UDK 621.31 ENJAAC YU ISSN 0013—7448

ENERGIJA

STRUČNI ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

GODIŠTE 30 GODINA 1981.

SADRŽAJ »ENERGIJE« U 1981. GODINI

Studije i istraživanje

	Str.	Broj
Arnold M.: Karakteristike raznih shema automatske regulacije napajanja generatora pare s bubnjem	107	3— 4
Balog M.: Teoretski životni vijek i stupanj iscrpljenosti visokoopterećenih parovoda u termoenergetskom postrojenju	95	3— 4
Babić S.: Razvitak problematike stabilnosti elektroenergetskih sistema	291	7— 8
Ciganović B.-Debeljuh V.: Prikaz dinamičkog stanja električne mreže na višebojnom videoterminalu	195	5— 6
Cvetković Z.: Posljedica uvođenja sustava daljinskog vođenja (SDV) na organizaciju rada u prijenosnim organizacijama	191	5— 6
Cvitan I.-Fiala M.: Organizacija rada i održavanje elektrodistributivnih postrojenja	499	11—12
Černohous F.-Stanković Đ.: Podsinhrone kaskade	489	11—12
Damjanović B.: Prijedlog Pojednostavnjenja distributivne električne mreže grada Rijeka	227	5— 6
Delbianco L.-Rosanda L.: Utjecaj otpornog uzemljenja zvjezdišta u mreži Elektroistre Pula	27	1— 2
Dragičević D.: Izvori urana i njegove ekonomske značajke kao uporabnog goriva u nuklearnim elektranama	471	11—12
Dragičević D.: Razvoj nuklearne energetike unutar opće energetske strategije, potrebe kadrova i njihova izobrazba	399	9—10
Fagarazzi A.: Prva zagrebačka TS 110/20 kV s postrojenjem 110 kV u SF_6 tehnici	429	9—10
Filipović-Grčić B.: Uz izbor zaštite vodova s otcjepom	413	9—10
Haznadar Z.-Berberović S.-Vujević D.-Markovinović D.-Žanić N.-Žic Z.: Dodirni napon i raspodjela potencijala uzemljivača u energetskim sustavima	303	7— 8
Haznadar Z.-Sadović S.: Numerička analiza visokonaponskih izolacionih sistema	343	7— 8
Jelenčić I.: Mjerenje neharmoničnih izobličenja u audio-pojačalima	365	7— 8
Jurković B.-Ban D.: Opći model za određivanje nepoznatih parametara velikih kaveznih motora	313	7— 8
Juzbašić B.: Tok novijeg razvoja solarnih ćelija	281	7— 8
Kavur V.: Banke podataka-osnovno svojstvo suvremenog informacijskog sistema ugrađenog u elektroenergetski proces	215	5— 6
Knapp V.: Uvođenje oplodnih reaktora; neka tehno-ekonomska razmatranja	273	7— 8
Krulc Z.: Prilog proučavanju ugroženosti od munje	522	11—12
Kulišić P.: Mogućnosti dobivanja tople vode pomoću Sunčeve energije	351	7— 8
Lerman T.-Ilakovac G.-Bodlović P.: Statističko izvještavanje funkcije kompjutorskog sistema nadzora i upravljanja		
Malbaša N.: Analiza lokacija za nuklearne elektrane (II)	3	1— 2
Mikuličić V.: Pouzdanost i raspoloživost prijenosnog razdjelnog i rasklopnog podsustava elektroenergetskog sustava	329	7— 8
Milanović Z.: Novi toplifikacioni blok električne snage 30 MWA u Elektrani-Toplani Zagreb	479	11—12
Modlic I.: Stabilizacija frekvencije oscilatora subharmoničnom pobudom	369	7— 8
Padelin M.-Čavlina N.-Uglješić I.: Napajanje električnom energijom na novoj pruzi Rijeka—Zagreb	339	7— 8
Pašalić N.: Usporedba tranzistorskih i tiristorskih pretvarača električne energije	319	7— 8
Pavlović R.-Božin I.: Razvoj elektroprivrede Hrvatske i razvoj Elektrotehničkog fakulteta	263	7— 8
Pernić V.: Mogućnost primjene automatske obrade podataka u održavanju elektroenergetskih postrojenja	221	5— 6
Petković T.: Nedestruktivno određivanje odgora reaktorskog goriva gamaspektrometrijskom analizom aktivnosti monitora fisija	357	7— 8
Piperski D.: Mjerenje neelektrotehničkih veličina u termoelektrani	437	9—10
Radmilović B.-Vidaković F.: Prilagođenje postrojenja prijenosne mreže za rad u sustavu daljinskog vođenja	199	5— 6
Schenner R.: Određivanje optimalne nazivne snage gradske transformatorske stanice 10/0,4 kV odnosno 20/0,4kV s analizom na modelu	423	9—10

	Str.	Broj
Schenner R.: Optimalno opterećenje gradskog distributivnog sistema s obzirom na štete zbog neisporučene električne energije	131	3— 4
Sitar I.: Hermetički zabrtvljeni distributivni transformatori bez konzervatora	33	1— 2
Šimunić J.: Učestalost spontanih informacija u procesu prijenosne mreže	211	5— 6
Širola E.: Utjecaj javne rasvjete na sigurnost pješačkog prometa	519	11—12
Tropin A. K.: Prilog bezbednosti održavanja nadzemnih elektroenergetskih vodova	468	11—12
Valenčić M.: Regulacija okretaja turbina za male elektrane	513	11—12
Žagar M.: Mikroračunarski laboratorij	375	7— 8

Pogonska problematika

Čulo V.: Kakav status dispečerskoj funkciji	37	1— 2
Pavlović T.: Problematika elektrana na tekuće gorivo u SR Hrvatskoj s posebnim osvrtom na plinsku TE »Jertovec«	19	1— 2
Delbianco L.: Upotreba betonskih stupova u električnoj mreži »Elektroistre« Pula	137	3— 4

	Str.	Broj
Ekonomska problematika		
Lađević Đ.: Prijedlog samoupravnog sporazuma o zajedničkim osnovama planova razvoja elektroprivrede SR Hrvatske u razdoblju 1981. do 1985. god.	181	5— 6
Savjetovanje i konferencije		
Majić M.: III Simpozij o upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije	241	5— 6
Markovčić B.: XXVIII zasjedanje CIGRE u Parizu	41	1— 2
Vijesti iz elektroprivrede		
Šimurina I.: Statistički pregled elektroprivrede SR Hrvatske (1979)	51	1— 2
Šimurina I.: Statistički pregled elektroprivrede SR Hrvatske (1980)	535	11—12
— Radovi instituta za elektroprivredu u 1980.	459	9—10

ANALIZA LOKACIJA ZA NUKLEARNE ELEKTRANE (II)

(Metode, kriteriji i parametri u ocjeni lokacija te preliminarna obrada i vrednovanje potencijalnih lokacija u SR Hrvatskoj)

Mr Niko Malbaša, Zagreb

UDK 621.039,5

Opisane su osnovne metode procesa izbora i vrednovanja lokacija za nuklearne elektrane, definirani eliminacijski kriteriji i relevantni parametri, a opisan je i način određivanja funkcije korisnosti i težinskih faktora za dane parametre. Metodologija je primijenjena na području SR Hrvatske.

1. METODE VREDNOVANJA LOKACIJA

Izbor lokacije za nuklearnu elektranu jest proces u kojem je potrebno voditi brigu i usklađivati vrlo različite parametre. Američka nuklearna komisija, NRC, daje u Reg. Guide 4.2. listu od 34 karakteristike koje treba da budu uzete u obzir pri izboru lokacije, a velika većina tih karakteristika je relevantna i za naše prilike. Idealna lokacija bila bi ona na kojoj su sve karakteristike maksimalno pozitivne. Takva lokacija, međutim u praksi ne postoji. Svaka realna lokacija uz neke prednosti ima i nedostatke.

Ako se želi izabrati najbolja lokacija ili napraviti rang-lista lokacija, tada je nužno naći način i metode za uspoređivanje najrazličitijih parametara, a to često nije nimalo lagan zadatak.

1.1. Metoda eliminacijskih kriterija

Primjenom ove metode cijelo promatrano područje dijeli se na dva dijela: onaj podoban za lociranje i onaj nepodoban. Karakteristika svake pojedinačne lokacije slijedi iz izraza

$$v_j = \prod_{i=1}^{n} x_{ij}. \qquad (4)$$

gdje je

v_j — vrijednost lokacije j

x_{ij} — vrijednost lokacije j u odnosu na kriterij i

n — broj primijenjenih eliminacijskih kriterija.

Veličina x_{ij} može imati samo dvije vrijednosti:

$x_{ij} = 1$ — lokacija j zadovoljava u odnosu na kriterij i

$x_{ij} = 0$ — lokacija j ne zadovoljava u odnosu na kriterij i

Ako je barem jedan od x_{ij} jednak nuli, slijedi $v_j = 0$ i lokacija se odbacuje. Ako to nije slučaj, slijedi $v_j = 1$ i lokacija se prihvaća.

Vidljivo je da ova metoda ne daje nikakvu mogućnost za vrednovanje prihvaćenih lokacija. Zbog toga se ona i koristi obično kao prvi korak i kombinira se s nekom od metoda koje mogu dati kvantitativne pokazatelje.

1.2. Metoda sumiranja vaganih vrijednosti

Za razliku od prethodne ova je metoda podobna za kvantitativno vrednovanje lokacija, što znači da je rezultat primjene ove metode rang-lista obrađivanih lokacija. Mjera za kvalitetu pojedine lokacije, S, dana je u obliku izraza

$$S = \sum_{i=1}^{n} W_i \cdot U_i(x_{ij}) \qquad (5)$$

gdje je

x_{ij} — vrijednost parametra x_i za lokaciju j

U_i — funkcija vrijednosti parametra (karakteristike) x_i

W_i — težinski faktor parametra x_i proporcionalan njegovoj važnosti

n — broj parametara koji imaju utjecaja na kvalitet lokacije.

Bez obzira na to što cijela procedura po ovoj metodi izgleda vrlo jednostavna za ispravnu primjenu potrebno je imati na umu neke bitne pretpostavke koje treba da budu ispunjene pri određivanju težinskih faktora za pojedine parametre, pri određivanju funkcija vrijednosti i u odnosu na ovisnost između pojedinih parametara.

Težinski faktori treba da se formiraju na racionalnoj osnovi. Ako je npr. $W_1 = 2$ a $W_2 = 1$, to treba da znači da je važnost parametra x_1 dvaput veća od važnosti parametra x_2.

Nadalje, težinski odnosi treba da predstavljaju relativne vrijednosti jedinične promjene u funkciji vrijednosti. Npr., oko je $W_1 = 2$ i $W_2 = 1$, to treba da znači da promjena od 0,5 u vrijednosti funkcije $U_1(x_1)$ treba da bude jednako poželjna kao i promjena od 1,0 u $U_2(x_2)$, odnosno

$$\frac{\Delta U_1(x_1)}{\Delta U_2(x_2)} = -\frac{W_2}{W_1}. \qquad (6)$$

Treća bitna pretpostavka odnosi se na ovisnost između pojedinih parametara, a to znači da promjena jednog parametra ne implicira promjenu bilo kojeg drugog parametra, odnosno, ako je to nemoguće izbjeći, treba o tome voditi brigu.

1.3. Metode analize rizika

Ove metode su vrlo komplicirane i u praksi se zbog toga gotovo ne koriste, tako da se i ovdje spominju samo radi kompletnosti. Osnovna novost u pristupu jest uvođenje faktora rizika u analizu kao mjere za neizvjesnost u ocjeni vrijednosti pojedinog parametra. U biti uspoređuju se npr. ova rješenja:

a) ekstratroškovi lokacije iznose 600 milijuna,

b) ekstratroškovi lokacije iznose 200 milijuna s vjerojatnošću od 0,5 odnosno 1 000 milijuna s vjerojatnošću od 0,5.

Klasičnim procesom dolazi se do rezultata da su obje lokacije jednako prihvatljive. U stvari, moguće su tri odluke:

1) Lokacija a) je povoljnija ako donosilac odluke nije spreman da snosi rizik eventualnih povećanih troškova (negativna sklonost riziku)

2) Lokacije a) i b) su jednako povoljne ako donosilac odluke jednako vrednuje mogućnost eventualne uštede od 400 milijuna, kao i mogućnost gubitka istog iznosa (neutralna sklonost riziku).

3) Lokacija b) je povoljnija ako donosilac odluke voli da riskira, odnosno ako ocjenuje da bi mu eventualna ušteda od 400 milijuna donijela više koristi nego eventualni gubitak istog iznosa (pozitivna sklonost riziku).

Budući da se ocjena o lokaciji donosi na osnovi analize nekoliko desetaka različitih parametara, potrebno je na gornji način analizirati svaki pojedini parametar, što čini cijeli postupak vrlo kompliciranim i teško provedivim u praksi

2. PRIJEDLOG KRITERIJA ZA ELIMINIRANJE LOKACIJE

Radi se o prijedlogu kriterija zbog toga što u našoj regulativi (a ni u praksi) još ni jedan takav kriterij nije eksplicitno izražen. Ovaj prijedlog bazira se uglavnom na američkoj praksi, odnosno praksi američke nuklearne komisije, NRC, i to mnogo više nego na američkoj regulativi koja također ne daje strogo definirane kriterije u svim slučajevima. Nadalje, ovaj prijedlog uzima u nekim dijelovima u obzir i naše domaće specifičnosti, prije svega činjenicu da se radi o izboru lokacije za naše prve nuklearne kapacitete, te da ne postoji uhodana domaća praksa vezana za vrednovanje lokacije za nuklearne elektrane, a također postavit će se i neki kriteriji koji su isključivo ekonomske kategorije (npr. opskrba vodom).

U nastavku daje se lista prijedloga eliminacijskih kriterija:

I. Ekskluzivna zona treba da ima radijus od 650 metara

II. Niskonaseljena zona radijusa 5 km treba da ima faktor naseljenosti SPF $< 1{,}0$ uz referentnu gustoću naseljenosti 100 st/km².

III. Gustoća stanovništva unutar bilo kojeg radijusa do 20 km od reaktora ne smije biti iznad 200 st/km² (na dan početka rada elektrana), odnosno ne smije biti veća od 400 st/km² u bilo koje vrijeme u toku pogona elektrane.

IV. Udaljenost središta grada s više od 20 000 stanovnika treba da bude

$$D_1 < 5 + \cdot\, k\sqrt{\frac{N}{\pi}}\ /\text{km}/ \quad \text{za } 20 < N < 1000 \qquad (7)$$

a udaljenost periferije grada s više od 20 000 stanovnika mora biti

$$D_2 > 5 + 0{,}3\,k \cdot \sqrt{\frac{N}{\pi}}\ /\text{km}/ \quad \text{za } 20 < N < 1000 \qquad (8)$$

gdje je N broj stanovnika grada u tisućama, a k korekcijski faktor ovisan o stopi porasta broja stanovnika.

Rigorozniji od gornjih izraza treba da bude uzet u obzir. U graničnim slučajevima predlažu se detaljnije analize za kriterij III i IV.

V. Lokacija elektrane ne smije biti na udaljenosti manjoj od 8 km od rasjeda za kojeg se ne dokaže da nije aktivan.

Ovaj kriterij je dosta diskutabilan u našim uvjetima i vjerojatno suviše rigorozan. Neki drugačiji kriteriji nisu, međutim, nigdje spomenuti.

VI. Nije prikladna za nuklearnu elektranu lokacija s maksimalnom horizontalnom akceleracijom, dobivenom na osnovi pretpostavke da se dogodio maksimalni projektni potres (Safe Shutdown Earthquake, SSE), koja je veća od 0,4, gdje je g akceleracija Zemljine sile teže dakle, $G > 0{,}4$.

VII. Ako se lokacija nalazi u seizmotektonskoj zoni gdje se dogodio potres intenziteta iznad IX stupnja MCS, ona nije pogodna za nuklearnu elektranu.

VIII. Ne smije se locirati nuklearna elektrana na lokacijama s visokim likvefakcijskim potencijalom ako su moguća rješenja za eliminaciju ove pojave nepraktična ili nemoguća.

IX. Potrebno je isključiti lokacije s podlogom od rahlog materijala (relativna gustoća ispod 55%), te ako je potrebno izvesti iskop do dubine ispod 30 metara (najdublja izvedena eskavacija iznosila je 33 metra). Ovaj kriterij je vrlo okviran i potrebna su detaljna istraživanja u svim graničnim slučajevima.

X. Lokacija se smatra nepovoljnom s obzirom na meteorološke aspekte ako je istovremeno:

a) čestina puhanja vjetra u smjeru sektora od 22,5° s gustoćom naseljenosti iznad 200 st/km² veća od 20%, a

b) stabilnost atmosfere F prema klasifikaciji Pasquill postoji u više od 20% situacija (na bazi satnih vrijednosti) u takvom sektoru.

XI. Za lokaciju 2 × 1 000 MW nužno je da postoji vodotok s apsolutnim minimumom od 10 m³/s, odnosno treba postojati mogućnst povećanja minimalnih protoka na taj nivo stvaranjem akumulaje i sl.

XII. Kod lokacija uz more, gdje se za potrebe hlađenja koristi morska voda, potreban je kontinuirani izvor slatke vode s dnevnim prosječnim dotokom od 20 m³/s (za 2 × 1 000 MW).

XIII. Ako se zahtijeva protočno hlađenje, potrebno je da minimalni protok za 7 sukcesivnih dana u razdoblju od 10 godina bude

$$G_{7min} \geq 0{,}167 \cdot N \ [m^3/s]$$

gdje je N (MW) snaga elektrane na generatoru.

XIV. Ako se hlađenje obavlja preko umjetnog ili prirodnog jezera, potrebno je ispuniti ove zahtjeve:

a) površina jezera treba da bude barem 12 km² na svakih instaliranih 1 000 MW;

b) volumen vode treba da bude barem 20 hm³ na svakih 1 000 MW.

XV. Nuklearne elektrane ne smiju se locirati u zaštićenim i ekološki osjetljivim područjima.

XVI. Lokacija za nuklearnu elektranu 2 × 1 000 MW mora imati površinu od barem 0,2 km² s nagibom koji nije veći od 20% i koja ne leži na više od 30 metara iznad prosječnog nivoa vode ako se koristi protočno hlađenje.

XVII. Lokacija ne zadovoljava ako tehnički nije moguće izvesti priključenja na magistralne ceste, ili pristup željeznicom ili vodenim putem.

XVIII. Ne dolaze u obzir za lociranje nuklearnih elektrana lokacije na otocima znatnije udaljenim od kopna.

XIX. Elektrana se ne smije locirati na udaljenosti manjoj od 5 km od civilnih ili vojnih aerodroma.

Kriteriji I do XII kao i XIX neposredno su vezani uz sigurnosne aspekte, dok su kriteriji XIII do XVIII više u domeni inženjerskih rješenja, zaštite okoline i troškova.

Prema praksi pojedinih zemalja mogli bi se dodati još neki kriteriji. To nije napravljeno jer takvi kriteriji u većini zemalja još nisu prihvaćeni. Također, neki od navedenih kriterija nisu nigdje eksplicitno izraženi, ali su podešeni tako da zadovoljavaju trenutnu praksu u svijetu.

3. PARAMETRI KOJI UTJEČU NA IZBOR LOKACIJE U FAZI KOJA PRETHODI ISTRAŽNIM RADOVIMA

U nastavku se daju parametri prema kojima je obavljeno vrednovanje makrolokacija, dakle onog terena koji preostane nakon primjene eliminacijskih kriterija u I fazi; to je ukupno 36 parametara grupiranih u 11 grupa. Može se reći da su parametri u različitim grupama neovisni, dok između parametara unutar pojedine grupe postoji ponekad veća ili manja ovisnost. Međuovisnosti između pojedinih parametara uzete su u obzir pri određivanju njihovih težinskih faktora.

I. Naseljenost
   1. Krivulja naseljenosti
   2. SPF — 5 km
   3. SPF — 30 km
   4. Gustoća stanovnika u najnaseljenijem oktantu
   5. Broj naselja u zoni do 10 km od elektrane
   6. Broj turista (domaći, inozemni) u radijusu 30 km

II. Meteorologija
   7. Indeks radioaktivne doze (MDF faktor)
   8. Opće klimatske karakteristike s obzirom na disperziju

III. Seizmika i geologija
   9. G — vrijednost
   10. Seizmička aktivnost
   11. Neotektonska aktivnost
   12. Seizmotektonska rajonizacija
   13. Mogućnost pojave likvefakcije
   14. Mogućnost izvođenja temelja
   15. Karakteristike terena s obzirom na permeabilnost (vodopropusnost)

IV. Hidrologija
   16. Opasnost od plavljenja
   17. Opskrba rashladnom vodom
   18. Opskrba potrošnom i sanitarnom vodom
   19. Realizacija izvora vode bitne za sigurnost
   20. Mogućnost za disperziju radioaktivnih tekućih efluenata
   21. Kvaliteta vode

V. Utjecaj vanjskih ekstremnih efekata

22. Mogućnost pojave ekstremnih meteoroloških prilika
23. Blizina aerodroma
24. Industrijski i prometni akcidenti

VI. Ekologija

25. Ekološka osjetljivost lokacije

VII. Veličina i namjena terena i topografske osobine

26. Nagib terena
27. Elevacija iznad vodene površine
28. Namjena i moguće iskorištenje terena neposredne okoline

VIII. Transport

29. Mogućnosti transporta
30. Pristup cestom

IX. Rashladni sistem

31. Zahvat i ispust rashladne vode

X. Elektroenergetske karakteristike

32. Gubitak energije u mreži
33. Priključak na elektroenergetsku mrežu

XI. Socijalno-ekonomske karakteristike

34. Potrebno raseljavanje iz ekskluzivne zone
35. Utjecaj na privredu regije
36. Mogućnost osiguranja kadrova

Navedeni parametri odabrani su prema svrsi analize i postojećim podacima na raspolaganju za područje SR Hrvatske. U daljnjim fazama, pri vrednovanju mikrolokacija unutar odabranih makrolokacija, te nakon što se odgovarajući podaci, sada nedostupni, prikupe putem istraživanja na terenu, vjerojatno će izbor parametara biti širi od ovoga, a i utjecaj pojedinog parametra na rezultat može biti ponešto različit.

3.1. Određivanje funkcije vrijednosti za navedene parametre

Funkcija vrijednosti U_i (x_{ij}) za svaki pojedini parametar određena je kao jedna od deset diskretnih vrijednosti: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, i 10 ili kao kontinuirani izraz, pri čemu će funkcija vrijednosti U_i (x_{ij}) imati vrijednost 10 ako su uvjeti na lokaciji j s obzirom na parametar x_{ij} izuzetno povoljni (ne mogu biti bolji), a imat će vrijednost 1 ako su uvjeti izuzetno nepovoljni (ne mogu biti lošiji, a da ne dovedu u pitanje lokaciju).

Izuzetno, ako je U_i (x_{ij}) = 0, to znači da su uvjeti, vezani za taj parametar, u potpunosti negativni, ali to ipak ne eliminira lokaciju u cijelini bilo zato što taj parametar nije još dovoljno istražen., bilo zato što nema tako značenje da bi na temelju njega bilo moguće eliminirati lokaciju, barem ne bez dodatnih detaljnijih istraživanja u idućim fazama.

Pri definiranju uvjeta na lokaciji za svaku vrijednost funkcije U_i (x_{ij}) vodilo se računa o ekonomskim podlogama, ako one postoje, a ako ne postoje ili nisu izvedive, nastojao se taj nedostatak eliminirati.

U svakom slučaju, cilj je da se postigne racionalan odnos, odnosno da, ako napr. funkcija vrijednosti parametra i na lokaciji j iznosi 8, na lokaciji k iznosi 6, a na lokaciji n iznosi 4, to treba da znači da je lokacija j u odnosu na parametar i toliko polja od lokacije k koliko je lokacija k bolja od lokacije n.

3.2. Određivanje težinskog faktora za pojedine parametre

Da bi se udovoljilo zahtjevu koji proizlazi iz izraza (6) nužno je da težinski faktori budu određeni na racionalnoj osnovi koliko god je to moguće, tj. ako dva parametra imaju jednake težinske faktore, tada je i jedinična promjena funkcije vrijednosti tih parametara jednako poželjna. Taj zahtjev je kod nekih parametara razmjerno lako realizirati, a kod drugih teže. Svođenje na jednaku bazu lako je kod onih parametara čija se funkcija vrijednosti lako dade prikazati u ovisnosti o troškovima, pri čemu troškovi ne označavaju samo investicijske i pogonske troškove, nego i cijenu neizvjesnosti, nesigurnosti u ocjeni pojedinih aspekata, cijenu različitih utjecaja na okolinu itd.

Nastojalo se postići da svaka jedinica u težinskom faktoru ima težinu od 10 milijuna dinara po jediničnoj razlici u vrijednosti funkcije korisnosti. Npr. ako je težinski faktor nekog parametra 5, to znači da je lokacija s funkcijom vrijednosti 7 bolja od lokacije s funkcijom vrijednosti 3 za

$$\Delta = 5\,(7 - 3) \cdot 10 \cdot 10^6 = 200 \cdot 10^6 \text{ din.}$$

Na taj način težinski faktori za neke parametre slijede neposredno iz 3.1. (npr. za parametre 14, 17, 31, 32 i 34), a neke je lako odrediti intuitivnim putem ili metodama.

U nastavku slijede vrijednosti težinskih faktora za pojedine parametre:

Broj	Parametar	Težinski faktor
1	Krivulja naseljenosti	3,1
2	Populacijski faktor do 5 km	3,1
3	Populacijski faktor do 30 km	18,9
4	Gustoća stanovnika u najnaselj. sektoru	1,6
5	Broj naselja u zoni do 10 km	1,6
6	Broj turista	13,1
7	Indeks radioaktivne doze	3,1
8	Opće klimatske karakteristike	9,4
9	Seizmička aktivnost	3,7

10	G — vrijednost	24,6
11	Neotektonska aktivnost	7,4
12	Seizmotektonska rajonizacija	3,7
13	Mogućnost pojave likvefakcije	3
14	Mogućnost izvođenja temelja	1
15	Karakteristike s obzirom na propusnost terena	3
16	Opasnost od plavljenja	5,7
17	Opskrba rashladnom vodom	30,0
18	Opskrba pogonskom i sanitarnom vodom	1
19	Realizacija izvora vode bitne za sigurnost	1
20	Mogućnost disperzije radioak. tekućina	2
21	Kvaliteta vode	2
22	Mogućnost pojave ekstremnih meteo-prilika	2
23	Blizina aerodroma	1,5
24	Industrijski i prometni akcidenti	2,5
25	Ekološka osjetljivost lokacije	11,1
26	Nagib terena	12
27	Elevacija iznad vodene površine	7,6
28	Namjena i korištenje terena	2,7
29	Mogućnost transporta	15,0
30	Pristup cestom	5
31	Troškovi zahvata i ispusta rashl. vode	4
32	Gubici energije u mreži	26,6
33	Priključak na elektroenergetsku mrežu	10
34	Raseljavanje iz ekskluzivne zone	5
35	Utjecaj na privredne tokove uže regije	5
36	Mogućnost osiguranja kadrova	3
	UKUPNO	255,0

SPECIFIKACIJA PO GLAVNIM KRITERIJIMA
(po važnosti)

Kriterij		Tež. faktor	%
1.	Geologija i seizmika	46,4	18,2
2.	Hidrologija	40,0	15,7
3.	Elektroenergetski aspekti	36,6	14,4
4.	Naseljenost	28,3	11,1
5.	Topografija i cijena terena	28,0	10,9
6.	Transportne karakteristike	20,0	7,8
7.	Turizam	13,1	5,1
8.	Socijalno-ekonomski parametri	13,0	5,1
9.	Meteorologija	12,5	4,9
10.	Ekološka osjeljivost	11,1	4,4
11.	Ekstremne pojave	6,0	2,4
	UKUPNO	255,0	100,0

Potrebno je napomenuti da se gornja tablica kao i analize obavljene u t. 3. ne mogu gledati odvojeno od eliminacijskih kriterija danih u t. 2. Zbog toga, npr ekološki aspekt ima težinu od svega 4,4% ali to je posljedica pretpostavke da su ekološki vrlo osjetljiva područja unaprijed eliminirana prema eliminacijskom kriteriju XV.

Vidljivo je da, u skladu s pretpostavkom načinjenom o vrijednosti jedinice težinskog faktora od $10 \cdot 10^6$ dinara po jedinici promjene funkcije $U_i(x_{ij})$, ukupna razlika između idealne lokacije i one najgore moguće (a da ipak bude prihvatljiva) iznosi preko 20 milijardi dinara. Preko 60% od ove sume, dakle oko 14 milijardi dinara direktno je ekonomske prirode, a do 40% predstavlja protuvrijednost utjecaja na okolinu koji se ne da direktno ekonomski valorizirati, koji direktno ne opterećuje investitora u svakom slučaju, ali koji u određenim uvjetima zbog toga može biti i višestruko povećan. Naravno, razlike između realnih lokacija bit će znatno manje, ali je već i 10% od navedene vrijednosti vrlo značajan iznos koji pokazuje veliku opravdanost pravilnog izbora lokacije i nekih, u odnosu na gornje vrijednosti, gotovo neznatnih ulaganja.

4. ODREĐIVANJE MAKROLOKACIJA U SR HRVATSKOJ

Određivanje makrolokacija prvi je korak u procesu izbora lokacije. Pretpostavljena je referentna elektrana snage $2 \times 1\,000 MW_e$, s reaktorom lakovodnog tipa, s ulaskom prvog bloka u pogon 1994. godine, te s protočnim hlađenjem kondenzatora.

Primijenjeni su ovi eliminacijski kriteriji:

1)Količina vode za potrebe hlađenja, (odbačena su sva ona mjesta gdje nije moguće protočno hlađenje ili barem dijelom protočno hlađenje).

2) Eliminirani su svi otoci udaljeniji od kopna (kriterij XVIII).

3) Eliminirana su područja u okolici većih naseljenih mjesta (kriterij IV).

4) Eliminirana su primarna turistička područja i veći kompleksi zaštite prirode (kriterij XV).

5) Eliminirana su također topografski nepristupačna područja (kriterij XVI).

Nisu uzeta u obzir ni već istraživana područja:

— otok Vir

— Područje Zagreb — Sisak, jer se tamo predviđa gradnja NE Prevlaka

— Područje Sisak — Jasenovac jer će to područje nakon izgradnje NE Prevlake i uz TE Sisak biti toplinski već opterećeno.

Na kraju je ostalo 21 područje (makrolokacije) koje je prošlo kroz ovaj prvi i najgrublji filtar.

Tako dobivene makrolokacije obuhvaćaju manju ili veću površinu. Unutar svake makrolokacije može se već na prvom koraku identificirati jedna ili više mikrolokacija.

Budući da su u procesu vrednovanja makrolokacija neki parametri ovisni o lokalnim karakteristikama, nužno je bilo na svakoj makrolokaciji identificirati barem jednu mikrolokaciju koja ulazi u daljnju analizu. Time nije napravljena velika greška, jer na ovom nivou obrade teško može biti ustanovljena značajnija razlika između mikrolokaliteta unutar jedne makrolokacije. Tek detaljna terenska istraživanja mogu pribaviti podatke za precizno vrednovanje mikrolokacija.

U tablici I dan je popis i položaj lokaliteta koji su predviđeni za daljnju analizu. Položaj je definiran opisno, te geografskim koordinatama i najpreciznije s koordinatama Gauss-Krügerove mreže.

Od ukupno 21 lokaliteta 5 ih je na Dunavu, 7 na Savi, 2 na Dravi, 5 uz Jadransko more i jedna uz Vransko jezero.

5. ANALIZA PODATAKA

Na svim odabranim makrolokacijama obavljena je analiza relevantnih podataka za ocjenu parametara 1—36 navedenih u t. 3.

Osnova za obradu podataka o naseljenosti bio je popis stanovništva od 1971. god. Obrada je uzela u obzir sve stanovništvo u radijusu od 30 km od svake lokacije. Za svako mjesto koje se nalazi unutar 30 km od bilo koje lokacije uzete su, posredstvom karata 1:50 000, koordinate prema Gauss-Krügerovoj mreži i broj stanovnika prema popisu od 1971. godine. Na taj način su kompletirani podaci za oko 4 000 relevantnih naselja na području SR Hrvatske, SR Bosne i Hercegovine i SAP Vojvodine.

Podaci su pohranjeni u memoriju računskog stroja, a napravljen je i računski program METEOR pomoću kojeg su određeni potrebni podaci za svaku lokaciju. Program METEOR istovremeno je u stanju da obrađuje i meteorološke situacije i određuje značajke vezane za radiološku dozu primljenu od okolišnjog stanovništva.

Za lokacije uz more određeni su i podaci o broju turista dobiveni na temelju prometa turista godine 1978. Slično kao i kod rezidentalnog stanovništva tako su i podaci o broju noćenja turista prikupljeni za svako mjesto na jadranskoj obali, posebno za domaće, a posebno za inozemne goste. Dijeljenjem broja ostvarenih noćenja s 365 dobije se prosječni broj turista u toku godine. Taj broj je pridodan broju ljudi koji normalno naseljavaju dano mjesto. Turistička populacija je i posebno obrađena.

U tablici II dani su pregledno neki podaci za analizirane lokacije.

U tabl. II dani su podaci i za lokaciju naše prve »nuklearke«, Krško, i za lokaciju Vir (za lokaciju druge nuklearne elektrane u Prevlaci obrada nije napravljena zbog toga jer je teško na ovaj način valorizirati prisutnost Zagreba, čiji se jedan dio nalazi u području do 30 km, a jedan dio izvan tog područja, pa bi bila potrebna kompliciranija analiza užeg gradskog područja).

Normalno, podaci u tabl. II odnose se samo na parametre vezane uz naseljenost i iz njih se ne mogu izvlačiti opći zaključci s obzirom na kvalitetu lokacija.

Za analizu parametra br. 7 je obavljena samo obrada čestina vjetra za meteorološke stanice u blizini odabranih lokaliteta s obzirom na to da su podaci o čestinama vjetra i najbitniji (npr. za ocjenu parametra br. 7).

Uzeti su u obzir podaci s ovih meteoroloških stanica:

Varaždin	(1956—1968)	za lok. 13
Osijek	(1956—1968)	za lok. 1, 2 i 12
Ilok	(1956—1968)	za lok 5
Vukovar	(1957—1963)	za lok. 3 i 4
Sl. Brod	(1953—1972)	za lok. 10
Novska	(1969—1978)	za lok. 11 i 14
Županja	(1969—1978)	za lok. 6, 7, 8 i 9
Pula	(1956—1967)	za lok. 17 i 18
Zadar	(1956—1967)	za lok. 19
Šibenik	(1956—1967)	za lok. 15 i 16
Krk	(1969—1978)	za lok. 20 i 21.

Tablica I

POPIS POJEDINIH LOKALITETA NA PODRUČJU SR HRVATSKE

Broj lok.	Naziv	Koordinate (Greenwich)		Koordinate (Gaus-Krüger)	
		N	E	N	E
1	Apatin	45° 44′	18° 53′	5067	6569
2	Aljmaš	45° 32′	18° 53′	5043,5	6575
3	Tanja	45° 30′	19° 03′	5040,5	6582
4	Dalj	45° 27′	18° 59′	5035,8	6577
5	Opatovac	45° 16′	19° 10′	5014,5	6591
6	Gunja	44° 52′	18° 54′	4970	6574
7	Županja 1	45° 00′	18° 49′	4984,5	6563
8	Županja 2	45° 06′	18° 36′	4995	6548
9	Bosanski Šamac	45° 07′	18° 23′	4997	6530
10	Slavonski Brod	45° 07′	18° 12′	4997	6515,5
11	Gradiška	45° 12′	17° 17′	5006,5	6443,5
12	Belišće	45° 41′	18° 28′	5059,5	6536,5
13	Varaždin	45° 18′	16° 41′	5130	6398,5
14	Jasenovac	45° 17′	16° 52′	5016	6412
15	Rogoznica	43° 30′	16° 00′	4817	5581
16	Vransko jezero	43° 52′	15° 39′	4857	5552,5
17	Koromačno	44° 58′	14° 06′	4981	5429
18	Sv. Stipan	44° 52′	14° 00′	4969,5	5421
19	Rtina	44° 19′	15° 17′	4908,5	5522,5
20	Krk 1	45° 11′	14° 37′	5003	5470
21	Krk 2	45° 01′	14° 38′	4985	5470,5

Tablica II

PREGLED PODATAKA S OBZIROM NA NASELJENOST NA RAZMATRANIM LOKALITETIMA

Broj lok.	Naziv	Broj stan. unutar 30 km od lokacije	SPF — 30 km	SPF — 5 km	Broj naselja unutar 30 km	Broj naselja unutar 10 km	Gustoća nas. u najnaseljenijem oktantu st/km²	MDF — 30 km	MDF — 5 km	Ukupan broj noćenja do 30 km	Broj noćenja stranih gostiju do 30 km
1	Apatin	279 944	0,628	0,000	60	3	338	3,409	0,000	—	—
2	Aljmaš	386 864	1,306	1.685	80	6	340	5,767	55,775	—	—
2a	Aljmaš 1	385 836	0,842	0,000	79	5	340	4,218	0,000	—	—
3	Tenja	359 432	0,913	0,710	74	4	318	4,364	41,512	—	—
4	Dalj	352 094	0,954	0,624	87	6	333	4,194	30,280	—	—
5	Opatovac	274 681	0,849	0,622	89	13	180	4,974	44,700	—	—
6	Gunja	159 028	0,721	0,840	108	21	171	4,396	59,516	—	—
7	Županja 1	245 066	0,738	0,126	154	10	158	3,943	7,872	—	—
8	Županja 2	317 759	1,048	0,679	145	14	181	6,046	37,458	—	—
9	Bosanski Šamac	295 571	0,884	0,444	183	26	179	4,876	25,718	—	—
10	Slavonski Brod	278 850	0,911	0,590	222	27	195	5,013	42,683	—	—
11	Gradiška	165 814	0,637	0,301	246	37	87	3,971	21,193	—	—
12	Belišće	233 838	0,768	1,008	113	18	347	4,860	69,624	—	—
13	Varaždin	251 937	0,970	1,156	288	45	266	5,234	58,556	—	—
14	Jasenovac	131 775	0,408	0,335	215	15	69	2,399	22,421	—	—
15	Rogoznica	42 538	0,120	0,061	62	11	66	0,573	5,925	1 212 165	689 485
16	Koromačno	91 442	0,355	0304	121	15	59	2,139	21,255	2 384 545	972 725
17	Vransko jez.	111 222	0,273	0,112	215	25	174	1,849	8,489	3 088 630	2 246 575
18	Sv. Stipan	94 838	0,351	0,043	132	13	143	3,587	3,924	2 857 585	2 069 550
19	Rrtina	129 185	0,300	0,147	98	7	188	1,508	7,644	2 098 385	1 198 295
20	Krk 1	201 943	0,487	0,205	212	84	427	2,421	17,417	4 116 835	2 523 610
21	Krk 2	54 422	0,371	0,906	179	14	51	1,774	44,826	4 048 215	2 560 840
22	Krško	218 014	0,838	1,005	1047	153	148	5,024	76,495	—	—
23	Vir	96 025	0,263	0,308	71	3	192	0,837	13,181	2 301 690	1 256 330

Seizmološka istraživanja obuhvatila su najjače potrese ($M \geqq 4{,}6$ $I_0 \geqq$ VI — VII stupnjeva MCS ljestvice), njihove prostorne i energetske karakteristike. Posebno je obraćena pažnja na lokalnu seizmičku aktivnost, gdje su uzeti u obzir svi potresi, bez obzira na jačinu.

U neotektonskim istraživanjima obratila se pažnja na pripovršinske i dubinske strukturno-tektonske odnose, amplitude vertikalnih i horizontalnih pokreta, litološke karakteristike stijena i neotektonski aktivne zone i rasjede.

Utvrđivanjem odnosa između seizmoloških pojava i geoloških procesa definiran je za svako epicentralno područje seizmotektonski model da bi se ustanovila magnituda očekivanog maksimalnog regionalnog potresa i na taj način procijenili i proračunali najveći iznosi parametara učinka potresa na odabranim lokacijama.

Za osnove parametara jačine seizmičkih sila odabrani su:

— maksimalni iznos akceleracije oscilacija čestica tla
— maksimalna brzina oscilacija čestica tla i
— maksimalni iznos intenziteta učinka potresa.

Na sličan način, koliko god su to dopustili postojeći podaci, obavljena je i analiza hidroloških, hidrografskih, elektroenergetskih i svih ostalih pokazatelja relevantnih za određivanja funkcije vrijednosti za parametre 1—36 na definiranim lokalitetima.

6. REZULTATI

U tabl. III dan je sumaran pregled kvantitativne analize odabranih makrolokaliteta za 2 × 1 000 MWe. U prvom stupcu dani su parametri (1—36), a u drugom stupcu težinski faktor za svaki parametar. Stavka »ukupno« predstavlja za svaku lokaciju vrijednost $\sum_{i=1}^{36} W_i \cdot U_i$ koja je proporcionalna kvaliteti lokacije (veći $U_i \cdot W_i$ znači kvalitetniju lokaciju). Pri tom su dobiveni iznosi adekvatni milijardama starih dinara (10^7 novih dinara). Ispod stavke »Ukupno« dan je postotak ostvarene kvalitete svake lokacije u odnosu na» idealnu lokaciju«.

U donjem dijelu tabl. III dan je sumarni pregled po općim parametrima za svaku lokaciju.

U tabl. IV dana je rang-lista lokacija, te razlika u odnosu na najbolju lokaciju (u 10^7 dinara.). Radi se, naravno, o elektrani od 2 × 1 000 MWe. Vidljivo je da je razlika između najbolje i najlošije lokacije 6,86 milijardi dinara (novih). Najbolje plasirane su općenito lokacije uz Dunav (1, 2, 4, 5. i 6. po redoslijedu), a lokacije uz Savu, Dravu i uz more različito su plasirane bez posebne evidentne prednosti pojedinog vodotoka.

Najbolje plasirana lokacija je br. 4, Dalj, a najlošija br. 13, Varaždin.

Bez obzira na vrlo veliku razliku između prvoplasirane i posljednje lokacije razlike između pojedinih lokacija su gotovo beznačajne. Obrada je temeljena na uglavnom solidno obrađenim podacima

Tablica III: Kvantitativna analiza makrolokacija za nuklearne elektrane na području SR Hrvatske za 2 × 1000 MW

Lok. broj		1		2		3		4		5		6		7	
Naziv		Apatin		Aljmaš		Tanja		Dalj		Opatovac		Gunja		Županja 1	
Parametar	W_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i
1	3,1	7	21,7	4	12,4	4	12,4	4	12,4	5	15,5	5	15,5	5	15,5
2	3,1	10	31,0	10	31,0	2,9	9,0	3,8	11,8	3,8	11,8	1,6	5,0	8,7	27,0
3	18,9	6,9	130,4	5,8	109,6	5,4	102,1	5,2	98,3	5,8	109,6	6,4	121,0	6,3	119,1
4	1,6	2	3,2	2	3,2	3	4,8	2	3,2	6	9,6	6	9,6	7	11,2
5	1,6	8,7	15,5	9,4	15,0	9,6	15,4	9,4	15,0	8,7	13,9	7,9	12,6	9,0	14,4
6	13,1	10	131,0	10	131,0	10	131,0	10	131,0	10	131,0	10	131,0	10	131,0
7	3,1	6,6	20,5	5,8	18,0	5,6	17,4	5,8	18,0	5,0	15,5	5,6	17,4	6,1	18,9
8	9,4	4	37,6	4	37,6	4	37,6	4	37,0	4	37,6	4	37,6	4	37,6
9	24,6	6,9	169,7	9,4	231,2	9,4	231,2	9,4	231,2	9,3	228,8	9,5	233,7	9,4	233,7
10	3,7	5	18,5	8	29,6	8	29,6	8	29,6	8	29,6	8	29,6	8	29,6
11	7,4	5	37,0	6	44,4	6	44,4	8	59,2	7	51,8	7	51,8	8	59,2
12	3,7	5	18,5	8	29,6	8	29,6	8	29,6	8	29,6	8	29,6	8	29,6
13	3	8	24,0	8	24,0	9	27,0	9	27,0	9	27,0	6	18,0	6	18,0
14	1	5	5,0	5	5,0	5	5,0	5	5,0	10	10,0	5	5, 0	5	5,0
15	3	4	12,0	4	12,0	8	24,0	8	24,0	8	24,0	6	18,0	8	24,0
16	5,7	5	28,5	10	57,0	10	57,0	9	51,3	10	57,0	8	45,6	6	34,2
17	30,0	10	300,0	01	300,0	10	300,0	10	300,0	10	300,0	7,0	210,0	7,0	210,0
18	1	01	10,0	01	10,0	01	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0
19	1	16	6,0		6,0	6	6,0	6	6,0	1	1,0	6	6,0	6	6,0
20	2	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0
21	2	8	16,0	8	16,0	8	16,0	8	16,0	8	16,0	8	16,0	8	16,0
22	2	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0
23	1,5	10	15,0	10	15,0	10	15,0	10	15,0	10	15,0	10	15,0	10	15,0
24	2,5	5	12,5	5	12,5	5	12,5	5	12,5	5	12,5	5	12,5	5	12,5
25	11,1	5	55,5	9	99,9	9	99,9	10	111,0	9	99,9	9	99,9	9	99,9
26	12	10	120,0	3,5	42,0	10	120,0	10	120,0	10	120,0	10	120,0	10	120,0
27	7,6	01	76,0	10	86,0	10	76,0	10	76,0	0	0,0	10	76,0	10	76,0
28	2,7	9,5	25,7	10	27,0	7	18,9	7	18,9	7	21,9	8	21,6	8	21,6
29	15	9	135,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0
30	5	7,6	38,0	9,8	49,0	9,8	49,0	9,8	49,0	10	50,0	9,2	46,0	10	50,0
31	4	6,4	25,6	7,0	28,0	5,5	22,0	7,0	28,0	5,0	20,0	5,6	22,6	6,5	26,0
32	26,6	6,4	170,2	7,0	186,2	6,9	183,5	7,2	191,5	6,2	164,9	4,4	117,0	6,0	159,6
33	10	7,9	79,0	8,3	83,0	8,2	82,0	8,4	84,0	7,7	77,0	6,7	67,0	7,6	76,0
34	5	9	45,0	0	0,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0
35	5	3,9	19,5	2,5	12,0	2,5	12,5	2,5	12,5	2,2	11,0	6,3	31,5	6,3	31,5
36	3	10	30,0	10	30,0	10	30,0	10	30,0	6	16,0	1	3,0	6	18,0
Ukupno		1 923,1		1 958,7		2 050,8		2 138,6		1 956,5		1 874,9		1 976,1	
Postotak od mogućeg		75,4		76,8		80,4		83,9		76,7		73,5		77,5	
Opći param.	Maks.	Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena	
Geolog. i seizm	464	284,7		375,8		390,8		405,6		400,8		385,7		399,1	
Hodrologija	400	377,5		380,0		374,0		280,0		367,0		284,4		288,0	
Elektroenerg.	366	249,2		269,2		265,5		275,5		241,9		184,0		235,6	
Naseljenost	283	201,8		171,2		143,7		140,7		160,4		163,7		187,2	
Topografija	280	250,2		202,0		271,9		266,2		195,9		263,2		251,8	
Transport	200	173,0		184,0		184,0		184,0		185,0		181,0		185,0	
Turizam	131	131,0		131,0		131,0		131,0		131,0		131,0		131,0	
Soc-ek.	130	94,5		42,5		87,5		87,5		75,0		79,5		94,5	
Meteorologija	125	58,1		55,6		55,0		55,6		53,1		55,0		56,5	
Ekologija	111	55,5		99,9		99,9		111,0		99,9		99,9		99,9	
Ekhtrem. poj.	60	47,5		47,5		47,5		47,5		47,5		47,5		47,5	

za utjecajnije parametre, ali su ocjene pojedinih uglavnom manje značajnih parametara, zbog nedostatka potrebnih podataka i analiza vjerojatno manje precizne. Objavljene su pojedine simulacije s variranjem pojedinih parametara u razumnim granicama koje su pokazale da se zbog neizvjesnosti i nepreciznosti u ocjeni pojedinih parametara ne bi smjela pojaviti ukupna razlika veća od 500 milijuna dinara.

Zbog toga se obrađivani makrolokaliteti mogu podijeliti u slijedeće grublje kategorije, pri čemu unutar pojedine kategorije može i doći do nekih promjena u redoslijedu, ali između kategorija postoji općenito signifikantna razlika.

I kategorija — lokacije Dalj i Tanja

II kategorija — lokacije Županja, Aljmaš i Opatovac

Tablica III (nastavak)

Lok. broj		8		9		10		11		12		13		14	
Naziv		Županja 2		B. Šamac		S. Brod		Gradiška		Belišće		Varaždin		Jasenovac	
Parametar	W_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i
1	3,1	3	9,3	5	15,5	5	15,5	5	15,5	2	6,2	3	9,3	7	21,7
2	3,1	3,2	9,9	5,6	17,4	4,1	12,7	7,0	21,7	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	20,5
3	18,9	4,8	90,7	5,6	105,8	5,5	104,0	6,8	128,5	6,2	117,2	5,2	98,3	8,0	151,2
4	1,6	6	9,6	6	9,6	6	9,6	8	12,8	2	3,2	4	6,4	9	14,4
5	1,6	7,4	13,8	7,4	11,8	7,3	11,7	6,3	10,1	8,2	13,1	5,5	8,8	8,5	13,6
6	13,1	10	131,0	10	131,0	10	131,0	10	131,0	10	131,0	10	131,0	10	131,0
7	3,1	4,0	12,4	5,1	15,8	5,0	15,5	6,0	18,6	5,1	15,8	4,8	14,9	7,6	23,6
8	9,4	4	37,6	4	37,6	4	37,6	4	37,6	4	37,6	4	37,6	4	27,6
9	24,6	9,3	228,8	8,8	216,5	8,4	206,6	8,2	210,7	9,4	231,2	9,0	221,4	9,3	228,8
10	3,7	6	22,2	5	18,5	5	18,5	6	22,2	8	29,6	5	18,5	6	22,2
11	7,4	8	59,2	7	51,8	4	29,6	6	44,4	6	44,4	6	44,4	6	44,4
12	3,7	7	25,9	5	18,5	4	14,8	7	25,9	7	25,9	6	22,2	7	25,9
13	3	9	27,0	10	30,0	6	18,0	9	27,0	6	18,0	10	30,0	9	27,0
14	1	5	5,0	5	5,0	5	5,0	5	5,0	5	5,0	5	5,0	5	5,0
15	3	6	18,0	2	6,0	2	6,0	6	18,0	4	12,0	2	6,0	4	12,0
16	5,7	6	34,2	5	28,5	7	39,9	5	28,5	6	34,2	6	34,2	4	22,8
17	30,0	7	210,0	5,8	174,0	5,8	174,0	4,2	129,0	6,3	189,0	0,3	9,0	4,3	129,0
18	1	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0
19	1	10	10,0	6	6,0	6	6,0	6	6,0	6	5,0	6	6,0	6	6,0
20	2	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	8	16,0	8	16,0
21	2	5	10,0	8	16,0	8	16,0	7	14,0	8	16,0	5	10,0	7	14,0
22	2	01	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,6	10	20,0	10	20,0	10	20,0
23	1,5	10	15,0	10	15,0	10	15,0	10	15,0	10	15,0	10	15,0	10	15,0
24	2,5	5	12,5	5	12,5	5	12,5	5	12,5	10	25,0	10	25,0	10	25,0
25	11,1	7	77,7	9	99,9	9	99,9	9	99,9	7	77,7	9	99,9	9	99,9
26	12	10	120,0	10	120,0	10	120,0	10	120,0	10	120,0	10	120,0	10	120,0
27	7,6	10	76,0	10	76,0	10	76,0	10	76,0	10	76,0	10	76,0	10	76,0
28	2,7	8	21,6	8	21,6	8	21,6	8	21,6	8	21,6	9	24,3	8,5	23,0
29	15	9	135,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0	7,7	115,5	9	135,0
30	5	9,7	48,5	9,2	46,0	9,6	48,0	10	50,0	9,6	48,0	9,6	48,0	19	50,0
31	4	5,5	22,0	7,0	28,0	7,0	28,0	6,0	24,0	6,0	24,0	8,0	32,0	7,5	30,0
32	26,6	6,8	180,9	6,8	180,9	6,0	159.6	6,0	159,6	7,6	196,8	0,4	10,6	6,4	170,2
33	10	8,1	81,0	8,1	81,0	7,6	76,0	7,6	76,0	8,6	86,0	2,8	28,0	7,3	73,0
34	5	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0
35	5	6,3	31,5	5,0	25,0	6,0	25,0	6,5	32,5	4,2	21,6	6,0	30,0	5,1	25,5
36	3	6	18,0	6	18,0	8	24,0	6	18,0	10	30,0	8	24,0	6	18,0
Ukupno		1 899,2		1 869,2		1 807,6		1 832,6		1 906,5		1 452,3		1 902,1	
Postotak od mogućeg		74,5		73,3		70,9		71,9		74,8		57,0		74,6	
Opći paramet.		Maks.		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena	
Geolog i seizm.		464		386,1		346,3		298,5		344,2		366,1		306,5	365,3
Hidrologija		400		282,0		254,0		254,0		203,0		265,0		83,0	205,0
Elektroenerg.		366		261,9		261,9		235,6		235,6		282,8		38,6	243,2
Naseljenost		283		133,3		160,1		153,5		188,6		138,7		122,8	221,4
Topografija		280		251,8		246,1		257,5		246,1		251,8		254,5	241,8
Transp rt		200		183,5		181,0		183,0		185,0		183,0		163,5	185,0
Turizam		131		131,0		131,0		131,0		131,0		131,0		131,0	131,0
Soc.-ek.		130		94,5		88,0		94,0		95,5		96,0		99,0	88,5
Meteorol.		125		40,0		53,0		52,1		56,2		53,4		52,5	61,2
Ekologija		111		77,7		99,9		99,9		99,9		77,7		99,9	99,9
Ekstremne poj.		60		47,5		47,5		47,5		47,5		47,5		47,5	47,5

III kategorija — Apatin, Belišće, Jasenovac, Sv. Stipan, Županja 2, Vransko jezero, Bosanski Šamac, Gunja, Krk 2, Koromačno i Gradiška

IV kategorija — Slavonski Brod, Rogoznica i Rtina

V kategorija — Krk 1

VI kategorija — Varaždin.

Naprijed prikazani rezultati odnose se na elektranu 2 × 1 000 MW. U osnovi čini se ispravnim pretpostaviti da će se graditi po dva bloka na svakoj odabranoj lokaciji jer to za oko 15% snižava investicijske troškove. Ipak ima i značajnih prepreka takvoj koncepciji (karakteristike mreže, gubici u mreži, ekološka prihvatljivost. strateški elementi, tempo izgradnje itd.) pa, barem za prvo vrijeme razvoja nuklearne energije ne izgleda baš sigurno da će se graditi više od jednog bloka na svakoj lokaciji. Zbog toga je napravljena i analiza lokacija

Tablica III (nastavak)

Lok. broj	15		16		17		18		19		20		21	
Naziv	Rogoznica		Vransko j.		Koromačno		Sv. Stipan		Rtina		Krk 1		Krk 2	
Parametar	W_i	U_i	W_iU_j	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i
1	3,1	10	31,0	7	21,7	9	27,9	6	18,6	8	24,8	7	21,7	2	6,2
2	3,	9,4	29,1	7,0	21,7	8,9	27,6	9,6	29,6	8,5	26,4	7,9	24,5	0,9	2,8
3	18,9	9,4	177,7	8,2	155,0	8,6	162,5	8,2	155,0	8,5	160,7	7,6	143,6	8,1	153,1
4	1,6	9	14,4	9	14,4	6	9,6	7	11,2	6	9,6	0	0,0	9	14,4
5	1,6	8,9	14,2	8,5	13,6	7,5	12,0	8,7	13,9	9,3	14,9	1,6	2,6	8,6	13,8
6	13,1	8,0	104,8	6,0	78,0	4,0	52,4	4,0	52,4	7,0	91,7	1,5	19,7	0,5	6,6
7	3,1	9,4	29,1	7,9	24,5	8,2	25,4	6,4	19,8	8,5	26,4	7,6	23,6	8,2	25,4
8	9,4	7	65,0	7	65,8	7	65,8	7	65,8	7	65,8	7	65,8	7	65,8
9	24,6	0,0	0,0	4,1	100,9	9,2	226,3	9,4	231,2	0,0	0,0	−3,2	−78,7	6,9	169,7
10	3,7	1	3,7	1	3,7	6	22,2	8	29,6	5	18,5	2	7,4	3	11,1
11	7,6	3	22,2	4	29,6	7	51,8	10	74,0	4	29,6	3	22,2	4	29,6
12	3,7	2	7,4	2	7,4	6	22,2	8	29,6	5	18,5	2	7,4	4	14,8
13	3	10	30,0	10	30,0	10	30,0	10	30,0	10	30,0	10	30,0	10	30,0
14	1	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0
15	3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	6	18,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
16	5,7	10	57,0	10	57,0	10	57,0	10	57,0	10	57,0	10	57,0	10	57,0
17	30,0	10	300,0	10	300,0	10	00,0	10	300,0	10	300,0	10	300,0	10	300,0
18	1	7	7,0	10	10,0	10	10,0	8	8,0	8	8,0	9	9,0	9,5	9,5
19	1	1	1,0	1	1,0	1	1,0	1	1,0	1	1,0	1	1,0	1	1,0
20	2	8	16,0	7	14,0	8	16,0	8	16,0	8	16,0	8	16,0	8	16,0
21	2	8	16,0	8	16,0	8	16,0	8	16,0	8	16,0	8	16,0	8	16,0
22	2	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	4	8,0	4	8,0	10	20,0
23	1,5	10	15,0	10	15,0	10	15,0	10	15,0	10	15,0	10	15,0	10	15,0
24	2,5	10	25,0	10	25,0	10	25,0	10	25,0	10	25,0	1	2,5	10	25,0
25	11,1	9	99,9	9	99,9	7	77,7	9	99,9	9	99,9	10	111,0	5	55,5
26	12	7	84,0	9	108,0	6	72,0	8,7	104,4	8	96,0	8,5	102,0	10	120,0
27	7,6	9,2	69,9	10	76,0	8	60,8	10	76,0	8	60,8	6	45,6	8,8	66,9
28	2,7	9,5	25,7	9	24,3	8	21,6	9	24,3	9	24,3	9	24,3	6	16,2
29	15	9	145,0	9	145,0	9	145,0	9	145,0	9	145,0	9	145,0	9	145,0
30	5	8,4	42,0	9,2	46,0	9,6	48,0	9,2	46,0	9,8	49,0	8,6	43,0	9,6	48,0
31	4	6,4	25,6	3,0	12,0	6,6	26,4	5,3	21,2	5,5	22,0	6,8	27,2	6,0	24,0
32	26,6	5,6	149,0	6,9	183,5	2,8	74,5	2,0	53,2	5,8	154,3	9,2	244,7	7,8	207,5
33	10	6,4	64,0	7,4	74,0	2,7	27,0	1,5	15,0	6,6	66,0	9,2	9,2	7,2	72,0
34	5	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0
35	5	4,7	23,5	6,6	33,0	4,0	20,0	1,8	9,0	4,5	22,5	4,8	24,0	4,8	24,0
26	3	10	30,0	8	24,0	8	24,0	8	24,0	8	24,0	10	30,0	6	18,0
Ukupno	1 799,2		1 904,6		1 847,7		1 909,9		1 742,1		1 658,1		1 854,9		
Postotak od mogućeg	70,6		74,7		72,5		74,9		68,3		65,0		72,7		
Opći param.	Maks		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena		
Geolog. i seizm.	464		73,3		181,6		362,5		422,4		67,0		−1,7		265,2
Hidrologija	400		365,6		362,0		369,4		362,2		363,4		369,2		366,5
Elektroenerg.	366		213,0		257,5		101,5		68,2		220,3		236,7		279 5
Naseljenost	283		266,4		226,4		239,6		228 5		236 4		192 4		190 0
Topografija	280		236,6		265,3		211,4		261 7		238 1		228 9		260 1
Transport	200		187,0		181,0		193,0		191 0		194 0		188 0		193 0
Turizam	131		104,8		78,8		52,4		52 6		91 7		19 7		6 6
Soc.-ek.	130		98,5		102,0		89,0		78 0		91,0		99,0		87,0
Mateorologija	125		94,0		90,3		91,2		85,6		92,2		89,4		91,2
Ekologija	111		99,9		99,9		77,7		99,9		99,9		111,0		55,5
Ekstremne poj.	60		60,0		60,0		60,0		60,0		48,0		25,5		60,0

pod pretpostavkom da će se instalirati samo jedan blok od 1 000 MW. Ovo je proizvelo određene promjene u težinskim faktorima za pojedine parametre kao i u funkciji korisnosti. Rezultati su sistematizirani u tab. V, a u tab. VI dan je redoslijed lokacija kao i relativno zaostajanje u odnosu na prvoplasiranu lokaciju u 10^7 dinara.
Vidi se da je i ovdje lokalitet Dalj zauzeo prvo mjesto, ali su razlike između prvih nekoliko lokacija relativno male. Opaža se da su lokacije na Savi bolje plasirane a lokacije na moru lošije nego u obradi 2 × 1 000 MW. Na začelju nije bilo promjene, lokacije Krk 1 i Varaždin su i ovdje posljednje.

Uz moguće nepreciznosti i neizvjesnosti u vrednovanju koje su ocijenjene sa $30 \cdot 10^7$ dinara mogu se formirati slijedeće kategorije:

I kategorija: Dalj, Županja, Jasenovac i Tenja

Rangiranje lokacija po svim parametrima za $2 \times 1000\ MW_e$

Tablica IV

Rang	Lokacija	Broj	Vodotok	Razlika u odnosu na najbolju lok. u 10^7 din	Postotak od idealne lok.
1	Dalj	4	Dunav	0,0	83,9
2	Tanja	3	Dunav	87,8	80,4
3	Županja 1	7	Sava	162,5	77,5
4	Aljmaš	2	Dunav	179,9	76,8
5	Opatovac	5	Dunav	182,1	76,7
6	Apatin	1	Dunav	215,5	75,4
7	Belišće	12	Drava	222,1	75,2
8	Jasenovac	14	Sava	226,5	75,0
9	Sv. Stipan	18	Jadran	228,7	74,9
10	Županja 2	8	Sava	229,4	74,9
11	Vransko jezero	16	Vransko jezero	234,0	74,7
12	Bosanski Šamac	9	Sava	259,4	73,7
13	Gunja	6	Sava	263,7	73,5
14	Krk 2	21	Jadran	283,7	72,7
15	Koromačno	17	More	290,9	72,5
16	Gradiška	11	Sava	296,0	72,3
17	Slavonski Brod	10	Sava	321,0	71,3
18	Rogoznica	15	Jadran	339,4	70,6
19	Rtina	19	More	356,9	68,3
20	Krk 1	20	More	480,5	65,0
21	Varaždin	13	Drava	686,3	57,0

II kategorija: Belišće, Gradiška, B. Šamac i Županja 2

III kategorija: Gunja, S. Brod, Rtina i Opatovac

IV kategorija: Aljmaš, Vransko jezero i Apatin

V kategorija: Sv. Stipan

VI kategorija: Rogoznica, Koromačno, Krk2, Krk 1 i Varaždin

Na kraju potrebno je podsjetiti da na naprijed navedene lokacije nisu u prvom dijelu obrade primijenjeni svi eliminacijski kriteriji, nego samo oni koji su se na osnovi konkretnih podataka mogli precizno definirati. Definitivna primjena svih predloženih eliminacijskih kriterija mogla bi uslijediti tek nakon opsežnih terenskih istraživanja, što bi moglo eliminirati poneku od lokacija.

Naročito bi mogla biti fatalna za neke lokacije primjena eliminacijskog kriterija vezanog za blizinu aktivnih rasjeda. Velika je vjerojatnost da bi na taj način otpale lokacije Rogoznica (br. 15) i Krk 1 koje su u neposrednoj blizini vrlo aktivnog regionalnog rasjeda. Slična bi sudbina mogla zadesiti i lokaciju br. 19 (Rtina), a također i lokaciju br. 5 (Opatovac) ako se rasjedi u njihovoj neposrednoj blizini definiraju kao aktivni, pri čemu bi definiciju aktivnog rasjeda trebalo precizirati kroz odgovarajuće akte, bilo da se preuzme međunarodna praksa, bilo da se pokuša pronaći rješenje za naše specifične prilike. Lokacije 2 i 3 (Aljmaš i Tanja) također se nalaze neposredno uz manje rasjede, ali koje bi također trebalo istražiti. Također su i neke druge lokacije vjerojatno ugrožene na sličan način. Detaljna analiza ovog problema (na temelju specifičnih i opsežnih terenskih i laboratorijskih istraživanja) vjerojatno bi osim eliminiranja nekih lokacija donijela i neke promjene u redoslijedu jer bi se neki parametri vezani uz geološke i seizmičke karakteristike sigurno promijenili. Lokacije br. 1, 4, 6, 7, 8, 18, a vjerojatno i 17 (Apatin, Dalj, Gunja, Županja1, Županja 2, Sv. Stipan, te Koromačno) čini se da su s obzirom na taj problem najstabilnije pa se može očekivati da bi se njihove pozicije mogle nešto i popraviti.

ZAKLJUČAK

Na kraju može se u zaključku konstatirati:

1) Analiza je provedena na bazi predloženih kriterija temeljenih uglavnom na svjetskoj praksi i iskustvu, uz korištenje onih podataka koji postoje ili se mogu dobiti bez specijalnih istraživanja na terenu. Pri tome je veća pažnja poklonjena obradi onih parametara koji imaju veći utjecaj u procesu vrednovanja, a manja pažnja obradi onih parametara koji imaju manji utjecaj.

2) Pokazalo se da uz pretpostavku o instaliranju $2 \times 1\,000$ MW na jednoj lokaciji apsolutnu prednost imaju lokacije na Dunavu, dok su ostala područja (Sava, Donja Drava i Jadran) općenito podjednaka.
Pri instaliranju samo jednog bloka područja u unutrašnjosti općenito se mogu pokazati pogodnijim nego ona uz more.

3) Od pojedinačnih lokaliteta naročito se ističu lokacije Dalj i Tanja (br. 4 i 3) na Dunavu, te lokacija Županja 1 (br 7) na Savi. U jadranskom pojasu čini se da su najbolja područja uz lok. 16 (Vransko jezero) i 18 (Sv. Stipan). U području centralnog dijela republike čini se da lokacija br. 14 (Jasenovac) ima određene komparativne prednosti pred lokacijom 11 (Gradiška) i naročito pred lokacijom

Kvantitativna analiza makrolokacija za nuklearne elektrane u SR Hrvatskoj za 1 × 1000 MW

Tablica V

Lok. broj	1		2		3		4		5		6		7	
Naziv	Apatin		Aljmaš		Tanja		Dalj		Opatovac		Gunja		Županja 1	
Parametar	W_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i
1	1,6	7	11,2	4	6,4	4	6,4	4	6,4	5	8,0	5	8,0	5	8,0
2	1,6	10	16,0	10	16,0	2,9	4,6	3,8	6,1	3,8	6,1	1,6	2,6	8,7	13,9
3	9,4	6,9	64,0	5,8	54,5	5,4	50,8	5,2	48,9	5,8	54,5	6,4	60,2	6,3	59,2
4	0,8	2	1,6	2	1,6	3	2,4	2	1,6	6	4,8	6	4,8	7	5,6
5	0,8	9,7	7,8	9,4	7,5	9,6	7,7	9,4	7,5	8,7	7,0	7,9	6,3	9,0	7,2
6	13,1	10	131,0	10	131,0	10	131,0	10	131,0	10	131,0	10	131,0	10	131,0
7	1,5	6,6	9,9	5,8	8,7	5,6	8,4	5,8	8,7	5,0	7,5	5,6	8,4	6,1	9,2
8	4,7	4	18,8	4	18,8	4	18,8	4	18,8	4	18,8	4	18,8	4	18,8
9	12,3	6,9	84,9	9,4	115,6	9,4	115,6	9,4	115,6	9,3	114,4	9,5	116,9	9,5	116,9
10	1,8	5	9,0	8	14,4	8	14,4	8	14,4	8	14,4	8	14,4	8	14,4
11	3,7	5	18,5	6	22,2	6	22,2	8	29,6	7	25,9	7	25,9	8	29,6
12	1,9	5	9,5	8	14,2	8	15,2	8	15,2	8	15,2	8	15,2	8	15,2
13	2	8	16,0	8	16,0	9	18,0	9	18,0	9—	18,0	6	12,0	6	12,0
14	0,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	10	5,0	5	2,5	5	2,5
15	1,5	4	6,0	4	6,0	8	12,0	8	12,0	8	12,0	6	9,0	8	12,0
16	3,8	5	19,0	10	38,0	10	38,0	9	34,2	10	38,0	8	30,4	6	22,8
17	15,0	10	150,0	10	150,0	10	150,0	10	150,0	10	150,0	10	150,0	10	150,0
18	1	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0
19	1	6	6,0	6	6,0	6	6,0	6	6,0	1	1,0	6	6,0	6	6,0
20	1	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0
21	1	8	8,0	8	8,0	8	8,0	8	8,0	8	8,0	8	8,0	8	8,0
22	2	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0
23	0,8	10	8,0	10	8,0	10	8,0	10	8,0	10	8,0	10	8,0	10	8,0
24	2,5	5	12,5	5	12,5	5	12,5	5	12,5	5	12,5	5	12,5	5	12,5
25	11,1	5	55,5	9	99,9	9	99,9	10	111,0	9	99,9	9	99,9	9	99,9
26	8	10	80,0	3,5	28,0	10	80,0	10	80,0	10	80,0	10	80,0	10	80,0
27	5,1	10	51,0	10	51,0	10	51,0	10	51,0	0	0,0	10	51,0	10	51,0
28	1,8	9,5	17,1	10	18,0	7	12,6	7	12,6	7	12,6	8	14,4	8	14,4
29	15,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0
30	5	7,6	38,0	9,8	49,0	9,8	49,0	9,8	49,0	10	50,0	9,2	46,0	10	50,0
31	2	6,4	12,8	7,0	14,0	5,5	11,0	7,0	14,0	5,0	10,0	5,6	11,2	6,5	13,0
32	13,3	6,4	85,1	7,0	93,1	6,9	91,8	7,2	95,8	6,2	82,5	4,4	58,5	6,0	79,8
33	6,7	7,9	52,9	8,3	55,6	8,2	54,9	8,4	56,3	7,7	51,6	6,7	44,9	7,6	50,9
34	5	9	45,0	0	0,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0
35	5	3,9	19,5	2,5	12,5	2,5	12,5	2,5	12,5	2,2	11,0	6,3	31,5	6,3	31,5
36	3	10	30,0	10	30,0	10	30,0	10	30,0	6	18,0	1	3,0	6	18,0
Ukupno	1 273,0		1 285,0		1 365,2		1 386,4		1 295,7		1 311,3		1 371,3	
Postotak od mogućeg	76,5		77,3		82,1		83,4		77,9		78,8		82,5	
Opći paramet.	Maks.		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena	
Geolog. i seizm.	237		146,4		191,9		199,9		207,3		204,9		195,9	202,6
Hidrologija	210		196,8		198,0		195,0		189,0		189,0		195,2	198,0
Elektroenerg.	200		138,0		148,7		146,7		151,1		134,5		103,4	130,7
Naseljenost	142		101,5		86,0		71,9		70,5		80,4		81,9	93,9
Topografija	187		167,1		135,0		181,6		177,8		130,6		175,8	168,2
Transport	200		173,0		184,0		184,0		184,0		185,0		181,0	185,0
Meteorol.	62		28,7		27,5		27,2		27,5		26,3		27,2	28,0
Turizam	131		131,0		131,0		131,0		131,0		131,0		131,0	131,0
Soc.-ek.	130		94,5		42,5		87,5		87,5		74,0		79,5	94,5
Ekologija	111		55,5		99,9		99,9		99,9		99,9		99,9	99,9
Ekstremne poj.	53		40,5		40,5		40,5		40,5		40,5		40,5	40,5

Tablica V (nastavak)

Lok. broj		8		9		10		11		12		13		14	
Naziv		Županja 2		B. Šamac		S. Brod		B. Gradiška		Varaždin		Jasenovac		Belišće	
Parametar	W_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i
1	1,6	3	5,4	5	8,0	5	8,0	5	8,0	2	3,2	3	5,7	7	11,2
2	1,6	3,2	5,1	5,6	9,0	4,1	6,6	7,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	10,6
3	9,4	4,8	45,1	5,6	52,6	5,5	51,7	6,8	63,9	6,2	58,3	5,2	48,9	8,0	75,2
4	0,8	6	4,8	6	4,8	6	4,8	8	6,4	2	1,6	4	3,2	9	7,2
5	0,8	8,6	6,9	7,4	7,3	7,3	5,8	6,3	5,0	8,2	6,6	5,5	4,4	8,5	6,8
6	13,1	10	131,0	10	131,0	10	131,0	10	131,0	10	131,0	10	131,0	10	131,0
7	1,5	4,0	6,0	5,1	7,7	5,0	7,5	6,0	9,0	5,1	7,7	4,8	7,2	7,6	11,4
8	4,7	4	18,8	4	18,8	4	18,8	4	18,8	4	18,8	4	18,8	4	18,8
9	12,3	9,3	114,8	8,8	108,2	8,4	103,3	8,2	100,9	9,4	115,6	9,0	110,7	9,3	114,4
10	1,8	6	10,8	5	9,0	5	9,0	6	10,8	8	14,4	5	9,0	6	10,8
11	3,7	8	29,6	7	25,9	4	14,8	6	22,2	6	22,2	6	22,2	6	22,2
12	1,9	7	13,3	5	9,5	4	7,6	7	13,3	7	13,3	6	11,4	7	13,3
13	2	9	18,0	10	20,0	6	12,0	9	18,0	6	12,0	10	20,0	9	18,0
14	0,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5
15	1,5	6	9,0	2	3,0	2	3,0	6	9,0	4	6,0	2	3,0	4	6,0
16	3,8	6	22,8	4	15,2	7	26,6	5	19,0	6	22,8	6	22,8	4	15,2
17	15,0	10	150,0	10	150,0	10	150,0	9,4	141,0	10	150,0	8,0	120,0	9,4	141,0
18	1	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0
19	1	10	10,0	6	6,0	6	6,0	6	6,0	6	6,0	6	6,0	6	6,0
20	1	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0	8	8,0	8	8,0
21	1	5	5,0	8	8,0	8	8,0	7	7,0	8	8,0	5	5,0	7	7,0
22	2	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0
23	0,8	10	8,0	10	8,0	10	8,0	10	8,0	10	8,0	10	8,0	10	8,0
24	2,5	5	12,5	5	12,5	5	12,5	5	12,5	10	25,0	10	25,0	10	25,0
25	11,1	7	77,7	9	99,9	9	99,9	9	99,9	7	77,7	9	99,9	9	99,9
26	8	10	80,0	10	80,0	10	80,0	10	80,0	10	80,0	10	80,0	10	80,0
27	5,1	10	51,0	10	51,0	10	51,0	10	51,0	10	51,0	10	51,0	10	51,0
28	1,8	8	14,4	8	14,4	8	14,4	8	14,4	8	14,4	9	16,2	8,5	15,3
29	15,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0
30	5	9,7	48,5	9,2	46,0	9,6	48,0	10	50,0	9,6	48,0	9,6	48,0	10	50,0
31	2	6,5	13,0	7,0	14,0	7,0	14,0	6,0	12,0	6,0	12,0	8,0	16,0	7,5	15,0
32	13,3	6,8	90,4	6,8	90,4	6,0	79,8	6,0	79,8	7,6	101,1	0,4	5,3	6,4	85,1
33	6,7	8,1	54,3	8,1	54,3	7,6	50,9	7,6	50,9	8,6	57,6	2,8	18,8	7,3	48,9
34	5	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0
35	5	6,3	31,5	5,0	25,0	5,0	25,0	6,5	32,5	4,2	21,0	6,0	30,0	5,1	25,5
36	3	6	18,0	6	18,0	8	24,0	6	18,0	10	30,0	8	24,0	6	18,0
Ukupno		1 327,8		1 328,6		1 304,5		1 332,0		1 345,8		1 172,2		1 368,3	
Postotak od mogućeg		79,8		79,9		78,4		80,1		80,9		70,5		82,3	
Opći paramet.		Maks.		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena	
Geolog. i seizm.		237		197,6		178,1		152,2		176,7		186,0		178,8	
Hidrologija		210		198,0		198,0		198,0		186,0		198,0		165,0	
Elektroenerg.		200		144,7		144,7		130,7		130,7		158,7		24,1	
Naseljenost		142		67,3		80,3		76,9		94,5		69,7		61,9	
Topografija		187		168,2		160,6		172,0		164,4		168,2		170,0	
Transport		200		188,5		181,0		183,0		185,0		183,0		183,0	
Meteorolog.		62		24,8		26,5		26,3		27,8		26,0		26,0	
Turizam		131		131,0		131,0		131,0		131,0		131,0		131,0	
Soc.-ek.		130		94,5		88,0		94,0		95,5		96,0		99,0	
Ekologija		111		77,7		99,9		99,9		99,9		77,7		99,9	
Ekstremne poj.		53		40,5		40,5		40,5		40,5		53,7		53,0	

Tablica V (nastavak)

Lok. broj		15		16		17		18		19		20		21	
Naziv		Rogoznica		V. jezero		Koromačno		Sv. Stipan		Rtina		Krk 1		Krk 2	
Parametar	W_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i	U_i	W_iU_i
1	1,6	10	16,0	7	11,2	9	14,4	6	9,6	8	12,8	6	11,2	2	3,2
2	1,6	9,4	15,0	7,0	11,2	8,9	14,2	9,6	15,4	8,5	13,6	7,9	12,6	0,9	1,4
3	9,4	9,4	88,4	8,2	77,1	8,6	80,8	8,2	77,1	8,5	79,9	7,6	71,4	8,1	76,1
4	0,8	9	7,2	9	7,2	6	4,8	7	5,6	6	4,8	0	0,0	9	7,2
5	0,8	8,9	7,1	8,5	6,8	7,5	6,0	8,7	7,0	9,3	7,4	1,6	1,3	8,6	6,9
6	13,1	8,0	104,8	6,0	78,6	4,0	52,4	4,0	52,4	7,0	91,7	1,5	19,7	9,5	6,6
7	1,5	9,4	14,1	7,9	11,9	8,2	12,3	6,4	9,6	8,5	12,8	7,6	11,4	8,2	12,3
8	4,7	7	32,9	7	32,9	7	32,9	7	32,9	7	32,9	7	32,9	7	42,9
9	12,3	0,0	0,0	4,1	50,4	9,2	113,2	9,4	115,6	0,0	0,0	3,2	39,4	6,9	84,9
10	1,8	1	1,8	1	1,8	6	10,8	8	14,4	5	9,0	2	3,6	3	5,2
11	3,7	3	11,1	4	14,8	7	25,9	10	37,0	4	14,8	3	11,1	4	14,8
12	1,9	2	3,8	2	3,8	6	11,4	8	15,2	5	9,5	2	3,8	4	7,6
13	2	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0
14	0,5	10	5,0	10	5,0	10	5,0	10	5,0	10	5,0	10	5,0	10	5,0
15	1,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
16	3,8	10	38,0	10	38,0	10	38,0	10	38,0	10	38,0	10	38,0	10	28,0
17	15,0	10	150,0	10	150,0	10	150,0	10	150,0	10	150,0	10	150,0	10	150,0
18	1	7	7,0	10	10,0	10	10,0	8	8,0	8	8,0	9	9,0	9,5	9,5
19	1	1	1,0	10	10,0	1	1,0	1	1,0	1	1,0	1	1,0	1	1,0
20	1	8	8,0	7	7,0	8	8,0	8	8,0	8	8,0	8	8,0	8	8,0
21	1	8	8,0	8	8,0	8	8,0	8	8,0	8	8,0	8	8,0	8	8,0
22	2	10	20,0	10	20,0	10	20,0	10	20,0	4	8,0	4	8,0	10	20,0
23	0,8	10	8,0	10	8,0	10	8,0	10	8,0	10	8,0	10	8,0	10	8,0
24	2,5	10	25,0	10	25,0	10	25,0	10	25,0	10	25,0	1	2,5	10	25,0
25	11,1	9	99,9	9	99,9	7	77,7	9	99,9	9	99,9	10	111,0	5	55,5
26	8	7	56,0	9	72,0	6	48,0	8,7	69,6	8	64,0	8,5	68,0	10	80,0
27	5,1	9,2	46,9	10	51,0	8	40,8	10	51,0	8	40,8	6	30,6	8,8	44,9
28	1,8	9,5	17,1	9	16,2	8	14,4	9	16,2	9	16,2	9	16,2	6	10,8
29	1	29	15,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0	9	135,0	9	145,8	9	235,0
30	5	8,4	42,0	9,2	46,0	96	48,0	9,2	46,0	9,8	49,0	8,6	43,0	9,6	48,0
31	2	6,4	12,8	3,0	6,0	6,6	13,2	5,3	10,6	5,5	11,0	6,8	13,6	6,0	12,0
32	13,3	5,6	74,5	6,9	91,8	2,8	37,2	2,0	26,6	5,8	77,1	9,2	122,4	7,8	103,7
33	6,7	6,4	42,9	7,4	49,6	2,7	18,1	1,5	10,1	6,6	44,2	9,2	61,6	7,2	48,2
34	5	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0	9	45,0
35	5	4,7	23,5	6,6	33,0	4,0	20,0	1,8	9,0	4,5	22,5	4,8	24,0	4,8	24,0
36	3	10	30,0	8	24,0	8	24,0	8	24,0	8	24,0	10	30,0	6	18,0
Ukupno		1 199,8		1 278,2		1 193,3		1 232,8		1 295,9		1 176,3		1 176,7	
Postotak od mogućeg		72,1		76,9		71,8		74,1		77,9		70,7		70,8	
Opći paramet.	Maks.	Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena		Ocjena	
Geolog i seizm.	237	41,7		78,6		184,3		216,2		58,3		82,9		137,5	
Hidrologija	210	186,8		191,0		1882,		185,6		186,0		189,6		188,5	
Elektroenerg.	200	117,4		141,4		55,3		36,7		121,3		184,0		151,9	
Naseljenost	142	133,7		106,3		120,2		114,7		118,5		96,5		94,8	
Topografija	187	158,0		177,2		141,2		174,8		159,0		152,8		173,7	
Transport	200	177,0		181,0		183,0		181,0		184,0		178,0		183,0	
Meteorolog.	62	47,0		44,8		45,2		42,5		45,7		44,3		45,2	
Turizam	131	104,8		78,6		52,4		52,4		91,7		19,7		6,6	
Soc.-ek.	130	98,5		102,0		89,0		78,0		91,5		99,0		87,0	
Ekologija	111	99,9		99,9		77,7		99,9		99,9		111,0		55,5	
Ekstrem. poj.	53	53,0		53,0		53,0		53,0		41,0		18,5		53,0	

Rangiranje lokacija na svim parametrima za 1 x 1000 MW

Tablica VI

Rang	Lokacija	Broj	Vodotok	Razlika u odnosu na najbolju lok. u 10^7 din	Rang pri analizi 2 x 1000MW
1	Dalj	4	Dunav	0,0	1
2	Županja 1	7	Sava	15,1	3
3	Jasenovac	14	Sava	18,1	8
4	Tanja	3	Dunav	21,2	2
5	Belišće	12	Drava	40,6	7
6	Gradiška	11	Sava	54,4	16
7	Bosanski Šamac	9	Sava	57,8	12
8	Županja 2	8	Sava	58,6	10
9	Gunja	6	Sava	75,1	13
10	Slavonski Brod	10	Sava	81,9	17
11	Rtina	19	More	90,5	19
12	Opatovac	5	Sava	90,7	5
13	Aljmaš	2	Dunav	101,4	4
14	Vransko jezero	16	Vransko jezero	108,2	11
15	Apatin	1	Dunav	113,4	6
16	Sv. Stipan	18	Jadran	153,6	9
17	Rogoznica	15	Jadran	186,6	18
18	Koromačno	17	Jadran	193,1	15
19	Krk 2	21	Jadran	209,7	14
20	Krk 1	20	Jadran	210,1	20
21	Varaždin	13			

13 (Varaždin), osobito ako se predviđa instaliranje samo jednog bloka. Na gornjim lokacijama predlažu se i daljnja istraživanja, što bi s već djelomično istraženim lokalitetima Prevlaka i Vir bio dovoljan fond lokacija za definitivno lociranje nuklearnih elektrana u sklopu programa razvoja nuklearne energetike u SR Hrvatskoj, barem za period do 2000. godine.

Naravno, ovo ne znači da i eventualna daljnja istraživanja i na ostalim lokalitetima ne bi bila poželjna, barem u manjem opsegu.

4) Osjeća se velika potreba za precizno definiranom tehničkom regulativom vezanom za ove probleme, naročito iz područja geologije i seizmike. Potrebno bi bilo za ovo područje precizirati određenim pravilnicima ne samo uvjete koje svaka lokacija treba da ispunjava, nego i metodologiju nužnih istraživanja, način donošenja potrebnih zaključaka, stupanj konzervativnosti u obradi podataka i metodologiju ocjene rizika i utjecaja na okolinu.

SITE ANALYSES FOR NUCLEAR POWER PLANTS (II)

Some basic methods for site evaluation and estimation are described amereliminative criteria and parameters are defined as well as way of for determination of benefit function and weight factors for given parameters. Methodology is applied for territory of SR Croatia.

