ t (71 % u SRH i 29 % u SAP Vojvodini), zadovoljavali smo 26 % od ukupne potrošnje nafte. S vlastitom proizvodnjom prirodnog plina do 1978. god. (ostvarena proizvodnja $1{,}9 \cdot 10^9$ m³ — 50 % u SRH i 50 % u SAP Vojvodini) zadovoljavali smo ukupne potrebe. Od 1978. god. Jugoslavija je priključena na plinovod SSSR-a, pa je udio domaćeg plina znatno smanjen.

Prema nizu predviđanja može se očekivati da će proizvodnja nafte u Jugoslaviji neznatno rasti. Očekuje se da bi u 1990. god. proizvodnja mogla dosegnuti $4{,}7 \cdot 10^6$ t ($3{,}65 \cdot 10^6$ t u SRH), dok bi u 2000. god. mogla dosegnuti oko $6{,}0 \cdot 10^6$ t (najvećim dijelom u SRH).

Proizvodnja prirodnog plina u razdoblju do 2000. god. u najvećoj mjeri ovisit će o intenzitetu istraživanja u prvom redu u jadranskom podmorju. Prema određenim predviđanjima može se očekivati da bi proizvodnja prirodnog plina u 1990. god. mogla dosegnuti $5{,}6 \cdot 10^9$ m³ (SRH — $4{,}0 \cdot 10^9$ m³). Razvoj proizvodnje iza 1990. god. dosta je neizvjestan, no predviđa se da bi proizvodnja prirodnog plina mogla dosegnuti 7,2 do $9{,}7 \cdot 10^9$ m³ (SRH 6,2 — $8{,}7 \cdot 10^9$ m³).

Kakva je situacija u pogledu predviđanja proizvodnje u svijetu?

S obzirom na opća kretanja u energetskoj privredi svijeta od 1973. god., koja su imala tendenciju uspostavljanja takvih odnosa da se zaustavi rast potrošnje nafte na račun korištenja drugih oblika energije, u prvom redu ugljena, teško da se može dugoročno očekivati drugačiji trend. Moguće je da se u sklopu ukupnih privrednih kretanja u svijetu povremeno i naruši uspostavljeni odnos između cijena energetskih oblika iz 1979/1980. god., no malo je vjerojatno da bi dugoročno moglo doći do promjena opće energetske strategije i uspostavljanja odnosa od prije 1973. god.

Na osnovi navedenoga procjene razvoja proizvodnje nafte u svijetu do 2000. god. kreću se od nultog do rasta od 2 %, a proizvodnje plina od nultog rasta do rasta od 4 %. Ugljen u svim predviđanjima ima visoku stopu rasta, oko 5 %, pa se očekuje da će do 2000. godine od ukupnog porasta, 2/3 potreba biti zadovoljene s ugljenom.

U pogledu stanja rezervi primarnih oblika energije i mogućnosti zadovoljenja očekivanih potreba nema osnova očekivati energetsku krizu u smislu nemogućnosti zadovoljenja potreba. Dugoročno gledano stanje rezervi i očekivani tehnološki razvoj omogućuje čovječanstvu sigurnu energetsku opskrbu. Pri tome izbor oblika energije i vrstu transformacije treba usmjeravati u skladu s općim kretanjima u energetskoj privredi svijeta uvažavajući specifičnosti vlastite zemlje ili područja.

PROGNOZA ENERGETSKIH POTREBA NA ZAGREBAČKOM PODRUČJU DO 2000. GOD.

Na temelju očekivanih proporcija razvoja grada u pojedinim sektorima (opća potrošnja, industrija i pro-

met) do 2000. god., dio energetskih potreba za koji tek treba utvrditi potrebnu transformaciju utvrđen je u takozvanoj korisnoj energiji (neto-energija za korisnika), dok je preostali dio energije utvrđen u obliku koji se predaje korisnicima.

U sektoru opće potrošnje pretpostavljeno je da će svi korisnici u 2000. god. zadovoljavati 100 % ukupnih potreba u odnosu na 79 % ostvarenja u 1978. god. Pri tome je pravljena razlika u potrebama korisne energije za ogrjevne svrhe između korisnika koji će svoje potrebe zadovoljavati iz centraliziranog sistema ili pojedinačnih i etažnih sistema.

Uz pretpostavku da se sva energija potrebna za grijanje i pripremu potrošne tople vode predaje korisnicima u sektoru opće potrošnje u obliku vrele vode, tada će ukupne potrebe energije predane korisnicima u 2000. godini iznositi $105{,}94 \cdot 10^{15}$ J, što je praktično dvostruko više u odnosu na energiju predanu korisnicima u 1978. god. ($51{,}65 \cdot 10^{15}$ J).

Prosječna stopa rasta iznosila bi 3,25 %, ili po sektorima:

opća potrošnja	3,74 %
industrija	2,32 %
promet	3,21 %

NAČIN ZADOVOLJENJA ENERGETSKIH POTREBA U 2000. GOD.

Da bi se utvrdio optimalan način zadovoljenja energetskih potreba korisnika u 2000. god. na zagrebačkom području, korišteno je nekoliko matematičkih modela. Kao osnovni model za optimalizaciju energetske strukture korišten je model linearnog programiranja. Osim tog modela korišten je matematički model za utvrđivanje prizemne koncentracije štetnih sastojaka u atmosferi za promatrano rješenje energetske opskrbe, zatim model za optimalizaciju strukture u toplinskom i elektroenergetskom sistemu. Osim navedenih modela korišten je i niz drugih pomoćnih računskih programa. Radi optimalizacije energetske strukture prostorno područje grada (15 gradskih općina) podijeljeno je na 147 građevinskih i 85 industrijskih kaseta. Podjela je obavljena u skladu s urbanističkom podjelom, korigiranom s obzirom na homogenost i kvalitetu građenja u pojedinim građevinskim kasetama. Sve potrebe energije utvrđene su na nivou već definiranih građevinskih i industrijskih kaseta.

Da bi se utvrdila optimalna energetska struktura, upotrijebljen je kriterij minimum ukupnih troškova. Uz taj kriterij postavljena su ograničenja u pogledu korištenja energetskih oblika (donje ograničenje), raspoloživih energetskih oblika (gornje ograničenje), te ograničenje u pogledu kvalitete zraka koji se treba zadovoljiti u 2000. god.

Kod promatranja pojedinih tehničkih rješenja s kojima se može zadovoljiti pojedini tip potreba granice promatranja postavljene su tako da su obuhvaćeni svi sistemi opskrbe i troškovi od uključivo mjesta proizvodnje do uključivo mjesta predaje energije.

Svi troškovi investicija utvrđeni su na nivou cijena u 1980. godini.

Cijene za gorivo utvrđene su na nivou odnosa koji su uspostavljeni u svijetu početkom 1980. god., a dani su u tablici 1.

Ogrjevne vrijednosti i cijene nosilaca topline

Tablica 1. 1980. godine

Vrsta goriva	Donja ogrijevna vrijednost (kJ/kg)	Cijena $/t	1 $ = 30 dinara		Odnos	
			$ GJ	dinara/MJ		
1. sirova nafta 34°API	45 440	275,83	6,070	0,182	1	1,424
2. prirodni plin	35 170*	176,11*	5,008	0,152	0,825	1,175
3. teško lož-ulje	40 200	171,26	4,261	0,128	0,702	1
4. ekstralako lož-ulje	41 870	420,51	10,044	0,301	1,655	2,357
5. tekući plin (ukapljeni)	46 060	304,70	6,616	0,198	1,090	1,55
6. lignit za dom.	11 720	32,00[1]	2,730	0,082	0,450	0,641
7. m. ugljen za dom.	16 750	47,00[1]	2,806	0,084	0,462	0,659
8. uvozni ugljen (E.U.)	29 310	67,00[2]	2,286	0,069	0,377	0,536
9. gradski plin	16 120*	107,76*	6,685	0,201	1,101	1,569
10. drvo	9 000**	39,00**	4,334	0,130	0,714	1,017
11. lignit	10 050	27,00[3]	2,687	0,081	0,443	0,631
12. mrki ugljen	16.750	42,00[3]	2,508	0,075	0,413	0,589
13. uvozni ugljen	29 310	62,00[4]	2,115	0,063	0,349	0,496

* (kJ/Nm³) $/1 000 nM³
** (MJ/p.m) $/p.m.
[1] Cijena fco rudnik + 12 $/t transport do skladišta u gradu + 5 $/t transport do korisnika.
[2] Cijena fco istovareno u luci + 12 $/t transport do skladišta u gradu + 5 $/t transport do korisnika.
[3] Cijena fco rudnik + $/t do deponije ind. potrošača, TE ili TE-TO.
[4] Cijena fco istovareno u luci + 12 $/t do deponije ind. potrošača, TE ili TE-TO.

Za tako utvrđene troškove investicija, goriva i ostalih troškova pogona i rada, a za promatrana tehnička rješenja (za građevinsku kasetu promatrano je 936 kombinacija opskrbe) te uspostavljena ograničenja u pogledu raspoloživih količina pojedinih oblika energija proveden je opsežan proračun u svrhu traženja optimalnog rješenja energetske strukture.

U nedostatku odrednica u energetskoj politici zemlje u pogledu raspoloživih količina energetskih oblika za pojedine namjene, provedeno je nekoliko (5) varijanti ograničenja:

I varijanta

— količina prirodnog plina	$1{,}2 \cdot 10^9 m^3$/god.
maksimalni satni kapacitet	250 000 m^3/h
— količina teškog lož-ulja	300 000 t/god.
— uran (oduzimanje iz NE Prevlaka)	850 MJ/s

II varijanta

— količina prirodnog plina	$1{,}2 \cdot 10^9 m^3$/god.
maksimalni satni kapacitet	250 000 m^3/h
— količina teškog lož-ulja	100 000 t/god.
— uran (oduzimanje iz NE Prevlaka)	850 MJ/s

III varijanta

— količina prirodnog plina	$1{,}0 \cdot 10^9 m^3$/god.
maksimalni satni kapacitet	250 000 m^3/h
— količina teškog lož-ulja	300 000 t/god.
— uran (oduzimanje topline iz NE Prevlaka)	850MJ/s

IV varijanta

— količina prirodnog plina	$1{,}0 \cdot 10^9 m^3$/god.
maksimalni satni kapacitet	200 000 m^3/h
— količina teškog lož-ulja	300 000 t/god.
— uran (oduzimanje topline iz NE Prevlaka)	850MJ/s

V varijanta

— količina prirodnog plina	$1{,}2 \cdot 10^9 m^3$/god.
maksimalni satni kapacitet	250 000 m^3/h
— količina teškog lož-ulja	300 000 t/god.
— uran	ϕ

U pogledu kvalitete zraka pretpostavljeno je da u 2000. god. kvaliteta zraka na području grada ispunjava stroge granične vrijednosti imisije sumpornog dioksida i lebdećih čestica, što odgovara kriteriju dugoročnog cilja i najviše kvalitete zraka.

U svrhu traženja optimalne energetske strukture uz prije definirana ograničenja, istraživana je inertnost rješenja energetske opskrbe s obzirom na moguće promjene, posebno u pogledu cijena energetskih goriva odnosno promjene njihovih odnosa. Proračuni su pokazali visoku inertnost energetske strukture na eventualne promjene.

Na temelju dobivenih rezultata utvrđeno je prostorno razgraničenje pojedinih sistema opskrbe, pri čemu je uzeto da varijanta ograničenja raspoloživih oblika energije

— količina prirodnog plina	$1{,}060 \cdot 10^9 m^3$/god.
maksimalni satni kapacitet	250 000 m^3/h
— količina teškog lož-ulja	27 000 t/god.
— uran (oduzimanje iz NE Prevlaka)	850 MJ/s

je najvjerojatnija.

Prostorno razgraničenje obuhvata pojedinih sistema opskrbe prikazano je na sl. 1.

Uzme li se za osnovu navedeno rješenje (tabl. 2), dobiva se da će prosječna stopa rasta bruto raspoložive energije za energetske svrhe u razdoblju 1978 — 2000. god. iznositi 4,69 % (tabl. 3, sl. 2) što je nešto više od ostvarenja u razdoblju 1969/1978. (4,54 %). Ovdje treba imati na umu da povećani porast na strani bruto raspoložive energije dolazi uglavnom zbog predviđene izgradnje NE Prevlaka na zagrebačkom području.

Osnovno obilježje u pogledu korištenja energetskih oblika u 2000. god. jest uravnoteženost u pogledu udjela u bruto raspoloživoj energiji za energetske svrhe između ugljena, naftnih derivata, plina i urana.

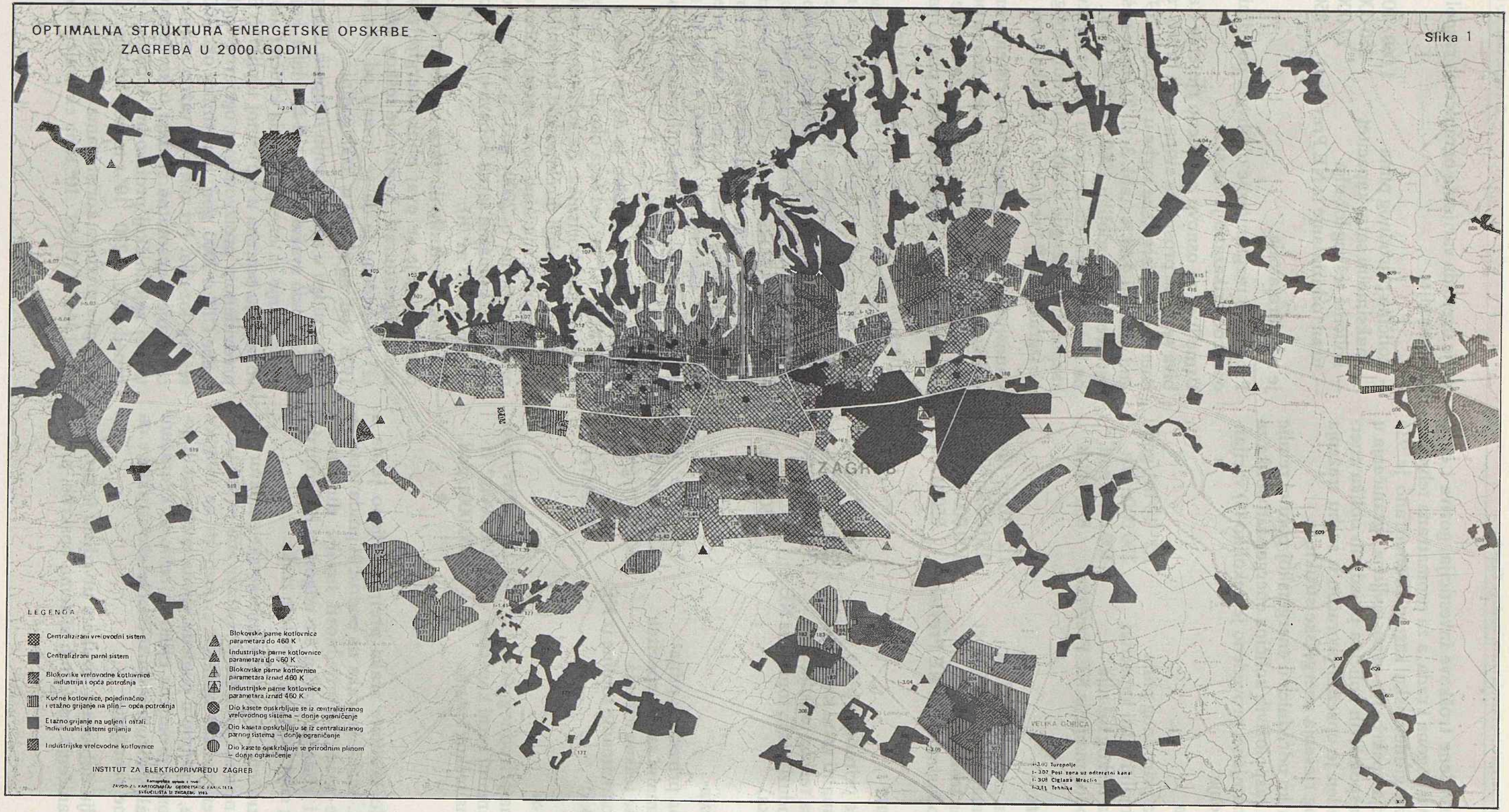
Ugljen bi zadovoljavao oko 20 % potreba u ukupnoj bruto raspoloživoj energiji. Pri tome treba naglasiti da 50 % od ukupnih količina ugljena se koristi u centraliziranom toplinskom sistemu, za što je predviđena izgradnja proizvodne jedinice spojnog procesa snage 300 MW_e i 480 MJ/s oduzimanja, koja bi se izgradila 12,5 km nizvodno na Savi, na potezu TE-TO — NE Prevlaka. U širokoj potrošnji uglavnom na rubnim područjima grada (današnja sela), predviđena je potrošnja ugljena oko 350 000 t, dok bi se u industrijskim i blokovskim kotlovnicama koristilo još 600 000 t/god ugljena.

Prirodni plin predviđen je da se troši u 2000. god. oko $1{,}060 \cdot 10^9$ m^3, od čega oko 50 % u općoj potrošnji direktno kod korisnika. Za korištenje većih količina u širokoj potrošnji direktno kod korisnika bilo bi nužno osigurati značajno veću satnu dobavu plina od pretpostavljene u 2000. god. u veličini od 250 000 m^3/h (maksimalna satna dobava u 1982. god. iznosila je oko 55 000 m^3/h).

Korištenje naftnih dirivata najvećim dijelom je u prometu, gdje se ovaj oblik energije praktično ne može supstituirati. Korištenje teškog lož-ulja (mazuta) predviđeno je da se smanji od oko 300 000 t u 1978. god. na 27 500 u 2000. godini.

Važnu ulogu u zadovoljenju ukupnih energetskih potreba grada svakako ima NE Prevlaka, koja bi pored proizvodnje el. energije imala ključnu ulogu u zadovoljavanju potreba u ogrjevnoj toplini. NE Prevlaka, predviđenom proizvodnjom ogrjevne topline za potrebe CTS u 2000. god., supstituira oko 300 000 t/god teškog lož-ulja. Pri tome je važno spomenuti da se ostvaruje i apsolutna štednja u korištenju goriva u takvoj zajedničkoj proizvodnji topline i el. energije između 200 — 230 · 10^3 t teškog lož-ulja.

Energija predana korisnicama iznosila je 1961. godine 19 348 TJ (0,660 · 10^6 tona ekvivalentnog ugljena),


OPTIMALNA STRUKTURA ENERGETSKE OPSKRBE
ZAGREBA U 2000. GODINI
Slika 1
LEGENDA
Centralizirani vrelovodni sistem
Centralizirani parni sistem
Blokovske vrelovodne kotlovnice – industrija i opća potrošnja
Kućne kotlovnice, pojedinačno i etažno grijanje na plin — opća potrošnja
Etažno grijanje na ugljen i ostali individualni sistemi grijanja
Industrijske vrelovodne kotlovnice
Blokovske parne kotlovnice parametara do 460 K
Industrijske parne kotlovnice parametara do 460 K
Blokovske parne kotlovnice parametara iznad 460 K
Industrijske parne kotlovnice parametara iznad 460 K
Dio kasete opskrbljuje se iz centraliziranog vrelovodnog sistema — donje ograničenje
Dio kasete opskrbljuje se iz centraliziranog parnog sistema — donje ograničenje
Dio kasete opskrbljuje se prirodnim plinom — donje ograničenje
INSTITUT ZA ELEKTROPRIVREDU ZAGREB
ZAGREB
VELIKA GORICA
I-3.07 Turopolje
I-3.07 Post zona uz odteretni kanal
I-3.08 Ciglana Mraclin
I-3.11 Tehnika

Slika 1.

Zagreb — Energija predana korisnicima, energija za transformaciju i proizvedeni oblici energije, te bruto raspoloživa energija za energetske svrhe

Tablica 2.

Energija predana korisnicima	Primarni oblici energije				Sekundarni oblici energije								
	Ogrijevno drvo[1]	Ugljen	Prirodni plin	Uran	Elektr. energ.	Ukapljeni plin	Motorni benzin	Mlazno gorivo	Plinsko ulje	Loživo ulje	»Otpad« petrokemije	Para i vrela voda	
												CTS	kotlovnice
	m^3	t	10^3 m^3	TJ	GWh	t	t	t	t	t	TJ	TJ	TJ
Građevinske kasete	210 000[2] 267 000	309 500 352 300	470 651 514 725		3 564 3 811	33 435 36 121			32 000 35 120			10 433 10 433	2 274 2 716
Servisi i skladišta					301 341							1 370 1 370	1 098 1 600
Javna rasvjeta, kanalizacija i vodov.					115 126								
Mobilni strojevi u polj. šum. i građev.					6 7		1 435 1 810		21 610 25 930				
Opća potrošnja	210 000 267 000	309 500 352 300	470 651 514 725		3 986 4 285	33 435 36 121	1 435 1 810		53 610 61 050			11 803 11 803	3 372 4 316
Industrija			108 765 140 127		1 115 1 292	2 063 3 018				2 400 2 400	500 500	10 477 10 477	7 933 9 432
Promet					77 77	11 055 12 000	242 330 264 100	116 000 116 000	181 800 198 300				
Gubici distrib.					464 503							1 150 1 150	427 532
Kotlovnice		556 497 605 917	92 524 150 057							5 200 8 400	800 800		– 11 732 – 14 280
Elektrane — toplane		970 000 970 000	252 512 252 512	65 390 65 390	– 7 013 – 7 013					16 700 16 700		-23 430 -23 430	
Bruto raspoloživo	210 000 267 000	1 835 997 1 928 217	924 452 1 057 421	65 390 65 390	– 1 371 – 1 371	46 553 51 139	243 765 265 910	116 000 116 000	235 410 259 350	24 300 27 500	1 300 1 300		

[1] U ogrjevnom drvetu bilanciran je i energetski ekvivalent nekonvencionalnih oblika energije (5 — 10%)
[2] Gornja brojka odnosi se na područie 13 općina, a donja na područje 15 općina

Napomena: Donje ogrjevne vrijednosti oblika energije:

— ugljen	16,75 MJ/kg	— ukapljeni plin	46,89 MJ/kg	— plinsko ulje	42,71 MJ/kg
— ogrjevno drvo	9,00 GJ/m^3	— motorni benzin	44,59 MJ/kg	— loživo ulje	40,20 MJ/kg
— prirodni plin	35,17 MJ/m^3	— mlazno gorivo	43,22 MJ/kg		

Zagreb (13 općina) — Bruto raspoloživa energija za energetske svrhe

Tablica 3.

Godina	Oblik energije (TJ)							Struktura oblika energije (%)							Godina
	Elektr. energ.	Drvo i biljni otpaci	Ugljen	Kaplj. naftni deriv.	Plin	Uran	Ukupno	Elektr. energ.	Drvo i biljni otpad	Ugljen	Kaplj. naftni deriv.	Plin	Para i vrela voda	Ukupno	
1978.	4 443	2 040	4 989	30 719	14 665	–	56 856	7,81	3,59	8,77	54,03	25,79	2,38	100	1978.
1985.	7 400	1 910	4 990	37 140	19 720	–	71 160	10,60	2,68	7,01	52,20	27,71	–	100	1985.
1990.	6 247	1 900	27 500	33 710	24 000	–	93 357	6,69	2,04	29,46	36,10	25,71	–	100	1990.
1995.	– 9 880	1 890	26 700	26 900	25 700	65 410	136 720	– 7,23	1,38	19,53	19,68	18,80	47,84	100	1995.
2000.	– 4 936	1 890	30 753	28 215	34 696	65 390	156 008	– 3,16	1,21	19,71	18,09	22,24	41,91	100	2000.
Stopa rasta 2000/ 1978.		– 0,35	8,62	– 38,57	3,99		4,69		– 4,82	3,75	– 4,85	0,67			

Napomena: Predznak — označava da se energija izvozi s promatranog područja.

Zagreb (13 općina) — Energija predana korisnicima

Tablica 4.

Godina	Oblik energije (TJ)							Struktura oblika energije							Godina
	Električna energija	Drvo i biljni otpaci	Ugljen	Kaplj. naftni deriv.	Plin	Para i vrela voda	Ukupno	Električna energija	Drvo i biljni otpaci	Ugljen	Kaplj. naft. deriv.	Plin	Para i vrela voda	Ukupno	
1978.	5 346	1 920	4 843	21 190	7 522	11 073	51 654	10,35	3,72	9,38	41,02	14,62	21,44	100	1978.
1985.	9 527	1 910	4 847	20 166	12 460	18 245	67 155	14,19	2,84	7,22	30,03	18,55	27,17	100	1095.
1990.	13 051	1 903	5 066	21 619	16 660	23 231	81 530	16,01	2,33	6,21	26,53	20,43	28,49	100	1990.
1995.	15 867	1 895	5 155	23 910	20 517	28 680	96 024	16,52	1,97	5,37	24,92	21,36	29,86	100	1995.
2000.	18 641	1 890	5 184	26 034	23 059	33 585	108 393	17,2	1,74	4,78	24,02	21,27	30,98	100	2000.
Stopa rasta 2000/ 1978.	5,84	−0,07	0,31	0,94	5,22	5,17	3,40	2,33	−3,39	−3,11	−2,40	1,72	1,69	−	Stopa rasta 2000/ 1978.

Zagreb (13 općina) — Energija predana korisnicima po stanovniku i struktura korisnika

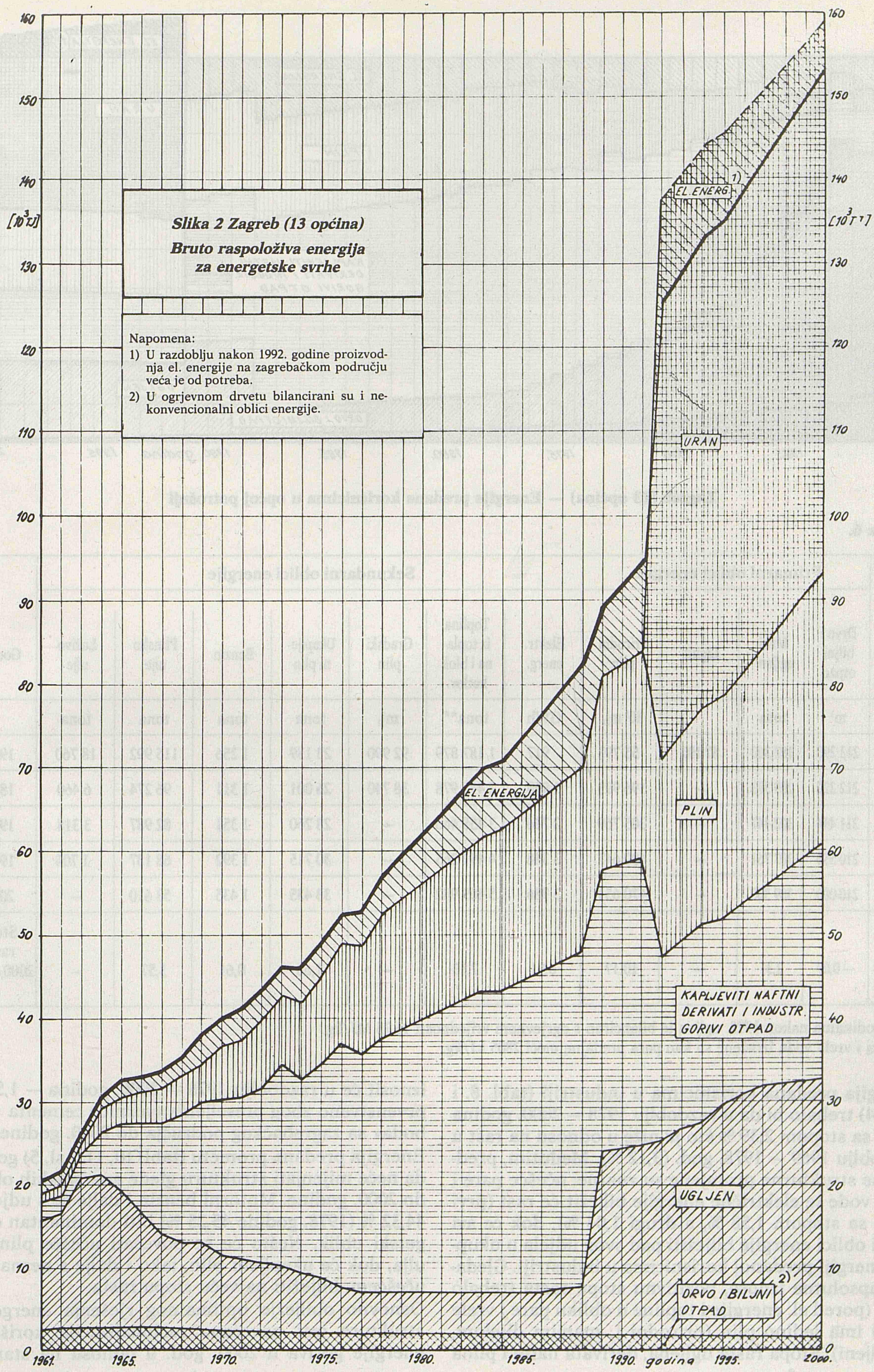
Tablica 5.

Godina	Energija (TJ)				Energija po stanovniku (GJ p. c.)				Struktura korisnika (%)				
	Opća potrošnja	Industrija	Promet	Ukupno	Opća potrošnja	Industrija	Promet	Ukupno	Opća potrošnja	Industrija	Promet	Ukupno	Godina
1978.	23 743	16 027	12 154	51 924	29,03	19,59	14,86	63,48	45,73	30,86	23,40	100	1978.
1985.	33 858	19 500	13 797	67 195	35,73	20,58	14,56	70,88	50,42	29,04	20,54	100	1985.
1990.	42 336	22 357	16 837	81 530	41,42	21,87	16,47	79,76	51,93	27,42	20,65	100	1990.
1995.	50 279	25 150	20 595	96 024	45,59	22,80	18,67	87,06	52,36	26,19	21,45	100	1995.
2000.	57 073	26 941	24 379	108 393	47,91	22,62	20,47	90,99	52,65	84,85	22,49	100	2000.
Stopa rasta 2000/ 1978.	4,07	2,35	3,21	3,40	2,30	0,66	1,47	1,65	0,64	−0,98	−0,18	−	Stopa rasta 2000/ 1978.

1978. godine 51 654 TJ ($1{,}762 \cdot 10^6$ tona ekvivalentnog ugljena), a 2000. godine trebalo bi da iznosi 108 393 TJ ($3{,}698 \cdot 10^6$ tona ekvivalentnog ugljena). Prosječna stopa rasta u razdoblju 1969 — 1978. god. iznosila je 4,37 %, dok će od 1978. do 2000. godine biti niža: 3,4 % (tabl. 4).

Rast privredne aktivnosti te značajan razvoj društvenog i osobnog standarda građana promatranog područja uvjetovat će da energija predana korisnicima po stanovniku poraste u 2000. godini na 90,99 GJ u odnosu na skromnih 63,48 GJ koliko je iznosila 1978. godine (tabl. 5). Najveći rast bilježi energija predana korisnicima u sektoru opće potrošnje, 4,07 %, zatim energija predana prometu 4,21 %, dok energija predana korisnicima u industriji bilježi najnižu stopu rasta 2,35 %. Razlike u stopi rasta uvjetovat će i promjenu strukture pojedinih skupina korisnika. Opća potrošnja i dalje zadržava dominantno mjesto, ali umjesto s učešćem od 45,73 % (1978. god.) s učešćem od 52,65 % (2000. godina), dok industrija i promet bilježe pad učešća u strukturi energije predane korisnicima.

U skupini opće potrošnje (tabl. 6. i 7) predviđeno je da se dogode značajne promjene u strukturi korištenih oblika energije zahvaljujući visokoj stopi rasta korištenja prirodnog plina te topline iz toplana i blokovskih kotlovnica. Prirodni plin i toplina iz toplana i blokovskih kotlovnica trebalo bi da 2000. godine sudjeluju u strukturi energetskih oblika za opću potrošnju s 58,35 % (prirodni plin 31,76 %, a toplina iz toplana i blokovskih kotlovnica s 26,59 %). Porast korištenja električne energije iznosit će 6,91 % te će električna energija 2000. godine biti treća u rangu oblika energije (odmah nakon prirodnog plina i topline iz toplana i blokovskih kotlovnica). Dijagramski prikaz razvoja energije predane korisnicima u općoj potrošnji prikazan je na slici 3.

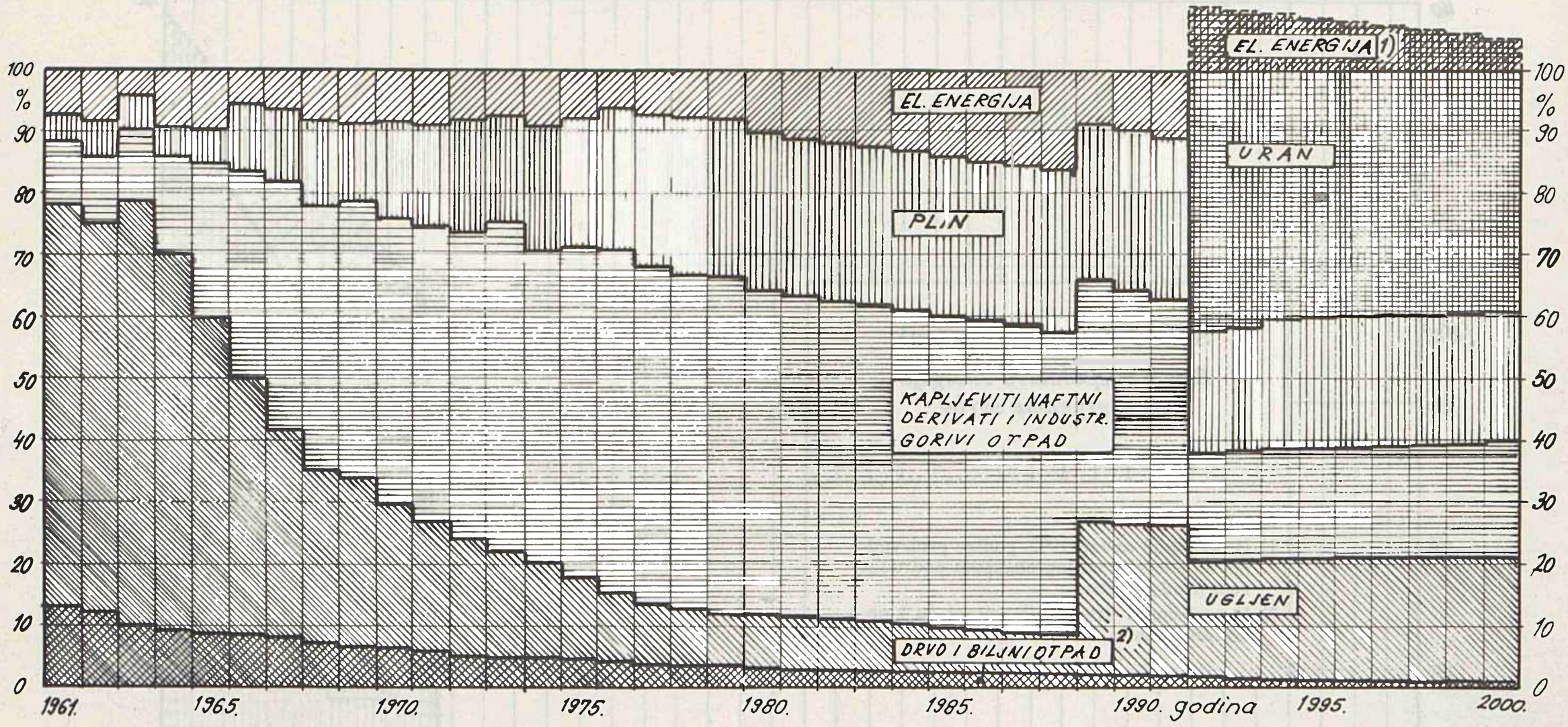


Slika 2 Zagreb (13 općina)

Bruto raspoloživa energija za energetske svrhe

Napomena:

1) U razdoblju nakon 1992. godine proizvodnja el. energije na zagrebačkom području veća je od potreba.
2) U ogrjevnom drvetu bilancirani su i nekonvencionalni oblici energije.



Zagreb (13 općina) — Energija predana korisnicima u općoj potrošnji

Tablica 6.

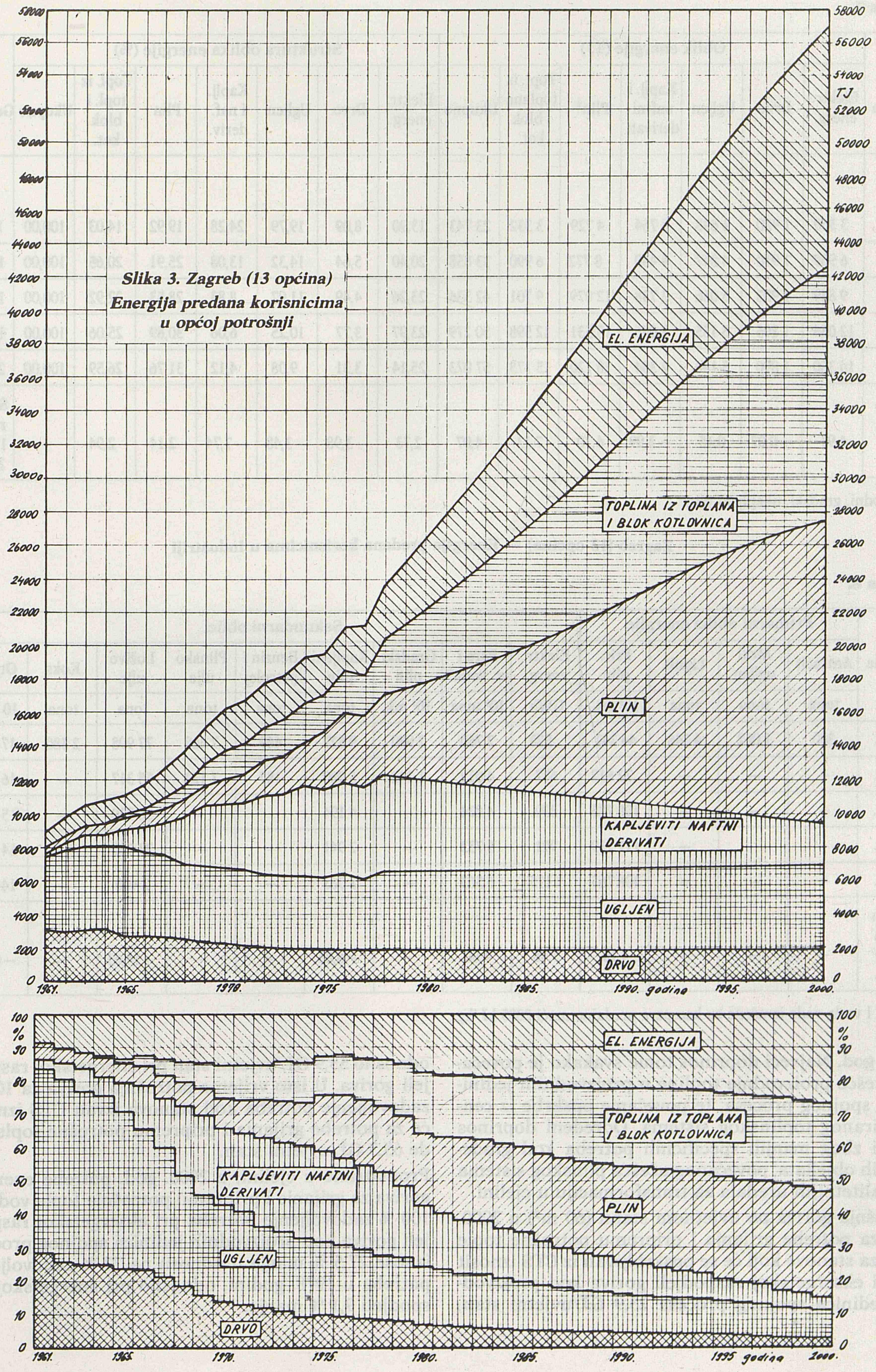
Godina	Primarni oblici energije				Sekundarni oblici energije							Godina
	Drvo i biljni otpad	Mrki ugljen*	Lignit	Prirodni plin	Elektr. energ.	Toplina iz topla-na i blok kotlov.	Gradski plin	Ukaplje-ni plin	Benzin	Plinsko ulje	Loživo ulje	
	m^3	tona		10^3 m^3_n	GWh	tona**	m^3_n	tona	tona	tona	tona	
1978.	213 290	187,360	87 180	55 793	917	1 187 879	92 990	23 139	1 256	115 992	18 760	1978.
1985.	212 222	289 373	–	196 993	1 919	2 491 978	38 740	26 001	1 311	96 274	6 460	1885.
1990.	211 444	302 447	–	305 769	2 736	3 458 466	–	28 260	1 351	82 987	3 318	1990.
1995.	210 556	307 761	–	400 647	3 348	4 491 265	–	30 715	1 392	68 187	1 704	1995.
2000.	210 000	309 500	–	470 651	3 986	5 409 982	–	33 435	1 435	53 610	–	2000.
Stopa rasta 2000/ 1978.	– 0,07	2,31	–	10,17	6,91	7,13	–	1,68	0,61	3,57	–	Stopa rasta 2000/1978.

* U godinama nakon 1978. ugljen je bilanciran s ogrjevnom vrijednosti 16,75 MJ/kg.
** Para i vrela voda izražene su kao para predajne moći 2805 kJ/kg.

Energija predana korisnicima u industriji (tabl. 8. i 9, sl. 4) trebalo bi da u razdoblju 1978 — 2000. godina raste sa stopom 2,39 % što je niže u odnosu na rast u razdoblju 1969 — 1978. god. (3,12 %). Međutim, predviđene strukturne promjene su znatne: učešće pare i vrele vode te električne energije bilježit će rast (prvi oblik sa stopom 1,58 %, a drugi 1,04 %), dok će svi ostali oblici energije bilježiti pad svog udjela u ukupnoj energiji predanoj korisnicima u industriji. Gledajući apsolutne iznose, pozitivnu stopu rasta trebalo bi da (pored el. energije i topline u obliku pare i vrele vode) ima jedino plin (prirodni i, manjim dijelom, ukapljeni). Stopa rasta ugljena, derivata nafte i plina iznosit će u razdoblju 1978 — 2000. godina — 1,56 %, prvenstveno zbog preseljenja tvornice cementa »Sloboda« sa zagrebačkog područja do 2000. godine.

Energija predana prometu (tabl. 10, 11. i sl. 5) gotovo da neće mijenjati strukturu glede energetskih oblika do 2000. godine. Motorni benzin i dalje će s udjelom 44,32 % (1978. godine 45,25 %) biti dominantan energetski oblik. Nešto će se povećati učešće plinskog ulja, dok će ukapljeni plin, iako i dalje s neznatnim učešćem, bilježiti najveću stopu rasta.

Osnovno obilježje optimalnog rješenja energetske strukture jest povećana racionalizacija korištenja energije goriva u 2000. god. u odnosu na stanje u



Slika 3. Zagreb (13 općina)
Energija predana korisnicima u općoj potrošnji

Zagreb (13 općina) — Energija predana korisnicima u općoj potrošnji

Tablica 7.

Godina	Oblik energije (TJ)							Struktura oblika energije (%)							Godina
	Elektr. energ.	Drvo	Ugljen	Kaplj. i naftni derivati	Plin*	Topl. iz toplana i blok kot.	Ukupno	Elektr. energ.	Drvo	Ugljen	Kaplj. i naf. deriv.	Plin	Topl. iz topl. i blok kot.	Ukupno	
1978.	3 300	1 920	4 698	5 764	4 729	3 332	23 743	13,90	8,09	19,79	24,28	19,92	14,03	100,00	1978
1985.	6 909	1 910	4 847	4 430	8 772	6 990	33 858	20,40	5,64	14,32	13,08	25,91	20,65	100,00	1985.
1990.	9 849	1 903	5 066	3 738	12 079	9 701	42 336	23,26	4,49	11,97	8,83	28,53	22,92	100,00	1990.
1995.	12 054	1 895	5 155	3 046	15 531	12 598	50 279	23,97	3,77	10,25	6,06	30,89	25,06	100,00	1995.
2000.	14 350	1 890	5 184	2 354	18 120	15 175	57 073	25,14	3,31	9,08	4,12	31,76	26,59	100,00	2000.
Stopa rasta 1978/ 2000.	6,91	−0,07	0,45	−3,99	6,30	7,13	4,07	2,73	−3,98	−3,48	−7,74	2,14	2,94	–	Stopa rasta 1978/ 2000.

* Prirodni, gradski, ukapljeni plin.

Zagreb (13 općina) — Energija predana korisnicima u industriji

Tablica 8.

Godina	Primarni oblici energije				Sekundarni oblici								
	Antracit	Mrki ugljen	Lignit	Prir. plin	Elektr. energ.	Para i vr. voda*	Gradski plin	Kapljeni plin	Benzin i petrolej	Plinsko ulje	Loživo ulje	Koks	Otpad
	tona	tona	tona	10^3 m^3_n	GWh	10^3 tona	10^3 m^3_n	tona	tona	tona	tona	tona	10 m^3_n
1978.	300	1 062	4 246	44 342	528	2 760	2 980	9 827	449	7 469	77 998	2 580	17 700
1985.	–	–	–	72 817	677	4 012	1 242	5 980	187	3 122	55 317	–	16 507
1990.	–	–	–	108 785	830	4 824	–	4 194	–	–	38 930	–	15 705
1995.	–	–	–	111 219	991	5 733	–	2 941	–	–	23 000	–	14 942
2000.	–	–	–	108 765	1 115	6 563	–	2 063	–	–	2 400	–	14 217
Stopa rasta 1978/ 2000.	–	–	–	4,16	3,46	4,00	–	−6,85	–	–	−14,63	–	−0,99

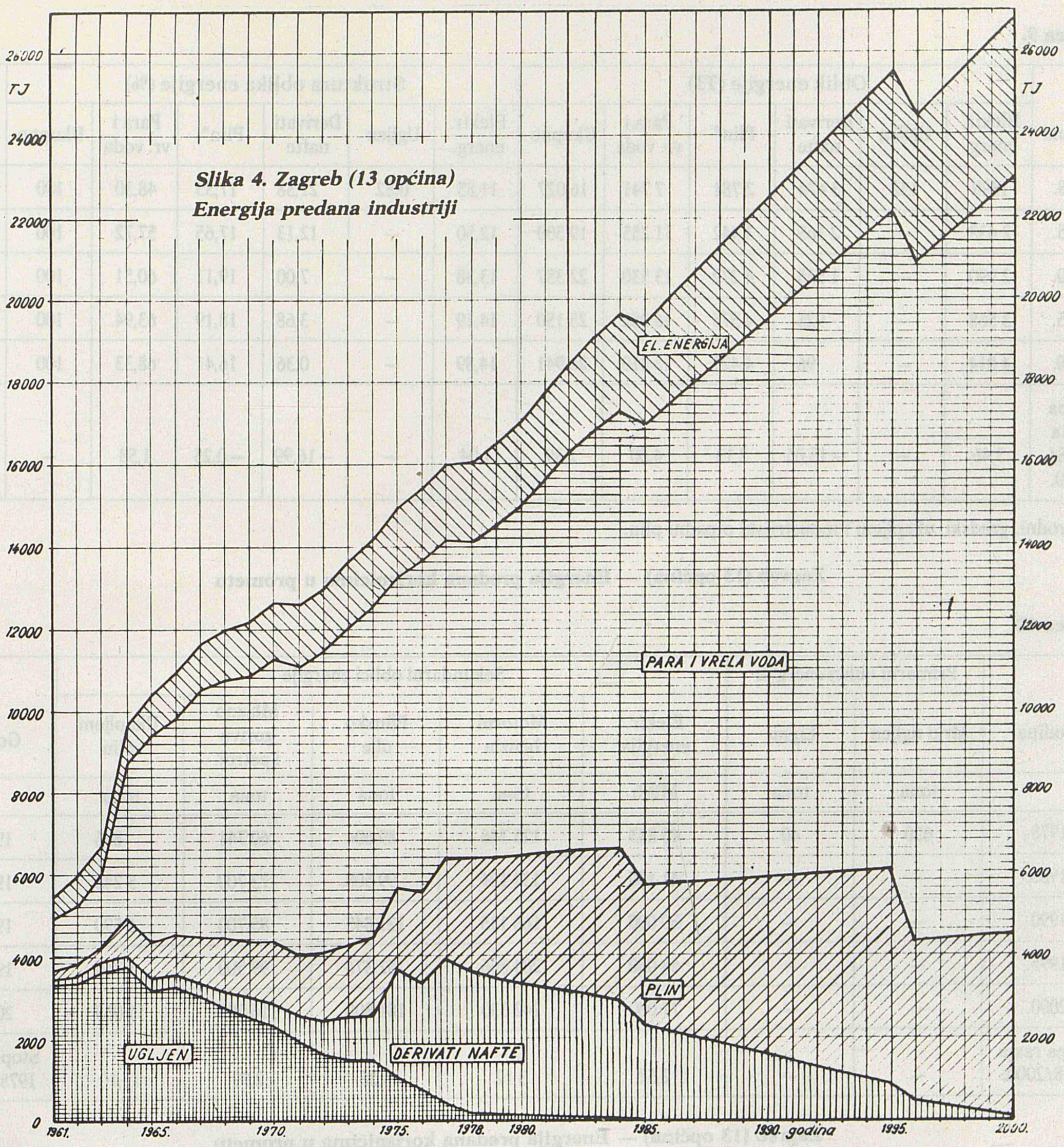
* Para i vrela voda izražene su kao para predajne moći 2805 kJ/kg

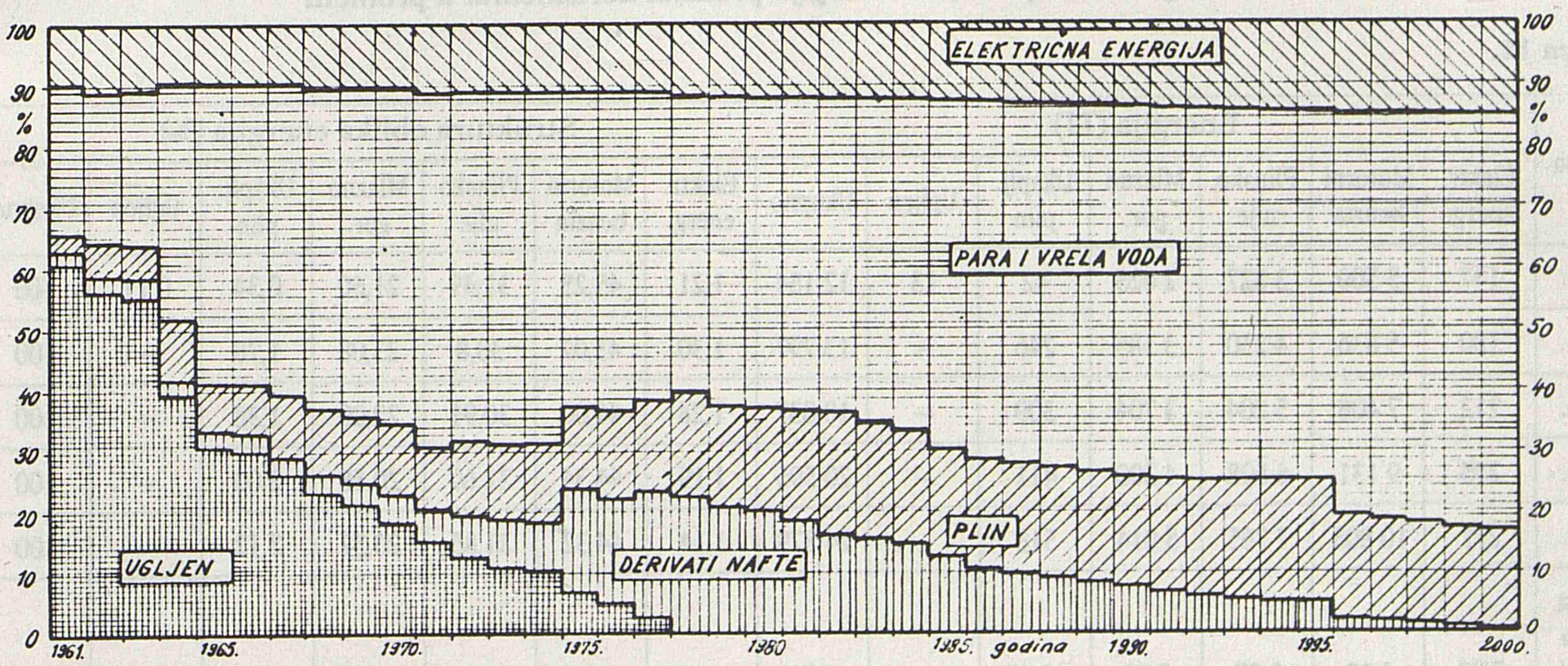
1978. god. Najveći doprinos tome svakako je povećano učešće proizvodnje topline u proizvodnim jedinicama spojnog procesa, te povećanje opskrbe iz centraliziranog toplinskog sistema. Određeni doprinos dolazi zbog manjih specifičnih potreba kod građevinskih objekata, povećanog učešća plinskog sistema te kvalitetnijih uređaja za transformaciju u cjelini.

Potrošnja goriva po uvjetnom stanu (60 m^2) u 2000. god. za potrebe grijanja i pripremu potrošne tople vode za stanove koji će se opskrbljivati iz CTS iznosit će pri eksergetskoj raspodjeli goriva kod proizvodnih jedinica spojnog procesa 23,9 GJ/uvjetni stan, odnosno 55,9 GJ/uvjetni stan pri energetskoj raspodjeli goriva. U isto vrijeme potrošnja goriva za 100 % zadovoljenje potreba kod stanova izvan CTS iznosit će za potrebe grijanja i pripremu potrošne tople vode 65,3 GJ/uvjetni stan.

Promatrano u cjelini, u 2000. god. potrebe energije goriva za grijanje i pripremu potrošnje tople vode za 100 % zadovoljenje potreba pri eksergetskoj raspodjeli goriva kod proizvodnih jedinica spojnog procesa iznose 27,5 % manje u odnosu na 77 % zadovoljenja potreba u 1978. godini, odnosno pri energetskoj raspodjeli 9,1 % manje.

Slika 4. Zagreb (13 općina)
Energija predana industriji





Zagreb (13 općina) — Energija predana korisnicima u industriji

Tablica 9.

Godina	Oblik energije (TJ)						Struktura oblika energije (%)						Godina
	Elektr. energ.	Ugljen	Derivati nafte	Plin*	Para i vr. voda	Ukupno	Elektr. energ.	Ugljen	Derivati nafte	Plin*	Para i vr. voda	Ukupno	
1978.	1899	132	3 474	2 781	7 741	16 027	11,85	0,82	21,58	17,35	48,30	100	1978.
1985.	2 438	–	2 365	3 442	11 255	19 500	12,50	–	12,13	17,65	57,72	100	1985.
1990.	2 990	–	1 565	4 272	13 530	22 357	13,38	–	7,00	19,11	60,51	100	1990.
1995.	3 568	–	925	4 575	16 082	25 150	14,19	–	3,68	18,19	63,94	100	1995.
2000.	4 014	–	96	4 421	18 410	26 941	14,89	–	0,36	16,41	68,33	100	2000.
Stopa rasta 1978/ 2000.	3,46	–	– 15,05	2,13	4,00	2,39	1,04	–	– 16,99	– 0,25	1,58	–	Stopa rasta 1978/ 2000.

* Prirodni, gradski, ukapljeni i industrijski otpadni plin.

Zagreb (13 općina) — Energija predana korisnicima u prometu

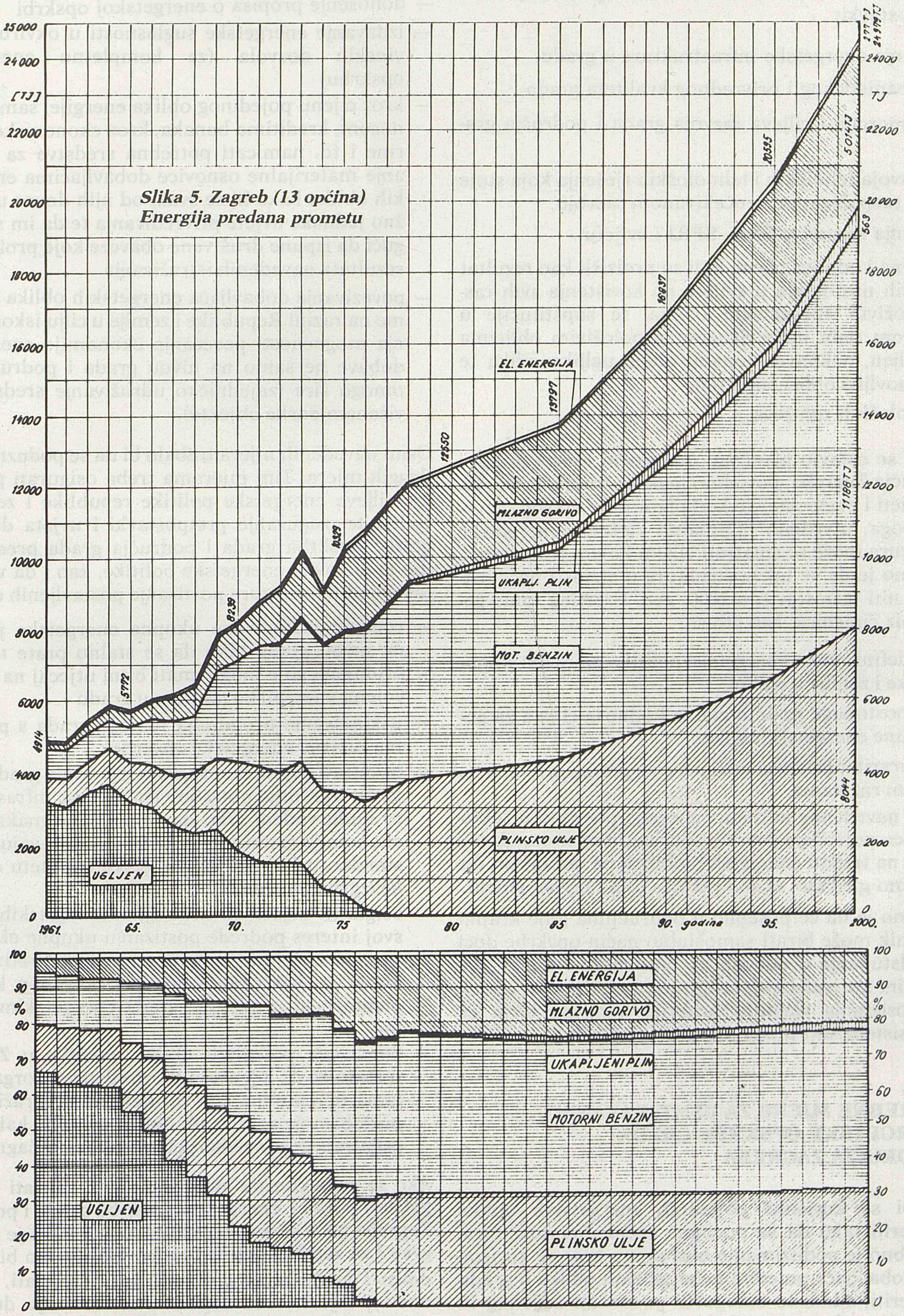
Tablica 10.

Godina	Primarni oblici energije		Sekundarni oblici energije					Godina
	Mrki ugljen	Lignit	Elektr. energija	Motorni benzin	Plinsko ulje	Mlazno gorivo i petrol.	Ukapljeni plin	
	tona	tona	MWh	tona	tona	tona	tona	
1978.	620	40	40 833	123 346	89 604	60 741	896	1978.
1985.	–	–	41 100	133 124	99 508	73 700	5 246	1985.
1990.	–	–	50 000	166 135	121 845	85 700	6 590	1990.
1995.	–	–	68 050	204 866	152 376	99 500	8 765	1995.
2000.	–	–	77 000	242 330	181 800	116 000	11 055	2000.
Stopa rasta 1978/2000.	–	–	2,52	3,12	3,26	2,99	12,10	Stopa rasta 1978/2000.

Zagreb (13 općina) — Energija predana korisnicima u prometu

Tablica 11.

Godina	Energija (TJ)							Struktura oblika energije (%)							Godina
	Elektr. energ.	Motorni benzin	Plinsko ulje	Mlazno gor.	Ukaplj. plin	Ugljen	Ukupno	Elektr. energ.	Motorni benzin	Plinsko ulje	Mlazno gor.	Ukaplj. plin	Ugljen	Ukupno	
1978.	147	5 500	3 827	2 625	42	13	12 154	1,21	45,25	31,49	21,60	0,34	0,11	100	1978.
1985.	180	5 836	4 250	3 185	246	–	13 797	1,30	43,02	30,8	23,08	1,78	–	100	1985.
1990.	212	7 408	5 204	3 704	309	–	10 837	1,26	44,00	30,91	22,00	1,38	–	100	1990.
1995.	245	9 131	6 508	4 300	411	–	20 595	1,19	44,34	31,60	20,88	2,00	–	100	1995.
2000.	277	10 805	7 765	5 014	518	–	24 379	1,14	44,32	31,85	20,57	2,12	–	100	2000.
Stopa rasta 2000/ 1978.	2,92	3,12	3,27	2,99	12,10	–	3,21	– 0,27	– 0,09	0,05	– 0,22	8,68	–	–	Stopa rasta 2000/ 1978.



Slika 5. Zagreb (13 općina)
Energija predana prometu

ODSTUPANJE U ODNOSU NA OPTIMALNO RJEŠENJE

Optimalno rješenje energetske strukture, utvrđeno računskim modelom, osniva se na sagledavanju niza pretpostavki:

a) stanja energetske infrastrukture u gradu.

b) urbanističkog i privrednog kvaliteta grada,

c) proporcija i ciljeva razvoja grada i područja grada,

d) razvoja tehničkih i tehnoloških rješenja koja stoje na raspolaganju, te očekivanom razvoju,

e) stanja rezervi u SRH, SFRJ i svijetu

f) cijena i odnosa cijena koji su proizišli kao rezultat općih nastojanja u svijetu na korištenja svih raspoloživih energetskih oblika, te supstitucije u prvom redu nafte drugim raspoloživim oblicima (ugljen, nekonvencionalni oblici ugljikovodika te obnovljivi oblici energije),

g) ekoloških zahtjeva.

Da bi se ostavio planirani dugoročni razvoj grada i područja Zagreba, potrebno je da se ispune prije svega uvjeti i pretpostavke kod planiranja takvog razvoja. Stoga, utvrđeno optimalno rješenje energetske strukture može se smatrati ciljem kojem treba težiti. Sigurno je da se takva struktura u cjelosti neće ostvariti niti uspostaviti u 2000. god. U prilog tome govori niz činjenica, kao što su:

— nedefiniranost energetske politike na razini Republike i zemlje u cjelini

— nepostojanje realnih cijena i odnosa cijena za pojedine energetske oblike

— pluraritet interesa nosioca energetske privrede na svim razinama.

Zbog navedenog korisnici energije posebno u sektoru opće potrošnje povode se trenutnim kretanjima i stašu na tržištu energetskih oblika, pa, na žalost, dugoročno gledano, skupo plaćaju dug takvom stanju.

Sigurno je da će posebno u područjima gdje krajnji korisnik može birati samostalno način opskrbe doći do odstupanja u odnosu na optimalno rješenje, jer pojedini korisnici koji su spremni platiti više, a u cilju postizanja vlastitih kriterija komfora birat će onaj sistem koji pruža takve mogućnosti.

POTREBNE MJERE ZA USMJERAVANJE ENERGETSKE OPSKRBE GRADA I PODRUČJA ZAGREBA

Da bi se korisnici pojedinih energetskih oblika usmjerili tako da se postigne optimalna struktura, potrebno je poduzimanje niza mjera koje će korisnika i dobavljača pojedinih energetskih oblika u gradu usmjeriti, odnosno omogućiti postizanje željenog cilja. Jedna od najvažnijih mjera za pravilno usmjeravanje korisnika sigurno je politika cijena energetskih oblika. Kao dalje mjere moguće je navesti:

— stimulativne mjere za racionalizaciju korištenja energije (u prvom redu davanje povoljnih kredita)

— donošenje propisa o energetskoj opskrbi

— izdavanje energetske suglasnosti u okviru građevinskih dozvola (za kompletnu energetsku opskrbu)

— kroz cijenu pojedinog oblika energije, samodoprinosom, kreditima banaka, kroz ekonomske stanarine i td. namicati potrebna sredstva za osiguranje materijalne osnovice dobavljačima energetskih oblika kako bi se svaki od njih doveo u približno jednake uvjete privređivanja te da im se omogući da ispune društvene obaveze koje proizlaze iz rezultata navedenih istraživanja

— povezivanje dobavljača energetskih oblika u sisteme na razini Republike i zemlje u cilju iskorištavanja mogućnosti povećanja ekonomije energetske dobave ne samo na nivou grada i područja već mnogo šire (zajedničko udruživanje sredstava u višenamjenske objekte).

Osim navedenih mjera trebalo bi da se poduzme i niz drugih mjera. Tim mjerama treba osigurati postizanje ciljeva energetske politike republike i zemlje u cjelini te osiguranje pretpostavki i uvjeta da energetska opskrba grada i područja grada predstavlja dio te cjelovite energetske politike, kao i da vođenje takve politike osigura postizanje postavljenih ciljeva:

— vođenje jedinstvene ukupne energetske politike na nivou grada tako da se stalno prate tokovi i promjene koje mogu imati bitni utjecaj na već usvojenu energetsku politiku u gradu

— usklađivanje proporcija razvoja grada s potrebama razvoja energetske opskrbe

— osigurati uvjete da program izgradnje grada i program izgradnje potrebne energetske infrastrukture budu vođeni tako da se postigne maksimalna ekonomija (minimum troškova, uvažavajući maksimalno urbanističku i estetsku kvalitetu dinamike izgradnje grada)

— osigurati uvjete da dobavljači energetskih oblika svoj interes podrede postizanju ukupne ekonomije na nivou grada, a ne na nivou svojih radnih organizacija, kako bi se postigla potrebna komplementarnost u opskrbi grada energetskim oblicima

— dobavljači pojedinih oblika energije u Zagrebu trebalo bi da udružuju dio sredstava s organizacijama u republici čija je djelatnost istraživanje i pridobivanje primarnih oblika energije kako bi se osigurala dobava energetskih oblika u Zagreb.

Ako se ne poduzmu energični i brzi zahvati u energetskoj politici, energetska opskrba grada i područja Zagreba neće se moći razvijati onako kako je i za Zagreb i za zemlju u cjelini najpovoljnije, što bi moglo dovesti do neplanskog razvoja koji će otežati, a u stanovitoj mjeri i onemogućiti, ostvarivanje dugoročnog plana razvoja grada i područja Zagreba.

LITERATURA

Grupa autora: *Usmjeravanje opskrbe energijom grada i područja Zagreba do 2000. godine,* Institut za elektroprivredu — Zagreb, Zagreb, 1982.

KEY WORDS: ZAGREB, POWER SUPPLY

CONDITION AND PROSPECT FOR POWER SUPPLY DEVELOPMENT IN ZAGREB

In the article are described some basic characteristics of up to day power supply development in Zagreb and analysis of now—a—day condition for power supply at users. Presented are data for optimization of power supply in examined area: goals and parameters of city development till 2000 year, availability data for power modes in world and by us, constraints for power supply and forecast of power demands of several group of users in Zagreb till the end of century. Optimal structure for power supply is determined by method of minimal costs. As well, the measures that are necessary in power supply politics for reaching stated goals are also stated.

ZUSTAND UND ENTWICKLUNGSAUSSICHTEN DER ENERGIEVERSORGUNG VON ZAGREB

Angegeben werden die bisherigen grundlegenden Kenndaten der Energieversorgung von Zagreb. Dabei wird der derzeitige Zustand der Energieberdarfsdekkung der Endverbraucher untersucht. Dargestellt werden die erforderlichen Unterlagen zur Ermittlung der Optimisierung der Energierstruktur der Energieversorgung des untersuchten Versorgungsgebietes: Ziele und Kenndaten der Verbrauchsentwicklung für Zagreb bis zum Jahre 2000, Daten der verfügbaren verschiedenen Energieformen im Innland und Ausland. Gezeigt werden die bestehenden Beschränkungen der Energieversorgung wie auch die Vorausbestimmung des Energiebedarfs verschiedener Verbrauchergruppen in Zagreb bis Ende des Jahrhunderts. Eine Lenkung der Energieversorgung zu den günstigsten Energieformen wurde gemäss den Kriterien der geringsten Gesamtkosten durchgeführt Nachdem diese optimale Energiezusammensetzung den Sinn des zu erreichenden Endeffektes bedeutet, werden die dafür erforderlichen Massnahmen in der Energiepolitik, angegeben.

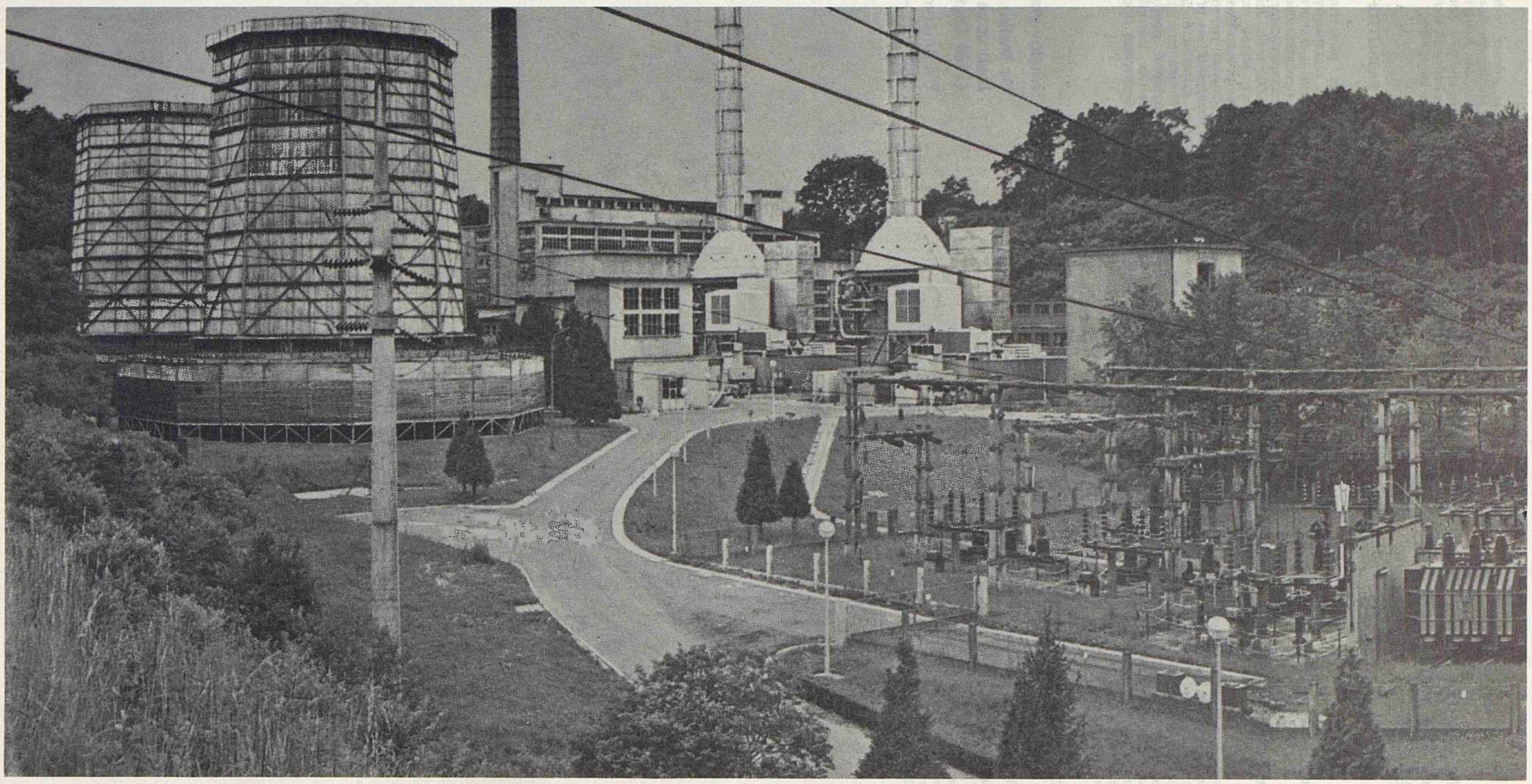
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ г. ЗАГРЕБ

Приводятся основные положения развития энергоснабжения г Загреб до настоящего времени и анализируется нынешнее состояное удовлетворения потребности в энергии у конечных потребителей. Приводятся данные, необходимые для оптимизации структуры энергоснабжения рассматриваемого района: цели и параметры развития г. Загреб до 2000 года, данные о находящихся в распоряжении энергетических видов во всем мире и в СФРЮ, имеющиеся ограничения энергоснабжения, как и прогноз энергетических потребностей отдельных групп потребителей в г. Загреб до конца столетия. Направление энергоснабжения к наиболее благоприятной структуре выполнено согласно критерию минимальных общих расходов. Поскольку данная оптимальная структура является целью, к которой необходимо стремиться, приводятся мероприятия, проведение которых необходимо в энергетической политике ради достижния поставленной цели.

Naslov pisca:

Dr Duško Čorak, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu,
41000 Zagreb

Uredništvo primilo rukopis
1983—07—19.



TE Jertovec

UTJECAJ NUKLEARNIH ELEKTRANA NA OKOLINU

mr Niko Malbaša, Zagreb

UDK 621.039.538:614.7
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Opisani su utjecaji nuklearnih elektrana na okolinu. Utjecaji su podijeljeni na radioaktivne i neradioaktivne. U prvima je iznesena pojava radioaktivnosti u reaktoru, radioaktivne otpadne tvari i utjecaj akcidentalnih situacija. Od neradioaktivnih utjecaja potrebno je istaknuti utjecaj sistema za hlađenje kondenzatora.

Ključne riječi: nuklearne elektrane, radioaktivno zračenje, zaštita okoliša, utjecaj nuklearnih elektrana na okolinu.



NIKO MALBAŠA

1. UVOD

U ranim popodnevnim satima, 2. prosinca 1942, u skromnoj zgradi ispod tribina ragbijaškog igrališta na čikaškom sveučilištu, grupa od četrdesetak znanstvenika pod vodstvom nobelovca E. Fermija uspjela je dovesti do stanja kritičnosti prvi ljudskom rukom napravljeni nuklearni reaktor. Iz golemog zdanja od nekoliko stotina tona uredno složenih grafitnih blokova, od kojih su poneki bili punjeni s ukupno oko pedesetak tona prirodnog urana i uranova oksida, uspjelo je u vremenu od nekoliko minuta proizvoditi električnu energiju snage od gotovo jednog vata u prvoj samoodržavajućoj i kontroliranoj lančanoj rekaciji. Nakon toga kadmijem obložene kontrolne šipke uvučene su natrag u reaktor i reakcija je zaustavljena zbog zračenja koje je prijetilo da prijeđe dozvoljene granice. Naime, taj prvi nuklearni reaktor nije uopće bio zaštićen, a i nije mu svrha bila da radi kroz dulji period. Ipak, taj događaj se s pravom označava kao »događaj stoljeća« koji je uveo čovječanstvo u nuklearno doba.

Potrebno je ipak spomenuti da proizvodnja električne energije putem kontrolirane nuklearne fisije, kao konačni cilj, nije bila Fermiju i njegovim suradnicima i onima koji su taj projekt financijski podupirali od velikog interesa. Električna snaga od 1 vata proizvedena tada bila je samo siguran pokazatelj da se u gomili naslaganog grafita i urana dogodilo nešto još mnogo značajnije i za budućnost čovječanstva mnogo sudbonosnije. Prirodni uran korišten u eksperimentu sadrži naime glavninu urana — 238, ali i mali dio (oko 0,71 %) fisibilnog urana — 235 koji je, raspadajući se u procesu fisije, dao osnovu za proizvodnju, iz urana — 238, gotovo iste količine plutonija. Upravo je plutonij bio potencijalno glavni proizvod cijele akcije. Električna energija bila je samo, za to vrijeme, bezvrijedni nusproizvod s gotovo nikakvim šansama za komercijalnu budućnost. Karakteristika je plutonija da se, za razliku od urana — 235, mnogo lakše dade separirati od urana — 238. A plutonij je bio urgentno potreban za nešto što će se dogoditi nepune tri godine kasnije, u zoru 16. srpnja 1945., kad je u bespuću američke države New Mexico izvršena pokusna eksplozija prve nuklearne bombe. Tri tjedna kasnije stradala je Hirošima, a dva dana nakon nje Nagasaki. Ubrzo se Japan predao. Drugi svjetski rat efektno je okončan, a tjeskoba i strah su ostali. Svijet je upoznao nuklearnu energiju na stravičan način, kao da je otvorena Pandorina kutija novoga vijeka. Ostala je, sve do danas, ipak nada da će se »energija atoma«, to neiscrpno vrelo gibanja, koristiti za opći napredak čovječanstva, a ne za njegovo uništenje.

Danas, četrdesetak godina kasnije, nuklearne elektrane postale su stvarnost, a nuklearna energija nezamjenjiv faktor napretka. Svega oko šezdeset tona nuklearnog goriva dovoljno je da otprilike tri godine proizvodi snagu od milijardu vata. U normalnim pogonskim uvjetima zračenje u neposrednoj okolini elektrane toliko je nisko da se ni najsavršenijim instrumentima ne da detektirati i iznosi u prosjeku svega nekoliko promila od ukupnog zračenja iz prirodnih izvora. Ipak, usprkos tome, mnoge dileme su ostale iako su gotovo sva pitanja postavljena. Razmimoilaženja u gledanjima postoje i među znanstvenicima i stručnjacima, kao i u širokoj javnosti. Na mnoga pitanja nisu još dani zadovoljavajući odgovori. Da li to treba da bude fatalno za komercijalne nuklearne objekte, što kažu protivnici korištenja nuklearne energije, ili treba budućnosti ostaviti da riješi preostale dileme, za što još ima više nego dovoljno vremena, što otprilike kažu pristaše nuklearne energije — teško je prosuditi.

Ovaj članak nema pretenziju davanja odgovora na ova i slična pitanja. Stravična spoznaja o razornoj moći nuklearne energije utisnuta je u podsvijest generacija, pa čak i da postoje racionalni odgovori na ova pitanja, iracionalne sile u samoj ljudskoj prirodi toliko su jake da sve argumente bacaju u sjenu. Zbog toga vjerojatno i tolike polemike kad je u pitanju korištenje nuklearne energije u energetici jer je ono vremenski i prostorno tijesno povezano s nastankom nuklearnog oružja, dok npr. ne postoje gotovo nikakva neslaganja oko korištenja nuklearnih izotopa u medicini i sl. premda doze zračenja iz ovih izvora premašuju za desetak i više puta one iz nuklearnoenergetskih instalacija, a ako se gleda individualna doza, onda je odnos još mnogo veći.

Koliko god je široka javnog sklona da opasnost od nuklearnih elektrana, barem podsvjesno, ne odvaja od opće opasnosti od nuklearne katastrofe, toliko je isto vrlo često i pogrešno poistovjetiti nuklearnu elektranu kao objekt za energetsku opskrbu u najširem smislu i njezin utjecaj na okolinu s cijelim ciklusom nuklearnog goriva čiji je nuklearna elektrana samo jedan segment. Čak, može se tvrditi da poznavaoci problematike, vide primarnu opasnost za čovjeka i okoliš u nekim dijelovima ciklusa nuklearnog goriva, a ne u nuklearnoj elektrani kao odvojenom objektu.

Zbog toga će, kad je riječ o utjecaju na okolinu, biti nešto rečeno i o ostalim objektima iz ciklusa nuklearnog goriva koji s nuklearnom elektranom predstavljaju tehnološku cjelinu, ali koji istovremeno mogu u odnosu na nuklearnu elektranu biti locirani na manjoj ili većoj udaljenosti, što znači da ako u određenom području ili na određenoj lokaciji postoji nuklearna elektrana, to nužno ne implicira potrebu izgradnje u danom području ili na danoj lokaciji i ostalih postrojenja ciklusa nuklearnog goriva. Oni mogu biti daleko stotinama i tisućama kilometara.

Ostavi li se načas postrance radioaktivni aspekt nuklearnih elektrana, ostaje konstatacija da su one i veliki privredni objekti koje treba inkorporirati u određeni prostor u ljudskoj okolini. Pri tome uža ili šira okolina trpi određene promjene koje su uglavnom lokalne i kratkoročne, ali ih ipak treba sagledati, ocijeniti i po potrebi ublažiti ili ukloniti. Zbog toga će poseban dio ovog članka biti posvećen tzv. neradioaktivnim aspektima utjecaja nuklearnih elektrana na okolinu.

2. RADIOAKTIVNI ASPEKTI UTJECAJA NUKLEARNIH OBJEKATA NA OKOLINU

2.1. Općenito

Potkraj 1982. godine u svijetu su bila u pogonu 294 reaktora ukupne instalirane snage 173 GW, a u izgradnji još 215 reaktora snage 196 GW (lit. 1). Predviđa se da bi krajem stoljeća ukupna snaga nuklearnih elektrana iznosila 1 000 – 1 600 GW, što je mnogo manje od ranijih procjena, ali i mnogo više od onoga što se moglo predvidjeti prije dvadesetak godina kad su nuklearne elektrane sudjelovale tek marginalno u proizvodnji električne energije. Predviđa se da bi od gornjeg iznosa oko 400 GW otpalo na Sjevernu Ameriku, 350 GW na SSSR i istočnoevropske zemlje, 300 GW na zapadnoevropske zemlje, oko 100 GW na Japan i 150 GW na zemlje u razvoju. Za sljedećih dvadesetak godina instalirani kapaciteti porasli bi dakle za 7 – 10 puta u odnosu na sadašnje stanje, što je 2 – 3 puta brži porast od planiranog ukupnog porasta instaliranih kapaciteta za proizvodnju električne energije. Ako se promatra ukupno proizvedena energija, taj odnos bit će još mnogo viši. Iz toga slijedi da će se krajem stoljeća udio nuklearne energije kako u instaliranoj snazi, tako i po proizvedenoj energiji znatno povećati u odnosu na konvencionalne izvore energije. Takva predviđanja nameću potrebu da se i svi problemi vezani za korištenje nuklearne energije, pa tako i oni vezani za utjecaj na okolinu nuklearnih elektrana i drugih postrojenja ciklusa nuklearnog goriva, razmatraju i rješavaju s najvećom pažnjom.

Kao što je već napomenuto, ako se razmatra radioaktivni utjecaj na okolinu, nužno je razmotriti, barem ukratko, sve dijelove ciklusa nuklearnog goriva. Ciklus nuklearnog goriva uključuje kopanje i mljevenje uranove rude, konverziju i (obično) obogaćivanje sadržaja fisibilnog urana — 235, proizvodnju elemenata goriva, proizvodnju toplinske energije u nuklearnom reaktoru, preradu (reprocessing) upotrijebljenog goriva te skladištenje i odlaganje radioaktivnih otpadnih tvari. Potrebno je kao poseban proces razmotriti i prijevoz nuklearnog materijala između različitih instalacija ciklusa nuklearnog goriva, koji uglavnom nisu locirani na istom mjestu, već često na vrlo velikim udaljenostima.

U svakom od dijelova ciklusa nuklearnog goriva mogu se dogoditi ispuštanja manjih količina radioaktivnog nuklearnog materijala. Većina radionuklida koja se ispušta u okolinu lokalnog su ili regionalnog značenja zbog njihove ograničene mobilnosti ili malih vremena poluraspada. Neki od njih, međutim, zbog dugog vremena poluraspada i velike mobilnosti, odnosno sposobnosti da se u različitim spojevima brzo ugrađuju u različite organizme, mogu biti razneseni na vrlo velike udaljenosti. Zbog izuzetno rigoroznih mjera kontrole ispuštanja radionuklida iz nuklearnih postrojenja individualne doze primljene od pojedinaca u okolini nuklearnih objekata izuzetno su malene i općenito daleko ispod propisanih ograničenja. To ipak ne znači da im ne treba poklanjati veliku pažnju. Jedan od aksioma zaštite od zračenja definiranog od ICRP (International Commission Radiological on Protection) i općenito prihvaćenog u svijetu kao ALARA-kriterij kaže, između ostaloga, da treba izbjegavati svako nepotrebno ozračenje makar kako ono malo bilo. Pod nepotrebnim ozračenjem smatra se svako ozračenje pojedinaca ili populacije u cjelini koje se ne da razumno opravdati, uzimajući u obzir tehničke i ekonomske parametre. Drugim riječima, svaka primljena doza je neprihvatljiva ako se ne može pokazati da su njezine posljedice manje od vrijednosti tehničkih i ekonomskih akcija za njenu eliminaciju.

Doze zračenja bitno ovise o lokaciji nuklearnog objekta, o karakteristikama naseljenosti u okolini, o

biološkim, hidrološkim i meteorološkim karakteristikama okoline, o karakteristikama prehrane itd. Zbog toga se u okolini svakoga nuklearnog objekta provode opsežna istraživanja prije i za vrijeme izgradnje, te tijekom eksploatacije kako bi se sve lokalne karakteristike mogle uzeti u obzir.

Radioaktivne tvari koje sudjeluju u ciklusu nuklearnog goriva opasne su za ljude zbog svoje sposobnosti zračenja. Zračenje se može manifestirati u obliku čestica kao što su β-zrake (elektroni), neutroni, te α-čestice (jezgre helija) i u obliku elektromagnetskih valova kao što su γ-zrake i x – zrake. Zajednička osobina svih oblika zračenja jest da ioniziraju sredinu kroz koju prolaze. Upravo je ionizacija osnovni mehanizam kojim zračenje nanosi štetu pojedinim organima i ljudskom organizmu u cjelini.

Prolazeći kroz tkivo organizma, gubi se energija zračenja u prvom redu na mehanizam ionizacije. Iz te pojave izvodi se i osnovna mjera, tzv. apsorbirana doza zračenja, kao gubitak energije po jedinici mase organizma ili organa koji je ozračen. Gubitak energije od jednog džula po kilogramu mase predstavlja osnovnu jedinicu za apsorbiranu dozu zračenja nazvanu **gray.** Često je još u upotrebi i stara jedinica **rad** (1 Gy = 100 rad).