Naslov pisca:
mr Niko Malbaša, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

PROBLEMATIKA ELEKTRANA NA TEKUĆE GORIVO U SR HRVATSKOJ S POSEBNIM OSVRTOM NA PLINSKU TE »JERTOVEC«

Tomislav Pavlović, Zagreb

UDK 621.311.22

Obrađuje nastojanje da se postojeće elektrane na tekuće gorivo, izgrađene u SR Hrvatskoj, što racionalnije iskoriste. Posebno je razmatrana problematika PTE JERTOVEC, koja bi gradnjom uređaja za pročišćavanje goriva mogla trošiti i jeftinije srednje teško ulje, a ujedno bi se postrojenje znatno bolje sačuvalo od trošenja bez posljedice visokotemperaturne korozije.

1. PROBLEMI TERMOELEKTRANA NA TEKUĆE GORIVO I IZGLEDI ZA NJIHOVO RJEŠENJE

Kriza tekućih goriva koja iz godine u godinu postaje sve izrazitija, sve više i teže pogađa one zemlje koje moraju uvoziti takvu vrstu nosilaca energije. Pogođene su i one zemlje, koje imaju pozitivan uvozno-izvozni saldo, a još više one koje taj saldo imaju negativan. Sve se više deviznih sredstava mora odvajati za uvoz tekućih goriva, jer brza preorijentacija na neku drugu vrstu energije niti je u potpunosti moguća, a niti je brzo provediva. A cijena tekućih goriva na svjetskom tržištu raste takvom brzinom da obara sve prognoze i svaku zakonitost porasta vrijednosti uobičajenu za neko materijalno dobro.

Posljednja dva desetljeća svijet je bio navikao da ima, stvorio je određene navike u svom načinu života, u kojemu je tekuće gorivo odigralo značajnu ulogu. Danas, a sutra više nego danas, sve više konstatiramo da ne mora biti da ima, već može i da nema, suočavamo se sve više na svakom koraku s imperativom racionalnog pristupa u trošenju svakog materijalnog dobra, posebno pak tekućih goriva. Ovo posebno vrijedi i ima posebno značenje za elektroprivredu SRH, koja je u godinama obilja tekućih goriva i njihove relativno niske cijene izgradila nekoliko termoelektrana na tekuće gorivo. Zbog te činjenice danas je u situaciji da ne može znati a ni garantirati sigurnu opskrbu potrošača električnom energijom. U tom razdoblju izgrađene su ove termoelektrane:

1.	TE »Sisak«	2 x 200 MW	mazut (srednje teško ulje)
2.	TE Rijeka	1 x 320 MW	mazut (srednje teško ulje)
3.	»TE-TO« Zgb	2 x 32 MW	mazut (srednje teško ulje)
4.	PTE »Osijek«	2 x 29 MW	plin — ekstra lako ulje
5.	PTE Jertovec	2 x 44 MW	ekstra lako ulje — plin
6.	»EL-TO« Zgb	1 x 10 MW	mazut (srednje teško ulje)

Iako je kriza tekućih goriva već bila uzela maha, donesena je odluka za gradnju ovih blokova:

7.	»TE-TO« Zgb	1 x 110 MW
8.	»EL-TO« Zgb	1 x 32 MW

Ta dva bloka izgrađena su prvenstveno zbog podmiranje toplinskih potrošača na području Zagreba, dok im je funkcija proizvodnje električne energije od sekundarne važnosti. Iako se je tada već znalo da predstoje poteškoće, kako u pogledu osiguranja potrebnih količina goriva, tako isto i u pogledu cijene, alternativa nije bilo. Blokovi su morali biti građeni u centru toplinskog konzuma, a jedino momentano moguće gorivo bio je mazut.

Da bi se smanjio potrošak tekućih goriva u ovim termoelektranama, razmišlja se o nizu zahvata. Tako je npr. u toku akcija da se bitno smanji tehnički minimum blokova u TE Sisak, koji je sada vrlo visok. U tom smislu poduzimaju se akcije i izrađuje se projekt. Može se očekivati da će za nekoliko godina biti i realiziran. Vrlo ozbiljno se razmišlja i o preorijentaciji TE Rijeka s tekućeg goriva na kruto, koje na svjetskom tržištu nije tako deficitarno, a osim toga je i znatno jeftinije, a i ubuduće se ne očekuje tako velik porast njegove cijene kao kod tekućeg goriva.

Kod PTE Jertovec imamo posebno specifičnu situaciju. Kupljena je u vrijeme relativno niske cijene tekućih goriva, tako da ni cijena ekstra lakog ulja, koje je bilo predviđeno za njezin pogon nije bila osobito visoka. Kada je izgradnja za-

vršena, cijena ekstra lakog ulja bila je znatno viša, a osim toga ekstra lako ulje nije ni kvalitetom zadovoljilo uvjete tražene od isporučioca turbina. Zbog te posebnosti prikaz koji slijedi pozabavit će se malo detaljnije problematikom PTE Jertovec, i to sa stajališta njezine moguće uloge u elektroenergetskom sistemu SRH u idućem razdoblju.

2. PLINSKA TE JERTOVEC I NJEZINA ULOGA U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU SR HRVATSKE

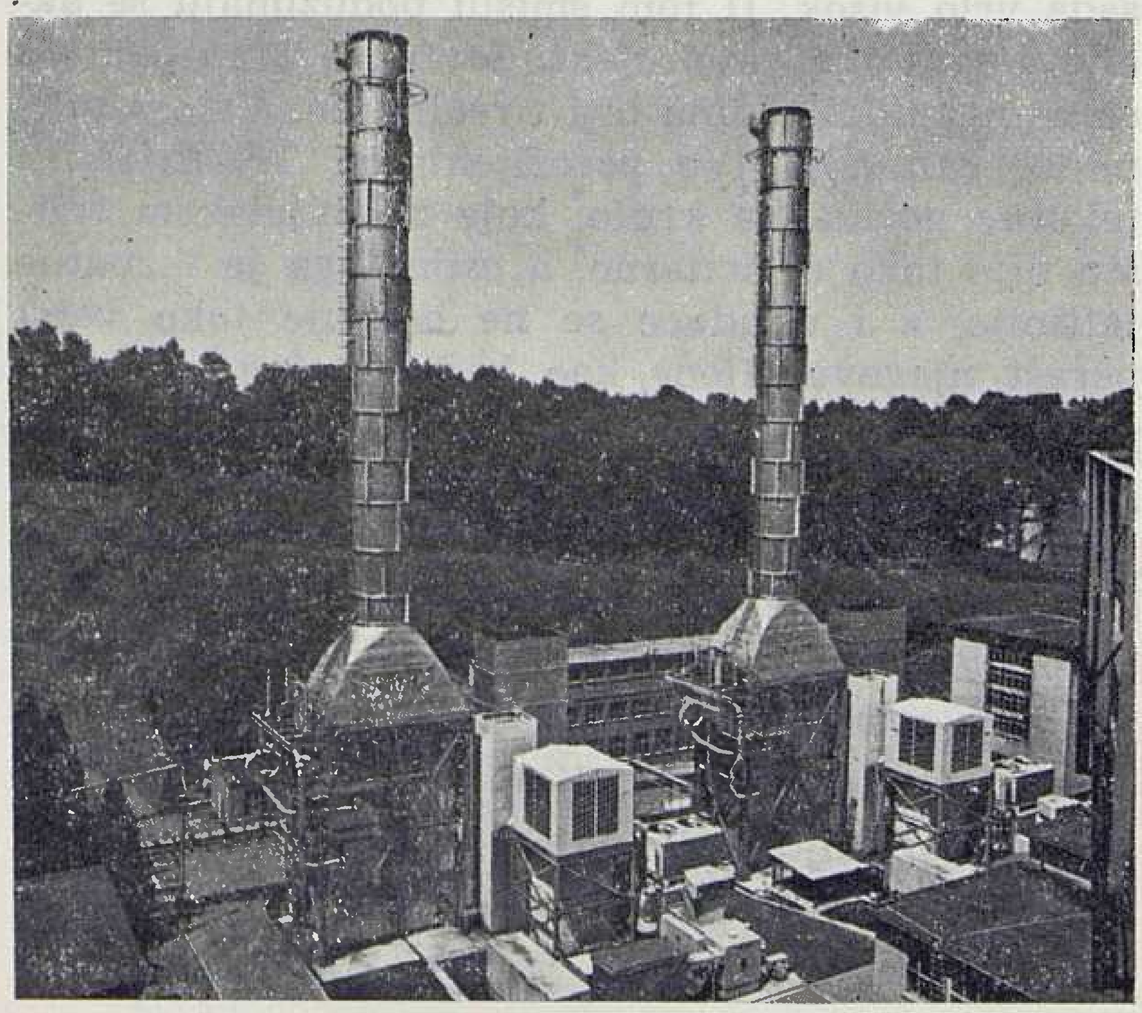
UVOD

Termoelektrana Jertovec smještena je u središtu konzuma regije Zagreb i dobro je povezana s elektroenergetskim sistemom preko 110 kV mreže. Osim toga ima značajan stručni kadar. Ova elektrana zbog starosti postrojenja, a time i relativno velikog specifičnog potroška goriva (iako su kotlovi preuređeni za spaljivanje mazuta), od 1972. godine nije bila znatnije angažirana u proizvodnji električne energije. Sve ovo što je navedeno bilo je značajno u donošenju odluke o lokaciji plinskih turbina koje su se namjeravale kupiti, iako na tom području nema nikakvih izvora plina. Očito je da se nije mislilo samo na plin kao pogonsko sredstvo za turbine, već se računalo i s ekstra lakim uljima, odnosno benzinima niže oktanske vrijednosti.

Od same ideje da se u TE Jertovec postave dvije plinske turbine, pa do realizacije prošlo je 4-5 godina. U času donošenja odluke o izgradnji, elektroenergetska situacija u SR Hrvatskoj i njezini izgledi za neposrednu budućnost izgledali su bitno drukčije od onih koje danas imamo.

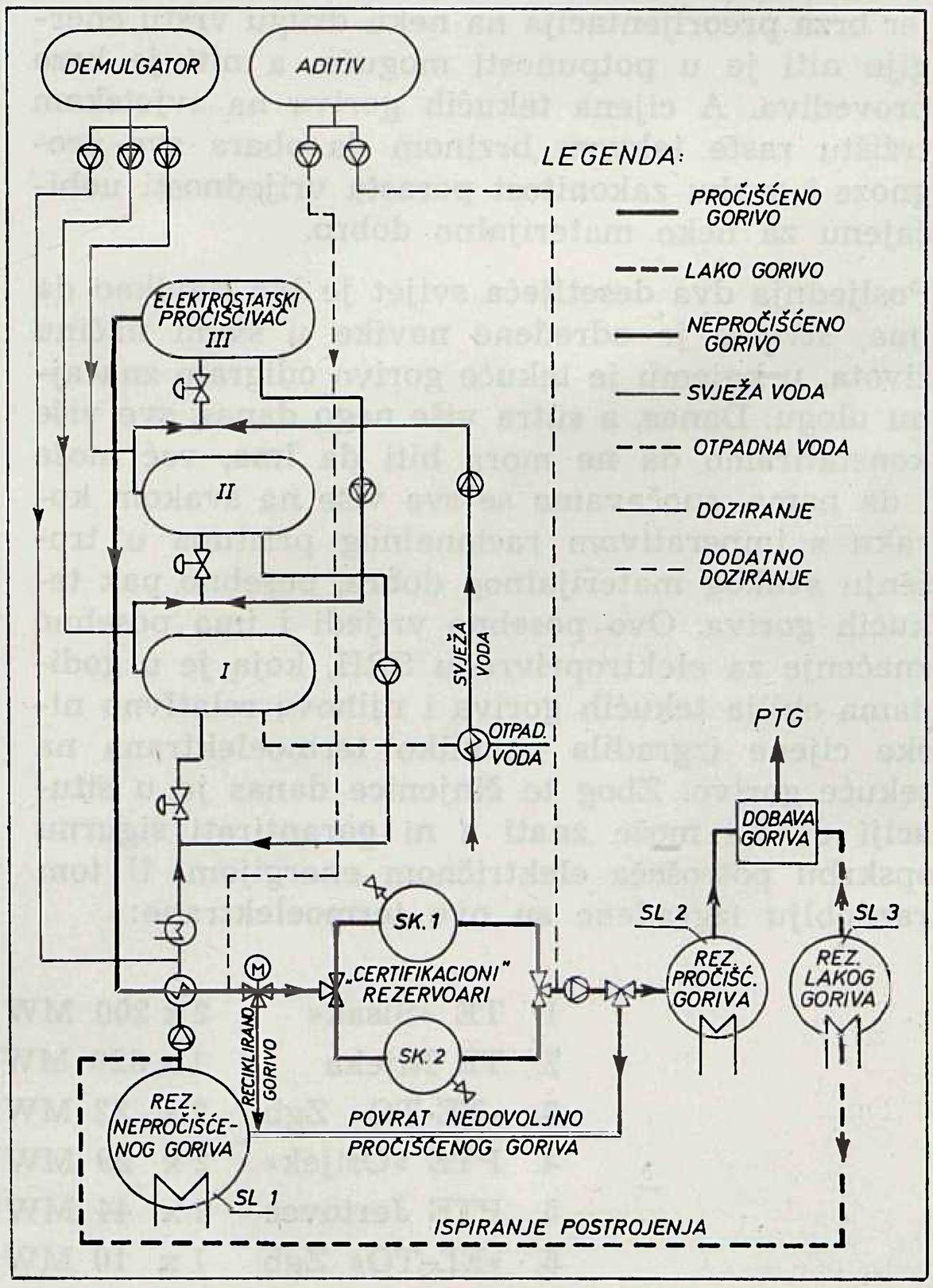
S jedne strane, predviđao se znatno veći porast konzuma od onog koji se realizirao, dok je s druge strane veza elektroenergetskog sistema Jugoslavije s elektroenergetskim sistemom UCPTE i suradnja s njima bila zanemariva .U toj situaciji, a rukovodeći se načelom da je svaka cijena električne energije niža od gubitka koje bi prouzročila redukcija, prišlo se je izgradnji PTE Jertovec i Osijek. U tome se vidjela jedina mogućnost premoštenja praznine u opskrbi konzuma električnom energijom, koja se je prema prognozama trebala pojaviti u 1976. godini i nekoliko slijedećih godina.

Ovdje se mora posebno napomenuti da je plinska elektrana Jertovec, kao i plinska elektrana Trbovlje kupljena u »paket-aranžmanu« NE Krško. U tom trenutku takav je aranžman izgledao vrlo privlačan, pa se vjerojatno prigodom donošenja odluke nije mnogo razmišljalo o nekim detaljima,



TE Jertovec — Konjščina: Shema postrojenja za pročišćavanje goriva TE Jertovec

SHEMA POSTROJENJA ZA PROČIŠĆAVANJE GORIVA



a to se kasnije manifestiralo u cijelom nizu problema, od kojih mnogi ni do danas nisu s uspjehom razriješeni.

Zbog toga što se neke pretpostavke nisu ostvarile pa je stvarnost drugačija od one koja se u početku predviđala (manji konzum od planiranog, znatno bolja veza Jugoslavije sa zemljama UCPTE iz kojih je moguće dobiti električnu energiju znatno jeftinije od sadašnje cijene goriva u PTE Jertovec), kao i zbog velike promjene cijene derivata koja se u to doba nije mogla očekivati, godišnji proizvodni zadatak PTE Jertovec, s kojim se unaprijed može računati, jest ili nula ili neznatan. U toj situaciji s punim se pravom postavlja pitanje kako dalje iskorištavati postrojenje PTE Jertovec.

Tehničke karakteristike PTE Jertovec

a) Osnovni podaci

Instalirana snaga plinskih turbina na generatoru, 2 x 31,5 MW

Ukupna instalirana snaga na generatoru uz korištenje kotlova na otpadnu toplinu 2 x 44 MW

Isporučilac PTE Westinghouse — ACEC

Godina savljanja u pogon plinskih turbina 1976.

Godina stavljanja u pogon komb-ipostrojenja 1978.

Vrste pogonskog goriva: zemni plin, ekstra lako ulje

Specifična potrošnja plinskih turbina 3360 kCal / kWh

Specifična potrošnja u kombiniranom procesu kod režima rada 17 sati na dan 2530 kCal / kWh

Vrijeme upuštanja plinskih turbina 20 minuta

Ekvivalentni vijek trajanja dijelova plinskih turbina, koji su izloženi visokim temperaturama 75.000 sati

Do 31. 10. 1979. PT-4 radila je efektivnih 1.979 sati

Do 31. 10. 1979. za PT-4 ekvivalentni sati rada iznose 9.900 sati

Do 31. 10. 1979. PT-5 radila je efektivnih 2.369 sati

Do 31. 10. 1979. za PT-5 ekvivalentni sati rada iznose 9.790 sati

b) Mogući režim rada

PTE Jertovec izvedena je tako da može raditi i u kombi-režimu. To znači da se otpadnom toplinom iz plinskih turbina mogu zagrijavati parni kotlovi, para kojih se dalje koristi u starom turbinskom postrojenju na turbinama 2 i 3. U ovom režimu ukupna snaga obiju grupa iznosi 88 MW, a prosječni specifični potrošak za režim rada od 17 sati na dan (15 sati u kombi-pogonu + 2 sata samo plinski dio) iznosi 2530 kCal / kWh.

Stavljanje u pogon plinskih turbina do punog opterećenja traje oko 20 minuta, a za čitavo kombi-postrojenje s upuštanjem parnih turbina traje oko 1,5 sati.

Vrste i cijene pogonskih goriva za plinsku elektranu Jertovec

U plinskoj elektrani ovakvog tipa mogu se spaljivati ove vrste goriva:

— zemni plin,
— ekstra lako ulje,
— srednje teško ulje,

uz uvjet sadržaja kalija + natrija i vanadija, koji zahtijeva isporučilac turbine.

Cijene ovih goriva, a osobito ekstra lakog i srednje teškog ulja u posljednjih nekoliko godina često se mijenjaju, pa je vrlo teško pretpostaviti da će analiza troškova pojedinih vrsta goriva vrijediti bez korekcija i slijedeće godine. Međutim, uza sve promjene cijena goriva, odnos cijene ekstra lakog i srednje teškog ulja ostaje približno konstantan, a razlika cijena ekstra lakog ulja i srednje teškog stalno se povećava.

Najnovije promjene cijena ovih derivata su i to potvrdile, što je vidljivo u navedenoj tablici.

Vrsta goriva	16. 11. 78.	27. 4 79.	14. 7. 79.	15. 2. 80.	1. 10. 80.
srednje teško	2,146	2,445	3,172	4,495	5,726
ekstra lako	4,567	5,054	6,260	8,906	12,291
plin	2,40	2,40	2,40	2,40	3,750

* Cijene su u d / toni odnosno d / m_N3

Odnos cijena ekstra lakog i srednje teškog ulja izgledao bi kako slijedi:

16. 11. 78. 27. 4. 79. 14. 7. 79.

$$\frac{4{,}567}{2{,}146} = 2{,}128 \qquad \frac{5{,}054}{2{,}445} = 2{,}067 \qquad \frac{6{,}260}{3{,}172} = 1{,}97$$

15. 2. 80. 1. 10. 80.

$$\frac{8{,}906}{4{,}495} = 1{,}98 \qquad \frac{12{,}291}{6{,}057} = 2{,}029,$$

dok bi razlika cijene ekstra lakog i srednje teškog ulja izgledala:

16. 11. 78. 4,567 — 2,146 = 2,420 d/kg,
27. 4. 79. 5,054 — 2,445 = 2,609 d/kg,
14. 7. 79. 6,260 — 3,172 = 3,088 d/kg,
15. 2. 80. 8,906 — 4,495 = 4,411 d/kg,
1. 10. 80. 12,291 — 6,057 = 6,234 d/kg.

Cijena zemnog plina je u ovom razdoblju pa sve do 1. 10. 80. godine ostala nepromijenjena. Iako je i plin poskupio, kada bi ga bilo na raspolaganju, bio bi konkurentan ostalim gorivima. Međutim, nitko ne može garantirati kako dugo će biti konkurentan, a osim toga nitko ne garantira njegovu isporuku onda kada ga elektroprivreda treba.

Bez obzira na ove konstatacije, a radi kompletnosti analize, prikazat ćemo približne troškove goriva kod primjene srednje teškog ulja (pretpostavit ćemo za trenutak da ga bez daljnjega možemo koristiti), zatim kod primjene ekstra lakog ulja, kao i kod primjene plina, i to za dva karakteristična režima rada:

1. *kraće vrijeme,* dva do tri sata (bez uključenih kotlova na otpadnu toplinu),
2. *duže vrijeme,* 17 sati na dan (kod čega koristimo kotlove na otpadnu toplinu 15 sati na dan).

(Cijene goriva su uzete sa stanjem 1. 11 80. godine.)

Srednje teško ulje

1. Kraće vrijeme

$$\frac{3\,360}{9\,500} \cdot 6{,}057 = 2{,}141 \text{ d/kWh.}$$

2. Duže vrijeme

$$\frac{2\,530}{9\,500} \cdot 6{,}057 = 1{,}613 \text{ d/kWh.}$$

Ekstra lako

1. Kraće vrijeme

$$\frac{3\,360}{10\,000} \cdot 12{,}291 = 4{,}129 \text{ d/kWh.}$$

2. Duže vrijeme

$$\frac{2\,530}{10\,000} \cdot 12{,}291 = 3{,}109 \text{ d/kWh.}$$

Plin

1. Kraće vrijeme

$$\frac{3\,360}{8\,000} \cdot 3{,}75 = 1{,}575 \text{ d/kWh.}$$

2. Duže vrijeme

$$\frac{2\,530}{8\,000} \cdot 3{,}75 = 1{,}185 \text{ d/kWh.}$$

Priključak PTE Jertovec na magistralni plinovod je završen i elektrana je bila u pogonu na plin u toku listopada 1980. godine. Sva su ispitivanja u pogonu plinom izvršena i moglo bi se reći da elektrana vrlo dobro i mirno radi, bez ikakvih uočljivih problema. Čak mnogo bolje nego s ekstra lakim uljem. Osim ispitivanja nije bilo značajnije proizvodnje električne energije na plin, jer dok je plina bilo na raspolaganju, hidroelektrane su imale vrlo povoljne dotoke, pa nije trebala proizvodnja PTE Jertovec, a sada pak (od 1. 11) više nema plina na raspolaganju. Prema najnovijim informacijama koje nam je dala INA Naftaplin u 1981. godini možemo računati s dovoljnim količinama plina tek od 1. 5, pa do 1. 11. Međutim, za 1982. godinu nema baš mnogo izgleda da bismo ga i u tom razdoblju mogli imati. To vrijedi i za iduće godine. Budući je elektroprivreda tek na 5. mjestu u prioritetu opskrbe plinom, osim povremenih unaprijed nedefiniranih količina, s plinom se ne može ozbiljnije računati.

Da bi ipak prikaz bio potpun, dat ćemo tabelarni prikaz cijena proizvodnje kWh uključujući i plin, i to za prethodno izračunate veličine

u d/kWh

Vrsta goriva / trajanje rada	Plin	Ekstra lako ulje	Srednje teško ulje
kraći period rada	1,575	4,129	2,141
duži period rada (17 h)	1,185	3,109	1,613

Uzmemo li u obzir da je donedavno PTE Jertovec bila opremljena uređajima samo za spaljivanje ekstra lakog ulja, a da je prema izračunatim cijenama kWh proizveden u ovoj elektrani imao vrlo visoke troškove, ne iznenađuje da u bilancama za 1979, 1980. i 1981. godinu nije predviđena nikakva proizvodnja.

Ova se elektrana više smatra rezervom za izvanredne slučajeve, kada se električna energija ne

može nabaviti od drugih po cijenama koje su niže od proizvodnje ove elektrane.

Nakon ove konstatacije samo se nameće pitanje je li uopće moguće i na koji način plinsku elektranu Jertovec učiniti aktivnim sudionikom elektroenergetskog sistema SRH.

Posljedice upotrebe ekstra lakog ulja u plinskim turbinama TE Jertovec koje nije zadovoljavalo tražene uvjete isporučica turbine

Energetska kriza koja je u studenom i prosincu 1978. godine pogodila elektroprivredu SRH imala je kao posljedicu i potrebu da plinske turbine u Jertovcu proizvode i rade upotrebom ekstra lakog ulja koje se je kod INE trenutno moglo dobiti. Nije moglo biti ni govora o tome da se ekstra lako ulje koje ne zadovoljava uvjete isporučioca turbine ne bi prihvatilo, jer bi to značilo direktne redukcije široke potrošnje.

Nakon prestanka elektroenergetske krize, a kod redovitog pregleda sistema za izgaranje plinske turbine PTG 5 utvrđeno je da su na statorskom dijelu dvije lopatice prvog reda toliko oštećene da se moraju zamijeniti. Tragovi gorenja materijala primjećeni su na oko 50% lopatica, i to na mjestima maksimalne temperature plinova. Očito je da je pored režima rada plinskih turbina, tj. čestog stavljanja u pogon i obustavljanja, najveći utjecaj na oštećenje lopatica statora, kao i svih dijelova turbine koji su izloženi visokim temperaturama vrućih plinova, imala visokotemperaturna korozija. Upravo zbog toga isporučilac turbine i zahtijeva da sadržaj onih elemenata, koji imaju veliku važnost kod visokotemperaturne korozije ne prelazi propisane vrijednosti. Tako za natrij + + kalij zahtijeva maksimalni sadržaj od 0,5 ppm, a za vanadij isto tako 0,5 ppm.

Ispitivani su sadržaji ovih elemenata na 29 uzoraka ekstra lakog ulja dobivenog od INE. U svim uzorcima sadržaj kalija i natrija bio je znatno iznad dozvoljenih granica, prosječno sa sadržajem 3,3 ppm. Pojedini uzorci imali su čak i 3,5 ppm kalija + natrija. Vanadij je, međutim, bio ispod propisane granice.

Dosadašnji rad ovih turbina s neadekvatnim gorivom, s tim u vezi nastalom visokotemperaturnom korozijom, doveli su turbine u takvo stanje da je na PTG 5 potrebno što prije izmijeniti prvi red statorskih lopatica, a proizvođač turbina uveo je neka poboljšanja za ovaj tip turbina, pa predlaže da se ugradi novi poboljšani tip lopatica. Očito je da do tog oštećenja ne bi došlo da je gorivo bilo unutar traženih zahtjeva, pa ova izmjena ne bi ni bila potrebna. Isto tako je očito da će doći do novih oštećenja i novih šteta, odnosno do prijevremenog uništenja nekih dijelova turbina ako u pogledu kvalitete goriva i dalje ne budemo zadovoljavali tražene uvjete isporučioca. Navedene konstatacije nedvosmisleno upućuju na to da ekstra lako ulje, koje se je do sada spaljivalo u plinskim turbinama, treba zadovoljavati znatno strože uvjete od onih koje JUS standard traži za tu vrstu goriva (uopće ne definira dozvoljeni sadržaj kalija, natrija i vanadija).

Ako želimo sačuvati plinske turbine u PTE Jertovec od još većih oštećenja i računati i ubuduće s njihovom proizvodnjom, morali bismo i za primjenu ekstra lakog ulja ugraditi dodatne uređaje za njegovo pročišćavanje i svođenje sadržaja kalija + natrija i vanadija na količine koje dozvoljava isporučilac turbine.

Način korištenja PTE Jertovec kao funkcija životne dobi elektrane

U uvodu je napomenuto da su PTE Jertovec i Osijek nabavljene radi premoštenja energetske krize u 1976. godini i nekoliko idućih godina. Znači, nabavljene su s namjenom proizvodnje znatnih količina električne energije.

Jedna od značajnih prednosti PTE jest i mogućnost brzog ulaska u pogon. Takva je mogućnost očito i stvorila dojam da plinske TE ovakvog tipa služe isključivo za pokrivanje vršnih opterećenja. To je zaista i moguće, ali kako takav režim rada utječe na životnu dob dijelova turbine koji su izloženi visokim temperaturama (vrtložnici zraka, komore za izgaranje, statorske i rotorske lopatice), pokazat ćemo na slijedećim primjerima koje ćemo analizirati i izračunati prema uputama isporućioca turbine.

1. PTE se stavlja u pogon 2 x na dan i radi po 2 sata.
2. PTE se stavlja u pogon 1 x na dan i radi 17 sati.

Za oba slučaja izračunat ćemo ekvivalentno vrijeme rada prema slijedećoj formuli

$$H = 1{,}25\,(BL + 3\,PL + 12\,SL) + 12\,F + 12\,R,$$

gdje je

EL = sati rada s ekstra lakim uljem na baznom teretu,

PL = sati rada s ekstra lakim uljem na vršnom teretu,

SL = broj (uspješnih) pokretanja kod kojih se ostvari paljenje,

F = broj brzih opterećivanja PTG,

R = broj ispada kod punog tereta.

Za slučaj našeg razmatranja uzet ćemo da je PTE na baznom teretu (PL = ∅), da nije bilo brzih opterećenja (F = ∅) i da nije bilo ispada (R = ∅).

1. $H_1 = 1{,}25\ (17 + 12.1) = 1{,}25 \cdot 29 = 36{,}25$ h
2. $H_2 = 1{,}25\ (4 + 12.2) = 1{,}25 \cdot 28 = 35$ h.

Iz rezultata za ova dva slučaja vidimo da je za trošenje ovih dijelova PTE približno jednako ako se ono stavlja u pogon dva puta po 2 sata ili ako radi neprekidno 17 sati.

Iz same formule proizlazi da na trošenje nekih dijelova turbine utječe i rad u vršnom teretu. Međutim, osobito mnogo utječu brza opterećenja turbine i ispadi kod punog tereta. To svakako treba imati na umu, jer neracionalnim korištenjem možemo ovu elektranu vrlo brzo dovesti do neupotrebljivosti.

Mogućnost primjene srednjih frakcija u PTE Jertovec

Očito se u zapadnim zemljama, gdje se u znatno većoj mjeri susreću plinske termoelektrane, drugačije formiraju i rafinerijske cijene ulja koja služe za spaljivanje u plinskim turbinama, pa se problem cijene goriva ne postavlja tako oštro. Toga radi u nekim zemljama i plinske elektrane ovakvog tipa imaju svoje mjesto u proizvodnji električne energije za potrebe tih zemalja.

Neke zemlje, na primjer Nizozemska, imaju znatne rezerve vlastitog plina, pa plinske elektrane ovakvog tipa rade na vlastiti plin, koji očito po cijeni može biti konkurentan ekstra lakim gorivima, za koje treba uvoziti naftu.

Međutim, u nekim zapadnim zemljama već susrećemo slučajeve primjene srednjih frakcija koje se ne mogu bez daljnjega spaljivati u plinskim turbinama. Da bi to bilo moguće, ugrađuju se dodatni uređaji za pročišćavanje koji izlučuju elemente natrij i kalij, a pomoću inhibitora veže se vanadij kako bi se spriječila visokotemperaturna korozija lopatica. Računa se da dodatno izlučivanje ovih štetnih sastojina iz srednjih frakcija dodatno opterećuje 1 kWh sa oko 20 para. Naravno, uz pretpostavku da je upotrebno vrijeme plinske termoelektrane oko 2 500—3 000 sati na godinu, odnosno da zahtijeva dodatnu investiciju koja se prema raspoloživoj dokumentaciji može procijeniti reda veličine 62 milijuna dinara. U ove troškove uračunati su i troškovi adaptacije turbina za primjenu srednjih frakcija.

Već su spomenuta srednja teška ulja, pa je potrebno da objasnimo kakva je to vrta ulja. U programu isporuke goriva za naše termoelektrane postoje tri vrste goriva, i to: teško, srednje teško i metalurško. Teško i srednje teško ulje razlikuje se u biti po viskozitetu i specifičnoj težini, a naravno i po cijeni. Metalurško ulje pripada također među teško, ali se odlikuje osobinom da ima do 1% sumpora, dok se kod teškog i srednje teškog ulja sadržaj sumpora kreće od 1 do 3%, ovisno o vrsti sirove nafte.

Mogućnost proizvodnje PTE Jertovec i njezina uloga u podmirenju dnevnog konzuma SRH

Konstatirali smo da je elektroprivreda tek na 5. mjestu u prioritetnom redu opskrbljivanja potrošača plinom, a osim toga da momentano njegova konkurentna cijena ne mora dugo ostati takva, što znači da se i plinom kao pogonskim sredstvom za pogon PTE Jertovec ne bi smjela dugoročno računati.

S druge strane čistoća ekstra lakog ulja, koje smo do sada spaljivali, jest takva da ni približno ne zadovoljava tražene uvjete isporučioca turbine. Iz toga proizlazi nedvosmisleni zaključak, ako s PTE Jertovec računamo samo kao hladnom rezervom, svejedno moramo imati traženu kvalitetu goriva. Iz pisma INE također proizlazi da nam oni tu kvalitetu ne mogu garantirati. Iz svega navedenog slijedi logički zaključak koji glasi:

Želimo li računati s PTE Jertovec, čak samo kao s hladnom rezervom za eventualni rad od par desetaka, odnosno nekoliko stotina sati na godinu, svejedno moramo imati traženu čistoću goriva. To znači da bez obzira na dužinu rada i vrstu goriva (ekstra lako ili srednje teško) moramo instalirati »uređaj za pročišćavanje goriva«.

Ako ne instaliramo takav uređaj, na plinskim turbinama će se i dalje pojavljivati isti problemi, što će izvazvati enormno visoke troškove uzdržavanja i preuranjeno istrošenje i otpis cijelog postrojenja.

Opremimo li pak PTE Jertovec uređajima za pročišćavanje goriva, dobivamo jedan kvalitativno novi izvor s kojim elektroenergetski sistem SRH može i treba računati. (U prilogu je dan shematski prikaz uređaja za pročišćavanje.

Nije potrebno raditi mnogo analiza da bi se pokazalo kako PTE Jertovec s karakteristikama koje posjeduje i cijena (primjenom pročišćenog srednje teškog ulja) postaje elektrana s kojom se može posebno računati i u razdobljima koji se mogu nazvati izuzetnim, kao što su

— previše hidroenergije,
— premalo hidroenergije,
— opća nestašica električne energije.

U razdobljima kada imamo previše hidroenergije i kada i izrazito akumulacione elektrane postaju protočne (HE Split veliki međudotok, HE Senj, relativno mala akumulacija, HE Orlovac zbog velikog međudotoka na HE Split nije poželjno da vozi, a osim toga može nastupiti i slučaj da se dotok u Lipu ne može prepumpati itd.).

U razdoblju kada imamo premalo hidroenergije, angažiraju se više TE, koje imaju relativno visok tehnički minimum, pa je problem plasmana energije noću. Zamjenom 88 MW klasične TE s PTE Jertovec štedimo znatne količine tekućeg goriva, jer umjesto 168 pogonskih sati na tjedan klasične TE, PTE Jertovec može dati jednak doprinos pod-

mirenju konzuma sa svojih 85 sati rada, što je tek 50% vremena a oko 60% potrebnog goriva.

U vrijeme opće nestašice električne energije ova elektrana može raditi s konstantnom proizvodnjom neprekidno.

Treba posebno napomenuti da ćemo ulaskom NE Krško u pogon, dobiti elektranu s karakteristikama protočne HE, pa prema tome moramo težiti da je što više iskoristimo u band-proizvodnji. Ne treba posebno navoditi da PTE Jertovec sa svojim karakteristikama upravo doprinosi ostvarenju ovakvog zahtjeva. Osim toga ispadom iz pogona NE Krško, SRH mora imati mogućnost da ispali dio NE zamijeni drugim izvorima.

Navedeni su samo neki od oblika efikasnog angažiranja PTE Jertovec. Kada bismo mogli objektivno kvantificirati vrijednost pojedinog navoda i izraziti ih financijskim učinkom, koji realizira elektroenergetski sistem SRH, uvjereni smo da bi se unutar nekoliko godina isplatile sve dodatne ivestije potrebne da se realizira nabava uređaja za pročišćavanje goriva.

Osim značajnih financijskih efekata uštede na ukupnim troškovima, uštedjeli bismo i znatne količine goriva. U razdoblju rada PTE Jertovec od 2 182 sata (što u podmirenju dnevnog dijela dijagrama potrošnje odgovara radu klasične termoelektrane od 4 320 sati), uštedujemo i oko 23 500 tona srednje teškog ulja, što je vrlo značajan iznos u situaciji kada štednja tekućih goriva postaje trajan imperativ društva.

Vijek trajanja PTE Jertovec

Prema podacima isporučioca turbina, radni vijek dijelova plinskih turbina koji su izloženi visokim temperaturama iznosi približno 75 000 ekvivalentnih sati. Iz primjera koji smo analizirali u točki 5. vidi se da je u najpovoljnijem slučaju eksploatacije broj ekvivalentnih sati veći od stvarnog za oko 2,2 puta.

U stvarnosti će on biti lošiji, a od umješnosti onih koji je koriste zavisi koliko će biti lošiji. Za naš račun uzet ćemo da će biti 2,5 puta. Iz toga dobivamo i približan iznos stvarnih sati pogona:

$$\frac{75\,000}{2{,}5} = 30\,000 \text{ sati}$$

Računamo li s radom postrojenja od recimo efektivnih 400 sati na godinu, odnosno evkivalentnih 1 000 sati na godinu, to bi postrojenje u PTE Jertovec bilo sposobno za pogon

$$\frac{75\,000}{1\,000} = 75 \text{ godina},$$

nakon čega bi trebalo mijenjati rotor turbine i one dijelove koji su izloženi visokim temperaturama, pa bi se opet imalo postrojenje spremno za proizvodnju.

Da li uopće nakon 15—20 godina ovakvo postrojenje može biti interesantno, teško je reći. Međutim, sigurnije je da će, ako tada i bude nafte za spaljivanje, biti i postrojenja koje će imati i znatno povoljniji stupanj djelovanja od onoga koje ima Jertovec (već u svijetu ima postrojenja kojima u kombiniranim procesima postizavaju oko 50% iskorištenja goriva),pa će ako i ne bude dotrajalo, biti napušteno zbog lošijeg stupnja iskorištenja.

Iz ovog razmatranja nameće se i zaključak da bi sa stanovništva investicija, kao i zastarijevanja tehnologije bilo logično da se vijek trajanja PTE Jertovec uzme maksimalno 15—20 godina, odnosno da se računa s efektivnim radom od 2 000 do 3 000 sati na godinu. Ako bi pošli od tih pretpostavki, onda se dodatna oprema u PTE Jertovec za pročišćavanje goriva i s ovog stajališta nameće sama od sebe kao logična, a njezini efekti već u nekoliko godina korištenja podmiruje investiciju uloženu u uređaj za pročišćavanje goriva.

Ekonomsko opravdanje izgradnje

Iz rezultata dobivenih ekonomskom obradom potrebnih investicija, a prema cijenama opreme krajem 1979. godine, te cijenama goriva u ožujku 1980. godine, proizlazi da se ulaganja u uređaj za pročišćavanje goriva isplate već i tada ako je prosjek rada samo 250 sati na godinu, a životna dob 20 godina. Mora se napomenuti da su zanemareni troškovi prouzrokovani zbog većeg trošenja lopatica i drugog kod primjene nepročišćenog ekstra lakog ulja, što bi, ako bismo uzeli u obzir, smanjilo upotrebno vrijeme na manje od 250 sati na godinu. I daljnja ušteda postigla bi se smanjenjem troškova kamata na kredite za obrta sredstva (rezervoari bi umjesto ekstra lakog ulja bili napunjeni srednje teškim uljem, koje je upola jeftinije), i to reda veličine preko 2 mil. dinara na godinu.

Napomenuto je da je analiza rađena s cijenama goriva u ožujku 1980. godine, kada je razlika cijene kg ekstra lakog ulja i srednje teškog iznosila 4,41 d/kg. Danas ta razlika iznosi 6,234 d/kg što izraženo u postocima predstavlja povećanje od 41,3% Nije vjerojatno da je oprema toliko poskupila, a što zasigurno još više smanjuje upotrebno vrijeme elektrane, da bi ona bila ekonomski opravdana. Novija ekonomska analiza mogla bi dati točnije podatke.

Vrijeme korištenja PTE Jertovec u elektroenergetskom sistemu SRH

Iako se u pravilu analize korištenja (upotrebnog vremena) neke elektrane rade prije ekonomske obrade, ovdje je to urađeno naknadno, više radi provjere, jer se ovdje ne radi o novom objektu, već o racionalnijem korištenju postojećeg.

Analiza korištenja PTE Jertovec rađena je metodom koja je uobičajena za planiranje izgradnje elektroenergetskih objekata i ne uvažava oscilacije protoka hidroelektrana u toku mjeseca, već računa sa srednje mjesečnim protocima. Za analizu korištenja elektrane karakteristika PTE Jertovec ta metoda je suviše gruba, tako da će stvarno angažiranje biti znatno veće od rezultata analize.

Daljnja zanemarenja, koja pogotovo nije lako uzeti u obzir, napravljena su kod anagažiranja ove elektrane u slučaju kvara većih jedinica i nemogućnosti zamjene nekim drugim izvorom.

Nije uzeta u obzir ni problematika stabilnosti sistema, naponskih prilika itd., a sve to ide u prilog samo većem korištenju PTE Jertovec od onog dobivenog provedenom analizom.

Bez obzira na va zanemarenja, vrijeme korištenja PTE Jertovec sa izgrađenom TE-TO Rijeka (bez obzira na lokaciju TE-TO Rijeka ili TE-TO Osijek) izgledalo bi kako slijedi:

Godina	Prosječna	50% vlažna	10 % vlažna	Najuspješnija godina
1983.	56,0	175,0	574,0	994,0
1984.	218,0	355,0	710,0	3545,0
1985.	251,0	355,0	769,0	3545,0
1990.	411,0	355,0	765,0	3845,0
1995.	255,0	355,0	749,0	3545,0

ZAKLJUČAK

a) Dosadašnja iskustva u eksploataciji plinskih turbina pokazuju da isporučivano ekstra lako loživo ulje ne zadovoljava tražene uvjete, isporučioca turbina, što se manifestiralo enormno brzim trošenjem statorskih i rotorskih lopatica, komora za izgaranje, vrtložnika zraka i drugih dijelova turbine koji su u dodiru sa vrućim plinovima.

b) Iako kombi-postrojenje ima relativno nizak specifični potrošak topline, radi visoke cijene ekstra lakog loživog ulja postrojenje je ulazilo u pogon samo u kriznim situacijama (velike suše, iznenadni kvarovi velikih elektrana i sl.).

c) Traženu kvalitetu goriva uz prihvatljive cijene moguće je postići jedino izgradnjom uređaja za pročišćavanje goriva. Ekonomska analiza pokazuje da se investicijska ulaganja pokazana u programu isplate već u slučaju ako kombi-postrojenje radi prosječno 250 sati godišnje, odnosno ukupno u životnoj dobi od najmanje 5 000 sati korištena.

Ovakav nalaz eknomske obrade upućuje na izuzetnu povoljnost izgradnje ovakvog postrojenja i na velike koristi koje će ono dati elektroprivredi.

d) Izgradnjom uređaja za pročišćavanje goriva povećava se učešće kombi-postrojenja TE Jertovec u proizvdonji električne energije, ali se ne povećava ukupna potrošnja tekućeg goriva. Naprotiv, realno se može očekivati da se potrošnja goriva čak i smanjuje.

SOME PROBLEMS IN OIL-FIRED POWER PLANTS IN SR CROATIA WITH SPECIAL ATTENTION ON GAS-FIRED POWER PLANT »JERTOVEC«

An Attempt for rational exploatation of constructed oil-fired power plants in SR Croatiai is described. Specially is analysed situation with gas-fired PP »Jertovec«, that could be fired on cheaper medium heavy oil by instalation of equipment for cleaning oil. By this modification, equipment would be protected from high temperatire corosion.

Naslov pisca:

Tomislav Pavlović, dipl. inž.
Elektroprivreda, Zagreb

UTJECAJ OTPORNOG UZEMLJENJA ZVJEZDIŠTA U MREŽI »ELEKTROISTRE« PULA

Luciano Delbianco i Livio Rosanda,
Pula

UDK 621.317.2

Opisuje se prelazak mreže 35 kV »ELEKTROISTRE« Pula na uzemljenje zvjezdišta preko malog djelatnog otpora. Uspoređuju se vrijednosti prenapona u izoliranim mrežama s vrijednostima prenapona u otporno uzemljenim mrežama. Također se daje statistika kvarova uz primjenu tropolnog brzog i sporog automatskog uklopa.

UVOD

Elektroenergetske razdjelne mreže u Istri nalazile su se do kraja 1975. godine u pogonu s izoliranim zvjezdištem. Najviša kapacitivna struja zemljospoja iznosila je u mreži nazivnog napona 35 kV napajane iz TS 110/10 kV Pula I (oko 120 km nadzemnih i oko 13 km kabelskih vodova, a iznimno do 200 km nadzemnih i 15 km kabelskih vodova) oko 70 A u normalnom i preko 80 A u iznimnom pogonu. Zbog tako visokih kapacitivnih struja u slučaju dozemnih kvarova u mreži nije moglo doći do samogašenja električnih lukova, a i pojava dvostrukih kvarova također nije bila rijetkost (proboji izolacije kabela 35 kV Pula — Centar).

Prema Pravilniku o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja (Sl. list br. 19/68), čiji sastavni dio čine Propisi o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja, u poglavlju Zaštita od prenapona pod točkom 5. 86 navodi se:

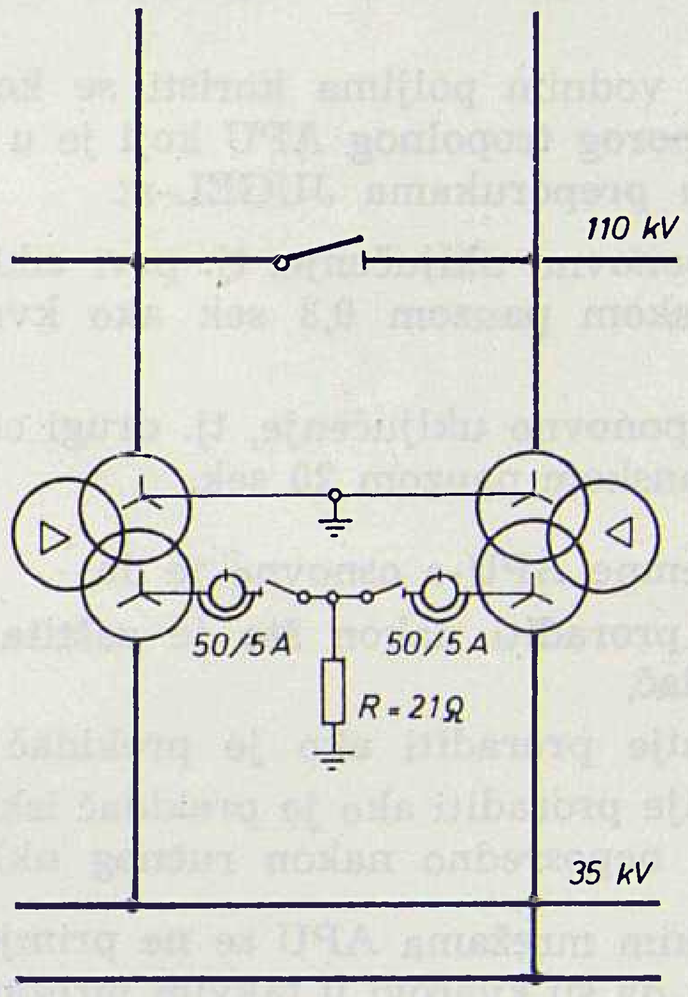
»Pogon mreža sa izoliranim zvjezdištem može se odvijati ako kapacitivna struja zemljospoja te mreže nije suviše velika. Preporučuje se da kapacitivna struja zemljospoja ne prelazi slijedeće vrijednosti:

Navizni napon mreže kV	Kapacitivna stanja zemljospoja A
6	30
10	20
20	15
35 i više	10

Ako kapacitivna struja zemljospoja pređe navedene vrijednosti, treba mrežu razdvojiti ili zemljiti zvjezdište, da bi se spriječile pojave prenapona kod nastanka zemljospoja.«

Mrežu nije bilo moguće razdvajati jer nije bilo drugih TS 110/35 kV na koje bi se dio te mreže mogao »prebaciti«, a to neće biti moguće ni ubuduće, jer je dužina mreže tolika, a time i visina kapacitivne struje zemljospoja, da se nikakvim razdvajanjem kapacitivna struja zemljospoja ne bi mogla svesti u propisane granice.

Iz toga je proizašlo da treba zvjezdište 35 kV u TS 110/35/10 kV Pula uzemljiti, što je i učinjeno 26. XII 1975. (prvo uzemljeno zvjezdište razdjelnih mreža na području SR Hrvatske) preko jednofaznog metalnog otpornika nazivnog otpora 21 Ohma i nazivne struje 1 000 A (sl. 1).



Sl. 1. Otpornik za uzemljenje zvjezdišta u TS 110 kV PULA

Uz prijelaz mreža 35 kV »Elektroistre« na pogon s uzemljenim zvjezdištem preko djelatnog otpora malih vrijednosti vršena su (Institut za elektroprivredu Zagreb) i opsežna eksperimentalna istraživa-

nja u pogledu sniženja unutrašnjih prenapona, a time i povećanja pogonske sigurnosti.

Provedena istraživanja su pokazala sasvim jasno da se uzemljenjem razdjelnih mreža preko djelatnog otpora male vrijednosti s ograničenjem struje jednopolnih kvarova na 300 ili 1 000 A (što ovisi o veličini kapacitivne struje zemljospoja) eliminiraju ili svode na neopasne vrijednosti prenaponi zbog zemljospoja i onemogućava nastajanje nestabilnih zemljospoja te postiže mala vjerojatnost nastojanja dvostrukih zemljospojeva.

Pokazalo se također da se uzemljenjem zvjezdišta preko malog djelatnog otpora prenaponi zbog isklapanja zemljospojeva eliminiraju ili zadržavaju u neopasnim granicama. Djelatni otpor u zvjezdištu u tom pogledu u velikoj mjeri kompenzira eventualno lošu kvalitetu prekidača.

APU NA 35 kV VODNIM POLJIMA U TS 110/35/10 kV PULA

Istovremeno s ugradnjom otpornika za uzemljenje zvjezdišta pristupilo se uvođenju relejne zaštite za zaštitu mreže od jednopolnih kvarova i brzog i sporog automatskog tropolnog ponovnog uključivanja (APU) na nadzemnim vodovima. U tu su svrhu zamijenjeni svi hidromatski prekidači u vodnim poljima 35 kV sa malouljnim prekidačima proizvodnje »Rade Končar« i postavljeni releji za APU RU 570 »Iskra« ili TEA 1130 »Iskra-Asea« u kombifleks-izvedbi.

Time je omogućeno da na ciklus prorade APU-može djelovati konduktantna zaštita R1 KZA »Siemens« te zaštita za jednopolne kvarove RI 110 »Iskra«.

U 35 kV vodnim poljima koristi se kombinacija brzog i sporog tropolnog APU koji je u skladu sa tehničkim preporukama JUGEL-a:

— brzo ponovno uključenje, tj. prvi ciklus rada s beznaponskom pauzom 0,3 sek ako kvar i dalje traje,

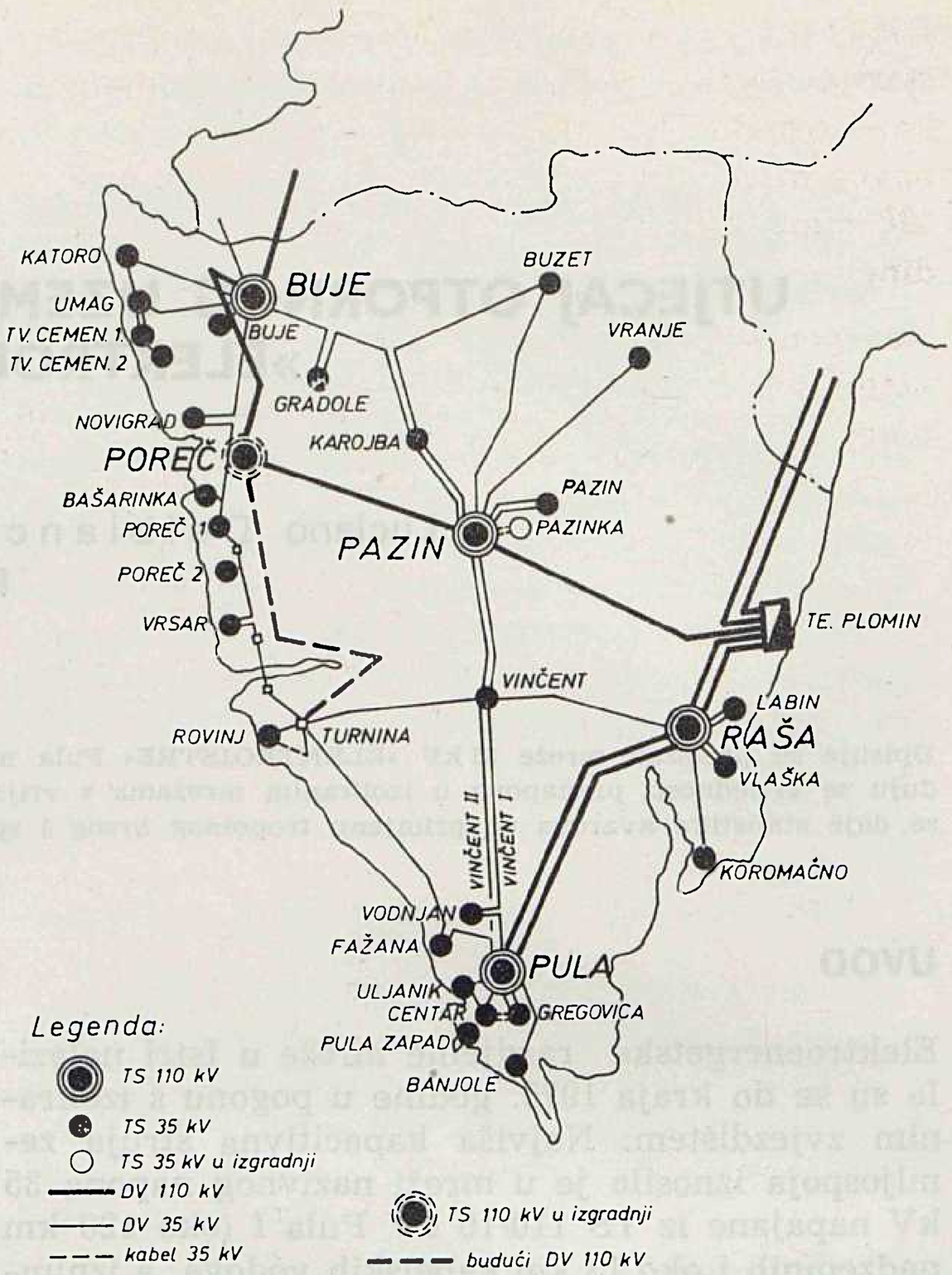
— sporo ponovno uključenje, tj. drugi ciklus rada s beznaponskom pauzom 20 sek.

Kod prijemne APU-a osnovno je da:

— mora proraditi nakon što je zaštita uključila prekidač,
— ne smije proraditi ako je prekidač isključen
— ne smije proraditi ako je prekidač isključen zaštitom neposredno nakon ručnog uključivanja.

U kabelskim mrežama APU se ne primjenjuje jer se smatra da su kvarovi u takvim mrežama uglavnom trajnog karaktera, pa bi njegova upotreba samo povećala oštećenja na mjestu kvara.

Da bi se mogla izvršiti analiza opravdanosti ugradnje APU-a za mrežu 35 kV, potrebno je usporediti broj kvarova i ispada na DV 35 kV »Vinčent I« i »Vinčent II« i »Banjole« prije i poslije primjene APU-a. Spomenuti dalekovodi priključeni su na TS 110/35/10 kV Pula, kako je prikazano na slici 2.



Sl. 2. Elektroenergetska mreža »Elektroistre« Pula

Treba napomenuti da je ovo stanje mreže novijeg datuma, tj. od 1976. godine, kada je u pogon puštena TS 110 kV Pazin čije je zvjezdište 35 kV također uzemljeno preko djelatnog otpora male vrijednosti nominalnog otpora 70 Ohma i nominalne struje 300 A.

Ova vrijednost otpora izabrana je s obzirom na veličinu kapacitivne struje zemljospoja od oko 30 A do 40 A.

Podaci o dalekovodima 35 kV

Dalekovod 35 kV »Vinčent I« izgrađen je 1928. godine u dužini od 23 km s vodičima presjeka 35 mm2 Cu + 35 mm2 Fe. Stupovi su čelično-rešetkasti oblika »bačve«. Druga trojka vodiča u dužini od 35 km spomenutog dalekovoda je DV 35 kV »Vinčent II«.

DV »Vinčent II« nastavlja daljnjih 25,2 km (izgrađenih 1974. godine) kao novi dalekovod na čelično-rešetkastim stupovima tipa »jela« s vodičima 120 mm2 Alče + 35 mm2 Fe.

DV 35 kV »Banjole« sastoji se od dva dijela, i to starije (izgrađenog 1942. godine) u dužini od 2,1 km presjeka 100 mm2 (bivši 50 kV dalekovod) i novog dijela (tipa »jela«) dužine 5 km s vodičima 120 mm2 Alče + 35 mm2 Fe izgrađenog 1971. godine.

Na spomenutim je dalekovodima izolacija od staklenih i porculanskih kapastih izolatora složenih u lance za 35 kV naponski nivo.

Statistika kvarova za razdoblje od 1970. do 1979. godine

U tablici 1. pregledno je dan broj ispada dalekovoda za razdoblje prije uzemljenja zvjezdišta 35 kV mreže.

U tablici 2. dan je pregledno broj prorada APU-a, i to posebno brzog i posebno sporog, za razdoblje od 1976. do 1979. godine po godinama i sumarno (tablica 3).

Tablica 1.

Naziv DV 35 kV	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.
	Broj	Broj	Broj	Broj	Broj
VINČENT I	25	30	23	28	26
VINČENT II	21	38	17	20	15
BANJOLE	—	—	—	2	—

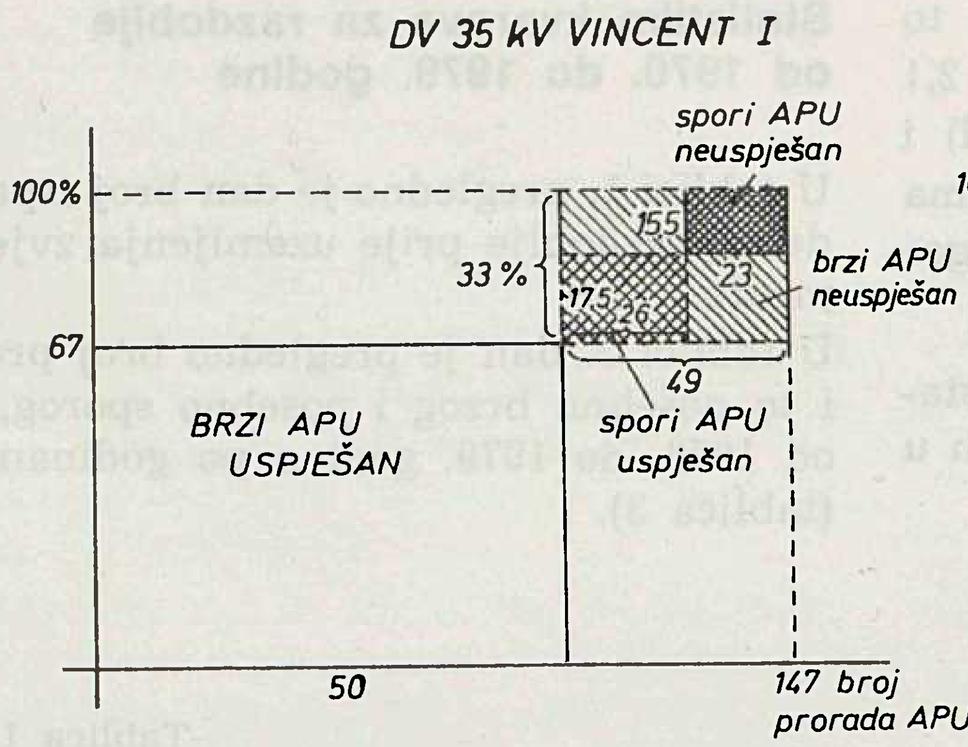
Tablica 2.

Naziv vod. polja	Broj prorada APU	Brzi APU uspješan Br.	%	Brzi APU neuspješ. Br.	%	Spori APU uspješan Br.	%	Spori APU neuspješ. Br.	%
1976. g.									
VINČENT I	90	65	72,2	25	27,8	14	15,6	11	12,2
VINČENT II	24	18	75	6	25	0	0	6	25
BANJOLE	3	3	100	0	0	0	0	0	0
1977. g.									
VINČENT I	12	7	58,3	5	41,7	2	16,7	3	25
VINČENT II	6	4	66,6	2	33,4	0	0	2	33,4
BANJOLE	2	2	100	0	0	0	0	0	0
1979. g.									
VINČENT I	19	13	68,4	6	31,6	2	10,6	4	21
VINČENT II	5	4	80	1	20	0	0	1	20
BANJOLE	2	2	100	0	0	0	0	0	0
1979. g.									
VINČENT I	26	13	50	13	50	8	31	5	19
VINČENT II	33	20	61	13	3	7	21	5	18
BANJOLE	2	1	50	1	50	0	0	1	50

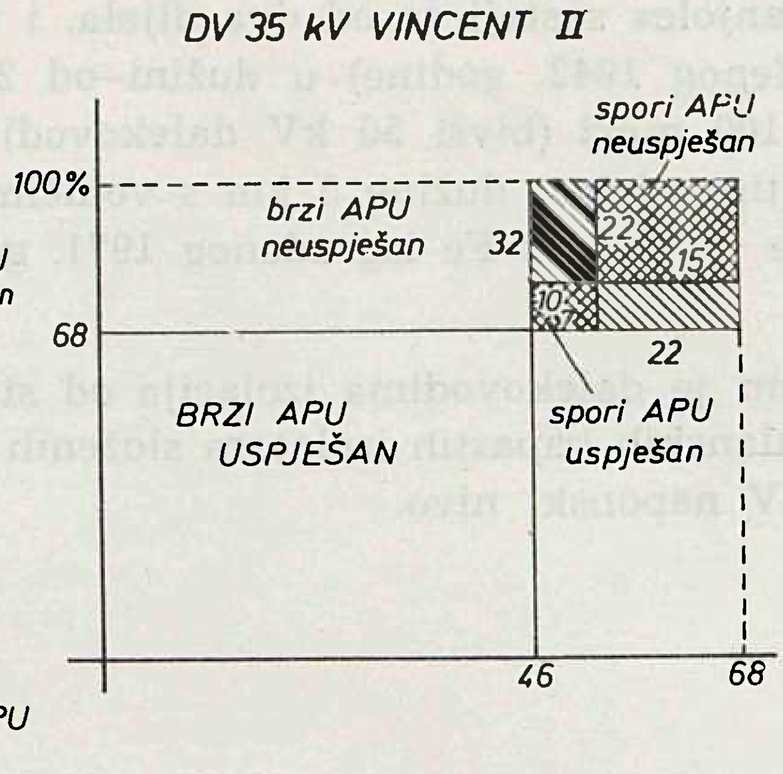
Tablica 3.

UKUPNO									
VINČENT I	147	98	67	49	33	26	17,5	23	15.5
VINČENT II	68	46	68	22	32	7	10	15	22
BANJOLE	9	8	89	1	11	0	0	1	11

Na slikama 3, 4. i 5. grafički su prikazani rezultati iz tablice 3.

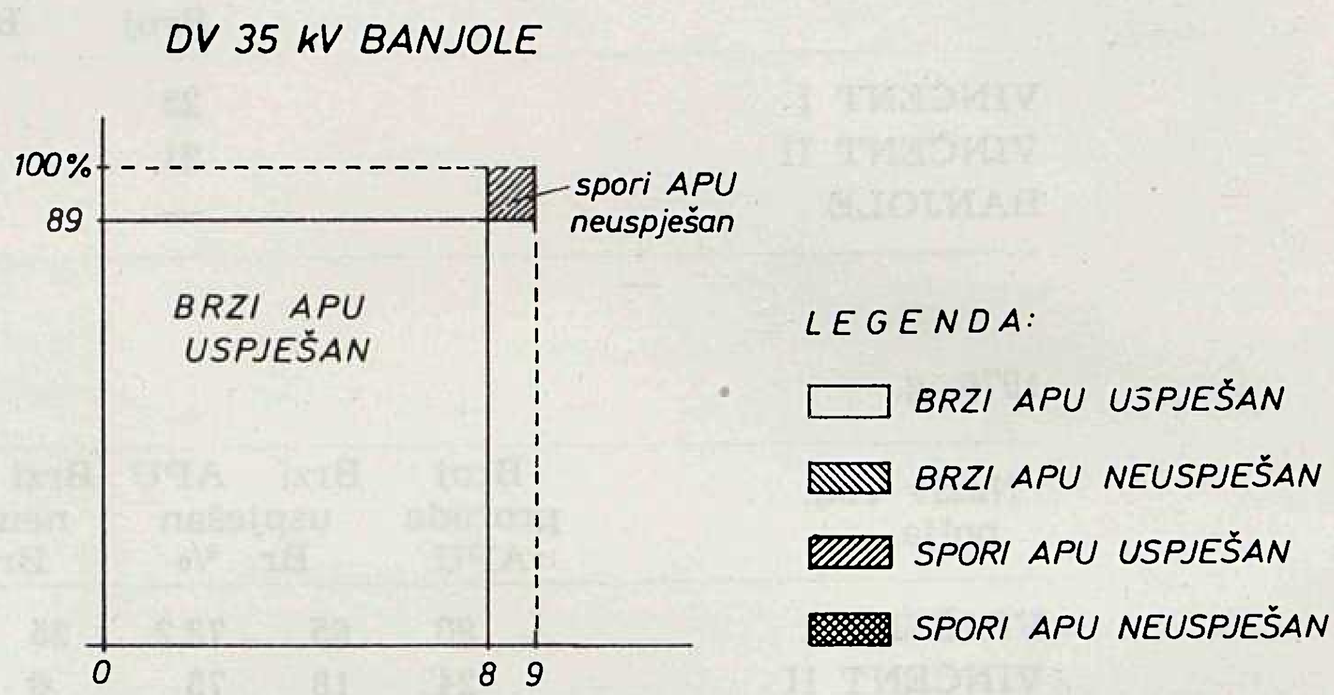


Sl. 3.



Sl. 4.

Kao uzrok prorade neuspješnog APU-a dat ćemo prikaz kvarova za 1976. godinu uz napomenu da se slični kvarovi javljaju i u ostalim razmatranim godinama.



Sl. 5.

VINČENT I

23. IV 76.	21,33	Probio izolatorski lanac kod Bibići	
10. V 76.	15,30		
	15,37	Signal	Ravizija DV 35 kV Vinčent 1 zbog nemogućnosti pronalaska mjesta kvara. Izmijenjeno 60 komada izolatora.
	15,52	Ostaje izvan pogona	
13. V 76.	15,51	Uključen i ispada	
14. V 76.	14,01	Uključen i ispada	
16. VI 76.	22,13	Nevrijeme i neuspješan APU — Proboj izolator. lanca	
7. VII 76.	13,33		Proboj izolatorskog lanca
15. IX 76.	3,31	Grmljavina	Probijen izolatorski lanac na st. br. 1
13. X 76.	7,30	Nevrijeme	Proboj izolatorskog lanca
	16,33	Nevrijeme	Proboj izolatorskog lanca
8. XII 76.	11,17		Podfrekventni relej

VINČENT 2

22. V 76.	11,11	Proboj izolator. lanca kod TS Vodnjan
23. VII 76.	3,45	Proboj izolatorskog lanca
3. IX 76.	20,50	Proboj izolatorskog lanca
15. IX 76.	3,29	Na stupu br. 71 došlo je do pada vodiča i zaštitnog užeta preko 10 kV voda u Žminju
17. IX 76.	4,56	Proboj izolatorskog lanca na stupu br. 36 (donja faza)
30. X 76.	9,32	Proboj izolatorskog lanca

Analiza kvarova

U mreži 35 kV »Elektroistre« Pula, napajane iz TS 110/35 kV Pula, sa strujama zemljospoja do 60 A i više zabilježeni su visoki prenaponi (prema mjerenjima iz Literature 1 do 2,38 Uf, ovisno o trenutnoj vrijednosti napona oštećene faze u trenutku nastupanja zemljospoja). Tako visoki prenaponi često su bili uzrokom oštećenja (proboja) izolacije duž vodova.

Zbog prenapona nastalih zbog prethodnih jednopolnih zemljospojeva u mreži su se također javljali i dvostruki zemljospojevi, što je i normalno kod tako velike mreže koja zbog starenja izolacije ima više oslabljenih mjesta.

To potvrđuju i česti ispadi (tablica 1) prouzrokovani uglavnom nevremenom, tj. grmljavinom i kišom, na vodovima 35 kV Vinčent I i Vinčent II gdje je zabilježen veći broj kvarova.

Uzemljenjem zvjezdišta spomenute 35 kV-tne mreže preko djelatnog otpora od 21 Ω (uz ograničenje struje jednopolnih kvarova na 1000 A), potpuno su eliminirani ili svedeni na neopasne vrijednosti prelazni naponi koji nastaju zbog zemljospoja.

Uzemljenje zvjezdišta onemogućilo je također i pojavu ponavljanih zemljospojeva.

Također treba napomenuti da prenaponi zbog izklapanja zemljospoja u mrežama s izoliranim zvjezdištem, ako se isklapnja vrše sklopkama lošijih kvaliteta (hidromatske sklopke), mogu postići iznose koji prelaze granicu podnosivih napona normalne izolacije (lit. 1).

Budući da su hidromatske sklopke zamijenjene malouljnim, a da je zvjezdište 35 kV TS 110 kV Pula uzemljeno putem malog djelatnog otpora, onemogućeni su spomenuti prenaponi, što dokazuju i pogonska iskustva u promatranom razdoblju.

ZAKLJUČAK

Uzemljenje zvjezdišta 35 kV mreže potpuno su se eliminirali unutrašnji prenaponi, smanjili stacionarni prenaponi a time onemogućili višestruki kvarovi.

Ugradnjom automatskog ponovnog uklopa u velikoj mjeri se povećao kontinuitet električne energije, tj. smanjio broj ispada na vodovima prouzrokovan kvarovima. Ako se analizira tablica 2. i 3, te slike 3, 4 i 5, može se zaključiti da se:

— u toku prve beznaponske pauze (0,3 sek), koja je dovoljno velika da u slučaju kvara na dalekovodu dođe do gašenja luka i deonizacije zraka eliminira 60—80% prolaznih kvarova koji ni pogonsko osoblje ni potrošači nisu primijetili,

— za vrijeme druge beznaponske pauze (20 sek) eliminira i do 90% prolaznih kvarova.

Preostalih 10% kvarova uzrokovani su vanjskim prenaponima koje izolacija na vodu ne može izdržati.

S obzirom na dobra pogonska iskustva stečena u ovih nekoliko godina, s 35 kV-tnom mrežom uzemljenom preko djelatnog otpora male vrijednosti uz TS 110 kV Pula (21 Ohma, 1000 A) i TS 110 kV Pazin (70 Ohma, 300 A), uzemljena su i zvjezdišta transformatora 35 kV, u TS 110 kV Buje (70 Ohma, 300 A) i TS 110 kV Poreč (70 Ohma, 300 A).

LITERATURA

1. HRS
»Ovisnost unutarnjih prenapona u razdjelnim mrežama o načinu uzemljenja zvjezdišta i o drugim utjecajima«, Zagreb, 1977.
2. FILIPOVIĆ
Zaštita od kvadrova mreža i postrojenja 35, 20 i 10 kV, Zagreb, 1979.
3. ZJE Tehničke preporuke
Zaštita vodova u mreži 35 kV, Beograd, 1974.
4. »Elektroistra« Pula (Tehnički odjel)
Godišnji izvještaj, Pula
5. »Elektroprenos« Opatija (TS 110/35/10 kV Pula)
Pogonski Dnevnik, Pula

THE EFFECT OF THE NEUTRAL RESISTANCE GROUNDING IN THE NETXORKOF »ELEKTROISTRA« PULA

In the article is described change of 35 kV network »Elektroistra« Pula to the neutral point grounding with small active resistance. Comparison between overvoltages in isolated and in grounded networks is given. Statistics of failures on application of three phases fast and slow automatic connection is presented.

Naslov pisca
Luciano Delbianco, dipl. inž.
Livio Rosanda, dipl. inž.
»Elektroistra«, Pula

HERMETIČKI ZABRTVLJENI DISTRIBUTIVNI TRANSFORMATORI BEZ KONZERVATORA

Mr Ivan Sitar, Zagreb

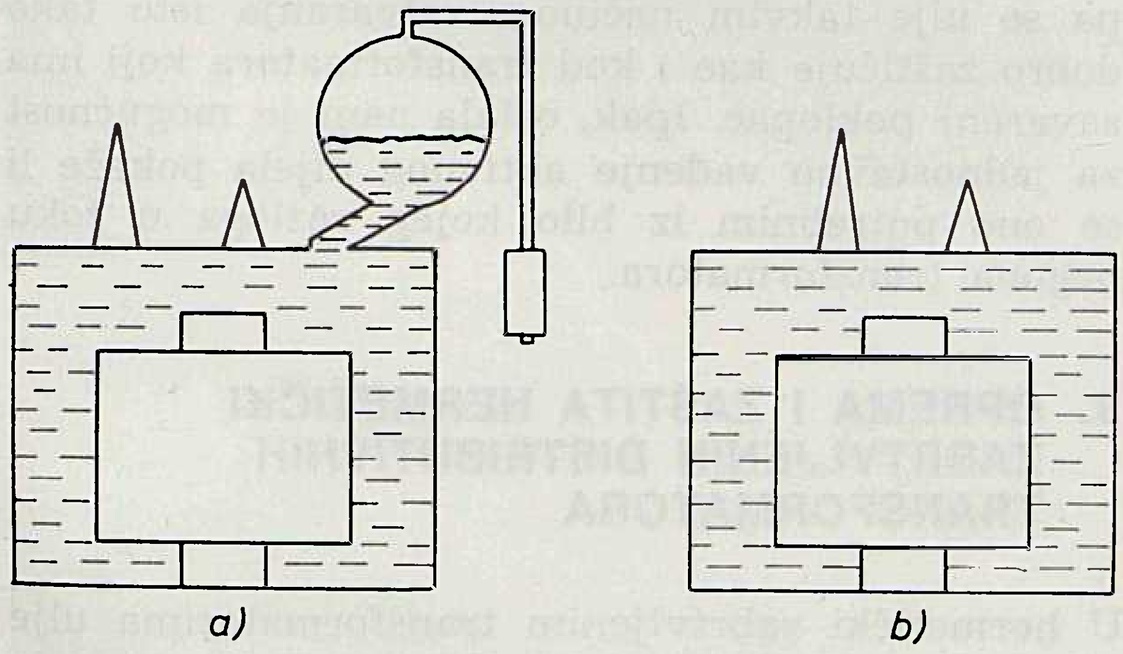
UDK 621.314.005

U članku su opisane karakteristike hermetički zabrtvljenih transformatora bez konzervatora i prikazano dimenzioniranje kotla od valovitog lima. Navedene su prednosti ovakvih transformatora u odnosu na dosad uobičajene izvedbe trankformatora s konzervatorom.

1. UVOD

Visoka probojna čvrstoća i izdašnost pri hlađenju glavni su razlozi da se ulje upotrebljava kao izolacijsko i rashladno sredstvo u transformatorima. Probojna čvrstoća umnogome ovisi o količini vlage u ulju i ono je jače upija na višoj temperaturi. Ulje je podložno kemijskim promjenama, poznatim pod nazivom starenje ulja. Rezultat tih promjena jest stvaranje taloga i kiselih spojeva čije prisustvo pogoršava kvalitetu ulja, otežava hlađenje namota i smanjuje životni vijek cijelog izolacijskog sistema transformatora.

Ovisno o veličini tereta mijenjaju se gubici, a s njima i razvijena toplina u transformatoru. Ulje se prilikom prenošenja topline od namota i jezgre na kotao i prigrađeni rashladni sistem zagrijava i pri tom širi. Prostor u koji se ulje širi, odijeljen je od kotla i zove se konzervator (slika 1. a). Iako ulje u konzervatoru ima nižu temperaturu u odnosu na temperaturu ulja u samom transformatoru, zbog dodira sa zrakom apsorbira vlagu iz njega i onečišćuje se. Da bi se održala potrebna probojna čvrstoća ulja, potrebno je u toku pogona transformatora kontrolirati sadržaj vlage i nečistoću u ulju i ako ih ima previše, ulje treba zamijeniti ili regenerirati. Kontrola ulja u pogonu znači stalnu brigu o transformatoru. Zakaže li ta briga, vrlo lako može doći do električnog proboja. U tom slučaju transformator nužno izlazi iz pogona, a potrošači ostaju bez električne energije. Zato je za pouzdan pogon i dugačak životni vijek uljnih transformatora potrebno tijekom pogona držati probojnu čvrstoću ulja na visokom nivou i smanjiti brigu o transformatoru.



Sl. 1. Transformator: a) otvorena izvedba s konzervatorom, b) hermetički zabrtvljena izvedba bez konzervatora

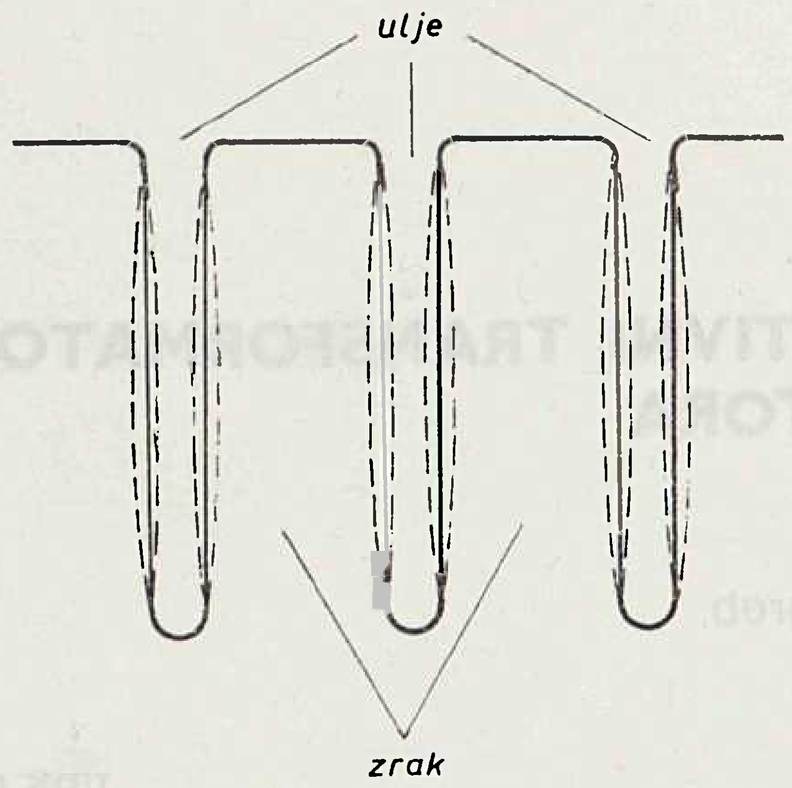
Hermetički zabrtvljeni transformatori bez konzervatora (slika 1. b), u kojima je ulje potpuno odijeljeno od okolnog zraka, pokazali su niz prednosti u odnosu na dosad uobičajenu izvedbu transfromatora s konzervatorom i o njima će se govoriti u ovom članku.

2. KOTAO IZ VALOVITOG LIMA

U uvodu je spomenuto da se ulje širi u prostor konzervatora gdje je u dodiru sa zrakom iz kojeg upija vlagu i kisik, koji ubrzavaju »starenje«. U želji da se zadovolje zahtjevi kupaca za transformatorom koji je pouzdan i traži minimalno posluživanje tijekom pogona, pronađeno je rješenje u hermetički zabrtvljenoj izvedbi transfomratora bez konzervatora, (1), (2) i (3).

Kotao ovih transformatora načinjen je od valovitog lima. Rebra za hlađenje konstruirana su tako da se elastično deformiraju pri povećanom pritisku u transformatoru i na taj način preuzmu povećanje volumena ulja na povišenoj temperaturi (slika 2). Budući da su rebra preuzela temperaturno širenje ulja, konzervator više nije potreban. Tako su smanjene ugradbene dimenzije transformatora, i ulje se sasvim odvojilo od zraka i vlage. Zbog toga je smanjeno starenje ulja, a otpala je i briga za njegovu kontrolu i potreba za zamjenom ili regeneracijom.

Za pravilno dimenzioniranje kotla od valovitog lima treba znati pretlak u kotlu kod nazivnog tere-



Sl. 2. Elastične deformacije rebra kod pretlaka, odnosno potlaka u kotlu

ta i u slučaju kratkog spoja koji se dogodio pošto je transformator bio duže vrijeme nazivno opterećen.

Takva ispitivanja načinjena su na kotlovima naših transformatora. Najveći pretlak koji se pojavio u kotlu je 0,32 Pa (kp/cm²). Inače, proizvođač sve kotlove ispituje s pretlakom 0,5 Pa, [4].

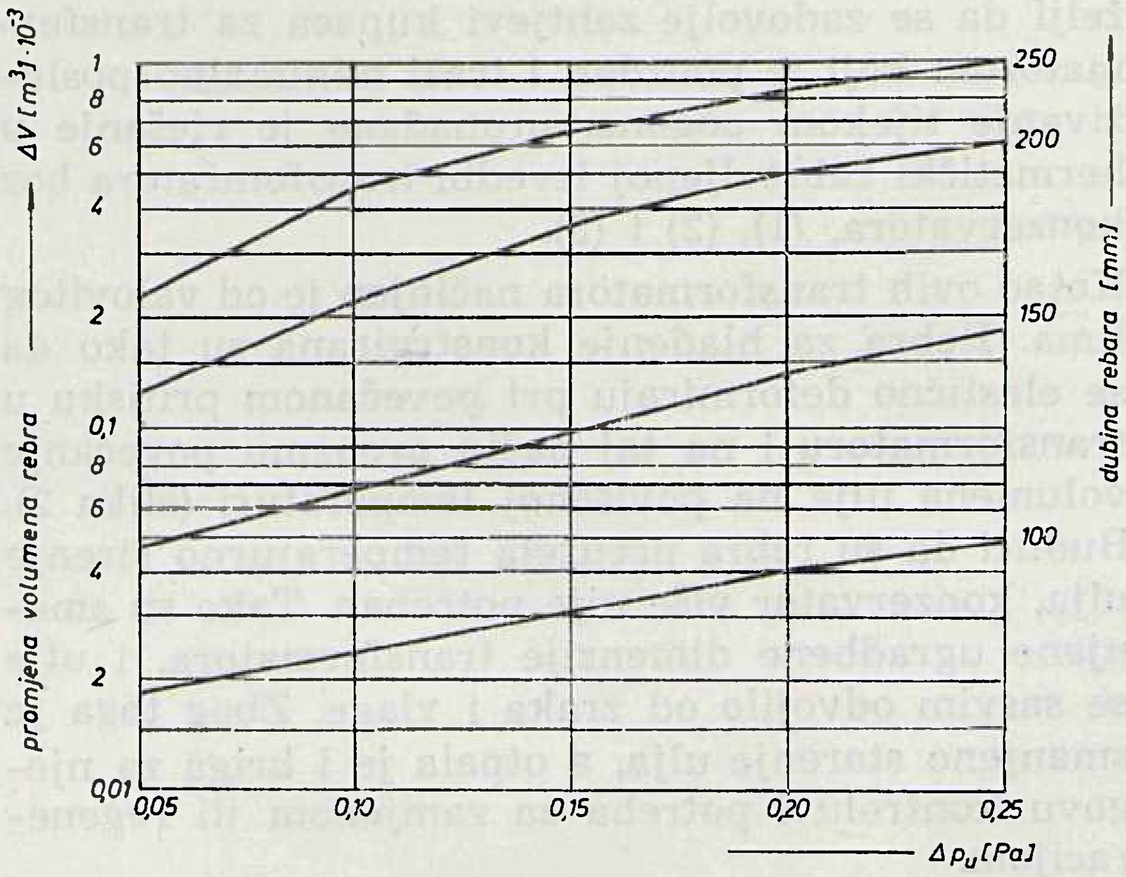
Dimenzije rebara na našim kotlovima određene su tako da pretlak u kotlu pri nazivnom teretu ni u kojem slučaju ne prijeđe 0,2 Pa.

Ako je kotao napunjen uljem temperature T_0 [K] i volumena V_0 [m³], onda se pri temperaturi T volumen ulja promijeni za ΔV, [1]:

$$\Delta V = V_0 \cdot \beta (T - T_0) \qquad (1)$$

gdje je β temperaturni koeficijent rastežljivosti ulja i iznosi 0,000 69 $\frac{1}{K}$.

Na slici 3. prikazane su krivulje promjene volumena jednog rebra ΔV u ovisnosti o pretlaku Δp_u [Pa] za različite dubine rebara. Krivulje su snimljene na rebrima visine 800 mm. Ako kotao

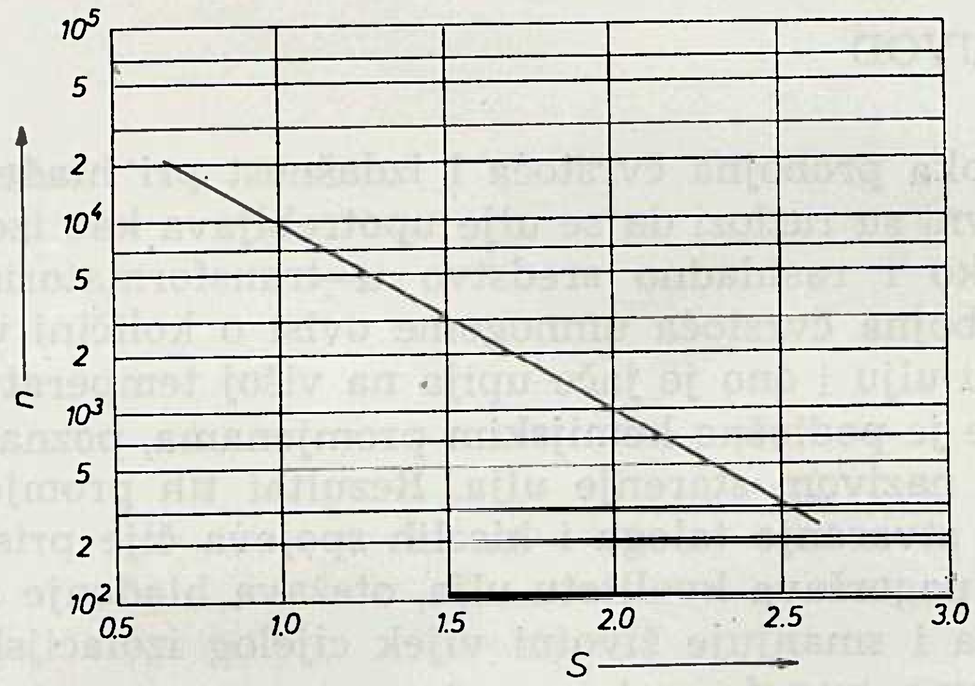


Sl. 3. Promjena volumena rebra ΔV u ovisnosti o pretlaku ulja u kotlu Δpu izmjerena na rebrima visine 800 mm. (Parametar je dubina rebra.)

ima rebra druge visine, potrebno je vrijednosti iz dijagrama preračunati i korigirati eksperimentalno određenim koeficijentima.

Danas se u našoj zemlji kotlovi od valovitog lima proizvode najsuvremenijom tehnologijom kojom se koriste i ostali evropski proizvođači distributivnih transformatora [5].

Osim na statički pretlak, kotlovi za hermetički zabrtvljene transformatore ispitiju se dinamički da im se odredi životni vijek. Ispitivanja se provode tako da se simulira promjena volumena ulja. U tu svrhu je prikladno upumpavati i ispunjavati određenu količinu tekućine u ispitivani, potpuno napunjeni i hermetički zabrtvljeni kotao. Nakon određenog broja ciklusa pojavit će se na kotlu pukotina. Rezultati ispitivanja prikazani su na slici 4, [6]. Logaritamska ovisnost vlada između relativnog opterećenja S (S = 1 — kod nazivnog



Sl. 4. Broj ciklusa opterećenja n koje kotao podnese bez pojave pukotina u ovisnosti o relativnom opterećenju S (S = 1 — za nazivno opterećenje)

tereta) i broja ciklusa opterećenja n, koje kotao podnese bez pojave pukotina. Ako pretpostavimo da se ulje jedanput dnevno zagrije na temperaturu koja odgovara trajnom nazivnom opterećenju, a kako iz slike 3. slijedi da kotao podnosi 10 000 ciklusa nazivnog opterećenja, životni je vijek kotla približno 30 godina.

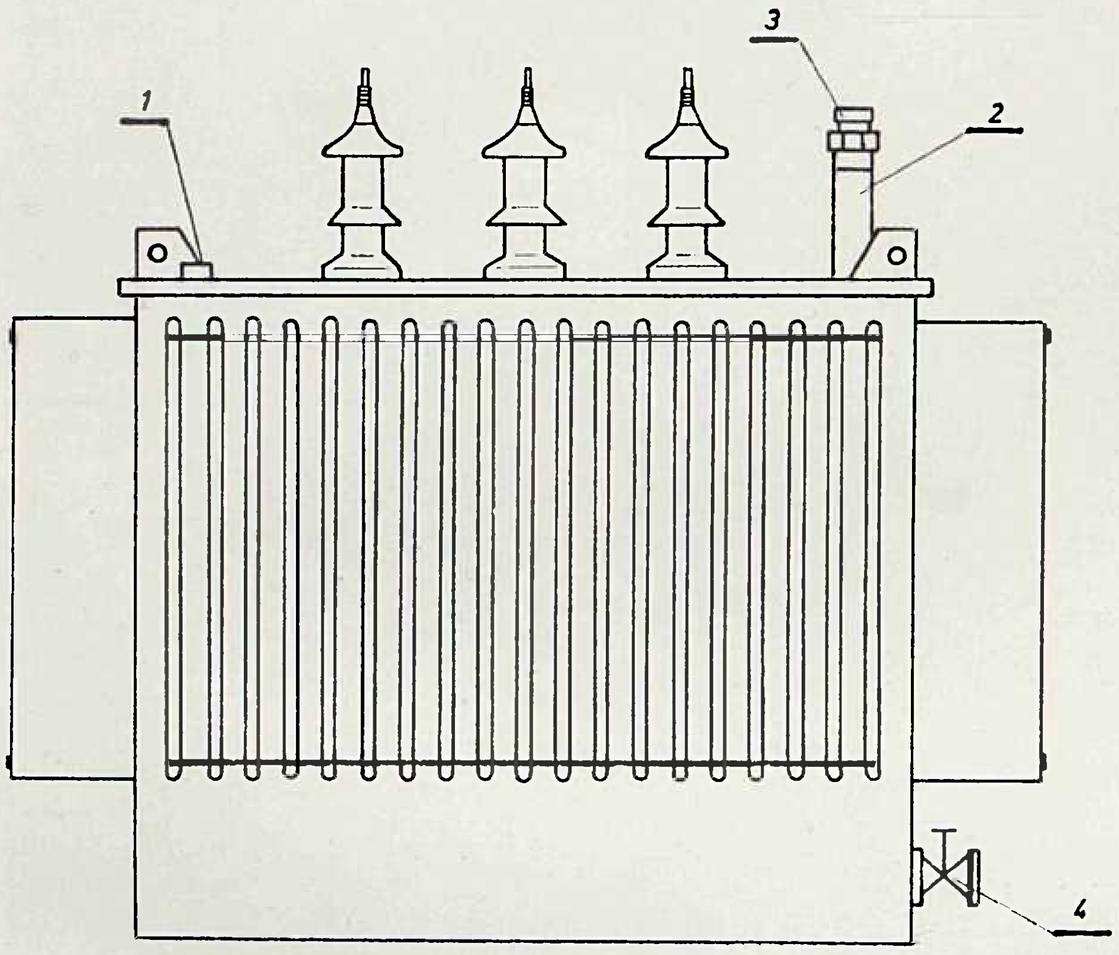
Treba naglasiti da poklopac naših hermetički zabrtvljenih transformatora nije zavaren, već pričvršćen vijcima. Budući da je kotao stalno i potpuno ispunjen uljem, brtvilo se ne može isušiti, pa se ulje takvim načinom zatvaranja isto tako dobro zaštićuje kao i kod transformatora koji ima zavareni poklopac. Ipak, ostala nam je mogućnost za jednostavno vađenje aktivnog dijela pokaže li se ono potrebnim iz bilo kojeg razloga u toku pogona transformatora.

3. OPREMA I ZAŠTITA HERMETIČKI ZABRTVLJENIH DISTRIBUTIVNIH TRANSFORMATORA

U hermetički zabrtvljenim transformatorima ulje nije u kontaktu s okolnim zrakom, pa je starenje ulja i celulozne izolacije znatno dulji proces. Sto-

ga je potreba za kontrolom i održavanjem takvih transformatora manja.

Distributivni transformatori s konzervatorom opremljeni su pokazivačem nivoa ulja, termometrom, a kod većih jedinica i Buchholz-relejom. Pokazivač nivoa ulja ne stavlja se na hermetički zabrtvljene transformatore jer je kotao potpuno ispunjen uljem. Termometar za kontrolu temperature ulja u transformatoru ugrađen je i kod ovih transformatora u džep (1 na slici 5). Sa slike 5. (pozicija 2) vidi se da otvor za punjenje uljem završava cijevi. Cijev se do vrha napuni, pa su i provodni izolatori ispunjeni uljem.



Sl. 5. Oprema i uređaj za zaštitu hermetički zabrtvljenih transformatora: 1 — džep za termometar, 2 — cijev za punjenje uljem, 3 — odušnik, 4 — ventil za ispuštanje ulja

To nam omogućuje primjenu standardnih provodnika prema DIN 42531 i DIN 42532. Na cijev za punjenje montiran je odušnik (pozicija 3) koji će proraditi kada pretlak u kotlu naraste toliko da postoji opasnost od trajnih (nepovratnih) deformacija, inače elastičnih rebara. Potrebno je napomenuti da će se toliki pretlak pojaviti jedino u slučaju kratkog spoja u transformatoru. Onda se izgaranjem ulja stvaraju plinovi koje odušnik ispusti iz kotla.

Standardni Buchholz-relej nije primjenjiv na ovakvim transformatorima jer nema strujanja ulja kao u transformatorima s konzervatorom. Da bi se ipak zaštitile veće jedinice, na zahtjev kupaca ugrađujemo sklopku na plovak koja radi slično Buchholz-releju i javlja u prvom redu pojavu plina u transformatoru. Također je prikladna za pokazivanje gubitka ulja koje više ne može nadoknaditi kotao svojim elastičnim ponašanjem.

4. ZAKLJUČAK

Prije nego navedemo osnovne prednosti hermetički zabrtvljenih transformatora u odnosu na dosad uobičajene izvedbe s konzervatorom, treba reći da su oni ne samo manjih dimenzija, već imaju na poklopcu više prostora, a to daje veću slobodu za izvođenje priključaka. U današnje vrijeme stalnog porasta potrošnje električne energije, kada se susrećemo s problemima uvođenja sve većih jedinica u urbane sredine i kada nam suvremena tehnologija dozvoljava da priključke transformatora izvedemo pomoću kabelskih glava od sintetske gume, ova izvedba transformatora pruža znatno šire mogućnosti.

Prednosti što ih donosi ugradnja u distributivne mreže zabrtvljenih transformatora bez konzervatora jesu slijedeće:

- manja visina transformatora, smanjene ugradbene mjere i puno veća sloboda u izvođenju priključaka;
- održavanje i briga o transformatoru svedeni su na minimum;
- potrebno je manje dodatne opreme i uređaja za zaštitu transformatora;
- pouzdanija je opskrba potrošača električnom energijom;
- dulji je životni vijek transformatora.

LITERATURA

1. Altmann, G.: Hermetisch geschlossene Verteilungstransformatoren, CIRED-Konferenz London, 1977.
2. Kasermann, P.: Betriebserfahrungen mit Verteiltransformatoren ohne Olkonservator, Brown Boveri Mitt, 7-76.
3. Vosen, H.: Hermetically sealed transformers, Schorch Report 1977.
4. Dobričević, M.: Nove tendencije u gradnji distributivnih transformatora, Savjetovanje o elektrodistributivnim mrežama u Jugoslaviji, Herceg-Novi, 1979.
5. Zschokke Wartmann AG: Anlage zur Herstellung von Wellblechen für Transformatorengehäuse, Technische Beschreibung.
6. Alber, F; Altman, G.: Zur Frage der Lebensdauer von Kesseln für hermetisch geschlossene Verteilungstransformatoren, Elektrizitatswirtschaft, H. 8. 1974.

HERMETICALLY SEALED DISTRIBUTION TRANSFORMERS WITHOUT CONSERVATOR

In this article the features of hermetically sealed transformers have been described. There are shown design principles of corrugated sheet tanks. The advantages of such transformers with respect to conventional type with conservator are quoted.

Naslov pisca:
mr Ivan Sitar, dipl. inž.
»Rade Končar«, Zagreb

KAKAV STATUS DISPEČERSKOJ FUNKCIJI

VLATKO ČULO, Zagreb

Dispečerski centri su upravljačke funkcije u elektroenergetskom sistemu. To su izvršne funkcije koje usklađuju nezavisno formirane zahtjeve sistema potrošnje i sistema povezane proizvodnje, odnosno proizvodno-prijenosnog sistema. Nalaženje pravog mjesta u ovoj funkciji u elektroenergetskom sistemu ima kako stručno-tehnološki, tako i društveno-ekonomski i organizacijski aspekt.

U posljednju godinu-dvije bilo je mnogo razgovora dispečerskoj funkciji u elektroenergetskom sistemu. Bilo je razgovora na svim nivoima, od Sabora SRH do elektroprivrednih organizacija. Razgovori su obuhvaćali teme o izgradnji sistema daljinskog vođenja elektroenergetskog sistema Hrvatske i o mjestu i ulozi dispečerskih funkcija u elektroenergetskom sistemu, te njegove teze ovoga s pristupom organizaciji elektroprivrede.

Svi ti razgovori unutar elektroprivrede i izvan nje vođeni su s dosta nervoze i nesporazuma, pa su i dojmovi poslije svega prilično nelagodni. Neki nesporazumi (bolje reći razilaženja na nedovoljno razjašnjenim osnovama) prisutni su i danas. Tako se mogu naći različite formulacije o nadzoru i upravljanju EES-u u raznim prilozima vezanim za diskusiju u Nacrtu zaona o izmjenama i dopunama, a i u samom Nacrtu zakona o elektroprivredi.

Pišem ovo stoga što mislim da u nizu tih rasprava nije dovoljno prisutan suštinski sadržaj ove funkcije. Prateći u kratkom tekstu razvoj sistema i ove funkcije, želio sam istaći do koje je ona mjere jedna od temeljnih funkcija, imanentna prirodi elektroenergetskog sistema. S tim u vezi želim da se razmatra mjesto i uloga dispečerskih funkcija i u izgrađenom elektroenergetskom sistemu kao nadzorne i upravljačke funkcije koja na stanovit način izražava i jedinstvo i stupanj uređenosti elektroenergetskog sistema i njegovih dijelova.

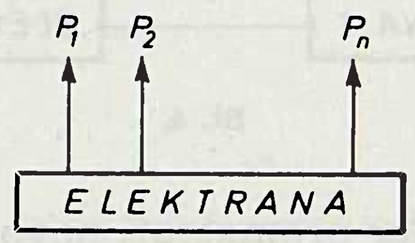
Poznato je da T. A. Edison izradio prvu elektranu 1881. godine u New Yorku. Iz ove elektrane opskrbljavali su se električnom energijom potrošači (Pl do Pn) u okolici elektrane. Time je ustanovljen prvi sistem proizvodnje i raspodjele električne energije istosmjernom strujom (sl. 1).

Unutar ovog sistema, već u ovoj fazi, mogu se uočiti dva relativno samostalna podsistema:

— podsistem proizvodnje električne energije,

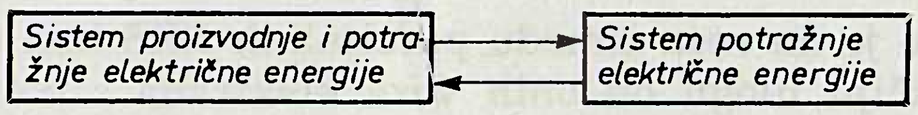
— podsistem raspodjele električne energije.

Cjelokupni sistem proizvodnje i raspodjele električne energije ima partnera u sistemu potrošnje; u to doba radi se o skupu potrošača električne



Sl. 1,

energije u četvrti gdje je smještena elektrana. Veza između tih dvaju sistema, koji međusobno intenzivno komuniciraju, nije jednostavna, jer i jedan i drugi sistem imaju svoje zahtjeve. To znači da je veza dvosmjerna i složena od niza parcijalnih zahtjeva (sl. 2).

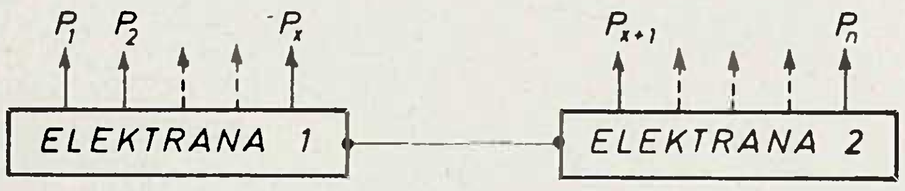


Sl. 2.

Jedan od tih prvih i osnovnih uvjeta što ih sistem potrošnje električne energije postavlja pred sistem proizvodnje i raspodjele električne energije (nadalje: elektroenergetski sistem — EES) jeste osiguranje dovoljnih količina električne energije kada god to potrošači trebaju. To znači da EES mora brinuti o kontinuiranoj opskrbi potrošača kvalitetnom električnom energijom.

EES postavlja pred potrošače zahtjev da svoju potrošnju prilagode mogućnostima elektroenergetskog sistema. U prvoj fazi, koju još razmatramo, radi se o tome da elektrana ne može neprekidno raditi i ne može priključiti više potrošača nego što je iskoristiva snaga njenih strojeva.

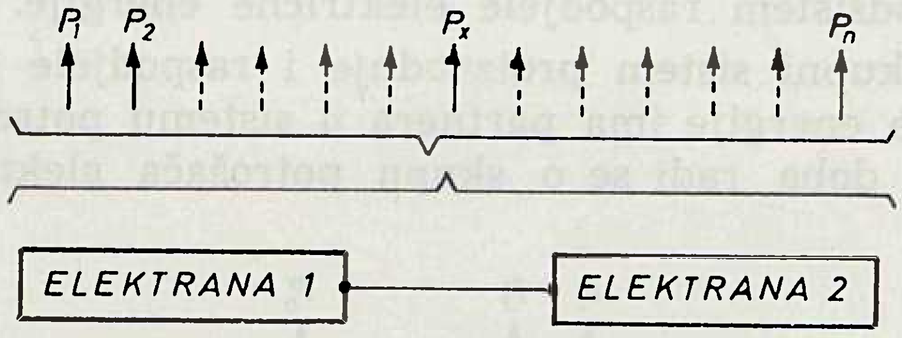
Potreba da se i drugim potrošačima udaljenijim od elektrana osigura električna energija vodila je izgradnji novih elektrana u drugim četvrtima. Osim toga što samo jedna elektrana nije bila u mogućnosti da udovolji zahtjevima novih potrošača zbog ograničene snage, električna energija odgovarajuće kvalitete nije se mogla ekonomski opravdano prenijeti na veću daljinu. Zahtjev siste-



Sl. 3.

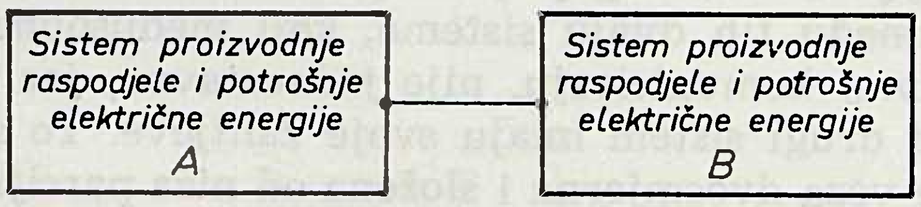
ma potrošnje za kontinuiranim napajanjem vodio je dalje povezivanju tih elektrana međusobno (sl. 3) U ovom slučaju EES može se promatrati kao skup dvaju podsistema:

— podsistem raspodjele električne energije,
— podsistem proizvodnje povezanih elektrana (sl. 4).



Sl. 4.

Moguće je također promatrati novo stanje kao skup neovisnih, ali međusobno povezanih sistema: EES (A) i sistema potrošnje (B) (sl. 5).



Sl. 5.

Očito je da veza između parcijalnih EES ima nešto drukčiju ulogu od onih veza elektrana s potrošačima; ovdje se radi o prijenosu električne energije između dviju grupa potrošača odnosno dvaju sistema. Vidimo da se već kod povezivanza dvaju elektrana što napajaju odgovarajuće potrošače javljaju osnovni elementi suvremenih velikih i složenih EES-a. To su podsistemi proizvodnje, prijenosa i raspodjele (odnosno distribucije) električne energije.

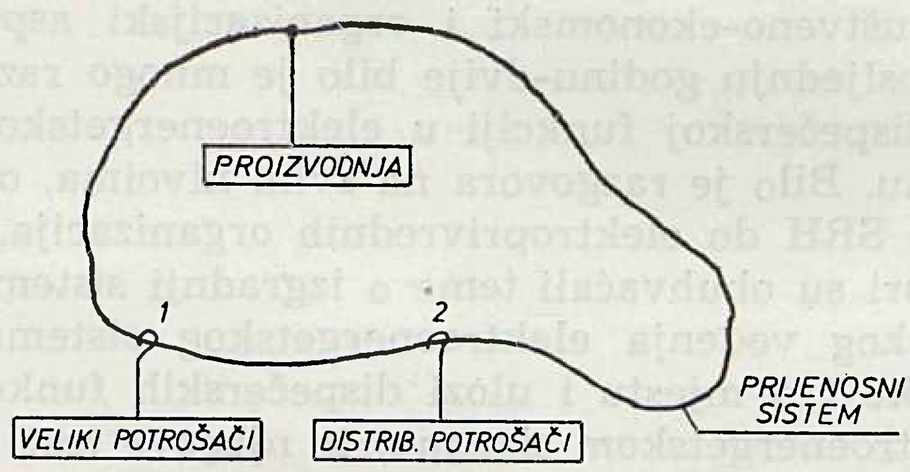
Doduše, do prvog prijenosa električne energije na daljinu u suvremenom smislu došlo je tek 1895. godine, kada se električna energija proizvedena u hidroelektranama na slapovima Nijagare prenosila Američkom topioničarskom društvu. Do tada je povezivanze elektrana davalo samo novu kvalitetu sistemu proizvodnje jer su povezane elektrane u odnosu na sistem raspodjele i u odnosu na potrošača djelovale jedinstveno, tj. isto kao više generatorskih jedinica u jednoj elektrani.

U toj fazi vidi se jedna od bitnih funkcija prijenosnih postrojenja: da pojedine elektrane, bez obzira gdje su locirane i bez obzira na vrstu pogonskog goriva itd., poveže u sistem proizvodnje električne energije. Ta činjenica uvjetovala je da i danas u velikom broju zemalja, tj. elektroenergetskih sistema, prijenos nije nikada postao samostalan i nije konstituiran u djelatnosti, već se promatra kao sastavni dio proizvodnje.

Kod nas, kao i u još nekim zemljama, podsistem prijenosa konstituiran je u djelatnosti. To ima opravdanja jer uvođenje više naponskih nivoa i razvojem prijenosne mreže razvija se i posebna tehnologija za ovo područje. Uz to je i tehnička problematika prijenosa energije na velike daljine sasvim specifično područje.

No, bez obzira na to, insistiranjem na oštroj granici između podsistema proizvodnje i podsistema prijenosa javljaju se teškoće što kompliciraju odnose unutar EES-a. Ni u početku razvoja EES-a niti danas nije sporno da su podsistemi proizvodnje i raspodjele relativno samostalni u međusobnim odnosima, odnosno da su njihove međusobne veze relativno jednostavne.

Pojednostavnjena slika odnosa ovih podsistema na suvremenoj razini razvoja EES izgleda kao na sl. 6.



Sl. 6.

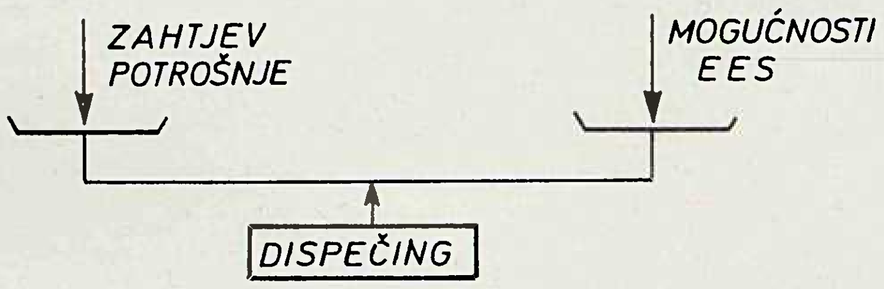
Na prethodnoj skici cjelokupna proizvodnja prikazana je na jednome mjestu, a prijenosni sistem predstavljen je kao zatvorena petlja. To predstavlja sistem povezanih elektrana ili proizvodno-prijenosni sistem. Prema skici na takav prsten koji je u svakom trenutku nabijen električnom energijom »vješaju« se potrošači, bilo kao skupine distributivnih potrošača, bilo kao veliki potrošači priključeni na prijensnu mrežu.

Svaka od tih grupa potrošača — u našem slučaju radi se o distributivnim potrošačima — u velikoj je mjeri međusobno nezavisna. Točke 1 i 2 na skici 6. mogu se nazvati pojnim točkama za promatrane grupe potražnje. U tim točkama definiraju se zahtjevi potrošnje na ponašanje proizvodno-prijenosnog sistema:

— u pojnim točkama treba biti dovoljno električne energije za podmirivanje potreba potrošnje,
— kako je zahtjev potrošnje vremenski promjenljiv, potrošačima se mora staviti na raspolaganje potrebna količina električne energije po vremenskoj dinamici potražnje,
— u slučaju kvara na pojedinim elementima sistema posljedice treba osjećati minimalan broj potrošača,
— raspoloživa energija mora biti zahtijevane kvalitete.

Svi ti zahtjevi svode se na to da se između potrošnje i proizvodnje mora osigurati odgovarajuća dinamička ravnoteža. Ovaj zahtjev znači da EES mora biti sposoban da se prilagodi zahtjevima potrošnje jer je svrha postojanja EES-a da se zadovolje potrebe potrošnje.

Da bi bilo moguće osigurati tu dinamičku ravnotežu između potrošnje i proizvodnje, mora postojati jedno mjesto unutar EES-a gdje će stizati, biti evidentirani i biti kvantificirani zahtjevi konzuma, gdje će stizati, biti uočljive i biti kvantificirane mogućnosti proizvodnje, pa da se sučeljavanjem tih informacija osigura odgovarajuće poželjno (po-
našanje EES-a (sl. 7).



Sl. 7.

Tako definirano mjesto predstavlja dispečerski centar. Dispečerski centar treba biti opremljen odgovarajućim uređajima da se na osnovi raspoloživih informacija mogu donositi zaključci o stanju u EES-u i davati potrebne naredbe, što će omogučiti da se udovolji trenutnom zahtjevu potrošnje. To je, dakle, mjesto koje izražava proizvodno-prijenosni sistem i predstavlja ga prema potrošnji, a također izražava i predstavlja potrošnju prema EES-u.

Dispečerske funkcije preuzimaju takvu ulogu na sebe u svim EES-ima, bez obzira na to koliko izgrađeni i međusobno povezani bili i bez obzira na tehnologiju kojom se omogućava obavljanje ovih poslova. Dakle, dispečerska funkcija uvijek je sistemska funkcija, bez obzira o kojem se sistemu ili kojoj veličini sistema radi.

Ovo razmatranje ima svrhu da ukaže na funkcionalno jedinstvo dijelova EES-a unutar kojeg postoji jedna dispečerska funkcija. Posebno se želi upozoriti na to da bi svaki oblik organizacije elektroprivredne djelatnosti trebao rezultirati odnosima u okviru kojih je jasno uočljiv sistemski karakter dispečerske funkcije. To znači da ova funkcija nem ože pripadati bilo kojoj »elektroprivrednoj organizaciji«, već onom EES-u koje ona izražava, tj. svim elektrprivrednim organizacijama unutar tog sistema.

Tako definirana funkcija dispečiranja ima, naravno, svoju fizionomiju odnosno organizaciju. Da bi bilo moguće stvariti zadatak da se na jedome mjestu definira zahtjev sistema potrošnje i definira odziv EES-a na taj zahtjev, EES mora biti na određen način »uređen«, tj. organiziran. Pri tome mislim na izrađenost onih funkcija u EES-u koje su nužne da bi se EES proizvodnje i prijenosa mogu javljati jednim odzivom, dakle da bi taj sistem usklađen radio. Te funkcije nazivamo sistemskim funkcijama. Mogli bismo ih sistematizirati kao funkcije

- za definiranje stanja sistema ili funkcija mjerenja osnovnih i drugih potrebnih veličina za definiranje stanja sistema,
- funkcija očuvanja stabilnosti jedinstvenog tehničkog sustava ili zaštitna funkcija,
- sistema veza za prijenos informacija i obradu raznih podataka koji se detektiraju u pojedinim točkama EES-a kao i prijenos komandi ili funkcija sistema informacija u EES-u,
- za uobličavanje zahtjeva konzuma na način da bude moguće definirati odziv sistema ili energetsko-analitička funkcija.

Sasvim je irelevantno na kojem i na koliko se nivoa organizira jedinstvo proizvodnje i prijenosa u EES-u. Na svakom od tih nivoa nužno je definirati navedene funkcije koje u cjelini možemo nazvati »energetika sistema«.U organizaciji EES-a to čini svojevrsnu nadgradnju ili zajedničke funkcije osnovnih djelatnosti, djelatnosti proizvodnje i djelatnosti prijenosa, odnosno funkcija eksploatacije, izgradnje, održavanja i sl. elektroenergetskih objekata i postrojenja.

Obavljanje navedenih poslova u svim sistemskim funkcijama zajednička je stvar svih subjekata u EES-u. Tu činjenicu ne bi trebalo smetnuti s uma bolje reći trebalo bi je sankcionirati odgovarajućim sporazumima o udruživanju u radnu organizaciju ili više asocijacije.

Možda bi bilo najbolje sve te funkcije organizirati u posebnu radnu zajednicu ili posebnu organizaciju udruženog rada. Mogu se također sve te funkcije smjestiti u jednu ili više organizacija udruženog rada. Bitno je da svi subjekti u elektroenergetskom sistemu mogu utjecati i da utječu na rad svih zajedničkih funkcija, da se zajednički brine o obavljanju i razvoju svih sistemskih poslova.

Na kraju nije naodmet napomenuti da se logičnom organizacijom sistemskih funkcija postižu maksimalni ekonomski efekti. To je zato što se time na najbolji i najlogičniji način usklađuje rad poiedinih dijelova sistema. Drugim riječima, to znači da se elektroenergetski sistem optimalno vodi i eksploatira.

XXVIII ZASJEDANJE CIGRE U PARIZU

Kako je to uobičajeno, svake parne godine održava se u Parizu zasjedanje CIGRÉ (Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques à Haute Tension), Međunarodne konferencije za velike električne mreže visokog napona. Ove, 1980. godine održano je XXVIII zasjedanje, i to u zgradi pravnog fakulteta u Rue d'Assas. Time je, na žalost, prekinuta dosadašnja dugogodišnja praksa da se ovakav skup održava u vrlo lijepim i prikladnim dvoranama palače UNESCO.

Ukupni broj sudionika skupa, iz šezdesetak država, iznosio je, prema broju prijavljenih, 2 354, ne računajući pratnju. Vrijedno je spomenuti da su skupu prisustvovale brojne delegacije NR Kine i DR Njemačke.

Iz Jugoslavije je zasjedanje posjetilo oko trideset stručnjaka.

Zasjedanje je svečano otvoreno 27. kolovoza poslijepodne. Nakon oficijelnog dijela otvaranja nastavljena je diskusija tzv. okruglog stola o temi mogućnosti prijenosa ultravisokim naponima.

Diskusija o svakoj grupi referata vođena je jedan dan, ujutro (9,30 do 12,30 sati) i poslijepodne (14,30 do 18,00 sati). Ona je podijeljena u dva dijela.

Prve tričetvrtine vremena bile su posvećene odgvorima na pitanja u okviru preferencijalnih tema. Pitanja je sastavio odgovarajući Studijski komitet, a štampana su u posebnom referatu s brojem 00. Četvrti pak dio diskusije bio je općeg karaktera i odnosio se na tehničko stanje problema i pogled na današnji razvoj.

Govornici su podijeljeni u dvije skupine. Na one koji su pripremili svoju diskusiju i unaprijed se prijavili Tehničkom sekretarijatu i spontane govornike, koji su svoj nastup prijavili neposredno voditelju diskusije. Prvi su imali pravo govoriti 6, a drugi samo 3 minute.

Diskusija se vodila po grupama sa slijedećim brojem referata:

11. Rotacioni strojevi	15 referata
12. Transformatori	12 referata
13. Sklopni aparati	11 referata
14. Istosmjerni prijenos	9 referata
15. Izolacioni materijali	8 referata
21. Kabeli visokog napona	12 referata
22. Nadzemni vodovi	12 referata
23. Razvodna postrojenja	12 referata
31. Planiranje mreža	15 referata
32. Pogon i upravljanje sistema	16 referata
33. Prenaponi i koordinacija izolacije	13 referata
34. Zaštita	8 referata
35. Telekomunikacije	9 referata
36. Perturbacije	6 referata
41. Budući razvoj prijenosa i energetskih mreža	9 referata

Ukupno je na zasjedanju bilo 167 referata, ne računajući uvodne referate označene nulom. Jugoslavija je dala dva referata, i to:

23—05. J. Nahman, N. Mijušković

Analiza pouzdanosti i postrojenje vrlo visokog napona,

32—08. F. Gubina, A. Ogorelec, M. Plaper, J. Horvatin

Koncept sigurnosnog upravljanja u abnormalnom pogonu uz pomoć višenamjenskih automata.

Naši su stručnjaci sudjelovali u diskusiji u grupi 23 (Nahman), 32 (Gubina, Hrovatin) i 34 (Ogorelec).

2. rujna poslijepodne održana je generalna skupština CIGRÉ, kako je to utvrđeno na svakom dvogodišnjem zasjedanju. Između ostalog, u izvještaju Administrativnog savjeta je objavljeno da su CIGRÉ pristupila tri nova nacionalna komiteta: NR Kine, DR Njemačke i republike Koreje. Sada je u CIGRÉ učlanjeno 40 nacionalnih komiteta. Zaključeno je da se svake neparne godine održe simpoziji, koji će organizirati pojedini studijski komiteti u zajednici s odnosnim nacionalnim komitetom CIGRÉ koji će biti domaćin. Prvi takav simpozij će se održati u lipnju 1981. u Stockholmu o temi »Prijenosne linije i okoliš«.

Danas ova organizacija ima u svijetu 710 kolektivnih i 2 959 individualnih članova. Zaključeno je da se zbog inflacije povećaju članarine, i to na 1600 FF za kolektivne i 200 FF za individualne članove.

Za vrijeme trajanja zasjedanja održano je niz tehničkih i turističkih ekskurzija. Održana su, osim toga, kao i na dosadašnjim zasjedanjima, dva službena primanja za sve sudionike i nekoliko ekskluzivnih koje su priredili nacionalni komiteti pojedinih zemalja i neke velike elektroindustrijske tvrtke.

Kratak pregled problematke o kojoj je vođena diskusija.

1. Sekcija: OPREMA

Grupa 11. Rotacioni strojevi

Preferencijalne teme bile su:

1. Novi napredak u području velikih sinhronih strojeva. Procjena mogućeg razvoja nove tehnologije u budućnosti (4 ref.).
2. Utjecaj mehaničkih problema i nenormalnog pogona na koncepciju i tehnologiju velikih generatora (8 ref.).
3. Poboljšanje pouzdanosti generatora i velikih motora putem periodičnog održavanja i ispitivanja zaštite sistema za dignosticiranje itd. (3 ref.).

Sadržaj diskusije

U okviru prve teme bilo je govora o asinhroniziranim sinhronim generatorima s uzbudom u dvije osovine, o sistemu uzbude prednostima. Iznesen je razvoj supravodljivih generatora. Prikazan je program razvoja proizvodnje i ispitivanja kriogeneratora od 300 MVA.

O opisu i radu generatora — motora u pumpnim elektranama, njihovom stavljanju u pogon, nesimetričnom opterećenju turbogeneratora, radu u nenormalnom pogonu (gubitak sinhronizma) diskutiralo se prema pitanjima koje je sadržavala druga preferencijalna tema.

U trećoj grupi problema raspravljalo se o ispitivanjima generatora nakon većih poremećaja, kao i metodama ispitivanja prigodom redovnih pregleda radi povećanja pouzdanosti.

Grupa 12. Transformatori

Preferencijalne su teme bile:

1. Različite metode dielektričnih ispitivanja transformatora: ispitivanje naponom industrijske frekvencije, atmosferskim prenaponima i sklopnim prenaponima

koji proizlaze iz uvjeta mreže (uvjeti za reviziju publikacije IEC Pub. 76, 3. dio). Metode i utjecaj na konstrukcije i iskustva u pogonu (4 ref.).

2. Problem ponašanja transformatora pri kratkom spoju i proračun sila i udaraca, konzekvencije na koncepciju i konstrukciju. Pokusi u naravi i na modelu, ocjena rezultata. Realistički uvjeti ispitivanja uzimajući u obzir prilike mreže i pogona (8 ref.).

Diskusija o ovim temama:

U diskusiji se pokazalo da je teško dati neku težinu statističkim podacima o kvarovima dielektričkog podrijetla u transformatorima zbog malog broja kvarova. Prema nekima, kvarovi se povećavaju s nazivnim naponom, a veći su kod odvojenih namota nego kod autotransformatora. Najveći prenaponi industrijske frekvencije javljaju se pri ispadu tereta.

U mnogim su se zemljama pojavili kvarovi na regulacionim transformatorima nakon udara munje na određenoj udaljenosti od transformatora. Tu pojavu treba dalje istraživati.

Mnogo je bilo govora o potrebnim ispitnim metodama i standardizaciji ispitivanja, a naročito ispitnim naponima za pojedine vrste prenapona i utjecaja mreže.
Problem kvarova zbog kratkog spoja vrlo je važan za konstruktore i korisnike transformatora. I ova vrsta kvara nije česta, pa je također teško ustanoviti neke statističke zakonitosti.

Konstatirano je da su tercijarni namoti transformatora njihovo ranjivo mjesto. Zbog toga se u nekim mrežama nastoji izbjeći kratki spoj među fazama, a u nekim izostaviti tercijarni namot. Istaknute su poteškoće koje predstavljaju koncepcija reprezentativnog modela na kojem bi se ispitale prigušnice za ograničenje kratkog spoja. Pažnja je također posvećena povećanim strujama magnetiziranja koje se superponiraju strujama kratkog spoja, a također i pojavama štetnih vibracija.

Interesantno je spomenuti prijedlog jednog diskutanta da se toplina nastala zbog gubitka u transformatoru koristi za grijanje kuće.

Grupa 13. Sklopni aparati

Preferencijalne teme bile su:

1. Sklapanje struja opterećenja, obuhvaćajući male induktivne, kapacitivne i aktivne struje s gledišta ponašanja uređaja za prekidanje i stvarnih uvjeta sistema (3 ref.).

2. Specijalni problemi koji se odnose na sklopne aparate oklopljenih stanica, kao i prekidače stanica na otvorenom (4 ref.).

3. Perspektiva prekidača za vrlo visoke i ultravisoke napone za trofazni i istosmjerni prijenos, uzimajući u obzir i snagu budućih mreža (2ref.).

4. Dva su referata određena da se diskutiraju u generalnoj debati jer su izvan preferencijalnih tema.

Diskusija:

Diskutirano je o metodama proračuna nestabilnosti pri iskapčanju malih struja. Prikazni su rezultati isklapanja malih induktivnih i kapacitivnih struja različitim tipovima prekdača, pa je konstatirano da je za isklapanje malih induktivnih struja vrlo uspješan SF_6 prekidač. Izneseni su mnogi rezultati prekidanja neopterećenih transformatora i prigušnica i neopterećenih nadzemnih vodova.

U okviru druge preferencijalne teme govoreno je o prekidačima kao elementima SF_6 postrojenja osobito o dielektričnim naprezanjima na prekidačima za vrijeme sklapanja. Izneseni su rezultati ispitiavnja električnog djelovanja oklopa postrojenja na rad prekidača U vezi s razvojem prekidača za najviše napone raspravljalo se o prekidačima za napone 800 kV i 1 200 kV. Tu su dotaknuti nastali prenaponi sklapanja, opterećenje izolacije, odgovarajuća zaštita sklopnicima prenapona, povratni naponi i utjecaj mreže. Usporedbiavni su različiti tipovi prekidača (zrak, SF_6) kao i uloga i veličina paralelnog otpora na prekidaču.

Referati koji su dani na diskusiju u Generalnoj debati govorili su o specijalnim problemima prekidača najvišeg napona i o prijedlogu novog sintetskog sklopa za ispitivanje prekidača.

Grupa 14. Istosmjerni prijenos

U ovoj su se grupi raspravljale ove preferencijalne teme:

1. Ispitivanje usmjerivača i kompletnih istosmjernih veza.

2. Primjena istosmjernog prijenosa u interkonekciji i u koncepciji s više terminalnih stanica.

3. Pogon mreže i izvještaj o utjecaju istosmjerne trofazne mreže.

Diskusija:

Diskutiralo se najprije o upotrebi i ispitivanju brzih prekidača različitih tipova za prekidanje istosmjerne struje visokog napona s komprimiranim zrakom. Iznesena su iskustva na postrojenjima Nelson Riva 2 i Cabora Bassa.

Nakon prikaza ispitivanja uređaja za prijenose istosmjernom strujom 600 kV konstatirano je da vjerojatno neće u bližoj budućnosti doći do upotrebe viših napona od ± 750 kV. Ograničenje izvedivosti čini se da leži na strani transformatora. Osim toga, treba i nadalje istraživati smetnje na susjednim telefonskim linijama.

U okviru druge preferencijalne teme prikazane su istosmjerne veze Hokaido—Honšu (300 MW) i veza Engleska—Francuska (2 000 MW) i o tome se diskutiralo. Tom je prilikom prikazan film o radu automatskog kopača koji na morskom dnu kopa jamu za kabel duboku 1,7 m brzinom 100 m na sat. Govorilo se također o istosmjernim vezama s više od dvije terminalne stanice, te o problemima upravljanja.

Problemi eksploatacije, i to prvenstveno ponašanje uređaja pri prijelaznim režimima bili su treća tema diskusije. Također su dotaknute podsinhrone oscilacije u mrežama s turbogeneratorima i istosmjernom vezom visokog napona.

U slobodnoj su diskusiji među ostalim prikazane dvije nove veze u gradnji: veza Austrija—Čehoslovačka, 500 MW i veza Acaray u Paragvaju. Osim toga je iznesen napredak u gradnji tiristorskih usmjerivača uz primjer da je za prijenos Cabora Bassa I za 1 MW trebalo 38 tiristora, već za Cabora Bassa II 18, za Nelson River II 10, za Peru 4, a samo 3 za spomenuti austrijski prijenos. Predstavnik NR Kine također je izvijestio o stanju proizvodnje tiristorskih usmjerivača u svojoj zemlji.

Grupa 15. Izolacioni materijali

Ova je grupa istaknula ove preferencijalne teme:

1. Dielektrični pristup kroz čvrsti dielektrik i proboj na njegovoj površini: mehanizam, utjecajni faktori, tip proboja i razmatranje primjene u praksi (2 ref.).

2. Razvoj miješanog dielektičkog sistema čvrsto — tekuće (primjena u kondenzatorima, kabelima, transformatorima itd.) kao rezultat razvoja novih materijala; prikladne metode ispitivanja za takve sisteme (4 ref.).

3. Pouzdanost korištenja uređaja za visoke i vrlo visoke napone, izoliranih plinom (uključujući razmake u plinu i izolatore).

— naponsko vremenske karakteristike, posebno za vrlo kratka trajanja (ispod 2 s);

— usporedba krivulja napon — vrijeme sa stvarnim prenaponama, s gledišta karakteristika odvodnika prenapona;
— ponašanje prilikom ispitivanja izdržljivosti u mjesečnim i godišnjim razmacima (starenje, parcijalna izbijanja, zagađenje, povišenje temperature) (2 ref.).

Kratki sadržaj diskusije:

Najprije se diskutiralo o triningu. Ta pojava pobuđuje veliki interes, ali stručnjaci imaju vrlo različita mišljenja u pogledu početnog i razvojnog mehanizma pojave. Nadalje se raspravljalo o utjecaju starenja, ultraljubičastih zraka, vlage i zagađenje na površinske proboje.

U vezi s problemom miješanih dielektrika razmatrana je primjena u kondenzatorima i kabelima. Konstatirano je da rezultate ispitivanja malih modela kondenzatora treba primiti s oprezom, premda se pokazala dobra korelacija rezultata s industrijskim kondenzatorima. Govorilo se nadalje o poteškoćama pri interpolaciji mjernih rezultata parcijalnih pražnjenja, današnjim strogim uvjetima ispitivanja i upotrebi novih impregnacionih sredstava koja su znatno ekonomičnija od klasičnih. Nekoliko je govornika spomenulo utjecaj viskoznosti ulja i njegova sastava na probojnu čvrstoću uljem impregnirane izolacije kabela. U istosmjernim uljnim kabelima značajni su i fenomeni polarizacije.

Konstatiran je važan utjecaj stanja površine elektroda pri probojima u plinu SF_6. Smjesa SF_6 i dušika takav utjecaj smanjuje.

Sve je diskusije prožimao problem prodora vode, odnosno vlage u izolaciji u različitim prilikama i uvjetima.

2. Sekcija: KABELI, NADZEMNI VODOVI, STANICE

Grupa 21. Kabeli

Preferencijalne teme ove grupe bile su:

1. Istosmjerni kabeli i mehanički problem podmorskih kabela (2 ref.).

2. Kabeli s ekstrudiranom sintetičnom izolacijom i njihov pribor (4 ref.).

3. Podzemni uređaji za prijenos velikih snaga, primijenjujući staru i novu tehniku (6 ref.).

Tok diskusije:

U vezi s prvom temom raspravljalo se o ispitivanju uzoraka s izolacijom od uljem impregniranog papira i o pouzdanosti takvih ispitivanja konstatirano je da su najveće dužine do kojih se može napajati podmorki uljni kabel 100 do 150 km. Plinski tlačni kabeli nemaju takvu granicu, ali njihove karakteristike treba još razviti. Ukopavanje kabela u morsko dno, kako će to biti učinjeno za novu vezu Francuska—Engleska, smatra se vrlo efikasnom zaštitom protiv mehaničkih oštećenja.

U vezi sa santitečkim kabelima, Francuzi su iscrpno prikazali svoja iskustva s takvim kabelima do 225 kV. Diskutiralo se o utjecaju metalnih ekrana na ekstrudiranim kabelima, o kriterijima povećanja kvarova u određenom vremenu, te o pogonskim iskustvima s kabelima izoliranim različtim tipovima plastičnih masa. Od tzv. stare kabelske tehnike najviše je interesa pobudio lateralni način hlađenja sličan onome koji je proveden na kabelima 380 kV u Beču.

U području nove kabelske tehnike uglavnom se samo govorilo o plinskim kabelima, njihovim karakteristikama, pojavama prenapona i području upotrebe. Konstatirano je da su se dobila iskustva s uljnim kabelima s mješovitom izolacijom (lamelirani polipropilenski papir) za kabele naponskih područja 132—275 kV. pa će se vjerojatno dobrima pokazati i za kabele do 1 100 kV.

Grupa 22. Nadzemni vodovi

Za ovu su grupu istaknute nove preferencijalne teme:
1. Koncepcija, pokusi i iskustva s novim tipovima izolatora (naročito kombinirani), mehaničko ponašanje izolacionih naprava, nove konstrukcije i temeljenje (7 ref.).

2. Praktična rješenja problema oscilacija vodiča (vibracije uslijed vjetra, galopiranje, oscilacije u rasponu) (3 ref.).

3. Tehničko ponašanje vodiča i spojnog materijala. Dopuštene temperature u pogonu (u trajnom pogonu i kratkotrajno) (2 ref.).

Mnogo se diskutiralo o prednostima i manama plastičnih izolatora, kao i problemima njihove fabrikacije. Teški kvarovi koji su se pojavili na takvim izolatorima traže strogu kontrolu prilikom proizvodnje i efikasne metode nadzora u pogonu. Gubitak dobrih mehaničkih svojstava, prodor vlage i starenja pod utjecajem klimatskih prilika bitne su mane takvih izolatora. Nasuprot tome, važne su prednosti njihova mala težina i gipkost. U ovoj se grupi diskutiralo o upotrebi helikoptera pri gradnji i održavanju nadzemnih vodova.

O problematici vibracija vodiča raspravljalo se na temelju triju podnesenih referata. Razmotrene su mjere protiv ovakvih pojava na pojedinačnim vodičima i snopovima s tehničkog i ekonomskog stanovišta.

Što se tiče dopuštenih ugrijavanja vodića, raspravljalo se o dopuštenoj temperaturi maksimalnog trajnog opterećenja, kratkotrajnog opterećenja i kratkog spoja. Iskustvo je pokazalo da se termička opterećenja mogu povećati, ali treba voditi brigu o sigurnosnim razmacima. Pitanje ograničenja struja kratkog spoja s obzirom na ugrijavanje vodića vrlo je aktualno.

Grupa 23. Postrojenja

Za zasjedanje su dane ove preferencijalne teme:

1. Pouzdanost postrojenja, uzimajući u obzir da pouzdanost postrojenja i glavnih sporednih električnih veza elektrane treba promatrati s gledišta koncepcije konstrukcije i ukupnog pogonskog trajanja.
Postavlja se pitanje kakve bi promjene trebalo učiniti u električnim shemama?

Kako se može odraziti na pouzdanost težnja za redukcijom troškova?
Kakav ima utjecaj na pouzdanost promjena izolacionih razmaka, podnosivi napon između faza te između faze i zemlje? Nadalje, nivo kratkog spoja, potreba za zaštitom i automatskim isklapanjem. Ima li kontrola kvalitete u tvornici utjecaje na ukupnu pouzdanost (7 fef.).?

2. Postrojenja ultravisokog napona. Kojim se danas praktičnim iskustvima raspolaže da bi se potvrdila opravdanost zahtjeva stavljenih u prošlosti na postrojenja ultravisokog napona.
Da li je koncepcija konvencionalne izolacije u zraku zadovoljavajuća ili će blindirani uređaj imati svoje posebno rješenje? Postoje li projekti postrojenja koja predstavljaju kombinaciju konvencionalnog i blindiranog (3 ref.).

3. Poboljšanje okoliša. U problem okoliša ulazi:
— vizualna onečišćenja,
— buka
— zaštita prirode.
— zaštita posade.

Točke 1. i 3. moguće je riješiti oklopljenim postrojenjima. No njihova koncepcija i realizacija pri poštivanju ovih kriterija mora biti takva da se ne zaborave troškovi. Kakvim se iskustvima raspolaže u novom pristupu tom problemu? Može li se znatno poboljšati vizualna onečišćenja dispozicijom ulaska nadzemnog voda, uključivši i upotrebu SF_6 veza? Ima li novih

načina tretiranja transformatora s obzirom na buku i sigurnost posade, uključujući i slučaj požara (2 ref.).
Diskusija o navedenim temama:

Na temu pouzdanosti konstatirano je da današnja saznanja na bazi statističkih podataka omogućuju da se i projektira takva dispozicija postrojenja da se postigne optimum pouzdanosti i troškova. Pri tome treba voditi brigu o materijalu i proizvođaču, kao i odgovornosti između konstruktera i izvođača montaže. Napredak metoda ispitivanja na licu mjesta ima osjetan utjecaj na poboljšanje pouzdanosti materijala.

Koncepcije stanica najvišeg napona diskutirane su na temelju francuskog referata za postrojenje napona 1 600 kV i sovjetskog za napon 1 150 kV. Iz izlaganja govornika jasno je proizašlo da će u domeni najviših napona imati prednost blindirane stanice, premda su mnogi upozorili da je ekstrapolacija klasične tehnike u upotrebi za najviše napone sa stanovišta današnje tehnike jednostavnije izvediva nego razvoj materijala za blindirane stanice tog napona.

Glavni dio diskusije o trećoj temi bio je posvećen problemu nadzemnih vodova u blindirana postrojenja U mnogim se zemljama razvijaju rješenja proizvodnje postrojenja u tvornici pa se tako pojačanom tvorničkom kontrolom smanjuju intervencije na terenu. Diskutiralo se također o mjerama za smanjenje buke transformatora.

Iz iznesenog se vidi da su blindirane stanice za najviše napone bile glavna preokupacija vođene diskusije.

3. Sekcija: MREŽE

Grupa 31. Planiranje mreža

Preferencijalne teme iz planiranja mreža:

1. Stanje i napredak novih projekata električnih mreža:
— problem i uvijeti planiranja; opravdanje izbora;
— izvedivost;
— prva pogonska iskustva; usporedba između projekta i rezultata pogona;
— ispitne stanice ultravisokog napona;
— specifični problemi mreža u zemljama u razvoju (7 ref.).

2. Planiranje elastičnosti proizvodnje (sposobnost praćenja krivulje opeterećenja u normalnim i havarijskim režimima). Tehnička i ekonomska procjena, optimizacije (3 ref.).

3. Planiranje reaktivne snage za proizvodnju i prijenos (5 ref.).

Diskusija o ovim temama razvijala se kako slijedi. Putem referata i usmenih izlaganja prikazan je enormni potencijal hidroenergije i rezerva ugljena Brazilije, Kine i Indije. Prijenosni vodovi tih zemalja su na naponskom nivou 400 kV i 500 kV, ali se planiraju mreže od 800 kV i više, kao i zamašni istosmjerni prijenosi.

Na ovom su zasjedanju priv put dobivene informacije o kineskoj prijenosnoj mreži. Mnogo je informacija iznesено o rezultatima ispitivanja u ispitnim stanicama ultravisokog napona. Prikazani su najnoviji rezultat takvog istraživanja u Italiji vrlo interesantnim filmom. Razmatrani su također biološki efekti izazvani visokim električnim poljima. Konstatirano je da nema opasnosti do 10 kV/m, ali se istraživanja nastavljaju. U vezi s drugom temom izneseno je da su za elastičnost rada sistema prikladne generatorske jedinice od 500 MW ili 600MW za elektrane na fosilna goriva. Veće jedinice dolaze u obzir za nuklearne elektrane.

Općenito je konstatirano da je najpovoljniji smještaj kondenzatora za kompenzaciju u blizini opterećenja. Upravljivi sistemi za statičku kompenzaciju poboljšavaju rad mreže u različitim prilikama, npr. pri podsinhronim rezonancijama i oscilacijama snage na interkonektivnim linijama. Kompenzacijom serijskim kondenzatorima poboljšava se tranzijetna stabilnost, posebno pri dugim prijenosima. Postoji, međutim, opasnost podsinhrone rezonancije.

Na kraju se povela diskusija o mogućnosti akumulacije energije. Akumulatori ne izgledaju pogodni s obzirom na današnje cijene. Mnogo se ispituje pogon turbina komprimiranim zrakom upumpanim u prirodne podzemne rezervoare.

Grupa 32. Pogon i upravljanje mreža

Istaknute preferencijalne teme bile su:
1. Organizacija centra upravljanja s posebnim naglaskom na:
— pouzdanost i način kako je to postignuto,
— način sniženja opterećenja,
— ljudskom faktoru, uključivši veze, čovjek — stroj i izobrazbu kadrova,
— analizu troškova i koristi (5 ref.).

2. Izbjegavanje i kontrola kritičnih situacija centraliziranim ili decentraliziranim sredstvima. Utjecaj na kvalitetu dobave i troškove pogona (6 ref.).

3. Pogon mreže u normalnim uvjetima sa specijalnim osvrtom na regulaciju aktivne i reaktivne snage upravljanje opterećenjem, način pogona i rezerve (5 ref.).
Sadržaj diskusije bio je:

Konstatirano je da je uspjelo povećati pouzdanost telesignalizacije za procjenu i analizu sigurnosti u realnom vremenu. Zatim se diskutiralo o problemu sigurnosti centara za vođenje sistema i stupnjevi sigurnosti. U procesu vođenja vrlo je važan ljudski faktor, dijalog čovjek — stroj, kao i osposobljavanje odgovarajućeg osoblja. U okviru ovoga raspravljalo se o vizualnim sredstvima kojima se služi osoblje. Raspravljalo se o prednostima i manama grafika na obojenim ekranima. Na kraju prve teme govorilo se o mogućnosti vrednovanja prednosti određenog sistema za vođenje na temelju troškova.

U okviru druge preferencijalne teme raspravljalo se o mogućnostima okrivanja prethavarijskih stanja. Istaknuto je da je to često vrlo teško zbog brzine odvijanja događaja. Govornici su se osvrnuli na sredstva za dijagnosticiranje za vrijeme i poslije kvara, ulogu programirane automatizacije u ponašanju uređaja za vrijeme teških kvarova i normalizacije.

Na električnoj mreži u principu postoji više mogućnosti regulacije napona: proizvodnjom jalove snage u generatorima, kompenzatorima i kondenzatorima te regulacijom transformatora. Diskutiralo se o ovim mogućnostima, a posebno o upotrebi upravljivih statičkih kompenzatora. Nadalje se raspravljalo o metodama i uvjetima izbacivanja tereta u vezi s predviđenom proizvodnjom i kritičnim naponom u čvorovima.

Na kraju se u generalnoj debati govorilo o školovanju osoblja u centrima za upravljanje, a posebno o njihovoj izvježbanosti za snalaženje u kritičnim situacijama. Istaknute su uloge elektroprivrede, elektroindustrije i fakulteta u razvoju koncepcije i realizaciji informacijskog sistema.

Grupa 33. Prenaponi i koordinacija izolacije

Preferencijalne teme bile su:

1. Ponašanje mreže koja je bila izložena atmosferskim prenaponima, vrednovanje utjecajnih korisnih parametara, npr. otpora uzemljenja, valnog otpora sistema uzemljenja, ublaženja uslijed efekta korone oblik vala i prigušenja (2 ref.).

2. Koncepcija ispitivanja i primjena odvodnika prenapona, uključivši i najnoviji razvoj, te efekti zagađenja (5 ref.).

3. Primjena i iskustva s novim metodama u koncepciji izolacije, ispitivanjima i koordinaciji izolacije (6 ref.).

Diskusija:

Uspoređivani su dobiveni odnosi grmljavinskih dana i udaraca u tlo, različiti aspekti u vezi s izvedbom nadzemnih mreža te vjernost i pogodnost modela za proučavanje efekta atmosferskih pražnjenja.

U vezi s odvodnikom prenapona mnogo se govorilo o odvodnicima s metalnim oksidom, njihovoj ulozi pri dugotrajnim prenaponama, kao i o njihovoj primjeni u zatšiti transformatora 1 200 kV i 1 600 kV. Bilo pri dugorajnim prenaponima, kao i o njihovoj primjeni u zaštiti transformatora 1 200 kV i 1 600 kV. Bilo je diskutanata koji su, s obzirom na razvoj odvodnika, predlagali da se ukloni zaštitno uže s dalekovoda, no takav prijedlog nije naišao na podršku. Diskutiralo se također o utjecaju zagađenja na rad odvodnika s metalnim oksidom.

Više govornika je istaknulo da treba za ograničenje sklopnih prenapona upotrijebiti i druga sredstva osim otpora na sklopkama. Time bi prekidači bili jednostavniji i pouzdaniji. S obzirom na automatizaciju i upravljanje u budućnosti će biti potreban čvršći kontakt između konstruktora prekidača i eksperta za telekomunikacije. Dane su nove informacije o prenaponima između faza i utjecaja odvodnika prenapona na takve prenapone. Stručnjaci iz SAD su iznijeli da na vodovima iznad 300 kV nije bilo preskoka zbog sklopnih prenapona. Izmijenjena su mišljenja stručnjaka iz različitih zemalja o utjecajnim faktorima na prenapone te o razlici između ekzaktnih metoda za računanje rizika greške i jednostavnih metoda. Pokazalo se da i jednostavne metode dovode do zadovoljavajućih rezultata u većini slučajeva.

U generalnoj diskusiji se raspravljalo:

— o važnosti rada u stud. komitetu 33, CIGRÈ za tehnički komitet 28, IEC,
— o kombinaciji izolacije u SF_6 postrojenjima,
— o transferu tehnologije obrađene u CIGRÈ u zemlje u razvoju.

Grupa 34. Zaštita

Preferencijalne teme bile su:

1. Postojeća politika zaštite mreža s gledišta ekonomičnosti i pouzdanosti pogona, što proizlazi iz činjenice da visokonaponski sistemi povećavaju svoju snagu i činjenice da se razvijaju velike koncentracije snaga elektrana. (O ovoj temi nije bilo referata.)

2. Koncepcija, karakteristika i najnoviji napredak automatskih uređaja, analognog i numeričkog tipa, specijalno namijenjenih održavanju i uspostavljanju pogona visokonaponskih mreža i elektrana nakon velikih kvarova. Perspektive uklapanja nekih ili svih takvih uređaja, odnosno njihovo djeloavnje u kontrolnom hijerarhijskom sistemu mreže (2 ref.).

3. Filozofija i moderna praksa primijenjena pri vrednovanju zaštite visokonaponskih mreža gledajući na potrebe zaštite:

— što se tiče razvoja, proizvodnje i rutinskih ispitivanja pri stavljanju u pogon (uključivši i automatske metode);
— što se tiče digitalne ili analogne simulacije sistema i ponašanja mjernih transformatora. Razvoj u elektroenergetskom sistemu koji stavlja sve veće zahtjeve na prijelazne karakteristike (6 ref.).

Ova je grupa s obzirom na svoju važnost imala razmjerno malo referata (8), ali je barem 6 referata iz ostalih grupa obrađivalo tematiku iz zaštite.

Predsjedaavjući je diskusiju usmjerio na 4 osnovna problema:

—uređaje za automatsko ispitivanje,
— digitalne uređaje,
— sprovođenje ispitivanja,
— pouzdanost.

U vezi s prvim problemom diskutiralo se o cijeni uređaja za automatko ispitivanje i efektu u povećanju pouzdanosti i olakšanju održavanja. Potrebu i ograničenja u vezi s uređajima treba pomno utvrditi. Istaknuto je da se može računati s dodatnim kvarovima ako su ugrađeni takvi uređaji.

Konstatirano je da je učinjeno mnogo studija koje obrađuju uvođenje digitalne tehnike u automatiku i zaštitu. Važna prednost takve tehnike jest brzina izmjena broja informacija između samih uređaja, a također i između naprava i centralnog računala. Govorilo se i o upotrebi optičkih kabela i s time u vezi o smanjenju niskonaponskih kabela u postrojenju.

Nadalje je iznesen niz posutpaka za ispitivanje releja. Diskutanti su iznijeli mogućnosti svojih laboratorija pri takvim ispitivanjima. Pokazalo se da klasični postupci pri ispitivanju prototipova ne zadovoljavaju. U vezi s ovim problemom govorio je i naš predstavnik dr Ogorelec.

Konstatirano je da je diskusija o pouzdanosti releja za sada vrlo otvorena. Mnogo obećava automatsko samoispitivanje releja.

Grupa 35. Telekomunikacije

Preferencirane teme ove grupe bile su:

1. Sredstva prijenosa. Problemi koncepcije teoretske studije i rezultati mjerenja u vezi sa sredstvima prijenosa koja se koriste za telekomunikacije u električnim prijenosnim mrežama. Ovdje razumijevajući nosivu struju na linijama ili druge mogućnosti koje koriste elektroenergetske linije, radio-veze, veze optičkim kabelom, kao i zračne i podzemne kabele. Usporedba sredstava prijenosa s gledišta ekonomičnosti, sigurnosti i pouzdanosti (4 ref.).

2. Operativna telekomunikaciona mreža. Mreža za prijenos govora i podataka. Kriteriji koncepcije s posebnim osvrtom na metode za postizavanje visoke pouzdanosti. Komunikacioni sistem za telefon i teleprinter, uključivši programsko upravljanje (1 ref.).
3. Sistem upravljanja. Materijali i funkcionalni zahtjevi sistema upravljanja. Tražene karakteristike, uzimajući u obzir preciznost, vrijeme odaziva, sigurnost i pouzdanost. Organizacija i struktura sistema u cjelini s obuhvaćanjem sistema u više nivoa. Primjeri praktične realizacije sistema upravljanja i rezultati eksploatacije(4 ref.).

Sadržaj diskusije u ovoj grupi je slijedeći: Sredstva prijenosa o kojima se pisalo bila su sistem optičkih kabela i veze s nosivom strujom. Velik interes prisutnih pobudio je sistem optičkih kabela. Konstatirano je da će takva prijenosna tehnika imati važnu ulogu u budućnosti. Govorilo se nadalje o razdaljinama repetitora te o važnosti ekonomskih kriterija. Što se pak tiče korištenja frekventnog pojasa koji se dobije upotrebom optičkih kabela, konstatirano je da su i potrebe bitno narasle zbog velikog broja podataka koje treba prenositi. Jedan referat o radio-komunikacijama s mobilnim uređajima potakao je diskusiju o budućnosti takvog sitema. Izraženo je mišljenje da se veze mogu dobro realizirati pomoću mnogokanalnog sistema, a korištenje se povećava upotrebom mikroprocesora.

U vezi treće preferencijalne teme govoreno je o planiranju, specifikaciji, ispitivanju i stavljanju u pogon novih telekomunikacionih sistema te o ulozi i utjecaju preciznih specifikacija dobavljača i želja korisnika. O problemu izmjene starog telekomunikacijskog sistema novim i istovremenom radu oba sistema također se vrlo iscrpno diskutiralo.

Grupa 36. Perturbacije

Istaknute preferencijalne teme bile su:
1. Pertubacije na ožičenju pomoćnih uređaja i osjetljivih naprava unutar transformatorskih stanica i elektrana, uključivši ispitivanja i efekt uzemljenja (1 ref.).

2. Radio-smetnje i ostale smetnje kao gubici korone na vodičima i spojnom materijalu i također i pražnjenja na izolotorima. Ovdje su uključene i smetnje nastale križanjem vodova nižih napona. Posebno je interesantna pojava korone na velikim snopovima vodiča za napone iznad 1 000 kV. Osim toga radio-smetnje od parcijalnih pražnjenja u aparatima i od turistorskih uređaja itd. (4 ref.).

3. Korozija prouzrokovana djelovanjem sistema visokog napona na uređajima drugih organizacija. Opća pitanja korozije visokonaponskih uređaja, kao i korozije uređaja za uzemljenje (1 ref.).

Diskusija koja se vodila u vezi s pertubacijom:

Razvoj elektroničkih uređaja u rasklopnim postrojenjima donosi sa sobom probleme smetnji od magnetskih polja. Smetnje od struja niske frekvencije izgleda da da su riješene, no smetnje od visokih frekvencija mnogo su kompleksnije. Iznesena su mišljenja o zaštitnim mjerama, njihovoj efikasnosti i ekonomičnosti. Rješenje navedenih problema vidi se u vezama s optičkim kabelima.

Prva ispitivanja efekta korone (radio-smetnje, akustična buka, gubici) na velikim snopovima vodiča pokazuju da će se postojeće formule za proučavanje morati dotjerati da se proširi njihova vrijednost. Važna su ispitivanja efekata korone pod kišom i na vodičima koji su ugrijani pogonskom strujom. Smetnje na frekvencijama iznad 30 MHz općenito su posljedica loših kontakata, a mogu se pojaviti i kao efekt korona pod kišom. Ozon koji nastaje pri pojavi korone ne izgleda da povećava prisutnu koncentraciju.

U vezi s pojavom korozije konstatirano je da zamjena bakra kao uzemljivača nije praktična. Veliki presjeci, potrebni zbog velikh struja, predstavljaju poteškoću pri montaži.

Na kraju, u generalnoj diskusij se govorilo o djelovanju izmjeničnih i istosmjernih električnh polja na okolinu.

4. Sekcija: BUDUĆNOST ELEKTRIČNE ENERGIJE

Grupa 41. Budućnost prijenosa električne energije i električnih mreža

Procjena budućih potreba prijenosa električne energije posebno je važna za prijenosna poduzeća koja predviđaju visoka opterećenja svojih postojećih prijenosnih uređaja i očekuju poteškoće pri njihovu proširenju ili pojačanju izgradnjom linija viših napona. U vezi s tim određene su ove preferencijalne teme za zasjedanje CIGRE 1980.

Koje su potrebe prijenosa električne energije na početku slijedećeg stoljeća uzevši u obzir:

a) promjene u ekonomici alternativa transportnih sredstava;

b) ograničenje prava prijelaza dalekovoda i izbora lokacije elektrana;

c) novi tehnološki napredak u konverziji, prijenosu, korištenju i uskladištenju energije;

d) specijalne potrebe prijenosa energije u zemljama u razvoju;

e) ostale faktore.

Ukupno je predano u ovoj grupi 5 referata različitih autora i 4 referata od radnih grupa.

U diskusij je općenito konstatirano da tehnologija proizvodnje i drugi utjecaji govore s jedne strane u prilog povećanju prijenosa električne energije u budućnosti, a s druge pak strane za njegovo smanjenje. Istraživanja novih tehnologija konverzije energije ukazuje na mogućnost smanjenja prijenosa. Energetski resursi koji su raspoloživi u pojedinim zemljama vode direktno do određene vrste razvoja. Diskutiralo se o ideji da se malim rasprostranjenim izvorima energije istisnu centralizirani izvori. Mnogi diskutanti vide korist za elektroprivredna poduzeća da više proizvode i distribuiraju i druge oblike energije osim električne.

Raspravljeno je o mogućnostma ekumuliranja energije u baterijama. Napori u razvoju baterija za električne automobile mogu biti važan poticaj za razvoj baterija koje bi se upotrebljavale u elektroenergetskom sistemu. Električni auto mogao bi znatno promijeniti dijagram opterećenja. Nadalje se također govorilo o ulozi gorivih ćelija, njihovu razvoju i upotrebi.

Konstatirano je da je energija valova velik potencijalni izvor energije za mnoge zemlje, ali komercijalno iskorištenje traži još mnoga istraživanja. U današnjem stadiju tehnologije ne može se smatrati energetskim rješenjem.

Visokotemperaturni plinski reaktori mogu davati električnu energiju i toplinu, pa mogu biti zamjena ulju u mnogo slučajeva. Ovakva energija vezana s kemijskom energijom može biti ekonomično prenošena 50 do 100 km.

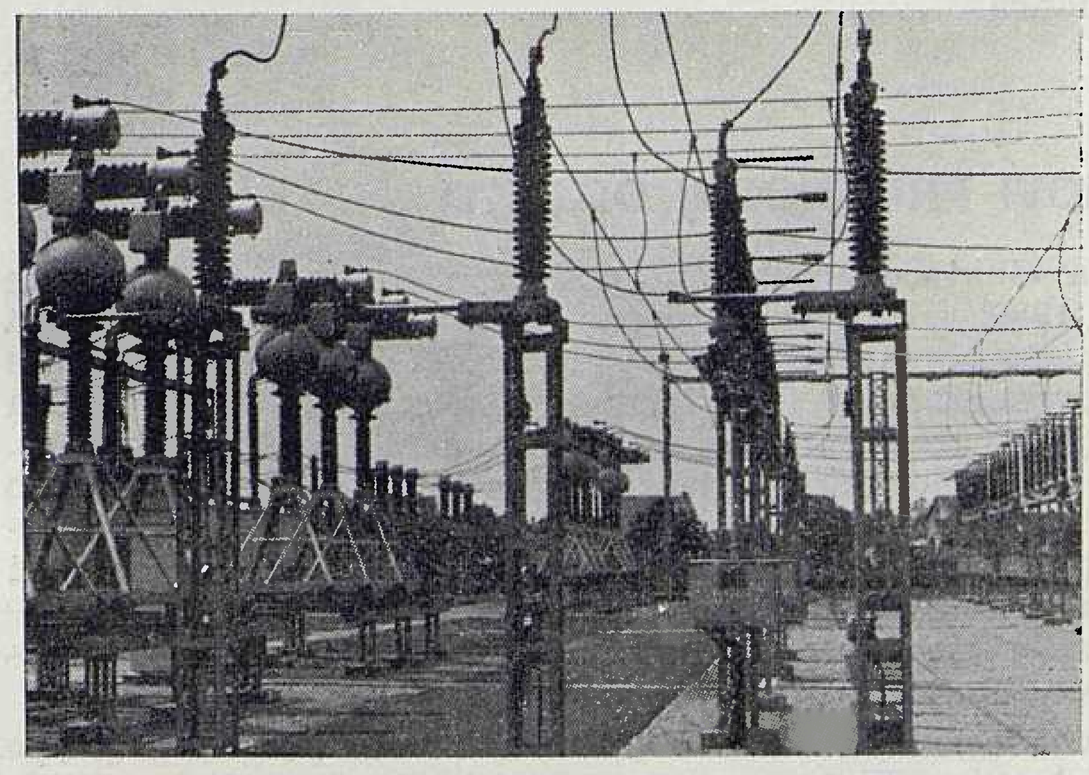
Generalna je diskusija počela s prikazom energetskih izvora u NR Kini. Izvori su znatni, ali nejednoliko raspoređeni. Govorilo se nadalje o porastu potreba električne energije SAD te o sve većem povećavanju cijene energije.

Boris Markovčić

ELEKTROPRENOS ZAGREB

Novi objekti 110 kV

Na području RO »Elektroprenos« Zagreb program izgradnje elektroenergetskih objekata 110 kV u 1980. godini ostvaren je u planiranim rokovima. Obuhvaćena je gradnja dalekovoda, transformatorskih stanica i proširenja u nekim postojećim transformatorskim stanicama. U pogonu je novosagrađeni DV 110 kV Virovitica — Cabuna, oko 21 km, to je dionica DV 110 kV Podravska Slatina — Virovitica. Za drugu dionicu Podr. Slatina — Cabuna investitor je »Elektroslavonija«. Izgradnjom DV 110 kV Virovitica — Cabuna osigurana je potrošačima Virovitice i šireg područja bolja i sigurnija opskrba konzuma. Do sada se područje Virovitice napajalo samo jednim DV 110 kV Virovitica — Međurić.
U pogonu je i novi DV 110 kV Sisak — Glina, dužine oko 26 km, i TS 110/20 kV Glina, snage 2 x 20 MVA. U investiranju tih objekata sudjelovala je uz Elektroprenos i RO »Elektra« Sisak.
Završena je i gradnja DV 110 kV Koprivnica — Križevci, oko 32,5 km, i TS 110/35/10 kV Križevci. To je prva TS 110/35 kV na tom konzumnom području. Puštanjem u pogon tih objekata potrošačima će biti osigurane dovoljne količne električne energije za razliku od ranije kad su se Križevci napajali samo pomoću DV 35 kV Bjelovar — Križevci.



Vanjsko postrojenje TS 110/35 kV Nova Gradiška — 1980. g.

Zajedničkim ulaganjima Elektroprenosa i OOUR »Elektre« Samobor izgrađena je TS 110/20/10 kV Samobor, snage 1 x 20 MVA, i već je u radu. Dovršena je i gradnja TS 110/35 kV Nova Gradiška, snage 2 x 20 MVA, koja je vezana na elektroenergetsko područje BiH i Elektroslavonije. U novom petogodišnjem planu TS Nova Gradiška preko DV 110 kV Nova Gradiška — Međurić povezivat će i TS Međurić.

Radovi proširenja TS

Iz plana izgradnje elektroenergetskih objekata u Hrvatskoj za razdoblje 1976. do 1980. završeno je proširenje u TS 110/35 kV Virovitica, izvršena je montaža drugog transformatora 20 MVA. Veći zahvati proširenja obuhvatili su TS Zabok, Karlovac i TE-TO Zagreb.
U deset transformatorskih stanica napona 110 kV ugrađene su kondenzatorske baterije što ih je isporučila tvrtka AEG.

Treba istaknuti da je glavne radove na izgradnji dalekovoda izvelo poduzeće »Dalekovod«. Opremu za novosagrađene transformatorske stanice, kao i proširenje postojećih, najvećim dijelom isporučili su domaći proizvođači: »Rade Končar«, Elka, Iskra, IMPOL Slovenska Bistrica, Fabrika porculana Aranđelovac i dr. Iz uvoza su nabavljeni samo specijalna oprema — zaštitni i mjerni uređaji.

Za realizaciju navedenog plana u 1980. godini »Elektroprenos« je uložio oko 30 milijardi starih dinara.

I. R.

RIJEKA USTUPA OSIJEKU GRADNJU TE — TO 45 MW

Radnički savjet »Elektroprivrede« Rijeka donio je odluku o odustajanju od gradnje TE-TO, 45 MW, 120 Gcal/h u Rijeci, jer je skupština općine Rijeka poništila odobrenu lokaciju u Vodovodnoj ulici, u blizini stare termoelektrane.

Na osnovi razgovora RO »Elektroprivrede« Rijeka i RO »Elektroslavonija« da se cijeli objekt TE-TO prenese na RO »Elektroslavoniju«, postignuta je suglasnost. Na zajedničkoj skuptšini Republičkog SIZ-a potrošača električne energije i Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske donešena je i konačna odluka da se TE-TO 45 MW gradi u Osijeku.

Jedan dio domaće i uvozne opreme već je na gradilištu u Rijeci pa će se u novonataloj situaciji prenijeti u »Elektroslavoniju«.

U »Elektroslavoniji« već se pripremama za gradnju ovog važnog elektroenergetskog objekta za konzumno područje Slavonije i Baranje. Obavljaju se geološki radovi i druga ispitivanja na lokaciji Zeleno polje u Osijeku.

Iako je ta termoelektrana — toplana projektirana na deficitarno tekuće gorivo — mazut, dobivena je suglasnost Saveznog izvršnog vijeća, jer je još na snazi Zakon o privremenoj zabrani upotrebe društvenih sredstava za financiranje gradnje objekata s korištenjem tekućih goriva. Budući da je za jedinstvenu jugoslavensku elektro energetsku mrežu potreban još jedan takav objekt, to je izbor pao na TE-TO Osijek. Prema današnjim cijenama za izgradnju TE-TO Osijek potrebna su ulaganja od 1.660 milijuna dinara. Utvrđeno je da termoelektrana — toplana treba da uđe u pogon u srpnju 1983. godine.

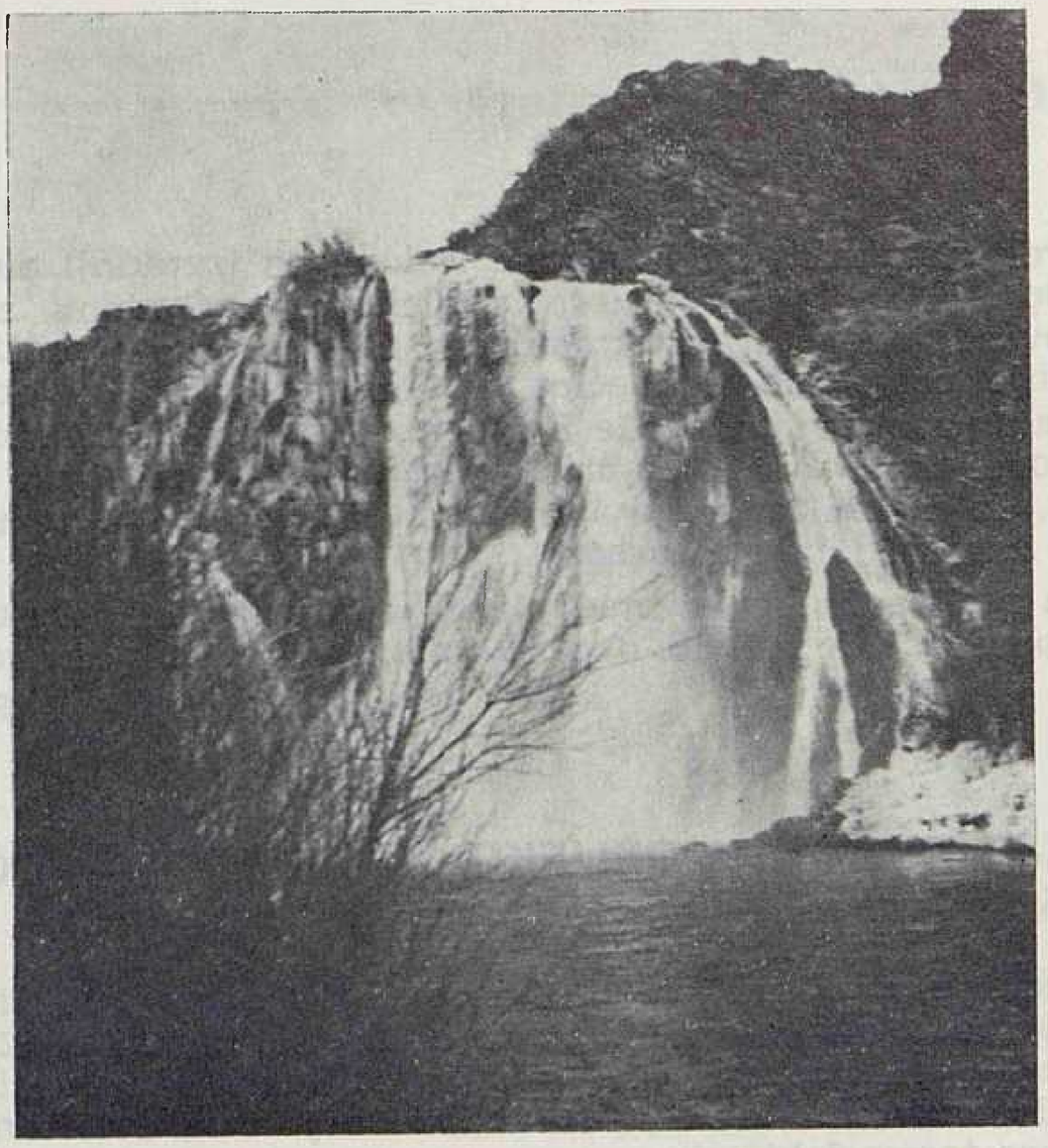
I. R.

NA KRKI ĆE SE IZGRADITI HE KRČIĆ

RO »Elektrodalmacija« Split nastavlja s realizacijom programa upotrebe još neiskorištenog hidroenergetskog potencijala sliva rijeke Krke i Zrmanje. Uz gradnju HE Golubić, snage 6,8 MW, koja je počela 1979. godine, na redu je druga, hidroelektrana, Krčić.

Prema idejnim rješenjima hidroenergetskog iskorištenja sliva Krke i Zrmanje predviđena je gradnja hidroelektrana Krčić, Marjanović, Manojlovac II, Roški Slap i Jaruga II.

Idejni projekt za HE Krčić predviđa izgradnju brane 4,5 km uzvodno od vodopada Krčić, gdje je smještena strojarnica hidroelektrane. Voda se dovodi do strojarnice čime se dobiva pad od oko 200 m, odnosno snaga od 28 MW i proizvodnja od 70 milijuna kWh. To omogućuje akumuliranje velikog dijela prirodnog protoka, posebno velikih voda Krke i vodopada Krčić.



Vodopad Krčić — na samom izvoru Krke 1980. g.

Glavna ispitivanja

Na izvoru rijeke Krke u Topolju (Kovačiću) i u kanjonu Krčića izvode se potrebna ispitvanja za izradu glavnih projekata te hidroelektrane. Investitor HE Krčić OOUR »HE na Krki i Zrmanji« Knin povjerio je ispitivanje terena stručnjacima »Geotehnike«, »Geoinženjeringa« i »Geoexpera« iz Zagreba. Izrada glavnih projekata ugovorena je s poduzećem »Elektroprojekt«.

Tri općine koje imaju interesa na Krki (Knin, Drniš i Šibenik) nisu se još složile o izgradnji ovog energetskog objekta na Krki. Stručne službe tih općina boje se i sumnjaju da će izgradnjom HE Krčić biti uništene i oštećene prirodne ljepote i bogatstvo Krke, njezinih vodopada i drugih slivova. I turističke organzacije toga područja postavile su niz pitanja u vezi sa zaštitom Krke.

No, na taj su prigovor tručnjaci RO »Elektroprivrede Dalmacije« odgovorili da gradnjom elektrane neće ni estetski ni tehnički ugroziti vodopad Krčić, pa ni ostale dijelove Krke.

Tri stotine metara uzvodno od vodopada Krčić izgradila bi se pregrada. Ona će »prisiliti« dio izvorskih voda Krke da se uzdigne do budućeg akumulacijskog jezera. Te vode i vode Krčića koristit će se u energetskom smislu, ali i za prehranjivanje vodopada Krčić vodom u sušnom razdoblju. Dakle, vodopad neće presušiti i neće biti uništen. Naprotiv obogatit će se dovoljnim količinama voda. Cjelokupan zahvat ne samo da zaštićuje prirodu, već je i obogaćuje. To je smion projekt u kraškim prilikama.

I. R.

GRADNJA AKUMULACIJE U TRIBLJU

U Triblju je počela gradnja akumulacijskog sistema kao dogradnja postojećih gorskokotarskih akumulacija HE »Nikola Tesla«.

Jezero u Triblju kapaciteta milijun m^3 vode služit će za napajanje i rashlađivanje postrojenja buduće petrokemije na otoku Krku, a povećat će se i proizvodnja za 7 milijuna kWh električne energije u postojećem hidroenergetskom pogonu Vinodol. To predstavlja i prvu etapu u gradnji precrpne elektrane u tom sistemu koji koristi akumulacije iz Gorskog kotara. U toku su građevni radovi na mjestu budućeg jezera, izvođači su poduzeća »Primorje« i »Konstruktor«.

Investicije od 160 milijuna dinara su udružena sredstva INE i Elektroprivrede. Potkraj 1981. godine predviđen je završetak svih radova na gradnji akumulacijskog jezera Tribalj.

Istovremeno za potrebe DINA — petrokemija gradi se vodovod od Triblja do Omišlja, dužine 18 km. U studenom 1980. prokopan je tunel (757 m) koji dijeli dolinu Triblja od mora na njegovu najužem mjestu nasuprot starom gradu Drivenk. Izvode se radovi i na crpnoj stanici u Triblju, polaganju cijevi u rov na kopnu i na otoku Krku.

I. R.

RUDNIK URANA

Višegodišnja ispitivanja nalazišta uranove rude na području Žirovskg vrha, Slovenija, dali su vrlo dobre rezultate. Na osnovi utvrđenih količina počeli su krajem studenog 1980. godine glavni radovi na gradnji našeg prvog rudnika urana u Gorenjskoj Vasi, iznad Škofje Loke. U prvoj etapi izvest će se oko 20 km podzemnih hodnika, 150 bušotina različitih profila, te suvremeno opremljeni pogon za preradu rude. Rudnik će zapošljavati 140 radnika, uglavnom kvalificiranih rudara.