Međutim, vrlo rano je primijećeno da gubitak energije pri prolazu kroz tkivo organizma nije prava mjera za štetni utjecaj na organizam. Taj utjecaj, naime, ovisi o više faktora, kao što su veličina i raspodjela doze, te naročito o vrsti zračenja i njegovoj ukupnoj energiji. Ako se radi o malim dozama, pokazalo se opravdano, a ICRP je to i službeno utvrdila, uvođenje dodatnog faktora koji ovisi o vrsti zračenja. Taj faktor iznosi 1 za β, γ i x-zrake, 10 za neutrone i protone, te 20 za α-čestice. Množenjem apsorbirane doze zračenja s ovim faktorom dobiva se tzv. ekvivalentna doza zračenja koja se mjeri u **sievertima.** Često je u upotrebi i stara jedinica **rem**, pri čemu je 1 Sv = 100 rem. Da bi se stekla slika o biološkom djelovanju zračenja te veličini jedinične mjere za ekvivalentnu dozu, daje se sljedeći primjer:

— element goriva nakon odgora u reaktoru	10^4 Sv/h
— fatalna doza zračenja	10 Sv
— maksimalna doza zračenja za zaposlene u nuklearnoj elektrani	0,05 Sv/god.
— maksimalna dozvoljena doza zračenja za pojedince u okolini nuklearne elektrane	0,005 Sv/god.
— prirodno zračenje iz ljudske okoline	0,001 Sv/god.
— fluorografsko snimanje pluća	0,0005 Sv
— bačva niskoaktivnog otpada iz nuklearne elektrane	0,1 Sv/god.
— interkontinentalni let evionom	0,000 05 Sv
— zračenje kolor televizora	0,000 01 Sv/god.
— življenje u blizini nuklearne elektrane	0,000 01 Sv/god.

Međutim, često ni ekvivalentna doza zračenja nije pravi pokazatelj naročito u slučajevima kad cijeli organizam nije jednoliko ozračen, nego su pojedini organi ozračeni više od drugih. U tom slučaju često se koristi po preporuci ICRP, tzv. efektivna doza zračenja definirana na sljedeći način:

$$H_{eff} = \sum_T w_T \cdot H_T$$

gdje je H_T ekvivalentna doza za organ T

w_T težinski faktor za organ T, proporcionalan riziku s obzirom na dobivanje tumora koji završava smrću ili hereditarnih efekata. Tako npr. žlijezda štitnjača može primiti ekvivalentnu dozu zračenja od 10 Sv, što je za cijelo tijelo fatalna doza, a da se ništa ne dogodi, jer će efektivna doza iznositi svega 0,3 Sv, zbog toga što je W_T za štitnjaču jednak svega 0,03, a malen je zbog toga jer je tumor s fatalnim posljedicama na štitnjači razmjerno rijedak (od raka štitnjače umire u roku od 5 godina svega oko 5 % oboljelih).

Potrebno je naglasiti da se obično, ako se posebno ne naglasi drugačije, pod pojmom »doza zračenja« smatra upravo »efektivna doza zračenja«.

Pri procjeni utjecaja zračenja na organizme dugo se smatralo da male doze ispod određenog praga nisu uopće štetne i da se ozbiljni efekti mogu pojaviti samo ako doza zračenja prijeđe stanovitu vrijednost. U novije vrijeme ovakav koncept se napušta. Postoje, doduše, određeni efekti čija klinička ozbiljnost bitno ovisi o dozi i koji nastupaju tek ako doza prijeđe određenu minimalnu vrijednost. To su tzv. nestohastički efekti. Mnogo su značajniji efekti iz druge klase, gdje se ne može dokazati da postoji minimalna doza ispod koje su mogúće posljedice sasvim zanemarive. To su tzv. skohastički efekti. Prema današnjim spoznajama razumno je pretpostaviti da povećani stupanj zračenja vodi do povećane opasnosti od štetnih efekata. Taj odnos u pravilu nije linearan nego ovisi o prethodno primljenoj dozi iz drugih izvora. Na primjer, ako su u dva slučaja prethodne doze, D_1 i D_2 različite (npr. $D_1 > D_2$), tada će dodatna doza D_3 imati veću vjerojatnost da proizvede štetne efekte na organizmu koji je prethodno primio dozu D_1 nego na onom sa prethodnom dozom D_2. Međutim, u slučaju da je D_3 vrlo mala doza u odnosu na D_1 i D_2, a to je slučaj kod objekata ciklusa nuklearnog goriva, gdje je dodatna doza zračenja stotinjak i više puta manja od doze iz prirodnih izvora, vrijedi približno

$$\frac{D_1 + D_3}{D_2 + D_3} \approx \frac{D_1}{D_2}$$

pa se dodatna doza D_3 može promatrati neovisno o prethodno primljenim dozama, D_1 i D_2. Bez obzira na to što ovakva pretpostavka nije korektna u svim slučajevima, ona daje vrlo praktičnu mogućnost da se opasnost od efekata zračenja procjeni na osnovi tzv. populacijske doze, dakle doze koju primi od određenog izvora ukupna populacija. Populacijska doza izražava se u **čovjek-sievertima** i predstavlja sumu pojedinačnih doza cijele populacije iz danog izvora isključujući one pojedince čije doze mogu proizvesti nestohastičke efekte.

Ovakav koncept vrijedi ako su nestohastički efekti zanemarivi u odnosu na stohastičke efekte, kao što je to razumno pretpostaviti u normalnim pogonskim stanjima. Međutim, u pojedinim akcidentalnim situacijama nestohastički efekti mogu po posljedicama kudikamo nadmašiti stohastičke efekte, npr. ukupna

Energija, God. 32/1983/6, 479-494

populacija može primiti vrlo malu populacijsku dozu u odnosu na neke pojedince čije ozračenje može proizvesti akutne kliničke simptome. Da bi se izbjeglo arbitriranje u procjeni opasnosti od ovakvih situacija, postoji tendencija da se stohastički i nestohastički efekti promatraju zajedno (Gonzales, lit 14), no čini se, barem za sada, bez većeg uspjeha. Zbog toga se u pravilu odvajaju tzv. normalna pogonska stanja od tzv. akcidentalnih situacija i promatraju odvojeno. Ovakav pristup čini se razumnijim, premda nije sasvim korektan, a osim toga podjela na »normalni pogon« i »akcidentalna stanja« često dovodi do pitanja, makar akademskih po značaju, na koja nije moguće dati korektan odgovor. Na primjer, uz pretpostavku da su posljedice akcidentalnih stanja primarno nestohastičke prirode, onda i cjelokupna analiza akcidentalnih situacija kroz stohastički pristup, odnosno probabilističkim metodama, u osnovi nije korektna, a upravo se probabilističke metode u analizi rizika najčešće koriste (npr. Rasmussen, lit 2).

2.2. Porijeklo radioaktivnosti u reaktoru, količina i sastav emisije radioaktivnih tvari, te procjena doze zračenja

Radioaktivnost je spontana transmutacija jednog elementa u drugi uz emitiranje zračenja. Pri tome u određenoj masi radioaktivne tvari svi atomi imaju jednaku vjerojatnost za spontani raspad neovisno o njihovoj starosti.

Količina radioaktivne tvari unutar koje nastupa jedan spontani raspad u sekundi kaže se da ima radioaktivnost od jednog **becquerela** (Bq). Još je ponegdje u upotrebi stara jedinica Curie, pri čemu je odnos 1 $Ci = 3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq.

Dok za neki pojedinačni atom radioaktivne tvari nije moguće predvidjeti njegovo trajanje, izvjesno je da je ukupni broj dezintegracija strogo proporcionalan masi, pri čemu konstanta proporcionalnosti, tzv. konstanta radioaktivnog raspada, λ, predstavlja jednu od osnovnih značajki svakog radioaktivnog elementa. Često se preko λ izvodi za širu primjenu jedna praktičnija i plastičnija karakteristika, tzv. vrijeme poluraspada, $T = \ln 2/\lambda$, kao vrijeme koje je potrebno da se broj atoma određenog radioaktivnog elementa u danoj masi smanji na polovinu. Vrijeme poluraspada prirodnih radioaktivnih elemenata kreće se od svega nekoliko djelića sekunde do nekoliko desetaka milijardi godina.

Uran — 235, vrlo značajan za suvremene komercijalne nuklearne elektrane, ima vrijeme poluraspada od oko 700 milijuna godina. To je, na žalost, još uvijek kratak period u odnosu na povijest Zemlje, pa se U — 235 uglavnom već raspao i ostalo ga je svega 1 — 2 % od one količine pri formiranju Zemlje. Nasuprot njemu, od urana — 238, s vremenom poluraspada od čak 4,5 milijarde godina, raspalo se do danas svega oko polovina. Zbog toga i jest sadržaj U — 235 u prirodnom uranu tako malen (svega oko 0,7 %).

Zbog velikog vremena poluraspada urana — 235 i urana — 238, od kojih se sastoji nuklearno gorivo, u nuklearni reaktor se pri punjenju svježim gorivom unosi vrlo mala količina radioaktivnosti, samo nekoliko stotina kirija ($\sim 10^{13}$ Bq). Glavnina radioaktivnosti proizvodi se u toku pogona reaktora, ukupni radioaktivni potencijal za reaktor u pogonu iznosi preko $15 \cdot 10^9$ kirija ($5 \cdot 10^{20}$ Bq), dakle poraste oko pedeset milijuna puta.

Radioaktivnost u reaktoru u toku pogona nastaje uglavnom na tri načina. Prvi način vezan je uz sam proces fisije gdje iz jedne teške jezgre urana — 235 nastaju obično dvije lakše, u pravilu nejednake frakcije, jedna s masenim brojem obično oko 95 (npr. kripton, stroncij), a druga s masenim brojem oko 140 (npr. jod, ksenon, cezij i sl.). Ponekad se pojavi i treći fisijski fragment sasvim male mase, to je najčešće tricij, zapravo izotop vodika. Svi proizvodi fisije i sami su radioaktivni, ali uglavnom sa znatno manjim vremenima poluraspada, pa im je i aktivnost u pravilu visoka. Tako nastaje u jednom tipičnom lakovodnom reaktoru snage oko 1 000 MW oko 12 milijardi kirija fisijskih produkata, od kojih dominiraju izotopi kriptona, stroncija, joda, ksenona i cezija, ali ima i niobija, molibdena, rubidija, cirkonija, kadmija, indija i sl., ukupno više desetaka različitih izotopa.

Drugi je način proizvodnje radioaktivnosti u reaktoru zbog tzv. nefisijskih reakcija kojima se pojedini nuklidi transformiraju u druge, ali slične mase. Uglavnom se to u reaktoru događa povezano uz tzv. zahvat neutrona (capture), pri čemu nastaju uglavnom elementi iz grupe aktinida (torij, protaktinij, uran, neptunij, plutonij, americij, kirij itd.) koji su svi radioaktivni. Tako nastaje nešto oko 3,5 milijarde kirija. Većina aktinida su fisibilni ili kasnije tvore fisibilne atome koji se brzo raspadaju, tvoreći fisijske produkte kao i uran — 235. Na taj način iz nefisibilnog materijala stvara se fisibilni materijal. To je tzv. proces konverzije. Konverzijom se iz urana — 238 između ostaloga stvara i plutonij.

Treći vid proizvodnje radioaktivnosti u reaktoru nije direktno vezan za gorivo, nego uz popratne strukture, npr. košuljice goriva, dijelove snopa gorivih elemenata te rashladni medij. Atomi ovih struktura mogu biti aktivirani na sličan način koji dovodi i do proizvodnje aktinida, dakle zbog interakcije s neutronima. U ukupnoj radioaktivnosti u reaktoru nastaje ovako najmanji dio (desetak ili nešto više milijuna kirija), ali su ovi produkti i najopasniji jer nastaju u pravilu izvan košuljice goriva, pa lakše prodru u okolinu, za razliku od fisijskih i konverzijskih produkata koji nastaju u gorivu i mogu eventualno pobjeći u okolinu jedino kroz pukotine na košuljici elementa goriva.

Mora se istaknuti da velik dio od radioaktivnih elemenata u reaktoru, bez obzira na način njihova nastanka nije s gledišta opasnosti za okolinu naročito značajan zbog vrlo malog vremena poluraspada. Neki od njih čak i s većim vremenom poluraspada nisu toliko značajni jer se zbog kemijske inaktivnosti sporo ili nikako ne inkorporiraju u živim organizmima

(npr. plemeniti plinovi). S druge strane, neki od njih zbog dugog života i visoke biološke aktivnosti čak i u vrlo malim količinama izazivaju zabrinutost, npr. jod — 129 ili ugljik — 14, koji nastaje uglavnom u neutronskim reakcijama s dušikom — 14 ili kisikom — 17 koji su sastavni dio rashladnog medija.

Od ove goleme količine radioaktivnosti samo jedan izuzetno malen dio prodre u okolinu u pogonskom vijeku elektrane. U stvari, jedino plinoviti i hlapivi radionuklidi i oni koji su proizvedeni aktivacijom izvan košuljice s gorivom imaju mogućnost da »pobjegnu« u okoliš.

Količina i sastav radioaktivnih tvari koje se u normalnom pogonu ispuštaju u okolinu ovisi o konstrukcijskim detaljima i tipu objekta, te naročito o specifičnostima sistema za obradu plinovitih i tekućih efluenata. Sistemi za obradu efluenata dijele se u dvije funkcionalne kategorije. Prvu čine tzv. filtracijski sistemi koji fizikalno ili kemijski separiraju radionuklide iz tokova tekućeg ili plinovitog otpada, a drugu grupu čine tzv. sistemi za zadržavanje (holdup) čija se funkcija bazira na činjenici da mnogi radionuklidi u otpadnim tokovima imaju malo vrijeme poluraspada, pa njihova aktivnost znatno padne nakon stanovitog zadržavanja u posebnim tankovima i sl., obično kroz period od 1 do 4 mjeseca prije ispuštanja u okolinu.

Sistemi za obradu efluenata obično su vrlo komplicirani, a zauzimaju i popriličan prostor.

Radionuklidi koji se ispuštaju u atmosferu obično su plemeniti plinovi nastali u procesu fisije (naročito su značajni kripton i ksenon), aktivacijski produkti (ugljik — 14, dušik — 16, sumpor — 35 ili argon — 41), tricij, jod i različite čestice (korozivni produkti, rezultat fisije nekih plemenitih plinova i sl.). Radionuklidi koji se ispuštaju u vodenu sredinu uključuju naročito tricij, aktivirane korozivne produkte iz rashladnog sistema i proizvode fisije.

Ispuštanje radionuklida u okolinu ne ovisi samo o konstrukcijskim detaljima i tehnološkoj osnovi elektrane, nego i o različitim iregularnostima u pogonu i održavanju elektrane. Zbog toga prosječne količine ispuštenih efluenata, svedeno na l GW god. proizvedene električne energije, za pojedine elektrane u svijetu u razdoblju 1975 — 1979. (lit. 3) koje se daju u nastavku, mogu poslužiti samo kao grublja orijentacija. Ipak, mora se konstatirati da su emisije efluenata obično daleko ispod regulativom dozvoljenih veličina u pojedinim zemljama.

a) *Plemeniti plinovi (generirani fisijom)*

Analiza je napravljena za 54 PWR reaktora iz različitih zemalja za razdoblje 1975 — 1979. Dobivena je prosječna emisija plemenitih plinova od 430 TBq/GW god. (oko 11 600 Ci/GW god.) Najveći dio aktivnosti, otprilike 85%, otpada na ksenon — 133 (poluraspad 5,3 dana), a s po oko 5% zastupljeni su ksenon — 133 (T1/2=9,2 sati) i kripton — 85 (T1/2=10,7 god). Još 4% otpada na druge izotope ksenona, a preostalih oko 1% na izotope kriptona i argon. Kod BWR reaktora (43 reaktora) ustanovljen je prosjek od 8 800 TBq/GW god (240 00 Ci/god), pri čemu nijedan od izotopa nema dominirajući utjecaj. Oko dvije trećine čine izotopi ksenona, a ostatak izotopi kriptona. Međutim, svega četvrtina aktivnosti pripada izotopima s vremenom poluraspada duljinu od jednog dana (Kr — 85 i Xe — 133).

Kod teškovodnih reaktkora (9 jedinica, 8 kanadskih i jedna argentinska) ustanovljen je prosjek od 460 TBq/GW god. (oko 12 400 Ci/GW god.), dakle slično kao kod PWR reaktora.

b) *Tricij*

Veći dio tricija kod PWR reaktora proizvod je fisije, a samo manji dio je proizvod aktivacije, naročito izotopa litija i bora koji se nalaze u kontaktu s vodom primarnog kruga. U razdoblju 1975 — 1979. za 39 reaktora u Evropi i SAD ustanovljena je prosječna emisija tricija u plinovitim efluentima od 7,8 TBq/GW god. (oko 210 Ci/GW god.) Kod BWR reaktora (27 reaktora) ustanovljen je prosjek od 3,4 TBq/HWR god. (~Ci/GW god.), a kod GWR reaktora čak 540 TBq/GW god. (~14 600 Ci/GW god.).

Tricij je zastupljen i u tekućim efluentima i registrirano je prosječno 38 TBq/GW god. (~1 030 Ci/GW god.) kod PWR-a, 1,4 TBq/GW god. (~38 Ci/GW god.) kod BWR-a, te 350 TBq/GW god. (~9 500 Ci/GW god.) kod teškovodnih reaktora. Najveći dio tricija kod HWR reaktora nastaje aktivacijom moderatora (deuterij).

c) *Izotopi joda*

Izotopi joda isključivo su proizvod fisije. U procjeni radioaktivne kontaminacije okoline od interesa su sljedeći izotopi: I-129 ($T1/2 = 16 \cdot 10^6$ godina), I-131 (T1/2=8,04 dana), I-132 (T1/2=2,3 h), I-333 (T1/2=21 h), I-134 (T1/2=53 minute) i I-135 (T1/2=6,6 h). Naročita se pažnja posvećuje jodu — 131 zbog njegove mobilnosti u okolišu i brze akumulacije u štitnjači. U novije vrijeme jod — 129 se mnogo istraživao zbog njegova dugog života iako ga u efluentima iz nuklearnih elektrana gotovo i nema, za razliku od efluenata iz postrojenja za preradu istrošenog goriva.

Za razdoblje 1974 — 1979. ustanovljeno je u plinovitim efluentima PWR elektrana u prosjeku 5 GBq/GW god. (~0,13 Ci/GW god.) izotopa joda, kod BWR elektrana 410 GBq/GW god. (~11,1 Ci/GW god.), a kod HWR elektrana (podaci samo za elektranu Atucha) 3,1 GBq/GW god. (0,08 Ci/GW god.)

Međutim, najznačajniji izotop I-131 zastupljen je kod PWR-a sa čak 37% aktivnosti, dok kod BWR-a I-131 predstavlja tek oko 9% ukupne aktivnosti.

d) *Ugljik-14*

Ovaj izotop je u posljednje vrijeme izazvao veću pažnju zbog svojeg dugog života (5 730 godina) i velike mobilnosti u okolišu.

Za sada postoje vrlo oskudni podaci o emisiji C-14, i to uglavnom iz njemačkih izvora. Prosjeci iznose odo 200 GBq/GW god. (~5,5 Ci/GW god.) za PWR i oko 2,5 puta veše za BWR. Za HWR reaktore emisija C-14 procjenjuje se na 10 TBq/GW god. (~270 Ci/GW god.).

e) *Čestice u plinovitim efluentima*

Budući da porijeklo čestica može biti raznoliko, uprosječivanje rezultata daje vrlo malo informacija. Čak nekoliko desetaka radionuklida može se disponirati u okolinu na ovaj način, pri čemu nijedan od njih obično ne dominira. Za PWR prosjek iznosi 2,2 GBq/GW god. (0,06 Ci/GW god.), kod BWR-a 53 GBq/GW god. (1,4 Ci/GW god.), a kod HWR-a oko 0,9 GBq/GW god. (0,02 Ci/GW god.).

f) *Aktivnost tekućih efluenata (isključujući tricij)*

Izvori radionuklida u tekućim efluentima uglavnom su isti kao i za čestice u plinovitim efluentima. Količina i sastav radionuklida koji se ispuštaju u okolinu ovisi o tipu i izvedbi reaktora, nivou čistoće rashladnog medija, te sastavu materijala košuljice goriva i drugih struktura reaktora.

Za razdoblje 1975 — 1979. konstatiran je prosjek od 180 GBq/GW god. (4,86 Ci/GW god.) za PWR, 290 GBq/GW god. (7,83 Ci/GW god.) za BWR i 470 GBq/GW god. (12,7 Ci/GW god.) za elektranu Atucha, a za kanadske elektrane desetak puta manje.

Izotopski sastav pokazuje da između tridesetak izotopa dominiraju izotopi cezija, kobalta, te joda, kroma i mangana.

Navedeni podaci odnose se na elektrane u eksploataciji. Oni su rezultat vrlo preciznih mjerenja ili procjena na stvarnom objektu. Međutim, da bi se elektrana uopće pustila u pogon, pa čak i za dobivanja građevinske dozvole, a u preliminarnom obliku i za potrebe suglasnosti za lokaciju, potrebno je za dane tehnološke osobine reaktora procijeniti aktivnost plinovitih i tekućih efluenata (tzv. Source Term). U tom smislu razvijeni su različiti računski modeli. Jedan od njih za lakovodne reaktore razvila je američka nuklearna komisija (NRC), a poznat je pod imenom GALE-kod (lit. 4).

Koristeći se tehnološkim podacima Westinghousea, napravljena je u Institutu za elektroprivredu obrada za elektranu 2 × 1 200 MW za potrebe izbora mikrolokacije u Slavoniji (lit. 5), i dobiveni su približno sljedeći rezultati (u zagradi dani su obrađeni podaci na stvarnim objektima):

Plemeniti plinovi	2 900 Ci/GW god.	(11.600 Ci/GW god.)
Tricij	830 Ci/GW god.	(210 Ci/GW god.)
Izotopi joda	0,75 Ci/GW god.	(0,13 Ci/GW god.)
Ugljik-14	6,7 Ci/GW god.	(5,5 Ci/GW god.)
Čestice	0,0033 Ci/GW god.	(0,06 Ci/GW god.)
Tekući efluenti (bez tricija)	0,18 Ci/GW god.	(4,86 Ci/GW god.)
Tricij u tekućim efluentima	320 Ci/GW god.	(1030 Ci/GW god.)

Vidi se da su predviđanja Westinghousa realizirana preko GALE koda viša od izmjerenih vrijednosti za izotope joda, te ispuštanje tricija u atmosferu, a niža za sve ostale efluente, iako razlike nisu velike.

Dakako, poznavanje emisije radionuklida samo je nužan, ali ne i dovoljan korak u procjeni utjecaja zračenja na ljude u okolini, odnosno u procjeni populacijske i individualne doze zračenja. Izlaskom iz elektrane radionuklidi predstavljaju potencijalnu opasnost, a stvarnu opasnost predstavljaju ako dođu u neposrednu blizinu čovjeka, odnosno ljudi u okolini. To se može dogoditi na razne načine, pa se govori o različitim putovima ozračenja. Neki od tih putova su posebno značajni jer preko njih radioaktivni izotopi vrlo brzo stižu do čovjeka. To su tzv. kritični putovi. Naravno, kritični putovi ovise o karakteristikama na svakoj pojedinoj lokaciji, naročito o karakteristikama naseljenosti i prehrane stanovništva, biološkim i ekološkim karakteristikama, meteorološkim, hidrološkim, hidrografskim i topografskim značajkama itd. Neki od kritičnih putova značajni su, čini se, u svim slučajevima, a to su sljedeći (detaljniji opis dan je u lit. 6):

a) Putovi kroz atmosferu:
   1. uranjanje u radioaktivni oblak,
   2. izlaganje kontaminiranoj površini Zemlje,
   3. udisanje radionuklida iz zraka
   4. konzumiranje namirnica s akumuliranim radionuklidima donesenim atmosferskim putem.

b) Putovi kroz vodu:
   1. aktivnosti u vodi i na vodi (plivanje, veslanje itd.),
   2. izlaganje kontaminiranoj površini obala vodotoka,
   3. korištenje vode kontaminirane radionuklidima za piće
   4. konzumiranje vodenih organizama,
   5. konzumiranje mesa i mlijeka ako je stoka pila vodu ili pasla travu koja je zalijevana kontaminiranom vodom, te konzumiranje voća i povrća zalijevanog kontamiranom vodom.

Za procjenu doza zračenja, u vezi sa svakim od kritičnih putova, koriste se različiti modeli bazirani na pojedinim eksperimentalnim radovima ili na osnovi poznavanja mehanizama vezanih za transport radionuklida do čovjeka. U Institutu za elektroprivredu koriste se za tu svrhu medeli što ih je razvila NRC, i to GASPAR za ocjenu doza od plinovitih ispuštanja i LADTAP za ocjenu doza vezanih uz kritične putove tekućih efluenata. Potrebno je poznavati i transportne i disperzijske karakteristike atmosfere i vodotoka

u koji se ispuštaju tekuće otpadne tvari iz elektrane, kao i karakteristike naseljenosti u pogonskom vijeku elektrane. U Institutu za elektroprivredu su za tu svrhu razvijeni posebni modeli (lit. 7,8):

— ATMOS za određivanje potrebnih karakteristika transporta i difuzije atmosfere, na osnovi statističke obrade meteoroloških podataka korištenjem različitih kriterija stabilnosti atmosfere, baziran na Suttonovu prijedlogu korištenja Gaussove jednadžbe
— DEMOS za određivanje karakteristika vezanih uz naseljenost na bazi analize pojedinačnih naselja, te za procjene broja stanovnika u budućem periodu različitim metodama
— KODI za procjenu karakteristika transporta i difuzije u vodotoku, baziranom na poopćenim rezultatima mjerenja na TE Sisak.

U svakom slučaju, problemi vezani za transport radionuklida od elektrane do čovjeka vrlo su kompleksni i bitno ovise o različitim lokalnim karakteristikama. Zbog toga se već u ranoj fazi planiranja nuklearne elektrane pristupa analizi širokog spektra parametara u području odabrane lokacije kako bi se na vrijeme stvorio nužan fond podataka za potrebe navedenih analiza kritičnih putova.

Bez obzira na to što veličina doze zračenja bitno ovisi o karakteristikama užeg i šireg područja oko lokacije (uobičajeno je za nuklearne elektrane napraviti analizu u području radijusa 80 km) u nastavku daju se, isključivo radi orijentacije, proračuni doza zračenja za pretpostavljenu situaciju na temelju analize UNSCEAR-a (lit. 3) uz osnovne protpostavke o okolini koje odgovaraju za područje Evrope i Sjeverne Amerike.

Tako je ukupna populacijska doza za PWR-elektranu od plemenitih plinova ocijenjena sa 0,042 čovjek-Sv/GW god. čemu sa 80% participira Xe-133, Xe-135 s oko 11%, a Kr-88 sa 4% od ukupne doze.

Kod BWR elektrana ukupna doza od plemenitih plinova je 0,63 čovjek-Sv/GW god.

Vrlo je bitno konstatirati da se kod PWR reaktora od ukupne doze svega oko 38% primi u području od 100 km od elektrane, dok se kod BWR-a u ovom području primi čak oko 91%.

Za tricij kolektivna apsorbirana doza je 0,08 čovjek-Gy/GW god. za PWR, 0,04 čovjek-Gy/GW god. za BWR, a 5,6 čovjek-Gy/GW god. za HWR.

Za izotope joda dobiveno je $6{,}6 \cdot 10^{-4}$ čovjek-Gy/GW god. za PWR, $190 \cdot 10^{-4}$ čovjek-Gy/GW god. za BWR.

Za C-14 slijedi 0,39, odnosno 0,92 čovjek-Gy/GW god. respektivo za PWR i za BWR.

Za čestice slijedi $12 \cdot 10^{-4}$ čovjek-Sv/GW god. za PWR odnosno 0,29 čovjek-Sv/GW god. za BWR.

Za tekuće efluente slijedi efektivna doza od $60 \cdot 10^{-4}$ čovjek-Sv/GW god. za PWR, te $420 \cdot 10^{-4}$ čovjek-Sv/GW god. za BWR.

Vidi se da su procijenjene doze zračenja na osnovi realiziranih ispuštanja vrlo niske. Kad bi se ukupna populacijska doza koja otpada na 1 GW god. privedene električne energije (~8,7 milijardi kWh) koncetrirala na jednog čovjeka, on jedva da bi osjetio lakše kliničke posljedice, ali bez akutne opasnosti za život.

2.3. Radioaktivne otpadne tvari

U prethodnom poglavlju bilo je govora o radionuklidima koji se manje-više konstantno i kontrolirano ispuštaju u okolinu za vrijeme normalnog pogona elektrane. Važno je uočiti da se radi o apsolutno i relativno vrlo malim količinama. Dakako, i ostatak aktivnosti sadržan u reaktoru, mora se kad-tad iznijeti iz reaktora i disponirati u okolinu. Za razlikku od onog dijela koji se kontinuirano ispušta te kad jednom iziđe nije više pod kontrolom, ovaj drugi dio, daleko veći i opasniji, mora ostati praktički trajno pod kontrolom. Radi se naime, o tzv. radioaktivnom otpadu koji treba da bude specijalno obrađen te uskladišten ili odložen.

Radioaktivni otpad dijeli su na kategorije, pa se razlikuje visokoaktivni, srednjoaktivni i niskoaktivni otpad. Pri tome se i visokoaktivni i niskoaktivni otpad sastoje uglavnom od istih elemenata. Razlika je jedino u tome što je koncentracija radionuklika u visokoaktivnom otpadu mnogo viša (reda veličine milijardu puta). Visokoaktivni otpad tvore uglavnom istrošeno gorivo, ako se ne računa na preradu istrošenog goriva (reprocessing), odnosno neiskoristivi proizvodi prerade istrošenog goriva. Trenutno, budući da prerada istrošenog goriva još u svijetu nije značajno prisutna, veći dio do sada istrošenog goriva, očekujući preradu, čeka uskladišten. Pri izmjeni goriva (obično 1/3 svake godine) iznosi se iz reaktora i aktivnost od oko 5 milijardi kirija. Premda u roku od 5 mjeseci, a to je obično minimalan rok kroz koji se istrošeno gorivo zadržava u specijalnoj zgradi, unutar elektrane, aktivnost padne na svega oko 100 milijuna krija, zbog malog vremena poluraspada većine nuklida sadržanih u reaktoru, ipak će manji dio ostati aktivan i u toku duljeg perioda koji se mjeri stotinama i tisućama godina. Pri tome će on proizvoditi i određenu količinu topline koja se mora kontinuirano odvoditi, a to može dovesti do većih problema od same radioaktivnosti. Upravo je, po nekima, problem odlaganja visokoaktivnog otpada danas osnovni i najteži problem vezan za nuklearno doba. Po drugima, međutim, to je »najveći nepostojeći problem«. Čini se da su djelomično u pravu i jedni i drugi. Prvi zbog toga što ostavljajući radioaktivni otpad kroz stotine godina ugrožavamo buduće generacije, osim toga ponašanje različitih prirodnih i umjetnih materijala pod dugotrajnim djelovanjem zračenja još uvijek nije u potpunosti istraženo. Drugi su u pravu jer ipak danas postoje različita tehnički pouzana i razmjerno jednostavna rješenja za odlaganje ovog otpada, a osim toga količina tog otpada još uvijek nije tako velika i proći će još barem dvadesetak godina dok ovaj problem ne postane stvarno urgentan. Mora se usput konstatirati da su do 1979. god. američke

nuklearne elektrane proizvele tek 2% od ukupnog visokoaktivnog otpada u SAD, a ostatak otpada na reaktore koji proizvode materijal za američke nuklearne bombe (lit. 9). Na žalost, pitanje nuklearnog otpada iz vojnih instalacija malokad se postavlja kao problem.

Uglavnom, u obradi visokoaktivnog otpada koriste se različiti postupci tzv. solidifikacije, naročito je poznat postupak vitrifikacije (miješanje s rastaljenom staklenom masom). U SR NJemačkoj je npr. razvijen postupak PAMELA*. Što se tiče odlaganja, razmatraju se različite geološke formaciji i rudnici soli, granitne, bazaltne i slične stijene itd. Bilo je pokušaja da se visokoaktivne otpadne tvari odlažu na morsko dno, no čini se da se ubuduće ovakav način odlaganja neće dopuštati.

Srednjoaktivni i naročito niskoaktivni otpad po aktivnosti znatno zaostaju za visokoaktivnim, ali je njihov volumen mnogo veći. Većinom se radi o krutim sastojcima, npr. laboratorijskoj odjeći, kontaminiranoj prljavštini različitog porijekla, ukratko svim onim predmetima i tvarima koje na bilo koji način dolaze u kontakt s radioaktivnim tvarima. Niskoaktivni otpad se disponira obično na vrlo jednostavan način iako pri izboru lokacija treba povesti računu o nekim bitnim pretpostavkama (poželjni su suhi i nepropusni slojevi itd.).

Procijeniti dozu zračenja od obrade radioaktivnog otpada nije naročito jednostavno, posebno za visokoaktivni otpad, gdje se može govoriti o potencijalnoj opasnosti tek nakon stotinjak tisuća ili više godina. Toliko se, naime, procjenjuje da je vrijeme migracije radionuklida od repositorija do površine Zemlje, odnosno do čovjeka.

2.4. Utjecaj na okolinu dijelova ciklusa nuklearnog goriva

Već je prije spomenuto da s gledišta utjecaja na okoliš vezano uz zračenje neki elementi ciklusa nuklearnog goriva mogu participirati u ukupnoj populacijskoj dozi znatno više nego nuklearna elektrana. Sreća je ipak da je postrojenja iz ciklusa nuklearnog goriva potrebno brojčano znatno manje nego nuklearnih elektrana jer npr. jedno postrojenje za obogaćivanje nuklearnog goriva može posluživati nekoliko desetaka nuklearnih elektrana.

U nastavku dat će se ukratko procjena radioaktivnog utjecaja na okoliš postrojenja ciklusa nuklearnog goriva, te postrojenja za transport istrošenog goriva.

a) *Eksploatacija i mljevenje uranove rude*

Uranova ruda koja se smatra pogodnom za eksploataciju sadrži obično između 0,1% i 3% U_3O_8 i obično se nalazi u plićim slojevima. Ako se radi o jamskom kopu najznačajniji radioaktivni produkt je radon-222, kod otvorenog rudnika s površinskim zahvatom emitira se i dosta radioaktivne prašine.

Postupak mljevenja uranove rude služi dao prvi korak u dobivanju djelomično rafiniranog urana, tzv. žutog kolača (čistoće oko 70%). Budući da je potrebno obraditi veliku količinu uranove redi, mlinovi su obično vrlo blizu nalazišta urana. Proizvodnja žutog kolača sastoji se obično iz sljedećih operacija: drobljenja, mljevenja, otapanja u kiselom ili lužnatom otapalu, separaciji urana iz otopine, taloženju, sušenju i pakiranju. Najviše radioaktivnih tvari emitira se u okolinu zbog drobljenja rude, te sušenja i pakiranja žutog kolača.

Plinoviti radioaktivni efluenti sastoje se gotovo isključivo od radona-222 koji se ispušta u okolinu u razmjeno velikim količinama.

Radon-222 je prirodni radioaktivni plin iz radioaktivnog niza urana-238, a nastaje direktno α-raspadom radija-226. Kao plemeniti plin nije jako biološki aktivan, ali se vrlo brzo raspada ($T2 = 3{,}8$ dana), a njegovi proizvodi, naročito polonij-218 i polonij-210, kemijski su izuzetno aktivni, pa se vrlo brzo vežu za čestice u zraku i tako stižu do respiratornih organa čovjeka te tamo nastavljaju zračiti zajedno s proizvodima svog raspada.

Budući da, u krajnjoj liniji, radon nastaje iz urana-238 kojeg praktički ima posvuda u zemaljskoj kori, u vodi, zraku, građevnom materijalu i u živim bićima, nalazi se radon praktički svuda s ukupnom aktivnosti na Zemlji oko 10^{18} Bq ($\sim 30 \cdot 10^6$ Ci). U zraku ga ima obično 0,1 — 10 Bq/m³. Naravno, u zatvorenim prostorima ima ga znatno više (u prosjeku 20 Bq/m³). U pojedinim vodotocima opažena je aktivnost radona i do 100 MBq/m³. U rudnicima koncentracija je i do 10^6 Bq/m³.Veći dio od prirodnog fona zračenja u ljudskoj okolini dolazi do radona i njegovih produkata. Naravno, u blizini rudnika urana koncentracije radona su značajno više, npr. u području našeg rudnika Žirovski vrh (lit. 10) nađene su kućama koncentracije oko 100 Bq/m³dok su koncentracije na otvorenom iznosile 4 — 8 Bq/m³.

Ako se uzme da u prosjeku za elektranu snage 1 GW treba oko 200 tona neobogaćenog urana godišnje, i da je postotak urana u rudi 0,2%, te da se po toni rude oslobađa 0,1 – 0,2 GBq radona, slijedi ukupna proizvodnja radona oko 20 TBq/GW god.

Primljena doza zračenja ovisi o karakteristikama okoline rudnika urana. Također, doza bitno ovisi i o vremenu promatranja. Uran-238 ima izuzetno dugo vrijeme poluraspada, pa će se i proizvodnja radona iz jelovine uranove rude nastaviti milijunima godina. Zbog toga se u ovom slučaju moraju razlikovati kratkoročne procjene od onih duguročnih. Ove prve daju efektivnu dozu od oko 0,5 čovjek-Sv/GW god. (uz pretpostavku od 25 ljudi/km², dok druge svedene na prvih 1000 godina (lit. 3) daju procjenu od oko 25 čovjek-Sv/GW god.

Da bi se ova veličina lakše percipirala, dat će se jedan primjer koji nema nikakve veze ne s rudnicima

* Phosphatglasverfestigung mit anschlie ender Metalleinbettung zur sicheren Endlagerung hochradioaktiver Abfälle

urana ni s nuklearnom energetikom općenito, ali je vrlo indikativan. Naime, prema istraživanjima u Švedskoj štednja energije za ventilaciju prostorija dovodi do znatnog porasta zračenja u kućama, i to ovisno o vrsti kuća, porast doze zračenja iznosi 2 200 do 8 700 čovjek-Sv/GW god. uštođene energije. Te povećane doze isključivo su posljedica povećane koncentracije radona u kućama zbog smanjene ventilacije.

b) *Proizvodnja nuklearnog goriva*

Žuti kolač nakon proizvodnje u zoni rudnika šalje se u postrojenje za konverziju. Tamo se U_3O_8 najprije dodatno rafinira kako bi se uklonile sve nečistoće koje bi mogle reducirati kvalitetu urana kao nuklearnog goriva. Naročito je bitno da se uklone oni izotopi s velikom sposobnošću apsorpcije neutrona. Nakon pročišćavanja uran se nalazi u obliku UO_3, koji se daljnjim tretmanom s vodikom, fluorovodikom i fluorom prevodi u uranov heksafluorid (UF_6) koji ima tu karakteristiku da je pri običnoj temperaturi u krutom obliku i time pogodan za transport do postrojenja za obogaćivanje, a pri povišenoj temperaturi prelazi u plinovito stanje i postaje vrlo pogodan za proces obogaćivanja sadržaja U-235.

Obogaćivanje izotopskog sastava U-235 nužno je za LWR i AGR reaktore dok teškovodni reaktori koriste prirodni uran za gorivo i ne trebaju obogaćivanja, pa se na njih ovaj dio ne odnosi. Obogaćivanje se obično provodi u postrojenjima za plinsku difuziju, iako je u posljednje vrijeme sve veća upotreba tehnike na centrifugalnom principu, čija je prednost da troše desetak puta manje energije i jeftinije su od postrojenja za difuziju, ali imaju i neke nedostatke.

Nakon obogaćivanja UF_6 se prevodi u UO_2 ili čisti uranov metal i takav se onda koristi za proizvodnju elemenata goriva.

Emisija radionuklida iz postrojenja za konverziju, obogaćivanje i proizvodnju goriva prilično je malena. Velik dio torija-230 i radija-226 koji dovode do stvaranja radona odstranjuje se u postrojenju za konverziju, tako da u efluentima koji se ispuštaju u okolinu ima relativno melen dio ovih izotopa.

Podaci, normalizirani na 1 GW god. proizvedene električne energije, pokazuju da se u jednom prosječnom postrojenju za konverziju ispušta u atmosferu oko 8 000 MBq/GW god. radona-222 i oko 200 MBq/GW god. drugih izotopa (uglavnom U-238, U-234 i Th-234). Tekućih efluenata ispušta se oko 1 800 MBq/GW god. (90% uranovih izotopa, 7% Ra-226 i ostatak tvori Th-230).

Iz postrojenja za obogaćivanje ispušta se u atmosferu oko 11 MBq/GW god. (oko 8,5 MBq/GW god. U-238 i U-234, ostatak čini Th-234), te u obliku tekućih efluenata oko 750 MBq/GW god. gotovo isključivo U-238 i U-234.

Iz postrojenja za proizvodnju nuklearnog goriva u atmosferu se ispušta oko 9 MBq/GW god., u velikoj većini U-234, a u tekući recipijent oko 1 100 MBq/GW god., uglavnom podjednako U-238, U-234 i Th-234 te nešto malo U-235.

Uz pretpostavku prosječne naseljenosti u okolini ovih postrojenja od 25 st/km², te uz ostale parametre koji u prosjeku vrijede za srednje geografske širine sjeverne hemisfere slijedi prema lit. 3 ukupna populacijska efektivna doza zračenja vezana za proizvodnju goriva od oko $2 \cdot 10^{-3}$ čovjek-Sv/GW god., pri čemu radon sudjeluje sa samo oko 20%, a ostala doza dolazi uglavnom od izotopa urana. U odnosu prema pokazateljima vezanim za rudnike urana ovo je sasvim neznatna doza.

c) *Prerada istrošenog goriva (reprocessing)*

Svrha prerade istrošenog goriva jest da se iz njega izvuče preostali uran i konverzijom stvoreni plutonij. Prethodno se istrošeno gorivo drži barem 4 — 5 mjeseci u posebnoj zgradi unutar elektrane, pod vodom, koja služi istovremeno za odvođenje stvorene topline i kao zaštita od zračenja. Za to vrijeme aktivnost znatno padne (za oko 50 puta), a potom može uslijediti transport u postrojenje za preradu. Tamo se ostatak goriva najprije odvaja od drugih struktura i zatim otapa u dušičnoj kiselini.

Uran i plutonij se posebnim postupkom (najpoznatiji je tzv. PUREX* sistem) odvajaju iz otopine i pretvaraju u okside pogodne za skladištenje. Plutonij odlazi direktno u postrojenje za proizvodnju goriva, a uran (uglavnom u obliku U-238) ide u postrojenje za obogaćivanje, nakon čega se ponovno koristi. Postoji i mogućnost stavaranja tzv. miješanog goriva s oko 4% plutonija i 96% urana.

Kod HWR elektrana, koje se koriste neobogaćenim gorivom, prerada istrošenog goriva ima manje ekonomsko opravdanje zato jer istrošeno gorivo sadrži mnogo manje fisibilnog urana-235 (svega oko 0,2% od ukupnog urana) nego istrošeno gorivo iz LWR elektrana koje sadrži oko 0,9 — 1% U-235 u preostalom gorivu, iako je kod ove tehnologije količina stvorenog plutonija u reaktoru oko 2 puta veća.

Na žalost, upravo je plutonij jedna od glavnih prepreka za brži razvoj postrojenja za preradu. Dovoljno je, naime, svega oko 4 — 5 kg čistog plutonija za proizvodnju nuklearne bombe. (Uran-235 je za ovu svrhu nepraktičan jer je uvijek pod »zaštitom« urana-238 od kojeg se, kao što je već rečeno, vrlo teško separira.) Zbog toga uvijek prijeti opasnost da tako dobiveni plutonij dođe u ruke onima koji bi ga koristili u nemiroljubive svrhe. Ipak, treba reći da nisu nužno potrebne nuklearne elektrane i reprocessing za proizvodnju plutonija. On se vrlo efikasno proizvodi i u manjim reaktorima čija osnovna namjena nije opskrba energijom.