I. R.

NOVI PRIJENOSNI OBJEKTI

Na elektroenergetskom području Slavonije i Baranje u 1980. godini nastavljeno je s gradnjom prijenosnih objekata napona 110 kV i 35 kV. Županja je dobila novosagrađenu transformatorsku stanicu 110/35 kV za čiju je izgradnju investirano oko 30 milijuna dinara. u Završnoj fazi je izgradnja i TS 110/35 kV Valpovo U postojećoj TS 110/35 kV Našice izvršeno je proširenje za potrebe novosagrađene tvornice cementa, i zbog stalnog porasta konzuma na tom području. Izgrađen je i veći broj TS 35/10 kV i proširene postojeće stanice.

Sve radove na tim objektima izvele su radne ekipe poduzeća »Elektroprenos« Osijek, a glavni isporučilac opreme je tvornica »Rade Končar«.

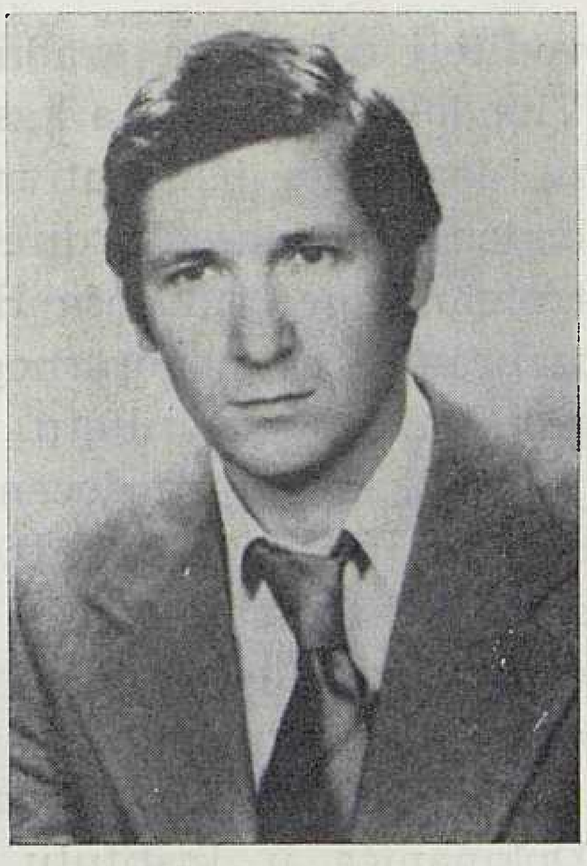
I. R.

PLIN U PODMORJU JADRANA

Istraživanja plina i nafte u podmorju sjevernog dijela Jadrana koje obavljaju stručne ekipe INA-Naftaplina dosad su dali dobre rezultate. Na tom području su izbušene 22 istražne bušotine i utvrđeno je da više od polovine tih bušotina raspolaže dovoljnim količinama plina. Prema procjenama stručnjaka INA-Naftaplina već bi se 1984. godine moglo na ovom području započeti s proizvodnjom plina.

I. R.

IN MEMORIAM



LIVIO ROSANDA
1946—1981.

Tehnički rukovodioc radne organizacije »Elektroistra« Pula, Livio Rosanda, dipl. ing. tragično je završio svoj mladi život 12. 1. 1981. u prometnoj nesreći nedaleko od Fažane obavljajući postavljeni radni zadatak.

Inžinjer Livio Rosanda rođen je 24. 3. 1946. godine nedaleko od Pule u radničkoj obitelji.

Osnovnu školu završio je 1960. godine, a Tehničku školu 1964. godine u Puli. Te se godine upisuje na Elektrotehnički fakultet u Zagrebu koji je uspješno završio 1969. godine. Nakon završetka studija dolazi u Elektroistru Pula, gdje radi kao pripravnik do odlaska na odsluženje vojnog roka u JNA. Nakon povratka iz JNA kao perspektivni mladi stručnjak 1971. godine preuzima odgovornu funkciju šefa mjerne grupe u Tehničkom odjelu spomenute organizacije, a ubrzo zatim postaje šef pogonsko-energetskog odsjeka. Od 1976. godine postavljen je na radno mjesto tehničkog rukovodioca, koji posao obavlja do svoje prerane smrti.

Kao dijete iz radničke obitelji od mladih dana bio je politički orijentiran za provođenje samoupravljanja pa tako obavlja niz funkcija u organima upravljanja i društveno-političkim organizacijama.

Bio je predsjednik Radničkog savjeta, predsjednik Zbora radnika RZ, član sekretarijata i zamjenik sekretara OOSK RZ, a kao vrsni rukovodilac i stručnjak bio je omiljen među članovima kolektiva i poslovnim suradnicima.

Bio je član Stručnog savjeta za distribuciju ZEOH-a i Radne grupe istog savjeta za izradu Programa razvoja 1981—1985. godine, a sudjelovao je i u razradi Programa razvoja 1976—1980. godine, te je svojim radom umnogome zaslužan za razvoj distributivne mreže na području Istre.

Svojim mirnim, i nenametljivim načinom sudjelovao je u radu mnogih stručnih radnih grupa, a često je konstruktivnim, vrlo produhovljenim prijedlozima nastojao naći rješenja i za najteže probleme.

Nije zanemario ni svoje stručno usavršavanje. Upisao je III stupanj na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu, te je uskoro trebao i magistrirati iz područja koordinacije izolacije u srednjonaponskim mrežama uzemljenim preko djelatnog otpora male vrijednosti.

Svijetli lik ovog mladog stručnjaka ostat će u trajnoj uspomeni svim njegovim kolegama i suradnicima.

Mladen Šicel, dipl. ing.

IN MEMORIAM



MLADEN DOKMANIĆ
1908—1980.

Posljednjih dana prošle 1980. godine umro je dipl. inž. Mladen Dokmanić, ugledni stručnjak, sveučilišni profesor, nadasve dobar čovjek i kolega, izvanredni profesor Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu. Prof. Dokmanić je rođen u Šćitarjevu 8. veljače 1908.

Gimnaziju je polazio u Daruvaru i Novoj Gradiški, gdje je 1925. maturirao. Studirao je na Strojarsko-inženjerskom odsjeku (elektrotehničkog smjera), Tehničkog fakulteta u Zagrebu, a diplomirao je 1937.

Zaposlio se tada u upravo osnovanom Banovinskom električnom poduzeću (kasnije Državnoelektrično poduzeće), gdje je u grupi mladih elektroinženjera entuzijasta pod vodstvom svojih bivših profesora počeo raditi na širokoj elektrifikaciji Hrvatske. Bavio se projektiranjem i gradnjom elektroenergetskih mreža niskog, srednjeg i visokog napona, kao i transformatorskih stanica. Godine 1941. bio je rukovoditelj odjela za gradnju dalekovoda 110 kV Vinodol — Zagreb, a kasnije rukovodi odjelom za planiranje distributivnih mreža. Nakon oslobođenja je tehnički direktor podružnice Elektrotehničkog poduzeća Hrvatske. Godine 1946. izabran je za honorarnog nastavnika na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu, na kojem je 1952. imenovan docentom. Godine 1965. postavljen je za izvanrednog profesora. Kao nastavnik predmeta mreže i instalacije i razdiobe električne energije bio je poštovan i cijenjen od kolega i studenata.

Posebno treba istaknuti djelovanje prof. Dokmanića u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu, u kojem je surađivao od njegova osnivanja 1952/53. Kao prvi rukovoditelj studijske jedinice za razdjelne mreže razvio je niz naučnih metoda za njihovo proučavanje, planiranje, analize i projektiranje. Osobito su bile zapažene njegove studije o stupnjevanju naponskih nivoa u elektroenergetskom sistemu, koje su imale odjeka i u inozemnoj stručnoj literaturi.

Kao profesor i vodeći stručnjak u području elektrodistribucije dao je mnoga konstruktivna rješenja i mnogo dragocjenih ideja za razvoj ove djelatnosti. Svojim nastavnim radom na fakultetu odgojio je mnoge generacije elektroinženjera, a kao suradnik u elektroprivredi bio je uvijek spreman savjetnik i učitelj mladih stručnjaka.

Prof. Mladen Dokmanić ostat će nam u trajnoj uspomeni.

B. M.

STATISTIČKI PREGLED

ELEKTROPRIVREDE SR HRVATSKE U SKLOPU ELEKTROPRIVREDE JUGOSLAVIJE

OSNOVNI PODACI

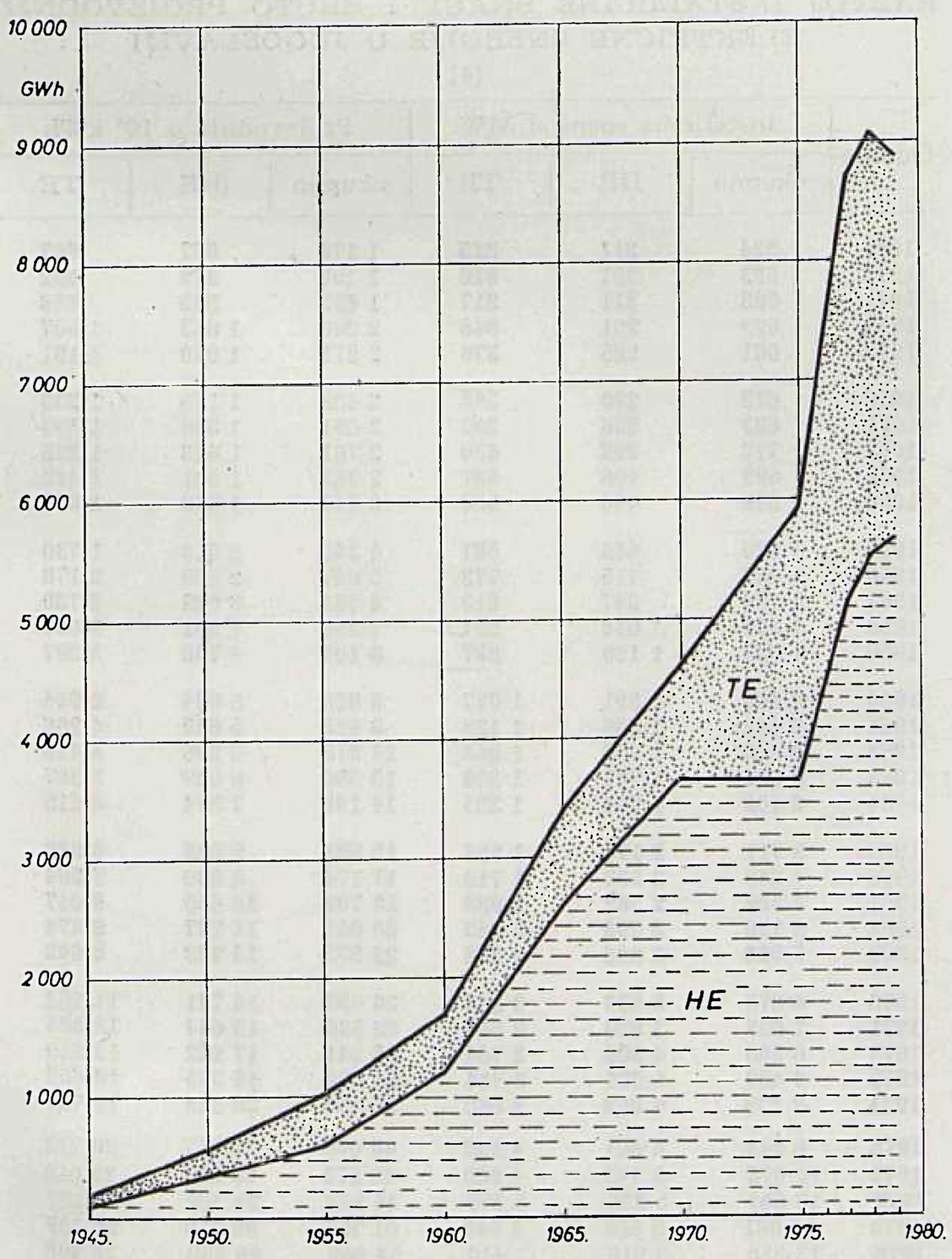
Tablica 1

OSNOVNI PODACI ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE
po stanju od 31. XII 1979. [2]

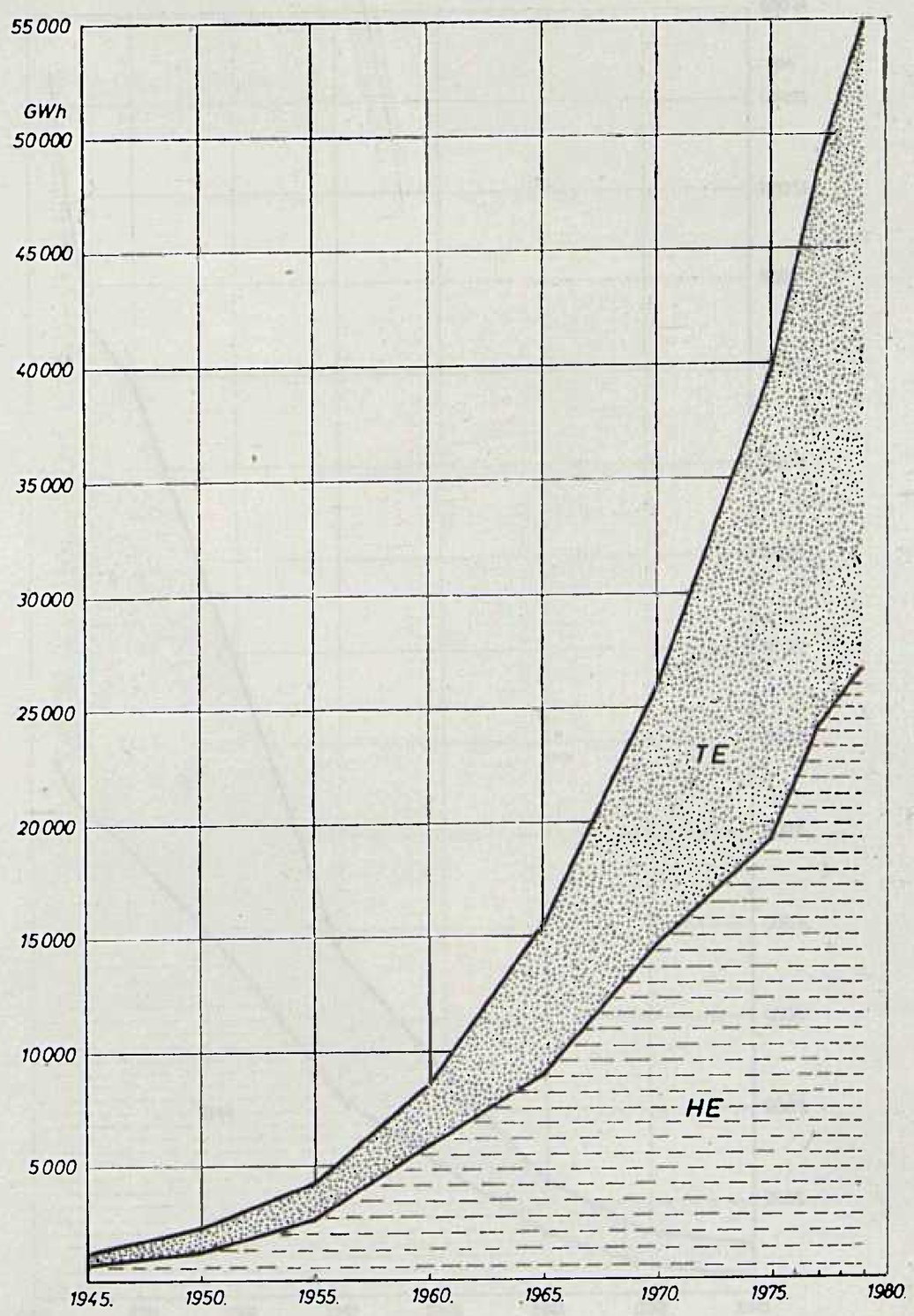
Naziv postrojenja		1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Hidroelektrane	broj	17	17	19	19	20	21	21	22	21
	snaga MW	777,7	777,7	1023,6	1024	1310	1200	1200	1302	1448
od toga Udružene	MW	761,6	761,6	1007,5	1007	1213	1185	1185	1284	1431
Termoelektrane	broj	40	40	40	41	41	41	41	43	35
	snaga MW	568,4	568,4	568,4	768	836	887	877	1177	1202
Od toga Udružene	MW	491,4	491,4	491,4	691	800	771	720	720	1090
Ukupno elektrane	MW	1346,1	1346,1	1592,0	1792	2146	2087	2077	2479	2650
Transformatorske stanice:										
380/110 kV	broj stanica	—	—	—	—	—	—	—	1	2
	broj transformatora	—	—	—	—	—	—	—	2	3
	snaga MVA	—	—	—	—	—	—	—	600	900
220/110 kV	broj stanica	5	5	6	6	6	6	6	6	6
	broj transformatora	7	8	11	11	11	12	12	14	14
	snaga MVA	1000	1150	1600	1600	1600	1800	1450	2050	2350
110/30—50 kV	broj stanica	36	42	44	46	50	71	59	57	57
	broj transformatora	68	79	80	82	86	137	114	105	108
	snaga MVA	1586	1920	1980	2060	2140	3118	3018	3121	3217
30—50/3—10 kV	broj stanica	249	258	270	280	286	280	245	258	—
	broj transformatora	458	462	487	510	520	497	476	509	—
	snaga MVA	1851	1930	2010	2090	2130	2104	2172	2308	—
Dalekovodi:										
380 kV	km	—	—	—	—	—	—	271	389	612
220 kV	km	949	976	1158	1158	1251	1065	1125	1005	996
110 kV	km	2110	2384	2483	2533	2539	3384	3143	2560	3049
50—30 kV	km	3547	3651	3725	3799	3814	3682	3297	3451	4152
10—3 kV	km	17860	18630	19320	20010	20546	21050	18913	18383	21036
niski napon	km	35750	36685	37340	37995	38415	43750	36403	38325	43072
Vršno opterećenje SRH	MW	1126	1208	1227	1271	1576	1595	1673	1744	1864

Mrežni transformatori u HE i TE uključeni su u transformatorskim stanicama 220/110 i 110/30—50 kV.

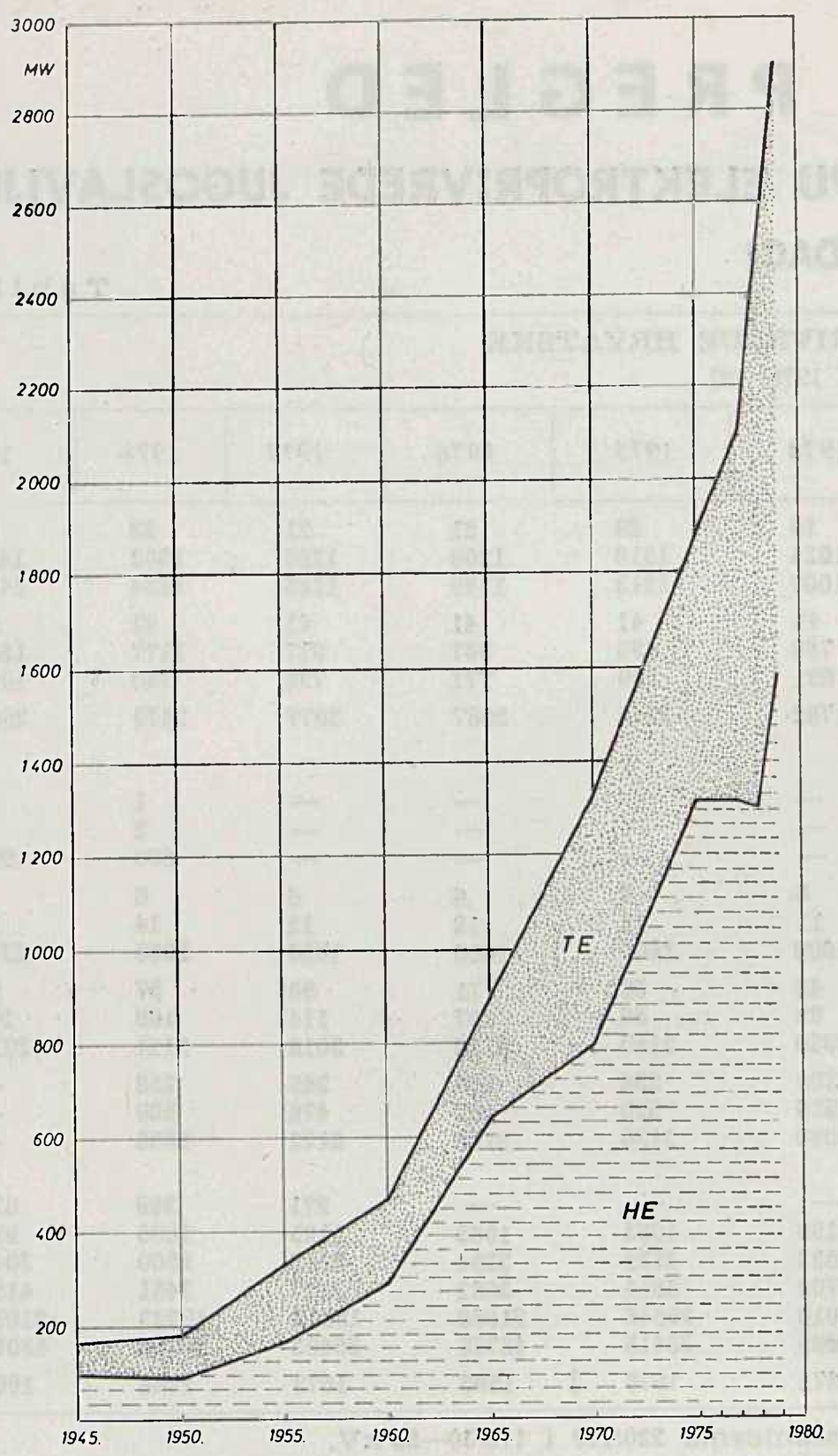
PROIZVODNJA I INSTALIRANE SNAGE



Sl. 1. Ukupna proizvodnja električne energije u Hrvatskoj



Sl. 2. Ukupna proizvodnja električne energije u Jugoslaviji



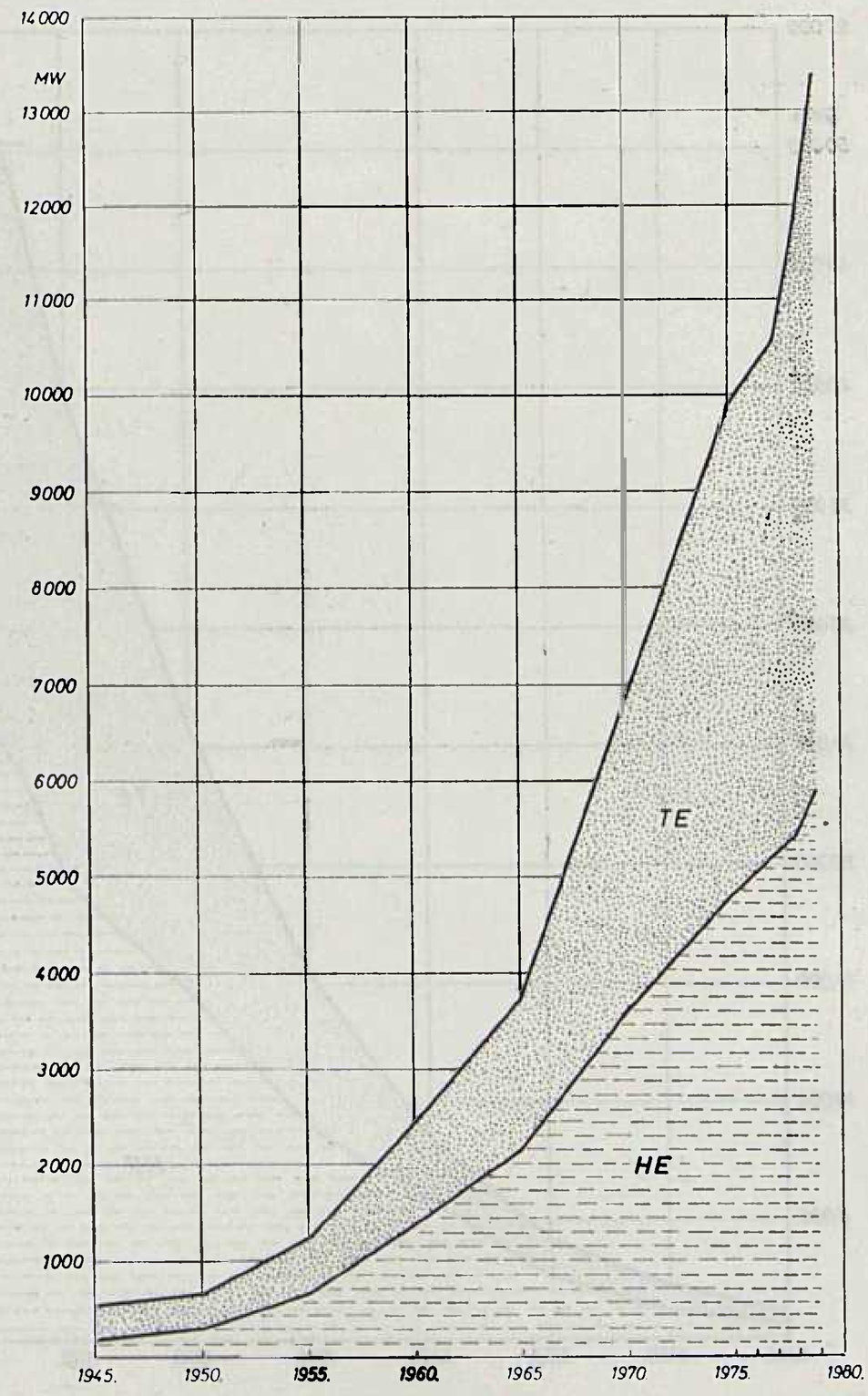
Sl. 3. Razvoj instaliranih snaga u elektranama Hrvatske

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
1946	177	93	84	266	130	136
1947	173	89	84	378	179	199
1948	188	89	99	497	301	196
1949	188	89	99	524	297	227
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	3 232	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



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
1946	523	207	316	1 150	478	672
1947	528	211	317	1 453	595	858
1948	629	281	348	2 060	1 053	1 007
1949	661	285	376	2 211	1 020	1 191
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

Tablica 4

INSTALIRANE SNAGE ELEKTRANA 1979. PO REPUBLIKAMA
u MW [4]

Republika	Ukupno			Hidroelektrane			Termoelektrane		
	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale
SFRJ	13 220	12 523	797	5 910	5 780	125	7 410	6 738	672
Bosna i Hercegovina	2 030	1 881	149	774	754	20	1 256	1 127	129
Crna Gora	677	649	28	656	649	7	21	—	21
Hrvatska	2 913	2 777	136	1 587	1 567	20	1 326	1 210	116
Makedonija	616	559	57	366	349	17	250	210	40
Slovenija	1 870	1 783	87	672	634	38	1 198	1 149	49
Srbija	5 214	4 874	340	1 855	832	23	3 359	3 042	317

Tablica 5

BRUTO PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE 1979. PO REPUBLIKAMA
u GWh [4]

Republika	Ukupno			Hidroelektrane			Termoelektrane		
	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale
SFRJ	54 966	51 795	3 171	26 558	26 024	534	28 408	25 771	2 637
Bosna i Hercegovina	10 664	9 789	875	3 893	3 838	55	6 771	5 951	820
Crna Gora	2 480	2 391	89	2 423	2 391	32	57	—	57
Hrvatska	8 874	8 403	471	5 375	5 246	129	3 499	3 157	342
Makedonija	1 898	1 734	164	1 431	1 347	84	466	387	79
Slovenija	7 657	7 142	515	3 574	3 436	138	4 084	3 706	378
Srbija	23 393	22 336	9 862	9 766	9 766	96	13 531	12 570	961

Tablica 6

SPECIFIČNA BRUTO PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI
kWh po stanovniku [4]

Godina	SFRJ	B i H	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
1950.	147	91	15	130	37	636	89
1951.	154	93	22	154	48	673	92
1952.	161	100	24	160	50	699	97
1953.	175	110	33	181	55	743	106
1954.	199	134	96	204	71	849	116
1955.	247	219	59	253	94	1 014	132
1956.	283	255	69	247	103	1 233	162
1957.	347	367	77	261	170	1 484	197
1958.	404	466	88	282	230	1 603	244
1959.	439	563	93	334	266	1 692	290
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.	1878	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

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	tuzemna	inozemna	
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	815	817r	— 2r	4905r
1969.	4520	3979	541	4155	3881	274	84	84	—	281	14	267	904	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
1969*	8 850	5 680	3 170	8 399	5 242	3 157	80	80	—	371	13	358	2 658	2 809	—151	11 508

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 1979.

u MWh [4]

Primila / predala	Ukupno	Bosna i Hercegovina	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
Ukupno	9 269	361	1 163	3 152	1 804	1 031	1 758
B i H	2 670	—	123	1 589	49	779	130
Crna Gora	1 682	186	—	—	63	34	1 399
Hrvatska	345	47	35	—	1	109	153
Makedonija	55	—	—	—	—	—	55
Slovenija	136	69	24	19	3	—	21
Srbija	4 381	59	981	1 544	1 688	109	—

Tablica 9

RAZMJENA IZMEĐU PODRUČJA UDRUŽENE ELEKTROPRIVREDE SRH 1979.

u GWh [2]*

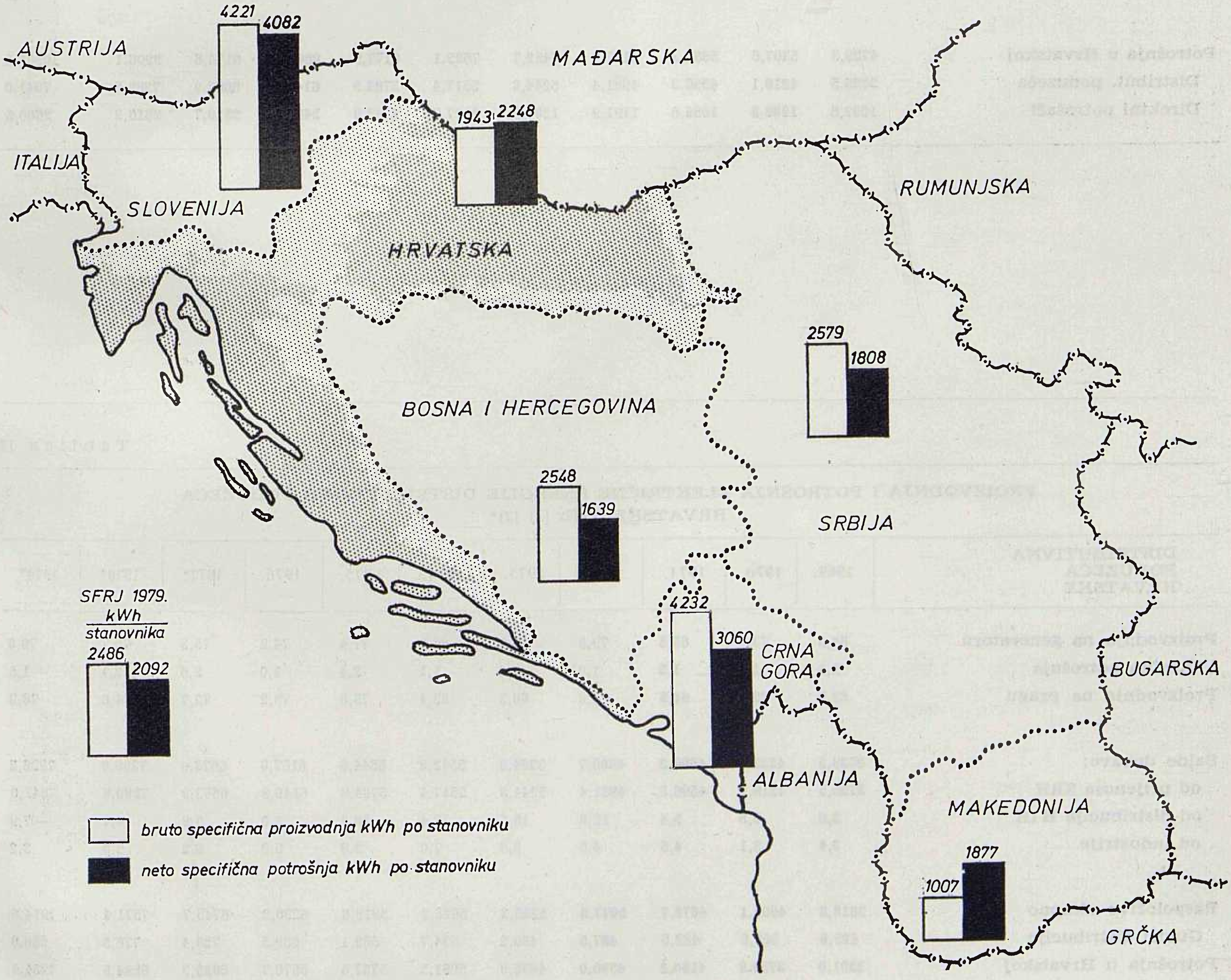
Područje SRH	Osijek	Rijeka	Split	Zagreb	Hrvatska
Proizvodnja na pragu	150,4	2516,9	2506,8	2536,7	7710,8
Primljeno od ZEOH	1146,3	60,7	1168,7	1754,7	4130,8
Predano ZEOH	—	1037,5	—	—	1037,5
Saldo razmjene	1146,3	—976,8	1168,7	1754,7	3092,9
Raspoloživo BTTO	1296,7	1540,1	3675,5	4291,4	10803,7
Gubici prijenosa	38,4	45,3	124,3	94,2	302,2
Predano potrošačima	1258,3	1494,8	3551,2	4197,2	10501,5
Predano distribuciji	1173,8	1450,5	1605,0	3611,7	7841,0
Direktni potrošači	84,5	44,3	1946,2	585,5	2660,5

Tablica 10

RAZVOJ RAZMJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE UDRUŽENE ELEKTROPRIVREDE SRH u GWh [2]

Razmjena	1969.	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.
Nabava iz Slovenije	169,3	321,6	32,2	95,4	85,2	15,4	166,0	46,0	48,0	79,0	19,0
Predaja u Sloveniju	322,9	421,3	992,9	92,2	28,1	50,9	26,0	26,0	66,0	50,0	109,0
	—	—	—	+	+	—	+	+	—	+	—
Saldo	153,5	99,7	960,7	3,2	57,1	35,5	140,0	20,0	18,0	29,0	90,0
Nabava iz Bosne	1127,3	1492,9	2575,1	1565,1	1925,0	2397,4	2401,0	1689,0	1510,0	1731,0	3112,0
Predaja u Bosnu	56,5	42,6	40,7	63,2	6,2	2,1	75,0	18,0	37,0	87,0	193,0
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Saldo	1070,8	1450,3	2534,4	1460,7	1918,8	2395,3	2326,0	1671,0	1473,0	1644,0	2919,0
Nabava iz inozemstva	1,7	0,1	1,5	—	42,6	50,0	739,0	331,0	55,0	234,0	81,0
Predaja u inozemstvo	18,2	48,1	71,8	0,1	0,0	146,6	23,0	104,0	100,0	56,0	232,0
	—	—	—	—	+	—	+	+	—	+	+
Saldo	16,6	48,1	70,3	0,1	42,6	96,6	716,0	227,0	45,0	178,0	151,0
Ukupno nabava	1298,0	1814,5	2608,8	1660,5	2052,8	2462,8	3306,0	2066,0	1613,0	2044,0	3212,0
Izvoz i predaja	397,5	512,0	1105,4	155,4	34,3	199,6	124,0	148,0	203,0	193,0	534,0
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Saldo razmjene	900,8	1302,6	1503,4	1505,1	2018,5	2263,2	3182,0	1918,0	1410,0	1851,0	2658,0

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	1969.	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977*	1978*	1979.
Proizvodnja na generatoru	4154,7	4362,1	4606,1	5166,2	4971,3	5916,0	5518,6	7198,5	8349,7	8647,2	8399,5
Vlastita potrošnja	51,5	90,0	156,5	164,6	207,3	173,5	174,4	223,4	248-9	252,6	253,6
Proizvodnja na pragu	4103,1	4272,1	4449,6	5001,6	4764,0	5742,5	5344,2	6975,1	8100,8	8394,6	8145,9
Razmjena saldo:	900,8	1302,6	1503,4	1505,1	2018,5	2262,7	3187,4	1937,5	1411,9	1853,3	2664,2
sa Slovenijom	— 153,5	— 99,7	— 960,7	3,2	57,1	— 35,6	121,2	19,2	— 18,6	28,9	—89,6
sa Bosnom i H.	1070,8	1450,3	2530,4	1502,0	1643,1	1905,2	1990,5	1565,4	1300,3	1323,2	1512,5
sa drugim republ.	—	—	—	—	275,7	489,8	360,5	125,9	187,5	323,0	1392,3
sa inozemstvom	— 16,5	— 48,0	— 70,3	— 0,1	42,6	— 96,7	715,2	227,1	— 44,4	178,2	—151,0
Nabava od industrije	6,4	2,8	4,8	—	1,8	1,8	6,3	21,4	—	2,0	—
Raspoloživo ukupno	5010,3	5577,5	5957,8	6506,7	6784,3	8006,1	8537.9	8934,0	9512,7	10249,9	10810,1
Gubici prijenosa	281,0	269,9	277,5	333,4	267,2	324,8	312,9	303,4	336,7	342,9	302,2
Predano distr. B i H	—	—	—	—	64,4	56,2	47,1	23,8	1,4	0,9	0,0
Razlika voz. reda ±					—	—	—	—	—	—	—6,4
Potrošnja u Hrvatskoj	4729,3	5307,6	5680,3	6173,3	6452,7	7625,1	8177,9	8606,8	9174,6	9906,1	10501,5
Distribut. poduzeća	3726,5	4219,1	4596.3	4981,4	5244,8	5517,4	5784,9	6149,8	6663,9	7289,8	7841,0
Direktni potrošači	1002,8	1088,5	1084,0	1191,9	1207,9	2107,7	2393,0	2457,0	2510,7	2616,3	2660,5

Tablica 12

PROIZVODNJA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE DISTRIBUTIVNIH PODUZEĆA HRVATSKE GWh [1] [2]*

DISTRIBUTIVNA PODUZEĆA HRVATSKE	1969.	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977*	1978*	1979*
Proizvodnja na generatoru	84,5	73,4	65,8	79,8	60,9	84,5	77,4	74,2	75,3	76,7	79,8
Vlastita potrošnja	1,2	1,3	1,3	1,0	0,6	1,1	2,4	1,0	2,6	2,1	1,5
Proizvodnja na pragu	83,3	72,1	64,5	78,8	60,3	83,4	75,0	73,2	72,7	74,6	78,3
Saldo dobave:	3733,5	4228,0	4606,2	4998,7	5264,9	5542,8	5844,6	6157,0	6673,0	7296,8	7836,3
od prijenosa SRH	3726,5	4219,1	4596,3	4981,4	5244,8	5517,4	5784,9	6149,8	6663,9	7289,8	7841,0
od distribucije B iH	3,6	5,8	5,4	12,8	16,5	18,4	56,9	2,0	5,9	4,7	—7,9
od industrije	3,4	3,1	4,5	4.5	3,6	7,0	2,8	5,2	3,2	2,3	3,2
Raspoloživo ukupno	3816,8	4300,1	4670,7	5077,5	5325,2	5626,2	5919,6	6230,2	6745,7	7371,4	7914,6
Gubici distribucije	425,8	505,8	482,5	487,5	469,2	534,7	582,1	659,5	720,4	776,5	680,6
Potrošnja u Hrvatskoj	3391,0	3794,3	4188,2	4590,0	4856,0	5091,5	5337,5	5570,7	6025,3	6594,9	7234,0

Tablica 13

POTROŠNJA DIREKTNIH POTROŠAČA UDRUŽENE ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE u GWh [1] [2]*

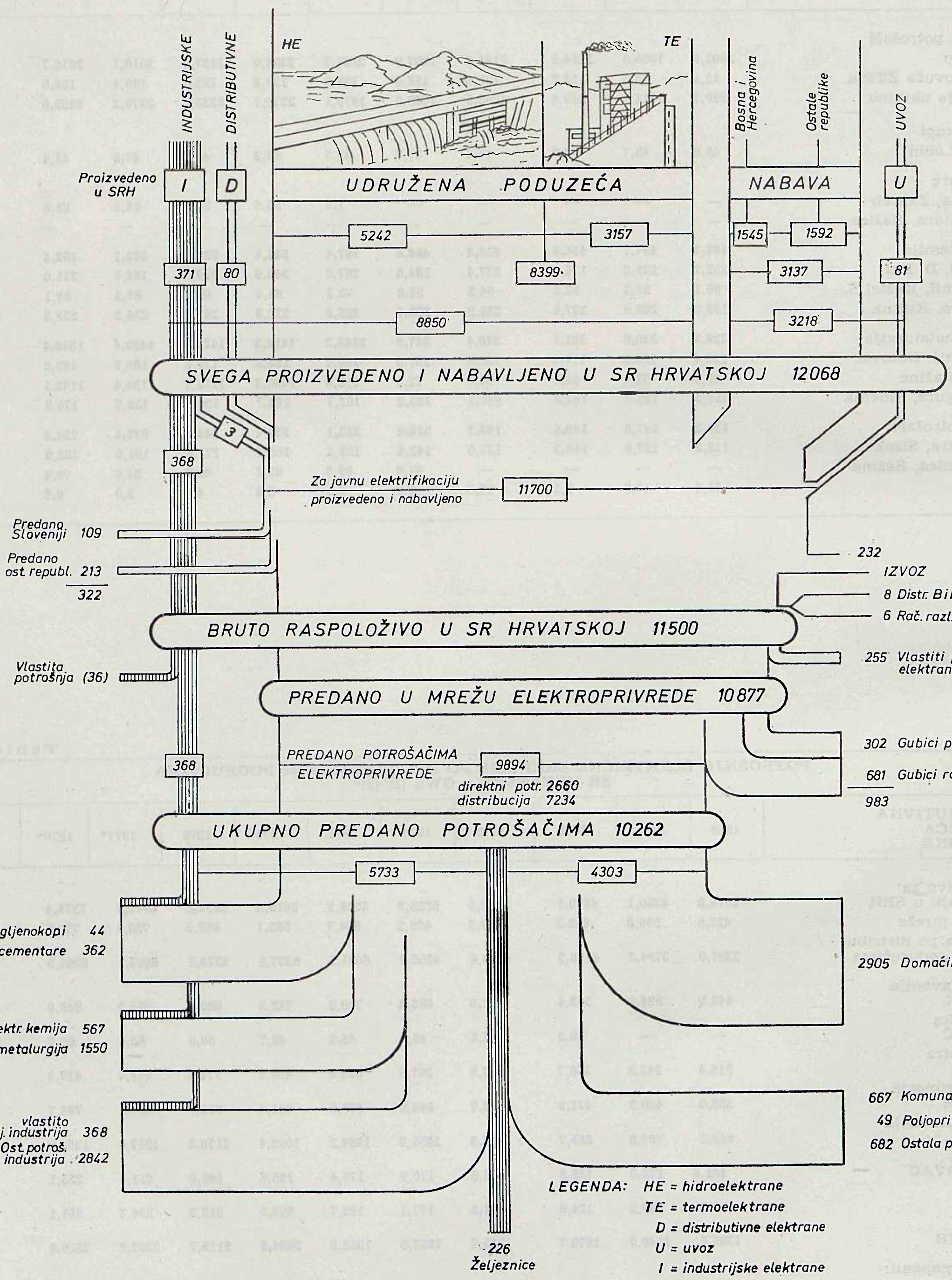
UDRUŽENA ELEKTROPRIVREDA HRVATSKE	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977*	1978*	1979*
Direktni potrošači ukupno	1002,8	1088,5	1084,0	1191,9	1207,9	2107,7	2393,0	2457,0	2510,7	2616,3	2660,5
Elektrovuča ŽTP-a	12,1	76,3	115,2	125,4	138,3	128,6	122,3	123,8	140,4	156,5	176,1
Industrija ukupno	990,7	1012,2	968,8	1066,5	1069,6	1979,1	2270,7	2333,2	2370,3	2459,8	2484,4
Ugljenokopi											
Raša, Labin	45,0	43,7	42,3	43,0	37,7	42,3	43,3	48,1	47,0	44,4	44,4
Cementare											
Sloboda, Zagreb	—	—	—	—	—	1,0	30,6	35,9	68,3	68,8	61,1
Cementara, Našice	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,6
Elektrokemija	486,7	494,7	456,0	533,8	466,0	567,4	537,1	532,1	522,1	552,4	566,8
Karbid, D. Rat	232,7	235,2	174,6	237,4	184,8	267,9	248,9	218,8	182,0	211,0	222,0
Jugovinil, Kaštel S.	60,1	59,2	53,8	64,5	52,8	73,3	65,4	65,5	83,8	88,1	95,5
Gnojivo, Kutina	193,9	200,3	227,6	231,9	228,4	226,2	222,8	247,8	256,3	253,3	249,3
Elektrometalurgija	328,8	326,0	321,1	340,4	347,9	1145,3	1422,3	1472,5	1480,4	1540,4	1550,0
Aluminij, Lozovac	123,4	126,2	117,0	132,3	151,8	169,0	162,3	170,8	189,3	195,6	192,1
TLM, Ražine	53,7	57,1	61,9	62,0	72,9	813,6	1096,3	1115,7	1134,4	1169,1	1161,2
Ferolegure, Šibenik	151,7	142,7	142,2	146,1	123,2	162,7	163,7	186,0	156,7	175,7	196,7
Ostali potrošači	130,2	147,8	149,4	149,3	218,0	223,1	237,4	244,6	252,5	253,8	261,5
Željezara, Sisak	118,3	137,0	143,3	137,0	142,4	153,2	165,4	171,4	181,9	182,9	189,4
Valjaonica, Ražine	—	—	—	—	67,6	63,0	62,2	69,2	68,6	70,4	70,6
Ostali	11,9	10,8	6,1	12,3	8,0	6,9	5,8	4,0	2,0	0,5	1,5

Tablica 14

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE PO DISTRIBUTIVNIM PODRUČJIMA SR HRVATSKE u GWh [1] [2]*

DISTRIBUTIVNA PODUZEĆA HRVATSKE	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977*	1978*	1979*
Raspoloživo za potrošnju u SRH	3816,8	4300,1	4670,1	5077,5	5325,2	3626,2	5919.6	6230,2	6745,7	7371,4	7914,6
Gubici mreže	425,8	505,8	482,5	487,5	469,2	534,7	582,1	659,5	720,4	776,5	680,6
Potrošnja po distributivnim poduzećima	3391,0	3794,3	4188,2	4590,0	4856,0	5091,5	5337,5	5570,7	6025,3	6594,9	7234,0
Elektroslavonija OSIJEK	448,9	524,9	563,4	611,3	698,3	729,5	743,5	800,5	895,5	968,0	1061,4
Elektrolika GOSPIĆ	—	—	40,2	44,4	45,0	46,3	48,7	50,5	53,8	62,7	69,7
Elektroistra PULA	216,4	242,5	266,7	297,9	307,8	335,0	428,1	374,5	414,7	437,0	481,3
Elektroprimorje RIJEKA	382,0	439,9	471,9	522,7	543,6	573,5	601,4	651,7	694,1	748,7	809,0
Elektrodalmacija SPLIT	689,2	760,9	886,7	972,5	1055,6	1084,3	1092,4	1170,3	1217,8	1366,9	1494,7
Elektra KARLOVAC	161,6	175,3	155,5	164,5	170,9	176,4	195,6	195,2	211,9	235,1	248,8
Elektra SISAK	95,8	109,9	124,0	161,0	177,3	193,7	203,3	212,3	234,3	251,1	322,0
Elektra ZAGREB	1397,1	1540,9	1679,7	1815,7	1857,5	1952.8	2024,5	2115,7	2303,2	2525,4	2447,1
Prema naponu:											
Na visokom naponu	1316,9	1437,8	1607,0	1823,5	1877,4	2005,9	2127,7	2207,2	2415,4	2667,1	2930,6
Na niskom naponu	2074,1	2356,5	2581,2	2766,5	2978,6	3085,6	3209,8	3363,5	3609,9	3927,8	4303,4
— Domaćinstva	1333,2	1496,8	1637,9	1772,3	1943,9	2060,2	2132,7	2223,4	2360,4	2584,6	2904,8
— Ost. potroš. na 0,4 kV	740,9	859,7	943,3	994,2	1034,7	1025,4	1077,1	1140,1	1249,5	1343,2	1398,6

TOK ELEKTRIČNE ENERGIJE U SR HRVATSKOJ 1979.
milijuna kilovatsati (GWh)



Sl. 6. Tok električne energije u SRH 1979. godine

Tablica 15

PROIZVODNJA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U SR HRVATSKOJ
u GWh [1] [2]*

Potrošači	1969.	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.*	1978.*	1979.*
Proizvodnja na generatoru	4520,1	4692,3	4952,5	5509,2	5333,5	6280,7	5940,3	7632,6	8781,5	9089,8	8850,0
Saldo dobave	904,1	1308,5	1508,8	1517,9	1970,7	2224,9	3197,3	1915,6	1416,4	1856,6	2649,9
Raspoloživo bruto	5424,1	6000,8	6461,3	7027,1	7304,2	8505,6	9137,6	9548,2	10197,9	10946,4	11499,9
Vlastita potrošnja	52,7	91,3	157,8	165,6	207,9	174,7	176,9	224,3	251,5	254,6	255,1
Gubici prijenosa	281,0	269,9	277,5	333,4	267,2	324,8	312,9	303,4	336,7	342,9	302,2
Gubici distribucije	425,8	505,9	482,5	487,5	469,2	534,7	582,1	659,5	720,4	776,5	680,6
Potrošnja neto	4664,6	5133,7	5543,5	6040,6	6359,9	7471,4	8065,7	8361,0	8889,3	9572,4	10262,0
Industrija	2471,5	2585,8	2792,4	3093,9	3178,5	4159,2	4645,7	4777,8	5044,4	5401,6	5733,0
Ugljenokopi	53,4	51,2	46,0	45,6	41,8	45,5	45,3	53,9	47,0	44,4	44,4
Cementare	151,5	163,7	187,7	225,9	225,2	248,5	304,4	287,3	277,8	278,8	361,7
Elektrokemija	486,7	494,7	456,0	533,8	466,0	567,4	537,1	532,1	522,1	552,4	566,8
Elektrometalurgija	328,8	326,0	321,1	340,4	347,9	1154,3	1422,3	1472,5	1480,4	1540,4	1550,0
Ostala prodaja	1180,3	1599,3	1510,3	1689,5	1801,6	1871,3	2001,4	2098,7	2363,8	2624,4	2842,6
Vlast. snabdjev. ind.	270,8	250,9	271,3	258,7	296,0	272,2	335,2	333,3	353,3	361,2	367,5
Elektro vuča ŽTP	90,8	140,0	169,9	180,2	226,0	226,6	* 210,2	219,7	235,0	243,0	225,6
Opća potrošnja	2102,3	2407,9	2581,2	2766,5	2955,4	3085,6	3209,8	3363,5	3609,9	3927,8	4303,4
Domaćinstva	1333,2	1496,8	1637,9	1772,3	1943,9	2060,2	2132,7	2223,4	2360,4	2584,9	2904,8
Komunal. potr.	* 198,0	* 208,0	* 231,0	* 270,0	* 261,0	263,0	291,0	473,0	572,0	622,0	667,0
Ost. potrošnja	571,1	708,1	712,3	724,2	750,5	762,4	786,1	667,1	677,5	720,9	731,6

Tablica 16

BILANCA PROIZVODNJE I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U SFRJ 1979.
u GWh [5]

Elementi energetske bilance	SFRJ	B i H	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
Proizvodnja na generatoru	54 966	10 664	2 480	8 874	1 898	7 657	23 393
Vlastita potrošnja	2 614	589	10	254	33	449	1 279
Proizvodnja na pragu elektrana	53 352	10 075	2 470	8 620	1 865	7 208	22 114
Izvoz	1 952	118	121	232	24	33	1 424
Uvoz	1 088	4	154	81	289	28	532
Primljeno od drugih republika	9 269	361	1 164	3 152	1 803	1 031	1 758
Isporučeno drugim republikama	9 269	2 670	1 682	345	55	136	4 381
Gubici prijenosa i razvoda	5 233	794	192	1 011	341	694	2 201
Raspoloživo za potrošnju	46 255*	6 858	1 793	10 265	3 537	7 404	16 398*
Industrija i rudarstvo	26 672	4 233	1 306	6 299	2 265	4 889	7 690
ugljenokopi	634	212	2	52	2	56	310
Cementare	1 114	84	31	363	115	187	334
Elektrokemija	4 601	406	875	1 539	112	835	834
Elektrometalurgija	5 993	1 763	195	560	1 270	861	1 344
Ostala industrija	14 330	1 758	203	3 785	766	2 950	4 868
Elektroželježnička vuča	771	120	21	176	13	202	239
Tramvaji i trolejbusi	89	18	—	42	—	—	29
Javni vodovod	515	60	24	183	7	47	194
Javna rasvjeta	443	44	15	145	21	51	167
Domaćinstva	14 162	1 909	296	2 905	937	1 600	6 515
Poslovne i društvene prostorije	1 245	111	78	249	154	221	432
Motori i aparati	1 658	97	36	212	128	228	957
Poljoprivreda ukupno	650	276	17	54	12	166	125

* U sumi SR Srbije 50 GWh, potrošnja za pumpanje vode u akumulacije

[1] Kod SR Bosne i Hercegovine uključeno 78% proizvodnje HE »Trebišnjica« a kod SR Hrvatske 22%.

Tablica 17

POGONSKA SNAGA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE PREMA TEHNOLOŠKOJ NAMJENI U INDUSTRIJSKIM ORGANIZACIJAMA SR HRVATSKE ZA 1978. GODINU[1])

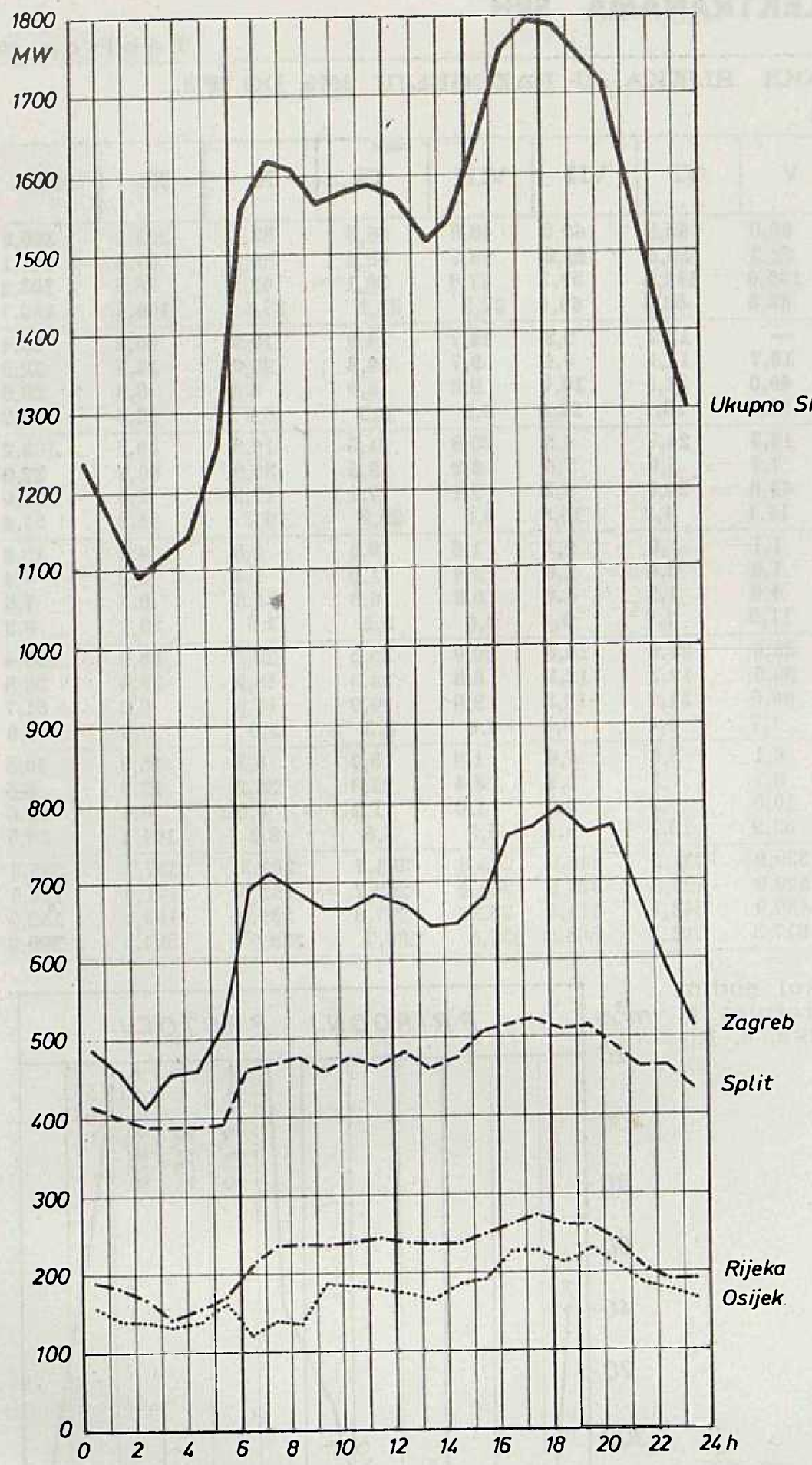
u MWh

	Ukupna pogonska snaga	Snaga elektromotora	Ukupno utrošena električna energija	Za termičke svrhe	Za elektrolize i galvanizaciju	Za elektromotore	Ostalo
UKUPNO	1 812[2]	1 688[2]	5 327 733	615 681	1 376 017	3 038 315	297 720
Elektroprivreda	146	124	380 051	2 327	3 332	329 532	44 860
Proizvodnja ugljena	36	36	41 991	40	—	41 896	55
Prerada ugljena	6	3	8 092	—	—	4 267	3 825
Proizvodnja nafte i zemnog plina	31	17	34 715	153	—	31 832	2 730
Proizvodnja naftenih derivata	90	75	22 781	1 080	100	216 227	5 374
Crna metalurgija	82	82	454 674	349 982	—	100 598	4 094
Proizvodnja ruda obojenih metala	13	3	843	28	—	724	91
Proizvodnja obojenih metala	7	7	1 306 995	4 820	1 290 311	7 596	4 268
Prerada obojenih metala	40	40	68 462	15 305	53	51 873	1 231
Proizvodnja nemetalnih minerala	9	7	9 517	125	—	8 596	796
Prerada nemetalnih minerala	26	25	119 187	41 573	248	70 702	6 664
Metaloprerađivačka djelatnost	127	123	197 571	45 482	7 951	126 617	17 521
Strojogradnja	82	74	68 144	5 907	624	49 554	12 059
Proizvodnja prometnih sredstava	23	23	19 299	2 210	392	14 008	2 689
Brodogradnja	92	89	73 202	1 941	—	55 920	15 341
Proizvodnja električnih strojeva i aparata	47	47	74 855	18 629	4 151	40 753	11 322
Proizvodnja osnovnih kemijskih proizvoda	126	110	516 123	84 526	63 057	353 830	14 710
Prerada kemijskih proizvoda	53	53	99 217	13 641	1 573	72 848	11 155
Proizvodnja kamena, pijeska i šljunka	45	31	49 188	347	—	46 355	2 486
Proizvodnja građevnog materijala	166	159	447 726	1 474	—	421 871	24 381
Proizvodnja rezane građe i ploča	39	39	47 069	898	—	42 540	3 631
Proizvodnja finalnih proizvoda od drveta	78	77	103 537	1 556	171	91 801	10 009
Proizvodnja i prerada papira	64	64	233 828	679	—	228 131	4 608
Proizvodnja tekstilnih prediva i tkanina	79	79	232 212	3 393	—	206 219	22 600
Proizvodnja gotovih tekstilnih proizvoda	31	31	56 388	1 967	—	43 638	10 783
Proizvodnja kože i krzna	9	9	11 690	488	—	10 321	881
Proizvodnja kožne obuće i galanterije	25	25	23 244	1 075	—	18 453	3 716
Prerada kaučuka	22	22	49 072	1 998	—	36 847	10 227
Proizvodnja prehrambenih proizvoda	155	151	282 390	11 056	2 807	235 588	32 939
Proizvodnja pića	23	23	39 629	677	—	32 739	6 213
Proizvodnja stočne hrane	18	18	18 659	324	—	16 193	2 142
Proizvodnja i prerada duhana	4	4	8 372	273	—	6 740	1 359
Grafička djelatnost	15	15	24 670	1 476	345	20 244	2 605
Proizvodnja raznovrsnih proizvoda	3	3	4 340	231	492	3 262	355

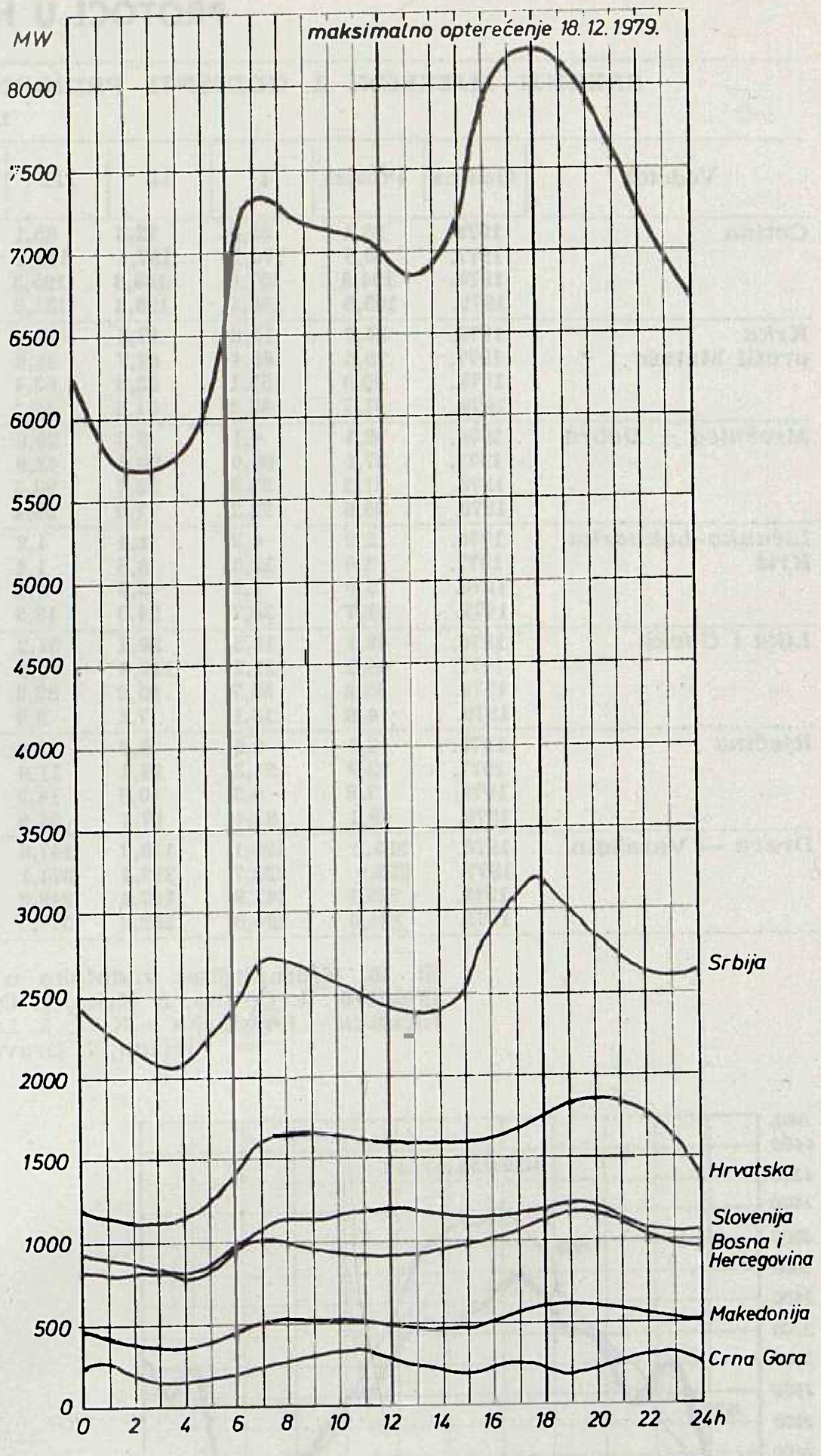
Tablica 18

RAZVOJ NETO SPECIFIČNE PROIZVODNJE I POTROŠNJE 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.	3 882	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



Sl 7. Dnevni dijagram opterećenja za SRH
Srjeda 17. XII 1979.



Sl. 8. Dnevni dijagram opterećenja za SFRJ
18. XII 1979.

Tablica 19

BILANCA PROIZVODNJE I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI
u GWh [5]

	1968.	1969.	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.*
Proizvodnja na generatoru	20 641	23 374	26 023	29 509	33 231	35 062	39 456	40 040	43 573	48 580	51 755	54 966
Potrošnja u elektrani	876	925	1 256	1 484	1 435	1 746	1 807	1 897	2 150	2 171	2 421	2 614
Proizvodnja na pragu	19 774	22 249	24 767	28 025	31 796	33 416	37 649	38 143	41 423	46 409	49 344	52 352
U v o z	439	349	361	104	227	304	625	676	1 263	340	642	1 952
I z v o z	145	91	152	266	905	353	625	433	1 063	1 505	1 294	1 088
Gubici prenosa i razvoda	2 282	2 699	2 980	3 220	3 613	3 753	4 253	4 445	4 646	5 127	4 965	5 233
Raspoloživo za potrošnju	17 786	20 012	21 966	24 643	27 555	29 514	33 396	33 941	36 977	40 117	43 717	46 255
Domaćinstva	4 559	5 267	6 082	6 911	7 674	8 621	9 431	10 351	11 019	12 058	13 076	14 162
Poslov. i društv. prost.	549	753	968	871	903	1 129	948	1 080	1 069	1 142	1 106	1 245
Motori i aparati	497	798	928	1 083	1 211	1 435	1 541	1 367	1 468	1 603	1 594	1 658
Javno osvetljenje	193	229	242	279	297	322	321	334	352	390	413	443
Javni vodovod	234	250	273	310	366	347	382	380	398	447	471	515
Tramvaji i trolejbusi	91	83	80	73	77	69	75	62	66	81	85	89
Poljoprivreda	120	137	168	301	275	304	272	422	511	598	636	650
Opća potrošnja ukupno	6 243	7 517	8 711	9 828	10 803	12 227	12 970	13996	14 883	16 319	17 381	18 762
Elektroželjeznička vuča	159	170	301	460	591	648	729	699	707	745	790	771
Industrija i rudarstvo —	11 384	12 325	12 954	14 355	16 161	16 639	19 697	19 246	21 387	23 053	25 546	26 722
Od toga: elektrokemija i elektrometalurgija	4 575	5 181	5 259	5 799	5 843	6 223	7 004	7 088	8 307	10 128	10 724	10 594

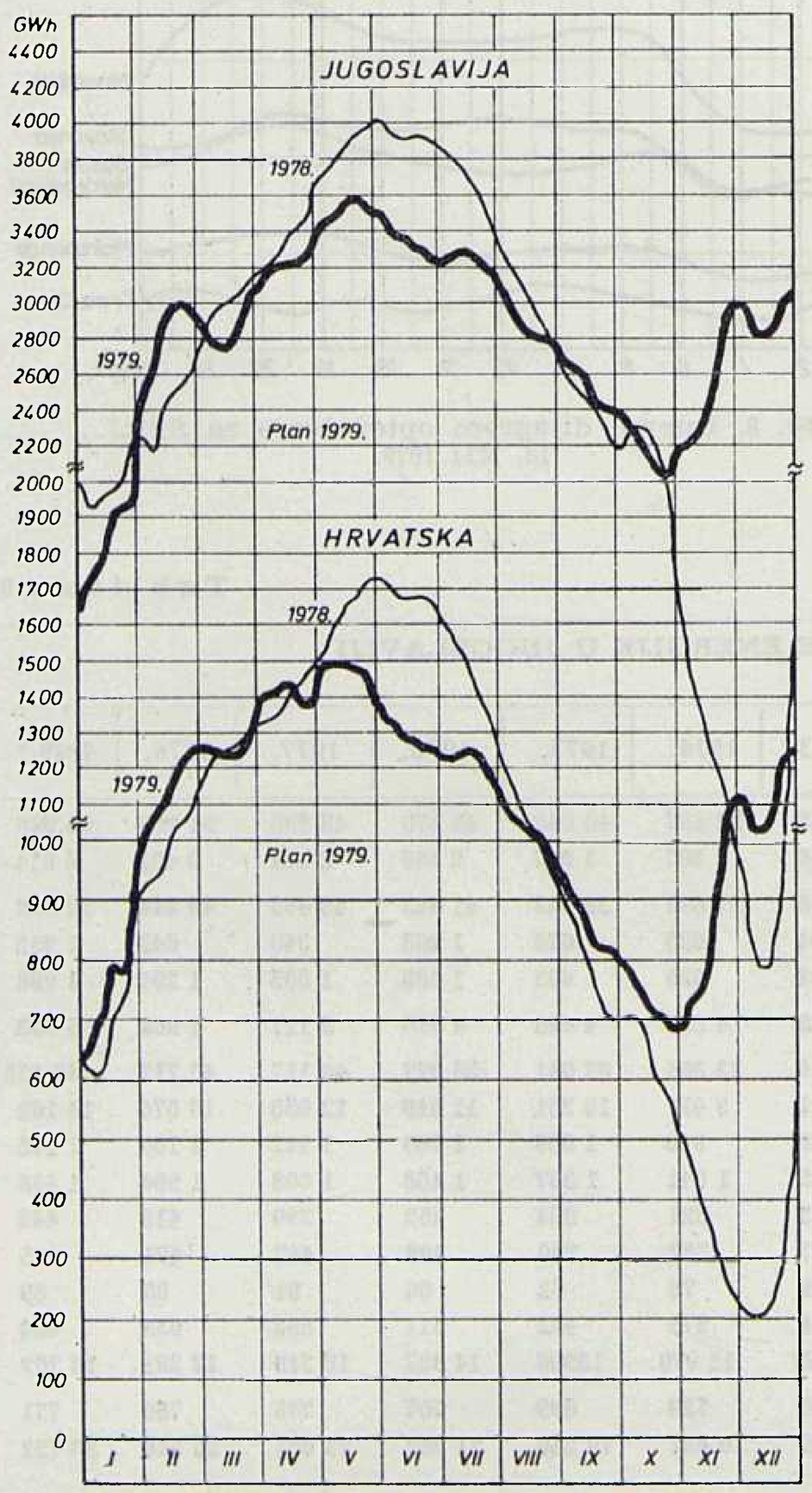
PROTOCI U HIDROELEKTRANAMA SRH

Tablica 20

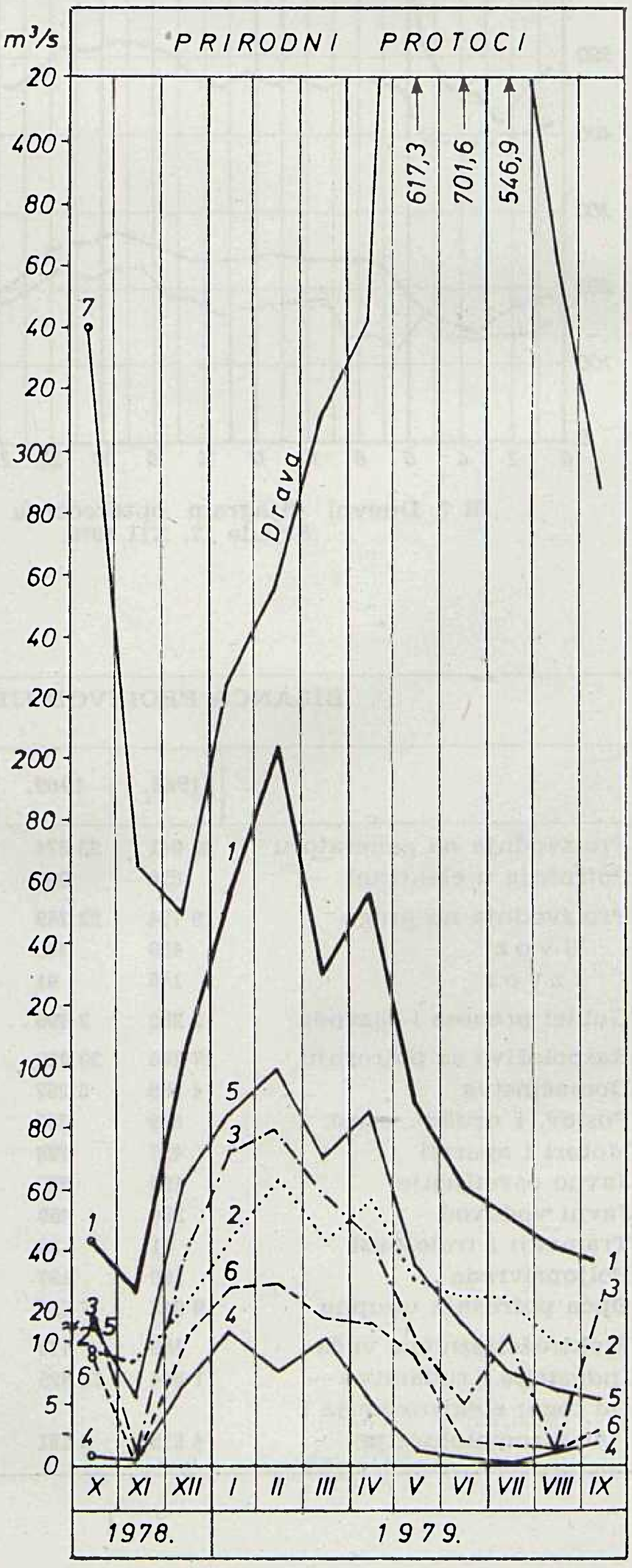
SREDNJI MJESEČNI I GODIŠNJI PRIRODNI PROTOCI RIJEKA, U RAZDOBLJU 1975. DO 1978.
m³/sek. [1]

Vodotok	Godina	Prosjek	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Cetina	1976.	96,1	38,9	72,8	65,1	101,8	90,0	45,9	40,0	46,6	56,6	83,4	203,1	308,8
	1977.	88,6	178,1	197,4	116,1	130,4	62,2	39,5	29,8	36,7	48,2	59,8	57,4	111,1
	1978.	104,5	157,6	183,8	195,3	159,3	135,0	116,6	57,3	37,6	39,1	43,5	26,2	103,2
	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
Krka profil Mataše	1976.	25,7	13,6	17,5	22,4	28,7	—	13,7	9,9	14,7	14,0	19,9	60,3	93,4
	1977.	29,5	60,4	67,7	45,8	51,3	18,7	11,1	8,4	9,7	14,8	20,0	14,3	32,3
	1978.	30,9	53,1	63,0	63,4	49,5	40,0	31,0	16,7	9,8	8,9	8,8	6,8	20,0
	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
Mrežnica + Dobra	1976.	32,1	4,1	6,6	20,6	66,0	16,5	24,7	4,5	26,9	21,3	16,8	69,3	108,2
	1977.	37,1	86,0	90,8	43,9	55,4	7,7	3,0	7,6	8,2	19,5	30,9	60,7	**32,0**
	1978.	31,2	33,2	32,7	99,3	67,2	45,0	20,6	9,3	3,1	7,1	17,9	2,4	37,6
	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
Ličanka-Lokvarka Križ	1976.	3,2	0,3	1,4	1,2	5,4	1,1	1,0	0,1	1,6	5,1	2,8	4,7	13,8
	1977.	3,6	12,3	8,6	1,2	4,0	1,2	0,4	1,0	2,4	1,9	1,4	5,2	4,4
	1978.	3,0	3,3	3,9	6,5	5,0	4,0	1,5	1,0	0,8	0,9	1,8	0,3	7,6
	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
Lika i Gacka	1976.	49,7	18,5	29,4	51,2	73,4	38,6	21,9	10,8	20,0	25,5	28,3	88,9	190,4
	1977.	44,0	121,2	110,8	42,5	70,0	25,5	12,2	12,1	8,8	13,8	18,9	36,4	56,5
	1978.	45,2	55,7	95,2	82,8	92,3	60,0	31,7	19,8	9,6	10,0	17,9	6,2	61,7
	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
Rječina	1976.	8,5	0,6	5,3	1,6	11,1	6,1	3,6	0,6	1,0	8,7	6,3	16,9	40,5
	1977.	13,9	24,3	25,1	11,6	11,0	6,7	1,3	2,1	8,4	22,3	36,2	12,0	6,5
	1978.	7,8	9,3	10,5	14,3	14,6	10,0	9,3	3,6	1,0	1,2	8,6	0,4	11,6
	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
Drava — Varaždin	1976.	253,2	129,1	130,3	147,6	234,6	339,0	321,5	245,6	243,8	284,7	281,3	357,7	305,3
	1977.	325,9	239,7	355,4	374,1	391,8	529,9	492,8	370,5	366,4	262,7	159,0	141,0	128,5
	1978.	299,1	143,9	167,4	249,8	306,6	450,0	548,1	519,4	332,3	217,8	339,0	163,4	152,5
	1979.	384,0	224,0	252,8	311,2	339,2	617,3	701,6	564,9	357,5	286,7	289,6	394,5	290,6

Sl. 10. Hidraulicitet vodotoka u hidrološkoj godini 1978/1979.: 1. Cetina, 2. Krka, 3. Dobra — Mrežnica, 4. Ličanka — Lokvarka — Križ, 5. Lika — Gacka, 6. Rječina, 7. Drava



Sl. 9. Kretanje akumulacija u SRH i SFRJ



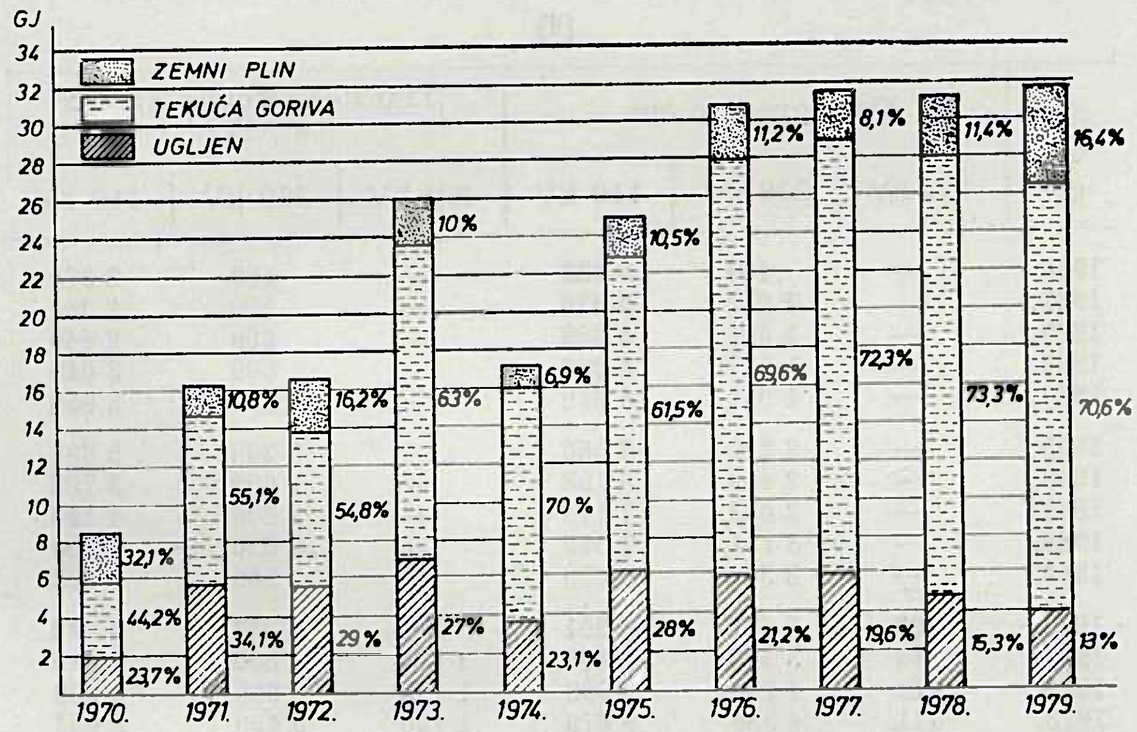
POTROŠNJA GORIVA U TERMOELEKTRANAMA

Tablica 21

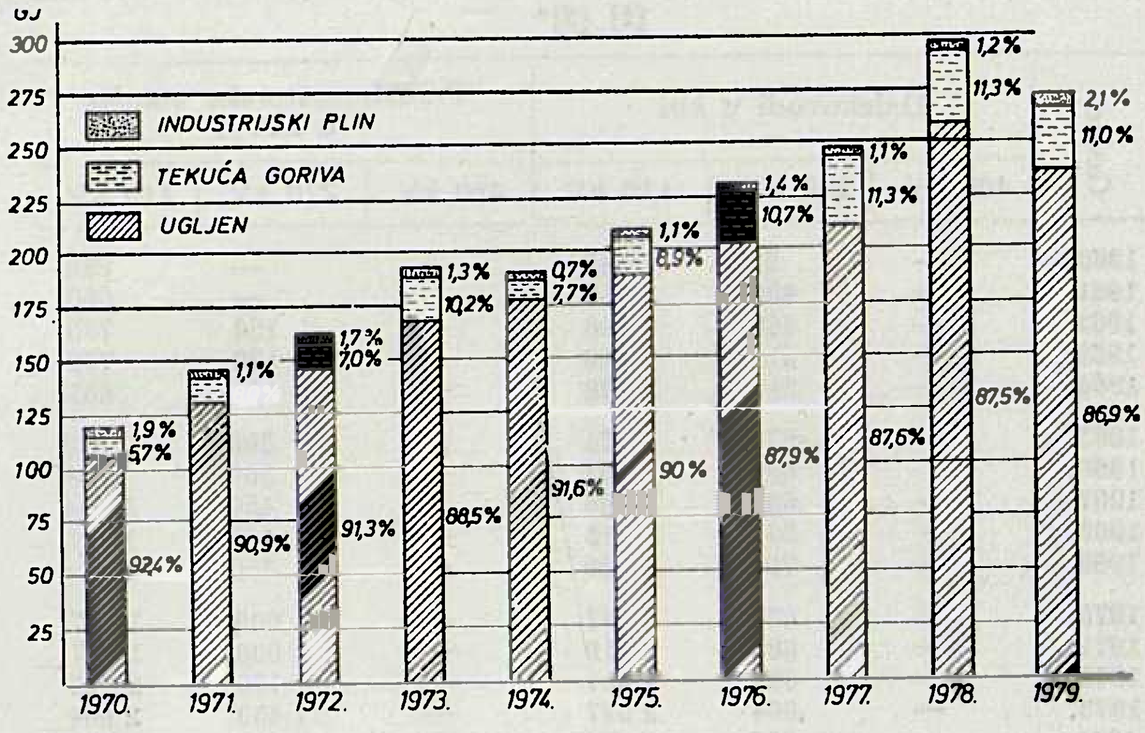
POTROŠNJA GORIVA U UDRUŽENIM TERMOELEKTRANAMA JUGOSLAVIJE
[4]

	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

Napomena: Gorivo samo za proizvodnju električne energije



Sl. 11. Potrošnja topline za proizvodnju električne energije, udruženih termoelektrana SR Hrvatske



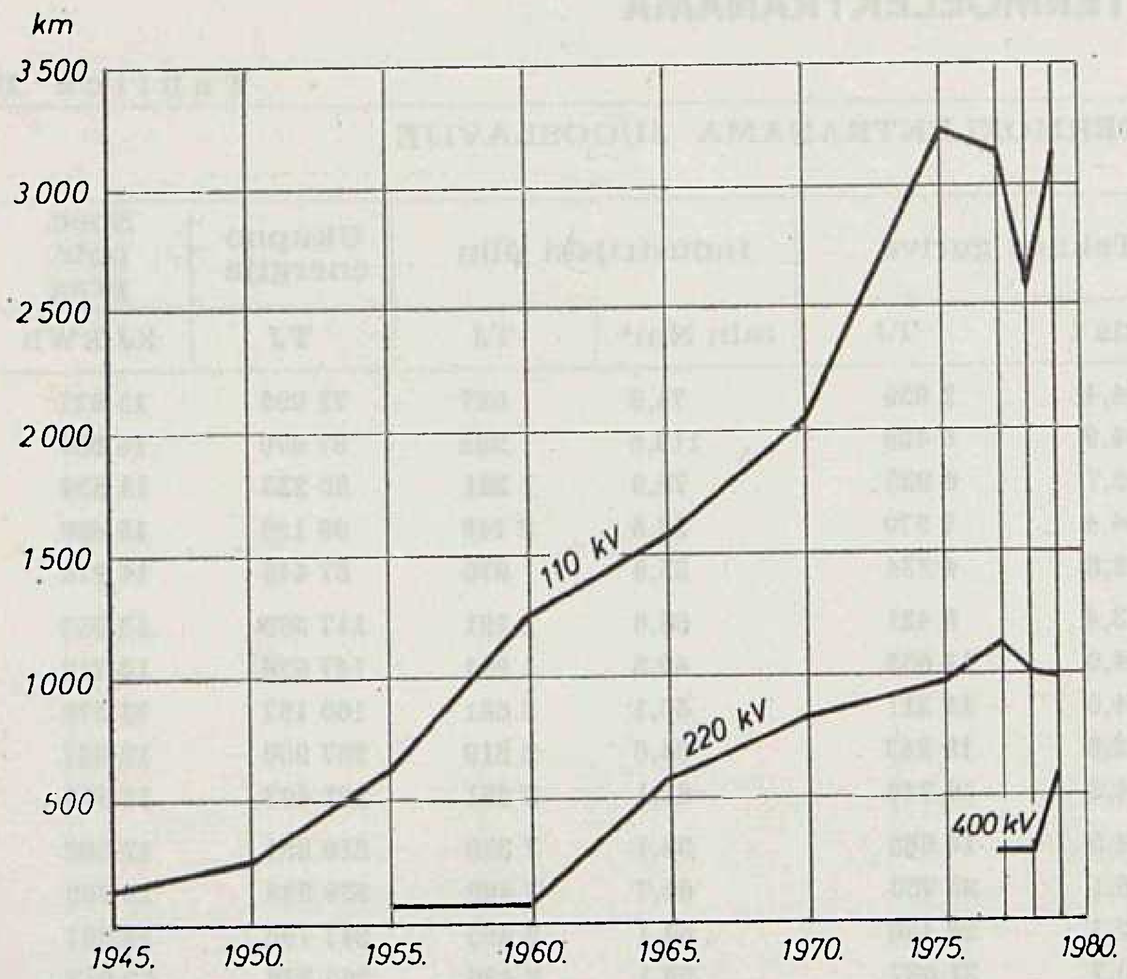
Sl. 12. Potrošnja topline za proizvodnju električne energije, udruženih termoelektrana Jugoslavije

Tablica 22

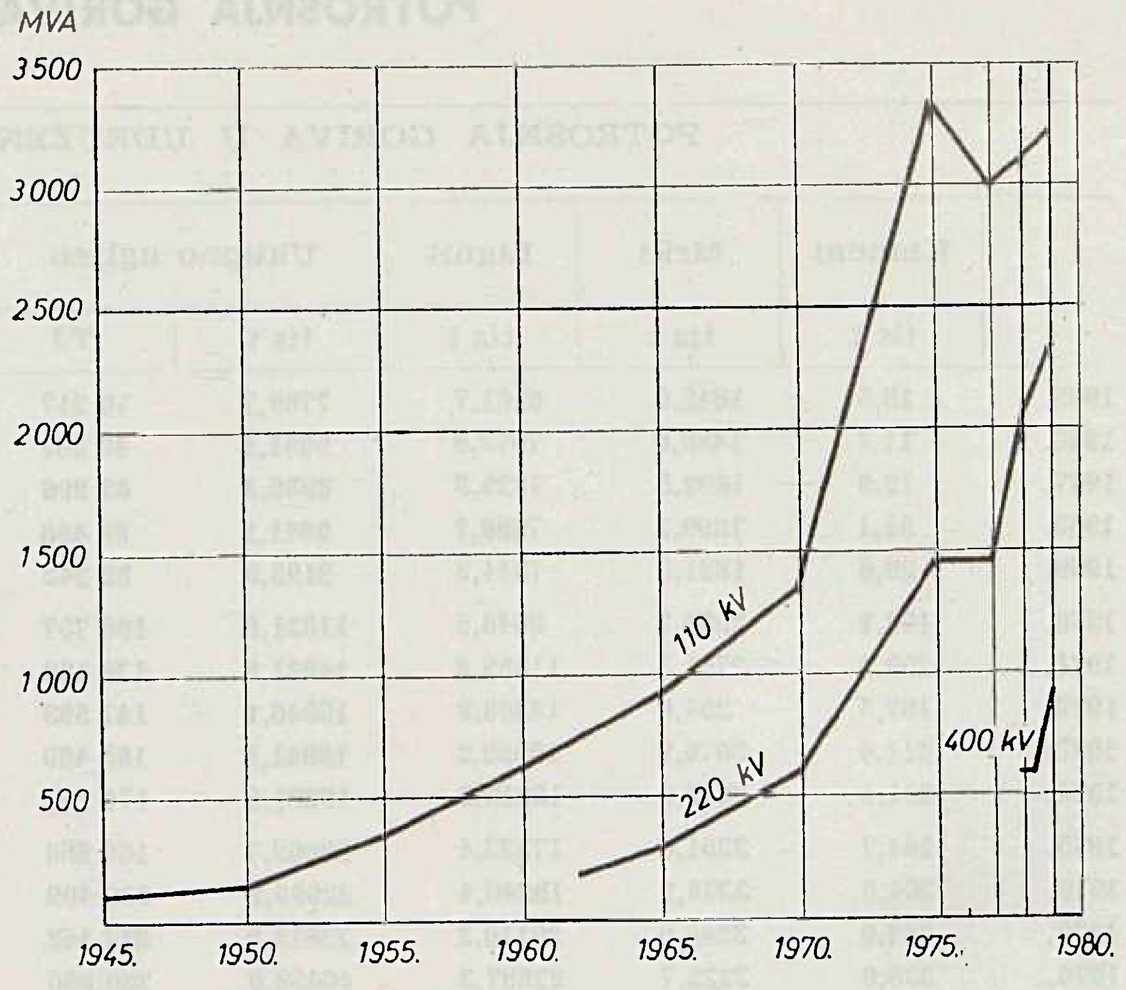
POTROŠNJA GORIVA U UDRUŽENIM TERMOELEKTRANAMA HRVATSKE
[2]

	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	3 825	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

Napomena: Gorivo samo za proizvodnju električne energije



Sl. 13. Duljina električnih dalekovoda elektroprivrede Hrvatske



Sl. 14. Instalirana snaga transformatora u elektroprivredi Hrvatske

Tablica 23

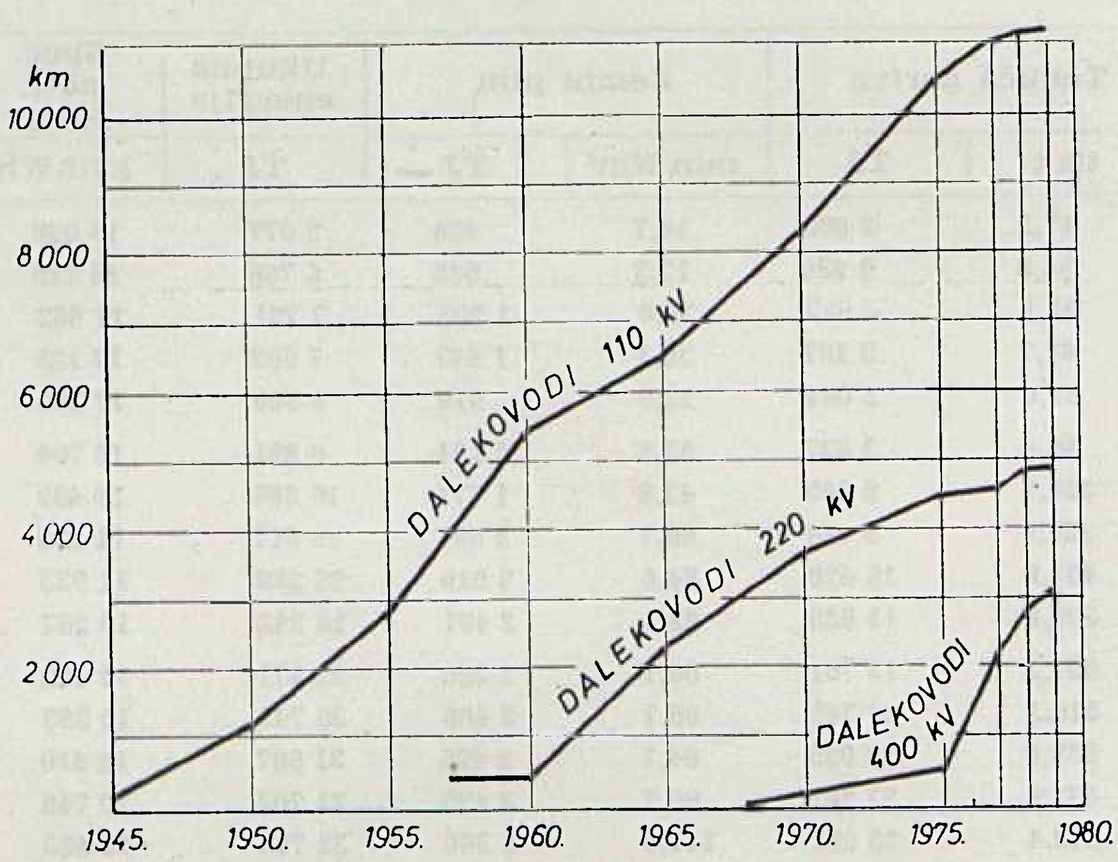
RAZVOJ PRIJENOSNE MREŽE HRVATSKE
[1] [2]*

Godina	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

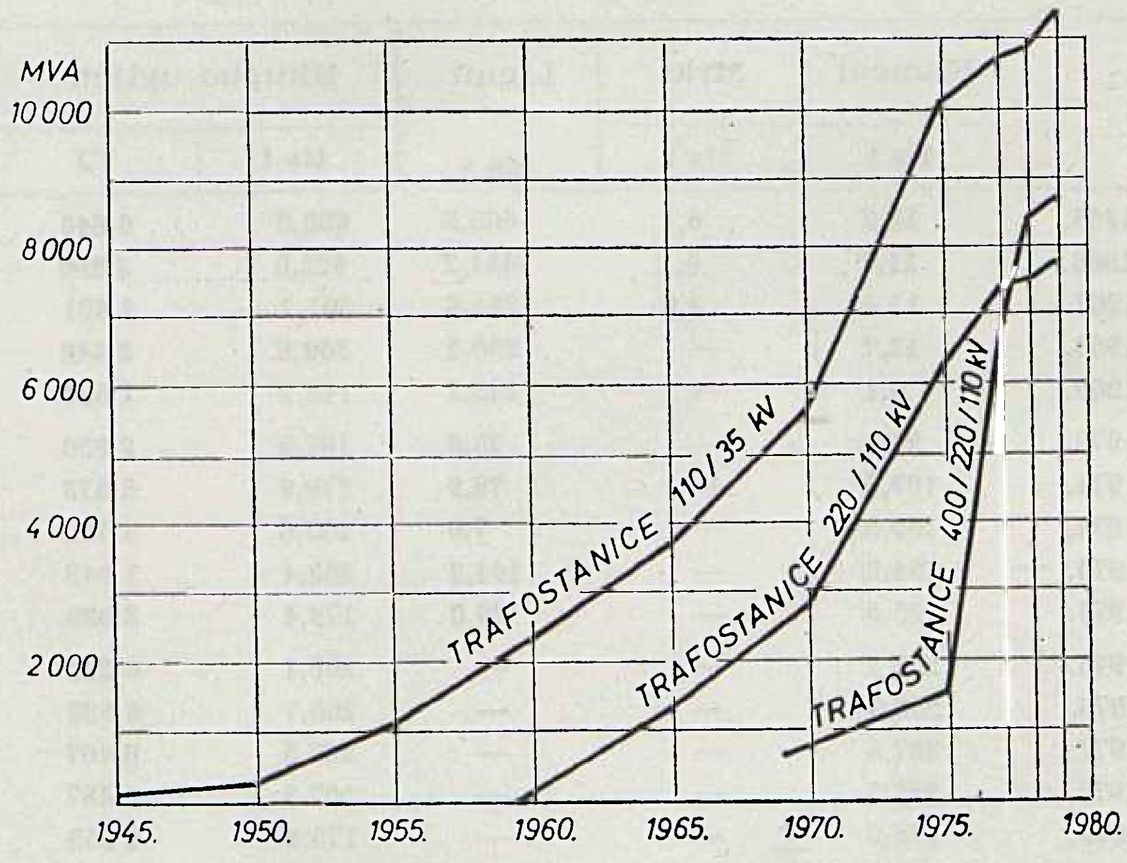
Tablica 24

RAZVOJ PRIJENOSNE MREŽE JUGOSLAVIJE
[4]

Godina	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	7 815
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



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 1978.