Trenutno su u svijetu u pogonu tri veća komercijalna postrojenja za preradu istrošenog goriva. To su

---

* **P**lutonium and **U**ranium **R**ecocery by **Ex**traction

Windscale u Velikoj Britaniji, te La Hague i Marcoule u Francuskoj. Postoji i nekoliko manjih eksperimentalnih postrojenja. Kapacitet engleskog postrojenja je 2000 t/god., a otprilike je tolik ukupni kapacitet francuskih postrojenja. Bitno je uočiti da jedno postrojenje za preradu istrošenog goriva poslužuje nekoliko desetaka ili čak stotinu nuklearnih reaktora. Zbog toga će, kako će se vidjeti kasnije, ukupne doze zračenja ovih postrojenja svedene na GW god. proizvedene elekrične energije iz goriva dobivenog preradom biti relativno niske, dok je apsolutna aktivnost emitiranih radionuklida iz ovih postrojenja prilično visoka.

Zapravo, vrlo je teško izbjeći da relativno velike količine radionuklida pobjegnu iz ovih postrojenja u okolinu jer je prerada istrošenog goriva vrlo složen proces. Druga je nezgoda što se u efluentima nalaze i mnogi dugoživeći radionuklidi, npr. H-3, C-14, Kr-85, Sr-90, Ru-106, I-129, Cs-134, Cs-137 te izotopi transuranskih elemenata. Za razdoblje 1975 — 1979. postoje podaci za navedena tri postrojenja. U atmosferu najviše se ispušta kriptona-85, oko 14 000 TBq/GW god. jednako za sva tri postrojenja, te tricija u manjim količinama (Windscale 133 TBq/GW god., La Hague 3,2 TBq/GW god. i Marcoule 46 TBq/GW god.). Što se tiče aktivnosti ispuštene u vodenu sredinu, ona je nešto niža i iznosi:

— tricija (450 TBq/GW god. za Windscale, 272 za La Haque i 337 za Marcoule)

— stroncija-90 (166 TBq/GW god. za W., 52 za L. H. i 1,6 za M.)

— rubidija-106 (227 TBq/GW god. za W., 430 za L. H. i 16 za M.)

— beta-emitera, isključujući tricij (2 671 TBq/GW god. za W., 592 za L. H. i 81 za M.).

Od ostalih izotopa znatnije još sudjeluju Cs-137, Pu-241, Cs-134, Sr-90, Nb-203, Ce-144, Zr-95, Pu-239+240, Am-241 itd.

U česticama u atmosferi nalaze se uglavnom plutonijevi izotopi s aktivnošću otprilike 0,3 GBq/GW god.

Potrebno je istaći da aktivnost efluenata ne ovisi samo o načinu obrade, nego i tipu goriva koje se prerađuje, njegovoj povijesti iradijacije, te o trajanju skladištenja prije prerade.

Ocjenu doza zračenja teško je napraviti na temelju oskudnih podataka iz svega tri postrojenja. Zbog toga su postojeći podaci kombinirani s prikladnim računskim modelom. Pretpostavljajući suvremenu tehnologiju i prosječne uvjete okoline, dobivena je kolektivna efektivna doza zračenja od oko 1 čovjek-Sv/GW god., od čega oko 30% otpada na kritične putove kroz atmosferu, a 70% kroz vodu. Uglavnom u dozi najviše participiraju Cs-137 (~40%), Ru-160 (~30%), C-14 (~20%) i tricij (~10%).

Maksimalna individualna doza u okolini postrojenja za preradu goriva ocijenjena je sa 0,2 m SV/god.

d) *Prijevoz nuklearnog goriva*

Velika je prednost nuklearnih elektrana da zbog male količine goriva mogu biti udaljene od postrojenja iz ciklusa nuklearnog goriva stotine i tisuće kilometara. Prijevoz goriva, svježeg i istrošenog, predstavlja ipak značajan problem, i to prvenstveno zbog opasnosti od zračenja. Najznačajniji su sljedeći putovi prijevoza:

a) prijevoz svježeg goriva od postrojenja za proizvodnju goriva do nuklearne elektrane,

b) prijevoz istrošenog goriva od elektrane do postrojenja za preradu istrošenog goriva,

c) prijevoz istrošenog goriva od elektrane do postrojenja za privremeno ili trajno odlaganje (ako prerada istrošenog goriva nije planirana ili se planira nakon više godina),

d) prijevoz visokoaktivnog otpada od postrojenja za preradu istrošenog goriva do mjesta za trajno odlaganje radioaktivnog otpada.

Doza zračenja vezana za prijevoz svježeg i istrošenog goriva nije velika. Ocjenjuje se s maksimalno 0,01 čovjek-Sv/GW god. Naravno, nisu uključene posljedice mogućih nezgoda u prometu koje su iz više razloga mnogo vjerojatnije od nezgoda u nuklearnim elektranama i drugim dijelovima ciklusa nuklearnog goriva. Takve posljedice je teško ocijeniti jer ovise o mnogim faktornima. Osim toga, prijevozna sredstva za ovu svrhu te kontejner s gorivom uvijek su tako izvedeni da mogu bez posljedica podnijeti i najteže nezgode. Tako kontejneri za transport istrošenog goriva moraju izdržati sljedeće testove: pad s visine od 9 metara na krutu betonsku ploču, pad s visine od 1 metra na 15 cm visoke čelične šiljke, vatru od 800 °C u trajanju od pola sata i nakon toga uranjanje u bazen s vodom. U nekim ispitivanjima u SAD pokazalo se da ovakvi kontejneri ostaju kompaktni i nakon čeonog sudara s teškom lokomotivom.

Ipak, bez obzira na tu činjenicu, smatara se da će u budućnosti, kad broj postojenja iz ciklusa nuklearnog goriva znatno poraste, porasti i vjerojatnost od udesa u prijevozu s fatalnom posljedicama. Zbog toga je dužnost svake zemlje preko koje se obavlja transport nuklearnog goriva da pripremi posebne propise za ovu svrhu, a oni se temelje općenito usvojenim načelima na međunarodnom nivou.

2.5. Utjecaj akcidentalnih situacija na okolinu

Najveći dio vremena od puštanja u pogon pa do konačnog prestanka rada nuklearna elektrana provodi u uvjetima tzv. normalnog pogona. Normalni pogon uključuje sva stanja specificirana posebnim pogonskim uvjetima i ograničenjima, a to su rad na punoj ili djelomičnoj snazi, prekidanje rada, stanje obustavljenog pogona, pokretanje elektrane i dovođenje na željeni nivo snage, održavanje, testiranje i izmjena goriva.

Razumno je, međutim, očekivati da će se dogoditi i stanja koja nisu specificirana pogonskim procedurama, pa dakle odstupaju od normalnog pogona. Većinom takva stanja ne mogu uzrokovati znatnija oštećenja na sistemima vezanim za sigurnost ni dovesti do akcidentalnih situacija. Ako je to slučaj, govori se o tzv. očekivanim pogonskim nezgodama (Anticipated Operational Occurences). Među takvim su stanjima npr. pobjeg turbine, različiti kvarovi na pojedinim dijelovima opreme, gubitak napajanja električnom energijom glavne rashladne pumpe, nestanak struje u elektrani i sl.

Očekivane pogonske nezgode i normalna pogonska stanja tvore radna stanja nuklearne elektrane (Operational States). Znatna odstupanja od radnih stanja koja se očekuju izuzetno rijetko mogu dovesti do ispušanja neprihvatljivih količina radionuklida u okoliš ako odgovarajuće sigurnosne strukture i sistemi ne budu djelovali na onaj način kako je projektom predviđeno. U tom slučaju govori se o tzv. akcidentalnim uvjetima, odnosno o akcidentalnim stanjima.

Teško je predvidjeti i opisati sve situacije koje mogu dovesti do akcidentalnih stanja, iako se u svijetu na tu temu izuzetno mnogo radi. Postoji i određena klasifikacija akcidentalnih uvjeta, koja prema NRC ima 8 stupnjeva, a prema ICRP 4 stupnja.

Naročito su značajni akcidenti najvišeg stupnja. Najopasniji su oni koji vode do gubitka sposobnosti hlađenja jezgre reaktora (**L**oss **o**f **C**oolant **A**ccident, LOCA). U tom slučaju može vrlo brzo doći do taljenja košuljice goriva, dakle prve i najznačajnije barijere za prolaz plinovitih radionuklida nastalih u gorivu u okoliš.

U posljednjih petnaestak godina obavljena su značajna istraživanja o mogućim posljedicama akcidentalnih situacija na okolinu. Jedno od najpoznatijih takvih istraživanja radila je za potrebe NRC grupa s MIT-a (Massachusetts Institute of Technology) pod vodstvom profesora N. Rasmussena. Rezultati su publicirani 1975. god. kao dokument WASH-1400.

U pravilu, ovakva istraživanja sadrže tri koraka: identifikaciju scenarija koji vodi do akcidentalne situacije, odnosno do ispuštanja radioaktivnosti u okoliš, proračun vjerojatnosti svakog akcidenta i proračun posljedica svakog akcidenta.

Ukupan rizik za okolinu dobije se kao suma rizika od pojedinih akcidenata. Rasmussenova studija doživjela je kritike s različitih aspekata i s različitim pobudama. Naknadno su nastale i slične studije u drugim zemljama. Nije tema ovog osvrta da raspravlja o njihovim rezultatima. Činjenica je, međutim, da usprkos kritikama ove studije daju znatan doprinos procjeni rizika od nuklearnih postrojenja.

Koliko god su, međutim, ovakve studije značajne za procjenu rizika i za neke druge svrhe, korištenje njihovih rezultata, ekstrapoliranih na budućnost, kao osnove za procjenu kolektivne doze zračenja uzrokovane akcidentalnim situacijama, čini se sasvim neprikladnim. S druge strane, do sada se dogodio samo jedan akcident na komercijalnim reaktorima (u oko 12 milijuna radnih sati) koji je izazvao mjerljivu pojavu radioaktivnosti u okolini, pa bi ocjena kolektivne doze od budućih akcidenata, s gledišta samo ovog događaja, također bila presmiona i nerealna. Radi se, dakako, o akcidentu u nuklearnoj elektrani Three Mile Island (TMI) koji se dogodio u ožujku 1979. god. U nastavku daje se kratak opis ovog akcidenta, kao i njegov utjecaj na okolinu. Važno je napomenuti da ovo nije jedini akcident na nuklearnim reaktorima do sada, nego je jedini kod kojeg je bilo mjerljivih posljedica za okolinu.

TMI akcident obrađen je u mnogim izvještajima u posljednih nekoliko godina. Još uvijek vladaju podvojena mišljenja o karakteru tog akcidenta, iako je opće mišljenje da se nezgoda nije mogla izbjeći. Nakon TMI akcidenta poduzete su u svijetu mnoge akcije kako bi se smanjila mogućnost sličnih udesa u budućnosti. Osnovna spoznaja je u činjenici da se slijed događaja prilikom TMI-akcidenta nije predviđao ni u jednoj od brojnih prethodnih analiza. Takav slijed događaja, ukratko, smatrao se nemogućim. Time je zadan velik udarac metodologiji računanja opasnosti od ovakvih stanja. Pokazalo se i to da teške posljedice može inicirati i kombinacija nekoliko, pojedinačno gotovo beznačajnih grešaka, za razliku od prije uvriježenog mišljenja da samo veliki kvarovi mogu dovesti do velikih posljedica.

Za TMI-akcident može se reći da je bio u osnovi vrlo jednostavan događaj, ali su pojedini detalji bili izuzetno kompliciran. Najprije su kao prva greška, napojne pumpe parogeneratora prestale raditi i sigurnosni sistem je nakon toga zaustavio turbinu. Otpusni ventil u reaktorskom primarnom krugu korektno se otvorio i reaktor je zaustavljen automatski. Druga greška bila je u tome što se otpusni ventil nije zatvorio nakon pada pritiska u primarnom krugu reaktora iako je instrumentacija u kontrolnoj sobi signalizirala njegovo zatvaranje. Budući da je zbog toga pritisak u primarnom krugu pao ispod određene granice, automatski je stupio u pogon sistem za hlađenje jezgre u nuždi, ali je ova akcija prekinuta od operatora koji je pogrešno vjerovao da je reaktor prepun vode. Ta aktovnost operatora, iako pogrešna, bila je logična jer su instrumenti pokazivali visok nivo vode u dijelu sistema, koji je, međutim, uvjetovan pritiskom pare stvorene u području jezgre. U tom trenutku nastupilo je i znatno oštećenje gorivnih elemenata.

Para i fisijski proizvodi oslobođeni iz oštećenih elemenata goriva čini se da su izašli iz reaktora kroz otpusni ventil na sistemu dodatne vode primarnog kruga koji je bio u pogonu zbog potrebe održavanja koncentracije bora u sistemu. Kondenzirana voda zadržala se unutar containmenta, dok su fisijski plinoviti proizvodi izlazili u atmosferu kroz period od oko 4 sata prije nego je nastupilo kompletno brtvljenje containmenta. Daljnje ispuštanje radionuklida u okolinu nastupilo je kad je, također greškom, ispuštena kontaminirana voda iz containmenta.

Ukupno je u atmosferu ispušteno oko 370 000 TBq plemenitih plinova, uglavnom ksenona-133 i nekih 550 GBq joda-131. Dakle, aktivnost ispuštenih pleme-

Energija, God. 32/1983/6, 479-494

nitih plinova bila je oko tisuću puta veća od rutinskog godišnjeg ispuštanja iz sličnog objekta, a emisija joda bila je oko sto puta veća od godišnjeg prosjeka ispuštanja u normalnom pogonu.

Dakle, u relativnim odnosima, radilo se o velikim emisijama, iako u odnosu na ukupnu aktivnost stvorenu razaranjem goriva u reaktoru, ispušten je tek zanemarljiv dio.

Ozračenje ljudi u okolini bilo je također izuzetno nisko. Ukupna kolektivna doza uglavnom zbog Xe-133 procijenjena je na $16 \div 35$ čovjek-Sv u radijusu od 50 milja. Individualna doza zračenja prosječna u zoni od 50 milja) bila je $1{,}5 \cdot 10^{-5}$ Sv, dok je maksimalna doza za najugroženije pojedince iznosila oko $85 \cdot 10^{-5}$ Sv (85 mrema). Budući da granično ozračenje za bilo kojeg pojedinca u okolini, propisano od NRC (a isto daje npr. i naš zakon) iznosi $500 \cdot 10^{-5}$ Sv, vidi se da su i pored relativno velike emisije stvarne posljedice bile gotovo simbolične.

3. NERADIOAKTIVNI ASPEKTI UTJECAJA NUKLEARNIH ELEKTRANA NA OKOLINU

Bez obzira na to što je prosječna populacijska doza od jedne nuklearne elektrane desetak puta manja od populacijske doze od prosječne elektrane na ugljen iste snage (npr. ukupna populacijska doza zbog rada elektrana na ugljen u svijetu u 1979. god. procjenjuje se na 2 000 čovjek-Sv, a od svih nuklearnih elektrana ona iznosi samo oko 5 čovjek-Sv), radioaktivno zračenje smatra se osnovnom karakteristikom po kojoj se nuklearne elektrane bitno razlikuju od klasičnih energetskih postrojenja i drugih većih privrednih objekata općenito. Čini se da je takav stav ipak ispravan, jer bez obzira na izuzetno nizak nivo zračenja zbog ispuštenih radioaktivnih efluenata u okoliš, potencijalna opasnost od onih 15 milijardi kirija u srcu reaktorske zgrade ne može se ignorirati, makar kako bila čvrsta spoznaja da takva opasnost nije temeljena na iole racionalnim osnovama.

U ovom poglavlju dat će se kratak opis onih aspekata utjecaja nuklearnih elektrana na okolinu koji su manje-više karakteristični i za neke druge energetske i industrijske objekte. Pri tome je nužno napomenuti da se, kao i u slučaju efekata zračenja, i ovim tzv. neradioaktivnim aspektima utjecaja na okolinu poklanja, ako se radi o nuklearnim elektranama, u pravilu znatno veća pažnja nego, ako se radi o istim efektima na klasičnim objektima..Razloge za to treba vjerojatno tražiti u činjenici da se nuklearna tehnologija razvila u privredno najsnažnijim zemljama kao posljedica nemogućnosti da se sve veće potrebe u energiji realiziraju kroz klasične objekte. Sve te zemlje su i prije prihvaćanja nuklearne tehnologije imale već uhodane norme i praksu vezanu za procjenu utjecaja klasičnih objekata na okolinu. Transferom nuklearne tehnologije u druge, manje razvijene zemlje gotovo automatski su preneseni i kriteriji vezani za zaštitu okoline od neradioaktivnih aspekata. Pri tome je često ekonomska cijena koju treba platiti pri izgradnji i eksploataciji nuklearnih eletrana plaćati za poremećaje u okolini (u vezi s neradioaktivnim aspektima) mnogo viša od one koju je recipijent nuklearne tehnologije spreman plaćati u svojim specifičnim uvjetima. Takve zemlje se nerijetko nalaze u donekle apsurdnoj situaciji da moraju plaćati visoku cijenu za ekološke posljedice nuklearnih elektrana (neradioaktivne!) s jedne strane, a s druge strane nisu u stanju platiti ni minimalnu cijenu za mnogo teže ekološke poremećaje uzrokovane klasičnom, a često i zastarjelom tehnologijom.

Jedna digresija, en passant, čini se da može lijepo ilustrirati gornje stavove. Primjer je vrlo blizu — NE Krško. Pojednostavljeno, klor koji je predviđen za dodavanje u sistem za hlađenje kondenzatora kao biocid za sprečavanje obraštanja na stijenkama cijevi kondenzatora, čime se poboljšava prijelaz topline i podiže efikasnost turbinskog kruga, ustanovljen je, prema novijim istraživanjima u svijetu, kao generator mutagenih i moguće koncerogenih promjena nekih molekula organske tvari s kojima dolazi u kontakt. Budući da u Savi ima dosta organskih molekula ovakvog tipa, razumna je hipoteza da će se mutageni i moguće kancerogeni potencijal savske vode zbog kloriranja na NE Krško povećati. Zbog toga je postavljen zahtjev da se sistem za dodavanje klora ukloni, što će NE Krško skupo stajati jer će uz iste troškove proizvoditi nekoliko postotaka električne energije manje.

Istovremeno stoji činjenica da je Sava na dijelu nizvodno od NE Krško kemijski i organski izuzetno onečišćena. Čitav konglomerat ksenobiotika s respektabilnim mutagenim i karcinogenim potencijalom svakodnevno se godinama ispuštaju u Savu, iz različitih klasičnih izvora. Posljedica toga je da u Savi gotovo i nema vrste bez poveće kolekcije svojih mutacija.

Na žalost, čini se da o tome malo tko vodi brigu, u prvom redu zbog toga što se smatra da korisnici takvih tehnologija nisu u stanju platiti cijenu eliminacije uzroka poremećaja o kojima je riječ. A nuklearna elektrana Krško čini se da može ili će morati platiti enormnu cijenu za poremećaj čije su posljedice, u relativnom smislu, upravo minorne.

Cilj je ovog poduljeg uvoda da pokaže da su problemi vezani za utjecaj na okolinu, barem ako je riječ o neradioaktivnim aspektima, određeni specifikum svake sredine. Oni su veći ili manji ovisno o ukupnoj mogućnosti određene društvene zajednice da ih rješava. Jedna analiza troškova i koristi (cost-benefit) nužna je u svakom pojedinom slučaju da se odrede optimalne akcije za saniranje mogućih šteta, a time i za pravilno koncipiranje svakog objekta, pa tako i nuklearne elektrane.

U nastavku ovog osvrta neće se o ovome voditi računa. Dat će se kraći prikaz mogućeg utjecaja nuklearne elektrane na okolinu, bez obzira na to koliko se neki od tih utjecaja, u našim specifičnim prilikama, činili značajni. Nužno je, prije svega, uzeti u obzir činjenicu da je razmatranje utjecaja na okolinu sastav-

ni i obavezni dio u procesu izbora lokacije za nuklearnu elektranu, tako da se unaprijed eliminiraju one mikrolokacije na kojima bi izgradnja i eksploatacija nuklearne elektrane mogla izazvati posljedice iznad tolerantnih. Eliminiraju se tako sva zakonom zaštićena područja, područja za specijalnu namjenu, ekološki osjetljiva područja itd. To je moguće jer nuklearna elektrana, za razliku od klasičnih energetskih objekata čija je lokacija uvjetovana blizinom rudnika ugljena, rafinerija, velikih luka i sl., pokazuje zbog male količine goriva veliku fleksibilnost u izboru lokacije. Zbog toga su lokacije nuklearnih elektrana, s gledišta zaštite okoline, obično daleko kvalitetnije nego lokacije klasičnih termoelektrana, a naročito hidroelektrana, gdje je sloboda izbora lokacije gotovo apsolutno ograničena.

3.1. Utjecaj na okolinu sistema za hlađenje kondenzatora

Sistem za hlađenje kondenzatora najdirektnija je veza između nuklearne elektrane i okoline, jer se preko njega odvodi u okoliš gotovo 2/3 energije stvorene u reaktoru. Loš stupanj djelovanja nuklearne elektrane (oko 0,33) posljedica je relativno niskih parametara pare na ulazu u turbinu (oko 70 bara, 270 — 300 °C), za razliku od klasičnih termoelektrana gdje je stupanj djelovanja zbog viših parametara pare na ulazu u turbinu (180 bara, 560 °C) znatno viši i iznosi oko 0,38 za elektrane na ugljen, te do 0,41 za elektrane na tekuće gorivo. Tako npr. da bi se proizveo 1 kWh električne energije na generatoru nuklearne elektrane potrebno je proizvesti u reaktoru oko 11 200 KJ energije od čega se oko 7 200 KJ baca u okolinu s rashladnom vodom, a nekih 400 KJ gubi se direktno isijavanjem. Ako elektrana ima snagu od 1 000 MW, tada se pri punoj snazi baca u okolinu 7,2 TJ energije svakoga sata, odnosno godišnje ukupno gotovo 50 000 TJ, a to je upravo trenutna ukupna potrošnja svih oblika energije grada Zagreba.

Na žalost, otpadna toplina odvodi se na vrlo niskom temperaturnom nivou (15 — 20 stupnjeva iznad ambijentalne temperature), pa uglavnom nije iskoristiva za druge svrhe, nego se odbacuje u okolinu, i to direktno u vodotok kod tzv. protočnog hlađenja (za elektranu od 1 000 MW potrebno je oko 40 m^3/s rashladne vode) ili u atmosferu preko rashladnih tornjeva. Drugi način se prakticira uglavnom tamo gdje se ne raspolaže dovoljnom količinom vode za hlađenje jer je ekonomski nepovoljniji s obzirom na to da se stupanj djelovanja elektrane korištenjem rashladnih tornjeva smanjuje za oko 2 — 3 %. Može se realizirati i tzv. kombinirani način hlađenja kod kojega se u svim slučajevima kad nema dovoljno vode za hlađenje koristi pripomoć rashladnih tornjeva. Kombinirani sistem ima ekonomsko opravdanje ako se radi o malim kapacitetima dodatnih rashladnih tornjeva. Prema jednoj gruboj analizi (lit. 11) kombinirano hlađenje isplati se jedino uz uvjet da je

$$K+E < 70,$$

gdje je K kapacitet rashladnih tornjeva (postotak od ukupno instalirane snage), a E postotak od ukupne godišnje količine otpadne topline koji se prenosi u atmosferu pomoću rashladnih tornjeva.

Osim toplinskog utjecaja značajni su mehanički i fizikalno-kemijski efekti pri prolazu organizama kroz elemente rashladnog sistema.

Rashladni sistem zadire u okolinu preko usisne strukture (uljevna građevina i usisni cjevovod duljine često i nekoliko stotina metara). Gruba čelična ograda na ulazu sprečava velike objekte, a nakon toga slijedi stacionarna i (ili) pomična rešetka s otvorima od oko 10 mm u najvećem broju slučajeva. Brzina na prilazu rešetki je prilično niska i obično se traži da ne pređe 0,3 do 0,5 m/s. To zahtijeva golemu uljevnu građevinu s površinom otvora reda veličine 100 m^2 (za elektranu od 1 000 MW_e). Plankton i slabo plivajući organizmi manji od 10 mm budu usisani u rashladni sistem. Često se na ulazu dodaju biocidi da bi se uljevna građevina, cjevovod i kondenzator zaštitili od obraštanja. Najčešće se koristi klor kao biocid i dodaje se ili konstantno u količini 0,2 do 0,5 ppm ili intermitentno u dozama 1 do 5 ppm. Na ulazu u crpni sistem organizmi su podvrgnuti vrlo brzoj promjeni pritiska i s tim u vezi mehaničkom razaranju. Pri ulasku u kondenzator slijedi gotovo trenutni toplinski udarac i u svega desetak sekundi temperatura poraste za desetak stupnjeva (6 — 18 °C ovisno o izvedbi). Na izlazu iz rashladnog sistema slijedi opet veći ili manji mehanički udarac i pad temperature, što ovisi o načinu izljeva. Sve se to dogodi za manje od dvije minute. Prema podacima različitih ispitivanja izgleda da su mehanički efekti primarni. U prosjeku se može ocijeniti da pomor prije crpne stanice iznosi oko 10 %, nakon nje još 40 %, a nakon prolaska kroz kondenzator još oko 10 % od usisanih organizama. Dakako, negativni efekti ovise o vrstama koje su usisane. Mlade ribice su najosjetljivije, pa se najveći negativni efekti mogu očekivati ako je usis na mjestu bogatom sitnim organizmima, ribljim podmlatkom, ako zadire u zone mriješćenja, te u zone sezonskog zadržavanja određene populacije. Treba izbjegavati i riječna ušća kao mjesta lociranja jer u tim područjima velik dio faune čine planktonska jaja i ličinke.

Veći organizmi mogu stradati na prilaznim rešetkama, naročito ako brzina usisa prelazi njihovu brzinu plivanja. Sve te efekte treba uzeti u obzir pri konstruiranju rashladnog sistema.

Obično se ograničava količina vode koja se smije uzeti na 10 do 30 % (ako se radi o rijeci), maksimalna temperatura vode nakon miješanja (po našim propisima za rijeke ne smije prijeći 28 °C), a često i porast prosječne temperature rijeke (na 2 — 4 °C) i porast temperature u kondenzatoru.

Svako ispuštanje zagrijane vode u vodeni tok sudjeluje u fizikalnim i biološkim promjenama u tom toku. Te promjene mogu biti povoljne, nepovoljne ili neutralnog značaja, što ovisi o karakteristikama određenog vodotoka. Ondje gdje izlaz zagrijane rashladne vode proizvodi efekte koji su nepoželjni kaže se da je nastupilo toplinsko onečišćenje. To-

plinsko onečišćenje je bitno različito od drugih formi onečišćenja jer ne unosi nikakve dodatne strane tvari u životnu sredinu i stoga ne kontaminira preostalu vodu. Međutim, dodavanje topline vodi može izmijeniti vodenu životnu sredinu u nepovoljnom smislu i zbog toga je toplina naznačena kao potencijalni faktor onečišćenja.

Ako temperatura vode raste, njezina sposobnost da otapa kisik se smanjuje. Tako pri punom zasićenju i pri temperaturi vode od 20 °C voda sadrži 8,4 mg O_2/l kisika, a pri 30 °C svega 6,9 mgO_2/l, dakle za oko 18 % manje.

U vodi živi velik broj organizama, pa promjene u temperaturi, kemijskom sastavu i protočnoj količini mogu djelovati na vrste i broj tih organizama. Temperaturne promjene normalno imaju jednu važnu i voskoregulirajuću ulogu u fiziologiji riba i drugih vodenih životinja. Reproduktivni ciklusi, probava i drugi procesi koji nastupaju u ribljem organizmu su, između ostalog, ovisni o temperaturi.

Poznato je da temperature vode iznad uobičajenih, naročito za vrijeme ljetnih mjeseci, mogu biti štetne za organizme na razne načine. Organizmi postaju osjetljivi na bolest i trovanje, njihova sposobnost da pribave hranu može biti smanjena, a nemoć u razmnožavanju i nesposobnost da se u borbi za opstanak natječe s drugom vrstom može eliminirati određenu populaciju. Eliminacija jedne vrste u lancu prehrane mijenja ekološku ravnotežu, može uzrokovati nagao porast određenih vrsta biljaka i životinja na štetu drugih. Broj vrsta se općenito smanjuje, dok broj jedinki pojedine vrste raste.

Koliki je i kakav utjecaj temperature na određeni vodotok, može se, međutim, odrediti tek u sklopu s analizom ostalih faktora koji djeluju na kvalitetu vode. To je u prvom redu organsko i kemijsko onečišćenje vodotoka.

U lit. 12 analizirana je situacija nizvodno od NE Prevlaka pod pretpostavkom protočnog hlađenja. Razvijen je jednodimenzionalni model koji rješava sistem od tri nelinearne diferencijalne jednadžbe koje povezuju tri osnovne značajke kvalitete vode: temperaturu, sadržaj otopljenog kisika i mjeru za organsko onečišćenje vodotoka, BPK – 5 (petodnevna biokemijska potreba za kisikom). Model daje mogućnost sagledavanja utjecaja temperature na sadržaj u vodi otopljenog kisika, kao i režim promjene otopljenog kisika, temperature i organskog onečišćenja nizvodno od referentne točke.

Analizom je utvrđeno da je glavni uzrok niskog sadržaja kisika u vodi biološko onečišćenje vodotoka. U slučaju čiste vode toplinski poremećaj zbog kojeg se voda grije za nekoliko stupnjeva ne može znatnije smanjiti količinu otopljenog kisika koja čak pri 35 °C iznosi još uvijek oko 6,2 g/m³, što je sasvim dovoljno za normalan život u vodi.

Međutim, u uvjetima značajnijeg biološkog onečišćenja sadržaj otopljenog kisika znatno pada ispod nivoa zasićenja. U slučaju Save nizvodno od Zagreba česti su slučajevi da količina otopljenog kisika padne čak ispod 20 % od nivoa zasićenja. Toplinsko opterećenje vodotoka zbog rada elektrane od oko 1 000 MW djelovat će dodatno na smanjenje sadržaja otopljenog kisika, ali ne značajno. U slučaju NE Prevlaka konstatiran je gubitak kisika koji ne prelazi 10 %. Maksimalan gubitak kisika nastupa na udaljenosti od 30 do 40 km nizvodno i dalje se utjecaj postepeno gubi.

Osim utjecaja na sadržaj otopljenog kisika u vodi povećana temperatura vodotoka može, u specifičnim slučajevima, dovesti do porasta temperature podzemne vode, te pokvariti njezinu kvalitetu. To je naročito moguće kod plićih i mirnijih tokova sa slabim disperzijskim karakteristikama i u slučaju da ispust rashladne vode u vodotok nije adekvatno riješen. Procesi miješanja mogu se stimulirati dubinskim ispustom rashladne vode (ako ga je moguće realizirati) i povećanom brzinom na ispustu, ali to može pomoći jedino ako količina rashladne vode ne prelazi desetak postotaka od ukupnog protoka rijeke. Ako su količine rashladne vode veće, doći će do recirkulacijskih efekata koji će poništiti pozitivne efekte na izljevu.

Ako se koriste vlažni rashladni tornjevi, sva otpadna toplina prenosi se direktno na atmosferu, i to većim dijelom kao latentna toplina u procesu ishlapljivanja, a manjim dijelom konvekcijom. Ako se radi o nuklearnoj elektrani snage oko 1 000 MW, ishlapljivanjem se gubi oko 0,5 m³/s vode, dakle oko 1 800 m³/h. Ta voda predstavlja trajan gubitak za vodotok, a osim toga mogu se javiti nepovoljni efekti na klimatske karakteristike užeg područja, kao npr. povećano stvaranje magle i niske naoblake, smanjenje vidljivosti, povećano zaleđivanje na obližnjim prometnicama i sl. Negativni efekti mogu biti značajni naročito ako se koriste tzv. rashladni tornjevi s prisilnom cirkulacijom zraka jer se oni tada manifestiraju na nižim visinama. Osim toga u specifičnim situacijama može se očekivati i pojava lokalnog rošenja zbog emitiranih kapljica vode. Ta pojava može zimi izazvati pojavu zaleđivanja u užoj okolini elektrane, a može se negativno odraziti i na strukture rasklopnog postrojenja. S obzirom na ove pojave prednost imaju rashladni tornjevi s prirodnom cirkulacijom zraka. Međutim ove goleme građevine (oko 120 metara promjer, do 150 metara visoke) zauzimaju velik prostor i nepoželjne su s estetskog stajališta na pojedinim lokacijama.

Čini se, ipak, da je uglavnom moguće tolerirati eventualne negativne efekte rashladnih tornjeva, što je, razumljivo, potrebno na svakoj pojedinoj lokaciji dokazati u sklopu istraživačkih radova koji se obično provode.

Osim toplinskog utjecaja na okolinu može biti značajan i kemijski utjecaj rashladnog sistema, naročito zbog dodavanja biocida u rashladni sistem, o čemu je već nešto rečeno. Osim klora, koji se čini najefikasniji, postoje različiti drugi komercijalni proizvodi sličnog djelovanja. Na većini lokacija teško je naći razumnu alternativu biocidima ako se radi o protočnom sistemu hlađenja. Ovisno o situaciji potrebno je pravilno odrediti tip biocida koji će se primijeniti,

način doziranja i sl. kako bi se postigla optimalna ravnoteža između zahtjeva tehnologije i utjecaja na okoliš.

3.2. Ostali utjecaji izgradnje i eksploatacije elektrane

Nuklearna elektrana zauzima relativno velik prostor koji varira u ovisnosti o nekim tehničkim rješenjima (npr. o vrsti rashladnog sistema), ali koji za jednu jedinicu od oko 1 000 MW iznosi obično između 0,2 i 0,3 km². Izgradnjom elektrane degradirat će se većina od prirodnih karakteristika danog područja. Kako će značajna biti degradacija okoline, ovisi, razumljivo, o prethodnoj kvaliteti danog područja i njegovoj namjeni.

Radovi kao čišćenje terena, čišćenje korita i dijelova korita, izgradnja brane, aktivnosti kod odvodnjavanja pri zaštiti, npr. građevinske jame, izgradnja odvodnih kanala, izgradnja nepropusnih pregrada, pristaništa, lukobrana, mostova, pristupnih prometnica, struktura rashladnog sistema itd. mogu na pojedinim lokacijama znatno ugroziti prirodne karakteristike okoline. Naročito će posljedice izgradnje elektrane biti nepovoljne ako su ugrožena neka specijalna područja, naročito su to područja bitna za održavanje reprodukcijske sposobnosti i vitalnosti populacija tzv. važnih vrsta. Pod važnim vrstama razumijevaju se one vrste životinja ili biljaka s barem jednom od sljedećih karakteristika:

a) vrste od komercijalne ili rekreacijske vrijednosti
b) ugrožene vrste i vrste pod zaštitom
c) vrste bitne za život onih pod a/ i b/
d) vrste kritične s obzirom na očuvanje vrijednosti ekološkog sistema kao cjeline
e) vrste koje se mogu koristiti kao bioindikatori pri detekciji radionuklida u okolini.

Obično specijalna područja obuhvaćaju zone bitne za razmnožavanje važnih vrsta, zone bitne za uzgoj podmlatka, zone važne za prehranu, zone s visokom sezonskom koncentracijom jedinka važnih vrsta itd.

Sezonske ili dnevne migracije važnih vrsta bitan su faktor u očuvanju reproduktivne sposobnosti. Ako su te staze prekinute izgradnjom nuklearne elektrane, mogu nastupiti znatni poremećaji. Obično se zahtijeva da najviše 1/3 do 2/3 staze može biti stalno blokirano.

Izgradnja i eksploatacija elektrane mogu utjecati na izvore vode u okolini, prije svega na njihovu raspoloživost za druge korisnike, na njezinu kvalitetu, a može doći i do privremenih ili trajnih hidroloških promjena.

Potrebno je ponoviti već rečeno, da se već u procesu izbora lokacije za nuklearnu elektranu obavljaju značajna istraživanja ovog tipa kako bi se procijenili negativni utjecaji izgradnje i eksploatacije elektrane na okolinu na svakoj pojedinoj lokaciji, pa će se već u ovoj pripremnoj fazi odbaciti lokacije u ekološki osjetljivim područjima.

S gledišta elektroenergetskog sistema nuklearne elektrane kao objekti velike snage zahtijevat će često i znatne promjene u visokonaponskoj mreži, možda i prijelaz na više napone prijenosa. Prijenosni sistemi višeg napona (iznad 400 kV) sami po sebi mogu imati znatan utjecaj na okolinu s obzirom na to da njihovi koridori treba da budu specijalno pripremljeni, zaštićeni i održavani. Specijalni efekti visokonaponskog polja (ozonizacija, buka, smetnje na radio i TV vezema, korona pražnjenja, elektroakustički efekti i sl.) mogu također imati znatan utjecaj na susjedna područja itd.

Osim navedenog mogući su i različiti drugi utjecaji ovisno o pojedinoj lokaciji. Potrebno je razmotriti i eventualni socijalno-ekonomski utjecaj na lokalno područje, npr. utjecaj na industrijske, uslužne, ugostiteljske i slične organizacije, utjecaj na zaposlenost i kretanje radne snage, utjecaj na privredne i druge planove uže i šire društvene zajednice, utjecaj na demografske trendove, na stambene potrebe i stambenu izgradnju, na obrazovne i transportne organizacije itd.

Ovi i slični utjecaji neće se ovdje detaljno razmatrati jer su slični za sve veće privredne objekte, što ne znači da su manje značajni.

Detaljnim i sveobuhvatnim programom istraživanja u području svake lokacije za nuklearnu elektranu, kako kod analize utjecaja zračenja, tako i kad se radi o neradioaktivnim aspektima utjecaja na okolinu, potrebno je prikupiti podatke za analizu svih efekata, te osigurati posebne mjere i aktivnosti da se pozitivni efekti stimuliraju, a štetni ublaže ili sasvim uklone.

LITERATURA

[1] IAEA Bulletin, Vol. 25, No. 1, III/1983.
[2] USNRC, WASH – 1400
[3] Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects, UNSCEAR 1982 Report, New York 1982
[4] USNRC, NUREG – 0017
[5] Malbaša, Ćurković, Tonković: *Izbor mikrolokacija za nuklearnu elektranu Slavonija,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1981.
[6] Ćurković, Malbaša: *Procjena doza zračenja u normalnim eksploatacijskim stanjima nuklearne elektrane Slavonija,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1983.
[7] Malbaša: *Opis nekih pojava pri mjerenju vodnih tokova pri protočnom hlađenju termoelektrana,* Magistarski rad, FSB, Zagreb, 1976.
[8] Ćurković: *Procjena ugroženosti stanovištva radioaktivnim plinovitim efluentima iz nuklearne elektrane u normalnom pogonu i u akcidentalnim situacijama,* Magistarski rad, Zagreb, 1982.
[9] Chicago Tribune, Oct. 31, 1979

[10] Kobal, Škofljanec, Kristan: *Outdoor and indoor radon concentration in air in the territory of Slovenia,* CONF — 780422 (1980.)
[11] Malbaša: *Lociranje nuklearnih elektrana u SRH,* Knjiga I, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1980.
[12] Malbaša: *Toplinski režim rijeke Save,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1975.
[13] Malbaša: *Podloge i upute za izradu studije o utjecaju nuklearnih elektrana na okolinu,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1983.

KEY WORDS: NUCLEAR POWER PLANT, RADIATION, RADIATION PROTECTION, INPACT OF NPP ON SURROVDING

IMPACT OF NPO ON SURROUNDING

In the article are described impacts of NPP on surrouding. Impacts are divided on non – radioactiv and radioactiv. In is described generation of radioactivity in reactor, radioactiv waste and impact of accidental situations. Among non – radioacitv impact it is described impact of condenser.

BEEINFLUSSUNG DER UMWELT DURCH KERNAKRAFTWERKE

Erörtert werden die Einflüsse von Kernkraftwerken auf die Umwelt. Diese verteilen sich auf radioaktive und nichtradioaktive Auswirkungen. Zu den ersten gehören die Strahlenwirkungen im Reaktor, der radiaktiven Abfallstoffe und Folgen von zufälligen Störungsvorkommen. Zu den nichtradioaktiven Einwirkungen muss an erster Stelle der Einfluss des Kondensator – Kühlsystems genannt werden.

ВЛИЯНИЕ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Описано влияние атомных электростанций на окружающую среду. Указанное влияние подразделено на радиоактивное и нерадиоактивное. К первой группе относятся радиоактивность в реакторе, радиоактивность атомных отходов и радиоактивность в исключительных случаях. К группе нерадиоактивного влияния в первую очередь относится влияние системы охлаждения конденсатора.

Naslov pisca:

Mr Niko Malbaša, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 07 – 01.

IZBOR NAJPOVOLJNIJEG VODOPRIVREDNOG RJEŠENJA I ENERGETSKOG ISKORIŠTENJA MURE NA DIONICI OD GIBINE DO UŠĆA

Đuro Hatić — Nedjeljko Šimundić, Zagreb

UDK 621.221:621.

PRETHODNO PRIOPĆENJE

Za lanac višenamjenskih vodnoenergetskih stepenica na dionici rijeke Mure od Gibine do ušća opisan je način proračuna optimalnih projektnih veličina: uspornih kota na branama i instaliranog protoka. Proračun je proveden, uz prethodno definirana varijantna rješenja i gospodarske karakteristike razmatranih postrojenja (troškovi i koristi), korištenjem metode dinamičkog programiranja.

Ključne riječi: hidroelektrana, iskorištenje vodnih snaga, Mura, hidroelektrane u lancu.



ĐURO HATIĆ



NEDJELJKO ŠIMUNDIĆ

1. UVOD

Mura čini značajan element vodnog režima Drave, kao njezin lijevi i najveći pritok. Iz činjenice da se dio poriječja ove rijeke nalazi u alpskom području, kao i dravski, proizlaze zajedničke karakteristike vodnog režima ovih dviju rijeka. Relativno velika vodnost Mure te njezin pluvio-glacijalni karakter daje joj komparativne prednosti u usporedbi s mnogim našim rijekama, a to su ujednačenost srednjih godišnjih protoka i relativno veliki protoci u razdobljima dok su u mnogim drugim rijekama vodostaji niski.

U donjem dijelu toka Mure teče prostranom aluvijalnom dolinom koja se sjedinjuje s dravskom upravo na teritoriju naše zemlje i susjedne Mađarske. Zato je i pad vodnog toka u ovom dijelu manji nego uzvodno, u susjednoj Austriji.

Zbog skromnijeg potencijala i orijentacije naše zemlje na energetsko iskorištenje atraktivnijih rijeka, Mura je bila manje interesantna kao dio našeg neiskorištenog vodnog blaga, to više što se radi o dolinskom dijelu vodotoka gdje je potrebno ulagati sredstva u oblasti pasivne vodoprivrede (obrana od poplave, regulacije rijeke, odvodnjavanje suviše vlažnog zemljišta i dr.), što društvu ne donosi izravne koristi. S druge strane, ako se uzme u obzir stalno povećanje cijena fosilnim gorivima, kao i sve veća potreba za vlastitim prehrambenim proizvodima, onda je jasno da jedna od orijentacija za razvoj bude iskorištenje preostalog hidropotencijala, uz razvoj poljoprivrede, a to je upravo moguće ostvariti izgradnjom vodoprivrednih sustava na Muri, kao i na nekim drugim dolinskim rijekama. Naime, energetskim iskorištenjem voda Mure, na dionici od Gibine do ušća, osim proizvodnje električne energije ostvaruju se višestruke koristi, i to:

- izgradnjom nasipa uz rijeku zaobalje se sigurno zaštićuje od poplava
- usporavanjem voda, odnosno izgradnjom brana smanjuje se potreba za regulacijom rijeke
- izgradnjom sistema odvodnih (drenažnih) kanala omogućuje se odvodnja zaobalnih i procjednih voda, a time i odvodnjavanje suviše vlažnog zemljišta, što stvara povoljne uvjete za razvoj poljoprivrede
- izgradnjom vodoprivrednih objekata ostvaruju se uvjeti za razvoj drugih privrednih djelatnosti koje su posredno i neposredno vezane uz realizaciju ovih podhvata, kao i uvjeti za razvoj ljudskih aktivnosti (razvoj: vodoopskrbe pučanstva i industrije, ribogojstva, ugostiteljstva, turizma i lovnog turizma, sporta, rekreacije i dr.).