Područje / Poduzeća	Površina km²	Naselja				Domaćinstva				
		Ukupno broj	Elektrificirano broj	Neelektrificirano broj	Elektrificiranost %	Ukupno broj	Elektrificirano broj	Neelektrificirano u elektrificiranim naseljima broj	Neelektrificirano u neelektrificiranim naseljima broj	Elektrificiranost %
Elektroslavonija Osijek	10.121	742	716	26	96	231.308	220.652	10.108	548	95
Elektrolika Gospić	5.563	252	229	23	91	29.540	27.232	1.235	1.073	92
Elektroistra Pula	2.823	640	636	4	99	53.299	53.188	70	41	100
Elektroprimorje Rijeka	4.369	657	584	73	89	109.756	107.936	548	1.272	98
Elektrodalmacija Split	12.367	888	873	15	98	221.787	219.953	771	1.063	99
Elektra Karlovac	4.224	762	760	2	100	66.561	65.280	506	775	98
Elektra Sisak	3.313	366	366	—	100	56.044	53.624	2.420	—	96
Elektra Zagreb	14.228	2 483	2 482	1	100	564.559	560.541	3.998	10	99
SR HRVATSKA	57.008	6 790	6 646	144	98	1,332.844	1,308.406	19.656	4.782	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 1979.

[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	—	—	—	9,1	45,7	23,5	—	—	78,3
Nabava od udružene	1173,8	78,4	512,9	859,2	1605,0	260,4	334,1	3017,2	7841,0
Nabava od industrije	—	—	—	—	2,7	0,5	—	—	3,2
Saldo direktne dobave	0,6	4,1	—	—	—19,8	—5,1	12,1	0,2	—7,9
Raspoloživo BTTO	1174,4	82,5	512,9	868,3	1633,6	279,3	346,2	3017,4	7914,6
Gubici distribucije	113,0	12,3	31,6	59,3	138,9	30,5	24,2	270,3	680,6
Potrošnja neto po područjima:									Ukupno 7234,0
OSIJEK	—	69,7	481,3	809,0	—	—	—	—	1360,0
RIJEKA	1061,4	—	—	—	—	—	—	—	1061,4
SPLIT	—	—	—	—	1494,7	—	—	—	1494,7
ZAGREB	—	—	—	—	—	248,8	322,0	2747,1	3317,9

ZAPOSLENO OSOBLJE U ELEKTROPRIVREDI

Tablica 27

ZAPOSLENO OSOBLJE U UDRUŽENOJ ELEKTROPRIVREDI I DISTRIBUCIJI JUGOSLAVIJE

[4]

Osoblje	1968.	1969.	1970.	1971	1972.	1973.	1974.[1]	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.
Radnici	8 350	8 810	9 364	9 364	10 904	11 416	10 775	9 556	11 508	12 554	11 617	12 334
Tehničko osoblje	2 109	2 315	2 519	2 619	2 678	2 801	4 787	6 623	6 536	7 416	6 720	7 029
Ostalo stručno osoblje	1 749	1 862	1 961	2 011	1 990	2 032	—	—	—	—	—	—
Učenici u privredi	166	187	216	216	254	265	—	22	—	—	—	—
Ukupno	12 374	13 174	14 060	14 210	15 826	16 514	15 562	16 201	18 044	19 970	18 337	19 363

[1] Prosječan broj radnika na bazi ukalkuliranih radnih sati.

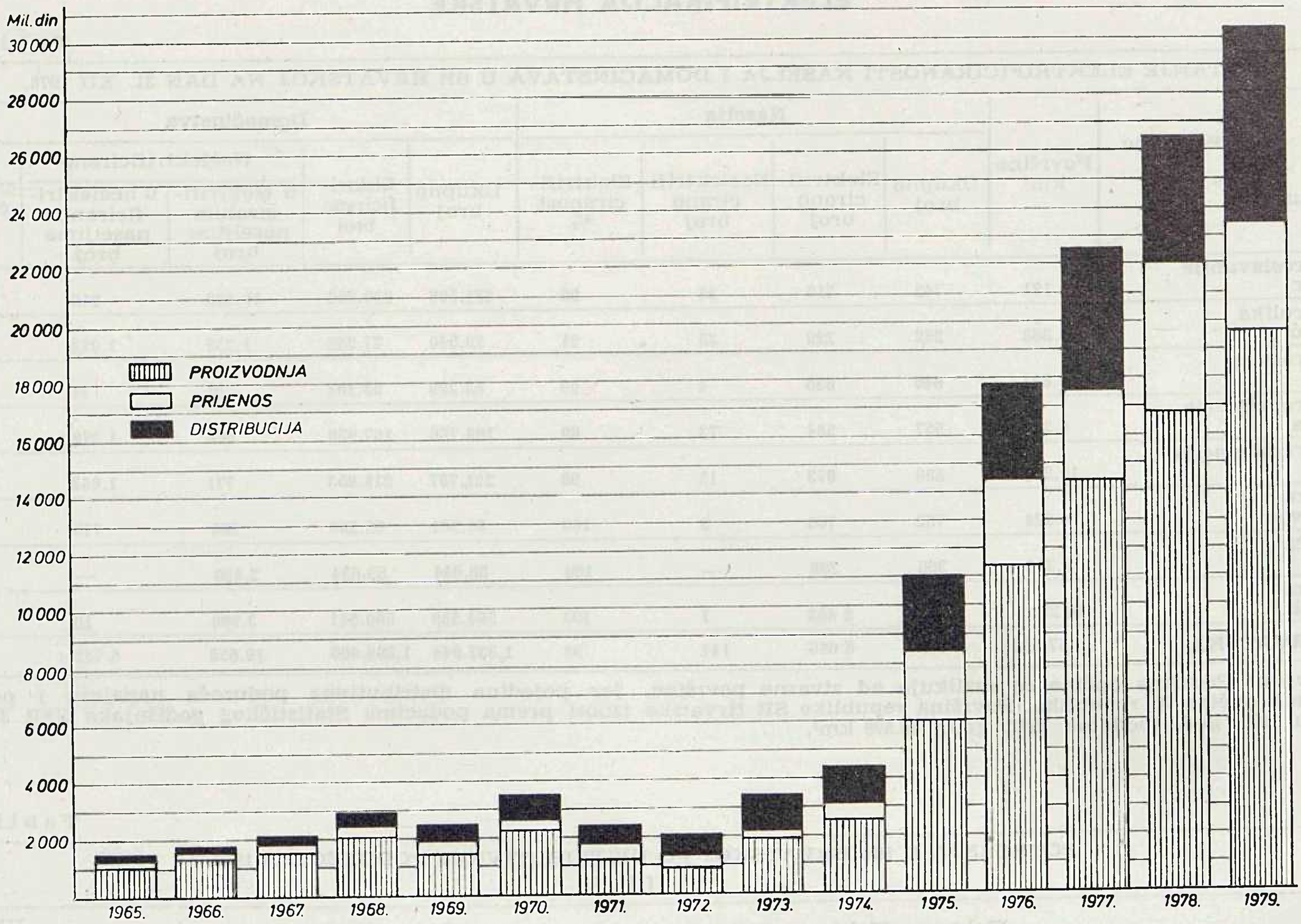
Tablica 28

ZAPOSLENO OSOBLJE U UDRUŽENOJ ELEKTROPRIVREDI, DISTRIBUCIJI I PODUZEĆIMA U IZGRADNJI SR HRVATSKE

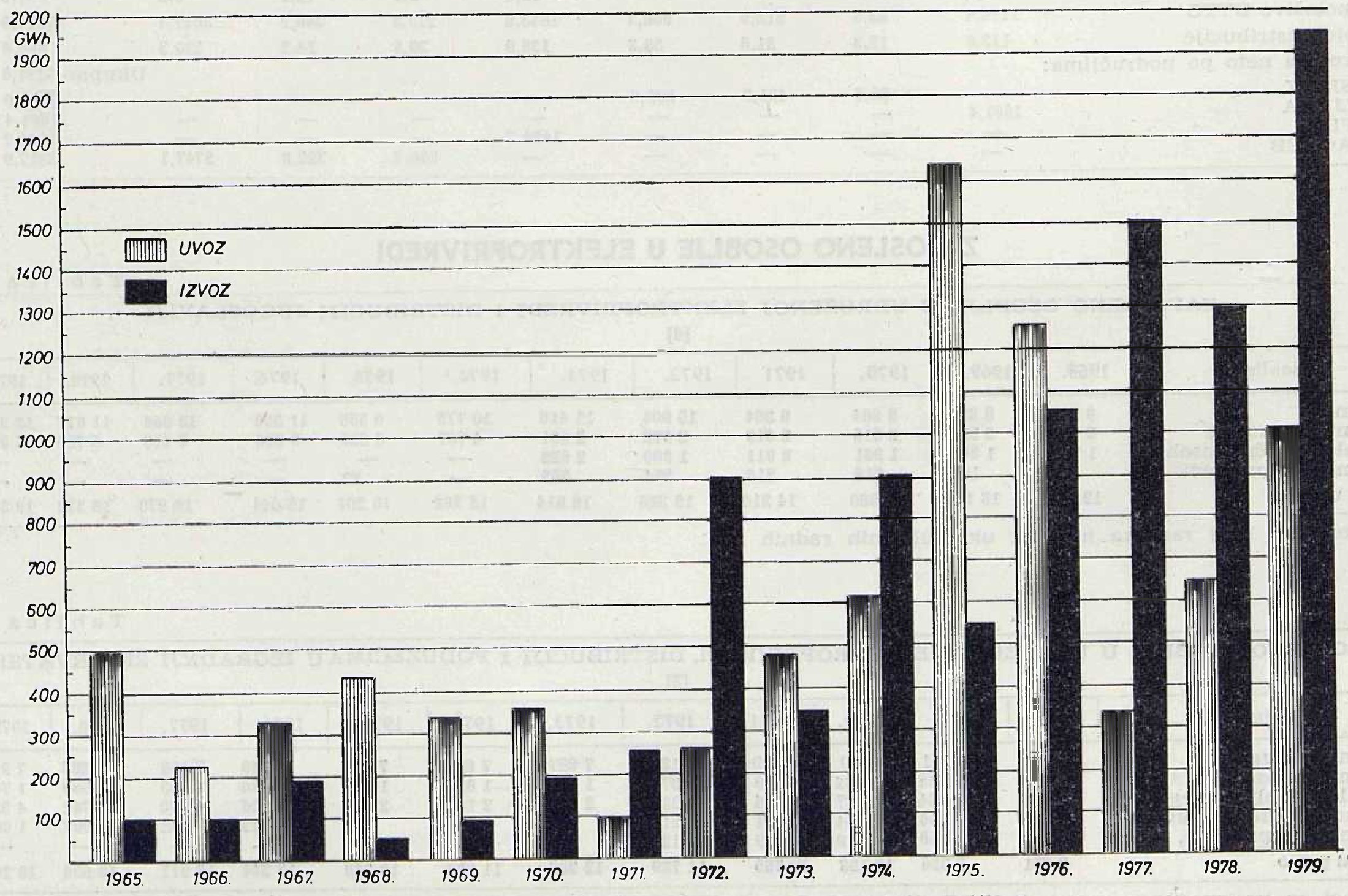
[2]

Osoblje	1968.	1969.	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.
Radnici, svega	6 283	6 311	6 501	6 800	7 185	7 687	7 681	7 437	7 349	7 156	7 256	7 912
Tehničko osoblje, svega	949	965	1 082	1 159	1 374	1 052	1 032	1 130	1 296	1 453	1 589	1 709
Ostalo osoblje, svega	1 836	1 934	2 037	2 156	2 238	2 415	2 162	2 942	3 826	4 470	4 742	4 580
Pomoćno osoblje, svega	308	256	254	331	216	845	830	800	773	832	1 067	1 068
Učenici u privredi, svega	355	360	319	309	126	204	211	—	—	—	—	—
Ukupno	9 731	9 826	10 193	10 755	11 139	12 203	11 906	12 309	13 244	13 911	16 654	15 262

Podaci za proizvodno-prenosne i distributivne organizacije prema SAS-PR obrascima za 1977. god.



Sl. 17. Investiciona ulaganja u elektroprivredu Jugoslavije



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	ČSSR	Albanija	Švicarska	UKUPNO
Uvoz										
1975.	605	305	152	37	170	97	—	276	—	1 642
1976.	583	225	89	67	132	69	—	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
Izvoz										
1975.	110	—	—	418	2	19	—	—	—	549
1976.	320	221	6	447	57	13	—	—	—	1 064
1977.	360	201	—	840	82	22	—	—	—	1 505
1978.	435	7	8	265	106	66	307	—	99	1 293
1979.	697	42	1	097	80	109	—	—	126	1 952

Izvoz u ČSSR bio je preko Mađarske i Rumunjske.

Tablica 30

IZVOZ I UVOZ ELEKTRIČNE ENERGIJE U NEKIM ZEMLJAMA EVROPE U 1978. GODIN
u GWh [4]

Zemlja izvoznica \ Zemlja uvoznica	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	●			321					4337		407	288							1			62		5416
Belgija		●					7202		21				42										892	8157
Bugarska			●													100						16	621	737
Čehoslovačka	671			●				1390			282				127						40			2510
Danka					●				258					34				382						674
Finska						●												1745						1754
Francuska		1162					●		4143			795					637		4209	7				10965
DR Njemačka				806				●	58						2389									3253
SR Njemačka	1417	838			49		2502		●				577						3047				1948	10378
Grčka										●												11		11
Mađarska	318			878							●					9						9		1214
Italija	121						1034					●							1623			476		3254
Holandija		3279							323				●											3602
Norveška					2182									●				283						2465
Poljska				2413				2693							●						5			5111
Rumunjska			1								1265					●					600	6		1875
Španjolska							2356										●						929	3284
Švedska					2155	856								762				●						3773
Švicarska	172						2623		6958			3666							●				77	13496
Vel. Britanija							83													●				83
SSSR			4424	1642		699					3800			49	2201						●			12815
Jugoslavija	242		126							72	8	524				265	7		1			●		1247
Ostale zemlje							15		253	7							1085						●	1424
Ukupan uvoz	2941	5283	4551	6065	4386	1155	15814	4083	16351	143	5762	5283	619	845	4715	374	1729	2410	8881	7	645	642	4467	97553

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
	1976.	34 084	3 166	5 355	31 895	708	2 363	28 824	12 676	1 895	14 253	3 838
	1977.	36 552	2 409	6 350	32 611	366	2 427	29 818	13 017	1 903	14 898	3 965
	1978.	36 929	2 941	5 703	34 167	559	2 523	31 085	13 246	2 012	15 827	4 139
Belgija	1975.	39 020	4 215	5 067	38 168	335	2 194	35 619	20 331	928	14 460	3 638
	1976.	45 001	3 240	6 603	41 638	317	2 285	39 036	22 485	832	15 719	3 975
	1977.	44 774	5 203	6 587	43 390	306	2 413	40 671	22 877	869	16 925	4 137
	1978.	48 357	5 283	8 060	45 579	368	2 572	42 640	23 521	907	18 212	4 333
Bugarska	1975.	22 266	3 902	279	25 889	—	2 387	23 502	14 305	806	8 391	2 695
	1976.	24 613	3 943	480	28 114	—	2 766	25 348	15 853	746	8 749	2 894
	1977.	26 537	4 046	704	29 879	—	2 785	27 094	16 107	923	10 164	3 093
	1978.	28 254	4 551	738	32 067	—	3 148	28 919	17 090	1 001	10 828	3 148
Čehoslovačka	1975.	52 969	5 419	1 208	57 181	287	4 388	52 506	31 717	3 000	17 789	3 557
	1976.	55 983	4 994	1 084	59 893	353	4 633	54 907	33 119	3 108	18 680	3 680
	1977.	59 668	5 370	2 820	62 218	428	4 748	57 042	34 324	3 202	19 516	3 823
	1978.	62 158	6 065	2 617	65 606	768	5 136	59 702	35 626	3 304	20 722	3 943
Francuska	1975.	178 400	8 800	6 200	181 000	300	12 000	168 700	85 350	7 299	76 051	3 188
	1976.	194 887	9 784	7 638	197 033	656	13 520	196 377	90 567	7 744	98 066	3 455
	1977.	202 481	12 684	7 640	207 525	697	14 822	192 008	92 488	7 879	91 641	3 617
	1978.	217 252	15 814	11 526	221 524	753	15 934	204 853	...	...	...	3 845
Mađarska	1975.	18 680	5 802	1 678	22 804	—	1 970	20 834	11 275	1 184	8 375	1 977
	1976.	20 151	5 571	1 462	24 262	—	2 004	22 263	11 892	1 314	9 057	2 094
	1977.	21 453	5 408	965	25 896	—	2 202	23 694	12 329	1 307	10 058	2 225
	1978.	23 504	5 762	1 210	28056	—	2 369	25 687	13 184	1 352	11 151	2 403
Grčka	1975.	15 151	108	97	15 162	—	1 148	14 010	7 897	46	6 067	1 561
	1976.	16 661	61	72	16 650	—	1 284	15 367	8 611	46	6 710	1 676
	1977.	17 700	67	25	17 742	—	1 685	16 057	8 363	45	7 649	1 751
	1978.	19 744	143	116	19 871	—	1 367	18 504	9 889	37	8 578	1 977
Italija	1975.	140 785	5 080	2 540	143 361	2 229	12 000	129 132	76 450	3 850	48 832	2 512
	1976.	156 214	4 104	3 016	157 302	2 564	13 617	141 121	84 646	4 738	71 737	2 512
	1977.	159 665	5 621	2 841	162 440	2 239	...	145 825	86 721	4 285	54 819	...
	1978.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Holandija	1975.	51 924	53	312	51 665	—	2 421	49 244	23 159	...	...	3 608
	1976.	51 681	—332		55 359	—	...	...	...	...	...	3 829
	1977.	55 755	986	275	56 499	—	2 531	53 890	26 466	905	26 519	3 891
	1978.	58 888	619	275	59 223	—	2 674	56 558	28 141	921	27 496	4 057
Norveška	1975.	76 927	99	5 695	71 103	...	6 449	64 694	39 498	532	24 664	...
	1976.	...	239	6 872	...	143	...	...	...	...	...	16 716
	1977.	...	2 654	1 563	...	252	...	65 849	34 711	589	30 549	...
	1978.	...	845	4 242	77 707	215	8 036	69 456	...	557	...	17 107
Poljska	1975.	90 361	2 411	2 924	89 848	550	8 586	80 712	47 569	4 037	29 106	2 372
	1976.	96 875	2 707	2 814	96 768	641	9 445	86 682	51 081	4 308	31 293	2 523
	1977.	101 787	3 110	3 081	101 807	614	9 740	91 453	53 963	4 499	32 991	2 636
	1978.	107 496	4 717	5 111	107 102	612	11 019	95 471	55 697	4 733	35 041	2 727
Rumunjska	1975.	50 214	502	3 007	48 019	—	4 059	43 723	32 161	1 206	10 356	2 058
	1976.	...	683	2 139	...	—	...	...	...	...	...	2 229
	1977.	...	1 566	1 692	...	—	...	51 683	...	1 449	...	...
	1978.	...	...	...	...	—	...	...	...	...	...	...
Španjolska	1975.	78 399	792	1 405	77 786	540	8 160	69 141	44 741	1 549	22 851	...
	1976.	85 975	1 641	2 147	85 199	2 250	8 741	74 208	...	...	...	2 063
	1977.	89 685	1 403	2 341	88 747	2 274	8 782	78 065	48 409	1 632	28 042	2 148
	1978.	95 236	1 729	3 260	93 705	1 783	9 563	82 359	49 877	1 613	30 869	2 239
Švedska	1975.	78 584	6 313	5 369	79 528	23	7 524	71 981	38 718	2 040	31 223	8 778
	1976.	84 120	7 868	5 766	86 222	34	8 114	78 292	39 763	2 108	36 421	9 471
	1977.	87 448	3 327	5 183	85 592	42	7 805	77 745	38 485	2 107	35 153	9 458
	1978.	90 324	2 410	3 418	89 316	27	7 857	81 432	39 128	2 112	40 192	9 835
Švicarska	1975.	42 994	4 301	14 026	33 269	1 198	3 168	28 903	10 335	1 885	16 083	4 516
	1976.	36 241	7 204	9 119	34 326	1 344	3 079	29 903	10 413	1 945	17 545	4 709
	1977.	45 903	5 528	15 713	35 718	1 277	3 152	31 289	10 850	1 999	18 440	4 943
	1978.	42 350	8 881	14 275	36 956	1 361	3 131	32 464	11 010	2 034	21 420	5 121
SSSR	1975.	...	11 300	—	1 027 324	...	82 200	945 100	656 800	74 200	214 100	3 718
	1976.	...	—11 600	—	1 099 820	...	90 700	1 009 100	692 800	82 700	233 800	3 931
	1977.	...	—11 600	—	1 038 474	...	94 200	1 044 300	712 200	86 900	245 200	4 037
	1978.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Velika Britanija	1975.	254 097	196	121	254 172	1 430	19 595	233 147	85 160	2 897	145 090	4 166
	1976.	257 955	17	116	257 856	1 720	18 730	237 397	91 460	2 868	143 069	4 246
	1977.	263 791	—	—	263 791	1 608	20 757	241 426	92 117	2 932	146 377	4 323
	1978.	268 804	7	83	268 728	1 429	21 812	245 487	93 370	2 971	149 146	4 398
S A D	1975.	2 000 918	11 268	5 083	2 007 103	...	176 092	1 798 343	...	...	...	...
	1976.	2 107 891	+8 883	...	2 116 704	...	186 294	1 930 410	...	...	...	9 044
	1977.	2 210 031	...	...	...							...
	1978.	2 294 204	...	...	...							...
SR Njemačka	1975.	282 598	17 630	9 791	33 267	—	3 753	29 517	131 716	8 857	133 247	4 429
	1976.	313 349	12 857	11 844	37 672	—	3 757	33 916	...	...	...	...
	1977.	315 394	5 980	—	321 374	...	...	...	...	...	...	...
	1978.	332 559	16 353	13 247	335 662	2 027	12 370	321 248	151 446	9 521	160 281	5 240
Jugoslavija	1975.	38 143	676	433	38 386	—	4 445	33 961	18 235	761	14 965	1 591
	1976.	41 424	1 263	1 063	41 623	—	4 646	36 977	19 348	773	16 856	1 715
	1977.	46 409	340	1 505	45 244	—	5 127	40 117	21 922	826	17 369	1 847
	1978.	48 829	362	1 294	48 177	—	4 965	43 212	23 966	875	18 371	1 972

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	Gazolin
1965.	1 169	10 509	18 279	29 957	1 267	330	2 063	546	82	809	1 148	36	15
1966.	1 133	10 080	18 080	29 292	1 237	402	2 222	788	94	1 142	1 764	49	17
1967.	909	9 023	16 535	26 467	1 226	461	2 374	886	94	1 389	1 816	54	18
1968.	835	9 508	16 389	26 732	1 236	584	2 494	935	119	1 380	1 847	68	23
1969.	681	9 992	16 373	26 496	1 226	730	2 699	1 003	146	1 722	1 967	78	23
1970.	643	8 989	18 790	28 422	1 309	977	2 854	1 233	163	2 092	2 509	95	25
1971.	707	9 333	20 862	30 902	1 297	1 151	2 961	1 472	215	2 665	2 930	105	28
1972.	599	9 184	21 157	30 940	1 299	1 242	3 200	1 394	211	2 495	2 989	196	28
1973.	576	9 145	22 729	32 451	1 318	1 329	3 332	1 528	251	2 558	3 480	210	24
1974.	601	9 380	24 444	33 582	1 315	1 447	3 458	1 627	315	2 725	4 317	206	14
1975.	598	9 430	25 509	35 537	1 351	1 554	3 692	1 745	331	2 817	4 276	264	14
1976.	587	9 110	27 147	36 845	1 786	1 730	3 880	1 923	325	2 969	4 800	230	14
1977.	511	8 960	29 611	39 082	1 765	1 897	3 951	2 231	345	3 450	5 818	259	12
1978.	471	8 855	30 360	39 686	1 921	1 935	4 076	2 380	315	3 471	6 119	248	15
1979.	434	9 351	33 165	42 950	2 070	1 857	4 143	2 609	350	3 916	6 489	250	15

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
1965.	9 267	146	1 342	2 006	7 055	10 868	458	594	267	...
1966.	10 012	142	1 336	1 906	6 562	11 379	444	898	337	...
1967.	10 598	139	1 317	1 830	6 455	11 226	436	1 168	404	...
1968.	11 613	148	1 279	1 880	6 598	11 210	486	1 443	516	...
1969.	12 783	165	1 274	1 951	6 746	10 627	545	1 603	660	...
1970.	13 815	143	1 360	2 110	7 065	12 829	555	1 952	893	...
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	...
1973.	18 184	179	1 718	2 253	6 935	18 711	845	3 038	1 199	...
1974.	20 509	179	1 858	2 152	6 726	19 244	825	3 227	1 300	...
1975.	21 466	176	1 793	2 224	6 697	21 240	906	3 444	1 500	...
1976.	22 381	155	1 692	2 819	7 129	22 390	867	3 766	1 454	...
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
Elektroprivreda	3 365	—	—	344	5 339	26 522	277	1 242	459	0,2
Proizvodnja uglja	633	—	—	0,5	31	53	26	—	—	—
Prerada uglja	125	—	—	—	—	163	—	—	—	—
Proizvodnja nafte i plina	34	—	—	—	—	—	3,7	—	—	—
Proizvodnja derivata nafte	315	—	0,0	—	—	—	44	136	48	55
Proizvodnja rude gvožđa	50	—	—	—	1,7	—	7,8	14	—	—
Crna metalurgija	4 268	21	41	21	36	102	6,5	468	161	10
Proiz. ruda obojenih metala	695	—	0,0	—	0,1	3,9	23	1,0	—	—
Proizvodnja obojenih metala	3 901	14	86	3,9	272	27	16	153	—	4,0
Prerada obojenih metala	394	—	—	—	—	0,2	3,9	18	0,0	1,4
Proizvodnja nemetala	109	—	0,2	1,3	0,4	1,6	15	1,0	2,3	0,8
Metaloprerađivačka djelatnost	536	—	27	1,2	18	76	54	172	99	78
Prerada nemetala	1 257	1,3	16	3,8	18	26	43	52	38	23
Strojogradnja	282	—	0,7	2,9	3,3	21	12	15	4,3	1,3
Proizvod. saobraćajnih sredstava	424	—	0,2	4,7	8,9	9,3	12	29	6,9	2,1
Brodogradnja	91	—	0,2	0,0	0,6	0,2	3,6	2,7	0,0	0,0
Proiz. električ. mašina i aparata	501	—	0,9	1,6	4,7	2,4	11	31	3,4	3,2
Proizvod. kemijskih proizvoda	2 108	—	1,6	0,5	107	31	13	154	336	—
Prerada kemijskih proizvoda	356	—	0,0	0,7	8,9	6,5	13	62	2,5	—
Proizvodnja kamena i pijeska	142	—	—	—	2,5	21	26	16	—	6,6
Proizv. građevinskog materijala	1 482	44	25	69	215	195	37	939	354	0,5
Proizvod. rezane građe i ploča	407	—	—	—	46	19	6,4	66	1,0	0,2
Proiz. finalnih proiz. od drveta	433	—	—	0,1	11					
Proizvodnja i prerada papira	1 367	—	—	23	82	59	4,1	95	70	—
Proizvodnja prediva i tkanina	1 015	—	—	—	166	80	4,3	141	16	0,5
Proizv. gotovih tekstilnih proizv.	326	—	—	3,3	17	14	16	71	10	0,5
Proizvodnja kože i krzna	76	—	—	2,1	24	21	0,3	39	—	—
Proizv. kožne obuće i galant.	70	—	—	1,0	1,0	4,5	3,2	4,3	0,6	0,5
Prerada kaučuka	208	—	—	—	16	5,8	1,1	65	—	—
Proizv. prehrambenih proizvoda	1 125	—	26	7,0	144	178	78	406	44	—
Proizvodnja pića	185	—	—	4,1	9,5	5,0	9,6	109	8,0	—
Proizvodnja stočne hrane	87	—	—	1,0	3,1	0,0	7,4	1,1	—	—
Proizvodnja i prerada duhana	65	—	—	0,6	2,2	0,2	4,2	14	1,3	1,3
Grafička djelatnost	124	—	0,0	0,2	3,2	0,9	2,5	3,9	1,5	—
Proizv. raznovrsnih proizvoda	20	—	—	—	1,5	0,1	1,3	3,2	0,6	—

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	Gazolin
1965.	751	468	738	1 957	10	156	1 414	467	73	714	805	24	3
1966.	765	403	603	1 771	8	189	1 545	681	78	1 019	1 340	51	8
1967.	611	280	411	1 302	8	232	1 702	749	76	1 176	1 399	45	10
1968.	506	283	384	1 174	2	330	1 818	755	97	1 108	1 253	54	13
1969.	381	191	344	916	—	404	1 934	667	114	1 076	703	48	13
1970.	363	81	274	718	—	476	2 057	826	122	1 327	1 093	71	13
1971.	422	21	197	640	—	547	2 142	991	158	1 617	1 513	106	12
1972.	382	19	176	577	—	569	2 362	914	145	1 543	1 590	147	13
1973.	385	3	137	524	—	612	2 423	1 023	164	1 681	1 890	147	13
1974.	374	0	85	460	—	674	2 470	1 087	211	1 698	2 399	163	0
1975.	355	—	59	414	—	751	2 670	1 119	208	1 918	2 248	179	0
1976.	356	—	8	364	—	911	2 814	1 222	221	2 035	2 502	193	0
1977.	299	—	—	299	—	1 009	2 829	1 405	231	2 234	3 149	192	0
1978.	288	—	—	288	259	934	2 931	1 480	202	2 294	3 328	212	0
1979.	265	—	—	265	700	806	2 972	1 514	247	2 484	3 406	209	0

Tablica 35

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE I GORIVA U INDUSTRIJSKIM PODUZEĆIMA I POGONIMA SR HRVATSKE[1]

[3]

Godina	Elektro-energija	Antracit	Koks	Kameni ugljen	Mrki ugljen	Lignit	Tekuće gorivo	Mazut	Zemni plin	Ukapljeni plin
	GWh	u tisućama tona							mln m³	tis. tona
1965.	1 888	81	226	229	916	1 191	296	189	143	6,2
1966.	2 054	76	234	179	831	854	280	311	176	11,4
1967.	2 196	74	196	130	778	645	293	416	178	5,7
1968.	2 339	87	203	108	700	627	278	490	272	5,4
1969.	2 524	89	190	91	692	513	230	538	351	9,3
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
Elektroprivreda	420	—	—	176	131	0	160	846	315	—
Proizvodnja ugljena	47	—	—	0,5	—	—	0	—	—	—
Prerada ugljena	18	—	—	881	—	—	—	—	—	—
Proizvod. nafte i zemnog plina	24	—	—	—	0	—	7	—	27	—
Proizvod. derivata nafte	164	—	—	0	0	—	—	74	2	—
Crna metalurgija	500	—	199	—	13	—	3	48	40	—
Proizvod. ruda obojenih metala	0,2	—	—	—	—	—	1	—	—	—
Proizvod. obojenih metala	1 439	—	0	—	—	—	2	2	—	1
Prerada obojenih metala	84	—	—	—	—	—	—	3	—	0,6
Proizvod. nemetalnih minerala	8	—	—	—	—	—	0,4	0,2	2	—
Prerada nemetalnih minerala	124	—	—	—	0	24	0,7	47	18	18
Metaloprerađivačka djelatnost	210	0,2	35	—	5	4	8	3	21	10
Strojogradnja	66	—	0,6	0	0	1	4	4	2	0,6
Proizvod. prometnih sredstava	19	—	0	—	0,1	0,2	0,7	1	4	0
Brodogradnja	76	—	0,2	0	0,1	0,2	2	3	0	—
Proizvod. elektr. stroj. i aparata	73	—	—	—	0,4	2	2	2	2	0,7
Proizvod. osn. kem. proizvoda	510	—	—	—	—	—	0,2	66	246	1
Prerada kemijskih proizvoda	100	—	0	—	1,8	0,4	6	9	1	5
Proiz. kamena, pijeska i šljunka	50	—	—	—	0,2	0	13	6	—	—
Proizvod. građevnog materijala	466	25	0	40	54	1	6	309	101	—
Proizvod. rez. građe i ploča	57	—	—	—	0,2	0,5	0,4	3	1	0
Proizvod. final. proizv. od drveta	108	—	—	—	0,1	4	2	4	2	0,1
Proizvod. i prerada papira	214	—	—	—	68	—	0,2	7	5	—
Proizvod. tekst. prediva i tkanina	235	—	—	0	10	—	1	29	8	—
Proizvod. gotovih tekstil. proizv.	60	—	—	—	5	2	4	12	2	—
Proizvod. kože i krzna	10	—	—	2	—	—	0,1	5	—	—
Proizvod. kož. obuće i galanterije	21	—	—	0	0,3	—	0,7	1	0,5	—
Prerada kaučuka	49	—	—	—	—	—	—	5	—	—
Proizvod. prehramb. proizvoda	280	—	6	2	54	42	18	97	33	2
Proizvodnja pića	40	—	—	—	0	—	2	17	3	—
Proizvod. stočne hrane	18	—	—	—	0,1	—	3	0,1	—	—
Proizvod. i prerada duhana	8	—	—	—	—	—	1	1	1	—
Grafička djelatnost	38	—	—	—	1	0,1	0,3	0,4	2	0,1
Proizvod. raznovrsnih proizvoda	5	—	—	—	—	—	0	2	0,6	—

[1] Uključivo količine goriva koje su korištene za tehnološke svrhe.

[2] Nisu uključene bivše neindustrijske organizacije i zajednice koje su prema Jedinstvenoj klasifikaciji djelatnosti prošle u područje industrije i rudarstva.

Tablica 36

PROIZVODNJA I POTROŠNJA UKUPNE ENERGIJE

Količine u 000 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.	10 986	1 817	3 790	2 941	2 789	29 294	3 294	16 519	5 417	2 166	4 008
	1975.	10 908	1 699	3 994	2 994	2 523	30 154	5 474	14 086	5 816	2 362	3 700
	1976.	9 963	1 607	2 839	3 024	2 357	30 162	6 069	15 890	6 536	2 254	4 013
	1978.						30 400	5 500	15 500	6 600	2 800	4 048
Belgija	1973.	9 075	8 842	—	147	86	61 680	16 710	17 913	38 756	492	3 562
	1975.	8 427	7 479	—	61	887	54 698	13 223	17 994	43 341	763	3 803
	1976.	8 808	7 492	—	40	1 276	59 823	14 378	20 332	46 970	818	4 036
	1978.											6 078
Bugarska	1973.	14 471	13 581	279	296	315	36 609	19 703	15 897	296	713	4 247
	1975.	15 015	14 088	179	133	616	41 700	20 681	18 415	1 543	1 061	4 781
	1976.	14 081	12 887	172	45	977	41 264	19 085	18 078	2 698	1 403	4 710
	1978.											5 020
Čehoslovačka	1973.	78 495	76 528	256	1 388	324	98 829	76 093	17 338	4 549	848	6 788
	1975.	81 929	80 047	214	1 176	492	105 856	78 658	20 967	5 220	1 010	7 151
	1976.	83 844	82 124	198	1 041	481	110 342	81 052	22 632	5 697	961	7 397
	1978.											7 531
Francuska	1973.	48 620	27 808	3 195	10 051	7 566	234 742	44 287	160 907	22 346	7 202	4 500
	1975.	47 413	25 187	2 864	9 850	9 513	208 882	40 461	133 590	25 017	9 810	3 444
	1976.	45 102	24 786	2 808	9 560	8 001	231 920	45 940	150 830	26 885	8 165	4 380
	1978.						232 700	46 100	146 200	28 000	12 400	4 368
Mađarska	1973.	24 400	14 834	3 135	6 419	12	36 448	17 530	11 647	6 685	586	3 496
	1975.	23 710	13 721	3 285	6 684	20	38 200	16 690	13 333	7 650	527	3 624
	1976.	22 207	11 637	3 625	6 925	20	37 659	15 311	13 465	8 357	526	3 553
	1978.						36 900	13 300	14 000	9 000	600	3 451
Grčka	1973.	4 602	4 329	—	—	273	18 523	4 993	13 252	—	278	2 074
	1975.	6 156	5 909	—	—	247	18 909	6 510	12 151	—	248	2 090
	1976.	7 679	7 448	—	—	248	20 618	8 092	11 296	—	230	2 250
	1978.											1 925
Italija	1973.	28 015	473	1 622	20 416	5 504	170 470	11 707	130 393	22 759	5 612	3 104
	1975.	27 033	437	1 582	19 061	5 953	168 088	12 837	119 986	28 994	6 271	3 012
	1976.	28 426	440	1 691	20 480	5 815	184 461	12 409	131 027	35 077	5 948	3 284
	1978.						183 100	11 900	129 300	34 900	7 000	3 230
Holandija	1973.	98 460	1 722	2 276	94 326	137	84 881	4 125	30 772	50 013	—29	6 317
	1975.	111 790	. . .	2 342	109 038	440	78 962	3 387	25 332	49 865	378	5 784
	1976.	118 061	. . .	2 306	115 272	476	85 704	4 470	30 197	50 601	436	6 224
	1978.											5 327
Norveška	1973.	11 696	412	2 318	—	8 966	19 778	1 229	10 222	—	8 327	4 993
	1975.	23 557	389	13 636	—	9 532	18 458	1 303	8 315	—	8 841	4 607
	1976.	31 407	519	20 327	462	10 099	21 187	1 404	9 958	462	8 708	5 263
	1978.											5 571
Poljska	1973.	177 282	168 395	638	8 028	228	157 923	132 092	14 830	10 306	12	4 605
	1975.	192 417	183 585	871	8 285	258	170 338	141 857	17 639	10 612	230	5 007
	1976.	200 350	191 094	712	7 669	293	180 511	149 300	19 694	11 272	244	5 253
	1978.											5 596
Rumunjska	1973.	74 632	13 006	21 682	39 016	928	74 191	17 031	17 931	38 756	492	3 562
	1975.	80 659	13 884	21 145	43 599	1 071	80 797	18 699	17 994	43 341	763	3 803
	1976.	83 890	13 292	22 373	47 228	997	86 560	18 450	20 300	46 200	800	4 004
	1978.						87 700	19 100	22 800	44 700	1 100	4 042
Španjolska	1973.	17 039	11 478	1 123	1	4 436	69 149	15 561	48 004	1 376	4 208	1 984
	1975.	20 369	12 420	3 296	2	4 643	76 171	16 825	53 045	1 762	4 539	2 147
	1976.	19 004	12 700	2 605	2	3 698	86 311	17 528	62 881	2 299	3 602	2 399
	1978.						88 300	19 500	60 500	2 30	6 000	2 405
Švedska	1973.	7 626	—	—	—	7 626	50 630	2 220.	40 688	—	7 717	6 222
	1975.	8 576	11	—	—	8 565	50 625	2 710	39 234	—	8 682	6 178
	1976.	8 731	12	4	—	8 714	49 713	2 621	38 119	—	8 973	6 049
	1978.											5 945
Švicarska	1973.	4 271	—	—	—	4 271	25 948	466	20 174	258	3 872	4 022
	1975.	4 974	—	—	—	4 974	23 407	292	18 386	822	3 908	3 642
	1976.	4 205	—	—	—	4 205	21 284	255	46 259	860	3 910	3 342
	1978.											3 690
SSSR	1973.	1 450 417	488 976	630 684	314 786	15 971	1 262 906	470 737	456 334	320 884	14 952	5 057
	1975.	1 650 472	507 728	721 770	404 550	16 884	1 410 781	488 018	578 893	388 397	15 473	5 546
	1976.	1 674 101	505 652	768 730	381 301	18 417	1 349 864	485 208	485 979	361 685	16 992	5 259
	1978.											5 500
Velika Britanija	1973.	174 483	131 468	599	38 412	4 004	312 913	130 406	139 114	39 382	4 011	5 582
	1975.	183 989	128 389	2 364	48 895	4 340	295 329	124 820	116 039	50 101	4 349	5 265
	1976.						279 300	106 800	115 200	52 300	5 100	4 998
	1978.						290 900	108 100	117 200	60 300	5 300	5 212
S A D	1973.	2 162 355	534 403	763 939	819 656	44 358	2 504 036	501 825	1 117 044	839 052	46 114	11 901
	1975.	2 036 671	574 155	696 886	706 860	58 770	2 349 549	525 036	1 040 481	726 501	59 531	10 999
	1976.	2 049 696	598 939	677 470	714 049	59 238	2 485 454	544 352	1 127 523	753 285	60 297	11 554
	1978.						2 502 100	519 200	1 177 800	764 400	58 700	11 374
Zapadna Njemačka	1973.	172 425	133 196	9 768	26 106	3 354	371 912	121 430	198 858	47 003	4 620	6 002
	1975.	165 861	129 803	8 453	22 874	4 738	330 490	105 549	164 223	54 606	5 702	5 345
	1976.	165 876	129 958	8 130	23 074	4 713	364 279	121 474	180 705	57 629	4 830	5 922
	1978.						368 800	117 000	181 400	62 900	7 500	6 015
Jugoslavija	1973.	25 238	16 513	4 938	1 770	2 016	36 496	18 631	15 990	1 927	2 541	1 883
	1975.	28 220	18 069	5 451	2 070	2 630	41 220	18 000	16 000	2 300	2 400	1 812
	1976.	29 420	. . .	. . .	. . .	. . .	43 460	18 000	17 300	2 400	2 600	1 867
	1978.						44 500	18 300	20 600	2 600	3 000	2 035

RADE KONČAR

NEKA NOVA RJEŠENJA U POBOLJŠANJU KONTINUIRANE OPSKRBE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM ZRAČNIM VODOVIMA SREDNJEG NAPONA

Uvod

Prenapučenost velikih gradova i industrijskih središta, te nedovoljna propusna moć njihovih prometnica, sve više postaju ograničavajući faktor daljnjeg razvoja industrijske proizvodnje na postojećim lokacijama.

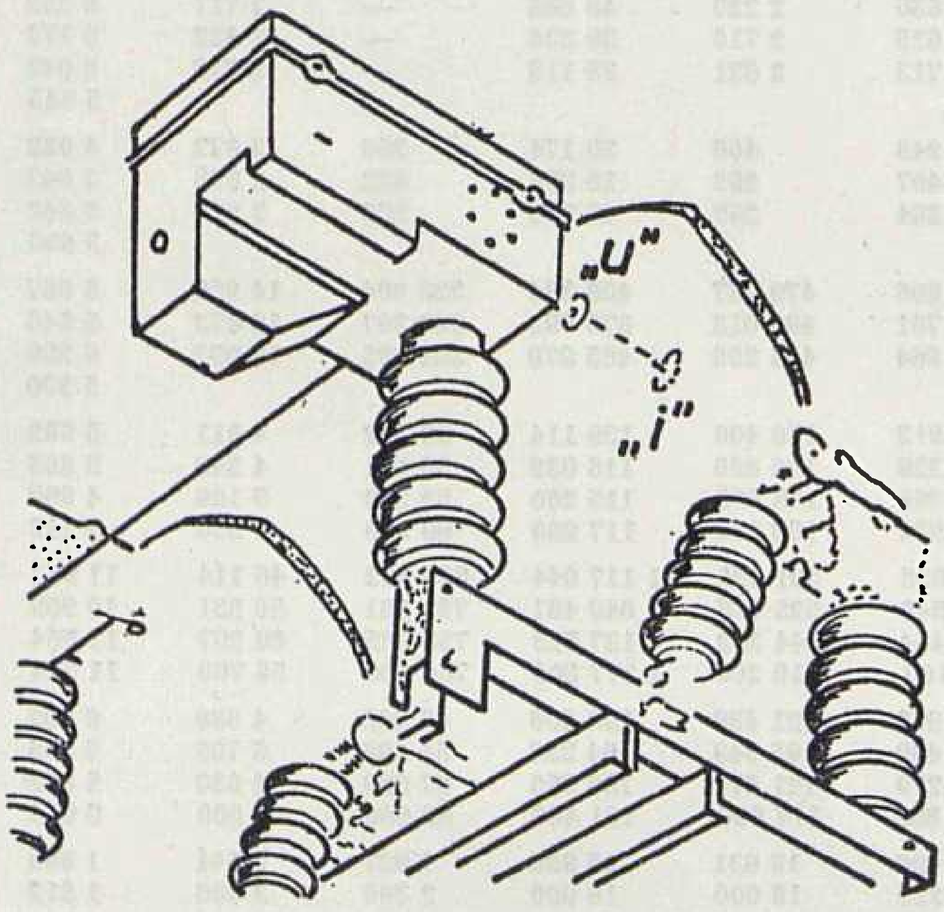
Već i do sada je često bilo nužno, a u buduće će biti još češće, da se prilikom novih ulaganja u proširenje proizvodnje, pronađu nove — uglavnom — disperzirane lokacije, više ili manje udaljene od sadašnjih.

Osim toga, u prigradskim selima razvija se i značajna djelatnost na području proizvodnje i prerade hrane, koja također zahtijeva sve više el. energije.

Svi ovi potrošači opskrbljuju se, pretežno, zračnim vodovima napona 12, 24 i 38 kV, koji su izloženi čestim kvarovima pod utjecajem atmosferskih prenapona.

Automatsko odvajanje voda u kvaru

Postojeća rješenja s ugradnjom linijskih rastavljača, ili rastavnih sklopki, na počecima krajnjih vodova, ne daju mogućnost brzog lociranja kvara, pa čitava područja ostaju duže vrijeme bez električne energije sa svim posljedicama koje iz tog proizlaze.



Sl. 1.

Druga mogućnost, koja na odvojcima zahtijeva postavljanje odgovarajuće transformatorske stanice (TS), sa prekidačem za ponovno uklapanje i pripadnom relejnom zaštitom, predstavlja i još će dugo predstavljati, ekonomski neprihvatljivo rješenje za ovu vrstu potrošača.

Nastojanja proizvođača el. opreme, da se i ovim potrošačima omogući sigurnija opskrba el. energijom dovela su do primjene uređaja za automatsko odvajanje zračnog voda u kvaru, koji se prigrađuje na svaku fazu linijskog rastavljača, prema sl. 1.

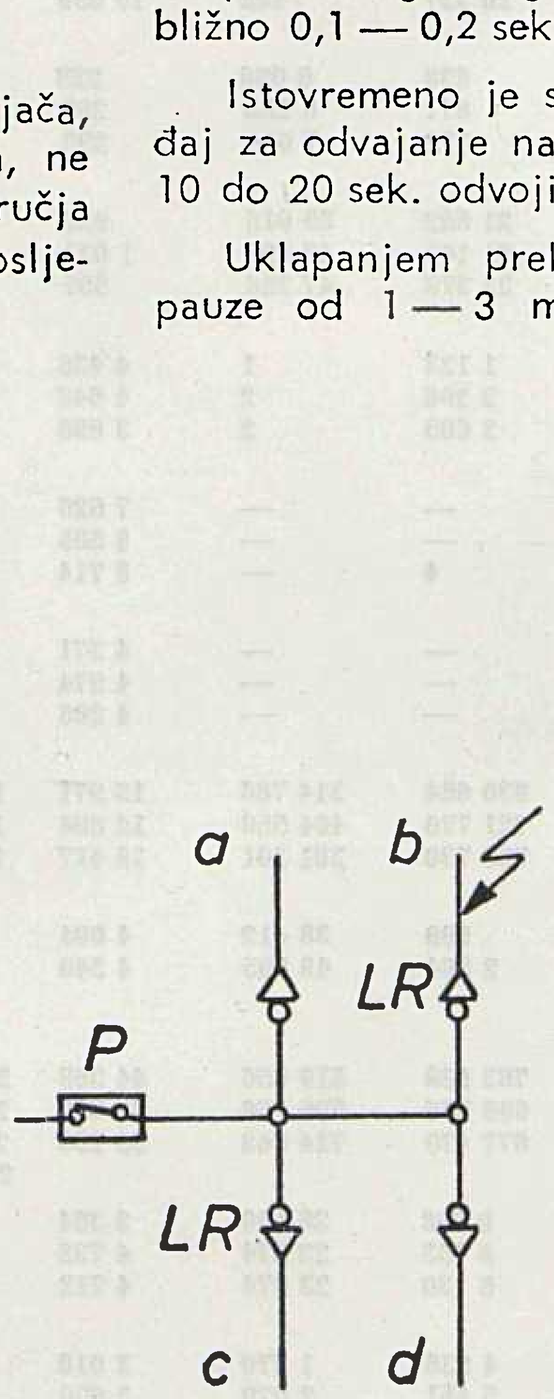
Primjenom ovog uređaja, omogućeno je veoma brzo odvajanje voda u kvaru, čime se osigurava nesmetana opskrba potrošača priključenih na druge krajnje vodove u promatranom konzumnom području.

Za naše razmatranje, pretpostavimo mrežu s četiri radijalno spojena voda — prema sl. 2. na čijim su počecima ugrađeni linijski rastavljači LR, ili rastavne sklopke, s uređajima za automatsko odvajanje voda u kvaru, proizvodnje »R. Končar« — OOUR Sombor.

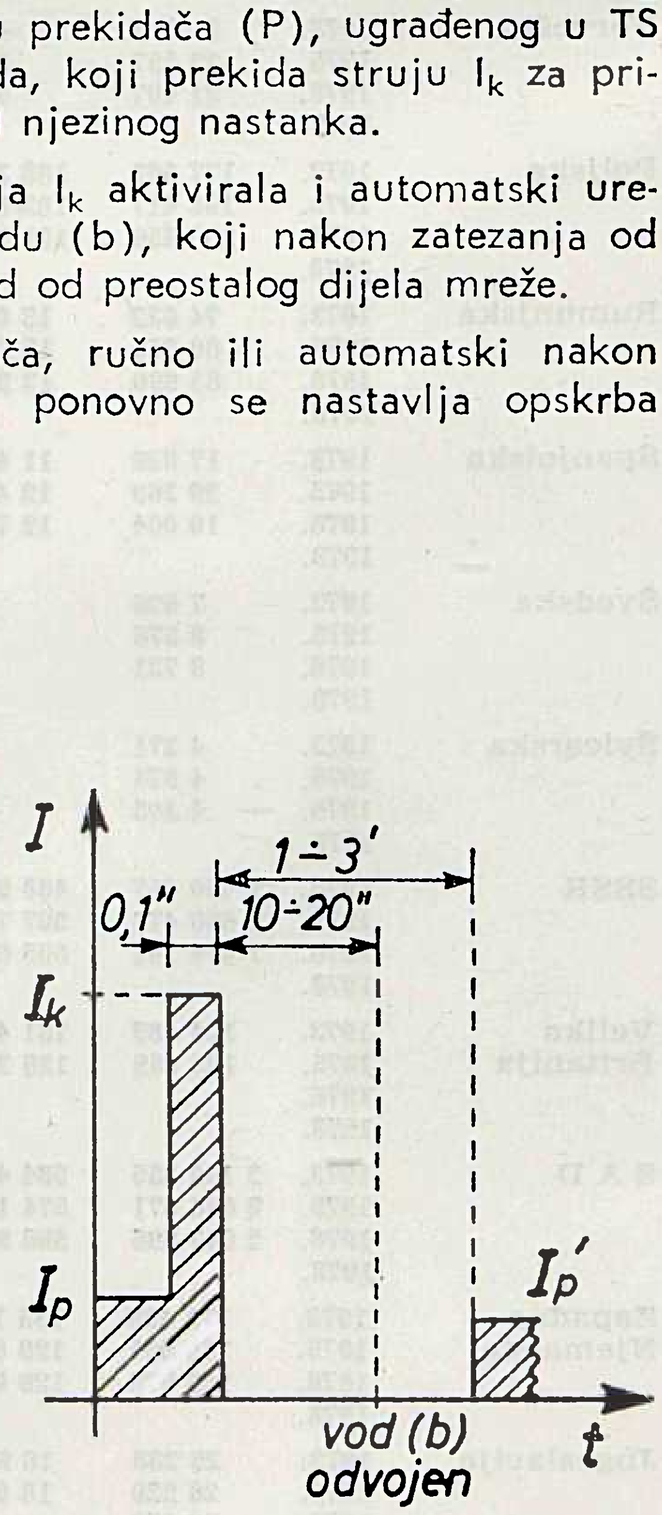
U slučaju pojave kvara na vodu (b), struja kratkog spoja I_k aktivira zaštitu prekidača (P), ugrađenog u TS na početku glavnog voda, koji prekida struju I_k za približno 0,1 — 0,2 sek. od njezinog nastanka.

Istovremeno je struja I_k aktivirala i automatski uređaj za odvajanje na vodu (b), koji nakon zatezanja od 10 do 20 sek. odvoji vod od preostalog dijela mreže.

Uklapanjem prekidača, ručno ili automatski nakon pauze od 1 — 3 min., ponovno se nastavlja opskrba



Sl. 2.



Sl. 3.

potrošača priključenih na vodove (a), (c) i (d), kao što je vidljivo iz dijagrama na sl. 3.

$$I_p = I_k = 0$$

Prije otklanjanja kvara na vodu, potrebno je linijski rastavljač ručno otvoriti u krajnji isklopni položaj, čime se izdanak vidljiv na sl. 1. vrati iz položaja »i« u položaj »u« i na taj način ponovno zatvori strujni put kroz uređaj za automatsko odvajanje na vodu (b).

Samo po sebi razumljivo, ako je na početku glavnog voda ugrađen prekidač (P) suvremenih karakteristika, kao što su prekidači tipa M12 — 38 proizvodnje »RK« — OOUR Zagreb Borongaj, koji imaju mogućnost brzog ponovnog uklopa, te ako u TS postoji odgovarajući APU uređaj i ako se radi o prolaznom kvaru, prekidač (P) ponovo uklopi nakon pauze od 0,3 do 8 sek., da u tom slučaju automatski uređaj za odvajanje voda u kvaru neće proraditi, čime se nastavlja redovna opskrba i potrošača priključenih na vod (b).

Neke mogućnosti primjene uređaja za automatsko odvajanje voda u kvaru

Posebno je zanimljiv slučaj, ako na razvijenijem konzumnom području imamo i takve potrošače, koji ni kraću stanku u opskrbi el. energijom ne mogu prihvatiti zbog zastoja u proizvodnom procesu. Primjer opskrbe važnijih potrošača na vodovima A i B, uz korištenje dva prekidača i linijskih rastavljača s uređajem za automatsko odvajanje voda u kvaru, prikazan je na slici 4.

U našem primjeru, ponovno je pretpostavljen kvar na odvojku (b). Struja kratkog spoja istovremeno potiče relej za automatsko odvajanje voda (b), te odgovarajuće zaštite na prekidačima P_1 i P_2. Zaštita prekidača u glavnoj TS, je tako podešena da prekidač P_1 prvi isklopi, dok je vremensko zatezanje na uređaju za automatsko odvajanje voda u kvaru — kako već znamo — od 10 do 20 sekundi. Uređaj za brzo ponovno uklapanje, uz prekidač P_1, odmah proslijedi impuls za ponovni uklop, te prekidač — nakon beznaponske pauze od približno 0,3 sek. — ponovno uklopi.

Ako je kvar bio prolaznog karaktera, opskrba el. energijom nastavlja se dalje bez ikakvih smetnji na čitavom području, kao što je opisano u prvom dijelu ovog članka.

Međutim, ako je na vodu (b) kvar trajnog karaktera, uklapanjem prekidača P_1 ponovno se u vodu (b), kao i kroz prekidače P_1 i P_2 uspostavlja struja kratkog spoja I_k. Za ovaj slučaj, zaštite na prekidačima se tako podešene, da drugo isklapanje izvrši prekidač P_2 u područnoj TS.

Ovime je mjesto kvara odvojeno prekidačem P_2, čime je osigurana nesmetana opskrba potrošača priključenih na vodovima A i B. Dijagram struje kroz prekidač P_1 prikazan je u ovom primjeru na sl. 5.

Nakon 10 do 20 sekundi po isklopu prekidača P_2, tj. nakon prestanka djelovanja struje kratkog spoja I_k, uređaj za automatsko odvajanje voda u kvaru, odvoji vod (b) od ostalog dijela mreže, čime vod (b) trajno ostaje izvan pogona dok se kvar točno ne pronađe i otkloni. Za potrošače priključene na vodove (a), (c), i (d), uspostavit će se ponovno redovna opskrba el. energijom jednu do tri min. nakon isklopa prekidača P_2 u područnoj TS, a dijagram struje kroz prekidač P_2 prikazan je u tom slučaju na sl. 6.

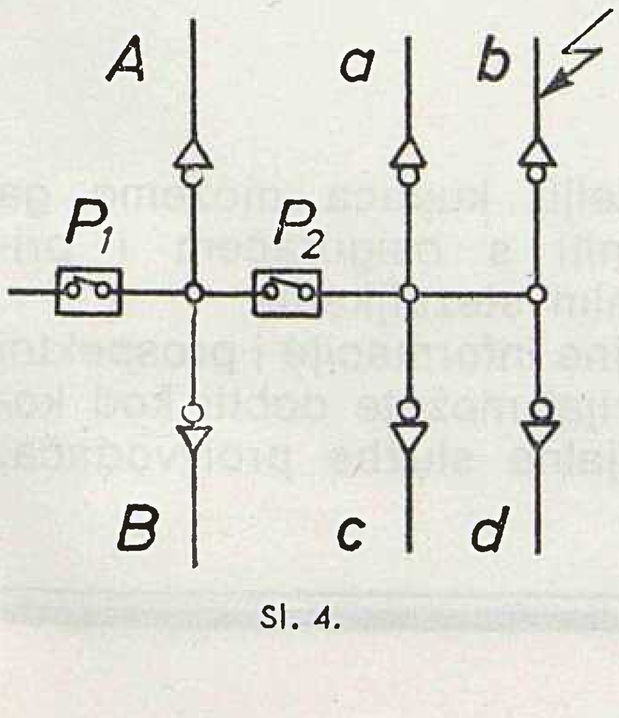
Zaključak

Iz navedenih primjera se vidi da uređaj za automatsko odvajanje voda u kvaru omogućava:

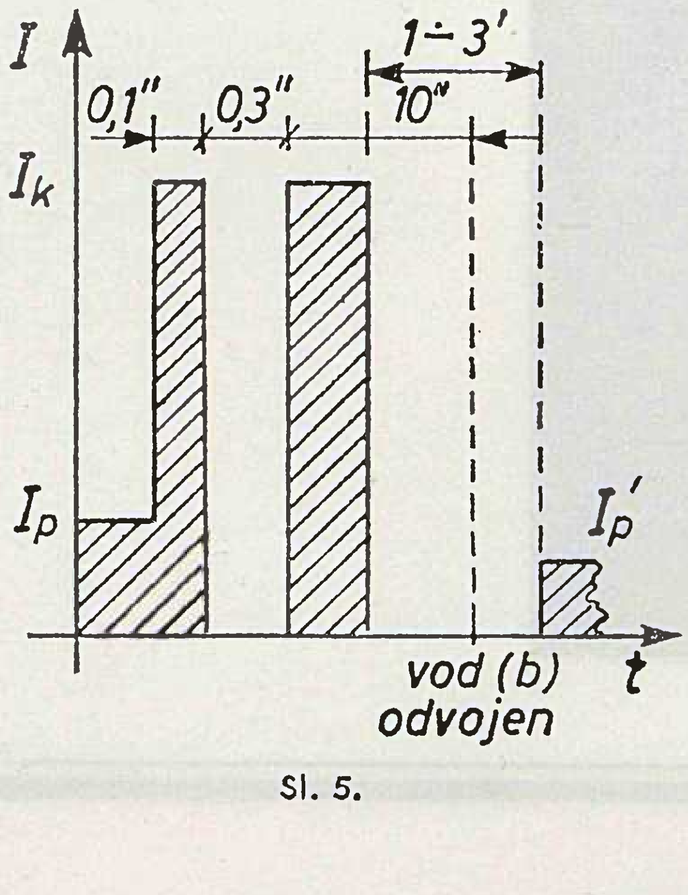
— sigurniju opskrbu el. energijom, radi manjeg broja ispada, jer izvan pogona ostaje samo vod u kvaru,
— kraće vrijeme za pronalaženje i otklanjanje kvara,
— manje troškove za otklanjanje nastalih kvarova,
— manje ljudstva i vozila za održavanje zračnih mreža srednjeg napona.

Sve ove prednosti potvrđuju zaključak, da se ubuduće može očekivati značajna primjena uređaja za automatsko odvajanje voda u kvaru na zračnim mrežama srednjeg napona.

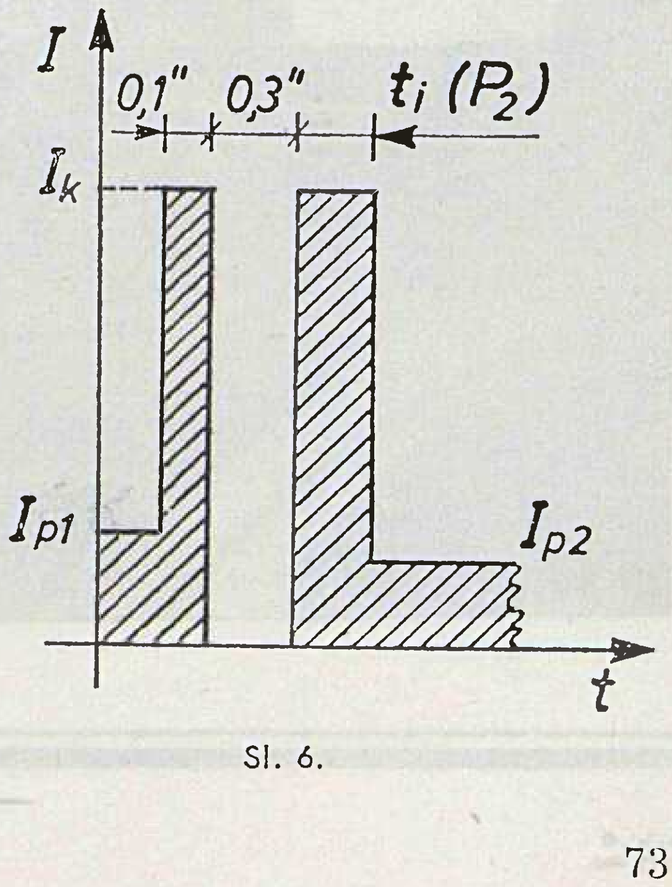
Naslov pisca:
Josip Polanc, dipl. ing.
RO »Rade Končar« — Elektrouređaji



Sl. 4.



Sl. 5.



Sl. 6.

BETONSKI NOGARI „UNIVERZAL"
proizvodnje IGM „Sava" – Krško

KANDELABRI »ARPOSA«
PROIZVODNJE IGM »SAVA« KRŠKO

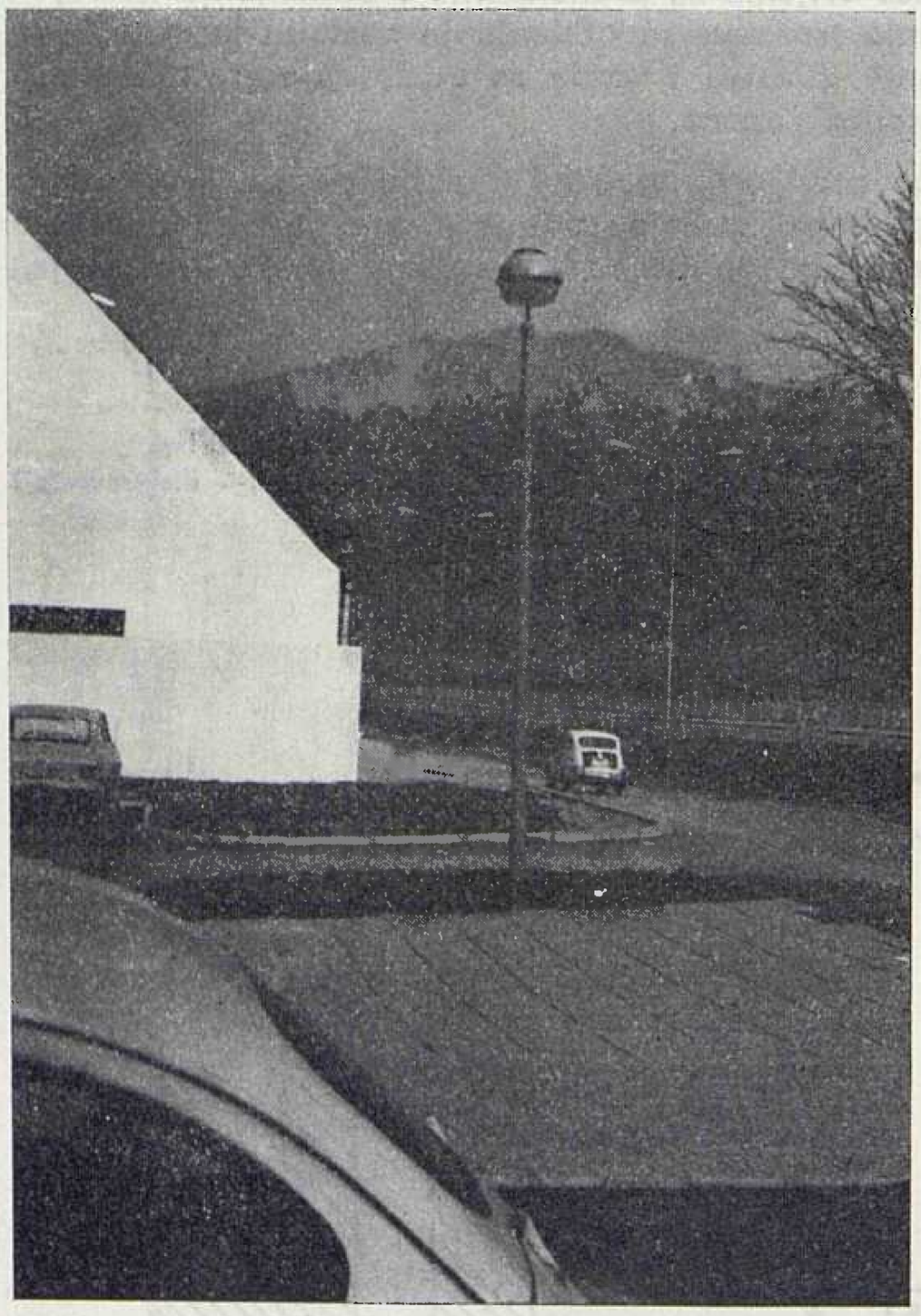
Industrija građevnog materijala »SAVA« Krško počela je s proizvodnjom kandelabera »ARPOSA« od armiranog poliestera, tipske dužine 4,7 i 4,0 m.

Kandelabri su oblikom šuplji s konicitetom, konačnog vanjskog promjera 76 mm, što odgovara svjetiljkama koje se upotrebljavaju u te svrhe.

Estetskog su oblika, pa ih možemo (zbog mogućnosti različitih boja) uklopiti u bilo kakav ambijent. Zbog upotrebe armiranog poliestera sa staklenim vlaknima predstavljaju izolaciono tjelo, pa ih nije potrebno uzemljivati. Sam materijal ne korodira, a ne uništavaju ga ni mikroorganizmi. Stoga imaju dug životni vijek i ne mijenjaju im se mehanička i druga svojstva. Zbog specijalne tehnologije predstavljaju kompaktan element s malim uklonom, pa su upotrebljivi i u području vjetra treće zone.

Vrlo su lagani (težina oko 14 kg) i zato se mogu jednostavno prenositi i transportirati.

Osim kandelabra IGM, »SAVA« proizvodi i montažne temelje pomoću kojih možemo kandelabre brzo i jednostavno podizati i na manje nosivom tlu.



Na želju kupaca možemo ga opremiti s osiguračem i priključnim stezaljkama.

Detaljne informacije i prospektni materijal možete dobiti kod komercijalne službe proizvođača.

Energija God. 30 (1981) br. 3—4, 95—106

TEORETSKI ŽIVOTNI VIJEK I STUPANJ ISCRPLJENOSTI VISOKOOPTEREĆENIH PAROVODA U TERMOENERGETSKIM POSTROJENJIMA

Marino Balog, Zagreb

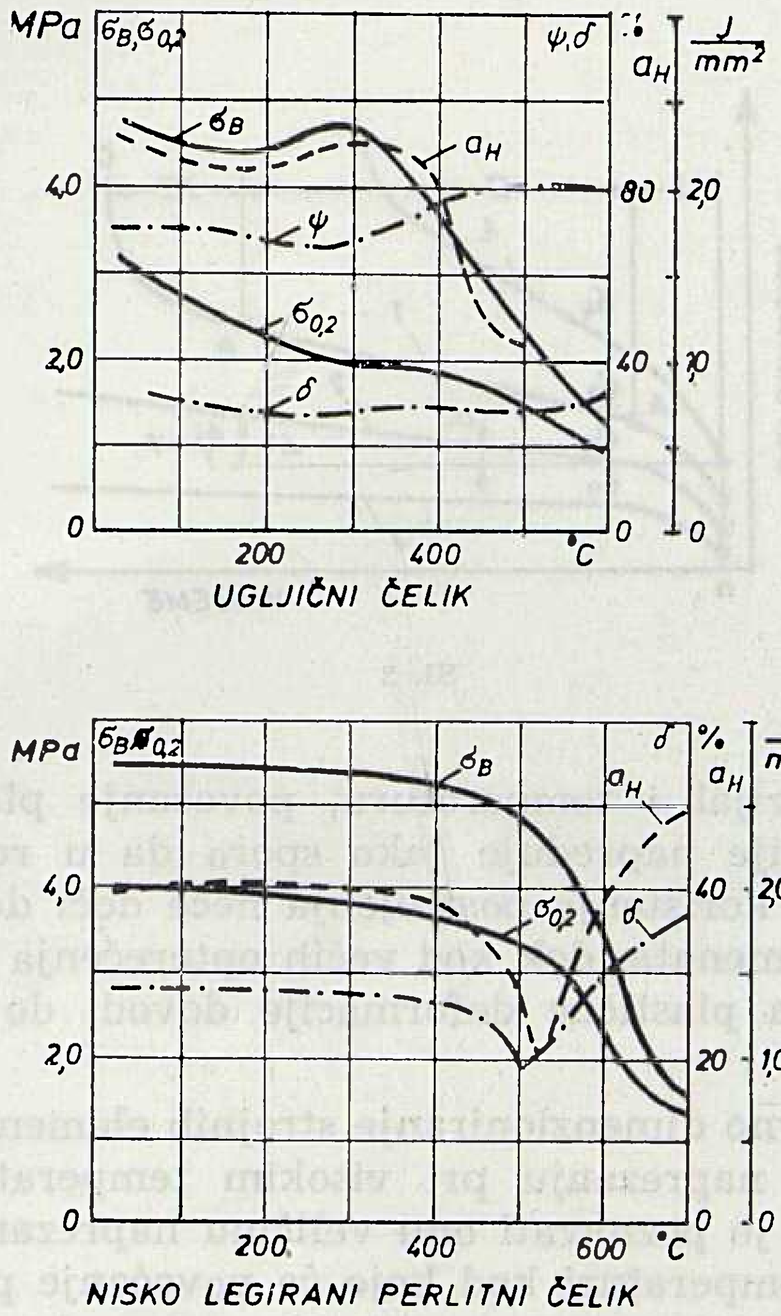
UDK 621.186.3:621.311.22

U članku su opisane proračunske metode praćenja preostalog životnog vijeka cjevovoda izvrgnutih trajno naprezanjima pri visokim temperaturama, načini prikupljanja potrebnih informacija za proračunavanje i primjer analize cjevovoda TE Plomin.

1. UVOD

U težnji da se poveća ukupni stupanj iskorištenja sve deficitarnijih i skupljih fosilnih goriva i da se podmiri sve veći prirast potrošnje električne energije, stalno su rasli početni parametri svježe pare i jedinična snaga elektroenergetskih blokova u termoelektranama. Povećanjem temperature, pritiska i masenog protoka rasli su i zahtjevi na konstrukcijske čelike za izgradnju visokopterećenih elemenata kotlova i parovoda, pa su se nalazili i sve kvalitetniji materijali. Iako je bilo pokušaja da se početna temperatura radnog medija serijskih blokova podigne na oko 585 °C, poslije negativnih iskustava u toku eksploatacije ustalile su se, u skladu s današnjim stupnjem kvalitete konstrukcionih čelika, temperature svježe i međupregrijane pare na 545 °C (560 °C u SSSR-u) i radni pritisci do 26 MPa kod protočnih, odnosno do 18 MPa kod kotlova s prirodno cirkulacijom.

Poznato je da su mehanička svojstva materijala ovisna o temperaturi kojoj je izložen. Promjene mehaničkih svojstava, ovisno o temperaturi za tri karakteristična materijala koji se koriste pri izradi termoenergetskih postrojenja, prikazane su na slici 1. Poznavanje ovih veličina, međutim, nije dovoljno za ispravno dimenzioniranje elemenata izvrgnutih visokim naprezanjima pri povišenim temperaturama. Iskustvo je naime pokazalo da strojni elementi koji su trajno opterećeni pri visokim temperaturama podliježu pojavi »puzanja«, a to znači stalnom postepenom povečavanju plastične deformacije. Brzina povećavanja ostatnih deformacija ovisi o mnogim činiocima od kojih su osnovni: sastav i struktura osnovnog materijala, postupci prerade do poluproizvoda, način izrade i montaže strojnih elemenata, veličina osnovnog naprezanja, radna temperatura, kao i veličina i učestalost dodatnih naprezanja izazvanih promjenama temperature. Ponašanje određenog materijala pod opterećenjem pri različitim temperaturama ovisi o građi tog materi-

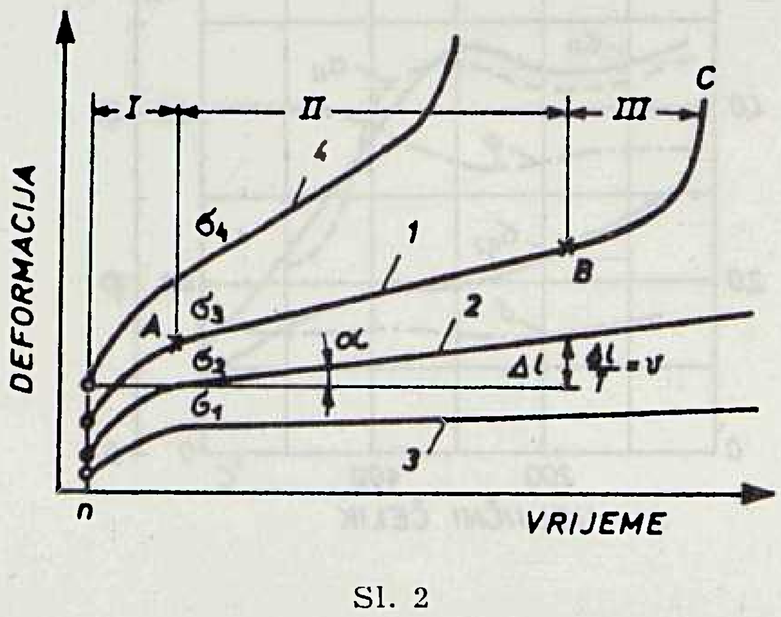


SI. 1

jala — njegovoj kristalnoj rešetki, formi uključivanja primjesa u osnovnom materijalu, veličini i usmjerenosti zrna, te nepravilnostima u građi kristalne strukture, kao što su: nepopunjenost čvorova u kristalnoj rešetki, uključivanje iona u međuprostore kristalne rešetke, deformacija kristalne rešetke radi uključivanja iona legirajućih elemenata znatno većih dimenzija od iona željeza, te pojave dislokacija.