Negativni efekti su ekološke naravi, a mogu biti posljedica većih promjena nivoa podzemnih voda.

Kao rezultat kompleksnog sagledavanja i rješavanja vodoprivrednih zadaća Institut za elektroprivredu Zagreb izradio je »Osnovni projekt vodoprivrednog rješenja i energetskog iskorištenja rijeke Mure na dionici od Gibine do ušća«. Izrada »Osnovnog projekta« odvijala se po fazama, u skladu sa sljedećim aktivnostima.

U prvoj fazi su sistematizirane projektne podloge, definirane tri moguće varijante vodoprivrednog i ener-

getskog rješenja projektne dionice rijeke, izvršen proračun vodnih lica, definirani parametri za izbor i dimenzioniranje energetskih i vodoprivrednih objekata, elektrostrojarske i hidromehaničke opreme strojarnica i brana, određeni troškovi i koristi, te gospodarsko-tehničkom analizom, uz korištenje metoda dinamičkog programiranja izvršen proračun projektnih parametara (kota uspora i instaliranog protoka) i na taj način od tri razmatrana varijantna rješenja određeno optimalno.

U drugoj fazi je, za optimalno rješenje, uslijedila detaljnija razrada tehničkih rješenja pojedinih vodoprivrednih i energetskih objekata; obrađena je kvaliteta voda i vodoopskrba, proračunata moguća proizvodnja hidroelektrana i obrađeno njihovo uklapanje u elektroenergetske sustave SR Hrvatske i SR Slovenije, ukazano je na utjecaje predloženih rješenja na privredne grane (s težištem na poljoprivredu i šumarstvo), čovjeka i okolinu, obrađena gospodarska problematika ovih višenamjenskih rješenja, troškovi, koristi i podjela troškova i koristi između vodoprivrednih korisnika i država i dan osvrt na pravnu i pogonsku problematiku.

U daljnjem prikazu su opisane aktivnosti provedene u prvoj fazi izrade »Osnovnog projekta«.

2. MOGUĆA VARIJANTNA RJEŠENJA I DIONICE KORIŠTENJA VODNIH STEPENICA

Mogući tipovi rješenja, kao i dionice korištenja vodnoenergetskih stepenica na Muri rezultat su sagledavanja i uvažavanja faktora koji ih uvjetuju, a to su:

— hidrografske prilike duž razmatrane dionice
— međudržavna granica
— postojeće prometnice i mostovi
— ukupni i specifični pad vodotoka
— topografske i geološke karakteristike terena
— planirane vodne stepenice na rijeci Dravi
— postojeće vodogradnje i dr.

Uz brojne zaobalne pritoke, na promatranoj dionici rijeke, najznačajnije su Krka s Ledavom iz lijevog i Trnava iz desnog zaobalja. Dionica rijeke nizvodno od ušća Krke pogranična je sa susjednom Mađarskom; dok je uzvodni dio rijeke na teritoriju Jugoslavije, na granici dviju naših republika: SR Hrvatske i SR Slovenije. Kopnene prometne veze desnog i lijevog zaobalja Mure su na ovom dijelu toka ostvarene preko četiri mosta. Od toga su dva u Murskom Središću: cestovni i željeznički most, dok su dva nizvodnije: cestovni most Goričan — Letenje i željeznički most Kotoriba — Murakeresztur.

Na dionici od Gibine do ušća u Dravu ukupan pad vodnog lica pri srednjem protoku (oko 180 m^3/s) i nizvodno predviđenoj VS Đurđevac na Dravi jest 36,11 m. Specifičan pad se idući nizvodno višestruko smanjuje, a s tim u vezi i energijski potencijal duž riječnog toka. Tako npr. specifični pad riječnog toka na dionici Gibina — Mursko Središće znatno je veći nego na dionici Kotoriba — ušće. Razlog tome je, osim prirodnog smanjenja u nizvodnom smjeru, i utjecaj uspora buduće VS Đurđevac na Dravi, koji se pri srednjem protoku Mure i pri normalnom usporu na brani VS Đurđevac (130,50 m.n.m.) proteže dijelom korita Mure, a izražen je u donjem dijelu toka, na dionici Kotoriba — ušće. U skladu s navedenim uvjetima određene su dionice korištenja vodnih stepenica i tipovi postrojenja. S obzirom na broj vodnih stepenica i tip rješenja, duž toka od Gibine do ušća, ispitane su sljedeće varijante:

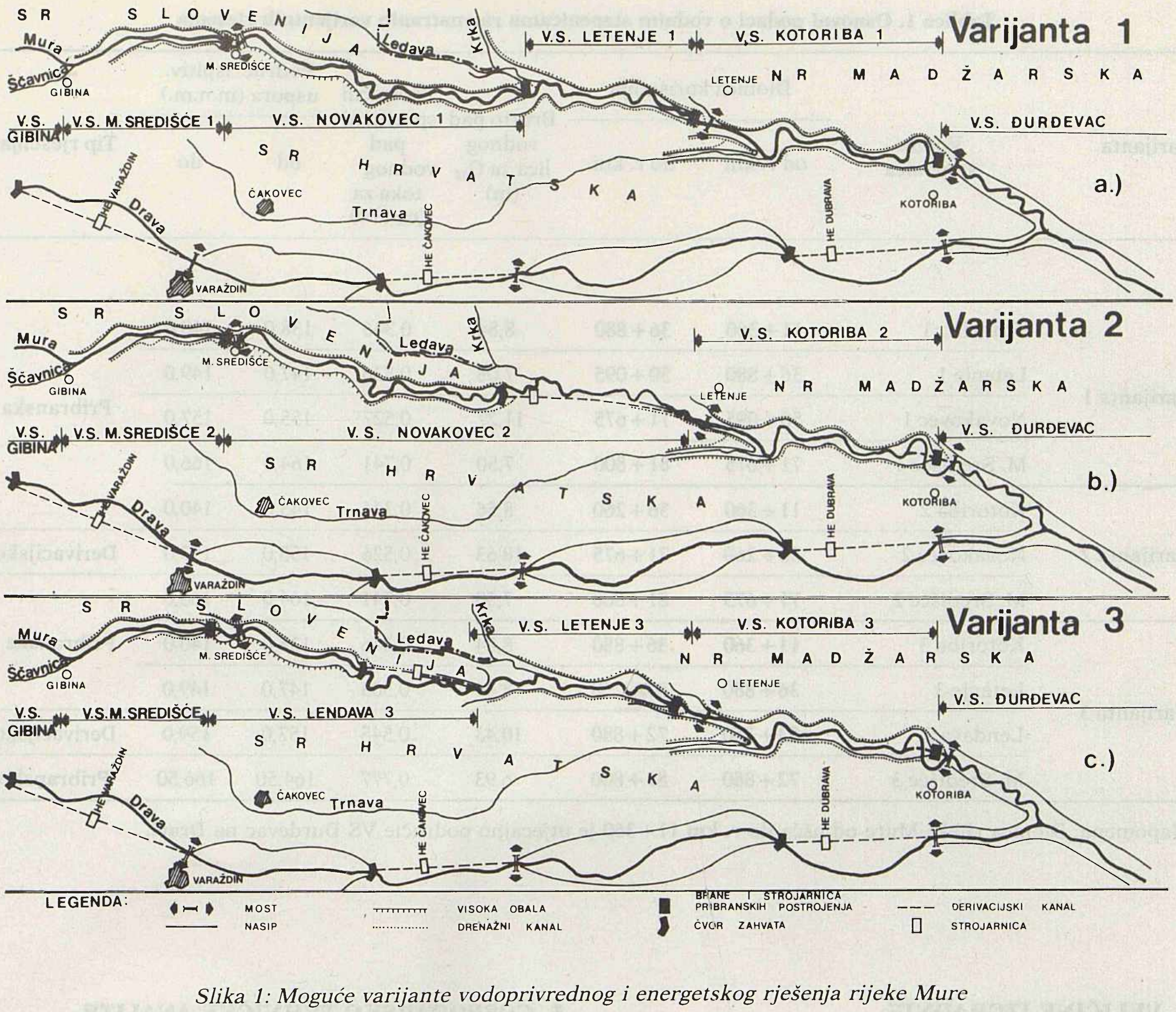
1. iskorištenje dionice na četiri pribranska postrojenja (sl. 1.a),
2. iskorištenje dionice na tri postrojenja od kojih su jedno derivacijskog i dva pribranskog tipa (sl. 1.b),
3. Iskorištenje dionice na četiri postrojenja, od kojih su tri pribranskog, a jedno derivacijskog tipa (sl. 1.c).

Podaci o dionicama korištenja vodnih stepenica razmatranih varijantnih rješenja dani su u tablici 1.

3. KONCEPCIJA RAZMATRANIH VARIJANTNIH RJEŠENJA

Kako je prikazano na sl. 1, u sve tri razmatrane varijante zastupljena su dva tipa postrojenja: pribranski i derivacijski. Glavne objekte pribranskog postrojenja čine akumulacijski bazen, objekti o pregradnom profilu (armiranobetonska i nasuta brana i strojarnica) i objekti za odvodnju zaobalnih i procjednih voda: dok objekte derivacijskog postrojenja sačinjavaju akumulacijski bazen, čvor zahvata (armiranobetonska i nasuta brana s ulazom u dovodni dio derivacijskog kanala), derivacijski kanal sa strojarnicom koja ga dijeli na dovodni i odvodni dio i objekti za odvodnju procjednih i zaobalnih voda.

Glavne namjene akumulacijskog bazena jesu koncentracija pada na elektranama, reguliranje dnevnih dotoka i obrana od poplava zaobalnih područja koju osiguravaju popratni nasipi bazena, predviđeni u trapeznoj formi, od nabijenog šljunka i obloženi asfaltbetonskom oblogom s uzvodne strane ili bez asfaltbetonske obloge ako im vodna strana nije trajno pod usporom. Mase nasipa ovisne su o veličinama uspora na branama, kao i topografskim uvjetima duž trase. Krune nasipa su s obzirom na visinski položaj određene tako da nadvisuju usporenu veliku vodu 100-godišnjeg povratnog razdoblja za 1,20 m, a time se osigurava zaštita zaobalja od velikih voda 1000-godišnjeg povratnog razdoblja. Kod pribranskih postrojenja akumulacijski su bazeni na nizvodnom dijelu zatvoreni armiranobetonskom i nasutom branom i strojarnicom; dok su bazeni derivacijskih postrojenja, na nizvodnom dijelu, zatvoreni objektima čvora zahvata što ga čine nasuta i armiranobetonska brana s ulazom u dovodni dio derivacijskog kanala hidroelektrane. S obzirom na potrebnu, približno jednaku eva-



Slika 1: Moguće varijante vodoprivrednog i energetskog rješenja rijeke Mure

kuacijsku moć (velika voda 1000-god. povratnog razdoblja) i slične uvjete izvedbe, kod svih su razmatranih postrojenja predviđene armiranobetonske brane istog tipa, s niskim glatkim preljevnim pragom, približno jednakim dubinama i dužinama slapišta, s četiri protočna polja širine 17,0 m koja su opremljena segmentnim zatvaračima sa zaklopkama i ostalom potrebnom hidromehaničkom i elektrostrojarskom opremom. S obzirom na razmatrane veličine uspora, brane mogu biti različitih visina.

Nasute brane, kojima se pregrađuje rijeka, izvode se iz lomljenog kamena i šljunka, a predviđene su s glinobetonskom dijafragmom. Kao i armiranobetonske, nasute brane mogu biti, zbog razmatranih veličina uspora, različite visine, a time i različite zapremine.

Predviđeno je da se u strojarnice svih razmatranih postrojenja ugrade po dvije glavne proizvodne jedinice istog tipa. Odabrane su cijevne turbine s horizontalnom osovinom i generatorima u krušci zbog prednosti pred Kaplan-turbinama s vertikalnom osovinom. Te su prednosti veći korisni učinak, manja dubina ukapanja građevine strojarnice i mogućnost reguliranja protoka strojem kod ispada elektrane iz pogona. S obzirom na odabrani broj i tip glavnih proizvodnih jedinica, strojarnice se u biti ne razlikuju po koncepciji rješenja. Razlike mogu biti u dimenzijama zgrada i opreme, na što utječu tip postrojenja i veličine osnovnih projektnih parametara: usporne kote (padovi na elektranama) i veličina instaliranog protoka.

Kod derivacijskih tipova elektrana derivacijski su kanali predviđeni zaobaljem Mure, i to kod VS Novakovec 2 (u varijanti 2) desnim na dužini od 14,75 km, a kod VS Lendava 3 (u varijanti 3) lijevim, na dužini od 6,13 km.

Rješenje odvodnje zaobalnih i procjednih voda iz bazena razmatranih postrojenja predviđa se gravitacijskim odvođenjem kanalima iz nasipa, a gdje to nije moguće gravitacijski, potrebno je vodu crpkama prebacivati u bazene.

Tablica 1. Osnovni podaci o vodnim stepenicama razmatranih varijantnih rješenja

Varijanta	Vodna stepenica	Dionica korištenja		Brutto pad vodnog lica za Q_{sr} (m)	Prosječni specifični pad vodnog toka za Qsr (‰)	Područ. ispitiv. uspora (m.n.m.)		Tip rješenja
		od r. km	do r. km			od	do	
Varijanta 1	Kotoriba 1	11+360	36+880	8,84	0,346	138,0	140,0	Pribranska
	Letenje 1	36+880	50+095	7,08	0,536	147,0	149,0	
	Novakovec 1	50+095	71+675	11,27	0,527	155,0	157,0	
	M. Središće 1	71+675	81+800	7,50	0,741	164,0	166,0	
Varijanta 2	Kotoriba 2	11+360	36+260	8,56	0,344	143,0	140,0	
	Novakovec 2	36+260	71+675	18,63	0,526	155,0	157,0	Derivacijsko
	M. Središće 2	71+675	81+800	7,50	0,741	164,0	166,0	
Varijanta 3	Kotoriba 3	11+360	36+880	8,84	0,346	138,0	140,0	Pribranska
	Letenje 3	36+880	53+750	8,49	0,503	147,0	149,0	
	Lendava 3	53+750	72+880	10,43	0,545	157,0	159,0	Derivacijsko
	M. Središće 3	72+880	81+800	6,93	0,777	164,50	166,50	Pribransko

Napomena: Dionica rijeke Mure od ušća do r. km 11+360 je utjecajno područje VS Đurđevac na Dravi.

4. VELIČINE IZGRADNJE

Kod izbora veličine instaliranog protoka uvažen je princip da je povoljniji jednak instalirani protok na svim elektranama, te su za svako varijantno rješenje lanca vodnih stepenica razmatrane sljedeće veličine instaliranih protoka:

1,0 Qsr; 1,5 Qsr; 1,6 Qsr; 1,7 Qsr; 1,6 Qsr i 2,0 Qsr. Osim toga, za svaku vodnu stepenicu razmatrane su usporne kote na brani s područjem ispitivanja od 2 m, što predstavlja razliku od maksimalne do minimalne ispitivane usporne kote. Granične veličine razmatranih uspornih kota odabrane su nakon proračuna vodnih lica i definiranja konsumpcijskih krivulja na pregradnim profilima i restitucijama derivacijskih kanala. Tako je bilo moguće za svakih 0,10 m porasta usporne kote na brani nizvodnog postrojenja precizno definirati utjecaj veličine usporna nizvodnog postrojenja na donju vodu uzvodne elektrane.

Unutar ispitivanih područja veličina instaliranih protoka očekuje se optimalna veličina instaliranog protoka jednaka za sve elektrane u lancu (varijanti) koji se ispituje dok se unutar ispitivanog područja uspora na branama vodnih stepenica (tablica 1) očekuju optimalne usporne kote.

5. GOSPODARSKO-TEHNIČKE ANALIZE

5.1. Zadaće, metoda i mjerilo analiza

Od tri zadana varijantna rješenja vodoprivrednog i energetskog iskorištenja rijeke Mure na dionici od Gibine od ušća potrebno je utvrditi koja varijanta ima prednost i koji su optimalni osnovni projektni parametri postrojenja vodnih stepenica (veličina instaliranog protoka i usporne kote na branama vodnih stepenica).

Provedena gospodarsko-tehnička analiza temelji se na metodi sadašnje vrijednosti, odnosno proračuna omjera ukupnih koristi i ukupnih troškova višenamjenskih postrojenja za vrijeme trajanja investicijskog projekta. Traženo najpovoljnije varijantno rješenje, kao i projektni parametri: veličina instaliranog protoka i usporne kote na branama razmatranog lanca vodnih stepenica proizlaze iz rezultata analize koji je definiran izrazom:

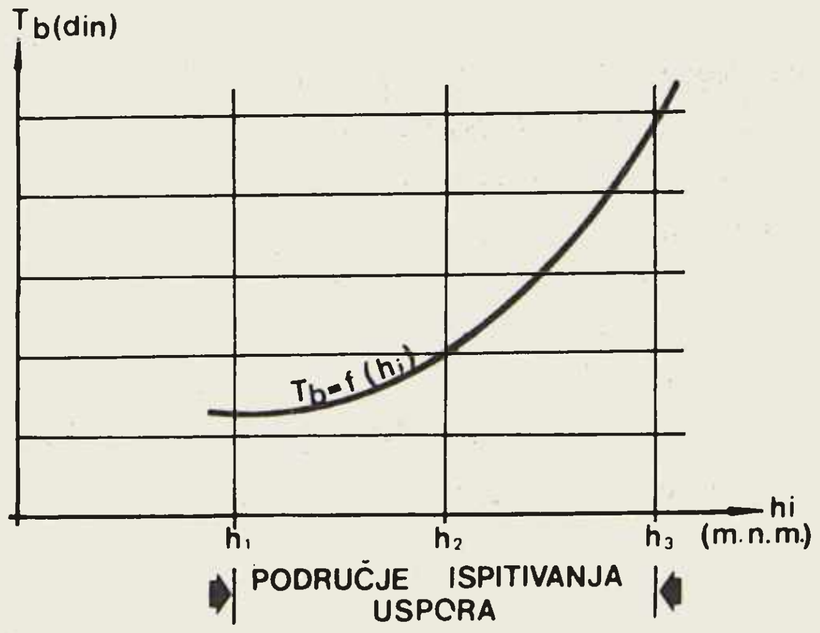
$$r = \max \frac{\sum_{i=1}^{n} Ku}{\sum_{i=1}^{n} Tu}$$

gdje je r = faktor rentabilnosti
n = vrijeme trajanja investicijskog projekta
Ku = ukupne koristi
Tu = ukupni troškovi.

5.2. Troškovi izgradnje

Za svako postrojenje, u sklopu razmatranih varijantnih rješenja, i za razmatrane veličine instaliranog protoka i uspornih kota određeni su troškovi izgradnje, kao i ukupni troškovi koji nastaju za vrijeme trajanja investicijskog projekta. Općenito se troškovi izgradnje svake vodne stepenice mogu podijeliti u dvije grupe, a to su troškovi akumulacijskog bazena izraženi u funkciji veličine uspora na brani i troškovi elektrane u funkciji veličina osnovnih projektnih parametara (instaliranog protoka i usporne kote na brani, odnosno pada na elektrani).

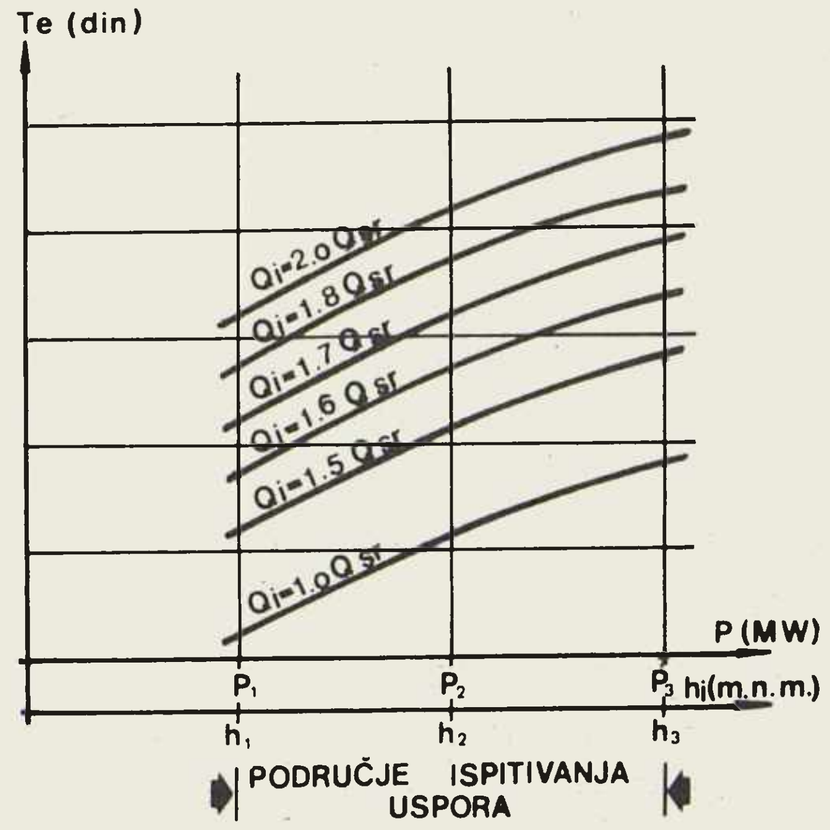
Troškovi izgradnje akumulacijskog bazena određeni su za glavne stavke po pojedinim objektima, a to su uređenje bazena, popratni nasipi, objekti za odvodnju zaobalnih i procjednih voda, armiranobetonska i nasuta brana, regulacijske gradnje i derivacijski kanal (ulazi u navedene troškove kod derivacijskih tipova elektrana) i ostali troškovi (prethodni i pripremni radovi, konzalting usluge i dr.). Navedeni troškovi određeni su s obzirom na veličine karakterističnih kota ispitivanog područja uspora, sl. 2.



Slika 2. Troškovi bazena u funkciji veličine uspora

Troškovi izgradnje elektrane određeni su za glavne građevinske radove na strojarnici, elektrostrojarsku i hidromehaničku opremu strojarnice i ostale troškove (prethodne i pripremne radove, konzaltig poslove i dr.). Pri određenom instaliranom protoku, uz povećanje uspora na brani, povećava se i bruto-pad na elektrani, odnosno snaga elektrane. Tako je moguće za karakteristične veličine uspornih kota na brani i za svaki od razmatranih veličina instaliranog protoka definirati troškove elektrane (sl. 3).

Općenito se ukupni troškovi svake stepenice koji nastaju tijekom investicijskog projekta, svedeni na sadašnju vrijednost, mogu izraziti kao:



Slika 3. Troškovi elektrane u funkciji veličine izgradnje

$$T_e = f(Q_i; h_i)$$

$$Tuk = \sum_{i=1}^{t} \frac{TGi + Tki}{(1+p^{\,i}} + \sum_{j=t+1}^{t+e} \frac{Ts}{(1+p)^j}$$

gdje je t = ukupan broj godina izgradnje vodnih stepenica
e = godina eksploatacije (1 — 50 godina),
p = diskontna stopa,
TGi = ulaganja u i-toj godini izgradnje,
TKi = interkalarne kamate u i-toj godini izgradnje
TS = stalni troškovi postrojenja izraženi kao dio troškova izgradnje (5,6 % troškova izgradnje elektrane i 2,5 % troškova izgradnje bazena).

5.3. Koristi

Upravo zbog koristi koje su višestruke pojedine se namjene razmatranih postrojenja ne mogu valorizirati separatno, to više što je za ovakve pothvate zainteresirano više vodoprivrednih i privrednih grana. U ovom radu analizama nisu ekonomski valorizirane sve koristi koje izravno ili neizravno proizlaze iz cijelog pothvata. Analizama su obuhvaćene:

— koristi od proizvodnje električne energije
— koristi od obrane od poplava i
— koristi od regulacije rijeka.

Koristi od proizvodnje električne energije razmatranih hidroelektrana određene su izravno. Sljedeći podaci i pretpostavke bili su osnova za proračun prosječno raspoloživih količina konstantne varijabilne energije:

— podaci o srednjim mjesečnim protokama mjerodavnih hidrometrijskih profila razmatranih hidroelektrana
— krivulje protoka donje vode na strojarnicama pri svim ispitivanim veličinama uspora na branama nizvodnih postrojenja

— veličine padova (neto-padova) na elektranama uvjetovanim položajem donje vode, ispitivanim veličinama uspora na branama, oscilacijom nivoa gornje vode pri forsiranom radu i hidrauličkim gubicima na strojarnici

— sustav vodnih stepenica radi s dnevnim izravnanjem, s tim da su usvojene veličine dopuštenog pražnjenja akumulacije uz dva upuštanja postrojenja u forsirani rad tijekom dana

— vrijeme varijabilnog rada u jednom danu je maksimalno 12 sati.

Uz pretpostavku da se ukupno raspoložive količine varijabilne energije mogu plasirati u elektroenergetske sustave Mađarske i Jugoslavije (SR Hrvatska i SR Slovenija), uz određeni porast vrijednosti energije u eksploatacijskom razdoblju te uz određene cijene varijabilne i konstantne energije, ukupna korist od proizvodnje električne energije u eksploatacijskom razdoblju, svedena na sadašnju vrijednost dobije se prema izrazu:

$$Ke = \sum_{e=1}^{n} \left(\frac{1+r}{1+p}\right)^e (Wv \cdot Cv + Wk\, Ck)$$

gdje je n = vijek eksploatacije postrojenja
e = godina eksploatacije
r = stopa porasta vrijednosti energije
p = diskontna stopa
Wv = varijabilna energija (kWh)
Cv = cijena varijabilne energije (d/kWh)
Wk = konstantna energija (kWh)
Ck = cijena konstantne energije (d/kWh).

Koristi obrane od poplava vodnih stepenica određene su neizravno, preko alternativnog rješenja obrane od poplava. Alternativno rješenje obrane od poplava predstavljaju nasipi koji, kao i nasipi vodnih stepenica, štite od poplava ista zaobalna područja, a kruna im nadvisuje nivo velike vode 100-godišnjeg povratnog razdoblja za 1,2 m.

Prema tome, trase nasipa alternativnih rješenja obrane od poplava poklapaju se s trasama nasipa vodnih stepenica, a kako se u skladu s projektnim rješenjima (s vodnim stepenicama) predviđa korištenje jednog dijela postojećih nasipa, isto je uvaženo kod alternativnog rješenja. Koristi obrane od poplava su određene u skladu s prije navedenima i prema sljedećim principima:

— Na dionicama korištenja vodnih stepenica gdje uz rijeku postoje nasipi, a u skladu s alternativnim rješenjem obrane od poplava treba graditi nove nasipe, koristi obrane od poplava određene su kao razlika troškova nasipa koje treba graditi i vrijednosti postojećih nasipa.

— Na dionicama korištenja vodnih stepenica gdje uz rijeku nema nasipa korist obrane od poplava jednaka je troškovima nasipa koje bi u skladu s alternativnim rješenjem trebalo izgraditi.

— Na dionicama korištenja vodnih stepenica gdje uz rijeku postoje nasipi, a prema alternativnom rješenju se predviđa korištenje tih nasipa, korist obrane od poplava je jednaka troškovima adaptacije tih nasipa (ako je to potrebno).

Ako se prije navedeno rezimira, koristi obrane od poplava su dobivene kao razlika troškova izgradnje i adaptacije nasipa alternativnog rješenja i vrijednosti postojećih nasipa koji se ne koriste u sklopu alternativnog rješenja obrane od poplava.

Ukupne koristi obrane od poplava na dionici korištenja svake vodne stepenice određuju se analogno ukupnim troškovima, uz pretpostavku da se izražene koristi (troškovi) realiziraju u istom periodu građenja i za isti period eksploatacije kao i kod vodnih stepenica. Ukupne koristi obrane od poplava na dionici korištenja svake vodne stepenice mogu se izraziti kao:

$$Ouk = OGi + OKi + OSi$$

gdje su OGi = troškovi izgradnje nasipa alternativnog rješenja umanjeni za vrijednosti postojećih nasipa koji se ne koriste, svedeni na sadašnju vrijednost,
OKi = interkalarne kamate u toku građenja, svedene na sadašnju vrijednost (računaju se po vremenu realizacije za iznos troškova OGi),
OSi = stalni troškovi u eksploatacijskom razdoblju izraženi kao dio troškova izgradnje (2,5 % OGi).

Koristi od regulacije rijeke na dionicama korištenja razmatranih vodnih stepenica dobivene su neizravno, uz prethodno usvojeno alternativno rješenje regulacija bez vodnih stepenica i određeno rješenje regulacija rijeka s vodnim stepenicama. Alternativno rješenje regulacija rijeke predstavlja »Opći regulacijski projekt rijeke Mure« na razmatranoj dionici. Koristi od regulacija rijeke na dionicama korištenja vodnih stepenica određene su prema ovim principima:

— Na dionici rijeke gdje je u cijelosti provedena regulacija, kao i na dionicama gdje se regulacije, u skladu s alternativnim rješenjem, predviđaju izvesti do 1985. godine, korist od regulacija određena je kao razlika vrijednosti regulacijskih gradnji alternativnog rješenja i vrijednosti regulacija koje su potrebne u sklopu rješenja s vodnim stepenicama, što predstavlja vrijednost regulacijskih objekata koji u slučaju izgradnje vodnih stepenica gube prvobitnu funkciju.

— Na dionicama rijeke gdje se u skladu s alternativnim rješenjem predviđa izvedba regulacijskih gradnji, a ima i izvedenih (postojećih) regulacija, koristi od regulacija su određene s jedne strane kao razlika troškova regulacija koje treba graditi u sklopu alternativnog rješenja i regulacija koje se grade s vodnim stepenicama i, s druge strane,

kao razlika vrijednosti postojećih regulacijskih objekata koji zadržavaju istu funkciju u sklopu alternativnog rješenja i projektiranog s vodnim stepenicama.

Prema tome, koristi od regulacija su određene kao razlika troškova izgradnje regulacija koje treba graditi, odnosno razlika vrijednosti izvedenih regulacija, alternativnog rješenja i rješenja regulacija s vodnim stepenicama.

Ukupne koristi od regulacija na dionicama korištenja vodnih stepenica mogu se izraziti kao:

$$Ruk = RGi + RIi + RSi + RPi$$

gdje je RGi = razlika troškova regulacija koje se grade u sklopu alternativnog rješenja (bez vodnih stepenica) i regulacija koje se grade s vodnim stepenicama, svedena na sadašnju vrijednost;

RIi = interkalarni kamati, svedeni na sadašnju vrijednost, koji se računaju za razliku troškova (RGi) uz vrijeme realizacije jednako izgradnji vodnih stepenica;

RSi = stalni troškovi u eksploatacijskom razdoblju izraženi kao dio troškova građenja (2,5 % RGi), diskontnim računom svedeni na sadašnju vrijednost;

RPi = stalni troškovi u eksploatacijskom razdoblju izraženi kao dio (2,5 %) razlike vrijednosti izvedenih (postojećih) regulacija alternativnog rješenja i rješenja s vodnim stepenicama, svedeni na sadašnju vrijednost.

Općenito se u slučaju izgradnje brane, odnosno usporavanjem voda, bitno smanjuje potreba za reguliranjem vodotoka uzvodno od njih, a time se umanjuju i troškovi izvedbe regulacijskih objekata koje treba graditi u slučaju da se ne grade brane, odnosno vodne stepenice. Potrebne su opsežne analize da bi se utvrdilo u kojoj mjeri veličina uspora na brani utječe na opseg odnosno troškove izgradnje regulacijskih gradnji uzvodno od brane. Zbog toga su za potrebe ove gospodarsko-tehničke analize troškovi izgradnje regulacija na dionicama korištenja razmatranih vodnih stepenica određeni u skladu s pretpostavljenim rješenjima regulacija pri srednjim veličinama ispitivanih kota uspora na branama (srednja kota unutar ispitivanog područja uspora), te su za minimalne ispitivane veličine uspora procjenom povećani za 10 %, a za maksimalne smanjeni 5 %, dakle, uzeti su u funkciji veličina uspora na branama.

Prema tome, veličine koristi od regulacija na dionicama korištenja svake vodne stepenice u skladu su s navedenim principima određivanja u funkciji veličine uspora na brani.

6. MODEL PRORAČUNA

U skladu s prethodno navedenim potrebnim ulaznim podacima o vodnim stepenicama razmatranih varijantnih rješenja, za sve ispitivane veličine instaliranih protoka izvršen je proračun uspornih kota na branama pri kojima se postiže maksimalni rentabilitet sustava u cjelini ($\max \frac{Kuk}{Tuk}$). Iz činjenice da se radi o više varijanti niza vodnoenergetskih stepenica za koje treba od velikog broja mogućih projektnih parametara pri različitim ulaznim gospodarskim podacima odrediti optimalne, proistječe mogućnost modeliranja čitavog sustava (varijante) u vidu jednog višeetapnog procesa, što je pak omogućilo primjenu tehnike dinamičkog programiranja uz korištenje elektroničkog računala.

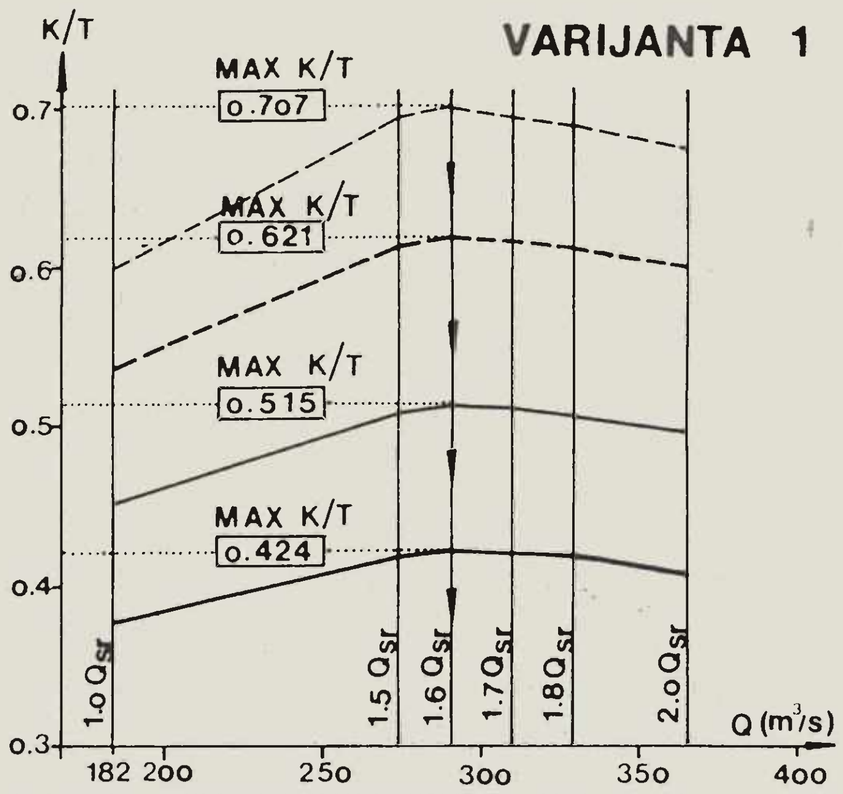
7. REZULTATI

Kako je gospodarska analiza provedena za dvije veličine diskontne stope (6,5 i 10,5 %), uz stopu interkalarnih kamata od 6,5 %, vrijeme građenja objekata svake varijante od 5 i 10 godina uz porast vrijednosti energije u eksploatacijskom razdoblju od 0,5 % te uz cijenu energije: varijabilne 2,62 d/kWh i temeljne 1,24 d/kWh, očito je da cilj optimalizacije nije u pronalaženju realnog faktora rentabilnosti, već projektnih parametara, odnosno definiranju utjecaja gospodarskih parametara (veličine diskontne stope i vrijeme građenja sustava) na veličine izgradnje.

Rezultati analiza su pokazali koja je veličina instaliranog protoka optimalna u svakoj varijanti (sl. 4, 5, 6) i koji su u tom slučaju najpovoljniji uspori na branama razmatranih vodnih stepenica.

S obzirom na različite ulazne gospodarske parametre, veličine uspornih kota osciliraju unutar uskog područja maksimalne veličine 0,30 m kod svih razmatranih postrojenja, osim prvog u lancu (VS Mursko Središće 1, 2 i 3). Razlog tome je što se planirani lanac nije razmatrao u cjelini (s vodnim stepenicama koje se planiraju uzvodno od Gibine), pa se promjenom uspora na brani VS Mursko Središće, u svim varijantama, ne registrira utjecaj na donju vodu VS Gibina koja se planira uzvodno.

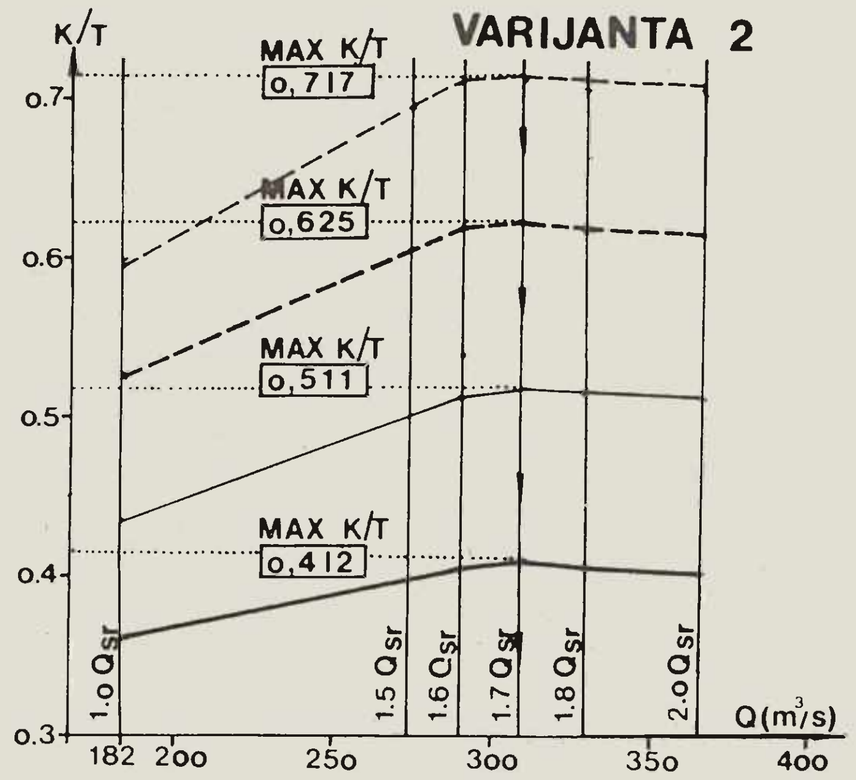
Naime, u provedenoj analizi nije razmatrano postrojenje VS Gibina zbog nedostataka podataka. Zato su uspori na brani razmatranog postrojenja VS Mursko Središće u sve tri varijante odabrani tako da se uspor pri srednjem protoku isklinjava približno kod profila uzvodno planirane HE Gibina, dok su kao optimalne na svim ostalim razmatranim postrojenjima odabrane kote iz područja oscilacije uspora, a dane su u tablici 2.



VODNA STEPENICA	Područje oscilacija uspora za Qi OPT. (m)	Odabrane kote uspora (m.n.m.)
KOTORIBA	o,3o	139,oo
LETENJE	o,2o	148,oo
NOVAKOVEC	o,oo	156,5o
M. SREDIŠĆE	o,9o	165,3o

Vrijeme izgradnje	Diskontna stopa
5 GOD.	6,5 %
1o GOD.	6,5 %
5 GOD.	1o,5 %
1o GOD.	1o,5 %

Slika 4. Grafički prikaz rezultata



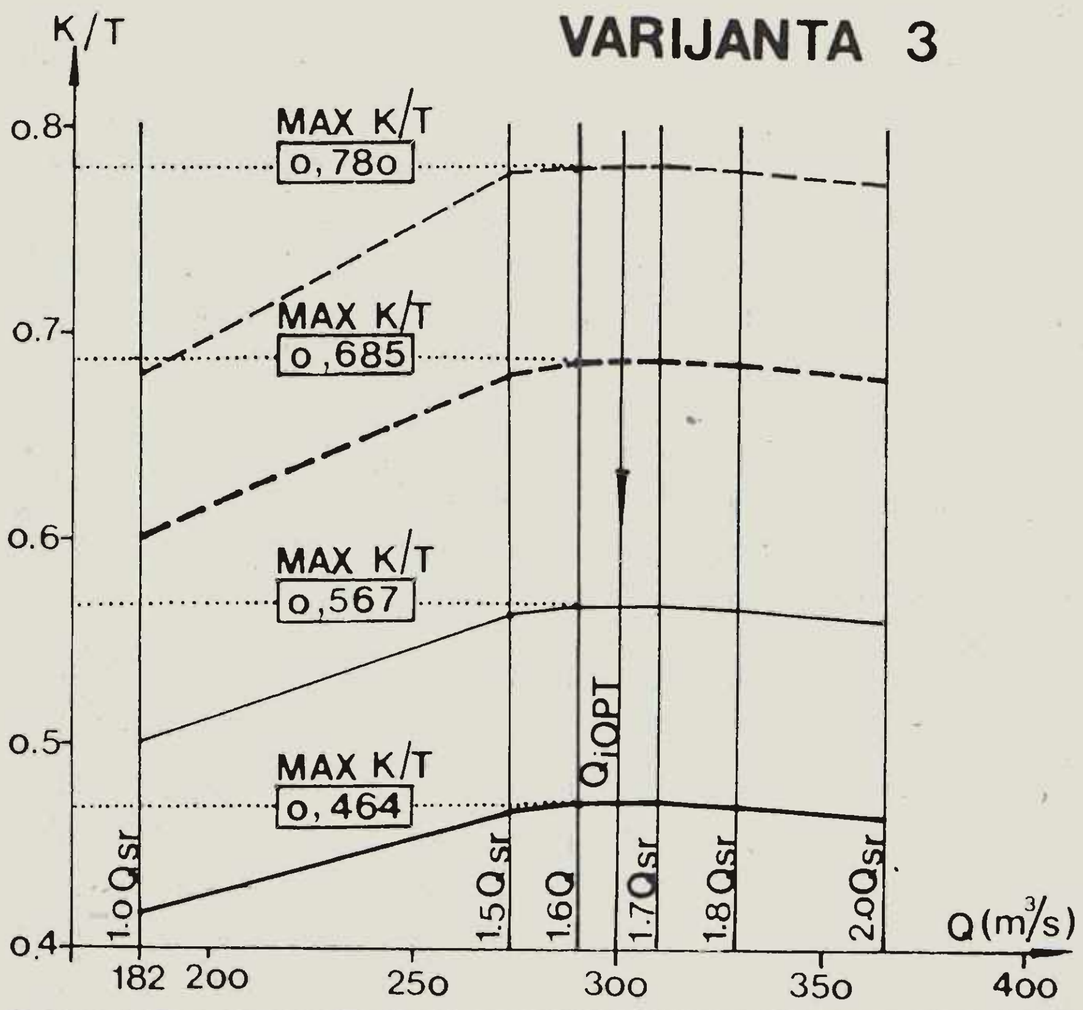
VODNA STEPENICA	Područje oscilacija uspora za Qi OPT. (m)	Odabrane kote uspora (m. n. m.)
KOTORIBA	o,1o	138,9o
NOVAKOVEC	o,1o	155,9o
M. SREDIŠĆE	o,5o	165,5o

Vrijeme izgradnje	Diskontna stopa
5 GOD.	6,5 %
1o GOD.	6,5 %
5 GOD.	1o,5 %
1o GOD.	1o,5 %

Slika 5. Grafički prikaz rezultata

Tablica 2. Optimalni projektni parametri razmatranih postrojenja na rijeci Muri

Varijante	Vodna stepenica	Uspor na brani m.n.m.	Instalir. protok m^3/s
1	Kotoriba 1	139,00	291 = (1,6Qsr)
	Letenje 1	148,00	
	Novakovec 1	156,00	
	M. Središće 1	165,00	
2	Kotoriba 2	138,90	309 = (1,7 Qsr)
	Novakovec 2	155,90	
	M. Središće 2	165,20	
3	Kotoriba 3	138,90	300 = (1,65 Qsr
	Letenje 3	147,90	
	Lendava 3	158,90	
	M. Središće 3	165,00	



VODNA STEPENICA	Područje oscilacija uspora za Q i OPT (m)	Odabrane kote uspora (m.n.m.)
KOTORIBA	o,3o	138,9o
LETENJE	o,1o	147,9o
LENDAVA	o,3o	158,9o
M.SREDIŠĆE	o,7o	165,oo

Vrijeme izgradnje	Diskontna stopa
5 GOD.	6,5 %
1o GOD.	6,5 %
5 GOD.	1o,5 %
1o GOD.	1o,5 %

Slika 6. Grafički prikaz rezultata

Kako se očituje na grafičkim prikazima rezultata, analize pokazuju da se najveći omjer K/T dobije za varijantu 3 (sl. 6), a ova je usvojena kao optimalna. U skladu s rješenjem prema ovoj varijanti izrađen je »Osnovni projekt vodoprivrednog rješenja i energetskog iskorištenja rijeke Mure na dionici od Gibine do ušća«.

8. ZAKLJUČAK

Kod planiranja izgradnje višenamjenskih vodnoenergetskih stepenica potrebno je lanac vodnih stepenica gospodarski vrednovati u cjelini i na temelju toga donositi odluke o najpovoljnijem rješenju i redoslijedu izgradnje.

LITERATURA

[1] *Osnovni projekt vodoprivrednog rješenja i energetskog iskorištenja rijeke mure na dionici od Gibine do ušća* — Institut za elektroprivredu — Zagreb

[2] P. PH. Jansen i grupa autora: *Principles of Engineering* Pitman — London, 1979.

[3] Qventin, W. M.: *Optimal Operation of Surface Water Resources Systems for Water Supply and Hidroelectrical Power Generation* Present at the ORSA/TIMS Joint National Meeting, Colorado Springs, 1980.

[4] N. Murray, K. Wenssbeck: *Computer Program for a River Hydro Derelopment Water* Power and Dam Construction, March, 1980.

[5] Đ. Hatić, M. Petričec i N. Mladineo: *Izbor optimalnih parametara niza energetskih stepenica primjenom dinamičkog programiranja,* Energija (11 — 12) 1982.

[6] *Sistem vodnih stepenica Đurđevac — Barcs, Idejni projekt* — Elektroprojekt — Zagreb, 1979.

KEY WORDS: HYDRO POWER PLANT, USE OF HIDRO POWER, MURA, CASCADE HPP

CHOICE OF OPTIMAL HYDRO POWER SOLUTION FOR RIVER MURA BETWEEN GIBINE AND MOUTH OF RIVER

In the article is described a method for calculation of optimal design parameters for cascade of hydro power steps on fiver Mura; height of dam and instaled flow. Calculation is done for various solutions of costs and benefits by use of dinamic programing.

WAHL DER OPTIMALEN WASSERWIRTSCHAFTLICHEN ENTSCHEIDUNG UND ENERGIENUTZUNG DES MURFLUSSES IM ABSCHNITT GIBINE BIS ZUR MÜNDUNG

Für die Wasserkraftwerkskette der einzelnen Staustufen der Mur von Gibine bis zur Mündung wird der Berechnungsgang der optimalen Projektdaten erleutert: Stauhöhenmarke an den Stauwehren und installierter Durchfluss. Die Berechnung wurde anhand der vorhergehenden ermittelten verschiedenen Ausbauvarianten und der wirtschaftlichen Überlegungen des Ausbaus (Kosten und Gewinn) bei Anwendung der Methode der dyhamischen Programmierung durchgeführt.

ВЫБОР НАИБОЛЕЕ БЛАГОПРИЯТНОГО ВОДНОХОЗЯЙСТВЕННОГО РЕШЕНИЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПЛЬЗОВАНИЯ РЕКИ МУРЫ НА ОТРЕЗКЕ ОТ ГИБИНЫ ДО УСТЬЯ

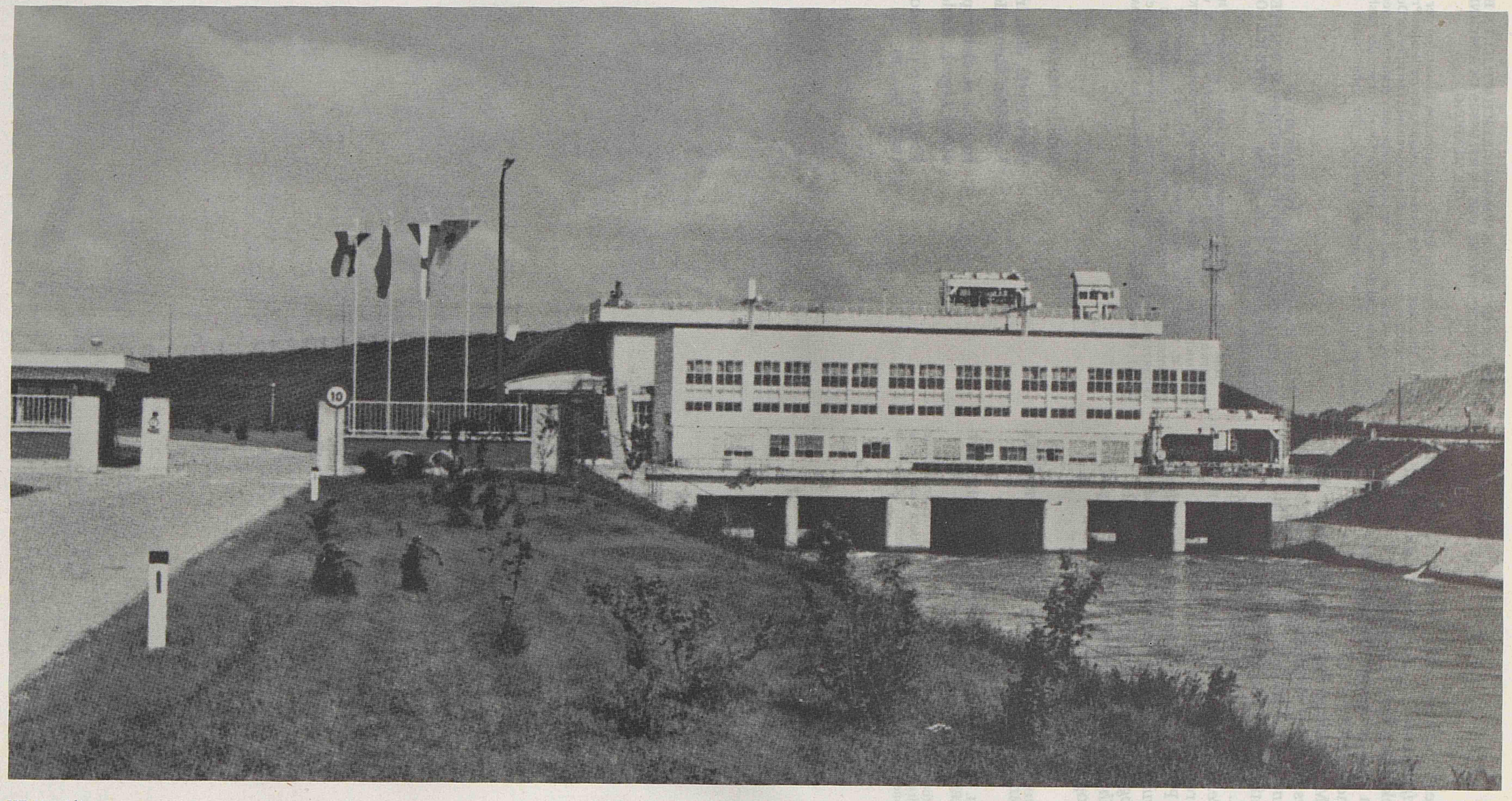
Для водноэнергэтического каскада разного назначения на участке реки Муры от Гибины до устья описан способ расчета оптимальных проектных величин: отметок подпора на плотинах и установленного расхода. Расчет проведен после предварительного определения вариантных решений и хозяйственной характеристики рассматриваемых установок (расходы и прибыль) применением метода динамического программирования.

Naslov pisaca:

Đuro Hatić, dipl. ing.
Nedjeljko Šimundić, dipl. ing.

Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 06 – 30.



HE Varaždin

JEDNA PERSPEKTIVA JUGOSLAVENSKE SUPERPONIRANE MREŽE

mr Zdenko Tonković, Zagreb

UDK 621.311.1 (497.1)
PRETHODNO PRIOPĆENJE

U članku se iznose rezultati analize razvoja jugoslavenske superponirane mreže s obzirom na moguću izgradnju dopunskih 1 600 MW na Kosovu za potrebe Republika i AP Vojvodine.

Ključne riječi: jugoslavenska mreža visokog napona, prijenos električne energije, analiza prilika u visokonaponskoj mreži.



ZDENKO TONKOVIĆ

Pojava novih velikih izvora obično ima reperkusije na prijenosnu mrežu, ovisno o veličini i lokaciji. U jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu postoji za bližu budućnost nekoliko varijanata potencijalnih koncentracija proizvodnih kapaciteta; uz iduće nuklearne elektrane najčešće se pojavljuje dalja izgradnja termoelektrana na Kosovu. Upravo bi realna mogućnost skorog razvoja proizvodnje na Kosovu mogla biti odlučna za dalji razvoj jugoslavenske superponirane mreže. U nekoliko su navrata, već prema instaliranoj snazi,ispitivana potrebna pojačanja prijenosne mreže, pa i uvođenje vrlo visokih napona te istosmjerni prijenos. Danas izgleda najperspektivnija varijanta dopunskog instaliranja 6 × 300 MW, koji bi zajednički gradile zainteresirane republike i AP Vojvodina: osim BiH i Crne Gore, svaka republika i Vojvodina participirale bi po jedan agregat, a Hrvatska dva. Jedan agregat instaliralo bi i Kosovo za svoje potrebe. Prva jedinica bila bi u pogonu nazivne 1988. godine, sljedeće dvije 1989, da bi se puna dopunska instalirana snaga dostigla nazivne 1990. godine. Za prijenos i korištenje te ukupne veličine dopunske instalirane snage ispitivana je i tražena, prema zadatku JUGEL-a, osnovna konfiguracija superponirane prenosne mreže.

1. PODLOGE

Elektroenergetske podloge sastavljene su na temelju podataka republika i pokrajina o potrebnim snagama iz superponirane mreže za pokrivanje salda opterećenja na 110 kV razini — tj. razlike potrošnje i angažirane proizvodnje do uključivo 110 kV, uz uvažavanje cos $\phi = 0{,}95$ — te raspoloživim izvorima priključenim na 220 kV i 400 kV. Podaci o nepodmirenoj potrošnji odnose se prosinački vrh nazivne 1990. godine, a izvori na superponiranim razinama uvršteni su prema najvjerojatnijem angažiranju. Sigurno je da bi za potpunije sagledavanje prijenosnih mogućnosti mreže trebalo ispitati i drukčija energetska stanja (hidrologija, variranje rasporeda i angažiranje proizvodnje, promjene salda opterećenja na 110 kV razini, pogonski uvjeti itd.). Opterećenja čvorišta (MW) dana su u sljedećoj tablici da budu dostupna i ostalim eventualno zainteresiranim (u tu bilancu nije uvršteno angažiranje 1 800 MW instalirane snage u TE Kosovo za potrebe republika i AP Vojvodine). Pojava nekih čvorišta prebačena je poslije 1990. godine, a njihova potrošnja razdijeljena je između susjednih postojećih čvorišta (npr. Železnik, Makedonija).

Čvorišta 400 kV

Čvorište	Potrošnja	Proizvodnja	Čvorište	Potrošnja	Proizvodnja
Gacko	28	552	Maribor	101	
Sarajevo	489		Kranj	268	
Višegrad	102	280	Krško	118	560
Zvornik	248		Beograd	539	
Ugljevik	147	558	Obrenovac	147	1688
Doboj	166		Majdanpek	213	
Banja Luka	184		Bor	190	
Prijedor	126		Kragujevac	350	
Titograd	518		Svetozarevo	321	
Ernestinovo	284		HE Đerdap	—	1000
Obrovac	143	276	TE Drmno	—	640
Zagreb	328		TE Kolubara	—	563
TE Kosovo	—	862	RHE Bistrica	—	102
Peć	62		Subotica	414	
Bitola	20	380	Kikinda	194	
Skopje	718		Novi Sad	175	
Negotino	24	190	TE Kovin	—	552
			Niš	337	
	3587	3098		3367	5105

Čvorišta 220 kV

Čvorište	Potro-šnja	Proiz-vodnja	Čvorište	Potro-šnja	Proiz-vodnja
Trebinje	180	160	Međurić	82	
Mostar	333	198	Priština	192	
Kakanj	43		T. Mitrovica	256	
TE Kakanj	—	190	Glogovac	207	
Jajce	101		Prizren	168	
Bihać	85		Kosovo	129	519
Zenica	137		Skopje	466	
Prijedor	63		Vrutok	—	197
Tuzla	206	330	Cirkovci	50	
TE Tuzla B — 1	—	405	Podlog	170	154
HE Salakovac	—	193	TE Šoštanj	—	265
Jablanica	—	250	Ljubljana	158	
Gradačac	39		Kleče	153	
HE Konjic	—	236	Divača	217	
Titograd	82		Beograd 17	253	
Peručica	—	187	Beograd 3	194	
Mojkovac	127		Obrenovac	554	942
Pljevlja	49	380	Smederevo	156	
HE Andrijevo	—	149	Šabac	168	
HE Piva	—	342	Valjevo	202	
Đakovo	164		Niš	80	
Melina	165		Baj. Bašta	22	668
TE Rijeka	—	244	Požega	163	
Pehlin	5		Čačak	143	
Plomin	40	149	Kraljevo	182	
Vodnjan	69		Kruševac	177	
Senj	—	200	Leskovac	130	
Bilice	284		T. Užice	153	
Konjsko	—	34	Sr. Mitrovica	200	
Vrboran	320		Pančevo	463	
Zakučac	—	204	Zrenjanin	200	
Mraclin	329		Novi Sad	281	
Sisak	97		Srbobran	230	
	2968	3851		6199	2745

U prosinačkom vrhu nije pretpostavljena mogućnost izvoza energije, a s uvozom je intervenirano samo u havarijskim slučajevima, kada se njime spašava odgovarajuće komponente sustava.

2. UVJETI I KRITERIJI

Uvjet koji prijenosna mreža treba ispunjavati zadan je kao istovremeni ispad jednog dalekovoda i jednog agregata. Tog se uvjeta nije striktno pridržavalo: ako se pri zadanom (n−2) preopterećuje neka komponenta, dozvoljavalo se njezino iskapčanje da se utvrdi da li zadovoljava ostali dio sistema. U takvom havarijskom pogonu, kao i u zdravom, moraju biti zadovoljeni postavljeni kriteriji provjere mreže: ne smije biti preopterećenih komponenti mreže (termička opteretivost vodiča ili instalirana snaga transformacije) i varijacije napona trebaju biti u dozvoljenim granicama. Osim ovih osnovnih kriterija kao komparativni pokazatelji korišteni su i oni statičke stabilnosti: kut modula napona u električki najudaljenijim čvorištima te potrebna reaktivna snaga za podržavanje reguliranih napona. Uz te »tehničke« i »prijenosne« pokazatelje, kao mjerilo upotrebljavani su gubici modela sistema. Mreža je tako građena istovremenim sagledavanjem kriterija planiranja i pogona.

3. FORMULIRANJE OSNOVNOG RJEŠENJA

Konfigurcija prolazne mreže oblikovana je nadogradnjom druge faze izgradnje osnovne 380 kV mreže Jugoslavije prema sagledavanjima republičkih i pokrajinskih elektroprivreda, prvenstveno pojačavajući prijenosnu transverazalu istok — zapad.

Strategija formuliranja osnovnog rješenja superponirane mreže za transport 1 800 MW instaliranih na Kosovu razvijana je u logičnim cjelinama. Nakon priključka novih izvora i zatvaranju regionalnih petlji da se zadovolji siguran i ekonomičan pogon (Vojvodina) deterministički je zasnivana i provjeravana takva konfiguracijakoja će zadovoljiti postavljeni uvjet.

U ispitivanjima područje Jugoslavije podijeljeno je u tri dijela: Istok — SR Crna Gora, SR Makedonija i SR Srbija; Centar — SR Bosna i Hercegovina, područje »Elektroslavonije« i područje »Elektroprivrede Dalmacije«; Zapad — SR Slovenija, područje »Elektroprivrede Zagreb« i područje »Elektroprivrede Rijeka«. Mreža i čvorišta Makedonije, s obzirom na praktički radijalni priključak ne TE Kosovo kao i na blizinu Grčke, kroz ispitivanja zadržani su malo sažetije da se ne oteža koncentracija na glavne pravce prenosa i iz toga rezultirajuća nužna pojačavanja. Treba konstatirati da se veza SR Makedonija sa sistemom ne može smatrati zadovoljavajućom kako zbog potreba same republike, tako i zbog povezanosti s Grčkom.

Polazeći od Kosova, najprije je ispitivano područje Istoka — u regularnom pogonu te za slučaj neraspoloživosti najvećeg agregata na sjeveru (Obrenovac) kao i na zapadu (Krško). Pretpostavljeno je da se nastali manjkovi podmiruju s Kosova (Grčka) kako bi se razmatrao za prijenos što nepovoljniji slučaj. Ustanovljeno je kao nužno pojačanje 400 kV potez Kosovo — Kraljevo — Kragujevac i TS Kraljevo, dok veza Skopje — Niš nije perspektivna.

Pošto je utvrđena i provjerena mreža Istoka, ispitivane su veze Istok — Centar. Kao zaključak rezultirao je vod Obrenovac — Zvornik, koji je dobro opterećen u normalnom pogonu, a nužan u havarijskom (kvarovi na 400 kV potezu Obrenovac — Ernestinovo) pri povećanom prijenosu s Istoka prema Zapadu. Vodu Obrenovac — Zvornik — Tuzla mogao bi biti alternacija vod Subotica — Sombor — Ernestinovo. Ipak, prednost je dana vodu iz Obrenovca jer u najtežem slučaju: ispad voda Kosovo — Peć pri povećanom prijenosu (NE Krško izvan pogona) njegovim postojanjem preopterećenje transformacije u Kraljevu (1 × 400 MVA) ostaje u tolerirajućim granicama. S vodom iz Subotice trebala bi još jedna transformacijska jedinica. Vezu Subotica — Ernestinovo aktuali-

zirat će NE u Slavoniji. Takva eventualna izgrađenost zapadne polovice vojvođanske mreže smanjila bi opseg izgradnje u istočnom dijelu, pa je u tom smislu pitanje Vojvodine otvoreno. Što se tiče raspleta na Drini, pokazuje se da je znatno povoljnije HE Višegrad priključiti na Pljevlju nego na Buk Bijelu — kako je to dano u prijedlogu Osnovnog rješenja mreže preuzimajući republička sagledavanja. Za potrebe prijenosa s Kosova treba onda graditi vod Pljevlja —Buk Bijela i tako premostiti 220 kV usko grlo HE Piva — Buk Bijela. Za citirana opterećenja dolazi u pitanje jedino etapnost izgradnje, jer bi za pouzdan prijenos iz Pljevlje trebalo istovremeno graditi oba voda, prema Višegradu i prema Buk Bijeloj. Moguće su izmjene redoslijeda ovisne o više varijabli: rastu sistema (potrošnja, proizvodnja, mreža), raspoloživosti izvora (tekuće gorivo!), ulozi UCPTE i dr.

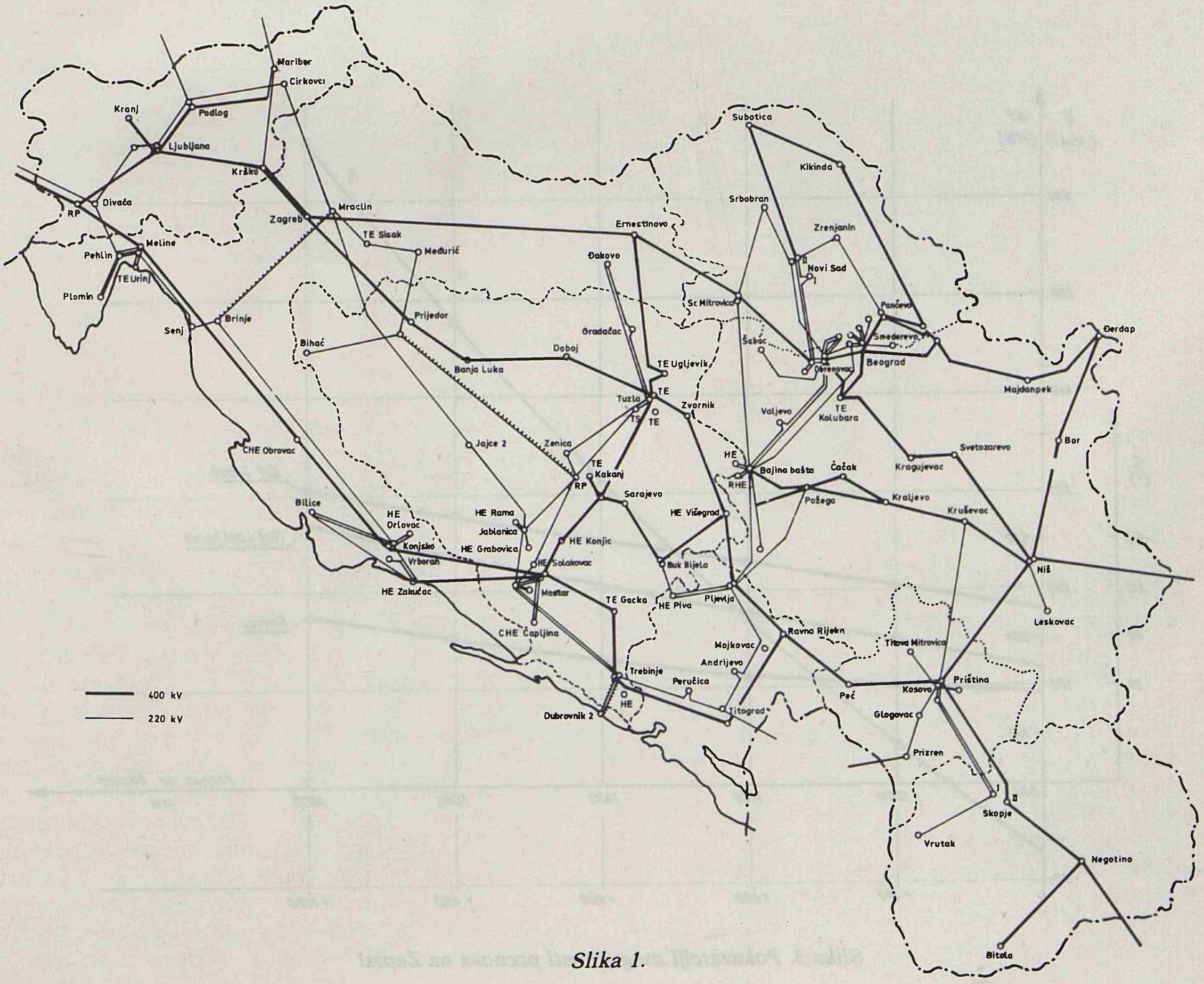
Mreža Centra ispitivana je ne samo da zadovolji tranzit na Zapad, nego i u funkciji potreba podsistema BiH, pa je tako uklopljen vod Kakanj — Banja Luka. Njime se amortiziraju ispadi Tuzla — Doboj ili Ernestinovo — Zagreb, i potreban je ne samo pri povećanom tranzitu, nego i za sigurno napajanje zapadnog dijela BiH.

Na Zapadu se predlaže vod Krško — Ljubljana jer je u ovakvoj energetskoj situaciji neusporedivo korisniji od voda Melina — Zagreb (koji će prijenosno, ne kompenzaciono, postati interesantan tek pojavom velikog izvora u Dalmaciji).

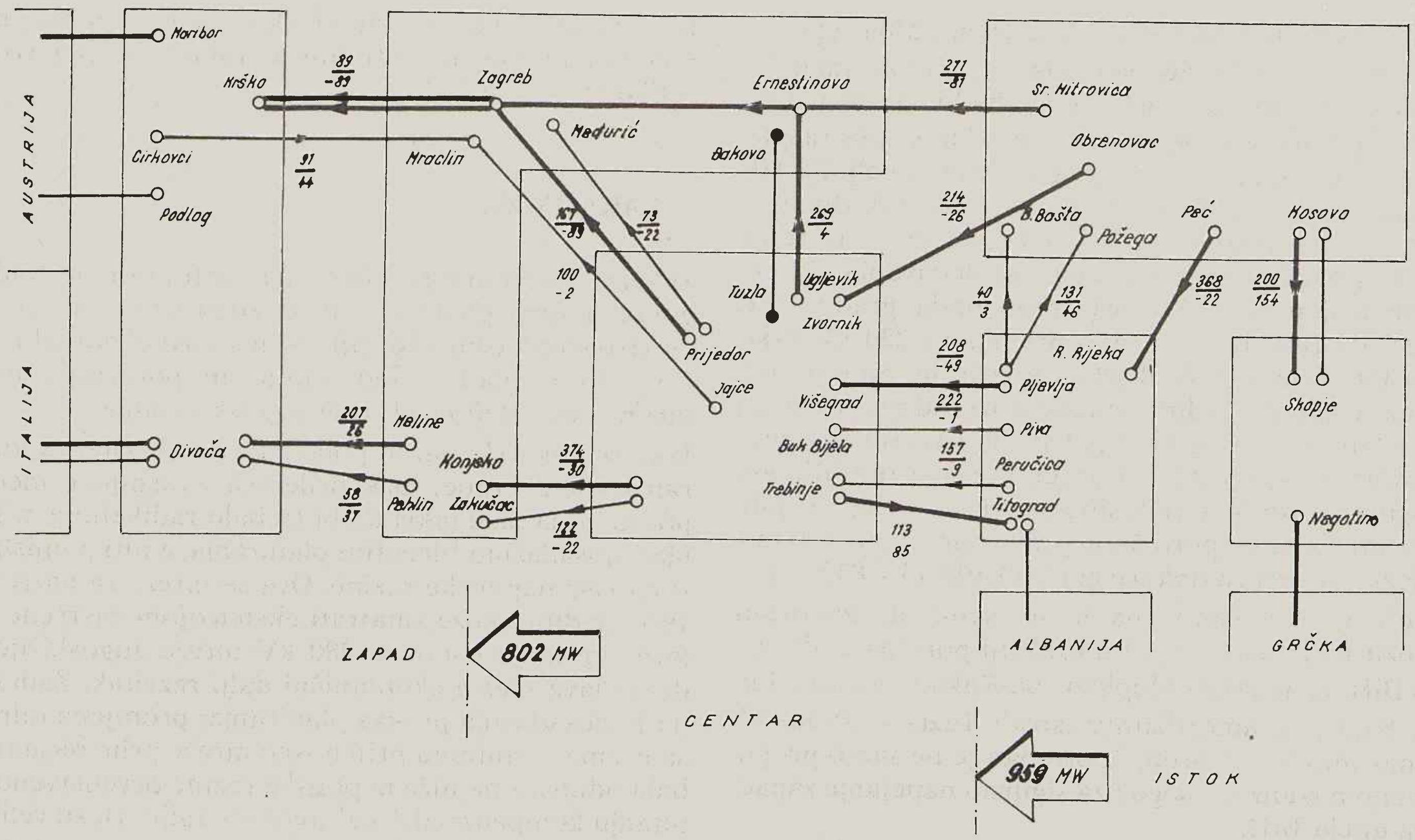
4. ZAKLJUČAK

Takvim postupnim pojačavanjem definirana je konfiguracija superponirane mreže Jugoslavije (sl. 1) za elektroenergetsku situaciju prema navedenoj tablici. Umjesto o godini, sadržajnije je povezivati ovu mrežu i navedeno elektroenergetsko stanje.

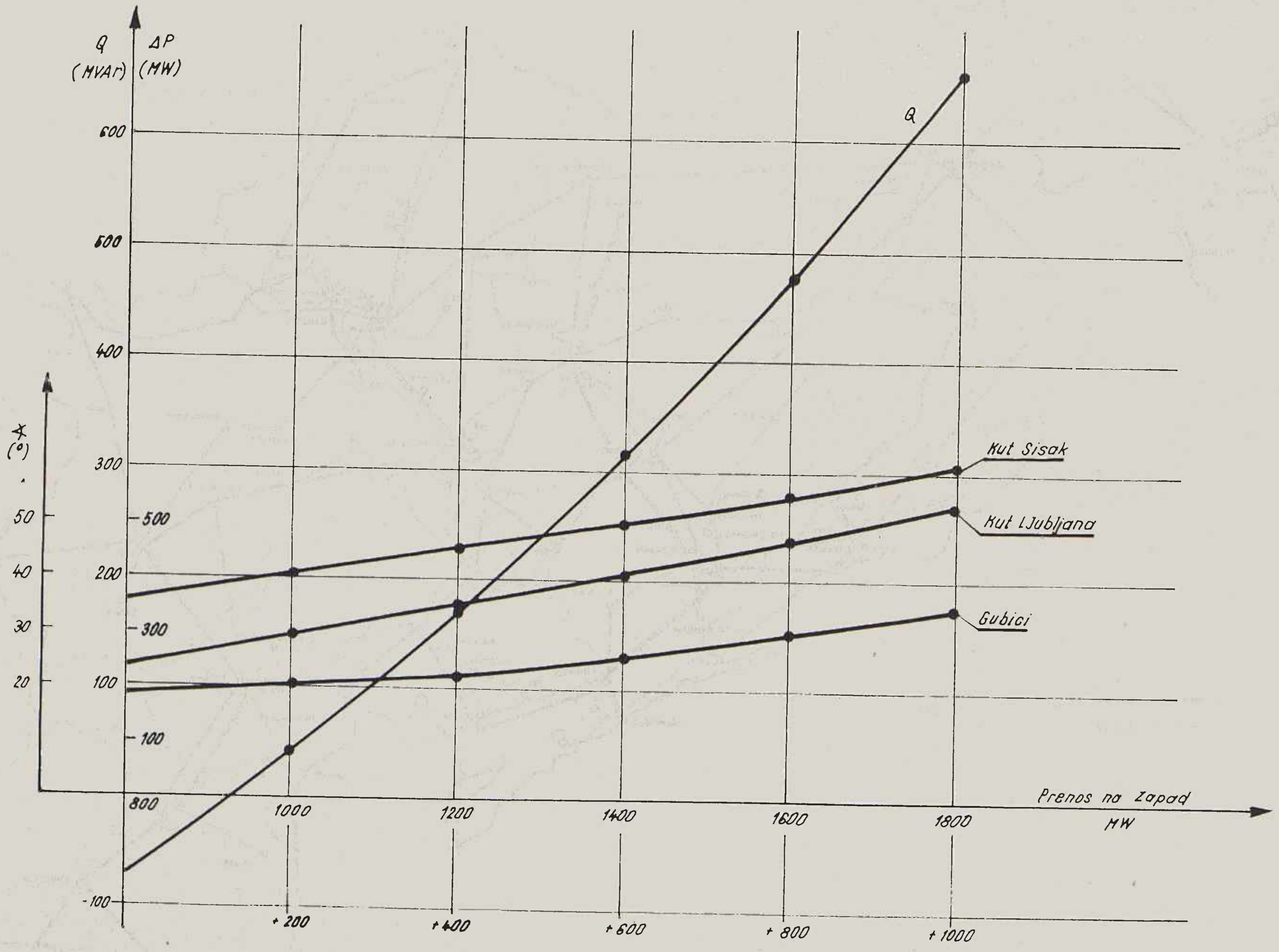
Iako se kosovski bazen pojavljuje kao periferno lociran izvor energije, ipak prijenosi i razmjene među područjima nisu takvi da bi trebalo radikalnije mijenjati dosadašnju filozofiju planiranja, a niti pomišljati na više naponske razine. Ova se mreža za nazivnu 1990. godinu može smatrati ekstenzijom završene II faze izgradnje osnovne 380 kV mreže Jugoslavije i dozvoljava njezin ekonomični dalji razvitak. Zadržana je dosadašnja praksa planiranja; promjena odnosa prema planiranju prijenosne mreže prije bi se trebala odnositi na niže naponske razine prvenstveno u pitanju kompenzacije reaktivne energije. Tu su velike rezerve za pojačavanje sistema, a ne samo u gradnji postrojenja superponirane mreže.



Slika 1.



Slika 2. Elektroenergetski odnosi između republika i područja



Slika 3. Pokazatelji mogućnosti prenosa na Zapad

U ovako pojačavanoj mreži nije računato s UCPTE kao stalnim bilančno postojećim izvorom jer mi nemamo izvan državnih granica zakupljenih nikakvih proizvodnih kapaciteta niti dugoročnih aranžmana. Takvo »pesimistično« planiranje rezultira čvršćom mrežom sa stajališta prakse jer, ipak, uvijek postoji razmjena. Svaki uvoz samo poboljšava prijenosnu situaciju, smanjujući potrebne tranzite. U zadanoj elektroenergetskoj situaciji realno su promatrani samo efekti havarijskog, vremenski ograničenog uvoza koji može kratkotrajno pomoći da se prebrode prve posljedice poremećaja — da se odmah ne pribjegava pojačavanju mreže pri svakom havarijskom narušavanju postavljenih kriterija. Za UCPTE-om postizalo se samo pri takvim poremećajima koje može kroz kraće vrijeme sanirati sâm jugoslavenskim sistem.

Razdioba snaga između područja, kao i između republika i pokrajina svodi se uglavnom na tranzit aktivnih snaga s malom razmjenom reaktivnih, što je također jedna od značajki dobro planiranog sistema (sl. 2). Opterećenje južnog poteza 400 kV prstena (Mostar — Divača) relativno je nisko i s tim je u vezi i uloga voda Melina — Zagreb. Najkritičniji kvar u promatranoj elektroenergetskoj situaciji je ispad voda Mostar — Konjsko, već u redovnom pogonu (treba komentirati: HE Orlovac i pola HE Zakučac nisu angažirani), pa treba pomišljati na osiguranje pouzdanosti te veze. Iz analize tokova snaga slijedi konstatacija o interkonektivnim transformatorima između naponskih razina superponirane mreže kao o velikim potrošačima reaktivne energije, te o reaktivno deficitarnim područjima: Svetozareva, Bosanske krajine, kao i u tom smislu ograničenih mogućnosti Zapada.

Za prijenose na Zapad do oko 1 400 MW (+600 MW na normalnu bilancu, dakle upravo za ispad najvećeg agregata na Zapadu) sistem je siguran i stabilan. S daljim povećanjem prijenosa potrebna reaktivna snaga počinje naglo rasti, a krivulja kutova modula napona otklanjati se od pravca, (sl. 3). Promatranje stacionarno modeliranog sistema dopušta zaključak da su minimalne mogućnosti ove mreže između 1 400 MW i 1 600 MW prijenosa na zapad, uz razumnu podršku UCPTE u reaktivnoj snazi. Veći prijenosi su mogući, ali uz maksimalno naprezanje cijelog sistema za održavanje napona, te uz statičku nestabilnost i po kutu i po reaktivnoj snazi. Podatak o prijenosnim mogućnostima mreže treba uzeti kritički. Njegovo je značenje samo relativno jer vrijedi za jednoznačno definirane uvjete: raspored i angažiranje proizvodnje, lokacija Kosova (Grčke) kao izvora koji podmiruje povećanu potrošnju (izvoz) u određenim čvorištima na zapadu, zahtijevani naponi u reguliranim čvorištima itd. Bez obzira na relativnost kvantitativnog određenja prenosnih mogućnosti u najkritičnijem smjeru, siguran je zaključak da će za veličinu prijenosa snage limitirajući faktor biti potrebna podrška reaktivnoj snazi.

Istraživanje 220 kV mreže u dijelu Centra i Zapada dozvoljava konstataciju o njezinu nezavisnom ponašanju od 400 kV mreže. Iz toga mogu proizaći ozbiljne posljedice s obzirom na mogućnost neangažiranja termoelektrana na tekuće gorivo na Zapadu (teškoće su prisutne već danas — vidi »Energija«, 1 — 2, 1983: Radmilović, Tonković: Poremećaji u proizvodnji električne energije i problemi prijenosa na zagrebačkom području). Povezivanje mreža superponiranih napona predstavljalo bi učvršćenje sistema i koordinaciju rada 400 kV i 220 kV mreže, jer od Tuzle i Konjskog do Meline i Ljubljane nema transformacije 400/220 kV, pa bi ga vrijedilo detaljnije razmatrati.

KEY WORDS: YUGOSLAVIAN HV NET, ELECTRIC POWER TRANSMISSION, ANALYSIS OF HV NETS

ONE PROCPECT OF YUGOSLAVIAN SUPERIMPOSED UDK NET

In the article are presented results of yugoslavian superimposed net analyses regrading possible construction of 1600 MW on Kosovo for demands of republics and AP Vojvodina.

EIN GESICHTSPUNKT BEI DER BEURTEILUNG DES JUGOSLAWISCHEN HÖCHSTSPANNUNGSNETZES

Gezeigt werden die Ergebnisse der Entwicklung des jugoslawischen Höchstspannungsübertragungsnetzes unter Berücksichtigung des Ausbaus von zusätzlichen 1600 MW im Bereich Kosovo für den Bedarf der Teilrepubliken und des autonomen Bereichs Vojvodina.

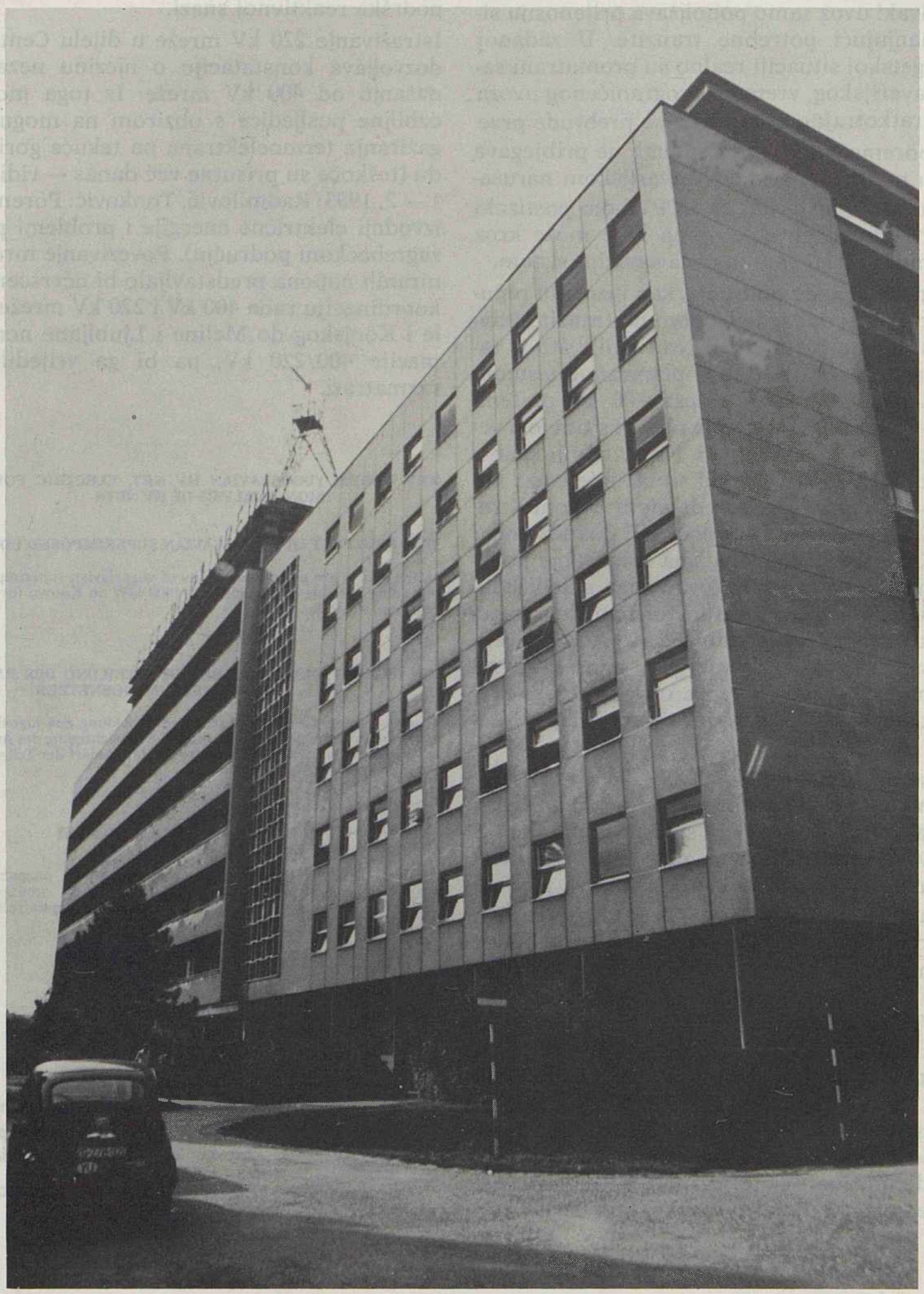
ОДНА ИЗ ПЕРСПЕКТИВ ЮГОСЛАВСКОЙ СУПЕРПОНИРОВАННОЙ СЕТИ

В статье приводятся результаты анализа развития югославской суперпонированной сети, учитывая ввод дополнительных 1600 МВт на Косове для удовлетворения потревностей Республики и АК Воеводины.

Naslov pisca:

Mr Zdenko Tonković, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 07 – 13.



PRENAPONI SKLAPANJA NA SJEVERNOJ MAGISTRALI MREŽE 400 kV

Ante Sekso — dr Ivo Hrs, Zagreb

UDK 621.311.21:621.221
PRETHODNO PRIOPĆENJE

U članku se daje sažeti prikaz mjerenja sklopnih prenapona na potezu Ernestinovo — Zagreb — Maribor, koja su provedena od njegova puštanja u pogon do sada. Izdvojeni su najinteresantniji rezultati i dane karakteristične vrijednosti statistički obrađenih prenaponskih skupova. U zaključku se na temelju dosadašnjih mjerenja daje osvrt na stupanj izolacije za mrežu 400 kV.

Ključne riječi: mreža 400 kW, sklopni prenaponi, sjeverna magistrala.