Upravo zbog toga što su svojstva i ponašanje materijala u velikoj mjeri predodređeni unutrašnjim stanjem građe materijala, koja je nedostupna direktnom nadzoru, svojstva materijala se mogu realno odrediti samo eksperimentalnim putem, a na temelju dobivenih rezultata mogu se izvoditi eventualne zakonitosti.

Ovisnost veličine plastične deformacije o veličini opterećenja i vremenu pri jednom temperaturnom stanju materijala prikazana je na slici 2. Očito je da do neke veličine opeterećenja, karakteristične za



Sl. 2

taj materijal i temperaturu, povećanje plastične deformacije napreduje tako sporo da u realnom vremenu korištenja postrojenja neće doći do oštećenja elemenata, dok kod većih opterećenja brzina povećanja plastične deformacije dovodi do brzog loma.

Za ispravno dimenzioniranje strojnih elemenata izvrgnutih naprezanju pri visokim temperaturama potrebno je poznavati onu veličinu naprezanja pri radnoj temperaturi kod koje će povećanje plastične deformacije napredovati tako sporo da u toku životnog vijeka postrojenja ne dođe do oštećenja njegovih elemenata. Radi utvrđivanja tih karakterističnih veličina razvijene su metode za ispitivanje materijala pri povišenim temperaturama. Praktički je, međutim, nemoguće provoditi ispitivanja u vremenu trajanja jednakom vijeku korištenja postrojenja (100 000 do 200 000 sati), pa se ona provode u kraćim vremenskim intervalima (5 000 do 10 000 sati) i na temelju dobivenih rezultata zaključuje o ponašanju materijala za dulje trajanje opterećenja. Zbog toga kao i zbog činjenice da svojstva materijala ovise o mnogim faktorima u toku proizvodnje, koji ne mogu biti uvijek isti, teško je unaprijed s dovoljnom točnošću odrediti njegovo ponašanje, pa se mora računati s izvjesnim koeficijentom sigurnosti.

Veličina naprezanja koja se pretpostavlja prilikom proračuna elemenata ne mora se ostvariti u toku eksploatacije, jer često dolazi do znatnih promjena temperatura i naprezanja izazvanih neispravnostima regulacionih uređaja ili zbog loše izvedbe odnosno kvarova na sistemu zavješenja. Sve to ima znatan utjecaj na veličinu dodatnih naprezanja, pa su zabilježeni slučajevi da do loma elemenata postrojenja dolazi već nakon 30 000 sati rada, iako su proračuni provedeni za životni vijek od 100 000 sati. Na temelju svega navedenog postoji potreba stalnog prikupljanja iskustava o ponašanju materijala opterećenih pri visokim temperaturama, da bi se na temelju njih mogle potvrditi ili korigirati metode proračunavanja svojstava materijala. Osim toga, praćenje stanja materijala provodi se i radi povećanja sigurnosti eksploatacije postrojenja. Kako je već spomenuto, postoje mogućnosti da radi nedostataka materijala izazvanih neadekvatnom izradom, obradom i ugradnjom dođe do deformacija i oštećenja dijelova opreme mnogo prije no što predviđa proračunati vijek trajanja.

Činjenica je da do danas još nisu razvijene potpuno pouzdane metode utvrđivanja preostalog životnog vijeka konstrukcijskih dijelova izvrgnutih naprezanjima pri visokim temperaturama. Praćenje i procjenjivanje preostalog životnog vijeka elemenata termoenergetskih postrojenja provodi se na različite načine — praćenjem ostatne deformacije na elementima postrojenja, proračunavanjem preostalog životnog vijeka uz uvažavanje stvarnih pogonskih uvjeta u proteklom razdoblju, praćenjem pojava promjena strukture matrijala i njegovih mehaničkih svojstava, te praćenjem mikropukotina i brzine porasta njihova broja po jedinici površine. U ovom članku dan je prikaz metoda proračuna preostalog životnog vijeka parovoda u dugotrajnoj eksploataciji, koje uz ostale metode mogu pridonijeti boljoj procjeni preostalog životnog vijeka.

2. VREMENSKA ČVRSTOĆA I ŽIVOTNI VIJEK

Prilikom projektiranja debljine stijenke parovoda primjenjuju se u gornjem temperaturnom području (iznad 470°C) vremenski ovisni koeficijenti čvrstoće. Za proračunavanje debljine stijenke mjerodavna je pri tome vremenska čvrstoća $\sigma_{v/t/\vartheta}$. Kao vremensku čvrstoću označavamo onu čvrstoću materijala $\sigma_{v/t/\vartheta}$ koja na početnom presjeku epruvete, podvrgnute mirnom vlačnom naprezanju σ_v kod temperature ϑ, nakon isteka vremena opterećenja t dovodi epruvetu do loma.

Upotreba ovog koeficijenta čvrstoće kod proračunavanja debljine stijenke temelji se na spoznaji da je životni vijek visokoopterećenog parovoda kod određene vremenske točke — teoretski nakon vremena opterećenja t — iscrpljen i da se tada mora očekivati lom. Kritično vrijeme opterećenja može se, kako to višegodišnja istraživanja pokazuju,

produžiti ili skratiti promjenama temperature, pritiska i dodatnih naprezanja. Niža pogonska temperatura i niži pogonski pritisak, u odnosu na proračunske vrijednosti, dovode do produženja životnog vijeka, dok, naprotiv, viša pogonska temperatura i pritisak skraćuju životni vijek. Pri tome promjena temperature ima znatno veći utjecaj. Dodatna naprezanja, od kojih nestacionarna toplinska naprezanja — posebno za vrijeme postupaka upućivanja i obustavljanja postrojenja — zaslužuju posebnu pažnju, također utječu na skraćivanje životnog vijeka visokoopterećenog parovoda.

Međusobna ovisnost kritičnog vremena opterećenja t, opterećenja materijala σ i temperature ϑ može se u ograničenim vremenskim intervalima obuhvatiti jednadžbom

$$\sigma_{v/t/\vartheta}^{m} \cdot t = e^{f}. \qquad (1)$$

Pri tome je $\sigma_{v/t/\vartheta}$ naprezanje materijala u kp/mm² kod temperature ϑ u °C, dok je t kritično vrijeme trajanja opterećenja (teoretski životni vijek) u satima.

Eksponenti m i f su funkcije temperature i za svaki materijal su različiti. Obje ove temperaturne funkcije mogu se pomoću vrijednosti za vremensku čvrstoću $\sigma_{v/t/\vartheta}$ izračunati za odgovarajuće cijevne čelike i aproksimirati polinomima.

$$m = \frac{1}{\sigma_{v/10^{n}h/\vartheta} - \sigma_{v/10^{n+1}h/\vartheta}} \qquad (2)$$

$$f = m \cdot \ln \sigma_{v/t/\vartheta} + \ln t. \qquad (3)$$

Ako se proračun želi provesti sa minimalnim vrijednostima vremenske čvrstoće, treba srednje vrijednosti za vremensku čvrstoću u jednadžbi (3) pomnožiti faktorom 0,8. Na taj način dobivamo korigiranu temperaturnu funkciju

$$f' = f + m \cdot \ln 0{,}8. \qquad (4)$$

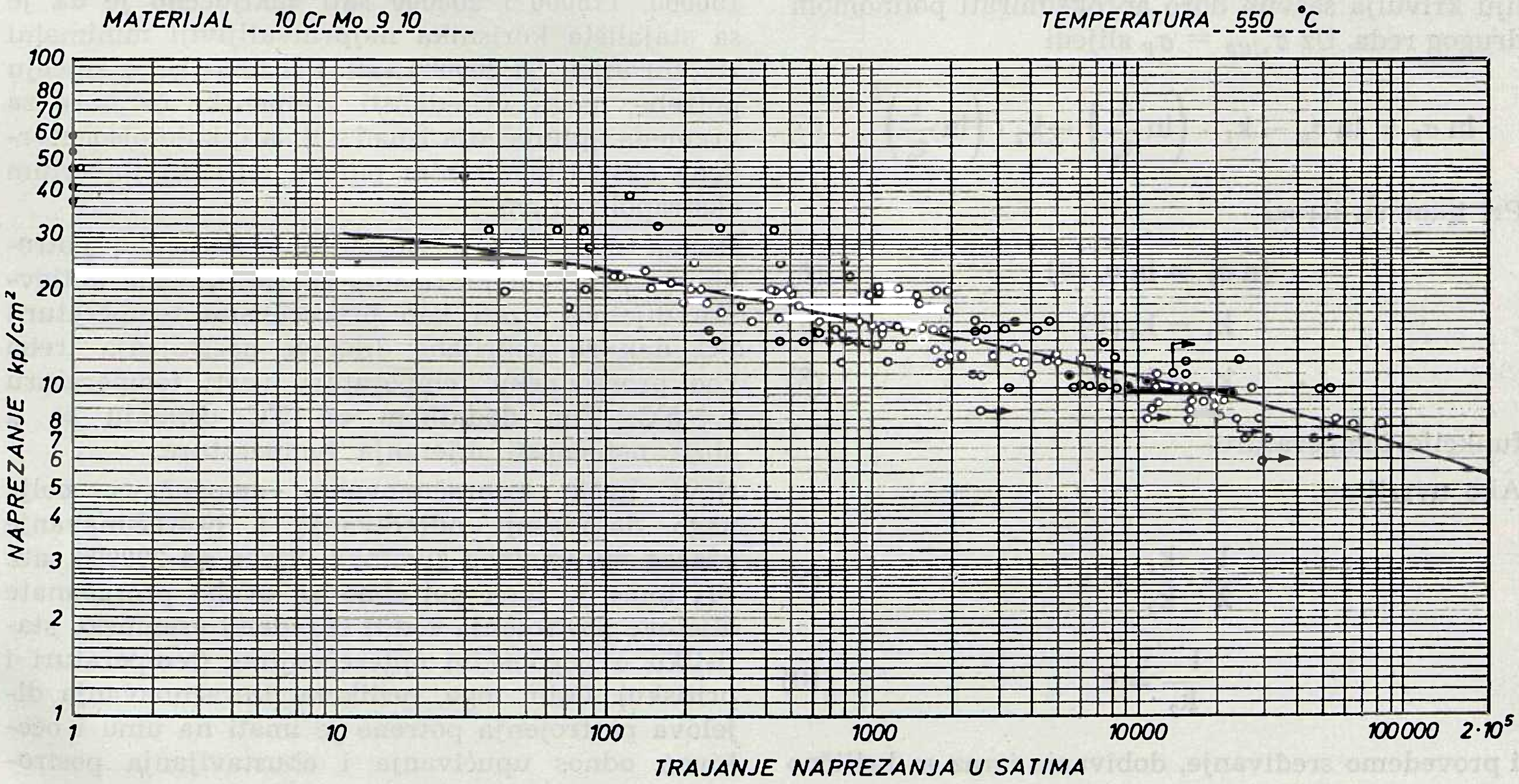
To proizlazi iz činjenice da je na temelju višegodišnjeg iskustva zaključeno da donja granica područja rasipanja vrijednosti vremenske čvrstoće leži oko 20% ispod krivulje srednjih vrijednosti vremenske čvrstoće.

3. DIJAGRAM VREMENSKE ČVRSTOĆE

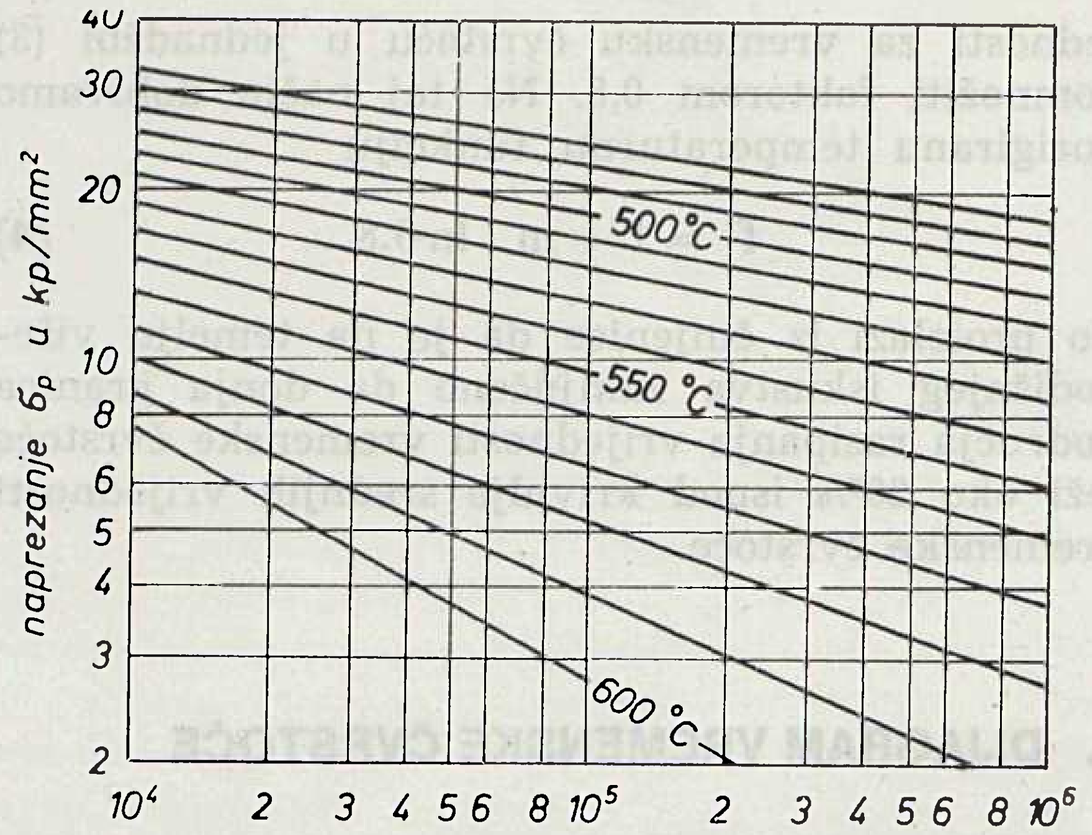
Dijagram vremenske čvrstoće utvrđuje se u praksi za određeni materijal ucrtavanjem eksperimentalno određenih točaka, dobivenih pokusima pri istoj temperaturi uz ista i različita naprezanja, u dvostruki logaritamski dijagram (slika 3). Temperaturna linija vremenske čvrstoće koja se na taj način odredi kao srednja vrijednost između ucrtanih točaka predstavlja srednju vrijednost vremenske čvrstoće materijala kod određene temperature. Na ovaj način određene linije su, već prema vrsti materijala, više ili manje zakrivljene s tendencijom jačeg opadanja vremenske čvrstoće porastom kritičnog opterećenja.

Temperaturne linije vremenske čvrstoće mogu se u kraćim vremenskim intervalima aproksimirati pravcima (slika 4). Međutim, ekstrapolacija u širokim vremenskim razmacima nije moguća, jer u određenim uvjetima može dovesti do pogrešnih zaključaka.

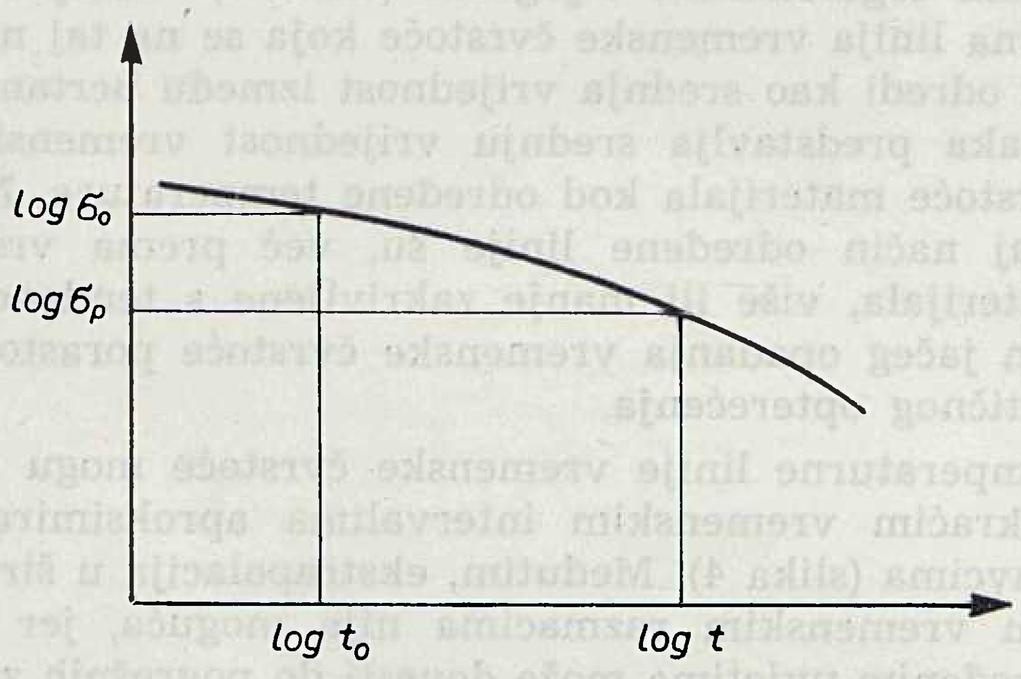
Ako za određeni materijal postoji dijagram vremenske čvrstoće sa stvarno zakrivljenim tem-



Sl. 3. Primjer eksperimentalno utvrđenog dijagrama vremenske čvrstoće



Sl. 4. Dijagram vremenske čvrstoće za materijal 14 MoV 63 — aproksimacija pravcima



Sl. 5. Dijagram vremenske čvrstoće sa zakrivljenom temperaturnom linijom

peraturnim linijama (slika 5), možemo ovu familiju krivulja sasvim doro aproksimirati polinomom drugog reda. Uz $\sigma_{v/t/\vartheta} = \sigma_p$ slijedi

$$\ln \sigma_p = \ln \sigma_o - k_1 \cdot \left(\ln \frac{t}{t_o}\right) - k_2 \cdot \left(\ln \frac{t}{t_o}\right)^2 . \quad (5)$$

Pri tome su izrazi

$$\ln \sigma_p = \ln \sigma_o (\vartheta) \quad (6)$$

$$k_1 = k_1 (\vartheta) \quad (7)$$

$$k_2 = k_2 (\vartheta) \quad (8)$$

funkcije temperature.

Ako uvrstimo

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{k_1}{k_2} = b \quad (9)$$

$$\frac{1}{k_2} = c \quad (10)$$

i provedemo sređivanje, dobivamo izraz za kritično vrijeme opterećenja

$$t = t_o \cdot e^{\sqrt{b^2 + c \cdot \ln (\sigma_o / \sigma_p)} - b \cdot} \quad (11)$$

4. ZNAČENJE PROMJENE KRITIČNOG VREMENA OPTEREĆENJA

Mjerodavni propisi za proračunavanje parnih kotlova zahtijevali su proračunavanje s teoretskim životnim vijekom $t_k = 10^5$ sati što odgovara, već prema stupnju iskorištavanja određenog postrojenja, vremenskom razdoblju od 12 do 25 kalendarskih godina. Osim toga propisi su zahtijevali uzimanje u obzir računske sigurnosti S = 1,5. Zbog toga su se kod proračunavanja debljine stijenke parovoda iskorištavale samo dvije trećine vremenske čvrstoće $\sigma_{v/10^5 h/\vartheta}$, što se iskazivalo produžavanjem kritičnog vremena opterećenja preko 10^5 sati. Kao mjera za time postignuto vremensko produženje životnog vijeka uveden je pojam »vremenska sigurnost«

$$S_t = S^m \quad (12)$$

uz m prema jednadžbi (2).

U novije vrijeme proizvođači, korisnici i nadzorni organi došli su do zaključka da proračunavanje očekivanog životnog vijeka preko vremenske sigurnosti nije najprikladniji način, te da bi trebalo željeni životni vijek uzeti direktno kao temelj za proračun.

Kao prvo, predlaže se da se za proračun uzima donja granica pojasa rasipanja eksperimentalno dobivenih vrijednosti vremenske čvrstoće (0,8 $\sigma_{v/t/\vartheta}$, srednja vrij.), što znači da se promatra minimalni životni vijek. Razmatranjem potrebnog minimalnog životnog vijeka i ispitivanjem proračuna za 150000, 175000 i 200000 sati zaključeno je da je sa stajališta korisnika najprihvatljiviji minimalni životni vijek od 200000 sati. Pri tome se, u slučaju potrebe, mogu vrijednosti vremenske čvrstoće za vremena opterećenja iznad 10^5 sati, koje nisu utvrđene eksperimentalnim putem, odrediti linearnim ekstrapoliranjem.

Prema dosadašnjim saznanjima korisnika potrebno je prilikom proračuna za zagrijavane kotlovske dijelove uzeti kao proračunsku temperaturu t°C, dok za negrijane dijelove postrojenja treba kao proračunsku temperaturu uzeti temperaturu t + 5°C. Tim dodatkom od 5°C uzimaju se u obzir netočnosti mjerenja temperature.

Novi način proračunavanja omogućava bolje nego dosadašnji određivanje i proračunavanje kraćeg minimalnog životnog vijeka od 200000 sati. Pri tome je ipak potrebno za ovako proračunate dijelove postrojenja voditi određenu vremnsku statistiku o pogonskim opterećenjima (temperaturi i pritisku). Osim toga, prilikom proračunavanja dijelova postrojenja potreno je imati na umu i očekivan odnos upućivanja i obustavljanja postrojenja i uzeti ga u obzir.

5. PRORAČUNAVANJE ŽIVOTNOG VIJEKA KOD VREMENSKI STALNOG NAPREZANJA

Proračunavanje životnog vijeka kod vremenski stalnog naprezanja omogućava spoznaju o teoretskom životnom vijeku određenog elementa visokoopterećenog parovoda. Ovakvo određivanje teoretskog životnog vijeka temelji se na proračunu maksimalnog naprezanja u stijenki pojedinog elementa parovoda, koje proizlazi od u pogonu izmjerenih temperatura i pritiska, te od izmjerenih najnižih debljina stijenke mjerodavnih za dimenzioniranje tog elementa. Na ovaj način se u razmatranje uzimaju najslabija mjesta pojedinih elemenata parovoda. Na temelju proračunatog maksimalnog naprezanja određuje se pomoću dijagrama vremenske čvrstoće teoretski životni vijek promatranog elementa. Kao što je već rečeno, za određivanje životnog vijeka koristi se donja granična krivulja područja rasipanja eksperimentalno određenih vrijednosti vremenske čvrstoće. Ova krivulja predstavlja granicu iza koje se mora računati s mogućnošću loma elementa parovoda, a njezine su vrijednosti za 20% ispod srednje krivulje vremenske čvrstoće i određuju se prema izrazu

$$\sigma_{v/t/\vartheta} = 0{,}8\ \bar{\sigma}_{v/t/\vartheta}. \qquad (13)$$

6. STUPANJ ISCRPLJENJA

Prilikom proračunavanja teoretskog životnog vijeka kod vremenski stalnog naprezanja mora se uvijek pretpostaviti da promatrano pogonsko stanje za vrijeme cijelog pogonskog vremena ostaje nepromijenjeno. U praksi se, međutim, temperatura kao i pritisak pare stalno mijenjaju u skladu s određenim pogonskim tokom, te pri tome više ili manje odstupaju od projektiranih vrijednosti. Želi li se, dakle, procijeniti životni vijek nužno je uzeti u obzir stvarno nastupajuće pogonske uvjete. Ovaj postupak omogućava spoznaju o tome da li je dosadašnji način pogona u odnosu na unaprijed zadane pogonske uvjete doveo do povećanja ili smanjenja životnog vijeka, te kada su potrebna posebna ispitivanja ili izmjena dijelova.

Stupanj iscrpljenja *e* određuje se pomoću stvarnih pogonskih vremena $t_{\vartheta/p}$ i vremena proračunatog životnog vijeka elemenata $t_{r/\vartheta/p}$. Da bi se mogao odrediti stupanj iscrpljenja, potrebno je da pogonsko osoblje provodi kontinuirano zbrajanje pogonskih vremena podijeljenih u temperaturne razrede, pa čak i u pripadajuće razrede pritiska. Tada se na temelju pritiska punog opterećenja, odnosno srednjeg pritiska svakog razreda pritiska utvrđuje odgovarajuće područje izvedbeno najviših naprezanja za pojedini element. Svakom temperaturnom razredu se preko srednje vrijednosti razreda pridružuje srednja vrijednost temperature stijenke, uzimajući u obzir temperaturni dodatak za netočnosti mjerenja. Na temelju ove temperature i odgovarajućeg naprezanja utvrđuje se, na način opisan u točki 5, teoretski životni vijek $t_{r/\vartheta/p}$. Razlika stupnja iscrpljenja za ovaj temperaturni razred tada iznosi

$$\Delta e = \frac{t_{\vartheta/p}}{t_{r/\vartheta/p}} \cdot 100. \qquad (14)$$

Stupanj iscrpljenja za vrijeme cijelog pogonskog razdoblja određuje se tada na temelju linearnog pravila o životnom vijeku sumiranjem vrijednosti *e* za sve razrede temperature i pritiska:

$$e = \sum \Delta e. \qquad (15)$$

Ako stupanj iscrpljenja dostigne vrijednost 1, to znači da je teoretski životni vijek promatranog elementa iscrpljen, te da se mora računati s lomom stijenke. Da li će lom i stvarno nastupiti, ovisi u prvom redu još o tome gdje se u području koeficijenata vremenske čvrstoće nalazi vrijednost koja odgovara materijalu promatranog elementa.

Proračunavanje stupnja iscrpljenja i obuhvaćanje stvarnih pogonskih uvjeta postiže se to bolje što je na više dijelova podijeljeno temperaturno područje i što je više pripadajućih vremenskih i temperaturnih vrijednosti uzeto u obzir. Što je više mjernih vrijednosti uzeto u obzir, točnije će biti izračunavanje i grafičko određivanje stupnja iscrpljenja. Pri tome se javlja i mogućnost da se utvrđivanje stupnja iscrpljenja provodi automatski pomoću računskog stroja, čime se omogućava automatska obrada vrijednosti temperature i pritiska. Da bi se omogućilo programiranje za elektronski računski stroj, potreno je matematički formulirati stupanj iscrpljenja.

Kao naprezanje $\sigma_{v/t/\vartheta}$ u jednadžbi (1) uzima se rezultirajuće naprezanje σ_P, koje se za vrijeme pogona uspostavlja u stijenki elementa. Na temelju jednadžbi (1), (14) i (15) dobivamo, uzimajući u obzir srednje vrijednosti vremenske čvrstoće, stupanj iscrpljenja

$$e = \int_t \sigma_P^m \cdot e^{-f}\, dt \qquad (17)$$

odnosno

$$e = \sum \sigma_P^m \cdot e^{-f} \Delta t. \qquad (18)$$

Ako uzimamo u obzir minimalne vrijednosti vremenske čvrstoće onda eksponent f zamjenjujemo eksponentom f':

$$e = \sum \sigma_P^m \cdot e^{-f'} \Delta t. \qquad (19)$$

Pri tome treba prilikom proračunavanja temperaturnih funkcija m i f' uzeti u obzir i temperaturni dodatak za netočnost mjerenja.

Proračunavanje stupnja iscrpljenja na temelju izmjerenih vrijednosti temperature i pritiska pomoću elektronskog računskog stroja omogućava izbor

malih vremenskih intervala Δt. Naravno da ne bi imalo smisla izračunavati novi stupanj iscrpljenja pojedinih elemenata nakon svakog mjerenja. Dovoljno je da se mjerne veličine akumuliraju, te da se u određenim vremenskim intervalima proračunava novi stupanj iscrpljenja.

Radi boljeg praćenja napredovanja iscrpljenja životnog vijeka korisno je proračunavati i brzinu iscrpljivanja životnog vijeka v. Pri tome pod brzinom iscrpljivanja životnog vijeka razumijevamo prirast stupnja iscrpljenja u određenom vremenskom intervalu pomnožen odgovarajućom potencijom broja deset:

$$v = \frac{\Delta e}{\Delta t} \cdot 10^n. \qquad (16)$$

Interval Δt predstavlja vremenski razmak između dvaju proračunavanja. Eksponent n treba tako odarati da se za normalan pogon postrojenja vrijednosti brzine iscrpljivanja nalaze u intervalu 1 do 10. Podatak o brzini iscrpljivanja može biti vrlo koristan jer pogonskom osolju termoenergetskog postrojenja omogućava relativno jednostavnu kontrolu pogona u odnosu na parametre s kojima se radi.

7. NAPREZANJA U STIJENKAMA ELEMENATA VISOKOOPTEREĆENIH PAROVODA

Rezultirajuće naprezanje σ_P koje se za vrijeme pogona javlja u stijenki elementa visokoopterećenog parovoda sastoji se od naprezanja izazvanog unutarnjim pritiskom pare σ_p i dodatnog naprezanja σ_d. Za sumiranje ovih dviju komponenata naprezanja u jedno rezultirajuće naprezanje stoje nam na raspolaganju, već prema vrsti dodatnog naprezanja, izrazi

$$\sigma_P = \sigma_P + \sigma_d \qquad (20)$$

$$\sigma_P = \sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_d^2}. \qquad (21)$$

Naprezanje σ_p je proporcionalno pritisku pare:

$$\sigma_p = a \cdot p. \qquad (22)$$

Eventualno smanjenje debljine stijenke, kao i očekivano stanjenje zbog utjecaja erozije i korozije mogu se uzeti u obzir određivanja faktora a.

Dodatno naprezanje σ_d može nastupiti u različitim oblicima i to kao:

a) nepromjenljivo dodatno naprezanje izazvano vanjskim opterećenjem. Ova naprezanja u pravilu nisu velika i radi toga su obično u odnosu na opterećenje σ_p zanemariva.

b) dodatna naprezanja koja za vrijeme pogona više ili manje brzo nastupaju. Ovdje, na primjer, spadaju naprezanja koja nastaju zog nedovoljno elastično izjednačenih toplinskih naprezanja i u toku pogona dolaze do izražaja.

c) stacionarna toplinska naprezanja, koja su obično u parovidma vrele pare malena. Njihovo proračunavanje je, inače, vrlo složeno.

d) nestacionarna toplinska naprezanja. Ova naprezanja moraju se odgovarajućim načinom vođenja pogona, naročito za vrijeme postupaka upućivanja i obustavljanja, držati ispod dozvoljene granice jer predloženim postupkom proračunavanja ne mogu biti obuhvaćena.

Eventualna mala dodatna naprezanja možemo općenito uzeti u obzir na približan način pomoću dodatnog faktora C:

$$\sigma_p = C \cdot a \cdot p \qquad (23)$$

8. UTJECAJ POSTUPAKA UPUĆIVANJA I OBUSTAVLJANJA NA STUPANJ ISCRPLJENJA

Činjenica da utjecaj nestacionarnih toplinskih naprezanja nije obuhvaćen predloženim postupkom proračuna stupnja iscrpljenja ne može se zaobići. Postoji, naravno, mogućnost da se mjerenjem temperaturnog gradijenta utvrde nestacionarna toplinska naprezanja σ_w, te da se ona uvedu u proračun kao dodatna naprezanja σ_d. Pri tome moramo brzinu temperaturnih promjena v_ϑ kod upućivanja i obustavljanja tako ograničiti da dozvoljeno naprezanje materijala σ_U ne bude prekoračeno. Ovo proizlazi iz slijedećeg razmatranja:

Kada bi promatrani element visokoopterećenog parovoda bio trajno izložen pogonskomna prezanju σ_P i srednjoj pogonskoj temperaturi ϑ_P, morao bi se na kraju njegova pogonskog vremena t_L uspostaviti stupanj iscrpljenja

$$e_P = \sigma_P^{m_P} \cdot t_{L'} \cdot e^{-f_P}. \qquad (24)$$

U praksi će se životni vijek t_L sastojati iz sume čistog pogonskog vremena t_P i vremena upućivanja i obustavljanja t_U:

$$t_L = t_P + t_U = t_P \cdot \left(1 + \frac{t_U}{t_P}\right). \qquad (25)$$

Za vrijeme vrijeme ukupnog vremena upućivanja i obustavljanja t_U dobivamo dodatak iscrpljivanja

$$\Delta e_U = \sigma_U^{m_U} \cdot t_U \cdot e^{-f_U}. \qquad (26)$$

Ovdje je σ_U rezultirajuće naprezanje materijala za vrijeme perioda upućivanja i obustavljanja, a m_U i f_U su temperaturne funkcije kod temperature upuštanja ϑ_U.

Za vrijeme pogonskog vremena t_P dobiva se prirast iscrpljenja

$$\Delta e_P = \sigma_P{}^{m_P} \cdot t_P \cdot e^{-f_P}. \qquad (27)$$

Ovdje je σ_P naprezanje materijala za vrijeme pogona, a m_P i f_P su temperaturne funkcije kod pogonske temperature ϑ_P. Ako se traži da stupanj iscrpljenja za vrijeme vremenskog razmaka t_L ne

bude veći nego za vrijeme provedenog pogona u pogonskom vremenu $t_{L'}$, onda mora biti

$$e_P = \Delta e_P + \Delta e_U. \tag{28}$$

Iz toga slijedi

$$t_{L'} = t_P + t_U \frac{\sigma_U^{m_U}}{\sigma_P^{m_P}} \cdot e^{-(f_U - f_P)}. \tag{29}$$

Dijeljenjem jednadžbe (29) jednadžbom (25) nakon sređivanja dobivamo izra za dozvoljeno naprezanje u toku postupaka upućivanja i obustavljanja:

$$\sigma_U = \sigma_P^{m_P/m} \sqrt[m_U]{e^{(f_U - f_P)} \cdot \left[\frac{t_{L'}}{t_L} + \frac{t_P}{t_U}\left(\frac{t_{L'}}{t_L} - 1\right)\right]}. \tag{30}$$

Ako želimo da postupci upućivanja i obustavljanja nemaju nikakav utjecaj na životni vijek, mora vrijediti

$$\frac{t_{L'}}{t_L} = 1. \tag{31}$$

U tom slučaju vremenski odnos t_P/t_U ne ulazi u račun. Ako je temperatura upućivanja ϑ_U jednaka pogonskoj temperaturi ϑ_P

$$\vartheta_U = \vartheta_P, \tag{32}$$

onda će biti

$$\sigma_U = \sigma_P. \tag{33}$$

Ali ako je

$$\vartheta_U < \vartheta_P, \tag{34}$$

onda slijedi i

$$\sigma_U > \sigma_P. \tag{35}$$

Ako pretpostavimo da će stupanj iscrpljenja e_P biti postignut, kao posljedica postupaka upućivanja i obustavljanja, ne nakon pogonskog vremena $t_{L'}$ nego ranije, onda vrijedi

$$\frac{t_{L'}}{t_L} > 1. \tag{36}$$

U ovom slučaju će, dakle, životni vijek biti žrtvovan u korist forsiranog pogona prilikom upućivanja i obustavljanja. Dozvoljeno naprezanje prilikom upućivanja σ_U pri tome raste kako raste odnos t_P/t_U. Kod jednakih odnosa životnog vijeka $t_{L'}/t_L$ dobiva se za postrojenje koje se rijetko upućuje i obustavlja (visoka vrijednost odnosa t_P/t_U) više dozvoljeno naprezanje σ_U nego za postrojenje koje se često upućuje i obustavlja (niska vrijednost odnosa t_P/t_U). Osim toga, temperatura upućivanja niža od normalne pogonske temperature dovodi do daljnjeg povećavanja dozvoljenog naprezanja σ_U.

Posebno treba imati na umu činjenicu da se izborom odgovarajuće visokog vremenskog odnosa $t_{L'}/t_L$ dakle većim žrtvovanjem životnog vijeka, mogu postići nedozvojeno velike vrijednosti naprezanja σ_U. Zbog toga mora veličina dozvoljenog naprezanja σ_U biti ograničena određenom čvrstoćom materijala, kao na primjer zahtjevom $\sigma_U \leq \sigma_{0,2}$.

9. NAČINI REGISTRIRANJA MJERNIH VRIJEDNOSTI I PROUČAVANJA STUPNJA ISCRPLJENJA

Prilikom registriranja mjernih vrijednosti i proračunavanja stupnja iscrpljenja pomoću njih možemo primijeniti više raznih postupaka:

a) Ručno registriranje i proračunavanje

Ovaj postupak je vrlo mukotrpan i zbog mogućnosti obuhvaćanja malog broja mjernih vrijednosti nije naročito točan. Točnost ispisanih mjernih podataka gotovo je nemoguće kontrolirati, te je u određenim okolnostima željena kontrola stupnja iscrpljenja životnog vijeka vrlo problematična.

b) Ručno registriranje i automatsko proračunavanje

Točnost ispisanih mjernih podataka je ovdje također teško kontrolirati. Osim toga, radi automatskog proračunavanja potrebno je pojedine mjerne veličine iz mase mjernih podataka rukom prenositi na akumulatore informacija, pri čemu se povećava mogućnost pogrešaka. Samo proračunavanje je u ovom slučaju jednostavnije i kvalitetnije.

c) Registriranje pomoću pisaćih uređaja i ručno proračunavanje

Trake pisača na kojima su ispisane temperature i pritisci znatno su pouzdaniji izvor informacija nego masa rukom ispisanih mjernih podataka. Proračunavanje je u ovom slučaju vrlo mukotrpno, ali je točno zahvaljujući gustoći informacija.

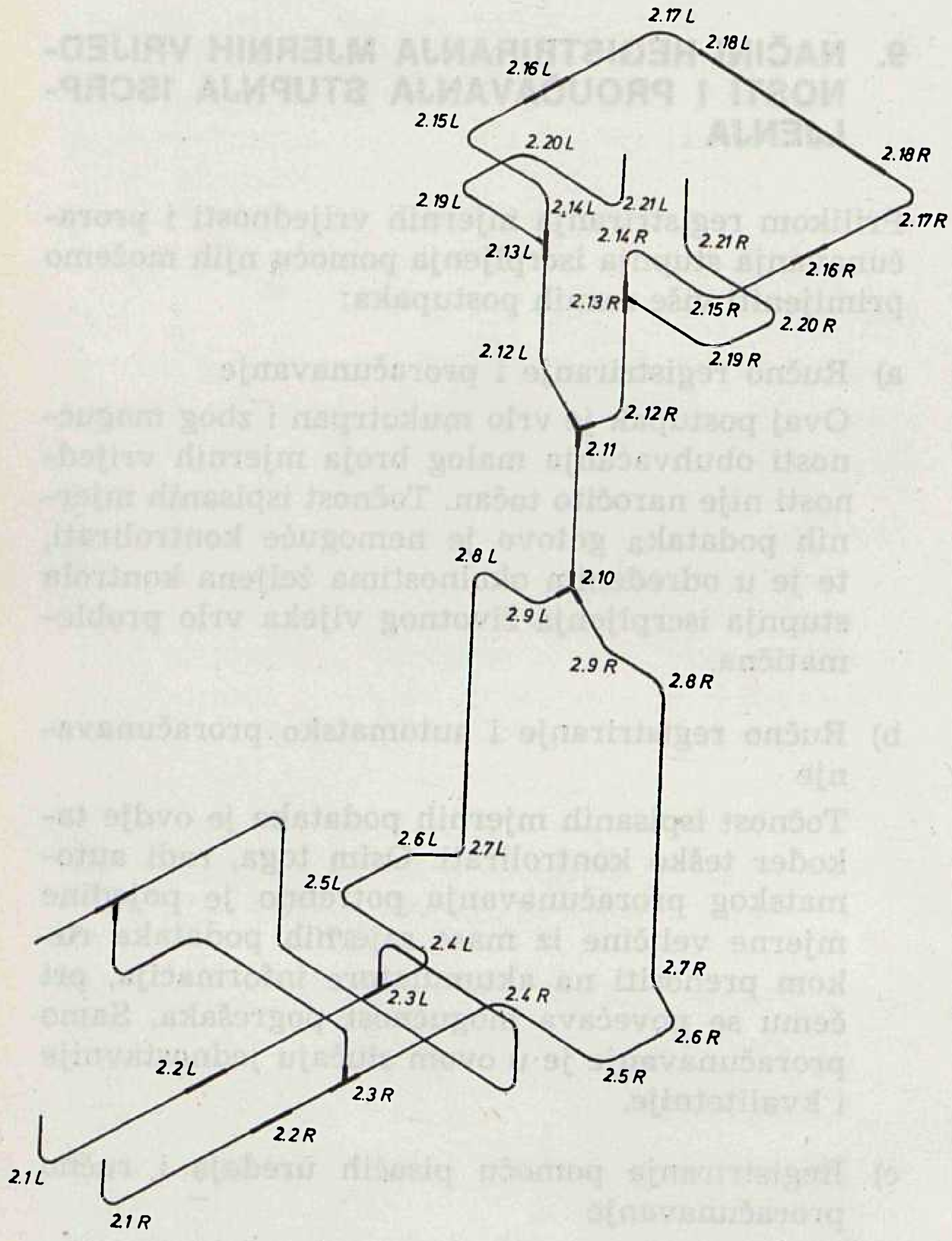
d) Automatsko registriranje i proračunavanje

U ovom slučaju mjerni električni impulsi akumuliraju se u digitalnom obliku na akumulatore informacija (bušene kartice, bušene trake, magnetske trake, magnetski diskovi). Opasnost pogrešaka registriranja kod ovakvog je postupka izuzetno malena, a postiže se tako velika gustoća informacija da je praktički moguća integracija pogonskih utjecaja koji određuju životni vijek.

Proračunavanje stupnja iscrpljenja pomoću akumuliranih podataka provodi se na elektroničkom računalu, koje ne mora obavezno biti smješteno u termoenergetskom postrojenju. Akumulirani podaci mogu se dostaviti u računski centar, odakle se dobivaju rezultati proračuna uvršteni u pregledne tabele.

10. PRIMJER

Sredinom 1979. godine »Termoelektrana Plomin« zatražila je od »Instituta za elektroprivredu« — Zagreb, vrednovanje rezultata mjerenja provedenih na parovodu vrućeg međupregrijanja (Slika 6)



Sl. 6. Shema parovoda vrućeg međupregrijanja u TE Plomin

da bi se utvrdio preostali životni vijek ovog parovoda. Poslije proučavanja problematike visokoopterećenih parovoda u termoenergetskim postrojenjima ustanovljeno je da se na temelju postojećih rezultata mjerenja ne može s dovoljnom sigurnošću dati procjena stanja i stupnja iscrpljenja spomenutog parovoda.

Na temelju stečenih saznanja donesena je odluka da se pristupi odgovarajućem ispitivanju parovoda, kako bi se moglo utvrditi njegovo stanje i odrediti stupanj iscrpljenja životnog vijeka. Ispitivanje stanja materijala i mjerenje debljine stijenke proveo je »TPK« Zagreb, OOUR »Zavod za energetsku i procesnu opremu.

Izvršena su mjerenja debljine stijenke ultrazvukom, ispitivanje na pukotine ultrazvukom i metodom mognetofluksa, analiza strukture materijala elektronskim mikroskopom pomoću metalografskih otisaka, te karbida analiza, ispitivanje žilavosti i tvrdoće. U ovom primjeru dani su samo rezultati proračuna stupnja iscrpljenja ispitanog parovoda.

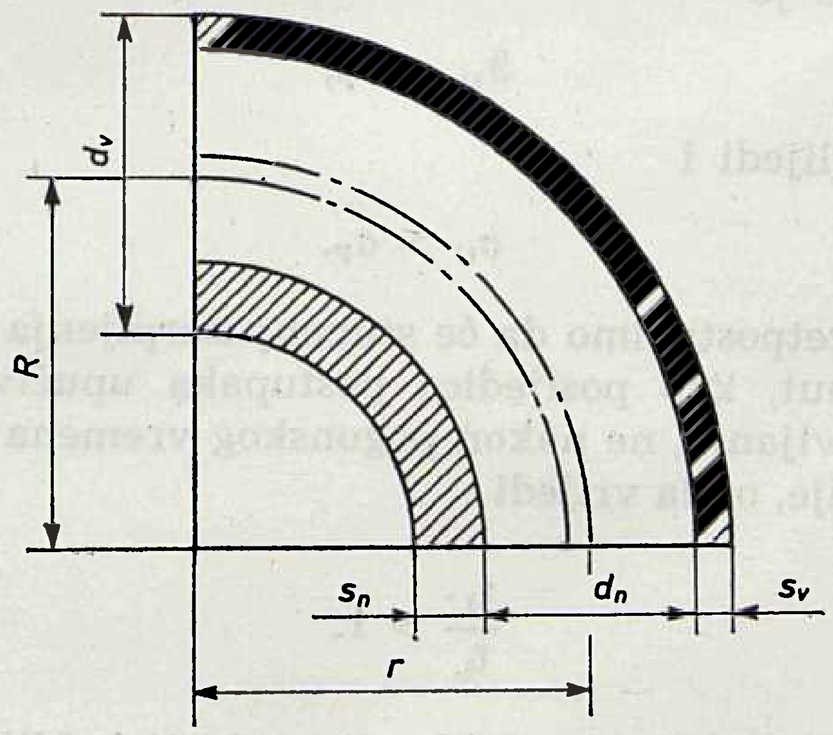
10.1. Proračun naprezanja u stijenkama elemenata parovoda

Maksimalno naprezanje u stijenkama elemenata parovoda vrućeg međupregrijanja proračunato je na mjestima najmanjih izmjerenih debljina stijenke za pojedine elemente. Pri tome je za proračun uzeta minimalna izmjerena debljina stijenke umanjena za iznos dodatka za koroziju i eroziju, jer se smatra da u toku daljnjeg pogona može eventualno doći do smanjejna debljine stijenke za ovaj iznos. Prema propisima prilikom proračuna parovoda treba računati s dodatkom za koroziju i eroziju do maksimalno 1 mm, a budući da je promatrani parovod proveo u eksploataciju otprilike polovinu svog životnog vijeka, za promatranje daljnjeg toka eksploatacije dovoljno je uzeti ovaj faktor u iznosu od 0,5 mm.

Budući da je parovod u toku većeg perioda dosadašnje eksploatacije (otprilike 40.000 sati) radio s parom temperature 540 °C i pritska 2,75 MPa (28 at), a u posljednje vrijeme (oko 6000 sati) radi s parom temperature 535 °C i pritiska 2,55 MPa (26 at), te da nije bilo moguće precizno odrediti vremenske intervale i pripadajuće pogonske parametre s kojima je parovod radio, proračun naprezanja proveden je za ove parametre.

10.1.1. Cijevni lukovi

Naprezanje u stijenkama cijevnih lukova proračunato je, u skladu sa slikom 7, prema ovim izrazima za unutarnju i vanjsku stranu luka:



Sl. 7. Luk parovoda — uzdužni presjek

$$\sigma_n = \frac{p \cdot d_n}{2 \cdot s_n} \cdot \frac{2 \cdot R - 0{,}5 \cdot d_n}{2 \cdot R - d_n - s_n} + \frac{p}{2} \qquad (37)$$

$$\sigma_v = \frac{p \cdot d_n}{2 \cdot s_v} \cdot \frac{2 \cdot R + 0{,}5 \cdot d_n}{2 \cdot R + d_n + s_v} + \frac{p}{2}. \qquad (38)$$

Vanjski promjer lukova iznosi prema dobivenim podacima 419 mm, te je unutarnji promjer računat prema izrazu

$$d_n = d_v - s_{nr\,min} - s_{vr\,min}, \qquad (39)$$

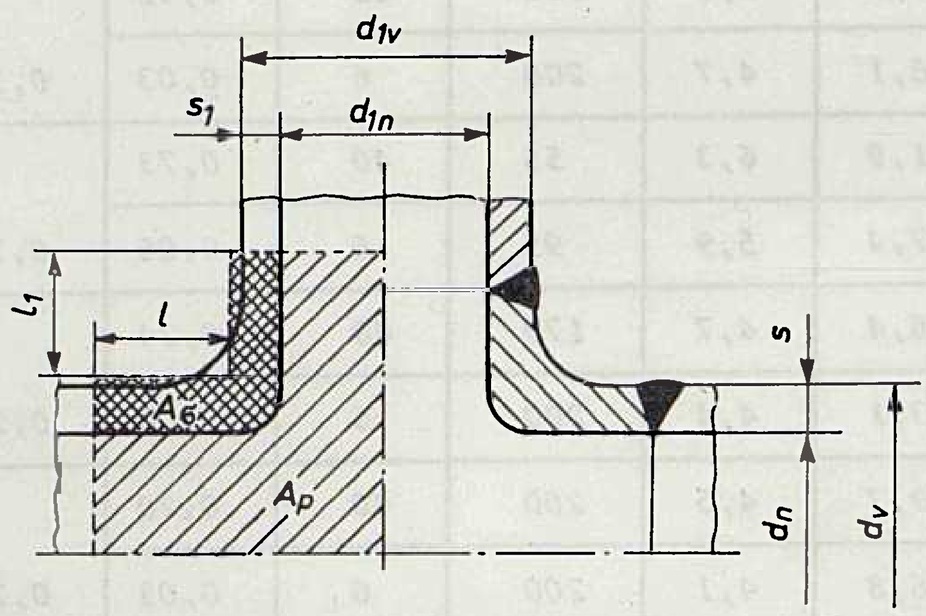
gdje je

$$s_{nr\,min} = s_{n\,min} - c \qquad (40)$$

$$s_{vr\,min} = s_{v\,min} - c \qquad (41)$$

10.1.2. T — komadi

Naprezanje u stijenkama T — komada proračunato je, u skladu sa slikom 8, prema ovim izrazima:



Sl. 8. Shema naprezanja za T-komad

$$\sigma = p \cdot \left(\frac{A_p}{A_\sigma} + \frac{1}{2}\right) \qquad (42)$$

$$A_p = \left(\frac{d_{1n}}{2} + s_1 + 1\right)\frac{d_n}{2} + \left(s + l_1\right)\frac{d_{1n}}{2} \qquad (43)$$

$$A_\sigma = (1 + s_1) \cdot s + l_1 \cdot s_1 \qquad (44)$$

$$1 = \sqrt{(d_n + s) \cdot s} \qquad (45)$$

$$l_1 = 1{,}25\sqrt{(d_{1n} + s_1) \cdot s_1} \qquad (46)$$

Vanjski promjer glavnog dijela T — komada iznosi prema dobivenim podacima 500 mm, a vanjski promjer odvojka 323,9 mm. Unutarnji promjeri računati su prema izrazima

$$d_n = d_v - 2\,s_{r\,min} \qquad (47)$$

$$d_{1n} = d_{1v} - 2\,s_{1r\,min}, \qquad (48)$$

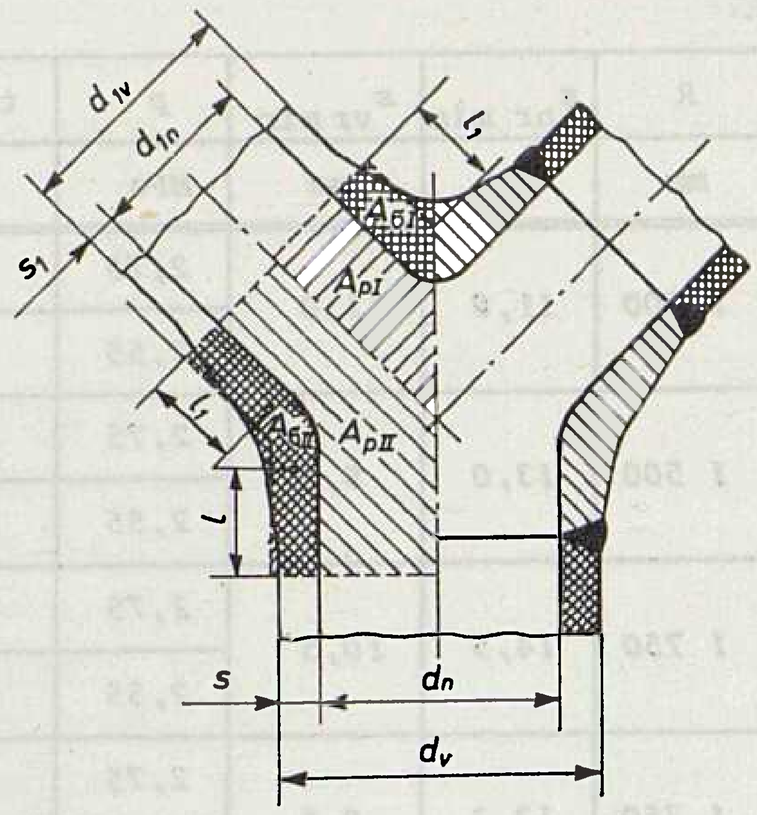
gdje je

$$s_{r\,min} = s_{min} - c \qquad (49)$$

$$s_{1r\,min} = s_{1\,min} - c. \qquad (50)$$

10.1.3. Y — komadi

Naprezanje u stijenkama Y — komada proračunato je, u skladu sa slikom 9, prema ovim izrazima:



Sl. 9. Shema naprezanja za Y-komad

$$1 = \left(1 + 0{,}25\,\frac{\psi\,A}{90°}\right)\sqrt{(d_{1n} + s_1) \cdot s} \qquad (54)$$

$$A_{pI} = \frac{d_{1n}}{2}\left(\frac{d_{1n}}{4} + 180\right) \qquad (55)$$

$$A_{pII} = A_{pI} + \frac{d_n}{2} \cdot 270 \qquad (56)$$

$$A_{\sigma I} = s_1\left(\frac{s_1}{2} + 140\right) \qquad (57)$$

$$A_{\sigma II} = A_{\sigma I} + s \cdot 190. \qquad (58)$$

Promjeri glavnog dijela i odvojaka jesu

$$d_n = 540\,\text{mm}$$
$$d_{1v} = 419\,\text{mm}$$
$$d_{1n} = 389\,\text{mm}$$

10.2 Rezultati proračuna

Svi rezultati proračuna naprezanja, teoretskog životnog vijeka i stupnja iscrpljenja dani su za pojedine elemente promatranog parovoda u tablicama 1, 2 i 3. Iz dobivenih rezultata je vidljivo da je stupanj iscrpljenja životnog vijeka T i Y komada ispod 0,25, dok se kod svih lukova, osim kod luka 2.7 R, stupanj iscrpljenja kreće do 0,41. Stupanj iscrpljenja luka 2.7 R iznosi 0,79. Prema tome, stupanj iscrpljenja je samo za luk 2.7 R veći od 0,6, što predstavlja jedan od kriterija za provođenje posebnih ispitivanja na elementima visokoopterećenih parovoda. Takva ispitivanja su provedena i pokazala su da je materijal promatranog parovoda još u vrlo dobrom stanju.

Na temelju dobivenih rezultata proračuna, uz pretpostavku da parametri koji su uzeti u račun barem približno odgovaraju stvarnim uvjetima eksploatacije, može se zaključiti da će uz sadašnji način vođenja pogona ($t = 535\,°C$, $p = 2{,}55$ MPa) teoretski životni vijek luka 2.7 R biti iscrpljen poslije slijedećih 20 000 sati rada. Nakon isteka ovog perioda treba računati sa zamjenom spomenutog elementa.

Tablica 1.

LUK	R	$s_{nr\ min}$	$s_{vr\ min}$	p	$t+\Delta t$	$\sigma_{n\ max}$	$\sigma_{v\ max}$	σ_{max}	t	t_s	e	e
	mm	mm	mm	MPa	°C	N/mm^2	N/mm^2	kp/mm^2	$x\ 10^3$ h	$x\ 10^3$ h		
2.5 L	1 500	11,8	11,0	2,75	545	51,2	47,8	5,2	120	40	0,33	0,36
				2,55	540	37,5	44,3	4,8	200	6	0,03	
2.5 R	1 500	13,0	9,8	2,75	545	46,3	53,2	5,4	105	40	0,38	0,41
				2,55	540	42,9	49,3	5,0	180	6	0,03	
2.7 L	1 750	14,5	10,5	2,75	545	40,9	49,8	5,1	125	40	0,32	0,35
				2,55	540	37,9	46,1	4,7	200	6	0,03	
2.7 R	1 750	12,3	8,5	2,75	545	49,7	61,9	6,3	55	40	0,73	0,79
				2,55	540	46,1	57,4	5,9	95	6	0,06	
2.8 L	1 750	14,0	11,3	2,75	545	42,4	46,4	4,7	170	40	0,24	0,27
				2,55	540	39,3	43,1	4,4	200	6	0,03	
2.8 R	1 750	13,6	13,3	2,75	545	43,7	39,7	4,5	200	40	0,20	0,23
				2,55	540	40,5	36,8	4,1	200	6	0,03	
2.9 L	2 000	11,5	12,7	2,75	545	51,5	42,2	5,2	120	40	0,33	0,36
				2,55	540	47,7	39,1	4,9	200	6	0,03	
2.9 R	2 000	12,6	13,4	2,75	545	46,9	39,9	4,8	165	40	0,24	0,27
				2,55	540	43,4	37,0	4,4	200	6	0,03	

Tablica 2.

T komad	$s_{r\ min}$	$s_{1r\ min}$	p	$t+\Delta t$	l	l_1	A_p	A_σ	σ_{max}		t	t_s	e
	mm	mm	MPa	°C	mm	mm	mm^2	mm^2	N/mm^2	kp/mm^2	$x\ 10^3$ h	$x\ 10^3$ h	
2.3 L	27,1	18,6	2,75	545	113,2	94,2	78 719	5 324	42,0	4,3	200	40	0,25
			2,55	540					39,0	4,0	200	6	
2.3 R	26,0	18,2	2,75	540	111,0	93,2	78 276	5 055	44,0	4,5	200	40	0,25
			2,55	545					40,8	4,2	200	6	

Tablica 3.

Y komad	s	s_1	p	$t+\Delta t$	l	l_1	A_{pI}	A_{pII}	$A\sigma_I$	$A\sigma_{II}$	σ_I	σ_{II}	t	t_s	e
	mm	mm	MPa	°C	mm	mm	mm^2	mm^2	mm^2	mm^2	N/mm^2	N/mm^2	$x\ 10^3$ h	$x\ 10^3$ h	
1.10	40	35	2,75	545	152	137	53 900	105200	5 500	13 100	28,3	23,5	200	40	0,25
			2,55	540							26,3	21,7	200	6	
1.11	45	35	2,75	545	162	137	53 900	105200	5 500	14 000	28,3	22,0	200	40	0,25
			2,55	540							26,3	20,4	200	6	

Na ovom kao i na ostalim elementima parovoda trebalo bi prilikom svakog godišnjeg remonta provoditi odgovarajuća ispitivanja i kontrolne proračune, kako bi se moglo kontinuirano pratiti iscrpljivanje teoretskog životnog vijeka, te na vrijeme izvršiti zamjena elemenata ili snižavanje pogonskih parametara.

Prilikom razmatranja dobivenih rezultata mora se posebno voditi briga o činjenici da su proračuni provedeni na temelju približno određenih radnih

parametara. Za točan proračun potrebno je provoditi kontinuirano mjerenje i bilježenje pogonskih parametara u toku eksploatacije, te sumirati pogonska vremena u odgovarajuće temperaturne razrede. Također treba bilježiti podatke o trajanju postupaka upućivanja i obustavljanja postrojenja, kao i maksimalnim promjenama temperaturnih nivoa. Samo na temelju ovako prikupljenih podataka može se s većom sigurnošću izračunati stupanj iscrpljenja pojedinih elemenata visokoopterećenog parovoda.

11. ZAKLJUČAK

Na kraju možemo reći da se očekivani odnosno teoretski životni vijek i stupanj iscrpljenja visokoopterećenih parovoda u termoenergetskim postrojenjima mogu odrediti sa zadovoljavajućom točnošću. Točnost određivanja stupnja iscrpljenja u prvom redu ovisi o načinu bilježenja pogonskih parametara, te je za dovoljno točno određivanje potrebno već od samog početka rada termoenergetskog postrojenja osigurati kontinuirano bilježenje pogonskih parametara, i praćenje stanja parovoda. Proračunavanjem stupnja iscrpljenja u određenim vremenskim intervalima dobiva se podatak na temelju kojeg se mogu poduzeti odgovarajuće mjere radi sprečavanja havarija na parovodu. Nadalje, treba naglasiti da je, osim ispitivanja koja su propisana nakon prekoračenja određenog stupnja iscrpljenja , uz proračunavanje stupnja iscrpljenja vrlo korisno provoditi i ispitivanja stanja materijala, kao i mjerenja deformacija i debljine stijenke parovoda. Ovi podaci mogu poslužiti kao potvrda proračunom dobivenih vrijednosti, a posebno su korisni u slučajevima kada se nije provodilo kontinuirano praćeje i bilježenje pogonskih parametara i stanja parovoda od početka eksploatacije.

SIMBOLI

$\sigma_{v/t/\vartheta}$	vremenska čvrstoća za vrijeme t i temperaturu
$\bar{\sigma}_{v/t/\vartheta}$	srednja vrijednost vremenske čvrstoće
σ_o	vremenska čvrstoća koja odgovara vremenu t_o
σ_v	naprezanje na vlak
σ_P	pogonsko naprezanje
σ_U	naprezanje za vrijeme upućivanja i obustavljanja
σ_p	naprezanje izazvano unutarnjim pritiskom
σ_d	dodatno naprezanje
σ_w	nestacionarno toplinsko naprezanje
t	kritično trajanje opterećenja (teoretski životni vijek)
t_s	stvarni životni vijek
$t_{\vartheta/p}$	pogonsko vrijeme kod temperature ϑ i pritiska p
$t_{r/\vartheta/p}$	računski životni vijek kod temperature ϑ i pritiska p
t_P	čisto pogonsko vrijeme
t_U	vrijeme upućivanja i obustavljanja
$t_{L'}$	pogonsko vrijeme uz trajno opterećenje
t_L	ukupni životni vijek
e	stupanj iscrpljenja
e_P	stupanj iscrpljenja za vrijeme pogonskog vremena t_P
e_U	stupanj iscrpljenja za vrijeme ukupnog vremena upućivanja i obustavljanja t_U
v	brzina iscrpljivanja životnog vijeka
v_ϑ	brzina temperaturnih promjena
ϑ_P	pogonska temperatura
ϑ_U	temperatura upućivanja
S	sigurnost
S_t	vremenska sigurnost
m, f	temperaturne funkcije
f'	korigirana temperaturna funkcija
m_P, f_P	temperaturne funkcije kod pogonske temperature
m_U, f_U	temperaturne funkcije kod temperature upućivanja
R	polumjer zakrivljenja luka
d_n	unutarnji polumjer cijevi
d_v	vanjski promjer cijevi
d_{ln}	unutarnji promjer odvojka
d_{lv}	vanjski promjer odvojka
$s_{nr\ min}$	računska minimalna debljina stijenke na unutarnjoj strani luka
$s_{vr\ min}$	računska minimalna debljina stijenke na vanjskoj strani luka
$s_{n\ min}$	minimalna debljina stijenke na unutarnjoj stranilu ka
$s_{v\ min}$	minimalna debljina stijenke na vanjskoj strani luka
$s_{r\ min}$	računska minimalna debljina stijenke cijevi
$s_{lr\ min}$	računska minimalna debljina stijenke odvojka
s_{min}	minimalna debljina stijenke cijevi
$s_{l\ min}$	minimalna debljina stijenke odvojka
s	prosječna debljina stijenke glavne cijevi Y-komada
s_l	prosječna debljina stijenke cijevi račve Y-komada
c	dodatak za eroziju i koroziju
l	noseća dužina glavnog dijela
l_l	noseća dužina odvojka
A_p	površina opterećena pritiskom
A_σ	opterećeni presjek
A_{pI}	površina opterećena pritiskom na strani račve

A_{pII} površina opterećena pritiskom na strani ulaza

$A_{\sigma I}$ opterećeni presjek na strani račve

$A_{\sigma II}$ opterećeni presjek na strani ulaza

$\sigma_{n\,max}$ maksimalno naprezanje na unutarnjoj strani luka

$\sigma_{v\,max}$ maksimalno naprezanje navanjskoj strani luka

σ_{max} maksimalno naprezanje

σ_I maksimalno naprezanje na strani račve

σ_{II} maksimalno naprezanje na strani ulaza

LITERATURA

1. R. Pich: Über die Lebensdauererschöpfung heissdampfführender Druckteile, Brenst.-Wärme-Kraft 16 (1964) Nr 12, December.
2. W. Ruttmann, H. Kaes: Bedeutung der Änderung der Langzeitwerte, Mitteilungen der VGB, Heft 1, Februar 1968.
3. R. Pich: Betrachtungen über die theoretische Lebensdauer von Überhitzerrohren und Heissdampfleitungen, Energie Nr 10, Oktober 1965.
4. Vereinbarung 1967/2 (Dampfkessel) zwischen Fachferband Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau, Düsseldorf; Verein Deutscher Eisenhüttenleute, Düsseldorf; Vereinigung der Grosskesselbesitzer e.V., Essen und der Vereinigung der Technischen Überwachungs-Vereine e.V., Essen.
5. Ergebnisse deutscher Zeitstandversuche langer Dauer, Stahleisen m.b.H., Düsseldorf 1969.
6. DIN 2413, lipanj 1972.
7. TRD 300, travanj 1975.
8. TRD 301, travanj 1979.
9. TRD 301, Anl. 2, listopad 1976.
10. TRD 508, listopad 1978.
11. TRD 508, Anl. 1, listopad 1978.

THEORETICAL INSTALLED LIFE AND WEAR OUT DEGREE OF HIGH-LOADED STEAMLINES IN THERMAL POWER PLANTS

In the article are described methods of calculation for estimating rest installed life of high temperature loaded pipes, ways of collecting necessary data for calculactions and an example of pipe aanlyses in TPP Plomin.

THEORETISCHE LEBENSDAUER UND MATERIALERMÜDUNGSGRAD VON HOCHBELASTETEN DAMPFROHRLEITUNGEN IN WÄRMEKRAFTANLAGEN

Behandelt werden Rechenverfahren zur Ermittlung der Restlebensdauer von Rohrleitungen im Dauerbetrieb bei hohen Temperaturen, und die Methoden zur Erfassung der erforderlichen Berechnungsunterlagen. An einem Beispiel einer bestehenden Rohrleitung im Wärmekraftwerk Plomin wird das Verfahren dargestellt.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И СТЕПЬНЬ ИЗНОСА БЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ПАРОПРОВОДОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В статье описанны расчетные методы наблюдения зад сохранившейся долговечностьютрубопроводов, подвергнутых построянно напряжению при высоких температурах, способ сбора необходимой информации для расчетов, а также примерный анализ трубопровода на ТЭС »Пломин«.

Naslov pisca:
Marino Balog, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu Zagreb

Energija God. (1981) br. 3—4, 107—113

KARAKTERISTIKE RAZNIH SHEMA AUTOMATSKE REGULACIJE NAPAJANJA GENERATORA PARE S BUBNJEM

Marijan Arnold, Zagreb

UDK 621.181—52

U članku se analizira klasična trokomponentna shema automatske regulacije napajanja. Prikazan je način određivanja parametara podešenja regulatora, a prikazane su i neke varijante trokomponentne sheme i njihove karakteristike.

UVOD

Zadaća automatske regulacije napajanja generatora pare jest održavanje materijalne ravnoteže između proizvedene pare i dovedene napojne vode. Parametar koji karakterizira materijalnu ravnotežu kod generatora pare s bubnjem jest razina vode u bubnju. Dozvoljeno odstupanje razine vode u bubnju od zadane vrijednosti je relativno manje kod generatora pare velike proizvodnje, a relativno veće kod generatora pare male proizvodnje, a ovisi o konstrukciji generatora pare.

Dobrota automatske regulacije napajanja određuje se ne samo na osnovi točnosti održavanja razine na zadanoj vrijednosti, nego i ravnomjernošću protoka napojne vode.

Odstupanje razine izvan dozvoljenih granica može prouzročiti oštećenje cijevi isparivača ako se naruši cirkulacija vode u tim cijevima, odnosno ulazak u pregrijač, čime dolazi do naglog hlađenja cijevi, taloženja soli i opet oštećenja. Velike varijacije protoka napojne vode izazivaju termička naprezanja u stijenkama cijevi ekonomajzera i mogu dovesti do njihovih oštećenja.

Osnovne sheme automatske regulacije razine vode u bubnju generatora pare

U početku razvoja kotlogradnje za automatsku regulaciju razine u bubnju koristila se jednoimpulsna shema automatske regulacije. To je regulacija na čvrstu zadanu vrijednost. Regulirana veličina je razina vode u bubnju i nije korišten signal nikakve poremećajne veličine, kao ni povratna veza. Ta shema se danas koristi kod generatora pare male proizvodnje i niskih parametara pare, tj. tamo gdje se postavljaju maleni zahtjevi na regulaciju, a količina vode u bubnju je relativno velika u odnosu prema ukupnom volumenu vode u generatoru pare. Regulator je P ili PI. P-regulatori zbog ostatne statičke regulacije ne mogu se uvijek primijeniti.
Kod generatora pare manje proizvodnje s većim zahtjevima na dobrotu automatske regulacije, kao i kod generatora pare srednje proizvodnje koriste se dvoimpulsne sheme automatske regulacije. Ovdje razlikujemo dva rješenja. Prvo rješenje je shema sa signalom položaja ventila kao čvrstom povratnom vezom.

Drugo rješenje je shema regulacije na čvrstu zadanu vrijenost, sa signalom protoka napojne vode ili signalom opterećenja u obliku signala protoka pare kao signalom poremećajne veličine.

Ovdje se koristi P-regulator. Kao što kod jednoimpulsne sheme I-član PI-regulatora omogućuje likvidaciju statičke greške, tako to isto čini i korekcioni signal opterećenja (signal smetnje) kod primjene P-regulatora u dvoimpulsnoj shemi.

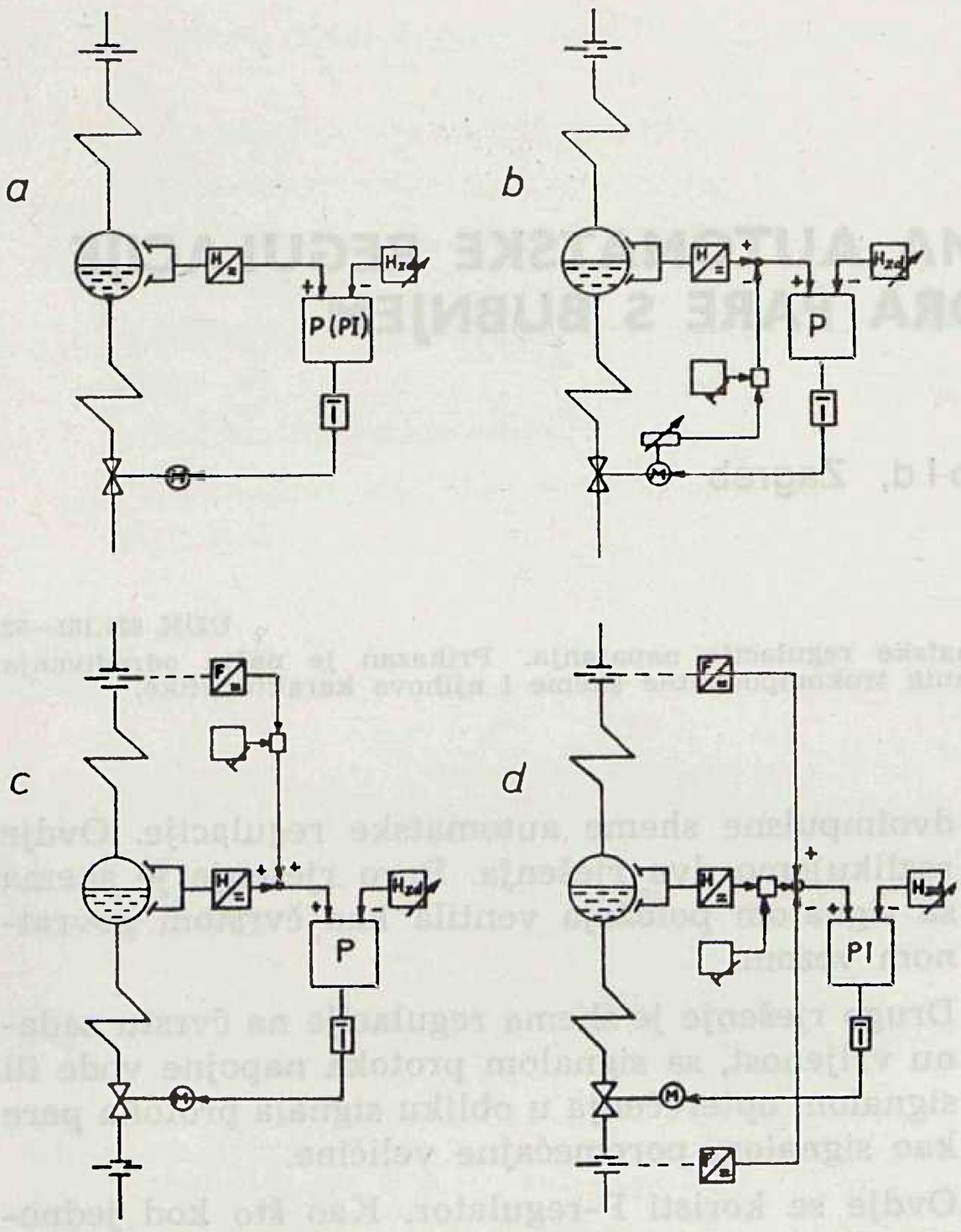
Najrasprostranjenija shema regulacije je trokomponentna shema koja predstavlja shemu regulacije na čvrstu zadanu vrijednost, a signali protoka pare (opterećenja) i napojne vode priključeni su kao signali poremećajne veličine.

Kod klasične trokomponentne sheme signali protoka pare i napojne vode priključeni su jedan nasuprot drugog i njihova razlika se uvodi, odnosno koristi u regulatoru kao signal poremećajne veličine.

Slika 1 prikazuje sve 4 spomenute sheme regulacije razine vode u bubnju generatora pare.

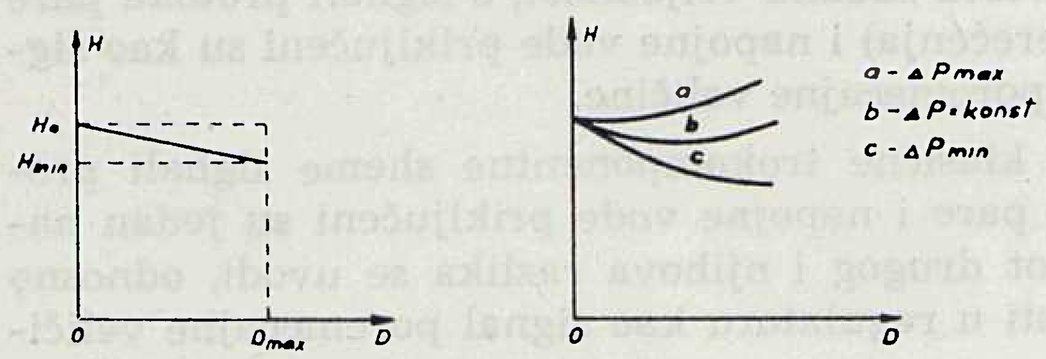
Statičke karakteristike sistema automatske regulacije razine vode u bubnju

Dok se u krugovima regulacije razine zbog integrirajuće karakteristike objekta regulacije ne može koristiti regulator I zakona reguliranja, dotle se kod korištenja P-regulatora regulirana veličina ne vraća na svoju osnovnu vrijednost, već ostaje veće ili manje statičko odstupanje (greška regulacije) koje ovisi o koeficijentu pojačanja P-regulatora. Maksimalno statičko odstupanje odgovara promjeni položaja regulacionog organa iz jednog krajnjeg položaja u drugi. Povećanjem statičkog odstupanja povećava se stabilnost regulacionog kruga, ali je to u suprotnosti s tehnološkim zahtjevom na regulaciju.



Sl. 1. Shema automatske regulacije razine vode u bubnju generatora pare

a) jednoimpulsna shema — regulacija na čvrstu vrijednost; b) dvoimpulsna shema — sa čvrstom povratnom vezom po položaju regulacionog ventila — regulacija na čvrstu vrijednost; c) dvoimpulsna shema — sa signalom po protoku pare (opterećenju) kao signalom smetnje — regulacija na čvrstu vrijednost; d) troimpulsna (trokomponentna) klasična shema



Sl. 2. Statičke karakteristike automatske regulacije razine vode u bubnju generatoda pare s P-regulatorom

a) jednoimpulsne sheme; b) dvoimpulsne sheme s korekcionim signalom po protoku pare (opterećenju) kao signalom smetnje

Slika 2. prikazuje statičku karakteristiku jednoimpulsne regulacije razine vode u bubnju s P-regulatorom, kao i statičku karakteristiku dvoimpulsne sheme regulacije sa P-regulatorom i korekcionim signalom protoka pare (opterećenja) kao signalom poremećajne veličine. Slika 2b prikazuje tri krivulje, od kojih srednja odgovara konstantnom padu tlaka napojne vode na regulacionom ventilu, a vanjske krivulje odgovaraju maksimalnom, odnosno minimalnom padu tlaka (L 3).

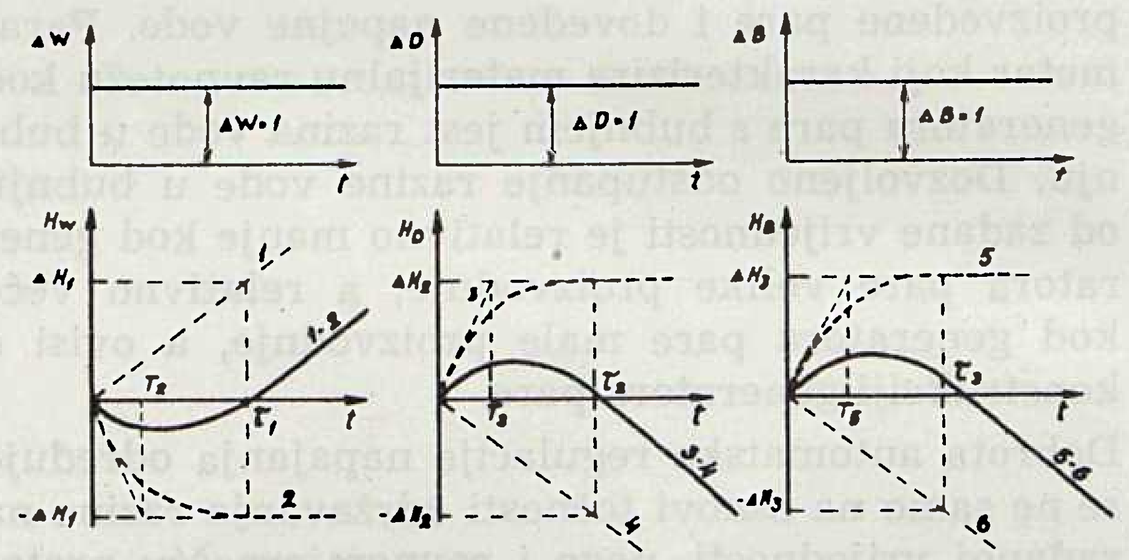
Strukturna shema reguliranog objekta

Strukturna shema reguliranog objekta može se odrediti na bazi poznatih odziva regulirane veličine na skokovite promjene poremećajne veličine. Pri tome pod poremećajnim veličinama razumijevamo one pogonske veličine koje preko reguliranog objekta utječu na reguliranu veličinu. Ujedno kao poremećajne veličine treba odabrati takve pogonske veličine koje je moguće razmjerno jednostavno izmjeriti. Odzivi regulirane veličine aproksimiraju se s jednom ili više prenosnih karakteristika poznatih objekata, dakle poznatih prijenosnih funkcija. Kombiniranjem tih poznatih prijenosnih funkcija dobivamo prijenosnu funkciju reguliranog objekta po dotičnom kanalu poremećajne veličine.

Kod regulacije razine vode u bubnju generatora pare regulaciona veličina — razina mijenja se zbog promjena ovih signala poremećajne veličine:

— protoka napojne vode
— protoka pare (poremećaj potrošnjom)
— količine goriva dovedenog u ložište generatora pare.

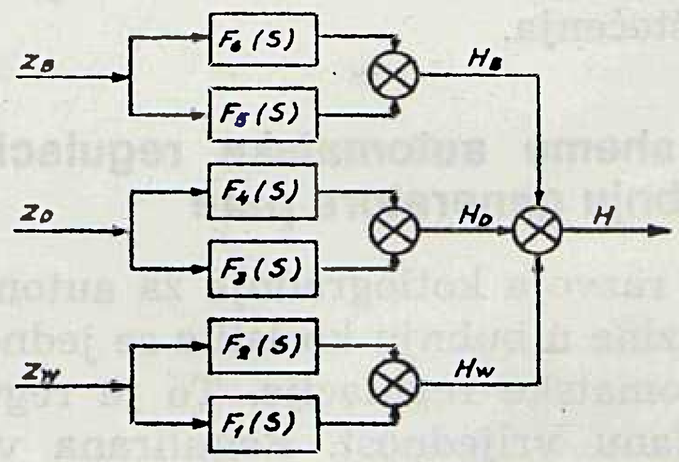
Na skokovite promjene signala poremećajnih veličina koje su gore navedene dobiju se odzivi prikazani na sl. 3.



Sl. 3. Odvizi razine vode u bubnju generatora pare na skokovite promjene signala smetnji

a) protoka napojne vode; b) protoka pare (opterećenja); c) količine goriva dovedene u ložište generatora pare

Budući da sve ove poremećajne veličine djeluju paralelno na reguliranu veličinu, moguće je strukturnu shemu objekta regulacije razine vode u bubnju generatora pare prikazati na način kao u sl. 4.



Sl. 4. Strukturna shema reguliranog objekta automatske regulacije razine vode u bubnju generatora pare

Matematički izrazi pojedinih prijenosnih funkcija dobiveni su aproksimacijom krivulja odziva krivuljama poznatih prijenosnih funkcija.

Na toj osnovi dobivamo:

$$F_w = \frac{1}{T_1 s} - \frac{k_1}{T_2 s + 1},$$

prijenosnu funkcija objekta regulacije razine vode u bubnju po kanalu poremećajne veličine protoka napojne vode.

$$F_D = \frac{k_3}{T_3 s + 1} - \frac{1}{T_4 s},$$

prijenosnu funkciju objekta regulacije razine vode u bubnju po kanalu poremećajne veličine protoka pare (opterećenja).

$$F_B = \frac{k_5}{T_5 s + 1} - \frac{1}{T_6 s},$$

prijenosnu funkciju objekta regulacije razine vode u bubnju po kanalu poremećajne veličine količine goriva dovedene u ložište generatora pare.

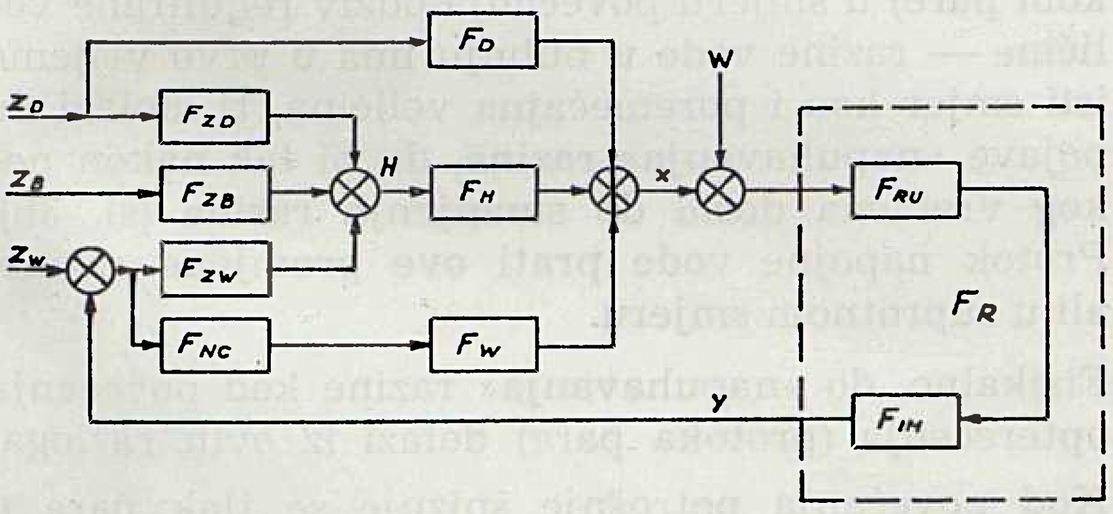
Iz navedenog se vidi da je svaka krivulja odziva aproksimirana jednom krivuljom integralnog sklopa i jednom krivuljom inercionog sklopa prvog reda.