ANTE SEKSO



IVO HRS

1. UVOD

Polovinom 1978. godine, neposredno nakon ulaska u pogon sjeverne magistrale (sjev. poteza) mreže 400 kV pristupilo se opsežnim ispitivanjima prenapona sklapanja na potezu Ernestinovo — Zagreb — Maribor. To su bila prva ispitivanja u živoj 400 kV mreži koja je provodio Institut za elektroprivredu. Nakon toga krajem 1981. godine izvršeno ispitivanje prepona koji se javljaju kod sklapanja prigušnice na tercijaru autoransformatora 400/110 kV u TS Zagreb I. U grupu mjerenja prenapona u 400 kV mreži može se ubrojiti i kontinuirana registracija prenapona koja je, zajedno sa Institutom »N. Tesla« iz Beograda, provođena na 400 kV autoransformatoru u TS Ernestinovo u razdoblju 1978 — 1980.

Spomenuta ispitivanja dala su niz interesantnih podataka iz žive mreže o prenaponima koji se javljaju kod različitoh sklapanja, kratkih spojeva i ostalih promjena njezine strukture. Po svom iznosu i ostalim brojnim karakteristikama prenaponi u mrežama su izrazite stohastičke veličine. Svako mjesto u mreži karakterizira poseban skup prenapona što je vezano za određenu konfiguraciju i vrstu sklapanja ili ostalih promjena stanja. S obzirom na složenost mreže i brojnost sklopnih aparata i sl. očito je da se za svako mjesto može vezati velik broj prenaponskih skupova. Dosadašnja brojna ispitivanja u inozemstvu kao i kod puštanja u pogon naših prvih dionica 400 kV mreže (L. 4. — 7.) nedvojbeno su pokazala da su najutjecajniji skupovi prenapona vezani za manje razgranate mreže te za sklapanja koja se vrše u blizini pojedinih elemenata mreže kao što su npr. prigušnice i sl.

Odatle značaj naših ispitivanja i danas, iako je njih proteklo nekolio godina, a konfiguracija mreže se izmijenila ulaskom u pogon novih izvora na zapadu (NE Krško) ili novih vodova 400 kV. Drugim riječima, ispitivanja provedena u periodu 1978 — 1981. obavljena su u nepovoljnijim konfiguracijama mreže u kakvima se mogu očekivati visoke vrijednosti prenapona. Tome u prilog govori da je u vrijeme ispitivanja potez Obrenkovac — Ernestinovo — Zagreb — Maribor bio izuzetno dugačak (522 km!) radijalni krak 400 kV mreže bez jake naponske potpore na kraju. Dionica Ernestinovo — Zagreb je najduži vod 400 kV (233 km), a baš je na njemu obavljen najveći broj operacija sklapanja.

Sklopni prenaponi na potezu Ernestinovo — Zagreb I — Maribor mjereni su u pomankanju nužne oprme (400 kV djelila, višekanalani oscilografi i sl.) u suradnji s Institutom EGU (Vyzkumnỳ ùstav energetickỳ) iz Brna u ČSSR. Uz našu ekipu sudjelovale su mjerne ekipe Elektrotehičkog fakulteta u Zagrebu, Elektroprenosa — Zagreb, Elektroprijenosa — Osijek, te Dravskih elektrana iz Maribora.

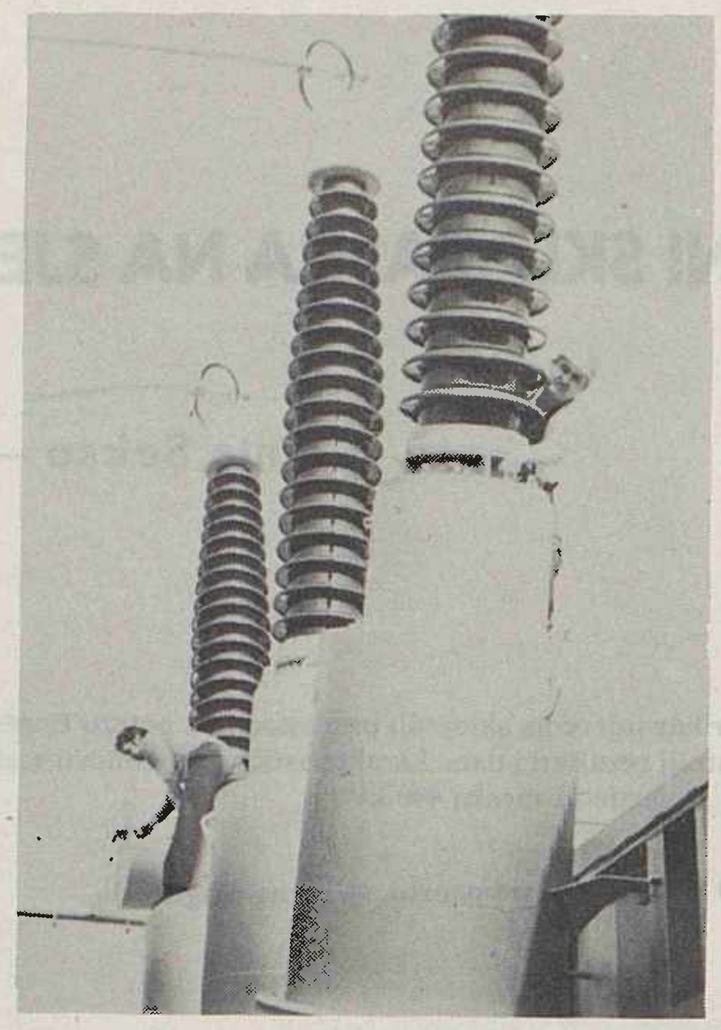
2. PODACI O ISPITNIM KONFIGURACIJAMA I MJERNOM PROGRAMU

Mjerenja pronapona na sjevernom potezu 400 kV mreže podijelit ćemo u nekoliko ispitnih konfiguracija:

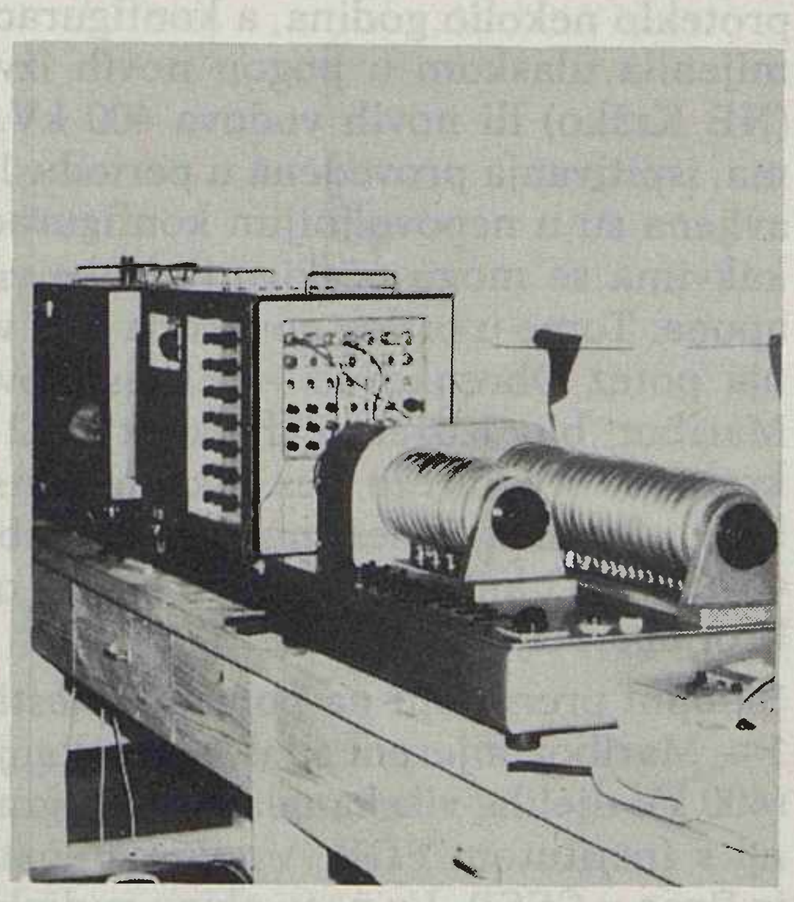
K I i II: sklapanje voda Zagreb — Ernestinovo (s podvarijantama: neopterećeni vod, vod s neopterećenim autotransformatorom na kraju, vod s autotransformatorom na kraju uz priključenu pri-



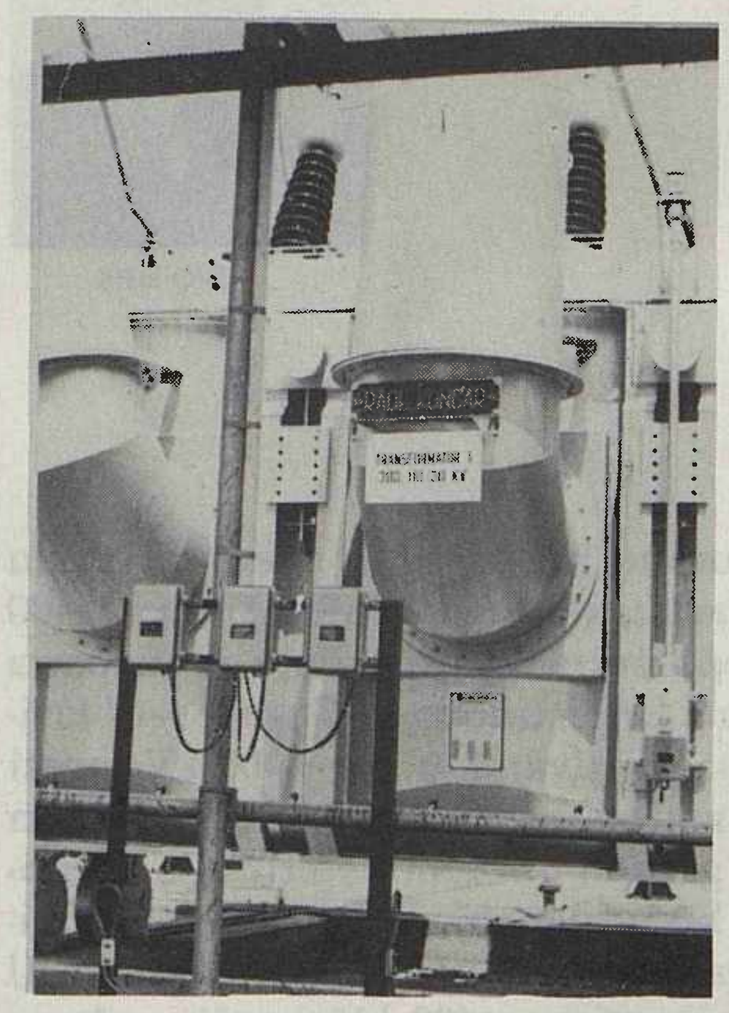
Slika 1. Pogled na djelilo 400 kV (EGU, ČSSR)



Slika 2. Spajanje izvoda za tδ d na 400 kV izolatoru kao djelilu napona



Slika 3. 7-kanalni oscilograf s rotirajućom kamerom i kom. valjkom



Slika 4. Brojila prenapona BPR-1 na priključcima 400 kV trofoa u TS Ernestinovo

gušnicu na tercijaru); mjerenja obavljena 1978. g.

K III: sklapanje neopterećenog voda Maribor — (Krško) — Zagreb; mjerenja u 1978. godini

K IV, V i VI: sklapanja sa prekidačima 400 kV ili 110 kV neopterećenog autotransformatora u TS Zagreb I (s varijantama neopterećni autotransfomator bez prigušnica ili njima na tercijaru); mjerenja 1978. godine.

K VII i VIII: prolazni jednopolni kratki spojevi duž trase vodova Zagreb I — Ernestinovo i Zagreb I — Maribor; mjereno 1978. godine.

IX: mjerenja prenapona i povratnih napona na prekidaču kod sklapanja prigušnice 50 MVAr u TS Zagreb I; provedeno 1981. g.

K X: registracija prenapona brojilima prenapona na 400 kV priključcima autotransformatora u TS Ernestinovo u razdoblju VI 1978 — IV 1980.

Osnovnu mjernu opremu korištenu u ovim ispitivanjima činili su:

- 15-kanalni oscilograf TELEC (EGU) 2 kom.
- 7-kanalni oscilograf s rotirajućom kamerom (Institut za elektroprivredu) 1 kom.
- komandni uređaj za upravljanje procesom ispitivanja (Institut za elektroprivredu) 1 kom.
- mješovita omsko-kapacitivna djelila za 400 kV (EGU) 12 kom.
- mješovita omsko-kapacitivna djelila 110 kV (EGU) 6 kom.
- kapacitivna djelila 75 kV (»R. Končar« i ETF) 3 kom.
- kapacitivna djelila za 400 kV u vidu priključka za tδ d na provodnim izolatorima 400 kV (El. prenos) 3 kom.
- naponski mjerni transformatori $\frac{400}{\sqrt{3}} / \frac{0{,}1}{\sqrt{3}} / \frac{0{,}1}{\sqrt{3}}$ (El. prenos) 2 kom.
- strujni mjerni trasformatori 800/1/1 A (El. prenos) 3 kom.
- brojila prenapona BPR-1 proizv. Institut »N. Tesla« 3 kom.

Na osnovi nabrojene osnovne mjerne opreme, kao i niza ostalih mjernih uređaja, pribora, koaksijalnih mjernih kabela, šentova i ostalih pomoćnih elemenata formiran je velik broj mjernih naponskih i strujnih sistema. Dio mjerne opreme snimljen za vrijeme spomenutih ispitivanja prikazan je na slikama 1 — 4 (snimio T. Veselić).

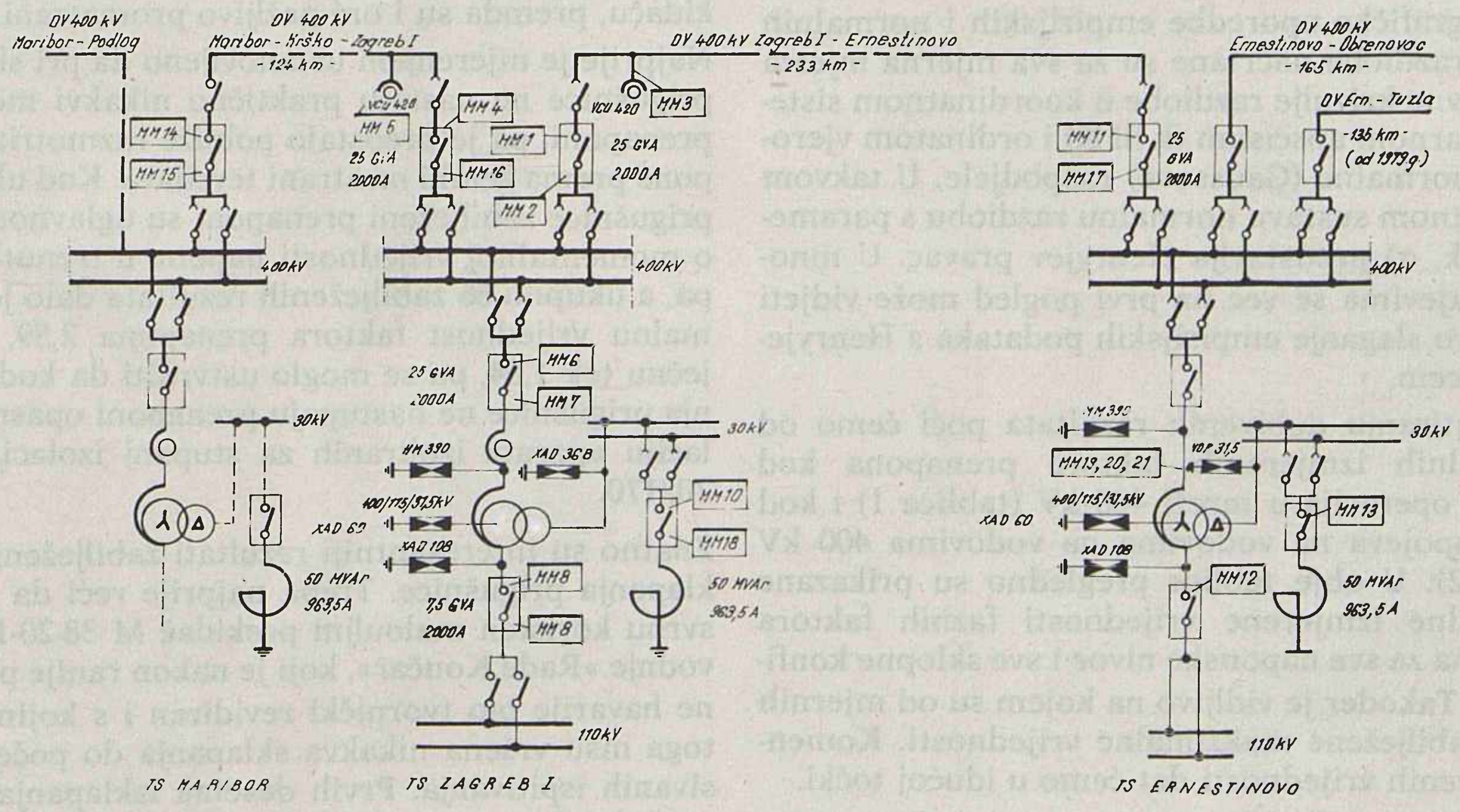
Na sl. 5. prikazana je shema dijela 400 kV mreže u kome su vršena istraživanja skopnih prenapona. Oznakama P1 — P7 označeni su prekidači 400 kV, 110 kV i 30 kV kojima su vršena namjerna sklapanja. Također su označena sva mjerna mjesta, kao i mjesta na vodovima 400 kV na kojima su izazivani prolazni jednopolni kratki spojevi.

Stupanj izolacije dalekovoda je 420 Si 950/1425, a ostale opreme, tj. mjernih transformatora, raskopnih aparata i sl. 420 Si 1050/1425. Transformatori snage štićeni su ventilnim odvodnicima prenapona klase 10 kA za teške uvjete rada (proizvodnje BBC tip HM 390). Vodovi 400 kV opremljeni su uređajima za jednopolni i tropolni brzi ponovni uklop.

3. PRIKAZ REZULTATA MJERENJA

U svakoj ispitnoj konfiguraciji obavljen je veći broj ciklusa sklapanja prekidača, čime se dobila osnova za statističku obradu. Snimani su prijelazni fazni i međufazni naponi i struje na mjernim mjestima predviđenim programom mjerenja. Dobiveni oscilogrami sadrže velik broj dragocjenih informacija o visinama prenopona, vremenima trajanja čela i hrbata, kutovima uključennja i isključenja, razlikama vremena uključenja i isključenja prekidača, o eventualnim ponovnim paljenjima luka u prekačima itd. Na nekim mjernim (npr. na mjestima br. 2 i 4) istovremeno su obavljena snimanja preko specijalnoh omsko-kapacitivnih djelila i preko naponskih mjernih transformatora. Time se dobila mogućnost provjere točnosti snimanja brzih prijelaznih pojava preko naponskih mjernih transformatora. Sve ovo je dalo čitav nih eksperimentalnih podataka o prenaponima i drugim brzim prijelaznim pojavama u stvaroj mreži 400 kV.

Mnoštvo podataka daje mogućnosti za različite analize, ali osnovni cilj je bila provjera usklađenosti nivoa prenapona i izolacionog nivoa 400 kV-nih vodova i postrojenja. Zbog toga, a i zbog ograničenosti prostora prikazat ćemo analizu samo jedne grupe poda-



Slika 5. Konfiguracija sjevernog poteza mreže 400 kV sa oznakama mjernih mjesta (MM) i prekidača (P) kojima su obavljeni pokusi sklapanja

taka, tzv. faznih (i međufaznih) faktora prenapona, a nosit će oznake »k« (odnosno »K«) sa indeksom »u« za slučaj ukopa ili »i« za slučaj iskopa. Faktore prenapona ćemo definirati ovako:

$k_{u\ (ili\ i)}$ — fazni faktor prenapona kod uklopa (ili isklopa) je odnos najveće momentalne vrijednosti faznog napona **nakon** početka uklopa (ili isklopa) i tjemene vrijednosti faznog napona neposredno **prije** uklopa (ili isklopa). Analogno se definira i međufazni faktor prenapona $K_{u(ili\ i)}$.

Uzorak faktora prenapona ima svoje karakteristične veličine i svoju funkciju raspodjele. Empirijska funkcija raspodjele faktora prenapona računa se po izrazu:

$$F(k) = \frac{i-0,5}{N},$$

gdje je: k — slučajna veličina (faktor prenapona)
i — redni broj člana uzorka u varijacijskom nizu
N — ukupan broj članova uzorka.

Po poznatim izrazima računaju se također parametri uzorka i srednja vrijednost $\bar{k}$ i srednje kvadratno odstupanje σ. Na bazi hipoteze o normalnoj distribuciji faktora prenapona dobiju se i ostale karakteristične vrijednosti, kao što je 98% kvantil ($k_{98\%}$). Sigurnost procjene hipoteze o normalnoj raspodjeli obavljena je primjenom χ^2 (hi-kvadrat) testa i $N\omega^2$ testa. To su dva poznata statistička testa za provjeru slaganja empirijske i pretpostavljene teoretske distribucije slučajnih veličina. χ^2-test zahtijeva formiranje empiričkih rezultata u razrede jednake širine, pri čemu svakom razredu pripadaju dvije frekvencije promatrane slučajne veličine: empirijska f_i i teoretska f_{ki}. Proizvoljno grupiranje rezultata u razrede je nedostatak ovog testa, pa se radije koristi $N\omega^2$ test koji je lišen utjecaja obrađivača.

U svrhu grafičke uporedbe empirijskih i normalnih funkcija razdiobe nacrtane su za sva mjerna mjesta kumulativne krivulje razdiobe u koordinatnom sistemu s linearnom apscisom (k ili K) i ordinatom vjerojatnosti normalne (Gaussove) raspodjele. U takvom koordinatnom sustavu normalnu razdiobu s parametrima $N(\bar{k}, \sigma)$ predstavlja Henryjev pravac. U mnogim slučajevima se već na prvi pogled može vidjeti vrlo dobro slaganje empirijskih podataka s Henryjevim pravcem.

U prezentiranju dobivenih razultata poći ćemo od maksimalnih izmjerenih faktora prenapona kod sklopnih operacija u mreži 400 kV (tablica 1) i kod kratkih spojeva na vodovima na vodovima 400 kV (tablica 2). U obje tablice pregledno su prikazane maksimalne izmjerene vrijednosti faznih faktora prenapona za sve naponske nivoe i sve sklopne konfiguracije. Također je vidljivo na kojem su od mjernih mjesta zabilježene maksimalne vrijednosti. Komentar dobivenih vrijednosti dat ćemo u idućoj točki.

U idućoj tablici (br. 3) prikazane su karakteristične veličine dobivene statističkom obradom skupova faktora prenapona, i to za nekoliko najinteresantnijih mjernih mjesta. Za svako mjerno mjesto napravljeni su ujedinjeni skupovi faktora prenapona za sve tri faze i oni su podvrgnuti statističkoj analizi. Zbog prostora nisu dani podaci za sva mjerna mjesta. Za još manji broj mjernih mjesta prikazane su na slikama 6 i7. kumulativne krivulje razdiobe faznih faktora prenapona, i to za sva tri naponska nivoa 400, 110 i 30 kV. Na većini od njih se vidi izvrsno slaganje kumulativnih krivulja sa teoretskim pravcima normalnih razdioba.

Konačno su u najminimalnijem broju reproducirani u smanjenom mjerilu neki oscilogrami dobiveni na 15-kanalnom oscilografu. Izabrani su primjeri koji će poslužiti za ilustraciju nekih zapažanja u idućoj točki.

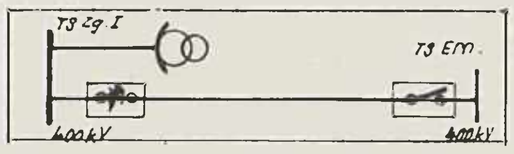
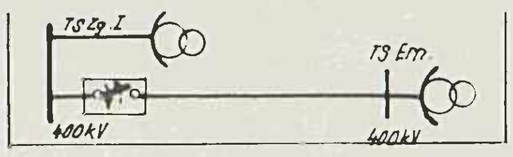
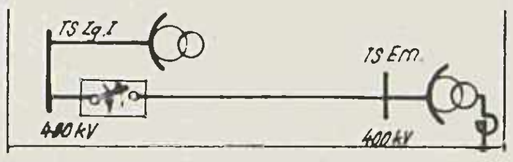
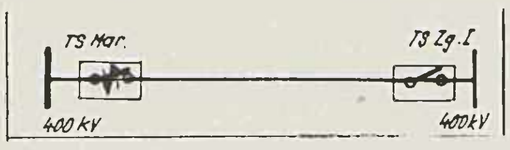
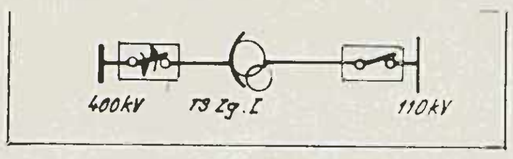
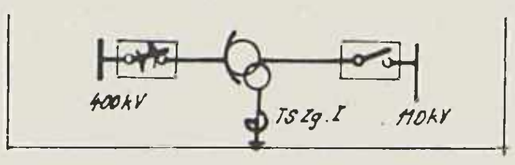
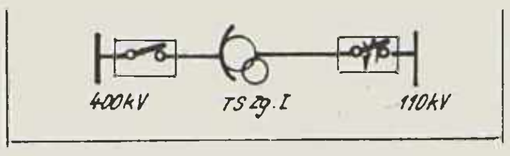
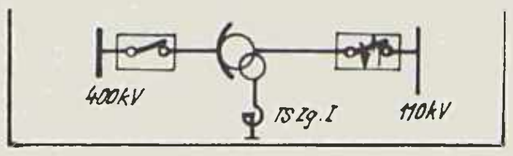
Spomenimo još rezultate ispitivanja prenapona sklapanja prigušnice 50 MVAr, priključene na 30 kV tercijar autotransfomatora 400/110 kV u TS Zagreb I. Prigušnice u mreži 400 kV, koje se priključuju na mrežu u razdobljima niskih opterećenja, sklapane su na tercijare autotransformatora malouljnim prekidačima domaćih proizvođača. U toku tih manevara znalo je doći do teških oštećenja opreme, pa i do razaranja nekih autotransformatora, nakon čega se, uz cijenu povremeno nedozvoljeno visokih napona u mreži 400 kV, privremeno odustalo od sklapanja prigušnica. U međuvremenu je povišen stupanj izolacije tercijarnih namota, oštećenih autotransformatora na 52 Si 95/250 (nije po JUS-u), a i pojačane su mjere prenaponske zaštite na stezaljkama tercijara.

U takvoj situaciji htjelo se ispitivanjima sklapanja prigušnice u TS 400/110 kV Zagreb I ustanoviti nivo prenapona kod uklapanja i isklapanja prigušnice i ocijeniti podobnost ugrađenog malouljnog prekidača za tu svrhu. Pri tome je najinteresantnije bilo ustanoviti koliki se prenaponi javljaju na tercijaru transformatora, a manje su bili interesantni prenaponi na strani prigušnice ili povratni naponi na prekidaču, premda su i oni pažljivo promatrani.

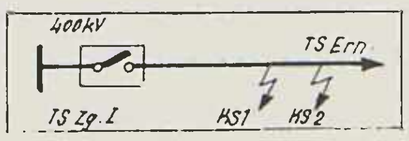
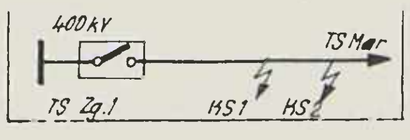
Najprije je mjerenjem ustanovljeno da pri sklapanju prigušnice ne nastaju praktično nikakvi međufazni prenaponi, pa je preostalo pobliže razmotriti prenopone prema zemlji na strani tercijara. Kod uklapanja prigušnice zabilježeni prenaponi su uglavnom ovisili o momentalnoj vrijednosti napona u trenutku uklopa, a ukupno 66 zabilježenih rezultata dalo je maksimalnu vrijednost faktora prenapona 2,59, a prosječnu tek 1,84, pa se moglo ustvrditi da kod uklapanja prigušnice ne nastupaju prenaponi opasni za izolaciju aparata izoliranih za stupanj izolacije 38 Si 70/170.

Znatno su interesantniji rezultati zabilježeni kod isklapanja prigušnice. Treba najprije reći da je za tu svrhu korišten malouljni prekidač M 38-20-12 proizvodnje »Rade Končar«, koji je nakon ranije pretrpljene havarije bio tvornički revidiran i s kojim nakon toga nisu vršena nikakva sklapanja do početka opisivanih ispitivanja. Prvih desetak isklapanja ovaj je prekidač izveo izuzetno dobro, pa su zabilježeni faktori prenapona bili zanemarivih vrijednosti. Među-

Tablica 1. Maksimalni faktori prenapona kod sklapanja u mreži 400 kV

Shema konfiguracije	Naziv mjerne konfiguracije	Broj sklapanja	Popis mjernih mjesta za pojedinu konfiguraciju (ozn. na sl. 5)			Izmjerene maks. vrijednosti faktora prenapona s oznakom mjernog mjesta (u zgradi)					
			naponski nivoi (kV)			uklapanje			isklapanje		
						naponski nivoi (kV)					
			400	110	30	400	110	30	400	110	30
	K I	10	1,2, 1	8	10	1,63 (11)	1,26 (8)	1,23 (10)	–	–	–
	K IIa	5	1,2, 11	8,12	10,13	1,49 (2)	1,46 (12)	1,34 (13)	1,77 (2)	1,35 (12)	1,24 (13)
	K IIb	5	1,2,11	8,12	10,13	1,77 (2)	1,53 (12)	1,46 (13)	1,20 (1)	1,1 (12)	1,09 (13)
	K III	9	4,14 15	–	–	1,89 (4)	–	–	–	–	–
	K IV	10	6,7	8	–	1,84 (7)	1,52 (8)	–	1,26 (6)	1,09 (8)	–
	K V	10	6,7	8	10	1,20 (6)	1,2 (8)	1,21 (10)	1,57 (7)	1,47 (8)	1,65 (10)
	K VIa	5	7	8,9	10	1,50 (7)	1,24 (8)	1,26 (10)	1,04 (7)	–	1,05 (10)
	K VIb	5	7	8,9	10	1,55 ())	1,31 (8)	1,20 (10)	1,30 (7)	1,31 (8)	1,30 (10)

Tablica 2. Maksimalni faktori prenopona kod kratkih spojeva na vodovima 400 kV

Shema konfiguracije	Naziv konfiguracije	Broj kratkih spojeva	Popis mj. mjesta (sva na nivou) 400 kV			Izmjerene maks. vrijednosti faznih faktora prenapona s oznakom mjernih mjesta (u zgradi)		
			TS Zgb I	TS Ern.	TS Mar.	nastanak kr. spoja	jednopolno isključenje	primjena APU
	K VII	8	1; 2; 3	17; 11	–	1,20 (17)	1,06 (1)	1,78 (11)
	K VIII	6	16; 4; 5	–	15; 14	1,20 (16)	1,42 (15)	1,72 (4)

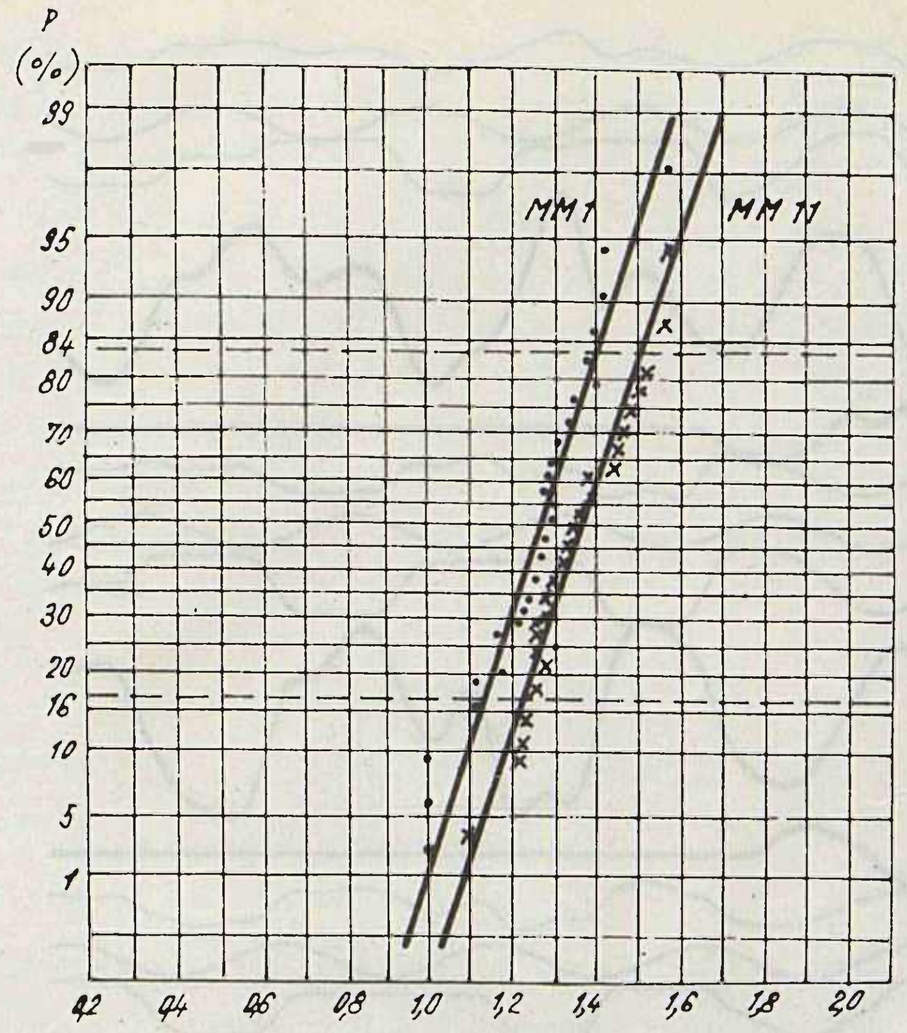
Tablica 3. Rezultati statisičke obrade skupova prenapona

Konfiguracija	Operacija prekidača	Oznaka parametara statističke obrade	Uzorci faznih faktora prenapona za 3 faze na nekim mjenim mjestima (NM)						
			naponski nivo $400/\sqrt{3}$ kV			naponski nivo $110/\sqrt{3}$ kV		naponski nivo $30/\sqrt{3}$ kV	
K I	U	MM	1	2	11	8		10	
		$\bar{k};s$	1,26; 0,14	1,21; 0,15	1,37; 0,07	1,12; 0,07		1,11; 0,06	
		$k_{98\%}$	1,56	1,53	1,64	1,29		1,22	
	I		Svi faktori prenapona su $k \leq 1,0$						
K IIa	U	MM	1	2	11	8	12	10	13
		$\bar{k};s$	1,28; 0,09	1,29; 0,12	1,34; 0,07	1,14; 0,08	1,36; 0,11	1,09; 0,06	1,19; 0,1
		$k_{98\%}$	1,47	1,53	1,49	1,29	1,58	1,22	1,40
	I	$\bar{k};s$	1,01; –	1,43; 0,21	1,24; 0,11	1,01; 0,04	1,22; 0,09	1,0; 0,04	1,05; 0,14
		$k_{98\%}$	–	1,86	1,45	1,10	1,41	1,08	1,33
K III	U	MM	4	14	15				
		$\bar{k};s$	1,48; 0,20	1,26; 0,13	1,29; 0,17				
		$k_{98\%}$	1,88	1,53	1,66				
	I		Zabilježeno ukupno samo 4 faktora pren. $k > 1$ ($k_{max} = 1,20$)						
K IV	U	MM	6	7		8			
		$\bar{k};s$	1,03; 0,095	1,10; 0,23		1,09; 0,16			
		$k_{98\%}$	1,23	1,56		1,43			
	I		Zabilježeno samo par fakt. pren. $k > 1 (k_{max} = 1,26)$						
K V	U	MM	6	7		8		10	
		$\bar{k};s$	1,01; 0,03	$< 1,0$; 0,15		$< 1,0$; 0,17		$< 1,0$; 0,24	
		$k_{98\%}$	–	1,21		1,25		1,39	
	I	$\bar{k};s$	1,0; –	1,19; 0,18		1,20; 0,17		1,24; 0,19	
		$k_{98\%}$	–	1,58		1,54		1,65	
K VIb	U	MM		7		8	9	10	
		$\bar{k};s$		1,14; 0,25		$< 1,0$; 0,18	1,01; 0,06	1,06; 0,85	
		$k_{98\%}$		1,66		1,38	1,14	1,23	
	I	$\bar{k};s$		1,19; 0,105		1,14; 0,11	1,0; –	1,07; 0,14	
		$k_{98\%}$		1,41		1,34	1,01	1,36	
K VII VIII	Nast. k. s.	MM	1	2	11	4(400 kV)	14 (400 kV)	15 (400 kV)	
		$\bar{k}$	$< 1,0$	$\sim 1,0$	$\sim 1,0$	$\sim 1,0$	$< 1,0$	$\sim 1,0$	
	Iskop	$\bar{k}$	$\sim 1,0$	$< 1,0$	$< 1,0$	$< 1,0$	$< 1,0$	1,096	
	A. P. U	k	1,13	1,11	1,133	1,14	1,085	1,097	

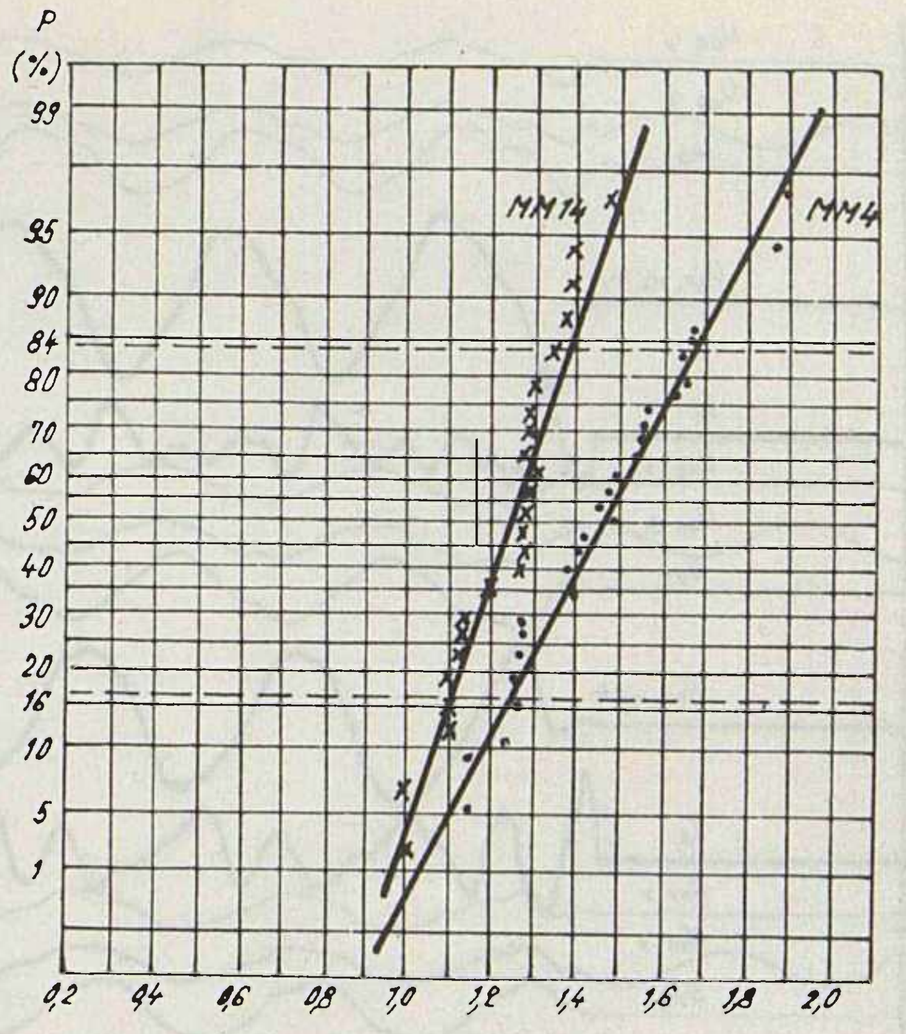
tim, daljim izvođenjem pokusa opaženo je da kvaliteta isklapanja opada, odnosno da nastali prenaponi rastu s brojem izvedenih pokusa. Pokušalo se na to utjecati promjenom ulja u prekidaču, ali praktički bez rezultata. Faktori prenapona zabilježeni kod isklapanja stalno su rasli u novim pokusima, da bi u posljednjem (23) pokusu, u kojem je primijećeno jako dimljenje i štrcanje ulja iz jednog pola prekidača, dostigli vrijednost 4,0! Stoga su daljnja ispitivanja prekinuta, a vizualnim pregledom komore za gašenje prekidača ustanovljeno je taloženje nečistoća iz ulja na stijenkama komore. Ti rezultati upozoravaju na neprikladnost takvih prekidača za sklapanje prigušnica, premda se čvrsti zaključci teško mogu postaviti na temelju ispitivanja samo jednog uzorka.

4. ANALIZA REZULTATA I KARAKTERISTIČNA ZAPAŽANJA

U **prvoj** grupi analizirat ćemo pojave kod sklapanja dugih neopterećenih vodova. U konfiguraciji KI ukla-pan je otvoreni vod Zagreb — Ernestinovo (tada najdulji vod, dug 233 km), a u konfiguraciji KIII vod Maribor — Zagreb (124 km), Tjemena vrijednost i oblik prenapona u ovakvim konfiguracija cijama ovise osim o dužini i karakteristikama voda (valni otpor, prigušenje i sl.) još i o veličini nadomjesnóg izvora, spoju mreže i trenutku uklapanja pojedinih polova prekidača (tzv. uklopni kut). Statističke zakonitosti sklopnih prenapona ovise pretežno o statističkim svojstvima uklopnog kuta. Stoga smo u svakom od 10 pokusa sklapanja pomoću prikladnog uređaja (komandni valjak) vršili pomak vremena uklopa i isklopa za po 2 ms (ili za 36^0 na sinusoidi napona). Veličina nadomjesnog izvora u ovim ispitivanjima nije se mogla varirati, a u oba se slučaja radilo o uklapanju vodova na relativno slabe izvore kakvi su tada bila čvorišta 400 kV Zagreb I i Maribor (nadomjesni snage kr. spoja oko 3 000 MVA). Za diljine vodova slične ispitivanima neki autori navode (L. 13) da uklapanje na slabiji izvor daje općenito nešto niže prenapone od uklapanja na jake izvore kakva su ta čvorišta danas (snage kr. spojeva oko 10 000 MVA).



Slika 6. Kumulativne krivulje raznih faktora prenapona — KI; uklop voda Zagreb I — Ernestinovo



Slika 7. Kumulativne krivulje faznih faktora prenapona — KIII; uklop voda Maribor — Zagreb I

Od konkretnih rezultata treba najprije istaknuti da su prenaponi zabilježeni samo kod uklapanja vodova, dok je isklapanje teklo sasvim mirno bez ikakvih prenapona. To se potpuno slaže sa teoretskim radovima, pa ćemo govoriti samo o prenaponima uklapanja (odn. faktorima uklopnih prenapona). Nadalje, ispitivanja su potvrdila teoretska saznanja da prenaponi uklapanja ni u jednoj točki homogenog voda ne mogu biti viši nego što su na njegovu kraju. Tako su kod uklapanja voda Zagreb — Ernestinovo u TS Zagreb I zabilježeni prosječni faktori prenapona $\bar{k} = 1{,}21 \div 1{,}26$ i $s = 0{,}14 \div 0{,}16$, dok je na kraju voda u TS Ernestinovo zabilježeno $\bar{k} = 1{,}37$ i $s = 0{,}13$. Kod uklapanja drugog voda dobivene su vrijednosti: u TS Mariboru (strana izvora) $\bar{k} = 1{,}26 \div 1{,}3$, $s = 0{,}17$, a u TS Zagreb I (kraj voda) $\bar{k} = 1{,}48$, $s = 0{,}20$. Svi skupovi prenapona veoma dobro slijede normalni zakon razdiobe, pa su i 95 %-tni kvantili (k_{98}) veći na krajevima voda (tablica 3).

Kod sklapanja 400 kV voda Zagreb — Ernestinovo snimanu su prijelazni naponi na sabirnicama 110 i 30 kV u TS Zagreb 1. Prenaponi uklapanja prenose se na obje strane, ali ne u značajnim iznosima. Maksimalne zabilježene vrijednosti su: $k_{max\ 110} = 1{,}26$ i $k_{max\ 30} = 1{,}23$.

Samo ćemo spomenuti da su i međufazni faktori prenapona veći na krajevima vodova, a maksimalne zabilježene vrijednosti su $K_{max} = 1{,}58$ (u TS Ernestinovo) i $K_{max} = 1{,}57$ (TS Zagreb I). Napokon, treba reći da kod svih sklapanja nije bilo ponovnog paljenja električnog luka u 400 kV prekidačima.

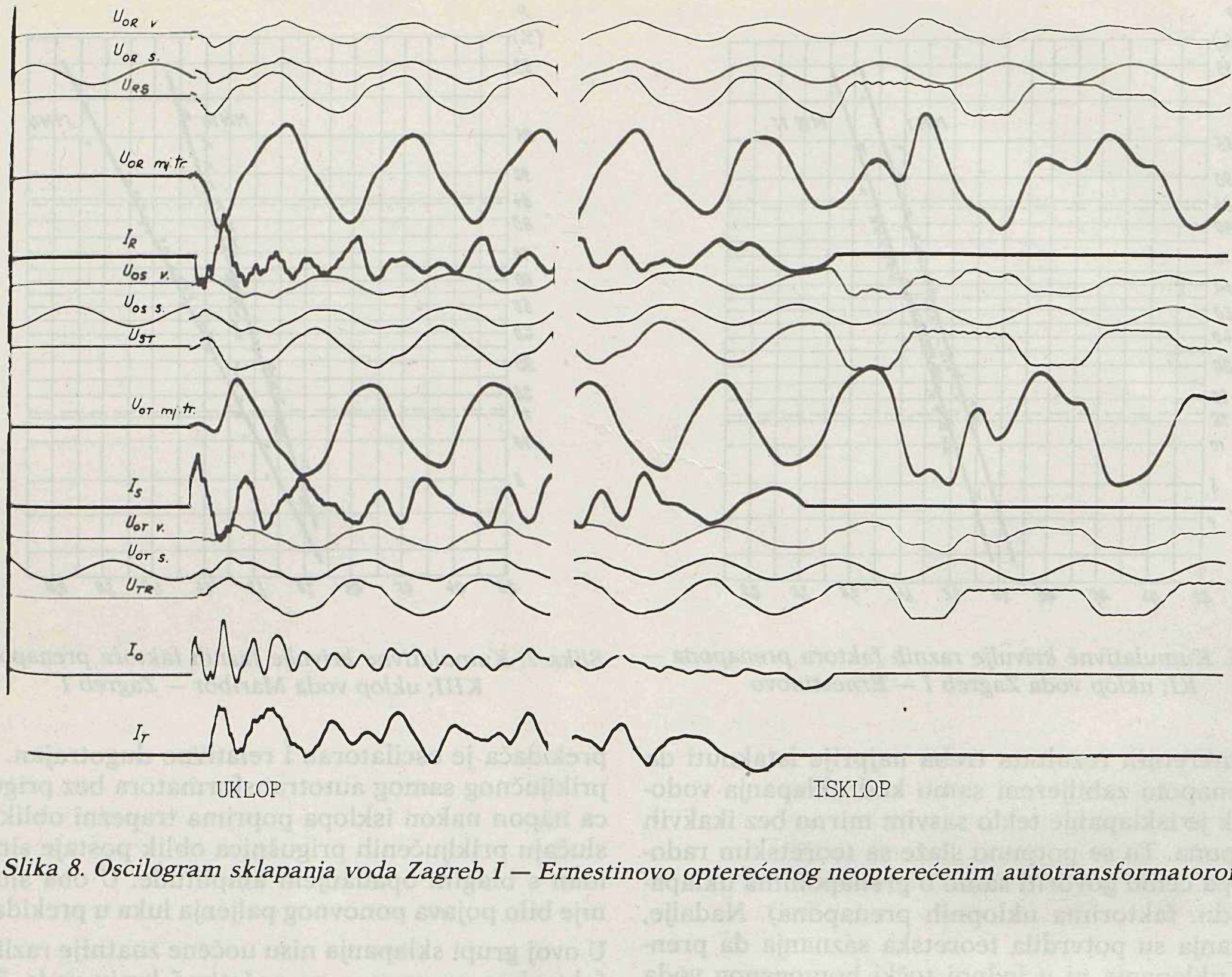
U **drugoj** grupi obradit ćemo sklapanje dugog voda (Zagreb — Ernestinovo) zaključenog s impedancijom neopterećenog autotransformatora (sa prigušnicom i bez na tercijaru — mjerne konfiguracije K IIa i b). Osnovna razlika prema prethodnoj grupi jest u tome što se sada redovno javljaju prenaponi i pri uklopu i pri isklopu prekidača 400 kV. Proces poslije isklopa prekidača je oscilatoran i relativno dugotrajan. Kod priključnog samog autotransformatora bez prigušnica napon nakon isklopa poprima trapezni oblik, a u slučaju priključenih prigušnica oblik postaje sinusoidan s blagim opadanjem amplitude. U oba slučaja nije bilo pojava ponovnog paljenja luka u prekidaču.

U ovoj grupi sklapanja nisu uočene znatnije razlike u faktorima prenapona na početku i kraju voda. Znatnije razlike uočene su samo u prenošenju prenapona na sekundar i tercijar za slučaj početka i kraja voda. Tako su za početak voda preneseni prenaponi dosta prigušeni (400 kV strana: $k_{u98} = 1{,}66$; 110 kV strana: $k_{u98} = 1{,}29$, 30 kV strana: $k_{u98} = 1{,}22$), dok su na kraju voda zabilježeni slabo prigušeni preneseni prenaponi (400 kV strana: $k_{u98} = 1{,}63$; 110 kV strana: $k_{u98} = 1{,}62$; 30 kV strana: $k_{u98} = 1{,}52$).

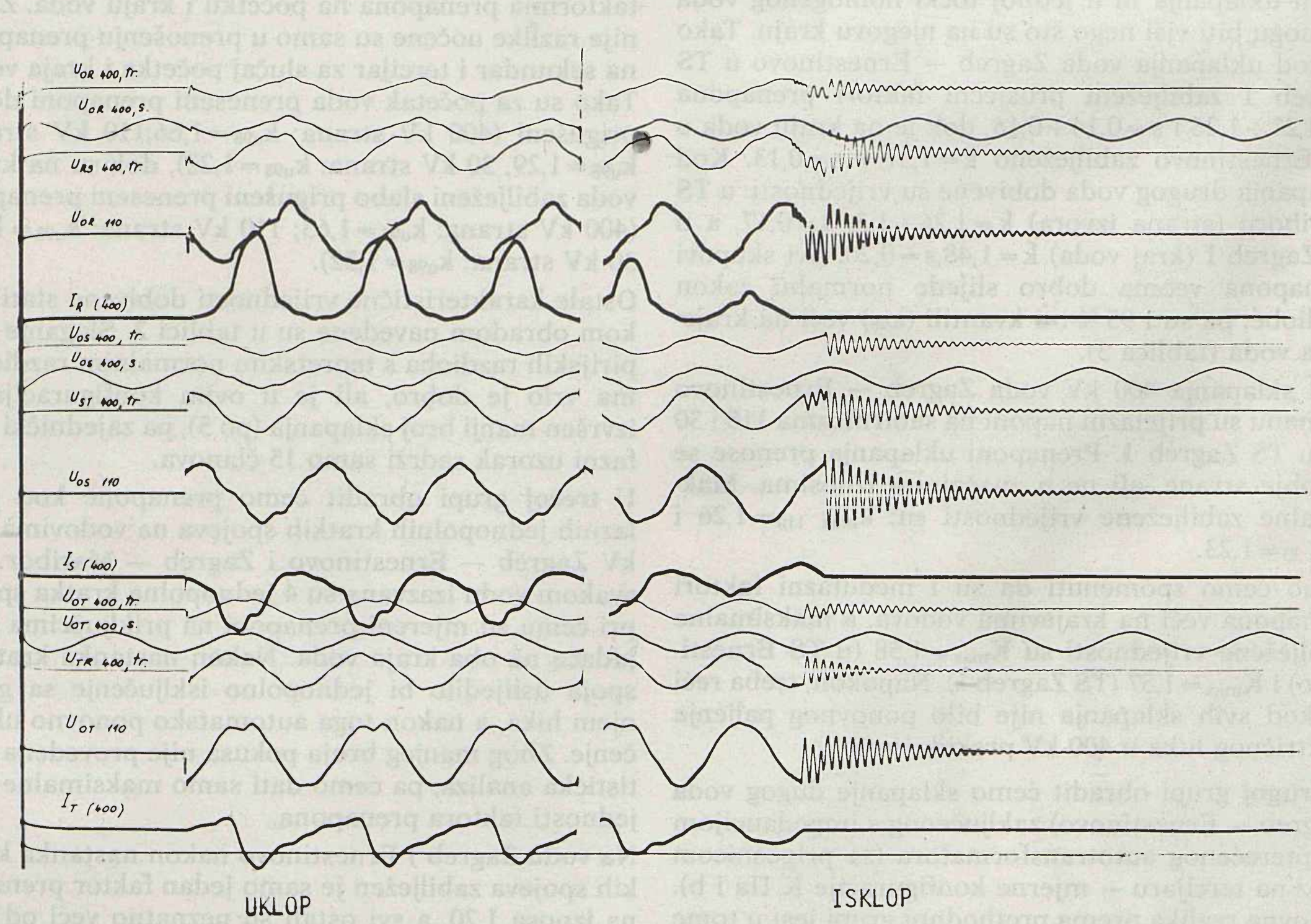
Ostale karakteristične vrijednosti dobivene statističkom obradom navedene su u tablici 2. Slaganje empirijskih razdioba s teoretskim normalnim razdiobama vrlo je dobro, ali je u ovim konfiguracijama izvršen manji broj sklapanja (po 5), pa zajednički trofazni uzorak sadrži samo 15 članova.

U **trećoj** grupi obradit ćemo prenapone kod prolaznih jednopolnih kratkih spojeva na vodovima 400 kV Zagreb — Ernestinovo i Zagreb — Maribor. Na svakom vodu izazvana su 4 jednopolna kratka spoja, pri čemu su mjereni prenaponi na priključcima prekidača na oba kraja voda. Nakon nastanka kratkog spoja uslijedilo bi jednopolno isključenje sa gašenjem luka, a nakon toga automatsko ponovno uključenje. Zbog manjeg broja pokusa nije provedena statistička analiza, pa ćemo dati samo maksimalne vrijednosti faktora prenapona.

Na vodu Zagreb) Ernestinovo nakon nastanka kratkih spojeva zabilježen je samo jedan faktor prenapona iznosa 1,20, a svi ostali su neznatno veći od 1,0. Kod isključenja bolesne faze prenaponi se praktički uopće ne javljaju u zdravim fazama. Međutim, kod



Slika 8. Oscilogram sklapanja voda Zagreb I — Ernestinovo opterećenog neopterećenim autotransformatorom



Slika 9. Oscilogram sklapanja sa prekidačem 400 kV neopterećenog autotransformatora u TS Zagreb I i s prigušnicom

primjene APU javljali su se znatni prenaponi u bolesnoj fazi. Tako je na prekidačima u TS Zagreb I zabilježeno $k_{max} = 1,57$, a u TS Ernestinovo $k_{max} = 1,78$ (obe vrijednosti izmjerene sa strane voda).

Na vodu Zagreb — Maribor zabilježen je samo jedan prenapon kod nastanka kratkih spojeva ($k = 1,20$). Kod jednopolnog isključenja javljali su se prenaponi samo u bolesnoj fazi na prekidaču u TS Maribor sa strane sabirnica ($k_{max} = 1,42$). Kod primjene APU javljali su se znatni prenaponi u bolesnoj fazi ($k_{max} = 1,72$).

U prve tri grupe analizirani su rezultati različitih vrsta sklapanja 400 kV-nih vodova, a u **četvrtoj** grupi obradit će se sklapanje neopterećenog autotransformatora u TS Zagreb I (mjerne konfiguracije KIV, V, VIa i b).

Uključenje neopterećenog autotransformatora 400/110/30 kV autotransformatorskim prekidačem s neopterećenim tercijarom (pri čemu je obavezno jedna faza tercijara uzemljena) izaziva primjetne prenapone na priključcima autotransformatora, a nešto manje na sabirnicama 400 kV. Maksimalni izmjereni faktor prenapona na sabirnicama 400 kV iznosi $k_{max\ 400\ sab.} = 1,3$. Nakon završetka procesa uključenja (oko 3 ms) prenaponi su neznatni, ali sinusoide napona ostaju izobličene, što se prenosi i na sekundar i tercijar. Kod isklapanja praktički nema značajnijih prenapona, a nakon isključenja naponi vrlo brzo padaju na nulu.

Isti proces uključenja autotransformatora, ali uz prigušnicu 50 MVAr, priključenu na tercijaru izaziva opet izobličenje sinusoida napona i prenapona na sva tri naponska nivoa. Međutim, prenaponi su veoma niski, a maksimalne vrijednosti na sva tri nivoa kreću se u granicama $k_{max} = 1,16 - 1,22$. Kod isključenja 400 kV prekidača javljaju se znatno viši prenaponi na svim priključcima autotransformatora i maksimalne izmjerene vrijednosti sada se kreću u granicama $k_{max} = 1,58 - 1,65$. Kod isključenja u obliku napona javlja se oscilatorna komponenta povišene frekvencije reda 1 kHz (oko 800 Hz), koja se dosta brzo prigušuje i naponi padaju na nulu za 60 ms. Pri ovoj konfiguraciji mjereni su i međufazni faktori prenapona na priključcima 400 kV i 30 kV te je ustanovljeno da su oni znatno veći kod isključenja prekidača ($K_{max\ i\ 400\ kV} = 1,63$ $K_{max\ i\ 30\ kV} = 1,57$).

Sklapanje autotransformatora 400/110/30 kV u TS Zagreb I 110 kV prekidačem izaziva prenapone na sva tri naponska nivoa. Značajniji prenaponi javljaju se kod uklopa prekidača. Uz priključene prigušnice 50 MVAr prenaponski faktori se kreću u granicama $k_{max} = 1,20$ (30 kV strana) dok $k_{max} = 1,55$ (400 kV), dok su u slučaju bez prigušnica prenaponi nešto niži. Kod isključenja prekidača zabilježeni su prenaponi samo kod priključene prigušnice. Maksimalne zabilježene vrijednosti za sva tri nivoa su oko $k_{max} = 1,3$. Kod isklopa s priključenim prigušnicama redovno se javlja prigušena oscilatorska komponenta napona frekvencije oko 800 Hz čije opadanje na nulu traje oko 50 ms.

5. ZAKLJUČAK

Prikazana mjerenja spadaju u svega nekoliko većih projekata ispitivanja unutarnjih prenapona koji su provedenih u početku formiranja naše mreže nazivnog napona 400 kV. Ispitivanja u živoj mreži predložena su (L. 11) kao osnova za provjeru ugroženosti izolacije od sklopnih prenapona, ali je njihovo značenje i sveobuhvatnije jer su dobiveni dragocjeni podaci o ponašanju raznih dijelova opreme kao što su prekidači, zaštitni uređaji, lokatori kvarova itd.

Radi procjene ugroženosti izolacije od sklopnih prenapona rekapitulirat ćemo osnovne zaključke dobivene mjerenjima.

Najveći očekivani 98 %-tni kvantili faznih i međufaznih prenapona kod različitih sklapanja u 400 kV mreži po naponskim nivoima iznose:

nivo 400 kV	$k_{98\%\ max} = 1,88$	$K_{98\%\ max} = 1,60$
nivo 110 kV	$k_{98\%\ max} = 1,62$	
nivo 30 kV	$k_{98\%\ max} = 1,65$	$K_{98\ \%\ max} = 1,57.$

Te su vrijednosti dobivene uz pretpostavku normalne (Gaussove) razdiobe faktora prenapona, a to je kod većine uzoraka potvrđeno (osim kod nekih uzoraka s malim brojem članova).

Tako dobiveni rezultati mogu poslužiti kao dobra osnova za početak šire primjene nekonvencionalne (statističke) metode dimenzioniranja i vrednovanja izolacije. Kako za sada ne postoje svi preduvjeti za primjenu te suvremene metode (nedostaju statistički obrađena dielektrična ispitivanja različitih vrsta izolacionih konstrukcija, a ne postoji još statistička obrada svih značajki prenaponskih skupova), to su za sada vršeni samo neki pokušaji pojednostavljenog statističkog postupka.

Nedavno je na temelju rezultata naših mjerenja objavljen jedan pojednostavljeni proračun rizika kvara pri pojavi sklopnih prenapona (L.8). Kao osnova je uzet maksimalni očekivani faktor prenapona u mreži 400 kV koji samo mi dobili u iznosu od $k_{98\%} = 1,88$. Može se napomenuti da ta vrijednost u sadašnjoj konfiguraciji mreže može nešto odstupati s obzirom na to da razvoj mreže utječe na karakter raspodjele prenaponskog skupa. Nadalje je uzeto da distribucija tjemenih vrijednosti faktora prenapona odgovara normalnoj (Gaussovoj) raspodjeli, što je u većini slučajeva potvrđeno ispitivanjima. Oblik vala uzet je standardan jer još nisu obrađeni oblici vala dobiveni našim mjerenjima. Uz još neka pojednostavljena vezana uz dielektrična svojstva izolatora izračunato je da za 10 operacija sklapanja na 100 km voda godišnje može nastupiti najviše 1.10^{-4} preskoka/god., a to znači da je potpuno isključena vjerojatnost jednog jedinog preskoka izazvanog sklopnim prenaponima u čitavom vijeku eksploatacije voda. Sličnim postupkom, a na osnovi nešto viših izmjerenih faktora prenapona na 400 kV vodovima u Srbiji (L.6 i 7), dobiven je rizik preskoka od 2%. Zaključeno je da

može doći do samo jednog preskoka izazvanog sklopnim prenaponima u toku desetogodišnjeg rada, što se smatra vrlo visokom pogonskom sigurnošću.

Bez obzira na to što se za sada nismo upuštali u vlastite proračune rizika preskoka, može se s velikom sigurnošću tvrditi da postojeća izolacija na nivou 400 kV i 110 kV promatranog prijenosnog sistema nije ugrožena sklopnim prenaponima. Tome u prilog govori i primjena konvencionalne metode koordinacije izolacije zasnovane na razlici podnosivog i očekivanog maksimalnog faktora sklopnih prenapona. Za dimenzioniranje jednostrukog izolatorskog lanca 400 kV izabran je nazivni sklopni napon od 950 kV (L.11) što daje jedinični fazni faktor prenapona od $k_{iz.1.} = 2{,}76$. Za dimenzioniranje transformatora, aparata i sabirnica 400 kV izabran je nazivni podnosivi sklopni napon od 1 050 V što daje jedinični podnosivi faktor sklopnih prenapona od $k_{ap.} = 3{,}06$. Rezerva između tih faktora i maksimalno očekivanog 98 %-tnog kvantila $k_{98\%} = 1{,}88$ dopušta gornji zaključak.

Rezultati ispitivanja sklopnih prenapona u stvarnoj mreži otvaraju mogućnost razmišljanja o ekonomičnijim rješenjima izolacije u 400 kV mreži, pri čemu je pitanje izolacije nadzemnih vodova već postavljeno u stručnim krugovima (L. 8 i 9).

Naime, za nadzemne vodove je usvojen (L.11) stupanj izolaije 420 Si 950/1425 koji određuje atmosferski prenapon kao stroži i odlučni kriterij za formiranje jednostrukog lanca. Tako formiran lanac podnosi dosta veće sklopne prenapone od usvojenih 950 kV. Treba napomenuti da ni JUS i IEC standardi (L.10 i 14) ni vodeći eksperti (npr. L.15) ne povezuju podnosivi atmosferski prenapon od 1 425 kV s podnosivim sklopnim naponom od 950 kV, već samo sa 1 050 kV. Kao stanovitu potvrdu da ni u našoj mreži ne treba očekivati prenapone tolike visine navodimo podatak dobiven višegodišnjom registracijom prenapona (atmosferskih i sklopnih) u TS Ernestinovo. Tamo je utvrđeno (L. 3) da se prenapon veći od 807 kV ($k = 2{,}47$) može očekivati samo s vjerojatnošću od 0,06 %).

Međutim, preispitivanje sadašnjeg stupnja izolacije u našoj 400 kV mreži zahtijeva još bolje poznavanje prenaponskih skupova, posebno u sadašnjoj znatno pojačanoj mreži. Stoga bi slična mjerenja bila veoma korisna, pa i nužna, npr. na južnom potezu Mostar — Konjsko — Melina, naravno kada to naponske prilike omoguće. Daljnja mjerenja stvorit će još veće preduvjete za primjenu statističkih metoda koordinacije izolacije. Na kraju treba reći da se kao nužnost nameće potreba proširenja i nabave dodatne mjerne opreme (posebno kvalitetnih djelila napona i višekanalnih oscilografa), čime bi se otvorile perpektive za daljnja eksperimentalna istraživanja u mrežama sadašnjih i budućih najviših napona kod nas.

LITERATURA

[1] Jung, Sekso, Hrs, Šaler: *Ispitivanja sklopnih prenapona i kratkih spojeva u mreži 400 kV,* Elaborat Instituta za elektroprivredu, Zagreb, 1979.

[2] Hrs, Jung i suradn.: *Ispitivanje prenapona sklapanja prigušnice 50 MVAr, 30 kV u TS 400/110 kV Zagreb I,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1981.

[3] Sekso i suradn.: *Registracija prenapona pomoću brojila prenapona na transformatoru 400 kV i TS 400/110 kV Ernestinovo u razdoblju 1978. — 1980.,* Elaborat IEP, Zagreb, 1980.

Jugoslavenska tehn. grupa: *Saradnja na studiji MIS* — Faza I, Task 7, JUGEL, Beograd, 1976.

[5] Stevanović: *Analiza komutacionih prenapona pri stavljanju pod napon 400 kV sistema Obrenovac — Ernestinovo — Maribor,* Referat 33 – 12 na XIV Savjetovanju elektroenergetičara Jugoslavije, Sarajevo, 1979.

[6] Zdravković, Petković, Vukelja i dr.: *Komutacioni prenaponi na elektroprenosu 400 kV Đerdap — Beograd,* Referat 33 – 04 na XI Savjetovanju elektroenergetičara Jugoslavije, Ohrid 1972.

[7] Vukelja isuradn.: *Udarni koeficijenti komutacionih prenapona na elektroprenosu 400 kV Niš — Kragujevac,* Referat 33 – 11 na XV Savjetovanju elektroenergetičara Jugoslavije, Beograd, 1981.

[8] Muftić, Kremer: *Izbor optimalnog rješenja izolacije dalekovoda I i II dio,* Elektroprivreda br. 3 – 4 i 5 – 6, Beograd, 1982.

[9] Muftić, Kremer: *Neka aktualna pitanja dimenzioniranja izolacije visokonaponskih nadzemnih vodova,* Referat 22 – 08 na XV Savjetovanju elektroenergetičara Jugoslavije, Opatija, 1983.

[10] — : *Koordinacija izolacije uvisokonaponskim postrojenjima,* JUS N.BO.030, Službeni list SFRJ, br. 59/78.

[11] — : *Osnovni parametri objekata 400 kV mreže Jugoslavije,* JUGEL, Beograd, 1978.

[12] Belin: *Uvod u teoriju električnih sklopnih aparata,* Školska knjiga, Zagreb, 1978.

[13] Jirkü: *Unutrašnji prenaponi u mrežama najviših napona,* Energija br. 9 – 10, Zagreb, 1975.

[14] — : *Insulation coordination, Part I: Terms, definitions, principles and rules, Part II: Application guide;* IEC Publications 71 – 1, 71 – 2, Geneva, 1976.

[15] Paris: *Insulation levels for UHV systems,* IEEE PES Summer Meeting, San Francisco, 1972.

KEY WORDS: 400 KV, SWITSCHING O VERVOLTAGES, NORTHERN MEIN PATH

SWITCHING OVERVOLTAGES IN NORTHEN MAIN LINE OF 400 kV NET

In the article is presented a review of measurements of overvoltages on line Ernestinovo – Zagreb – Maribor that has been performed from begining of operation till to day. Interesting results and characteristic values of statisticaly evaluated overvoltage data are given. In conclusion is given a review of isolation degree of 400 kV net.

SCHALTÜBERSPANNUNGEN IN DER NÖRDLICHEN 400 kV HAUPTÜBERLANDELEITUNGS – SAMMELSCHIENE

Die Arbeit bietet einen Überblick der Ergebnisse durchgeführter Messungen von Schaltüberspannungen in er nördlichen 400 kV ahupt – Landesübertragungsleitung von der Inbetriebsetzung bis zur Gegenwart. Ausgewählt wurden die charkteristischen Werte der statistisch bearbeiteten Überspannungs – Gruppenwerte. Anhand der bisherigen Messungen erflogen Betrachtungen über den Isolationswert der 400 kV Leitung.

КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ СЕВЕРНОЙ МАГИСТРАЛИ СЕТИ 400 кВ

В статье дается краткое изложение измерений коммутационных перенапряжений на участке Эрнестиново-Загреб-Марибор. проводившихся с момента его ввода в эксплуатацию до настоящего времени. Выделены особо интересные результаты и даны характерные значения статистически обработанных групп перенапряжений. В заключении сделан на основании предшествующих измерений обзор, имея в виду степень изоляции сети 400 кВ.

Naslov pisaca:

Ante Sekso, dipl. inž.
dr Ivo Hrs, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
41000 ZAGREB, Proleter. b. 37

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 07 – 19.

TROGODIŠNJE ISKUSTVO U KORIŠTENJU RAČUNALA PDP – 11/70

Petar Jakšić, Zagreb

UDK 681.31.005
STRUČNI RAD

U članku je prikazan rad računala u Institutu za elektroprivredu od njegova instaliranja do danas. Ukratko su objašnjene karakteristike računskog sistema i organizacija rada. Iznesena su iskustva u radu s obzirom na hardware i software.

Ključne riječi: računalo, iskustvo, hardware, software.



PETAR JAKŠIĆ

1. UVOD

Prošlo je tri godine otkako u Institutu za elektroprivredu radi računalo PDP – 11/70 tvrtke DIGITAL. Za to vrijeme mnogi poslovi završeni su uz korištenje računala. Ono je pokazalo svoje dobre i loše strane i stečena su iskustva korisna za dalji rad.

Automatska obrada podataka u institutu za elektroprivredu nije počela s radom postojećeg računala. Niz godina prije toga radnici Instituta radili su na računskom stroju tvrtke IBM na Elektrotehničkom fakultetu, na stroju tvrtke UNIVAC na SRCU i na stroju ICL 1900 koji je donedavno koristio DALEKOVOD.

U toku tih godina znatan broj ljudi stekao je iskustvo u automatskoj obradi podataka i sposobnosti prilagođavanja na različite računske strojeve. To je olakšalo uvođenje u rad sadašnjeg računala.

PDP – 11/70 kupljen je u 1979. godini, instaliran je u siječnju 1980. godine, a s redovnim radom počeo je u travnju 1980. godine. Interesantan je podatak da je prenošenje na novo računalo najznačajnijih poslova koji su se do tada obrađivali na drugim strojevima trajalo samo mjesec dana.

Uskoro su se u rad uključili i radnici koji nisu imali prethodno iskustvo u automatskoj obradi podataka. U tome su im pomogli računski sistem i organizacija rada u skladu s potrebama Instituta za elektroprivredu.

2. KARAKTERISTIKE RAČUNSKOG SISTEMA I ORGANIZACIJA RADA

Naše računalo radi u operacijskom sistemu tipa multiprogramming. To omogućuje »istovremeni« rad više korisnika. U stvarnosti, korisnici izmjenično dobijaju vrijeme procesora. Dužina tog vremena ovisi o prioritetu programa i njegovim zahtjevima za ulazno-izlazne operacije.

Korisnicima je omogućen interaktivni rad na terminalima, pri ćemu svaki od njih ima dojam (osim pri velikom opterećenju) da je sam na sistemu. Ovakav način rada olakšava neposredno uključivanje korisnika u obradu.

Rad u Institutu karakteriziran je velikim brojem razvojnih poslova. Mali je broj programa koji se periodički često izvode, a nema masovnih komercijalnih obrada. Zbog toga je institut nabavio sistem koji nije velik po kapacitetu memorije i vanjskih medija, ali ima veoma moderan software koji omogućuje »istovremen« interaktivni rad više korisnika.

U skladu sa svim tim ogranizirana je i automatska obrada podataka. Nema posebne službe za unos podataka, za programiranje i organiziranje obrada. Korisnici sve to obavljaju sami, uz internu podjelu rada unutar studijske jedinice. Takvom organizacijom izbjegnuta je hijerarhijska upravljačka struktura i omogućeno da na samom računalu rade samo dva radnika, i to na poslovima neposrednog vođenja računala i razvoja softwarea.

Računalo prema organizaciji Instituta pripada u radnu jedinicu Zajedničkih službi. Ipak, u svom radu radnici na računalu postupaju u skladu s mišljenjem komisije za računalo. Komisiju sačinjavaju radnici na računalu i po jedan predstavnik svake studijske jedinice. Komisija usuglašava stavove i potrebe svih jedinica Instituta, a koje su u vezi s radom računala.

Ovakva organizacija rada pokazala se veoma efikasnom i ekonomičnom te predstavlja pozitivno iskustvo koje još nije prihvaćeno u drugim organizacijama slične djelatnosti.

Radom na računalu »u kući« znatno se povećala brzina i ugodnost rada. Stoga se pri izvršenju velike većine poslova u Institutu koristi elektroničko računalo. Sve veći broj radnika i neposredno se uključuje u rad na terminalima. Svaka studijska jedinica ima po dva terminala, a broj korisnika po jedinicama je slijedeći:

I	Studijska jedinica	13
III	Studijska jedinica	8
VI	Studijska jedinica	11
VII	Studijska jedinica	7
VIII	Studijska jedinica	4

Najznačajniji poslovi koji se rade pomoću računala jesu:

- Proračun moguće proizvodnje hidroelektrana
- Ukupni prihod i raspodjela ukupnog prihoda
- Optimiranje uzemljivača na trafo-stanicama
- Izbor optimalne veličine trafo-stanica
- Kompenzacija jalovih snaga
- Prognoze potrošnje električne energije
- Bilance toplinskog i elektroenergetskog sistema
- Optimiranje opskrbe energijom
- Utvrđivanje optimalne lokacije nuklearnih elektrana s obzirom na utjecaj na okolinu
- Programi za simulaciju stanja atmosfere u slučaju zagađenja iz raznih točkastih, linijskih i površinskih izvora
- Banka hidroloških podataka
- Banka podzemnih voda SRH
- Korištenje dinamičkog programiranja kod projektiranja energetskih objekata
- Modeli nestacionarnog tečenja u priradnim koritima
- Programi za analizu elektroenergetskih mreža u eksploataciji i pri planiranju.

3. HARDWARE

Naš računski sistem PDP – 11/70 ima sljedeću konfiguraciju:

- Centralna jedinica kapaciteta 128 KW, to jest 256 KB centralne memorije
- 2 jedinice magnetskih diskova kapaciteta po 80 MB
- 1 jedinica magnetske trake
- 2 jedinice Floppy diskova (disketa)
- 10 terminala s ekranom
- 2 terminala s papirnom trakom, od toga je jedan sistemska konzola
- 1 štampač brzine 600 redova u minuti.

Iako imaju isti broj terminala, studijske jedinice nejednako koriste računalo. Osim toga, intenzitet posla u toku vremena nije isti niti za pojedinu studijsku jedinicu. Na temelju dosadašnjeg iskustva vidi se da bi se problemi nejednakog opterećenja terminala po jedinicama i vremenskim razdobljima mogli ublažiti sljedećim pregrupiranjem terminala:

- Ostaviti po jedan terminal u svakoj studijskoj jedinici
- Ostale terminale grupirati uz samo računalo.

Nakon uvođenja u rad elektronskog računala naglo je porastao broj poslova koji su se na njemu radili. To je uskoro dovelo do zagušenja disk-jedinica koje nisu imale dovoljan kapacitet za smještaj svih podataka. Prema dogovoru postignutom na komisiji za računalo, prostor na diskovima je podijeljen jednoliko na studijske jedinice. Iako ovakvo rješenje nije idealno, otada su u studijskim jedinicama počeli više brinuti o zauzeću diskova. Sadržaj koji se stvarno rijetko koristi korisnici su počeli spremati na magnetske trake i počelo se provoditi redovno čišćenje diskova od nepotrebnog sadržaja. Naročito dobri rezultati postignuti su u studijskim jedinicama u kojima se provodilo istovremeno čišćenje svih korisničkih područja te jedinice.

Najlošije iskustvo u radu s računalom PDP – 11/70 bili su kvarovi, koji su bili naročito česti u toku protekle godine. Osim toga, popravci računala obično su dugo trajali.

Iz kvarova je proizašlo dosta iskustava. Iako su operacijski sistem i način rada disk orijentirani, potrebno je periodički raditi BACK-UP, to jest spremanje sadržaja diskova na trake. Kod nas se to provodi jedanput tjedno. Koristi ovakve prakse su sljedeće:

- Pomoću trake može se na ispravnu disk jedinicu prebacivati sadržaj s pokvarene disk-jedinice.
- U slučaju dugotrajnog kvara cijelog sistema može se posao pomoću magnetskih traka prenositi na drugi računski sistem. Diskove iz tehničkih razloga nije preporučljivo prenositi niti na iste konfiguracije sistema.
- S trake se može na disk vratiti sadržaj koji su korisnici zabunom poništili.

Osim snimanja kompletnog sadržaja diskova na trake, preporučuje se da jedinice svaka za sebe rade BACK-UP na traku svojih podataka, i to nakon značajnih unosa ili obrada.

Jedinica magnetske trake je često u kvaru. Zaštita podataka bila bi mnogo sigurnija kada bismo imali još jednu jedinicu magnetske trake.

Uz snimanje podataka na magnetske trake potrebno je redovito kopirati diskove. Kopiranjem se sažima sadržaj diskova i omogućava zaštita podataka u slučaju fizičkog uništenja diska, do čega može doći pri nekim vrstama kvarova računala. Za kopiranje diskova su potrebne dvije ispravne disk-jedinice.

Na žalost, često je jedna od dvije disk-jedinice bila u kvaru. Rad s jednom disk-jedinicom je težak ne samo zbog manjeg kapaciteta smještaja podataka, nego i zbog nemogućnosti kopiranja diskova i manipulacije podacima. Problemi vezani uz kvar jedne disk-jedinice u velikoj bi se mjeri riješili kada bi u sistemu postojale tri disk-jedinice.

Sistem sala se hladi pomoću četiri prozorska klima-uređaja. Bilo zbog većeg zagrijavanja prostorije od računala nego što je bilo predviđeno ili zbog premale mogućnosti hlađenja klima-uređaja u ljetnim mjese-

cima se sistem-sala nije mogla odgovarajuće rashladiti. Na temelju ovakvog iskustva prišlo se ugradnji nove klime ormarskog tipa s puno većom sposobnošću hlađenja.

4. SOFTWARE

Software se dijeli na aplikativni i sistemski software. Aplikativni software sastoji se od korisničkih programa koji su u pravilu pisani u nekom od viših programskih jezika. Sistemski software sastoji se od operacijskog sistema i dodatnih pisanih ili kupljenih softwareovskih produkata pisanih u pravilu u nižem programskom jeziku.

Operacijski sistem je skup programa koji upavljaju radom računala, a može se podijeliti na tri dijela:

— izvršilac (executive)
— organizacija datoteka (FILES-11)
— pomoćni programi (UTILITIES), prevodioci i ostalo.

Od viših programskih jezika kod nas se koristi uglavnom FORTRAN–4–PLUS i pomalo BASIC–INTERPRETER. FORTRAN sasvim odgovara većini poslova u institutu koji zahtijevaju puno kalkuliranja, a malo ulazno-izlaznih operacija. Zato se još nije ozbiljno razmišljalo o nabavi prevodioca za neke nove programske jezike kao što su PASCAL i BASIC–2–PLUS. Niži programski jezik assemblerskog tipa se kod našeg tipa računala zove MACRO–11.

Zajedno sa sistemom nabavljen je i operacijski sistem IAS, ali se od njega brzo odustalo jer je zauzimao 70 KW memorije i nije podržavao jedinice floppy diskova. IAS je zamijenjen operacijskim sistemom RSX–11M koji zauzima 32 kW memorije, podržava floppy diskove i ima sintaksu veoma pogodnu za korisnike. Na kraju, nakon potpisivanja ugovora o softwareovskom održavanju između Instituta za elektroprivredu i poduzeća ISKRA–DELTA generiran je na sistemu operacijski sistem DELTA/M. Ovaj operacijski sistem je u stvari modificiran i poboljšani operacijski sistem RSX–11M i za korisnike se gotovo uopće ne razlikuje.

Ugovor o softwareovskom održavanju pokazao se veoma korisnim jer tu ne postoje problemi oko nabave dijelova i opreme kao kod hardwareovskog održavanja. Uz operacijski sistem DELTA/M dobili smo i novu, bitno poboljšanu verziju editora EDT. Ovaj editor osim što olakšava rad omogućuje i spašavanje unesenog sadržaja pri padu sistema ili nestanku struje. Osim toga, u suradnji sa stručnjacima za software iz ISKTRA–DELTE ispravljene su uočene greške u radu operacijskog sistema. Uvedeni su u rad brži i bolji pomoćni programi i isprobani novi postupci.

Korisnom se pokazala i suradnja s drugim računskim sistemima (na primjer s Građevinskim institutom i Geotehnikom). Ta suradnja osim razmjene znanja i iskustava omogućuje i rad u slučaju kvara našeg računala te izvođenje programa za koje je naše računalo premaleno.

PDP–11/70 je 16–bitno računalo. To znači da je moguće direktno adresirati najviše 32 KW memorije. To ograničenje veličine programa na particiju od 32 KW memorije uzrokuje potrebu za optimiranjem programa, korištenjem overlay tehnike i traženjem novih algoritama. Postoji mogućnost pisanja programa koji zauzimaju i veći dio memorije. Takvi programi se obično moraju izvoditi izvan redovnog radnog vremena tako da ne smetaju ostalim korisnicima. Dakle, ukupni kapacitet memorije također ograničava veličinu programa. Ponekad se javlja potreba prilagođavanja izvana dobivenih programskih paketa. Ako prilagođavanje nije moguće, razvijaju se vlastiti programi ili se dobiveni programi izvode na većim strojevima. Realno se može očekivati da će s vremenom porasti broj vlastitih ili dobivenih programa koji će za izvođenje trebati veću memoriju od postojeće.

U slučaju kvara jedne disk-jedinice operacijski sistem više ne omogucava manipulaciju podataka. To je uvjetovalo potrebu kreiranja magnetske trake sa stand-alone pomoćnim programima. Ti programi se učitavaju s trake i mogu raditi bez podrške operacijskog sistema. U slučaju da je ispravna jedinica magnetske trake, pomoću stand-alone pomoćnih programa za formatiziranje diska, traženje loših blokova i prepisivanje, može se organizirati rad i sa samo jednom ispravnom disk-jedinicom.

Zbog sigurnosti podataka radi se jednom tjedno kopiranje diskova i diskovi se snimaju na magnetske trake. Uvođenjem u rad bržih pomoćnih programa vrijeme potrebno za izvođenje ovih postupaka svelo se na manje od polovine prijašnjeg vremena.

Ponekad se u radu pojavi potreba prenošenja programa i podataka s jednog sistema na drugi. Svaki proizvođač računala ima svoj kod za zapisivanje podataka. Ako se programi prenose na sistem drugog proizvođača, mora se izvesti prekopiranje iz jednog koda u drugi. Praksa u suradnji između raznih tipova računala je takva da se veza uspostavlja pomoću koda tvrtke IBM. Stoga su napisani i prikupljeni te isprobani programi za prekodiranje tipa disk-disk, disk-traka i traka-disk, iz IBM koda u naš i obrnuto.

Pomoćni programi (na primjer program za sortiranje SORT) nisu prilagođeni za rad s našim znakovima č, ć, š i ž, koji se inače mogu štampati na štampaču. Isproban je način modifikacije pomoćnog programa SORT tako da se mogu sortirati i imena koja sadrže te znakove.

Generacija sistema znači kreiranje konkretne verzije operacijskog sistema odabiranjem između svih raspoloživih opcija.Pri odabiranju treba obratiti pažnju na karakteristike poslova koji se izvode i na opću organizaciju rada. Ono što se na jednoj strani dobije, na drugoj se izgubi. Na primjer, da bismo mogli raditi s novom verzijom editora EDT, morali smo u generaciji sistema predvidjeti i full-duplex način rada s terminalima. Taj način rada omogućuje još neke terminalske funkcije koje prije nisu bile na raspolaganju, ali se zato povećava rezidentni software u memoriji za 1 kW. Što dobijemo na brzini, gubimo na

prostoru i obrnuto. Na temelju dosadašnjeg iskustva generiran je postojeći operacijski sistem.

5. ZAKLJUČAK

Na kraju se može reći da je kupovina elektroničkog računala znatno ubrzala i unaprijedila rad u Institutu za elektroprivredu. U tri godine rada računala stasao je velik broj radnika sposobnih da uspješno koriste računski stroj u svome radu. Pokazalo se da filozofija sistema i organizacija automatske obrade podataka odgovaraju potrebama Instituta.

Problemi su nastajali uglavnom zbog kvarova stroja i njihova sporog uklanjanja.

Ipak, u posljednje tri godine znatno su se povećali opseg i složenost poslova koji se izvršavaju uz pomoć elektroničkog računala. Takav trend nas navodi i na razmišljanje o proširenju postojećeg računala ili o kupovini većeg u budućnosti.

KEY WORDS: COMPUTER, ECPERIENCE, HARDWARE, SOFTWARE

THREE YEAR ECPERIENCE OF WORK ON COMPUTER PDP-11/70

In the article is described work on computer in Institut za elektroprivredu, from instalation til to day. Explained are characteristics of computer and organisation of work. Presented are experiences from work on hardweare and softweare.

DREIJÄHRIGE BETRIEBSERFAHRUNGEN MIT DER EDV – RECHENANLAGE FDP-11/70

Besprochen werden die dreijährigen Betriebserfahrungen mit der genannten EDV – Anlage im Institut für Elektrizitätswirtschaft bis zur Gegenwart. Gezeigt sind die Eigenschaften des Systems und der Betriebsorganisation, wie auch die Erfahrungen bei der Arbeit mit Hardware und Software.

ТРЕХЛЕТНИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭВМ ПДП-11/70

В статье дано обозрение применения ЭВМ в Институте электрохозяйства со времени ее установки до нынешнего дня. В коротких словах объяснены характеристики вычислительной системы и организации работы. Опыт излагается в связи с затруднениями и простотой работы.

Naslov pisca:

Petar Jakšić, dipl. inž.

Institut za elektroprivredu

41000 ZAGREB

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 06 – 30.