Parametri T_2, T_3 i T_5 prijenosnih funkcija očitavaju se iz krivulja odziva regulirane veličine na skokovitu promjenu poremećajne veličine, a parametri T_1, T_4 i T_6 određuju se na osnovi relacija

$$\tau_1 = \frac{\Delta H_1 \cdot T_1}{\Delta W}, \quad \tau_2 = \frac{\Delta H_2 \cdot T_4}{\Delta D}, \quad \tau_3 = \frac{\Delta H_3 \cdot T_6}{\Delta B}.$$

Strukturna shema sustava automatske regulacije

Na bazi sheme regulacije i strukturne sheme objekta regulacije, koristeći se prijenosnim funkcijama pojedinih objekata i elemenata regulacionog kruga i uzimajući u obzir mjesta priključka mjernih pretvornika regulacione veličine, mjernih pretvornika signala smetnji te mjesta zahvata regulacionog organa u tehnološkoj shemi, dobiva se strukturna shema sustava automatske regulacije.

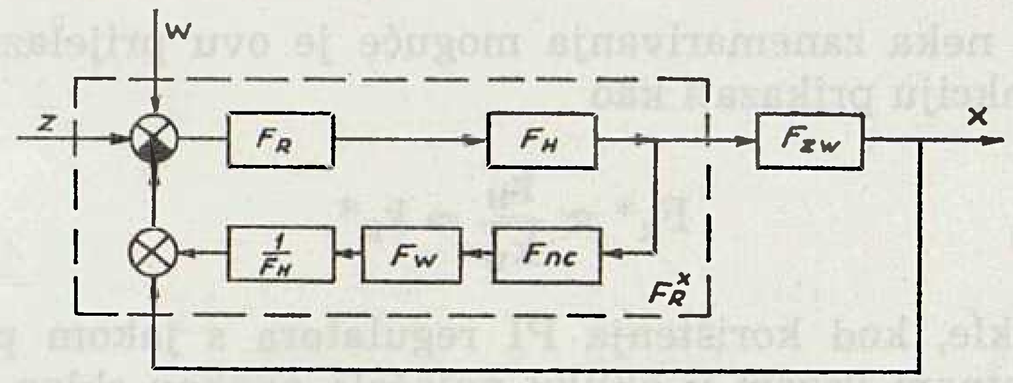


Sl. 5. Strukturna shema sustava trokomponentne regulacije razine vode u bubnju generatora pare

F_{ZD} — prenosna funkcija objekta po kanalu smetnje protokom pare; F_{ZB} — prenosna funkcija objekta po kanalu smetnje količinom goriva; F_{ZW} — prenosa funkcija objekta po kanalu protokom napojne vode; F_D — prenosna funkcija davača protoka pare; F_H — prenosna funkcija davača razine u bubnju; F_W — prenosna funkcija davača protoka napojne vode; F_{NC} — prenosna funkcija napojnog cjevovoda između regulacionog organa i mjernog organa; F_{RU} — prenosna funkcija regulatora kao uređaja; F_{IM} — prenosna funkcija izvršnog mehanizma

Slika 5. prikazuje strukturnu shemu sustava automatske regulacije razine vode u bubnju generatora pare s trokomponentnom regulacijom.

Ovako dobivena strukturna shema sustava automatske regulacije jest mnogokonturna. Da bi se takva shema mogla koristiti za razmatranje načina i metode određivanja podešenja regulatora, treba mnogokonturnu shemu pretvoriti u ekvivalentnu



Sl. 6. Ekvivalentna jednokonturna strukturna shema sustava trokomponentne regulacije razine vode u bubnju generatora pare

jednokonturnu shemu po kanalu upravljačkog djelovanja, odnosno po kanalu smetnji.

Takvu ekvivalentnu jednokonturnu strukuturnu shemu sustava automatske regulacije razine vode u bubnju s trokomponentnim regulatorom prikazuje sl. 6.

Određivanje parametara podešenja regulatora trokomponentne sheme regulacije razine vode u bubnju generatora pare

Iz ekvivalentne jednokonturne strukturne sheme automatske trokomponentne regulacije razine vode u bubnju prikazane na sl. 6. vidi se da postoje dva kruga regulacije: unutarnji i vanjski.

Unutarnji krug regulacije čine regulator prenosne funkcije F_R, mjerni pretvornik razine vode prenosne funkcije F_H, dio napojnog cjevovoda između regulacionog organa i mjerne prigušnice F_{NC}, mjerni pretvornik protoka napojne vode prenosne funkcije F_W i sklop kojeg karakterizira prenosna funkcija $1/F_H$.

Po dinamičkim svojstvima mjerni pretvornici mogu se smatrati pojačalima, jer su im vremenske konstante u usporedbi s vremenskim konstantama reguliranog objekta zanemarivo malene.

Na bazi toga mogu se prijenosne funkcije mjernih pretvornika pisati u obliku:

$$F_H = k_H$$
$$F_W = k_W$$
$$F_D = k_D$$

Prijenosna funkcija dijela napojnog cjevovoda između regulacionog organa i mjerača protoka može se aproksimirati funkcijom inercionog sklopa prvog reda, tj.

$$F_{NC} = \frac{1}{T_{NC} s + 1},$$

Vanjski krug regulacije čine regulator prenosne funkcije F_R, mjerni pretvornik razine vode prenosne funkcije F_H i regulirani objekt prenosne funkcije F_{ZW}.

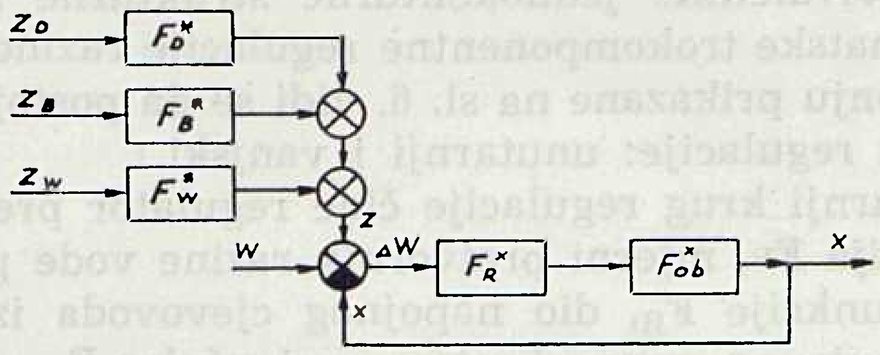
Budući da su prijenosne funkcije $1/F_H$ i F_W prijenosne funkcije pojačala, a tromost dijela napojnog cjevovoda između mjerne prigušnice i regulacionog organa zanemarivo malena u usporedbi s tromosti reguliranog objekta prenosne funkcije F_{ZW}, to prijelazni procesi u unutarnjem krugu kod vanjskih smetnji završavaju ranije od prijelaznih procesa u vanjskom krugu. Stoga prijelaznu funkciju F_R^* unutarnjeg kruga možemo smatrati prijelaznom funkcijom zamišljenog regulatora vanjskog kruga.

Uz neka zanemarivanja moguće je ovu prijelaznu funkciju prikazati kao

$$F_R^* \approx \frac{k_H}{k_W} = k_R^*.$$

Dakle, kod korištenja PI regulatora s jakom povratnom vezom u obliku pojačala ovakav sklop se može smatrati zamišljenim P-regulatorom s prijenosnom funkcijom k_R^*. Koeficijent pojačanja zamišljenog regulatora određuje se odnosom koeficijenata pojačanja mjernih pretvornika razine vode i protoka napojne vode.

Na bazi gornjeg strukturna shema automatske trokomponentne regulacije razine vode u bubnju generatora pare može se prikazati u obliku standardne strukturne sheme jednokonturnog sistema automatske regulacije s ekvivalentnim (zamišljenim) regulatorom i reguliranim objektom po kanalu poremećajne veličine protoka napojne vode (sl. 7).



Sl. 7. Standardna strukturna shema jednokonturnog sustava automatske regulacije s ekvivalentnim regulatorom i ekvivalentnim objektom regulacije

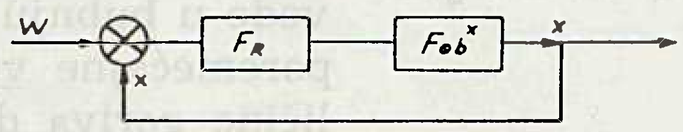
Parametri podešenja ekvivalentnog regulatora vanjskog tromog regulacionog kruga određuju se prema podacima koji su određeni iz snimljene krivulje odziva signala razine na poremećajnu veličinu unesenu skokovitom promjenom protoka napojne vode, tj. na osnovi vremena kašnjenja i vremenske konstante odziva reguliranog objekta τ_{ob} i T_{ob}.
Prema jednoj od poznatih metoda za aperiodičke procese regulacije (pomoću formula ili monograma) određuje se optimalan koeficijent pojačanja $k_R^*{}_{opt}$ za P regulator objekta bez izjednačenja na osnovi odnosa τ_{ob}/T_{ob}.
Uz $k_H = 1$ pomoću $k_Q^*{}_{opt}$ određuje se potrebni koeficijent pojačanja mjernog pretvornika $k_W = 1/k_Q^*{}_{opt}$ protoka napojne vode, a time prema uvjetu $k_W = k_D$ i potrebni koeficijent pojačanja mjernog pretvornika protoka pare. Koeficijent pojačanja mjernog pretvornika u radnoj točki određuje se strminom karakteristike pretvornika u toj točki:

$$\gamma = \frac{\Delta U}{\Delta X}.$$

Da bi se izjednačili koeficijenti pojačanja mjernih pretvornika, signali mjernih pretvornika vode se preko potenciometara za postavljanje udjela signala:

$$k_D = k_W = \alpha_D \cdot U_D = \alpha_W \cdot U_W.$$

Parametri podešenja realnog regulatora unutarnjeg brzog regulacionog kruga određuju se prema podacima koji su određeni iz snimljene krivulje odziva reguliranog objekta — u ovom slučaju dijela napojnog cjevovoda između regulacionog ventila i mjesta mjerenja protoka — na skokovit poremećaj položajem regulacionog ventila (sl. 8).



Sl. 8. Strukturna shema brzog unutarnjeg kruga automatske trokomponentne regulacije razine vode u bubnju generatora pare s realnim PI-regulatorom i ekvivalentnim objektom regulacije

Regulator u ovoj shemi je realni PI-regulator s prenosnom funkcijom F_R, a objekt regulacije ima prijenosnu funkciju

$$F_{ob}^{**} = F_W \cdot F_{NC}.$$

Uz vremensku konstantu T i vrijeme kašnjenja τ objekta pomoću poznatih metoda određuju se parametri realnog regulatora. Budući da je objekt regulacije vrlo brz, često je teško ili čak nemoguće snimiti krivulju odziva na poremećajnu veličinu i tada se podešenje određuje eksperimentalnim putem.

Ponašanje regulacione staze trokomponentne regulacije razine vode u bubnju

Kod skokovitog poremećenja opterećenja (protokom pare) u smjeru povećanja odziv regulirane veličine — razine vode u bubnju ima u prvo vrijeme isti smjer kao i poremećajna veličina, tj. dolazi do pojave »napuhavanja« razine, da bi tek nakon nekog vremena došlo do smanjenja razine (sl. 3b). Protok napojne vode prati ove promjene razine, ali u suprotnom smjeru.

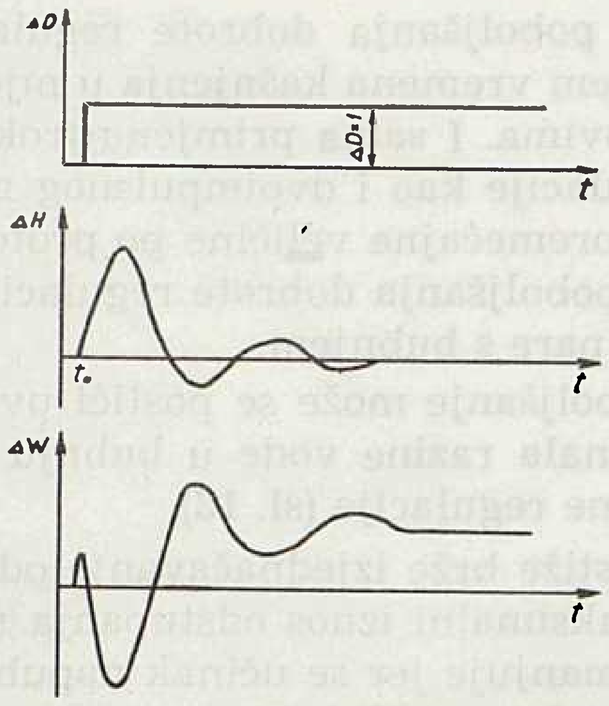
Fizikalno, do »napuhavanja« razine kod povećanja opterećenja (protoka pare) dolazi iz ovih razloga:

Kod povećanja potrošnje snizuje se tlak pare u bubnju kotla. To sniženje tlaka izaziva odgovarajuće povećanje specifičnog volumena pare i paro-vodene smjese. Osim toga pri sniženju tlaka snizuje se i temperatura ključanja vode, pa dolazi do dodatne proizvodnje pare na račun akumulirane topline. Povećanje volumena pare u cirkulacionom krugu isparivača, zbog povećanja sadržaja pare i specifičnog volumena, izaziva u prvi čas povećanje razine vode u bubnju generatora pare.

Pri smanjenju potrošnje tlak raste pa su odgovarajući efekti suprotni.

Tek nakon nekog vremena razina vode u bubnju počinje se mijenjati u stranu koju određuje predznak materijalne neravnoteže.

Slika 9. prikazuje krivulje prijelaznih procesa regulacije razine u bubnju i protoka napojne vode kod skokovite smetnje povećanja protoka pare.



Sl. 9. Krivulje prelaznih procesa regulacije razine vode u bubnju generatora pare i protoka napojne vode kod skokovite smetnje povećanja protoka pare

Poboljšanje rada trokomponentne regulacije razine vode u bubnju generatora pare

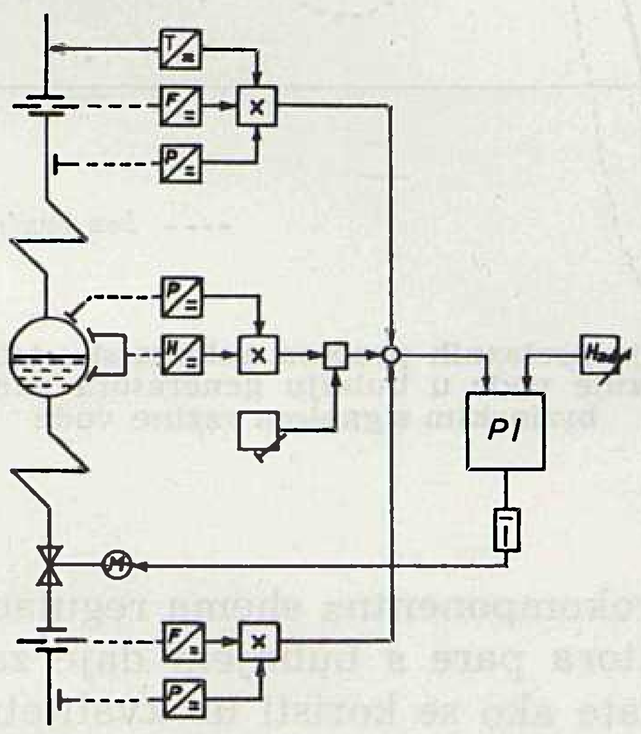
Poboljšanja su moguća u tri smjera:

— u smjeru poboljšanja statičkih svojstava regulatora
— u smjeru poboljšanja rada kod manjih promjena oko stacionarne točke rada
— u smjeru poboljšanja rada kod velikih promjena opterećenja.

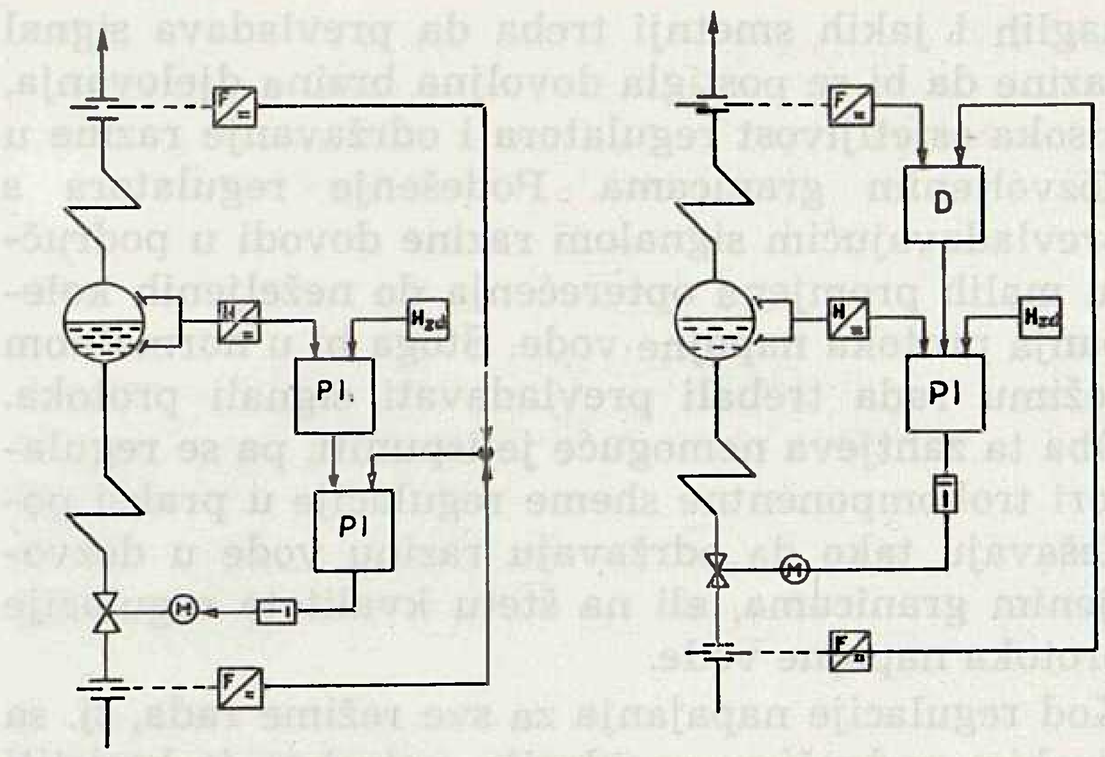
Poboljšanje statičkih svojstava regulatora

Bolja statička svojstva trokomponentne regulacije postižu se:

— primjenom mjernih pretvornika protoka napojne vode i pare sa strogo linearnim karakteristikama u cijelom radnom području, kako se razina vode u bubnju ne bi održavala sa statičkom greškom razlike signala protoka
— primjenom pretvornika protoka istih mjernih područja na generatorima pare gdje se napajanje, odnosno odvođenje pare vrši u dvije ili više paralelnih grana
— primjenom korekcionih uređaja koji korigiraju signal:
  — razine vode po signalu tlaka
  — protoka napojne vode po signalu tlaka
  — protoka pare po signalu tlaka i temperature



Sl. 10. Shema automatske trokomponentne regulacije razine vode u bubnju generatora pare kod korištenja korekcionih uređaja za korekciju sva tri signala sheme



Sl. 11. Varijante sheme automatske trokomponentne regulacije razine vode u bubnju generatora pare
a) kaskadna shema automatske regulacije napajanja; b) shema automatske regulacije napajanja s diferencijatorom u krugu razlike signala protoka

— primjenom kaskadne sheme regulacije napajanja, kad su korišteni kvadratični pretvornici protoka, u kojoj je statička greška uklonjena zahvaljujući primjeni dodatnog PI-regulatora u kanalu signala razine vode (slika 11a). U ovom se slučaju materijalna ravnoteža održava regulatorom napajanja na čiji se ulaz dovode ovi signali: zadajući signal opterećenja (protoka pare), povratni signal protoka napojne vode i korekcioni signal po razini od PI-regulatora. Kod bilo kakvog odstupanja razine u bubnju od zadane vrijednosti izlazni signal PI-regulatora neprestano raste zahvaljujući integrirajućoj komponenti izlaznog signala, dok se ne uspostavi normalna vrijednost razine.
U ravnotežnom položaju razina se uvijek održava u odnosu na zadanu vrijednost, a razlika između obaju signala protoka kompenzira se korekcionim signalom.
Međutim, serijski spoj dvaju integracionih sklopova (regulatora i objekta) može dovesti do nestabilnosti regulacionog kruga.
— primjenom sheme s diferencijatorom u krugu razlike signala protoka (sl. 11.b) u slučaju korištenja nekvalitetnih, odnosno kvadratičnih pretvornika protoka.
U ravnotežnom režimu izlazni signal diferencijatora je jednak nuli, bez obzira na razliku apsolutnih vrijednosti signala protoka.
Obje navedene sheme pokazuju poboljšanje statičkih svojstava regulacionog kruga na taj način što u ravnotežnom stanju prevladava signal razine nad signalima protoka. U prvom slučaju (slika 11.a) to se postiže znatnim povećavanjem signala razine, a u drugom slučaju (sl. 11.b) smanjivanjem signala protoka do nule.

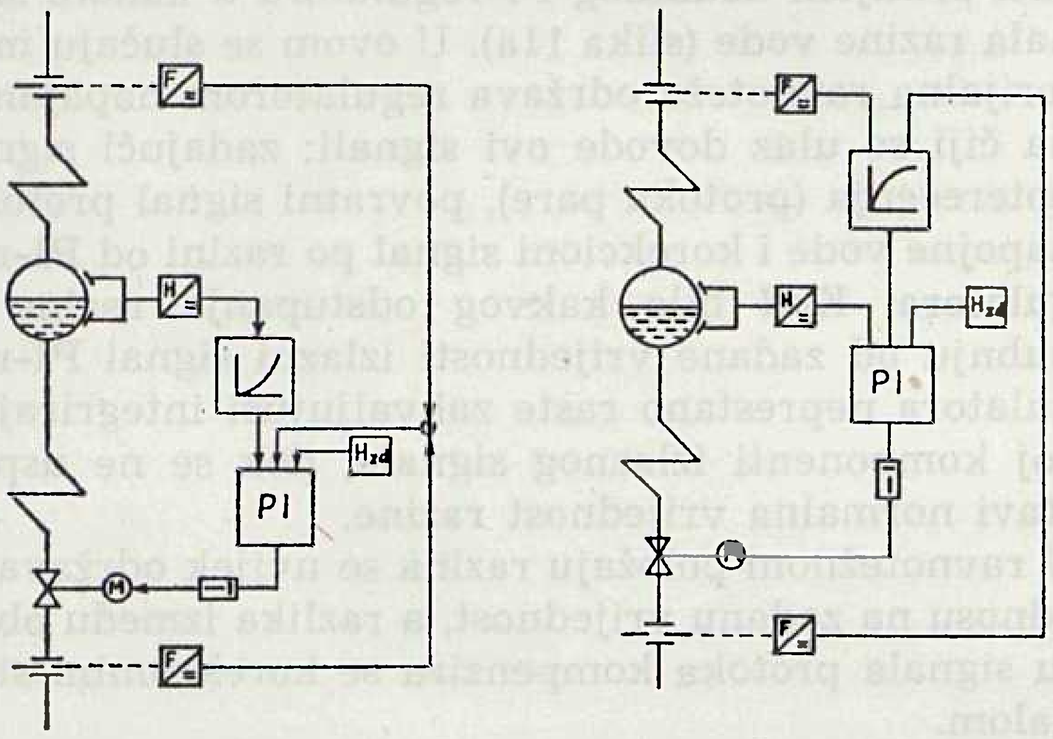
Poboljšanje rada regulacije napajanja kod malih promjena opterećenja

Kako je prije u točki »Određivanje parametara podešenja regulatora trokomponentne regulacije . . .« navedeno, dinamičko podešavanje vanjskog tromog kruga regulacije napajanja određuje se odnosom koeficijenta pojačanja kanala razine i protoka. Kod

naglih i jakih smetnji treba da prevladava signal razine da bi se postigla dovoljna brzina djelovanja, visoka osjetljivost regulatora i održavanje razine u dozvoljenim granicama. Podešenje regulatora s prevladavajućim signalom razine dovodi u području malih promjena opterećenja do neželjenih kolebanja protoka napojne vode. Stoga bi u normalnom režimu rada trebali prevladavati signali protoka. Oba ta zahtjeva nemoguće je ispuniti, pa se regulatori trokomponentne sheme regulacije u praksi podešavaju tako da održavaju razinu vode u dozvoljenim granicama, ali na štetu kvalitete regulacije protoka napojne vode.

Kod regulacije napajanja za sve režime rada, tj. sa širokim područjem regulacije, potrebno je koristiti regulatore s automatskom promjenom parametara podešenja ili adaptivne regulatore.

Navedeni problem moguće je riješiti i primjenom nelinearnih članova u kanalu signala razine vode, odnosno u kanalu razlike protoka napojne vode i pare (slika 12.a). Nelinearnim članom postiže se



Sl. 12. Varijante shema automatske trokomponentne regulacije razine vode u bubnju generatora pare uz primjenu nelinearnih članova

a) nelinearni član u krugu signala razine vode; b) nelinearni član u krugu razlike signala protoka

promjenljiv koeficijent pojačanja signala danog kanala. U normalnim radnim uvjetima pojačanje signala razine je maleno. Kod velikih odstupanja razine od zadane vrijednosti pojačanje signala je veliko, pa je i djelovanje regulatora brzo, čime se postiže brza promjena protoka napojne vode, a razina vode se zadržava u dozvoljenim granicama.

Isti efekt postiže se korištenjem nelinearnog člana u kanalu razlike signala protoka pare i napojne vode (sl. 12.b). Nelinearni član u ovom slučaju mora biti član sa zasićenjem. Kod povećanja razlike signala koeficijent pojačanja se smanjuje, što ima efekt jednak povećavanju koeficijenta pojačanja kanala signala razine u prvoj shemi.

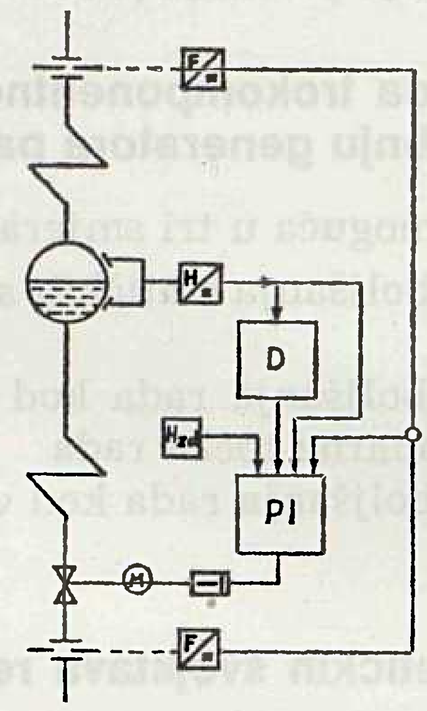
Poboljšanje rada regulacije napajanja kod naglih promjena opterećenja

Nagle promjene opterećenja generatora pare predstavljaju najneugodnije smetnje u krugu regulacije napajanja.

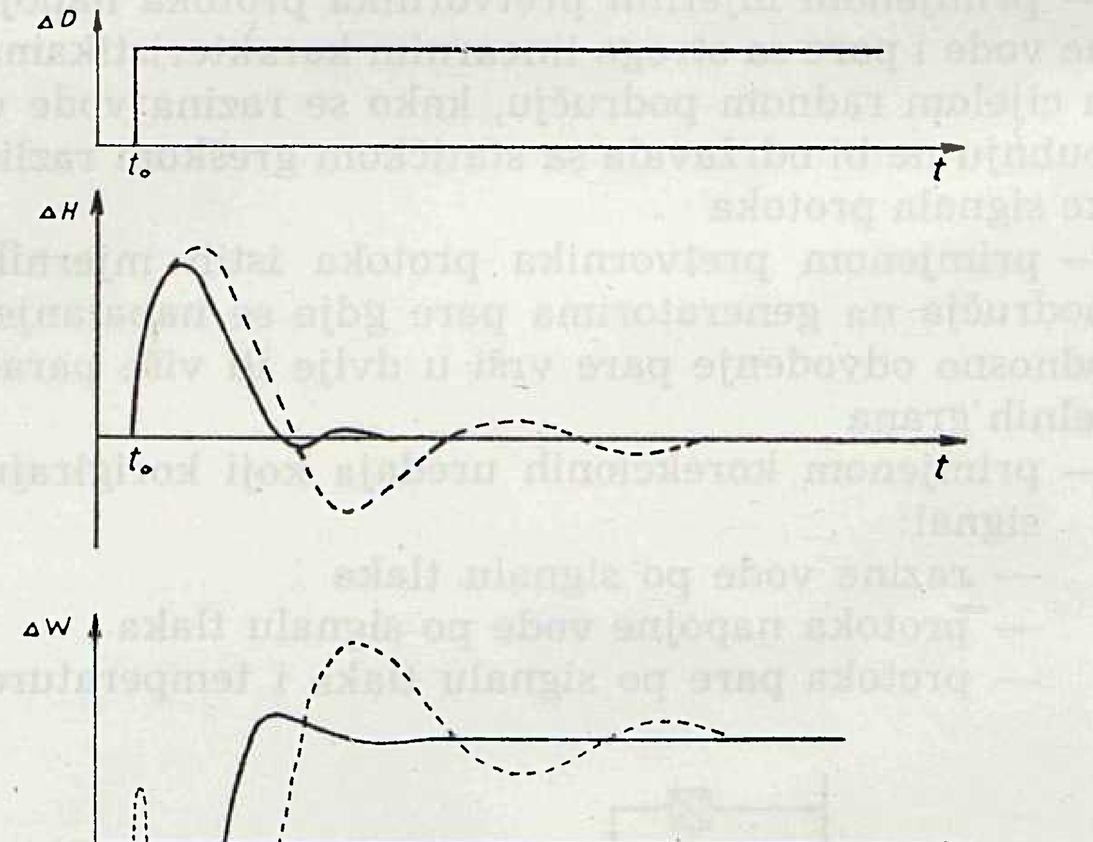
Znatna se poboljšanja dobrote regulacije postižu smanjivanjem vremena kašnjenja u mjernim i izvršnim krugovima. I sama primjena trokomponentne sheme regulacije kao i dvoimpulsnog regulatora sa signalom poremećajne veličine po protoku pare dovela je do poboljšanja dobrote regulacije napajanja generatora pare s bubnjem.

Daljnje poboljšanje može se postići uvođenjem brzinskog signala razine vode u bubnju u krug trokompenentne regulacije (sl. 13).

Time se postiže brže izjednačavanje odstupanja razine, ali maksimalni iznos odstupanja razine tek se neznatno smanjuje jer se učinak napuhavanja razine ne može odstraniti (sl. 14).



Sl. 13. Varijanta sheme automatske trokomponentne regulacije razine vode u bubnju generatora pare s dodatnim brzinskim signalom razine vode



Sl. 14. Krivulje prelaznih procesa automatske trokomponentne regulacije razine vode u bubnju generatora pare s dodatnim brzinskim signalom razine vode

Zaključak

Klasična trokomponentna shema regulacije napajanja generatora pare s bubnjem daje zadovoljavajuće rezultate ako se koristi uz kvalitetne linearne pretvornike signala i uz korektore tih signala signalima po tlaku ili temperaturi. U slučajevima na-

ročito velikih i brzih promjena opterećenja kao regulatore napajanja treba koristiti regulatore s automatskom promjenom podešenja s promjenom opterećenja ili pak adaptivne regulatore.

Najčešća greška kod ocjenjivanja dobrote regulacije napajanja generatora pare s bubnjem i time u vezi podešenja regulatora čini se usredotočenjem pažnje na postizavanje minimalno mogućih otklona razine, a zanemarivanjem kvalitete regulacije protoka napojne vode.

Rezultat podešenja regulacije napajanja mora biti kompromis između održavanja razine unutar dozvoljenih granica i kvalitete regulacije protoka napojne vode. Pri tome treba imati na umu da je osnovna zadaća regulacije napajanja održavanje materijalne ravnoteže ulaznog i izlaznog medija.

LITERATURA

1. M. Arnold: Podešavanje regulatora — materijal za internu upotrebu u Elektroprivredi Zagreb, Zagreb, kolovoza 1979.
2. E. Z. Gurjević i L. I. Rađuk: Sastojanie, perspektivi razvitija i tehniko-ekonomičeskaja ocjenka avtomatizaciji pitanija barabanih parogeneratorov, Minsk, 1974.
3. A. S. Kljujev i A. G. Tovarnov: Naladka sistem avtomatičeskogo regulirovanija kotloagregatov, Energija Moskva, 1970.
4. L. F. Gilbert: Three — element feedwater controls reduce startup and maintenance costs, Power Engeenering 1972, Nr. 4.
5. — Standard — regelsystem für Kompakt — Kessel, Siemens AG, Karlsruhe, 1973.
6. Dampferzeuger Regelung — Trommelwasserstand Regelung VDI/VDE Richtlinien Juni 1962, VDI/VDE 3502.

CHARACTERISTICS OF VARIOUS SCHEMES FOR AUTOMATIC CONTROL OF FEED FOR STEAM GENERATOR WITH DRUM

In the article is presented analisysis of classical three component scheme for automatic control of feed, way of determining parameters for seting controler and some various three component scheme with characteristics.

CHRAKTERISTIKEN VERSCHIEDENER SCHALTUNGSBILDER AUTOMATISCHER SPEISEWASSERREGENLAGEN VON TROMMELDAMPFERZEUGERN

Behandelt werden klassische Dreikomponentenschaltbilder von automatischen Speisewasserregelanlagen, wobei die Ermittlung der Parameter für die Einstellung der Regler dargestellt wird. Ausserdem werden einige Varianten von Dreikomponentenschemen und deren Kennwerte gezeigt.

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПИТАНИЯ ПАРОГЕНЕРАТОРА С БАРАБАНОМ

В статье приводится анализ традиционной трехкомпонентной схемы автоматического регулирования питания, показан способ определения параметров наладки регуляторов и изложены некоторые варианты трехкомпонентной схемы и их характеристики.

Naslov pisca:
Marijan Arnold, dipl. ing.
Eektroprivreda, Zagreb

SAVJETOVANJE JUGOSLAVENSKIH TOPLANA U SKOPJU

(14. i 15. svibnja 1981)

Na petom sastanku Organizacijskog odbora za pripremu IV-tog savjetovanja toplana Jugoslavije definitivno je utvrđeno da se savjetovanje održi 14. i 15. svibnja 1981. u Skopju.

Osnovne grupe tema su:

— Perspektivni razvoj toplificiranja naselja i financiranje gradnje toplifikacijskih objekata,

— Primarna energija i tehnologija proizvodnje topline,

— Distribucija i isporuka toplinske energije,

— Potrošački odnosi, obračun, tarifni sistem i mjerenje topline,

— Štednja toplinske energije.

Aktualnost tema izaziva razumljiv interes, pa se očekuje da će ovo savjetovanje korisno poslužiti uspješnom rješavanju opskrbe gradova toplinskom energijom.

Stjepan Petraš dipl, inž.
»ELEKTROSLAVONIJA« Osijek

Energija God. 30 (1981) br. 3—4, 115—130

UPOTREBA PLINSKIH TURBINA U TOPLINARSTVU

Zlatko Milanović, Zagreb

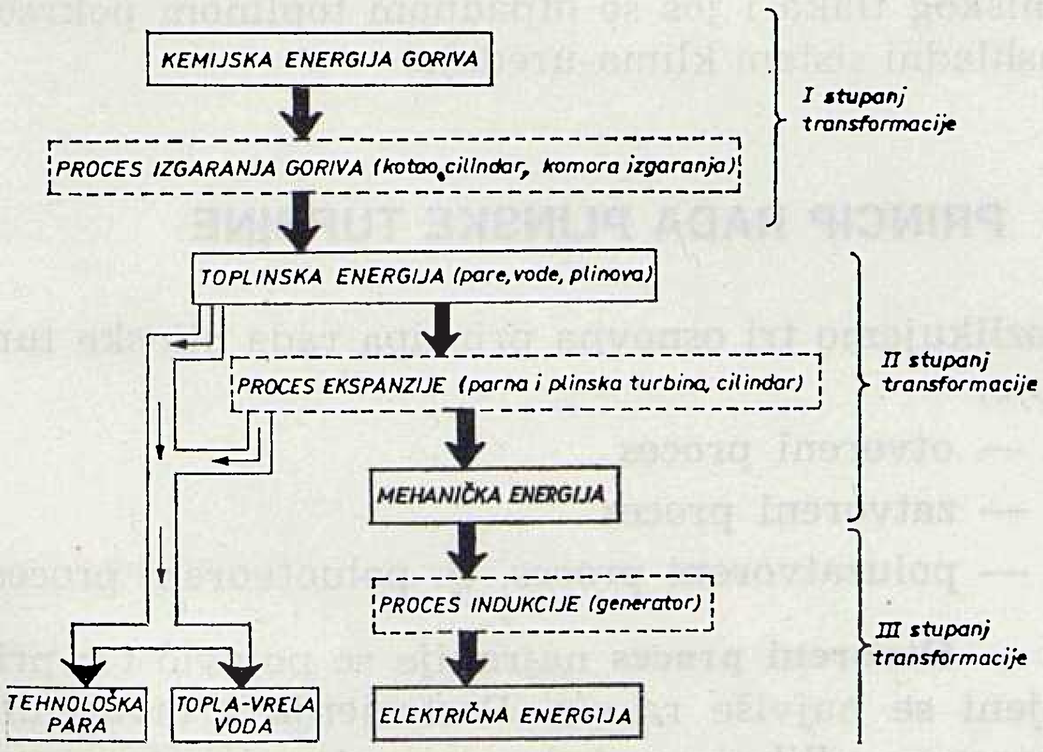
UDK 621.165

Navedeni su principi rada i teoretske osnove kružnih procesa plinskih turbina, sheme raznih varijanti procesa plinskih turbina s usporednim pokazateljima karakterističnih veličina i usporedbom s procesom parnih turbina. Također su analizirane mogućnosti primjene plinskih turbina za istovremenu proizvodnju toplinske i električne energije s plinskim turbinskim postrojenjima i kombiniranim plinsko-parnim turbinskim postrojenjem.

1. UVOD

Osnovni proces kombinirane proizvodnje toplinske i električne energije pojednostavnjeno je prikazan na slici 1. U praksi susrećemo najčešće procese kombinirane proizvodnje s parnom turbinom, plinskom turbinom i Dieselovim (ili plinskim) motorom (SUI). Sve češće eksperimentalno i praktično koriste se istovremeno i kombinacije spomenuta 3 osnovna procesa, npr. proces s plinskom i s parnom turbinom ili proces s dizel-motorom SUI i parnom turbinom. Konkretnije, u nastavku, razradit će se plinskoturbinski i plinsko-parnoturbinski procesi.

Pod samim pojmom plinske turbine razumijeva se pogonski kompleks koji se u osnovi sastoji od kompresora, komore izgaranja, plinske turbine, izmjenjivača topline, hladnjaka i raznih pomoćnih uređaja. Plinske turbine ubrajamo u strojeve s unutarnjim izgaranjem (SUI). Međutim, plinske turbine i klipni motori SUI bitno se razlikuju u načinu rada i u konstrukciji. S druge strane, plinske turbine su daleko više slične parnim turbinama. Razlika između tih dviju vrsta rotacionih turbo-strojeva je u radnom mediju (nosiocu toplinske energije), koji je vodena para kod parnih turbina, a plin, odnosno mješavina plinova kod plinskih turbina.



Sl. 1. Shematski prikaz kombinirane proizvodnje toplinske i električne energije

Sistematizacija osnovnih procesa toplinskih strojeva

Tablica 1.

Vrsta procesa	Strojevi bez odvojene kompresije — ekspanzije	Strojevi s odvojenom kompresijom od ekspanzije
ZATVORENI PROCES (zatvoreni krug radnog medija)	— cilindar s direktnim grijanjem i hlađenjem (Carnotov teoretski stroj)	— zatvoreni plinskoturbinski uređaji (Ackeret-Kellerov i Jouleov zatvoreni proces) — zatvoreni parni uređaj (kondenzacijski proces)
OTVORENI PROCES (izmjenjujući radni medij)	— motori s unutarnjim izgaranjem (Otto, Diesel, Wankel-motori)	— otvoreni plinskoturbinski uređaji (Jouleov otvoreni proces) — otvoreni parni uređaji (ispušni parni strojevi)

Genijalni Leonardo da Vinci opisao je oko 1500. godine, »mehanički ražanj«, koji se pokretao vrelim plinovima. Dakle, ideja o osnovnom principu rada plinske turbine javila se prije ideje o parnoj turbini. Međutim, razvoj parne turbine bio je mnogo brži, jer su se kod praktične primjene plinske turbine odmah javili gotovo nesavladivi problemi. Uspješan razvoj parnih turbina kasnije je znatno pridonio i uspješnom razvoju plinskih turbina.

Osnovni problemi u razvoju plinske turbine bili su potreba za materijalima otpornim na vrlo visoke temperature i nepoznavanje aerodinamskih zbivanja. Godine 1904. Armago je pregradio Lavalovu jednostepenu akcionu turbinu i pokušao je pokre-

tati plinovima dobivenim izgaranjem ugljene prašine. Tehnički uspješnije plinske turbine razvili su Holcvort 1908. godine i Ratoa 1924. godine. Ipak, brži razvoj plinskih turbina ostvario se tek u drugom svjetskom ratu, kada je počela njihova primjena u avijaciji. Uspješan i intezivan razvoj plinske turbine u avijaciji nastavljen je i nakon drugog svjetskog rata.

Iako između stacionarnih i nestacionarnih plinskih turbina postoje znatne konstruktivne i eksploatacione razlike, uspješan razvoj nestacionarnih plinskih turbina u avijaciji temeljno je pospješio kasniji razvoj stacionarnih plinskih turbina. Stacionarne plinske turbine brže su se počele razvijati i primjenjivati tek šezdesetih i sedamdesetih godina. Njihova racionalna primjena danas obuhvaća:

— vršne jedinice za proizvodnju električne energije;
— kombi-termoelektrane za proizvodnju električne energije pomoću plinske i parne turbine;
— kombi-elektrane — toplane za proizvodnju električne i toplinske energije;
— pokusno rad s helijem, što će omogućiti eventualnu primjenu plinskih turbina u nuklearnim elektranama tipa HTGR (visokotemperaturni plinom hlađeni reaktor), također plinska turbina s helijem efikasno rješava iskorištenje oslobođene energije kod isparavanja tekućeg zemnog plina (LNG) (Liquefied Natural Gas).

Stacionarna elektroprivredna postrojenja s čistim plinskoturbinskim procesom ne mogu kod velikih snaga iznad 100—200 MW konkurirati usavršenim parnoturbinskim postrojenjima s vrlo visokim parametrima vodene pare, s višestepenim regenerativnim predzagrijavanjem napojne vode i s pregrijavanjem pare između stepena ekspanzije. U primjeni stacionarne plinske turbine najbolje pozitivne efekte postižu u području snaga od 1 000 kW do 100 MW.

U elektroprivredi plinske turbine prije svega služe za pokrivanje vršnih opterećenja koja je nemoguće pokriti parnim termoelektranama i nuklearnim elektranama. Pod forsiranim uvjetima postrojenje plinske turbine može startati za manje od 5 minuta, a zbog malih dimenzija može se smjestiti u blizini centara gradova, koji su i osnovni uzročnici opterećenja. Danas se elektroprivredna postrojenja s plinskom turbinom često izvode u kontajnerskoj izvedbi. Time se omogućava selidba kompletne elektrane na područja gdje je ili iznenadno povećano korištenje električne energije, ili je došlo do kvarova postojećih termoelektrana i hidroelektrana, ili je došlo do katastrofalnih pojava (suša, potres, poplava i sl.).

U ovakvoj izvanrednoj i kratkotrajnoj primjeni osnovni nedostatak plinske turbine, nizak stupanj djelovanja, nije posebno bitan.

Osim primjene plinske turbine u avijaciji i elektroprivredi, ostaje još široko područje primjene s brojnim mogućnostima npr. pogon turbo-kompresora kod motora SUI, cestovnih vozila, lokomotiva, brodova, pumpi, kompresora i ventilatora. Danas još uvijek sve mogućnosti primjene nisu dokraja ispitane, pogotovo u raznim kombiniranim procesima. U SAD se primjerice počeo razvijati poseban tip kombiniranog zatvorenog procesa plinske turbine (takozvani Total Energy Sistem), koji osigurava istovremenu proizvodnju električne energije, vodene pare, tople vode, komprimiranog zraka visokog i niskog tlaka i još se otpadnom toplinom pokreće rashladni sistem klima-uređaja.

Usporedba parnih i plinskih turbina

Tablica 2.

	Parna turbina	Plinska turbina
1. radni medij	voda — vodena para — voda	plin
2. dovođenje topline	kod »nižih« temperatura (310 °C uz 100 bara)	kod »viših« temperatura 300—750 °C (i više)
3. odvođenje topline	kod »nižih« temperatura (30 °C uz 0,043 bara apsol. tlaka)	kod »viših« temperatura 160—420 °C
4. razlika entalpije	oko 1 675 kJ/kg	335 kJ/kg za jednostepene 500 kJ/kg za dvostepene
5. potrebne specifične količine i protoci	radni medij: 2,8—3,5 kg/kWh zrak: 4,5 kg/kWh rashl. voda: 0,2 m3/kWh	radni medij: 18—28 kg/kWh rashladna voda: 0,01 do 0,04 m3/kWh
6. udio snage potrebne za pogon pomoćnih uređaja	3—5% (napojna i kondenz. pumpa, ventilator)	160 do 200% od proizvedene el. snage (kompresija radnog medija)
7. granična snaga	1 300 MW (1 600 MW)	jednostepena 60 MW dvostepena 200 MW

2. PRINCIP RADA PLINSKE TURBINE

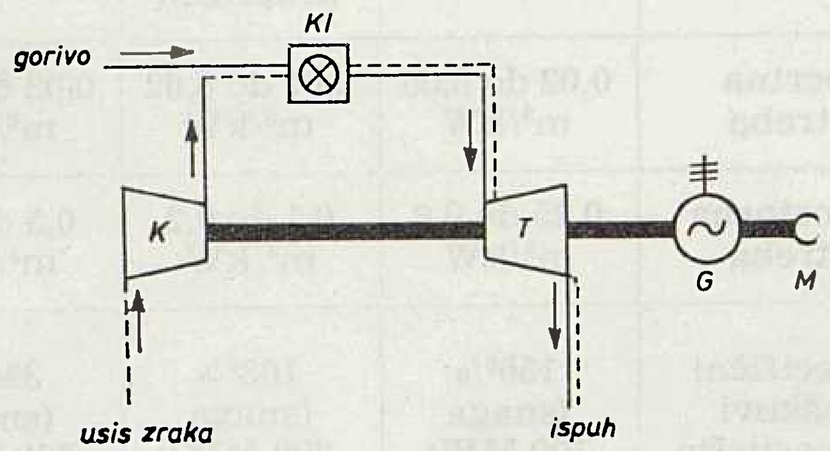
Razlikujemo tri osnovna principa rada plinske turbine:

A — otvoreni proces
B — zatvoreni proces
C — poluzatvoreni proces, tj. poluotvoreni proces.

A — Otvoreni proces najranije se pojavio i u primjeni se najviše razvio. Postrojenja s otvorenim procesom odlikuju se jednostavnošću, manjom specifičnom masom, manjom potrošnjom rashladne

vode i znatno su jeftina od postrojenja sa zatvorenim procesom.

Najjednostavnije postrojenje otvorenog procesa sastoji se od kompresora (K), komore izgaranja (KI), plinske turbine (T), generatora (G) i zagonskog motora za upuštanje (M) (slika 2).



Sl. 2. Shema najjednostavnije plinske turbine otvorenog procesa

Turbokompresor (K) usisava zrak iz atmosfere i komprimira ga uz stupanj kompresije od 3 do 5. Rjeđe, pretežno kod manjih postrojenja, koristi se jednostepeni radijalni turbokompresor, a kod većih višestepeni (najčešće šest do šesnaest stepeni) aksijalni turbokompresor. Stupanj djelovanja kom presora, zavisno od stupnja kompresije i izvedbe, kreće se od 85 do 94%.

Komora izgaranja (KI) služi za povišenje temperature (sa oko 200 na oko 650 — 800 °C), tj. entalpije radnog medija. U komoru izgaranja uvodi se zrak iz kompresora i gorivo. Izgaranje goriva teče uz veliki pretičak zraka (1,1 do 1,5). Komora izgaranja mora obavezno osigurati potpuno izgaranje unutar same komore u čitavom radnom području, postizanje što manjeg gubitka tlaka unutar komore i dobro miješanje izgarnih plinova, da bi se na izlazu iz komore postizala uvijek ista temperatura plinova. Ako se ne osigura dobro miješanje i izgaranje plinova diskontinuirana povećanja temperature mogu uzrokovati veoma opasne termičke šokove na turbini. U pravilu komora izgaranja znatno je jednostavnija od parnog kotla.

Komore izgaranja izvode se ili u obliku vertikalnih cilindara ili prstenasto oko rotora između kompresora i plinske turbine.

Plinske turbine izvode se kao aksijalne, i to kao akcione i kao reakcione. Radni proces odgovara procesu u parnoj turbini, uz manji pad entalpije i veći porast volumena radnog medija.

Plinska turbina izložena je, osim djelovanju centrifugalnih sila i vibracija, i vrlo visokim temperaturama. U pravilu što je viša temperatura radnog medija na ulazu u turbinu, to je bolji stupanj iskorištenja. Međutim, upravo uspješno savladavanje visokih temperatura osnovni je problem konstrukcije i izvedbe. Postoji nekoliko mogućnosti za hlađenje, prije svega lopatica turbine, koje se danas više-manje uspješno koriste.

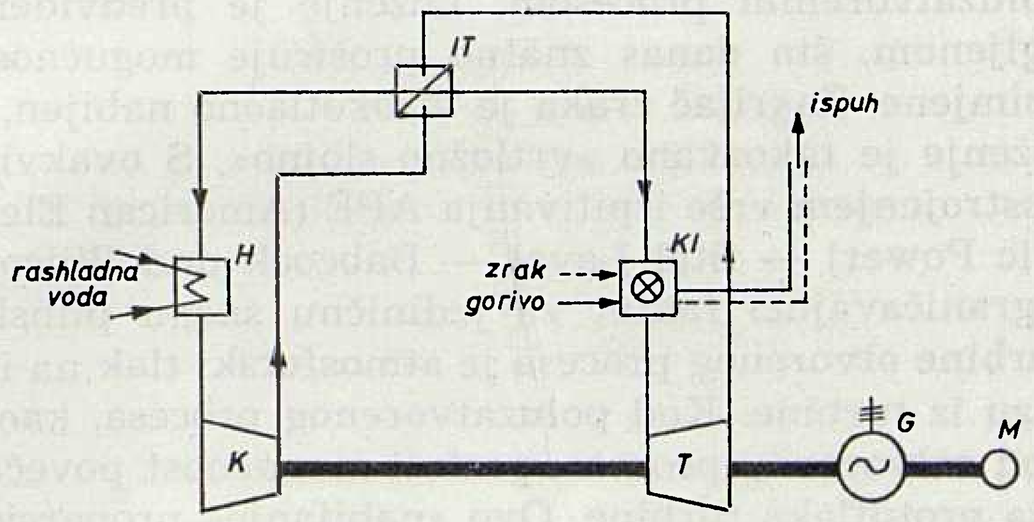
Najčešće plinske turbine imaju dva do osam stupnjeva.

Zagonski motor (M) omogućuje start postrojenja. Kada broj okretaja agregata dostigne 20% nominalnog broja okretaja, kompresor počinje dobavljati zrak i počinje izgaranje. Kod 40% nominalnog broja okretaja postrojenje može već samostalno raditi. Za pokretanje plinske turbine najčešće se koristi zagonski motor, ali se može koristiti i budilica generatora, komprimirani zrak iz spremnika, klipni motor SUI i slično.

Kod plinskih turbina s otvorenim procesom veoma veliki zahtjevi postavljaju se na garantiranu čistoću goriva (sumpor, vanadij, natrij, kalij, kalcij i olovo). Praktično, u otvorenim procesima mogu se kao gorivo koristiti samo plin i tekuća goriva s najmanje nečistoća. Također čistoća zraka koja se koristi u otvorenim procesima mora biti primjerna (alkalijski metali-natrij i kalij).

B — Zatvoreni proces

Postrojenje sa zatvorenim procesom sastoji se od kompresora (K), plinske turbine (T), komore izgaranja (KI), generatora (G), zagonskog motora (M), hladnjaka (H) i izmjenjivača topline (IT). Za razliku od otvorenog procesa, kod zatvorenog procesa radni medij ne sudjeluje u izgaranju. Unutar komore izgaranja, izgaranjem goriva, oslobođena toplina zagrijava radni medij, koji zatim ekspan-



Sl. 3. Shema jednostavne plinske turbine zatvorenog procesa

dira u plinskoj turbini. Nakon ekspanzije radni medij prije kompresije najprije se hladi u izmjenjivaču topline i hladnjaku. Nakon kompresije medij se prije ulaza u komoru izgaranja zagrijava u izmjenjivaču topline.

Radni medij je zrak ili neki drugi plin (N_2, CO_2, helij). Postrojenje sa zatvorenim procesom je savršenije, ali i složenije. Osnovne prednosti zatvorenog procesa jesu:

— slobodni izbor radnog medija,
— veliki je izbor raznih vrsta goriva (od ugljena do nuklearnih goriva)
— postoji mogućnost optimalne varijacije odnosa topline i električne energije,
— lopatice turbine i izmjenjivači nisu izloženi onečišćenjima i
korozionim djelovanjima produkata izgaranja,
— omogućuje se regulacija snage promjenom općeg nivoa tlaka, čime se postiže gotovo nepromje-

njen stupanj iskoristivosti kod gotovo svih snaga;
— omogućuje se povišenje tlaka, tj. izgradnja postrojenja većih snaga.

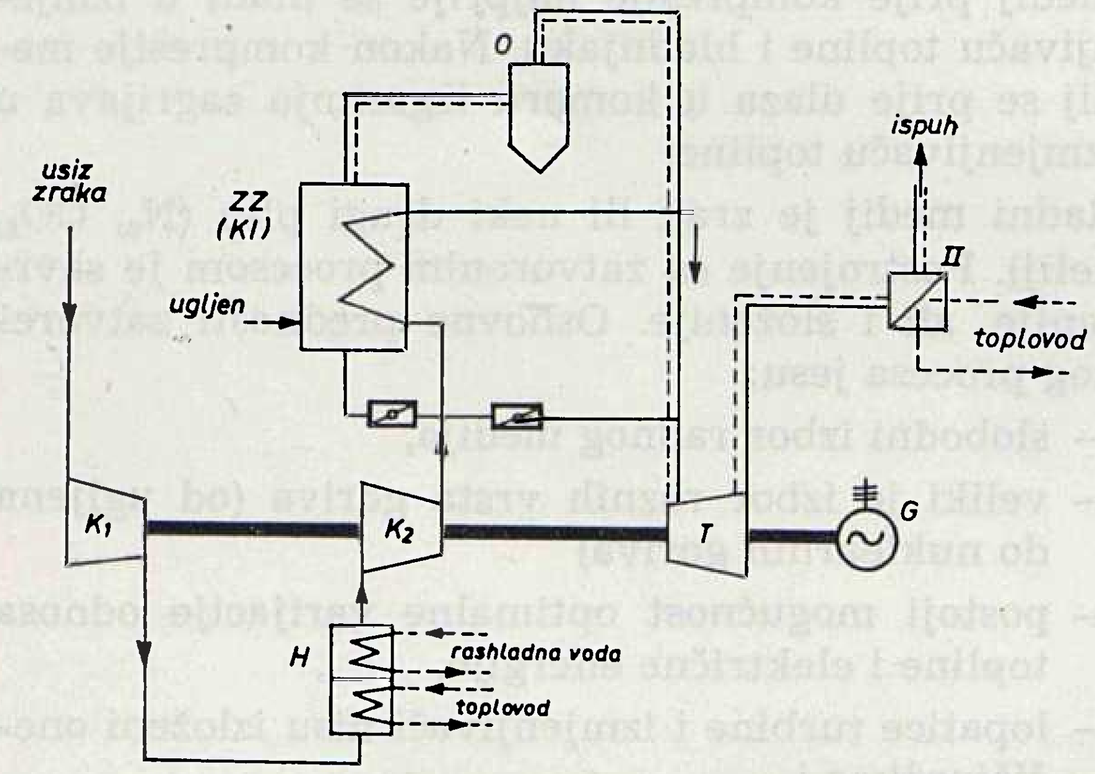
Uz maksimalna poboljšanja zatvoreni proces ostvaruje stupanj iskoristivosti u proizvodnji električne energije od 0,40, što je konkurentno u odnosu na parna postrojenja. Postoji mogućnost »nabijanja« i time povećanje jedinične snage uz smanjenje dimenzija.

Postrojenje sa zatvorenim procesom veoma je slično parnom postrojenju. Nedostaci u odnosu na otvoreni proces jesu: velika složenost postrojenja, veća cijena i nekoliko puta veća potrošnja rashladne vode. Treba istaći da zbog do sada manje primjene, plinske turbine sa zatvorenim procesom nisu dokraja ispitane i danas se nalaze u intenzivnom razvoju.

Posebno je interesantna mogućnost primjene plinskih turbina sa zatvorenim procesom u nuklearnim elektranama i toplanama tipa HTGR. Procjenjuje se da plinske turbine sa zatvorenim procesom mogu po turbini ostvariti i više od 1 000 MW (danas se već nude sa snagom od 600 MW), što je prihvatljivo za primjenu u nuklearnim elektranama.

C — Poluzatvoreni ili poluotvoreni proces

Na slici je prikazano postrojenje plinske turbine s poluzatvorenim procesom. Loženje je predviđeno ugljenom, što danas znatno proširuje mogućnosti primjene. Zagrijač zraka je visokotlačno nabijen, a loženje je takozvano »vrtložno slojno«. S ovakvim postrojenjem vrše ispitivanja APE (American Electric Power) — Stal Laval — Babcock und Wilcox. Ograničavajući faktor za jediničnu snagu plinske turbine otvorenog procesa je atmosferski tlak na izlazu iz turbine. Kod poluzatvorenog procesa, kao i kod zatvorenog procesa, postoji mogućnost povećanja protutlaka turbine. Ovo »nabijanje« proporcionalno povećava jediničnu snagu, odnosno proporcionalno smanjuje dimenzije i time cijenu postrojenja s poluzatvorenim procesom.



Sl. 4. Shema poluzatvorenog procesa s visokotlačno nabijenim zagrijačem zraka

K_1 — kompresor niskog tlaka; K_2 — kompresor visokog tlaka; T — plinska turbina; G — generator; H — hladnjak; O — otprašivač; ZZ — zagrijač zraka; II — ispušni izmjenjivač

Usporedba nekih karakteristika poluzatvorenog procesa plinske turbine

Tablica 3.

	Plinska turbina s otvorenim procesom	Plinska turbina s poluzatvorenim procesom	Parna turbina
1. tlocrtna potreba	0,02 do 0,05 m²/kW	0,01 do 0,02 m²/kW	0,03 do 0,06 m²/kW
2. prostorna potreba	0,25 do 0,6 m³/kW	0,1 do 0,2 m³/kW	0,5 do 1,8 m³/kW
3. specifični troškovi investicije po kW	150% (snaga 100 MW)	108% (snaga 200 MW)	340% (snaga 300 MW)
4. specifična potrošnja goriva po kW	100% (snaga 200 MW)	100% (snaga 200 MW)	69% (snaga 300 MW)

Iz tablice 3 vidljive su osnovne prednosti i nedostaci postrojenja s plinskom turbinom poluzatvorenog procesa. Bitno je uočiti da stupanj iskorištenja goriva nije mnogo bolji od stupnja iskorištenja za otvoreni proces, a znatno slabije nego kod postrojenja s parnom turbinom. Ovo je danas svakako bitan ograničavajući faktor. U nedostatke poluzatvorenog procesa mora se ubrojiti i nedovoljna praktična istraženost ovakvih postrojenja. Iako su se prva postrojenja plinskih turbina s poluzatvorenim procesom pojavila prije 40 godina, još uvijek su brojnija teoretska razmišljanja.

U osnovi razlikujemo dvije osnovne vrste poluzatvorenog procesa plinske turbine:

— sa zagrijačem zraka (s visokim, srednjim i niskim »nabijanjem«)
— s izgaranjem u kružnoj struji (s visokim i niskim »nabijanjem«, s izgaranjem u zraku i s izgaranjem u mješavini plinova).

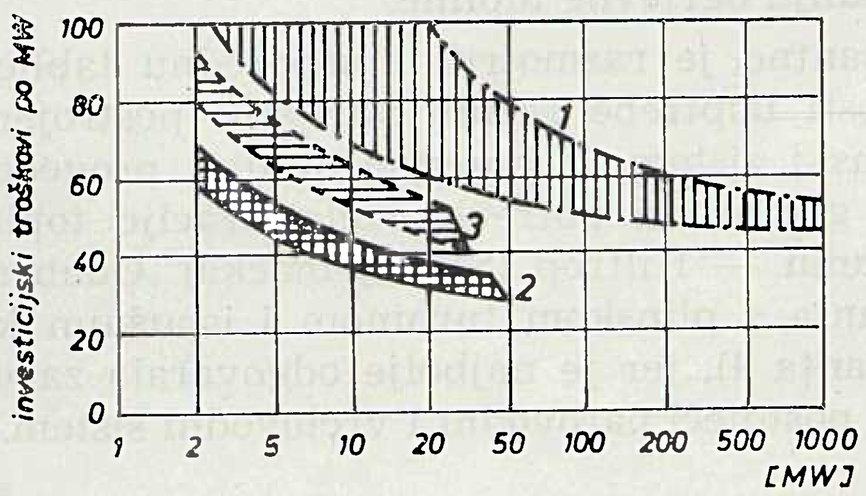
Na kraju treba istaći da postoji mogućnost korištenja poluzatvorenog procesa u kombiniranim parno-plinskim postrojenjima i u toplanama. Tu su, međutim, određena ograničenja u pogledu sigurnosti rada i konstrukcione izvedbe.

3. PREDNOSTI I NEDOSTACI PLINSKIH TURBINA

Plinske turbine, prije svega u odnosu prema postrojenjima s parnim turbinama, imaju ove prednosti:

— mnogo brže upuštaju se u pogon (do maksimalne snage i za manje od 20′);
— ne zahtijevaju posebno pripremljenu napojnu vodu, te otpada kompletno postrojenje za kemijsku i termičku pripremu napojne vode;

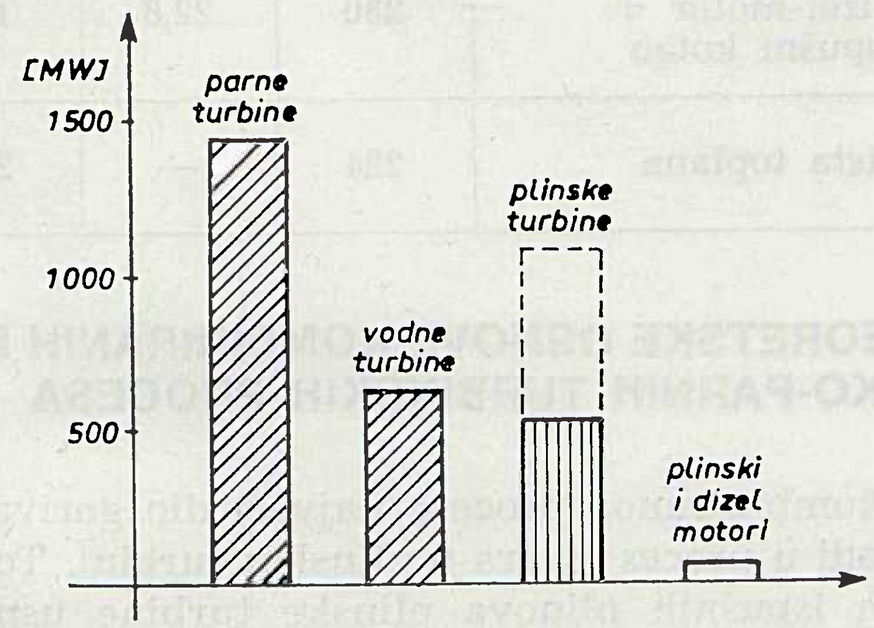
— zauzimaju znatno manje prostora, uz istu snagu,
— ne trebaju kotlovnicu,
— ne trebaju kondenzator i veliku rashladnu opremu,
— sigurnije su u radu,
— jednostavnije su u radu i posluživanju, te zahtijevaju manje pogonskog osoblja,
— troše znatno manje količine rashladne vode (samo za hlađenje ulja i zraka),
— postoje mogućnosti šireg izbora radnog medija,
— znatno su manji investicijski troškovi (slika 5),
— jednostavnija je i brža izgradnja,
— u kombiniranoj proizvodnji električne i toplinske energije postiže se neovisna proizvodnja električne energije,
— otpadna toplina je na visokom temperaturnom nivou, što omogućuje kombiniranje s parnim kružnim procesom ili direktno s mrežom daljinskog grijanja,
— imaju veoma malu vrijednost specifične mase, svega 0,27 do 11 kg/kW (npr. parne turbine imaju od 20 do 40 kg/kW, a dizel-motori čak od 40 do 80 kg/kW).



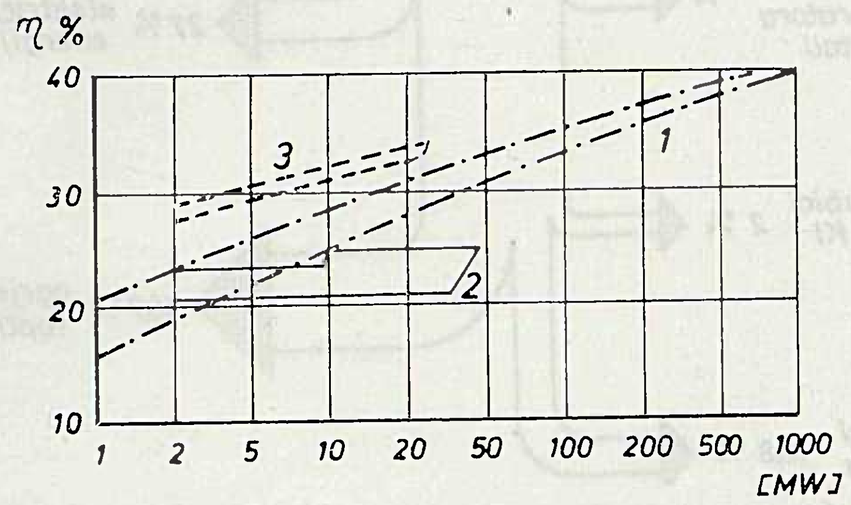
Sl. 5. Usporedba specifičnih investicijskih troškova
1 — parnoturbinska termoelektrana; 2 — plinskoturbinska termoelektrana bez predzagrijavanja; 3 — plinskoturbinska termoelektrana s predzagrijavanjem

Osnovni nedostaci plinskih turbina jesu:

— relativno male jedinične snage (slika 6),
— povećana bučnost u radu,
— još uvijek postoje problemi s otpornosti materijala s obzirom na vrlo visoke radne temperature (u pravilu u plinskoj turbini postiže se to bolja iskoristivost što su više radne temperature, ali istovremeno s povišenjem radne temperature skraćuje se radni vijek),
— veoma su osjetljive na promjene kvalitete goriva, pa se posebno kod plinskih turbina otvorenog procesa najprije mora osigurati propisana kvaliteta goriva i čistoća zraka.
— ostvaruju nizak stupanj iskorištenja (slika 2).



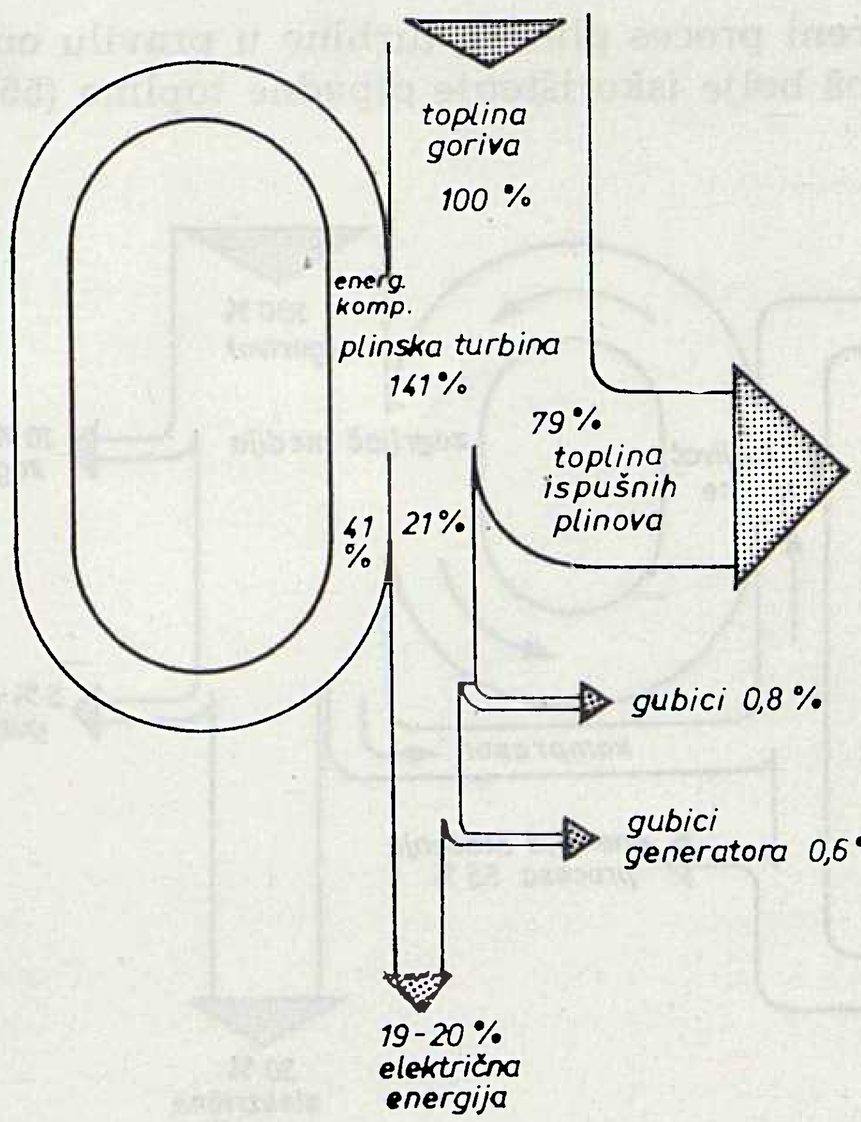
Sl. 6. Maksimalne jedinične snage pogonskih strojeva



Sl. 7. Usporedba iskoristivosti parne i plinske turbine
1 — parna turbina; 2 — plinska turbina bez predzagrijavanja; 3 — plinska turbina s predzagrijavanjem

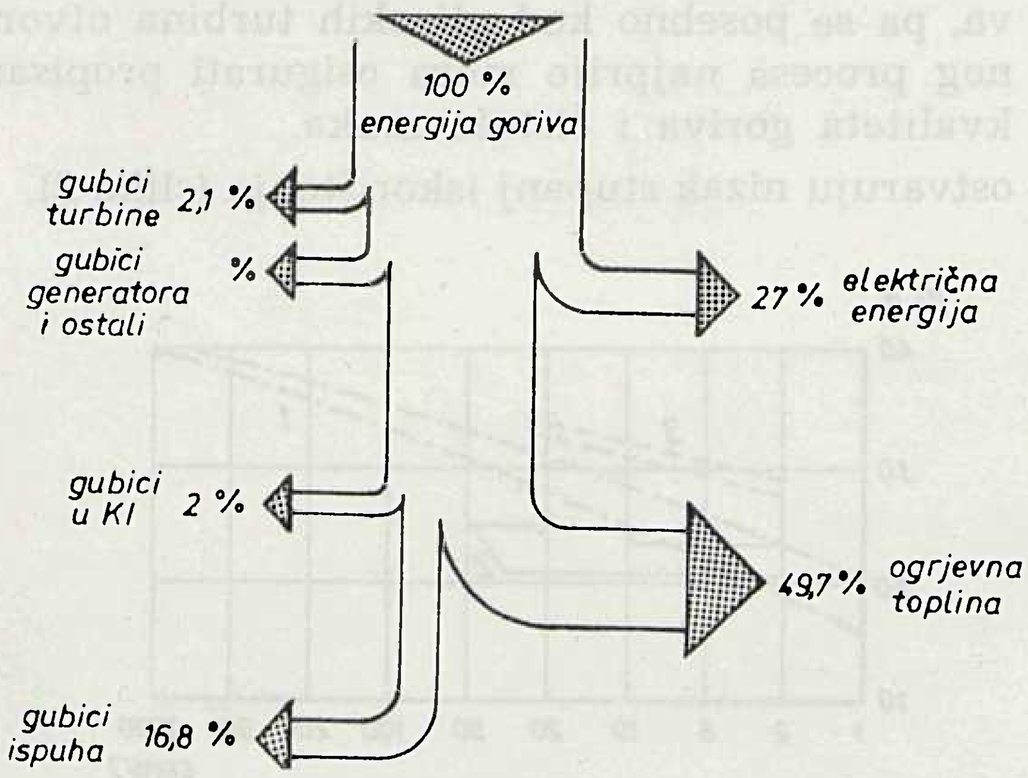
Upravo niski koeficijent pretvorbe energije kod plinske turbine otvorenog procesa danas sve više ometa daljnji razvoj takozvanih »čistih« postrojenja s plinskom turbinom. Kod ovakvih postrojenja postiže se praktično stupanj djelovanja od svega 20% (radna temperatura 600 °C) do 34% (radna temperatura plinova 350 °C).

Na slici 8. prikazan je energetski tok za otvoreni proces plinske turbine. Uočuje se da se veoma velik



Sl. 8. Sankey-dijagram otvorenog procesa plinske turbine bez izmjenjivača

dio oslobođene energije na plinskoj turbini koristi za pogon kompresora (41%). Energija korištena za pogon kompresora vraća se gotovo u potpunosti u energetski tok komprimiranjem radnog medija. Međutim, najveći dio gorivom u proces unesene energije (79%) nepovratno se gubi preko vrućih ispušnih plinova (350 do 500 °C).

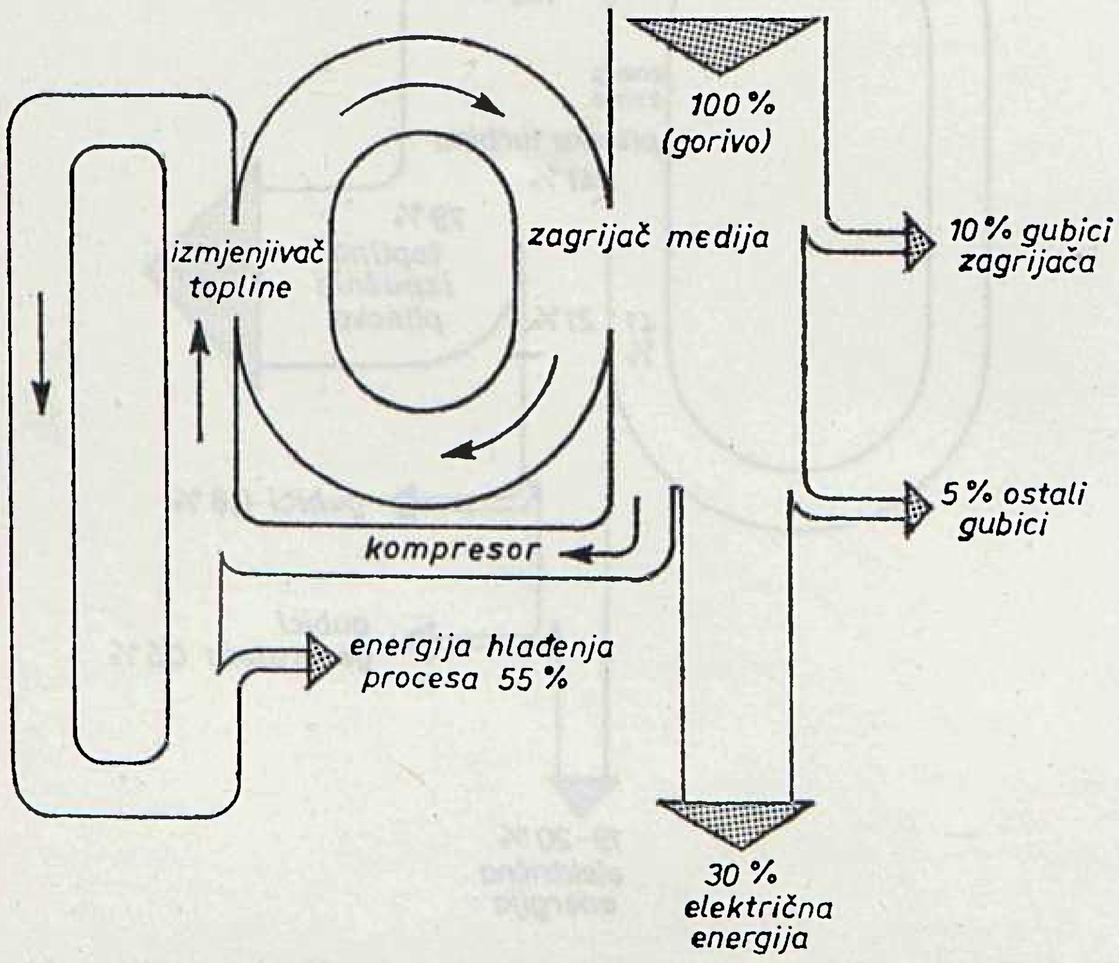


Sl. 9. Sankey-dijagram otvorenog procesa plinske turbine s ispušnim izmjenjivačem (el. snaga 4,6 MW; topl. snaga 7,7 MW)

Upravo veliki nepovratni ispušni gubici energije nužno su pretpostavljali iskorištenje ove energije. Ugradnjom izmjenjivača topline (ispušni kotao ili ispušni izmjenjivač) gotovo 50% gorivom dovedene energije može se iskoristiti (slika 9). Time se ukupni stupanj iskorištenja energije goriva otvorenog procesa plinske turbine povećava na 70 do 80%!

Još bolji stupanj iskorištenja postiže se zatvorenim procesom plinske turbine, uz korištenje izmjenjivača topline. Na slici 10. prikazan je Sankeyev dijagram za zatvoreni proces, bez zagrijača vode ili generatora pare.

Zatvoreni proces plinske turbine u pravilu omogućuje još bolje iskorištenje otpadne topline (55%).



Sl. 10. Sankey-dijagram za zatvoreni proces

Kod primjene plinskih turbina u toplinarstvu, za kombiniranu proizvodnju električne i toplinske energije mogu se objediniti ove osnovne prednosti:

— proizvodnja toplinske energije i proizvodnja električne energije gotovo su neovisne, što omogućuje izvanredno veliku elastičnost u radu (pogotovo kod zatvorenog procesa).
— veoma brz start do nominalnih parametara, što omogućuje dobro pokrivanje vršnih energetskih opterećenja (koja su karakteristična za urbane sredine),
— zauzimaju manje tlocrtne površine,
— otpadna toplina je relativno visokog temperaturnog nivoa, što omogućuje optimalnu proizvodnju ogrjevne topline.

Iteresantno je razmotriti i usporednu tablicu pogodnosti uoptrebe raznih varijanti postrojenja za toplanski sistem. Usporedna studija provedena je 1972. godine za potrebe modernizacije toplane u Bochumu — Hiltrop (SR Njemačka). Odabrana je varijanta s plinskom turbinom i ispušnim kotlom (varijanta 4), jer je najbolje odgovarala za ugradnju u postojeći parovodni i vrelovodni sistem.

Usporedba raznih ispitanih varijanti za modernizaciju toplane Bochum — Hiltrop

Tablica 4.

VARIJANTA	Proizvodnja pare u t/h	Električna snaga u MW 20	Specifični troškovi topline %
1. protutlačna parna turbina (bez kondenzatora)	240	20	151
2. protutlačna parna turbina s pomoćnim kondenzatorom	240	20	170
3. plinska turbina s ispušnim kotlom	224	18/20	168
4. plinska turbina s ispušnim kotlom	224	24/26	130
5. kombinirana plinsko-parna turbina	224	$\frac{24+8}{24+2,5}$	$\frac{100}{128}$
6. dizel-motor + ispušni kotao	230	22,8	199
7. čista toplana	224	—	226

4. TEORETSKE OSNOVE KOMBINIRANIH PLINSKO-PARNIH TURBINSKIH PROCESA

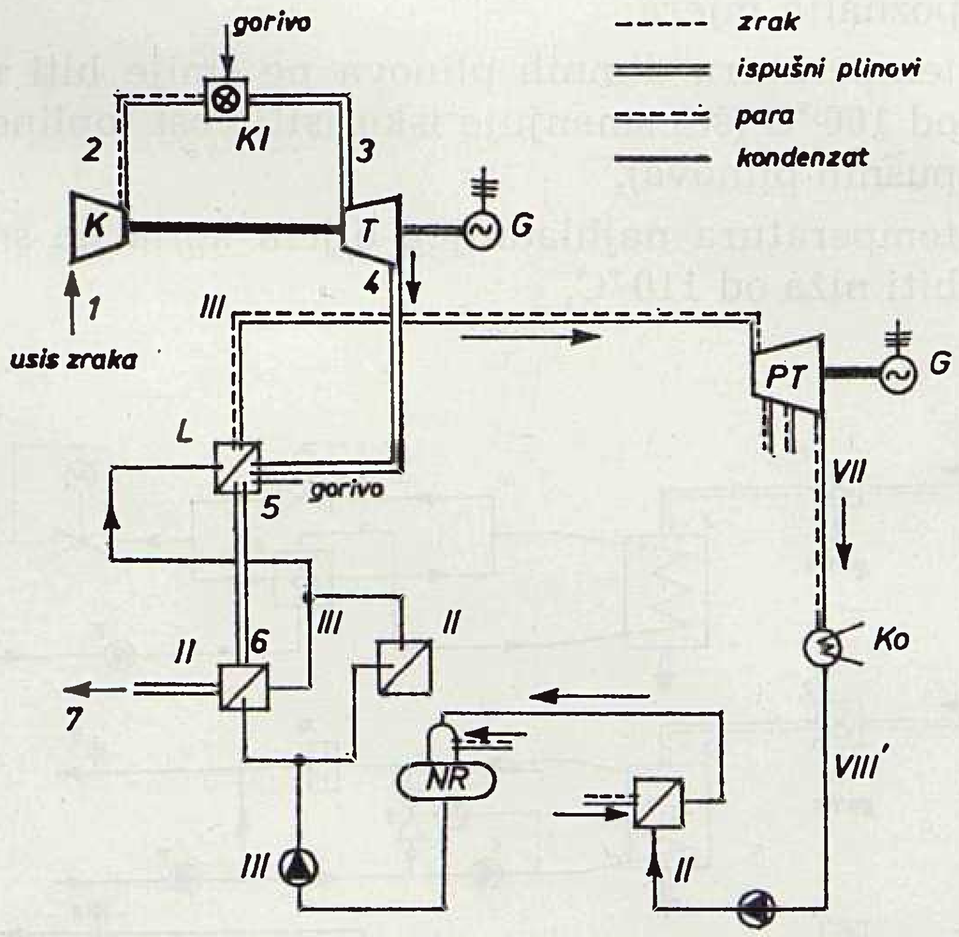
Kod kombiniranog procesa najveći dio goriva koji se uvodi u proces izgara u plinskoj turbini. Toplina vrućih ispušnih plinova plinske turbine uspješno se koristi za proizvodnju pare i za zagrijavanje

vrelovodne mreže. Poznato je da osnovni problemi i nedostaci plinskog procesa nastaju kod odvođenja topline, a za parni proces kod dovođenja topline. Kombiniranim procesom umanjuje se nedostaci, a objedinjavaju prednosti oba procesa. Prednosti u odnosu na čiste parne procese jesu: niži specifični investicioni troškovi, visok termički stupanj djelovanja i manji utrošci rashladne vode. U odnosu na čisti proces plinske turbine kombinirani proces ostvaruje mnogo viši ukupni stupanj iskoristivosti, a odvođenje topline iz procesa je kod mnogo niže temperature.

Usporedba kombi plinsko-parnog bloka i čistog parnog bloka sa oduzimno kondenzacijskom turbinom (kod punog opterećenja)

Tablica 6.

	Kombi-blok	Parni blok
— električna snaga (MWe)	350	333
— količina pare za proces (kg/s)	204	204
— dovedena toplina goriva (MW)	1090	1630
— specifična toplina korištena (MW/MWe)	3,11	4,89
— utrošak rashladne vode (kg/s)	500	16000
— područje regulacije električne snage (%)	0—100	42—100
— usporedba cijene (%)	100	143
— usporedba potrebe za toplinom goriva (%)	100	157

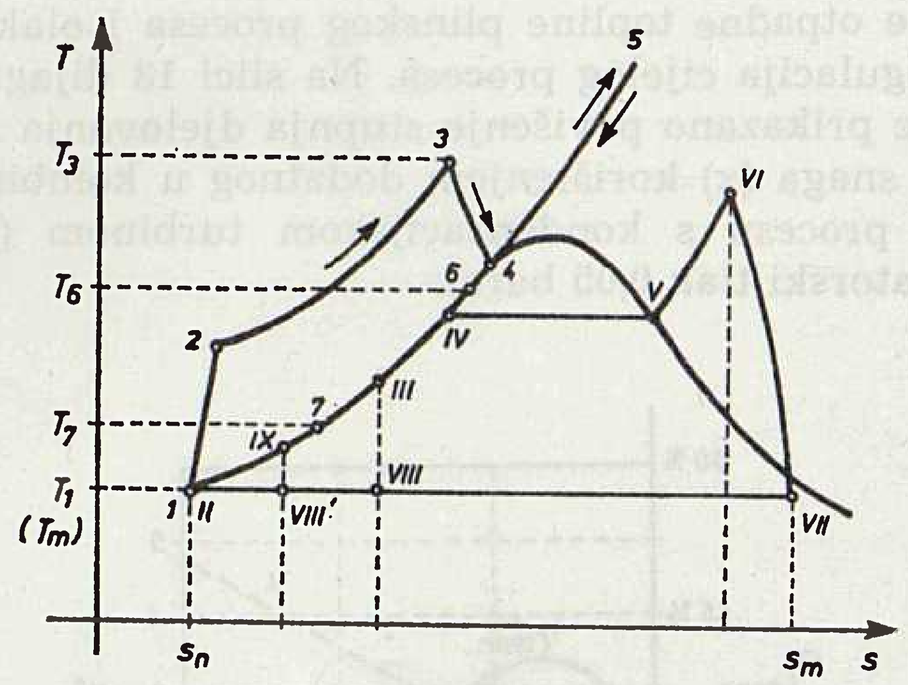


Sl. 11. Shema jednostavnog kombiniranog plinsko-parnog procesa

K — kompresor; KI — komora izgaranja; T — plinska turbina; PT — parna turbina; G — generator; K₀ — kondenzator; L — generator pare (ložište); II — ispušni izmjenjivač topline; NR — napojni rezervoar

Prikazani plinsko-parni kružni proces sastoji se od najjednostavnijeg plinskog i najjednostavnijeg parnog procesa s turbinom. Ispušni plinovi plinske turbine koji su bogati kisikom, sa stanjem 4 ulaze u ložište (L). U ložištu uz približno atmosferski tlak izgara dodatno gorivo (stanje 5). Hlađenjem ložišta (generatora pare) smanjuje se temperatura izgarnih plinova na T_6. Pri tome se napojna voda zagrijava, isparava i pregrijava (III-IV-V-VI).

Ispušni plinovi iz ložišta još uvijek imaju relativno visoku temperaturu (T_6). Da bi se iskoristila toplina ovih ispušnih plinova, odvode se u ispušni izmenjivač topline (II) gdje se temperatura plinova snižava sa T_6 (T_5) na T_7, a temperatura napojne vode povisi se sa stanja IX na stanje III.



Sl. 12. »T—s« dijagram kombiniranog plinsko-parnog procesa bez međupredgrijavanja

Termički stupanj djelovanja ovakvog postrojenja načelno ovisi o:

— regenerativnom predzagrijavanju naponje vode,
— stanju pregrijane pare na ulazu u turbinu (VI)
— temperaturi kondenzacije (T_1-T_{VII})
— ulaznoj temperaturi plinova u plinsku turbinu (T_3)
— stanju zraka na usisu u proces (1),
— izlaznoj temperaturi plinova (T_7) u dimnjak,
— promjeni odnosa pritiska kompresora, čime se utječe na sadržaj topline u ispuhu plinske turbine (4)
— ukupnom pretičku zraka koji definira dovođenje goriva u generatoru pare,
— izlaznoj temperaturi iz ložišta (T_6)
— razlici temperature između točke 6 i IV, čime se definira stupanj izmjene topline.

Odnos između snage plinske i parne turbine proizlazi iz ukupne bilance topline.

Udio snage plinske turbine u ukupnoj snazi mijenja se kao i termički stupanj djelovanja promjenom glavnih parametara.

Uvođenjem otpadne topline iz plinske turbine mijenja se u ovom vezanom procesu, nasuprot čistom parnoturbinskom procesu, u kondenzatoru odvođena toplina i time količina kondenzacijske pare.

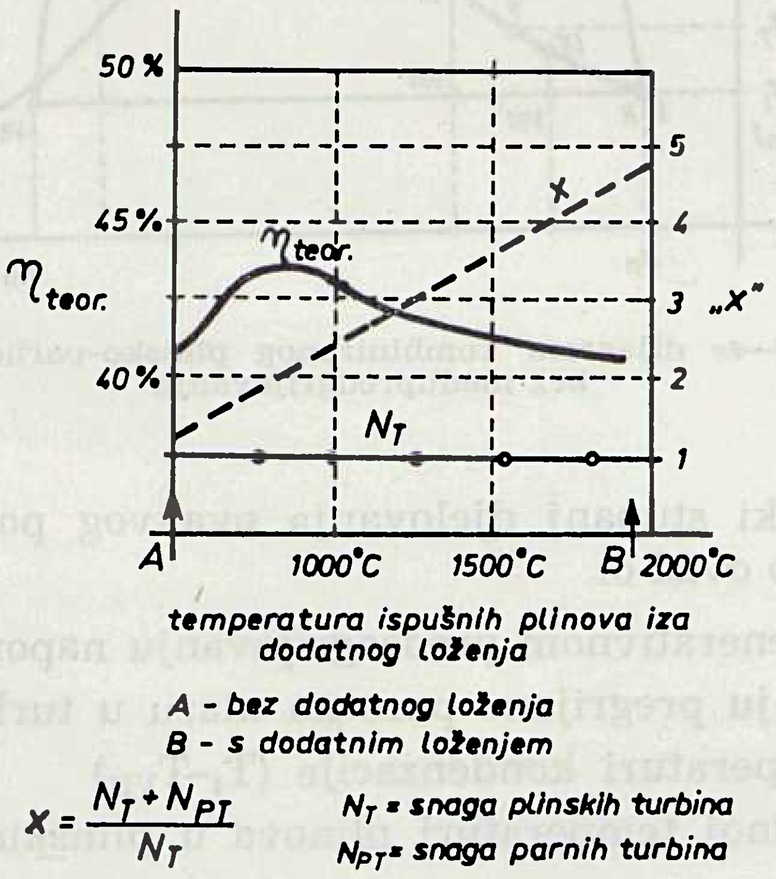
Obje vrijednosti određuju tok volumena na izlazu iz parne turbine kod danog volumena kondenzacije. Snaga parne turbine neizmijenjenog izlaznog pre-

sjeka uvijek se smanjuje kod predukljućenja plinske turbine.

U praksi postoji danas niz raznih varijanti kombiniranog plinsko-parnog procesa, na primjer:

— plinsko-parni proces s međupregrijavanjem pare i s predzagrijavanjem plina (zraka),
— dvostepeni plinski i parni proces s međupregrijavanjem
— plinsko-parni proces s komorom izgaranja, koja je istovremeno generator pare.

Dodatnim loženjem (u generatoru pare ili generatoru topline) znatno se poboljšava optimalno iskorištenje otpadne topline plinskog procesa i olakšava se regulacija cijelog procesa. Na slici 13 dijagramski je prikazano povišenje stupnja djelovanja i odnosa snaga (x) korištenjem dodatnog u kombiniranom procesu s kondenzacijskom turbinom (kondenzatorski tlak 0,05 bara).



Sl. 13. Termički stupanj djelovanja i odnos snaga plinske i parne turbine s dodatnim loženjem

Uočuje se visoka vrijednost termičkog stupnja djelovanja, koja, približavajući se vrijednosti od 45%, nadmašuje čista parna postrojenja. Korištenjem otpadne topline, primjerice za grijanje toplovodne mreže, ukupni stupanj iskoristivosti gotovo se udvostručuje.

Kombinirani plinsko-parni blok, u odnosu na čisto parne i čisto plinske agregate ima ove osnovne prednosti:

— plinska i parna turbina mogu raditi neovisno
— manji su gubici topline kod starta i obustava,
— manji je vlastiti utrošak električne energije,
— povoljan stupanj iskorištenja u širokom opsegu raznih opterećenja
— za start trebaju znatno manje snage (oko 0,5% nazivne snage, dok parni blok zahtijeva i do 3%),
— omogućuju se relativno brze promjene opterećenja,
— relativno je kratak rok izgradnje i nisu visoki investicijski troškovi.

Sve ove prednosti nude danas posebnu šansu kombiniranim plinsko-parnim blokovima, naročito u područjima srednjih snaga (200 do 400 MWe). Najčešći odnosi snage plinske i parne turbine kod izvedenih kombi-postrojenja nalaze se između 1 : 5 i 1 : 8.

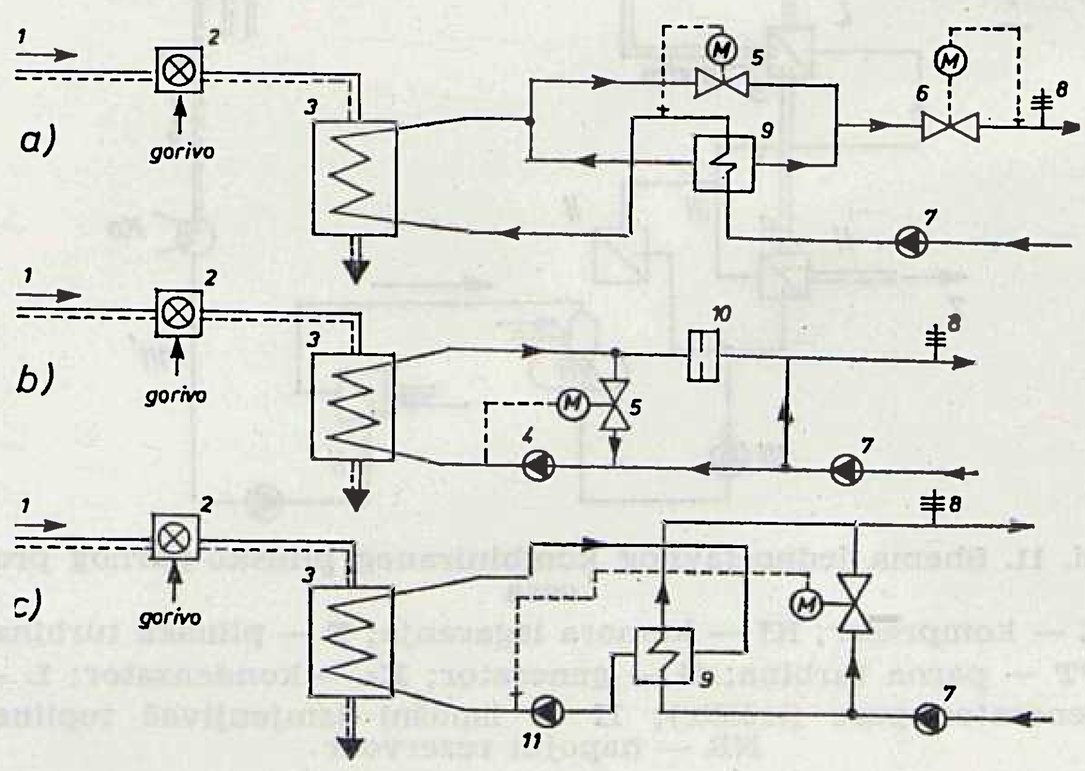
Na kraju istaknimo da postoje i kombinirani parno-plinski blokovi, kod kojih je plinska turbina pogonjena ispušnim (dimnim) plinovima parnog kotla. Takvi kotlovi moraju biti »prednabijeni«. Gorivo se spaljuje samo u parnom kotlu, a plinska turbina najčešće se koristi za pogon usisno-tlačnog puhala (kotlovi tipa Velox).

Takva postrojenja možemo danas susresti i u našoj zemlji. Ona se, međutim, više ne izvode.

5. NAČIN UKLJUČIVANJA PLINSKE TURBINE U MREŽU DALJINSKOG GRIJANJA

Otpadna toplina plinskih turbina efikasno se može iskoristiti u ispušnom kotlu (IK), tj. ispušnom izmjenjivaču topline (IIT). U ispušnom je kotlu, pomoću vrućih ispušnih plinova turbine (oko 500 °C), ili se zagrijava voda iz mreže daljinskog grijanja s temperature povrata 50—80 °C na temperature polaza od 90 do 120 °C (170 °C), ili se proizvodi para. Razumljivo da se otpadna toplina ispuha plinske turbine može efikasno koristiti i izvan toplinarstva (npr. desalinizacija). Najveći problem kod izmjene u ispušnom kotlu predstavlja takozvana niskotemraturna, sumporom uzrokovana korozija. Ova korozija mora se izbjeći, te je potrebno poduzeti jednu od poznatih mjera:

— temperatura dimnih plinova ne smije biti niža od 160 °C (što smanjuje iskoristljivost topline ispušnih plinova),
— temperatura najhladnijeg dijela kotla ne smije biti niža od 110 °C,



Sl. 14. Spajanje ispušnog kotla s toplovodom

1 — ispuh plinske turbine; 2 — dodatno loženje; 3 — ispušni kotao; 4 — cirkulaciona pumpa ispušnog kotla; 5 — regulacija ulazne temperature; 6 — regulacija tlaka toplovoda; 7 — cirkulaciona pumpa toplovoda; 8 — impuls temperature za dodatno loženje i za plinsku turbinu; 9 — izmjenjivač topline; 10 — prigušenje

Da bi se smanjila niskotemperaturna korozija ispušnog kotla plinske turbine postoje tri direktna rješenja, koja se danas u praksi mogu koristiti:

a) predzagrijavanje,

b) miješanje (recirkulacija),

c) odvojeni kružni tok.

Sva tri rješenja uključivanja ispušnog kotla (3) u mrežu daljinskog grijanja prikazana su s mogućnošću dodatnog loženja. Takvim rješenjem postiže se neovistnost rada ispušnog kotla od rada plinske turbine i može se ostvariti veća vršna proizvodnja topline. U osnovi su rješenja s predzagrijavanjem (a) i rješenje odvojenim kružnim tokom (c) skuplja jer zahtijevaju relativno veliki izmjenjivač topline.

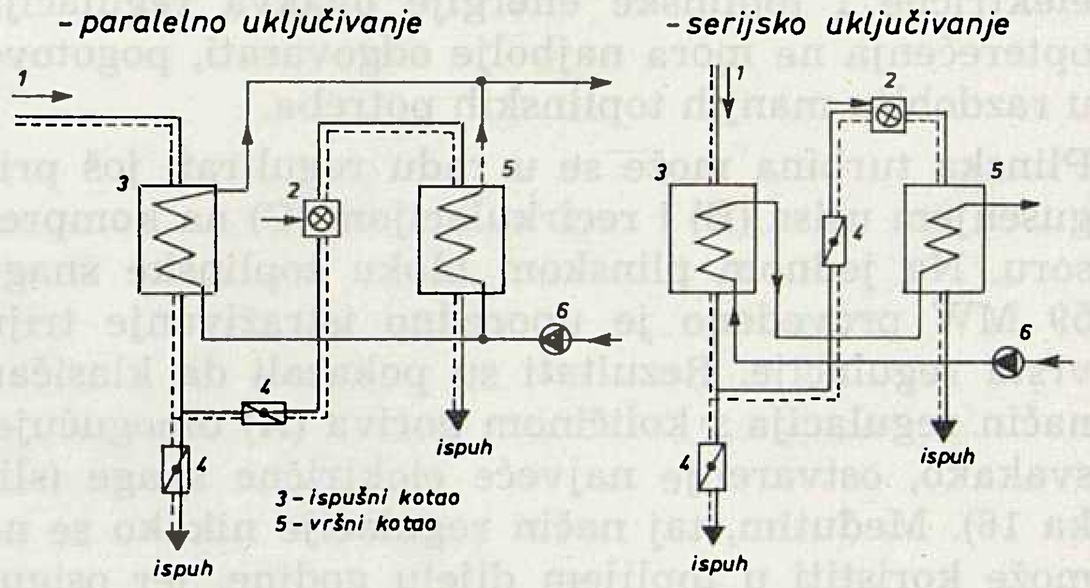
Za uključivanje ispušnog kotla u toplinski sistem postoji i četvrto rješenje s niskotlačnim parnim kotlom (pritisak oko 12 bara). I ovo rješenje donekle zahtijeva izmjenjivač topline. Međutim, niskotlačni parni kotao može ipak u praksi pokazati veliku ekonomičnost, jer ima značajne prednosti:

— osigurava se toplina za industriju, s visokim temperaturnim nivoom;
— izmjenjivač topline je znatno manji, jer se kondenziranjem pare oslobađa velika količina topline (latentna toplina),
— velika razlika u entalpiji, unutar kotla, smanjuje količinu u cirkulaciji i time se smanjuju promjeri cijevi i snaga pumpe,
— moguća je kombinacija s parnom turbinom.

Izbor između te četiri osnovne varijante ipak nikada nije lako provesti. Odlučujući faktor za izbor najpovoljnije varijante svakako je visina investicije za pokrivanje vršnih opterećenja. U pravilu za vršna toplinska opterećenja nema posebne tarife, te je još važnije da se stvarno minimalnim investicijskim troškovima pokriju »špice«. Vršna toplinska opterećenja karakterizirana su kratkotrajnom, ali i velikom snagom i relativno malom količinom energije.

Polazeći od zahtjeva minimalnih troškova investicije, odmah iz ove analize treba isključiti izgradnju odvojenih toplovodnih (vrelovodnih) ili parnih kotlova. Primarno je stoga pronaći takva rješenja koja uz određene dopune baznog postrojenja plinske turbine osiguravaju njegovo bolje iskorištenje.

Preporučljivo je uvijek, kod pokrivanja »špice« baznim postrojenjem, osigurati poseban vršni kotao (slika 15). Na taj način ispušni kotao (3) konstruira se i izvodi samo za normalna opterećenja, a samo vršni kotao (5) konstruira se i izvodi za vršna opterećenja. S dodatnim loženjem postiže se temperatura plinova od 800 do 900 °C. Poznato je da znatno rastu troškovi izrade kotla ako ulazna temperatura plinova prelazi 700 °C. Ako se izvodi samo 1 kotao, tada se čitav kotao mora izvesti u skupljoj izvedbi za vršna opterećenja i više temperature uzrokovane dodatnim loženjem. Osim toga, treba naglasiti da se vršni kotao (5) proračunava na znatno manju količinu plinova, jer dio plinova već nakon ispušnog kotla (3) odlazi u dimnjak.



Sl. 15. Mogućnosti uključivanja vršnog kotla plinske turbine

U ispušnim plinovima turbine velik je pretičak zraka, i pogodno je ispušne plinove, nakon ispušnog kotla, iskoristiti za dodatno loženje vršnog kotla.

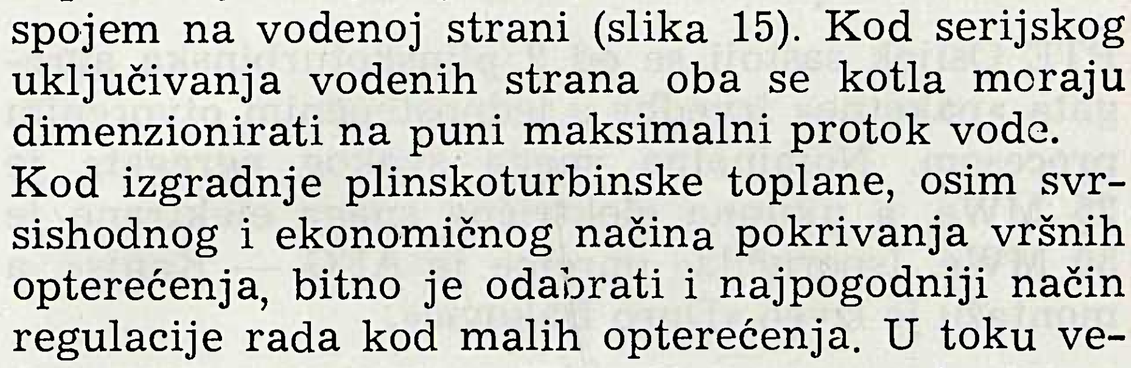
Vršni kotao za pokrivanje vršnih toplinskih opterećenja može se uključiti na dva načina:

— serijskim spojem na dimnoj strani s paralelnim spojem vodene (tj. parne) strane (a),
— serijskim spojem na dimnoj i vodenoj strani (b).

Kod izgradnje dvaju kotlova (ispušnog i vršnog) u praksi je uvijek jeftinije koristiti se paralelnim spojem na vodenoj strani (slika 15). Kod serijskog uključivanja vodenih strana oba se kotla moraju dimenzionirati na puni maksimalni protok vode.

Kod izgradnje plinskoturbinske toplane, osim svrsishodnog i ekonomičnog načina pokrivanja vršnih opterećenja, bitno je odabrati i najpogodniji način regulacije rada kod malih opterećenja. U toku većeg dijela godine, u proljeće, ljeti i jeseni, koristi se samo manji dio nominalne toplinske snage. U toplijem razdoblju ima u Evropi gotovo uvijek relativno dovoljno jeftine električne energije iz hidroelektrana. Stoga je tada neekonomično koristiti plinske turbine u punoj snazi za proizvodnju električne energije, a otpadnu toplinu »bacati.«

Prvi način, jednostavan i donekle primitivan, jest izgradnja dvaju ili više agregata u jednoj toplani.



Sl. 16. Usporedba raznih načina regulacije plinske turbine (topl. snaga 59 MW)

e — karakteristika električne energije $\frac{P_{el.}}{Q_t}$;

E — faktor iskorištenja $\frac{P_{el.} + Q_t}{Q_{gor.}}$;

q — toplinsko iskorištenje $\frac{Q_t}{Q_{gor.}}$;

A — regulacija prigušenjem količine goriva; B — regulacija prigušenjem usisa kompresora; C — recirkulacija zraka u kompresoru

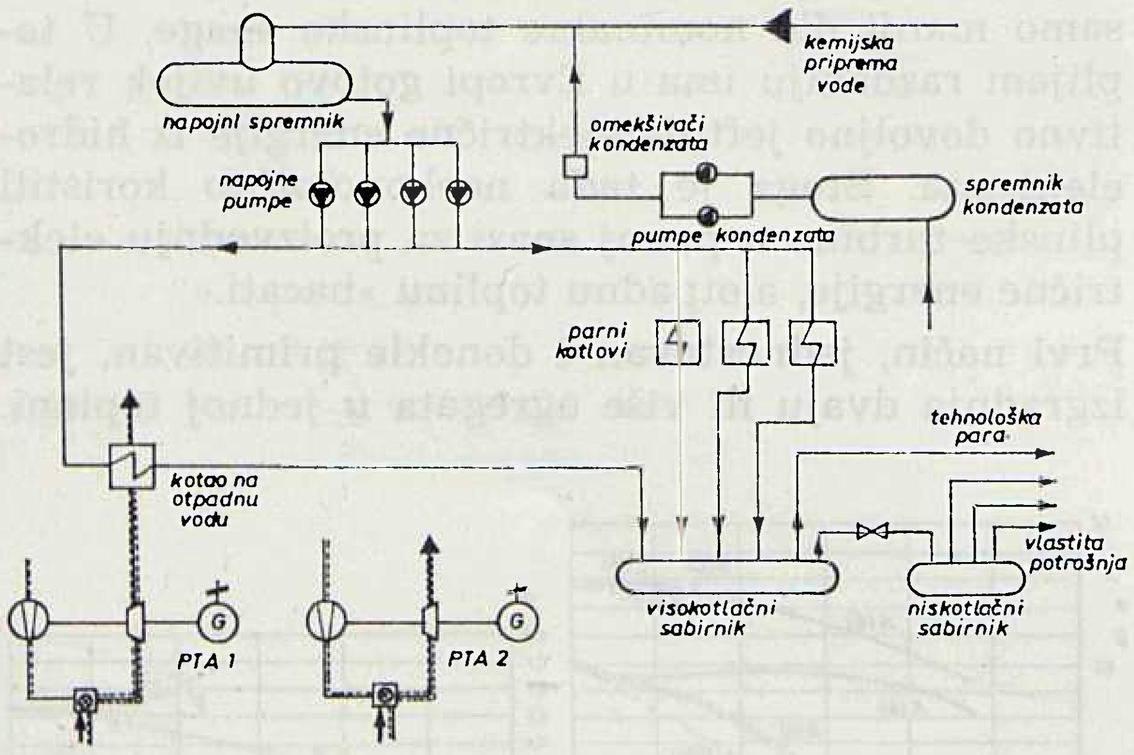
Drugi način je regulacija dovoda goriva u turbinu. Taj način je uobičajen kod isključive proizvodnje električne energije. Za kombiniranu proizvodnju električne i toplinske energije ovakva regulacija opterećenja ne mora najbolje odgovarati, pogotovo u razdoblju manjih toplinskih potreba.

Plinska turbina može se u radu regulirati još prigušenjem usisa (B) i recirkulacijom (C) na kompresoru. Na jednom plinskom bloku toplinske snage 59 MW provedeno je uporedno istraživanje triju vrsta regulacije. Rezultati su pokazali da klasičan način regulacija s količinom goriva (A) omogućuje, svakako, ostvarenje najveće električne snage (slika 16). Međutim, taj način regulacije nikako se ne može koristiti u toplijem dijelu godine, jer osigurava veoma slabo toplinsko iskorištenje. Druga dva načina regulacija osiguravaju i kod malih opterećenja veoma dobra iskorištenja, te prvenstveno dolaze u obzir kod primjene plinskih turbina u toplinarstvu. Obje krivulje (B i C) mogu se znatno produžiti ako se, paralelno sa smanjenjem opterećenja, još i prigušuje količina goriva.

6. SHEME I OPISI TOPLANA S PLINSKIM TURBINAMA

a) Plinskoturbinska elektrana (toplana) »Osijek«

PTE Osijek sastoji se od 2 plinskoturbinska agregata »paketne« izvedbe s jednostepenim otvorenim procesom. Nominalna snaga svakog agregata je 25 MWe, a ukupna električna snaga elektrane je 50 MWe. Isporučilac opreme je AEG — Kanis«, a montažu je izveo »Đuro Đaković«.

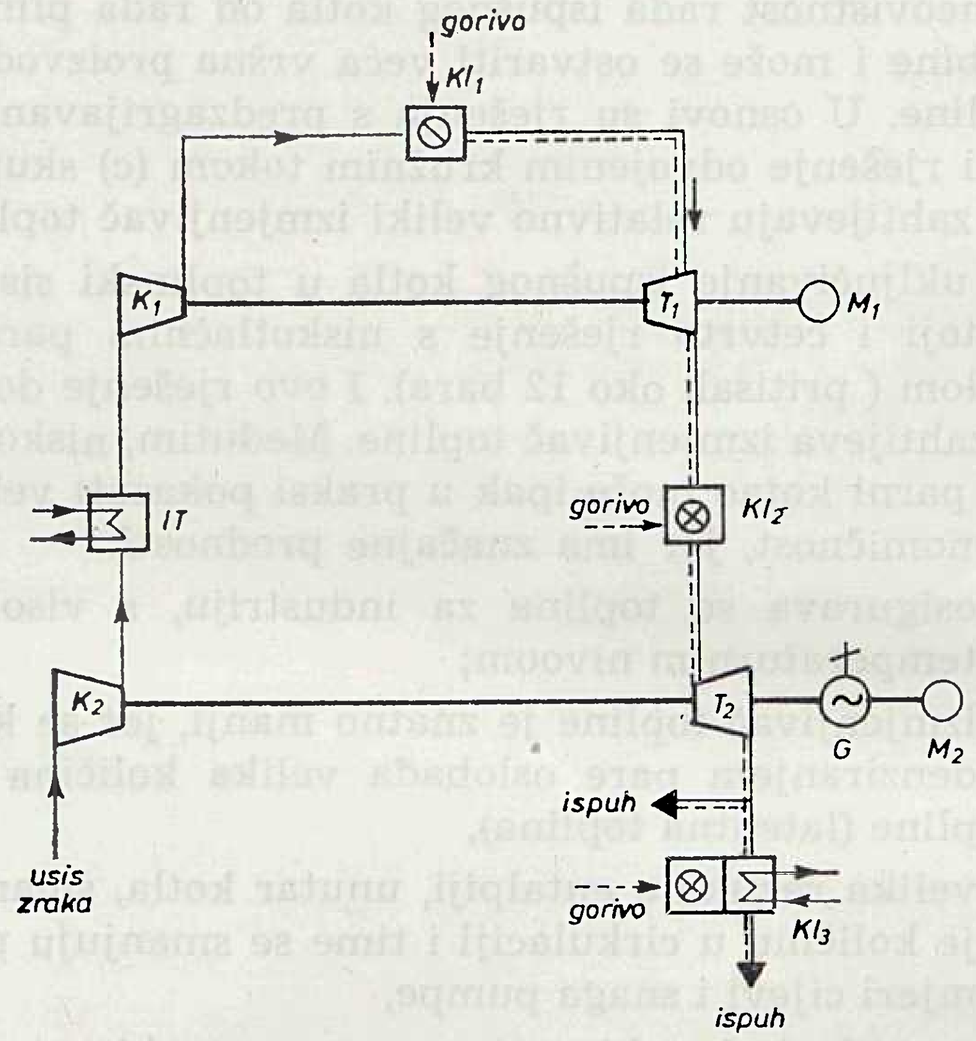


Sl. 17. Pojednostavnjena shema PTE »Osijek«

Nakon poznate krize i redukcije opskrbe električnom energijom 1973. godine odlučeno je da se što prije sagradi plinskoturbinska elektrana u Osijeku. Izgradnja je počela krajem 1974. godine, a završina u veljači 1976. godine. Ukupni troškovi izgradnje bili su 407 890 000 dinara.

Za opskrbu toplinskom energijom u okviru prvog agregata (PTA-1) izgrađen je ispušni kotao. Maksimalna snaga ispušnog kotla je 56 tona/h pare (250 °C i 1,9 MPa). Za slučaj potrebe zamjene i nadopune ispušnog kotla, u odvojenoj kotlovnici, sagrađena su 3 parna kotla snage 3 × 18 tona/h pare istih karakteristika.

Gorivo za PTE Osijek je zemni plin i ekstra lako loživo-ulje. Za normalan start plinskoturbinskih agregata potrebno je do 8 minuta, a uz brzi start i manje od 5 minuta. Izlazna temperatura plinova iz plinske turbine je 500 °C, a izlaznih plinova iz ispušnog kotla 180 °C.



Sl. 18. Pojednostavnjena shema toplane »Beograd«
K_1, K_2 — kompresori; T_1, T_2 — plinske turbine; G — generator; M_1, M_2 — zagonski motori; IT — međuhladnjak zraka; KI_1, KI_2 — komore izgaranja; KI_3 — komora izgaranja i ispušni kotao

b) Plinskoturbinska toplana Beograd

U Toplani Beograd ugrađena su 3 odvojena plinskoturbinska agregata ukupne električne snage 105 MW (3 × 35 MW). Turbine su proizvodnje »FIAT«. Izvedene su u otvorenom procesu s dvostepenom kompresijom i dvostepenom ekspanzijom, bez regenerativnog predzagrijavanja zraka.

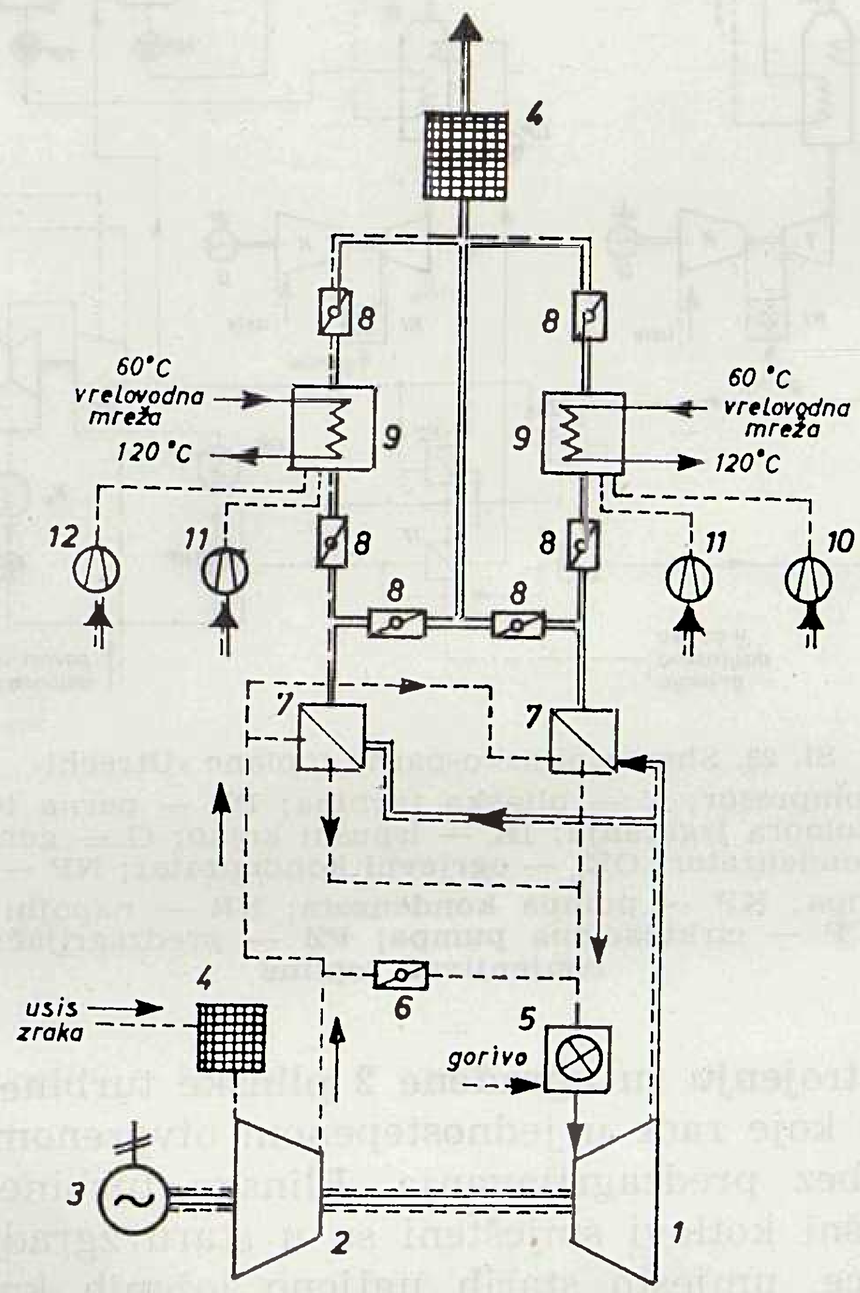
Na ispušnoj strani niskotlačne turbine, kod sva tri agregata, ugrađen je ispušni kotao (KI_3). Ukupna ogrjevna snaga toplane je 163 MW. Ispušni kotlovi, pomoću dodatnog loženja, mogu se zagrijavati i bez rada plinskih turbina. Također postoji mogućnost obilaska ispušnih kotlova za potrebe pokrivanja vršnih opterećenja električne energije.

Stupanj djelovanja agregata kod proizvodnje električne energije iznosi 26,5% (uz ulaznu temperaturu zraka 0 °C), a ukupni stupanj djelovanja je 67%.

Odnos kompresije je 16,5. Količina zraka u strujanju je 181 kg/s. Ulazna temperatura plinova u obje plinske turbine (niskotlačnoj i visokotlačnoj) jest 730 °C, a temperatura ispušnih plinova na izlazu iz turbine je 425 °C.

c) **Plinskoturbinska toplana »Sendling« (München)**

U toplani »Sendling« montirane su dvije plinske turbine proizvodnje Siemensa. Svaka turbina ima električnu snagu 25 MW. Turbine su izvedene u jednostepenom otvorenom procesu s regenerativnim zagrijavanjem zraka. Prvi plinskoturbinski agregat pušten je u pogon 1962. godine, a drugi 1964.



Sl. 19. Shema toplane »Sendling« — München
1— plinska turbina; 2 — kompresor; 3 — generator; 4 — prigušivač buke; 5 — komora izgaranja; 6 — zračna klapna; 7 — predzagrijač zraka; S — ispušna klapna; 9 — ispušni kotlovi s dodatnim loženjem; 10 — ventilator zraka dodatnog loženja; 11 — ventilator hlađenja gorača

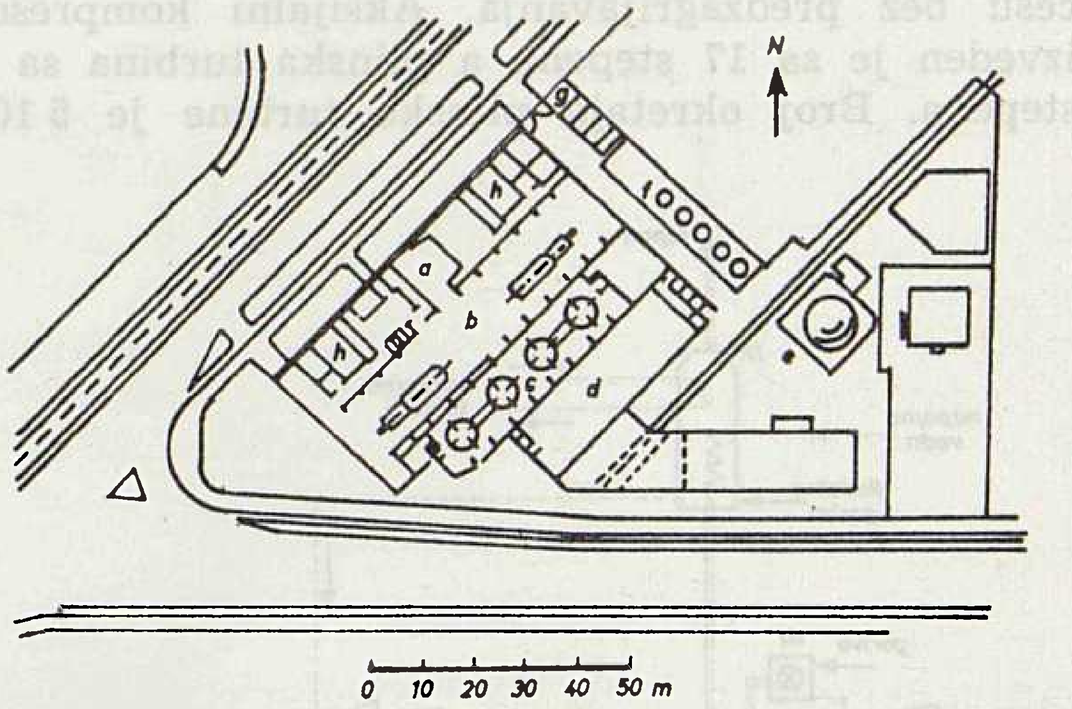
Protok zraka je 180 kg/s kod 5 °C i 950 mbara. Omjer kompresije je 1 : 6. Ulazna temperatura plinova u turbinu je 720 °C, a izlazna ok 400 °C. U predzagrijaču zraka (7) temperatura plinova snizi se na 277 °C.

U shemi svakog plinskog agregata ugrađena su i dva isušna kotla (9) koja su opremljena dodatnim goračima. Svaka turbina može osigurati proizvodnju toplinske energije od:

— 293 GJ/h (pl. turbina i dodatno loženje, bez regeneratora),
— 193 GJ/h (pl. turbina, bez dodatnog loženja i bez regeneratora),
— 147 GJ/h (samo dodatno loženje),
— 110 GJ/h (pl. turbina i regenerator, bez dodatnog loženja).

Stupanj djelovanja kod čiste proizvodnje električne energije iznosi 32,44% a u kombiniranom procesu (bez dodatnog loženja i bez regeneratora) 76,6%. Toplana »Sendling« uglavnom koristi zemni plin.

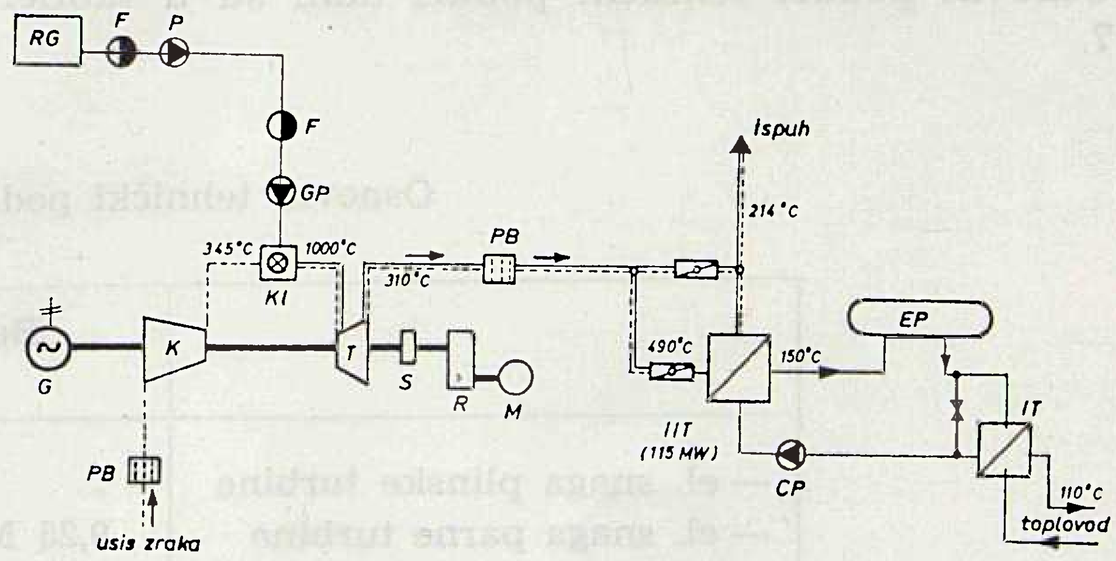
U okviru ovog postrojenja izgrađeno je i pet spremnika tople vode zapremine 1 750 m³.



Sl. 20. Tlocrtna shema toplane Sending — Mjjnchen
a — održavanje; b — strojarnica; c — izmjenjivač topline; d — pumpe i uklopnica; e — rezervoar; f — spremnici topline; g — garaže; h — transformator

d) Plinskoturbinska toplana »Wilmersdorf« (Z. Berlin)

Plinskoturbinska toplana »Wilmersdorf« puštena je u pogon 1977. godine. Montirane su 3 jednostepene plinske turbine s otvorenim procesom, bez predzagrijavanja. Turbine su proizvod »Alsthom-Atlantique« tip MS 9000. Aksijalni kompresor izveden je sa 17 stepeni, a turbina sa 3. Maksimalna električna

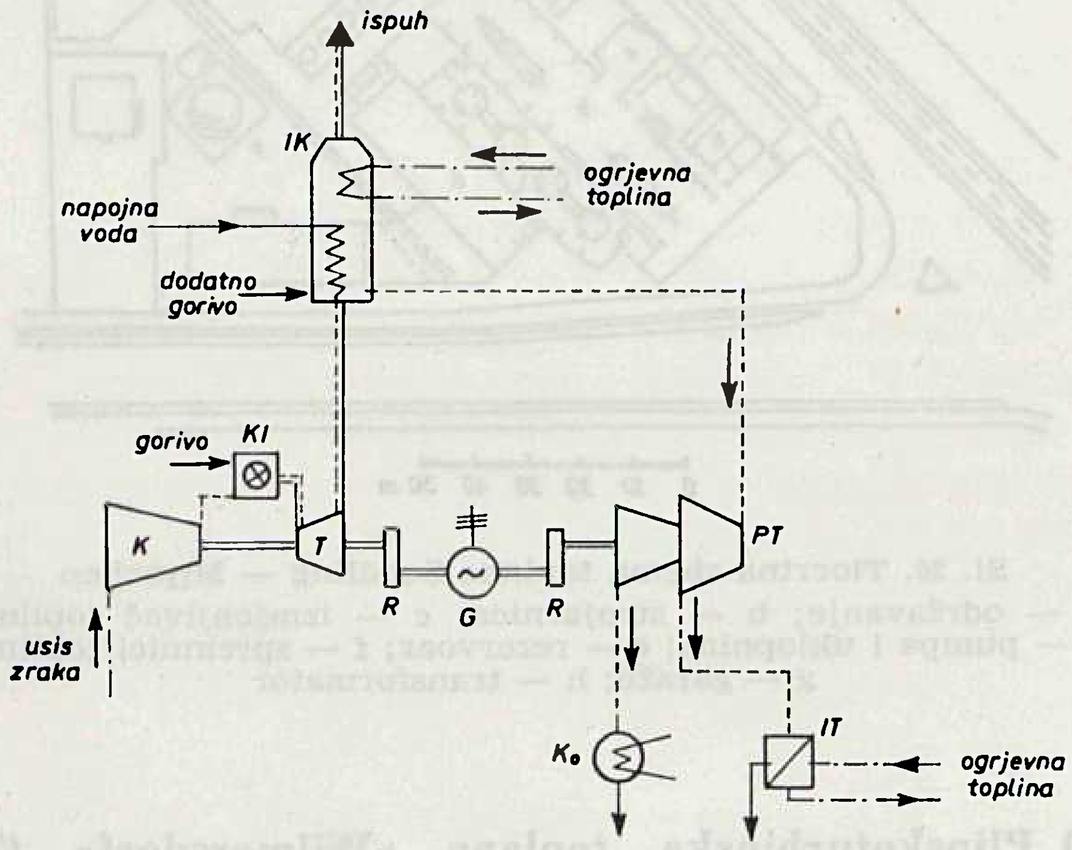


Sl. 21. Shema toplane »Willmersdorf« — Z. Berlin
RG — rezervoar goriva; F — prečistač; P — pumpa goriva; GP — glavna pumpa gorača; PB — prigušivač buke; S — spojka; R — reduktor; IIT ispušni izmjenjivač topline; EP — ekspanziona posuda; IT — izmjenjivač topline

snaga svakog agregata je 92,4 MW. Odnos kompresije je 9,02 a broj okretaja 3 000 o/min. Zagrijavanje mreže daljinskog grijanja osigurano je posebnim dodatnim krugom da bi se smanjila niskotemperaturna korozija ispušnog izmjenjivača topline (IIT). Maksimalna toplinska snaga svakog ispušnog izmjenjivača topline je 115 MW. Protok kroz izmjenjivač je 671 kg/s vode i 387 kg/s plinova. Osnovno loženje je loživim-uljem.

e) **Kombinirana plinsko-parna toplana Saarbrücken**

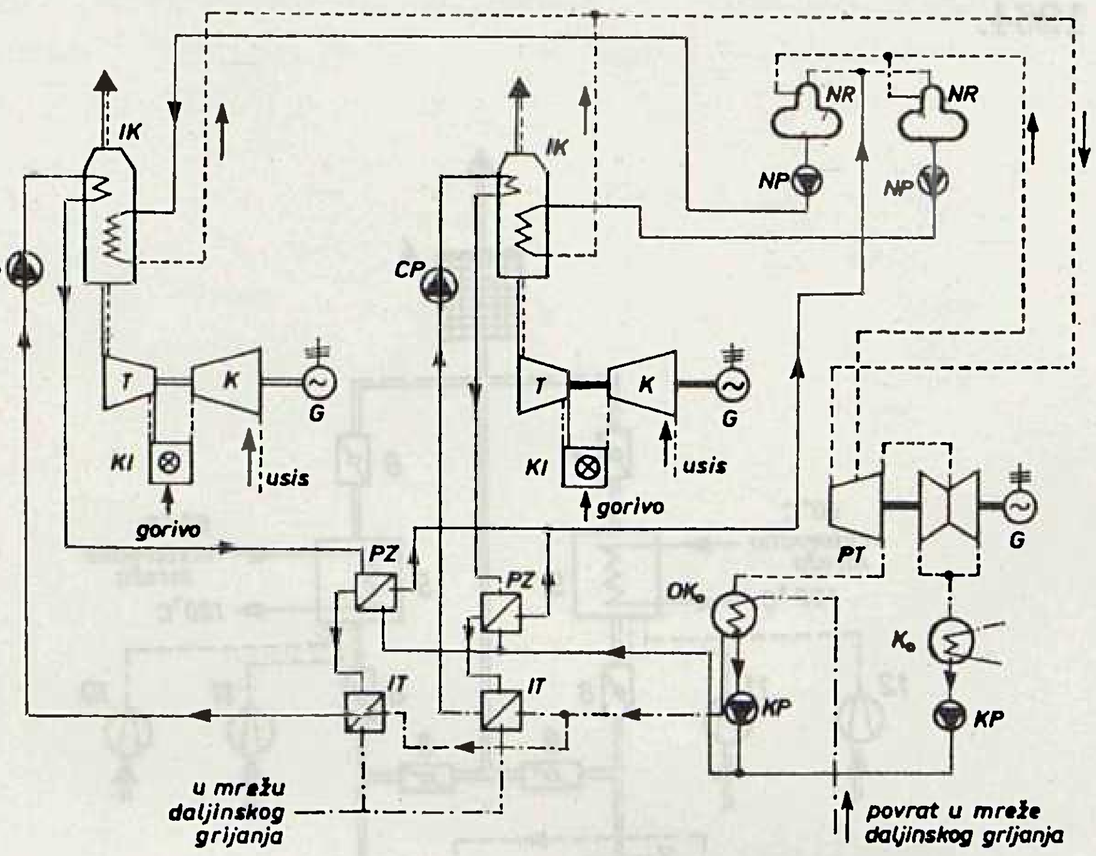
Kombinirana plinsko-parno-turbinska toplana Saarbrücken izgrađena je u rujnu 1973. godine. Plinska turbina radi u jednostepenom otvorenom procesu bez predzagrijavanja. Aksijalni kompresor izveden je sa 17 stepeni, a plinska turbina sa 2 stepena. Broj okretaja plinske turbine je 5 100 o/min. Gorivo je zemni plin ili lako loživo-ulje. Parna turbina izvedena je kao oduzimno kondenzaciona sa 11 stepeni. Parna turbina ima 6 000 o/min. Opisano postrojenje toplane Saarbrücken postiže u radu stupanj iskorištenja između 44% i 80,4%. Osnovni podaci tehnički podaci dani su u tablici 7.



Sl. 22. Shema kombinirane plinsko-parne toplane »Saarbrücken«

K — kompresor; T — plinska turbina; R — reduktor; G — generator; PT — parna turbina; K_o — kondenzator; KI — komora izgaranja; IK — ispušni kotao; — IT — izmjenjivač topline

izvedena za maksimalnu toplinsku snagu od 111,6 MW i maksimalnu električnu snagu od 99,5 MW. Kod maksimalne električne snage postiže se stupanj iskoristivosti od 48,5%, a kod maksimalne toplinske snage čak 81,8%. To su u svakom slučaju veoma visoke vrijednosti.



Sl. 23. Shema plinsko-parne toplane »Utrecht«

K — kompresor; T — plinska turbina; PT — parna turbina; KI — komora izgaranja; IK — ispušni kotao; G — generator; K_o — kondenzator; OK_o — ogrjevni kondenzator; NP — napojna pumpa; KP — pumpa kondenzata; NR — napojni rezervoar; CP — cirkulaciona pumpa; PZ — predzagrijač; IT — izmjenjivač topline

U postrojenju su ugrađene 2 plinske turbine BBC tipa 9 koje rade u jednostepenom otvorenom procesu bez predzagrijavanja. Plinske turbine, kao i ispušni kotlovi smješteni su u staru zgradu kotlovnice, umjesto starih ugljeno loženih kotlova. Ispušni kotlovi (IK) koje je proizvela firma NEM sastoje se od sistema za proizvodnju pare i sistema

Tablica 7.

Osnovni tehnički podaci toplane Saarbrücken

	Bez dodatnog loženja		S dodatnim loženjem	
— el. snaga plinske turbine	23,5 MW		23,5 MW	
— el. snaga parne turbine	9,25 MW	4,6 MW	20,05 MW	13,8 MW
— ukupna elektr. snaga	32,75 MW	28,1 MW	43,55 MW	37,3 MW
— ukupna toplinska snaga	5,8 MW	42,3 MW	23,1 MW	52,3 MW
— ukupni stupanj iskorištenja	44%	80,4%	54,3%	73,9%
— para u kondenzator	47 t/h	1 t/h	60 t/h	25 t/h
— para na oduzimanju	O	46 t/h	25 t/h	60 t/h
— temperatura pare	430 °C		510 °C	
— temperatura ispuha plinske turbine	485 °C		485 °C	

f) **Kombinirano plinsko-parna toplana Utrecht (46)**

Godine 1977. Brown Boveri je preko knozorcija u Nizozemskj, ponudio PEGU-su iz Utrechta izgradnju plinsko-parnoturbinske toplane. Toplana je za zagrijavanje primarnog kružnog toka. Primarni kružni tok služi za predzagrijavanje kondenzata (PZ) i za zagrijavanje toplovodne mreže (IT).

Ostali tehnički podaci nalaze se u tablici 8.

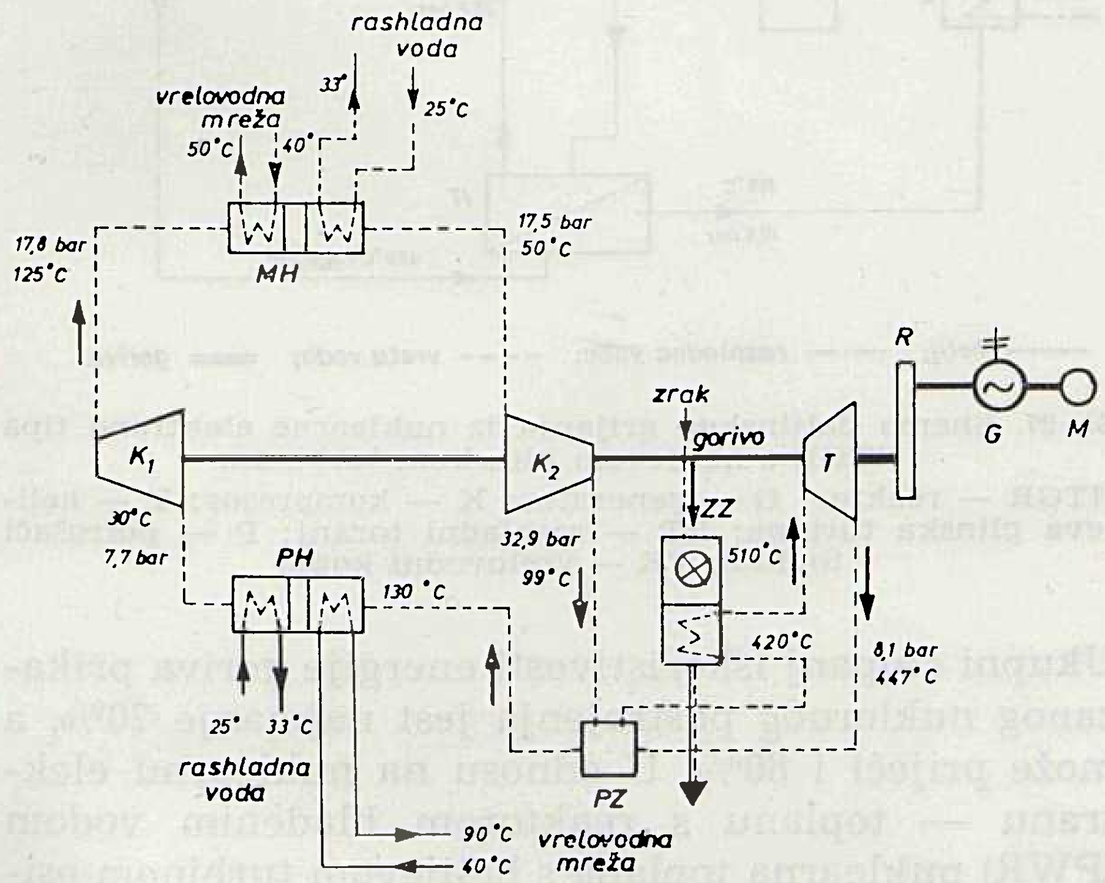
Tablica 8.

Tehnički podaci plinsko-parne toplane Utrecht

(Gorivo — zemni plin, zrak na usisu 0 °C)	Kod maks. topl. snage	Kod maks. elektr. snage
— temperatura ispuha pl. turbine	519 °C	519 °C
— temperatura ispuha ispušnog kotla	103 °C	103 °C
— snaga plinske turbine	2×30,75 MW	2×30,75 MW
— snaga parne turbine	26 MW	38 MW
— ukupna električna snaga	87,5 MW	99,5 MW
— topl. snaga ogrjev. kondenzatora	79,8 MW	0
— topl. snaga izmijenj. topline	31,8 MW	16,6 MW
— ukupna toplinska snaga	111,6 MW	18,6 MW
— pritisak pare ispred parne turbine	36,6 bara	36,6 bara
— temp. pare ispred parne turb.	460 °C	460 °C
— ulazna temp. vode za dalj. grijanje	65 °C	65 °C
— izlazna temp. vode za dalj. grij.	95 °C	95 °C
— količina vode u mreži dalj. grijanja	886 kg/s	147 kg/s
— energetsko iskorištenje goriva	81,8%	48,5%

g) **Plinskoturbinska toplana Oberhausen** (55)

Godine 1960. u Oberhausenu je puštena u rad plinska turbina sa zatvorenim procesom. Radni medij je vrući zrak. Radni proces sastoji se od dvostepene kompresije (K_1 i K_2) s međuhlađenjem (MH), predzagrijavanjem (PZ) zraka, zagrijavanja zraka (ZZ), jednostepene ekspanzije i predhlađenja nakon ekspanzije (PH). Nazivna električna snaga je 12,5 MW, a ogrjevna od 20 do 28 MW.



Sl. 24. Shema toplane »Oberhausen« (zatvoreni proces)
PH — prethladnjak; MH — međuhladnjak; PZ — predzagrijavanje zraka; R — reduktor; ZZ — zagrijač zraka; M — zagonski motor; K_1, K_2 — kompresori; T — turbina; G — generator

Kao gorivo u zagrijaču zraka koristi se ugljena prašina. Kompresori i turbina nalaze se na istoj osovini i postižu 6 600 okretaja u minuti. Odnos stupnjeva kompresije je 4,25. U kružnom procesu je 129 kg/s u strujanju.

Termički stupanj djelovanja kod proizvodnje električne energije iznosi 29,5%, a ukupni stupanj iskorištenja 69%. Uz ovo postrojenje izgrađen je i spremnik topline sa zapreminom od 200 m³, koji omogućuje izjednačavanje potrošnje i proizvodnje topline . . .

7. MOGUĆNOSTI PRIMJENE PLINSKE TURBINE U NUKLEARNIM TOPLANAMA

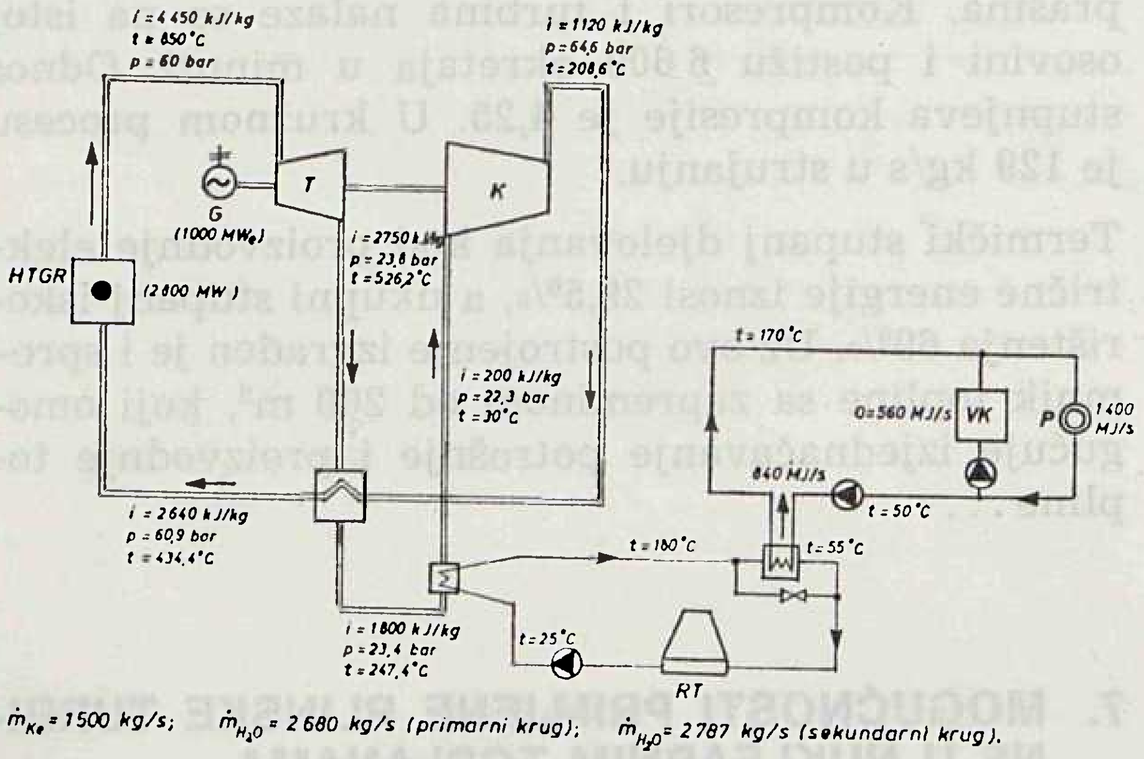
Kao što je već do sada navedeno, postoje realne mogućnosti za primjenu helijevih plinskih turbina u nuklearnim elektranama odnosno toplanama. U eri sve veće svjetske krize nafte takva mogućnost postaje veoma interesantna.

Za primjenu plinske turbine u nuklearnom reaktoru dolazi u obzir samo zatvoreni proces, koji je relativno malo istražen. Kao radni medij, umjesto zraka, odabran je helij. Helij u odnosu na zrak, medij, ima ove prednosti: nije aktivan i ne izaziva kemijske reakcije, ima gotovo peterostruko veći kapacitet, gubici pritiska upola su manji, te je gustoća znatno manja. Ipak, i helij ima nedostataka, primjerice veliku prodornost, što znatno otežava brtvljenost cijelog kruga strujanja. Kako i primjena zatvorenog procesa i pogotovo helija kao radnog medija plinske turbine nisu bile dokraja praktično ispitane, bilo je nužno početi s eksperimetalnim praktičnim istraživanjima helijeve plinske turbine.

Prvi planovi za gradnju visokotemperaturnog nuklearnog reaktora, hlađenog s plinom helijem (HTGR), s intergriranom zatvorenom plinskom turbinom nastali su još oko 1962. godine. Već tada se u SR Njemačkoj pojavila ideja da se jedna helijeva plinska turbina, prije primjene u nuklearnoj elektrani, ispita na klasično fosilno gorivo. Inicijativu je dao EVO (Energieversorgung Oberhausen), a Savezno ministarstvo za razvoj i tehnologiju prihvatilo je inicijativu i u okviru IV Atomprogrames des Bunlesrepublik Deutschland dalo financijsku pomoć za izgradnju fosilno ložene helijeve plinske turbine snage 50 MWe. Financijsku pomoć za gradnju prve helijeve turbine u svijetu dao je i Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG.

Gradnja je povjerena EVO-u jer je u Oberhausenu postojalo već dugogodišnje iskustvo sa zatvorenim procesom plinske turbine i zrakom kao radnim medijem. Posebno je interesantno da je ovo postojenje sagrađeno kao toplana za grijanje jednog dijela

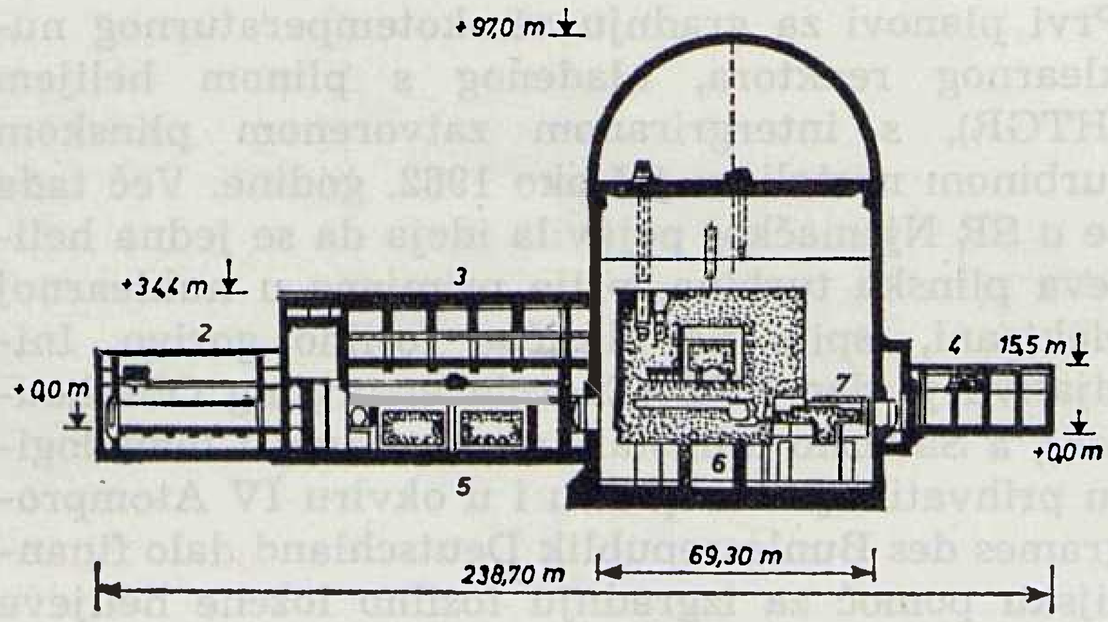
grada. Toplinska snaga koja se oslobađa u hladnjaku helija odnosno zagrijaču tople vode iznosi 53 MW.



Sl. 25. Shema helijske plinske turbine u Oberhausenu
K — kompresor; PT — plinska turbina; Z — zagrijač vrele vode; H — hladnjak; ZH — zagrijač helija; IT — izmjenjivač topline

Postrojenje je pušteno u pogon 1975. godine, a u prosjeku radi oko 2 500 sati godišnje.

Gorivo je koksni plin. Stupanj djelovanja na stezaljkama 0,32, a ukupni stupanj iskorištenja 0,66. Principijelna shema helijeve turbine u osnovi odgovara shemi plinske turbine s vrućim zrakom. Ulazna temperatura u ovu helijevu turbinu (750 °C) ograničena je koksnim loženjem, dok je kod nuklearnih HTGR temperatura plina na izlazu i viša od 850 °C. Ulazni pritisak u turbinu (27 bara) također je prenizak za nuklearna postrojenja (oko 40 bara). Ipak, uz veći protok helija i povećane mjere bitnih komponenata moguće je izvesti 300 MW elektranu ovog tipa. Na taj način moguća je daljnja ekstrapolacija na velike nuklearne elektrane.

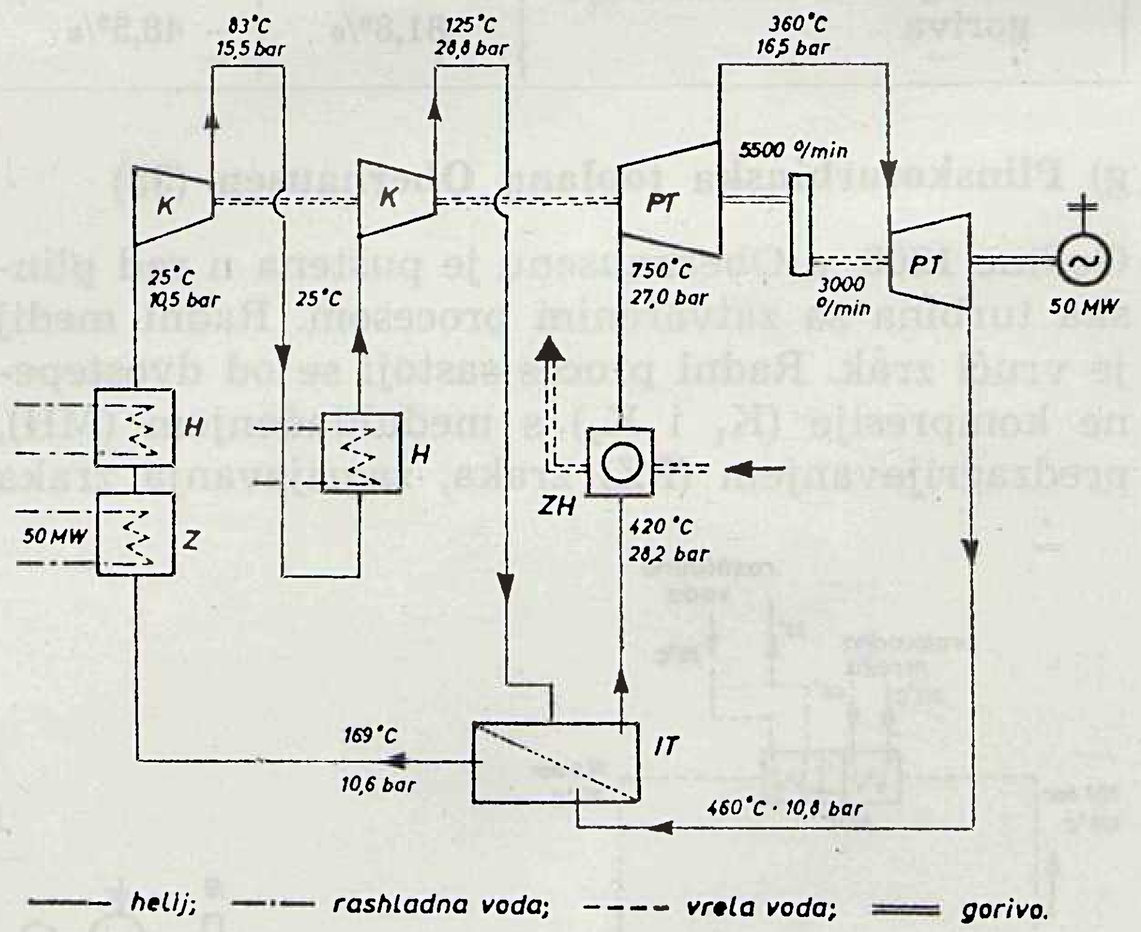


Sl. 26. Referentna nuklearna elektrana HTGR s helijevom plinskom turbinom (neHo el. snage 1240 MW-Brown Boveri)
1 — zgrada reaktora; 2 — zgrada za dekontaminaciju; 3 — pomoćna zgrada; 4 — zgrada za reviziju generatora; 5 — skladište elemenata goriva; 6 — plinska turbina; 7 — generator

U radu helijeva turbina pokazuje sve osnovne prednosti zatvorenog procesa plinske turbine sa zrakom. U oberhausenu najviše pažnje posvećuju ispitivanjima brtvljenosti postrojenja i ispitivanjima dinamičkog ponašanja.

Razvoju visokotemperaturnih plinom hlađenih reaktora s helijevom turbinom nekoliko zadnjih godina posvećuje se u svijetu posebna pažnja. Takav zajednički razvoj danas ostvaruju SR Njemačka i Švicarska, koje su razvile osnove za jednu referentnu nuklearnu elektranu tipa HTGR s helijevom plinskom turbinom (slika 26). Osnovni zadaci koji predstoje u radu isrtaživača ovog projekta jesu: postizanje visokog stupnja djelovanja uređaja (više od 40%), stvaranje »nabijenog« kružnog procesa (čime se direktno smanjuju dimenzije), i omogućavanje racionalnog održavanja s intervalom velikih revizija svakih 6 godina. Također treba istaći da se integriranjem plinskoturbinskog postrojenja s reaktorskim dijelom znatno pojednostavljuje izgradnja i pojeftinjuje cijelo postrojenje. Postoje i realne mogućnosti izgradnje nuklearnih brzih oplodnih reaktora s helijevim hlađenjem, a to opet daje nove mogućnosti primjene helijeve plinske turbine.

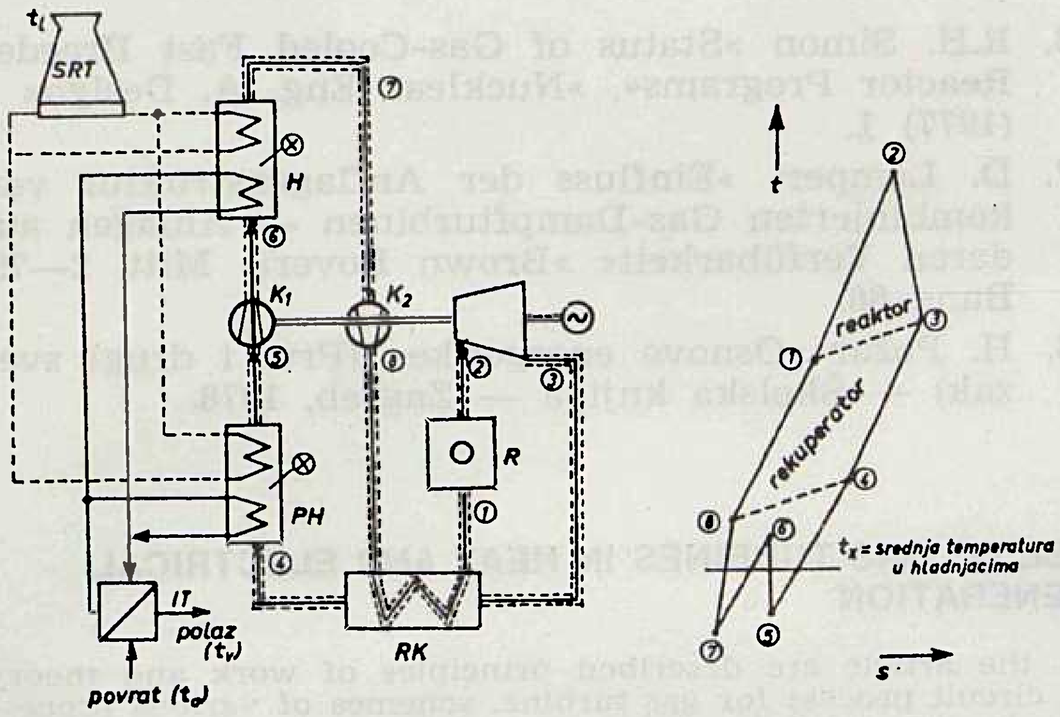
Upotreba nuklearnih postrojenja tipa HTGR s hejevom plinskom turbinom posebno je pogodna i za kombiniranu proizvodnju električne i toplinske energije. U svijetu se vrše brojna razmatranja ovakvog posrojenja. Jedno takvo nuklearno postrojenje prikazano je na slici 27. s električnom snagom od 1 000 MW, a toplinskom snagom 1400 MJ/s.



Sl. 27. Shema daljinskog grijanja iz nuklearne elektrane tipa HTGR s helijevom plinskom turbinom
HTGR — reaktor; G — generator; K — kompresor; T — helijeva plinska turbina; RT — rashladni toranj; P — potrošači topline; VK — vrelovodni kotao

Ukupni stupanj iskoristivosti energije goriva prikazanog nuklernog postrojenja jest najmanje 70%, a može prijeći i 80%. U odnosu na nuklearnu elektranu — toplanu s reaktorom hlađenim vodom (PWR) nuklearna toplana s helijevom turbinom osigurava više polazne temperature i, što je posebno važno, potpuno neovisnu proizvodnju električne energije. Investicioni troškovi prema sadašnjim

procjenama približno su isti. Prije svega, radi zaštite okoline urbanih sredina i štednje tekućih i plinovitih goriva razvoj nuklearnih toplana mora dobiti prvenstvo. Razvojem nuklearnih elektrana — toplana još više će se proširiti i centralizirani sistem opskrbe industrije i domaćinstava toplinom, što će omogućiti nove uštede energije. Kombinacija prednosti zatvorenog procesa plinske turbine i nuklearne energije omogućuje racionalnu proizvodnju i toplinske i električne energije.

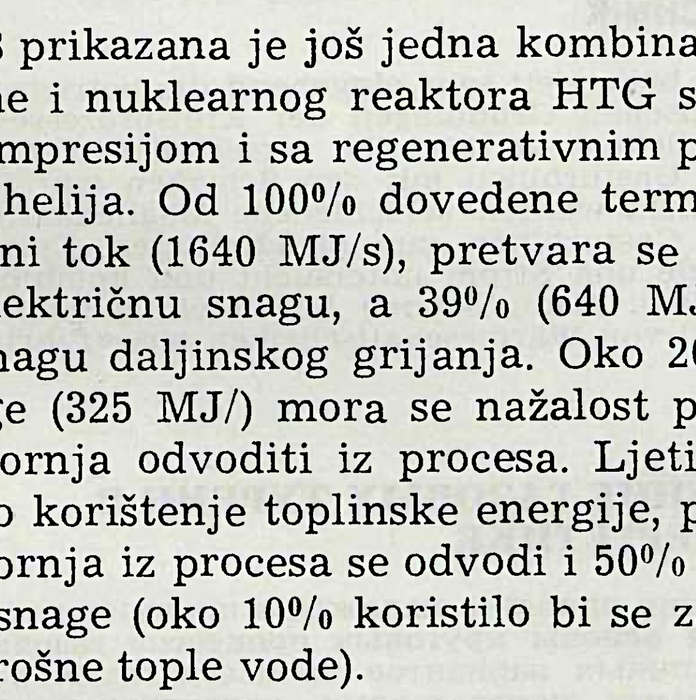


Sl. 28. Shema nuklearne elektrane-toplane (tipa HTGR) s prikazom u »t-s« dijagramu

SRT — suhi rashladni toranj; IT — izmjenjivač topline; RK — rekuperator; H — među hladnjak; PH — predhladnjak; K_1 — niskotlačni kompresor; K_2 — visokotlačni kompresor; R — reaktor (tip HTGR)

Na slici 28 prikazana je još jedna kombinacija plinske turbine i nuklearnog reaktora HTG sa dvostepenom kompresijom i sa regenerativnim predzagrijavanjem helija. Od 100% dovedene termičke snage u kružni tok (1640 MJ/s), pretvara se 41% (675 MW) u električnu snagu, a 39% (640 MJ/s) u toplinsku snagu daljinskog grijanja. Oko 20% dovedene snage (325 MJ/) mora se nažalost preko rashladnog tornja odvoditi iz procesa. Ljeti, kada je minimalno korištenje toplinske energije, preko rashladnog tornja iz procesa se odvodi i 50% dovedene termičke snage (oko 10% koristilo bi se za zagrijavanje potrošne tople vode).

Zagrijavanje izmjenjivača topline može se postići odvođenjem topline iz prethladnjaka i međuhladnjaka (uz temperaturu polaza do 110 °C) ili odvođenjem topline samo iz prethladnjaka (uz temperature polaza i do 130 °C).



Sl. 29. Energetsko iskorištenje nuklearne elektrane-toplane (tip HTGR)

8. ZAKLJUČAK

Upotreba stacionarnih plinskih turbina otvorenog procesa u toplinarstvu danas sigurno više nije atraktivna. Međutim, opisane brojne varijante poluzatvorenog procesa, kombiniranog plinsko-parnog procesa i zatvorenog procesa s helijevom turbinom nude već danas daljnji razvoj primjene plinskih turbina u kombiniranoj proizvodnji električne i toplinske energije. Svakako, osnovne prednosti su mogućnosti korištenja ugljena i nuklearnih goriva uz visok stupanj iskorištenja.

LITERATURA

1. G. Homonnay »Fernheizungen«; Verlag C.F. Müller-Karlsruhe, 1977.
2. Rcknagel-Sprenger »Taschenbuch für Heizung, Lüftung und Klimatechnik«, R. Oldenbourg-München, Wien, 1964.
3. W. Endres »40. Jahre Brown Boveri Gasturbinen« »Brown Boveri Mitteilungen Februar 1979., Band 66.
4. Energietechnik für morgen — KWU« November 1979.
5. Stadt Köln können Städte tun, um Energie zu sparen? Ki-extra 6, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe 1978.
6. R. Schäch »Gasturbinen für die kombinierte Erzeugung von Wärme und Strom sowie für Fernheizungg«, »FWI« Jg. 8 (1979) Heft 2.
7. P.C. Feix — W. Strittmatter »Analyse der Lufverunreinigungen am Standort eine BBC — Gasturbine«, Brown Boveri Mitt. 2—79, Band 66.
8. Reitschel/Raiss »Heiz — und Klimatechnik« Springer — Verlag Berlin (Heidelberg) New York, 1968.
9. A. Schwarzenbach — H. Frutschi »Gasturbinen für Fernheizkraftwerke«, Brown Boveri Mitteilungen, September 1977. Band 64.
10. M. Haase »BEWAG — Heizkraftwerk Charlottenburg« Energie, Jh. 26, Nr. 3, 1974.
11. R. Kehlhofer »Vergleich von Kraftwerken für Wärmekraftkopplung« VGB — Seminar »Industrie-Heizkraftwerke«, 1979.
12. F. Dietzel »Gasturbinen« Energie, Jh. 26, Nr. 6, 1974.
13. G. Deuster — P. Zenker »Das Fernheizsiptem Oberhausen« FWI Jh. 8 (1979) Heft. 2.
14. O. Schoch »Gasturbinen« BWK 30 (1978) Nr. 4
15. B. Biele, K. Bode, H. Frutschi, K. Schneider »Abwärmenutzung bei Kernkraftwerken mit Hochtemperaturreaktor und Heliumturbine für die Fernwärmeversorgung«, »BWK« 31 (1979) Nr. 3, März.
16. H. Haselbacher »Gasturbinen mit geschlossenem Kreislauf für HTR Kerkraftwerke und LNG — Weidervergesungsanlagen« Brown Boveri Mitt. 2—79. Band 66.
17. K. Schröder »Grosse Dampfkraftwerke« Springer Verlag 1962.
18. Z. Elčić »Parne i plinske turbine« »Praktičar« III dio, Školska knjiga — Zagreb, 1973.

19. J. Flad. »Guter Start mit STAG — Fünf Jahre kombiniertes Gas! Dampf-Turbinen — Heizkraftwerk« Energie, Jahrg. 31, Nr. 1. Januar 1979.
20. »Gasturbine für Marine — und Industrieeinsatz« Verlag »KHD Deutz«, 1980.
21. R. Kehlhofer »Kombinierte Gas-/Dampfturbine — Kraftwerke mit Wärme-Kraft Kopplung«, Druckschrift Nr. CH-TO40 113 D, Brown Boveri.
22. H. Gubser »Das kombinierte Gas-/Dampfturbine Heizkraftwerk Utrecht, Druckschrift Nr. CH-T 040 123D, Brown Boveri.
23. J. Miller »Parne i plinske turbine I, II«, Tehnička knjiga — Zagreb, 1965.
24. W. Fässler »Verfügbarkeit der BBC — Gasturbinen« »Brown Boveri Mitt. 2—79., Band 66.
25. M. Molnar »Toplotne mašine« Zavod za udžbenike — Beograd, mart 1974.
26. H. J. Thomas »Entwicklungen bei Dampf-und Gasturbinen« — »Warme« — Band 85 — Heft 3.
27. J. B. Endres »Vergleichsgrundlagen bei Gasturbinen verrschiedener Auslegnug«, »Energie«, Jh. 30, Nr. 9, September 1978.
28. K. F. Pickhard »Abhitzekessel hinter Gasturbinen«, »Energie«, Jh. 30, Nr. 9, September 1978.
29. D. Weber »Die kalte Energie« — »Energie« Jh, 30, Nr. 7, Juli 1978.
30. H. Brückner — E. Wittchow »Kombinierte Gas (Dampfturbinenprozesse«, B-W-K, 1979, Nr. 5, Mai).
31. »KWK mit Gasturbinen« »Energie«, Jahrg. 30, Nr. 1, November 1978.
32. H. Schreckner — B. Bon »Endriel: Kombination von Gas — und Dampfturbine« »Energie«, Jahrg. 30, Nr. 6, Juni 1978.
33. C. Keller »Über Grundlagen und Aufban des ersten Kernkraftwerks mit Gasturbine im Direktkreislauf« B-W-K, 20, Nr. 6, Juni 1968.
34. N. Gašparović »Habbgeschlossene Gasturbinenangalen« — B-W-K, 19, Nr. 5, Mai 1967.
35. N. Gašparović »Zur thermodynamischen Ausegung habgeschlossener Gasturbinenanlagen« B-W-K, 20, Nr. 6, Juni 1968.
36. A. Buch »Entscheidungshilfe durch Nomograme« »Energie«, Jahrg 32, Nr. 3, März 1980.
37. Strickrodt »Wärmeauskopplung aus Kernkraftwerken Kostenvergleich LWR — HHT«, »Energie«, Jahrg. 29, Nr. 11, November 1977.
38. G. Püttner »Fernwärmeversorgung in München Erweiterung in Kraftwerk Lüd«, »Energie«, Jahrg, 29, Nr. 11, November 1977.
39. H Meyer »Stand und Entwicklung des kombinierten Gas-Dampfturbinenkraftwerks mit druckgefenerten Dampferzengern und vorgeschalteter Kohle druckvergasungsanlage noch dem STAEG-Lurgi--Verfahren« — »Energie«, Jahrg 29, Nr. 7, Juli 1977.
40. G. Jäkei »Warmeaustanscher in Gasturbinenkraftwerken« »Energie«, Jahrg 28, Nr. 1 Januar 1976.
41. W. Wein, L. Stauch, F. Meier, K. Budzynski »Betriebserfahrungen mit dem Kombiblock des Heizkraftwerkes III/A der Stadwerke Duisburg AG«, »Energie«, Jahrg 29, Nr. 3, März 1977.
42. K. Bers, R. Strempel »Gasturbinen — Heizkraftwerk Wilmersdorf der BEWAG« »Energie«, Jahrg 28, Nr. 11, November 1976.
43. V. Potočnik »Plinske turbine za proizvodnju električne i toplinske energije »Energija« 1973, br. 11—12.
44. M. Balog »Plinskoturbinska elektrana Osijek« »Energija« God. 29 (1980) br. 5—6.
45. H. Brückner, W. Emsperger, E. Wittchow »Kraftwerkkonzepte unter Einsatz von Wirbelschichtfeuerrungen« Siemens — Energietechnik« 2 (1980) Heft 7.
46. R.H. Simon »Status of Gas-Cooled Fast Breeder Reactor Programs«, »Nucklear Eng. A. Design« 4 (1977) 1.
47. D. Lampert »Einfluss der Anflagenstruktur von kombinierten Gas-Dampfturbinen — Anlagen auf deren Verfübarkeit« »Brown Boveri« Mitt. 2—79, Band 66.
48. H. Požar »Osnove energetike« (Prvi i drugi svezak) — Školska knjiga — Zagreb, 1978.

USE OF GAS TURBINES IN HEAT AND ELECTRICAL GENERATION

In the article are described principles of work and theory of circuit process for gas turbine, schemes of various processes in gas turbines, with comparison of process in steam turbine. As well is presented analysis of application gas turbine for heat and electrical energy production in combination with gas-steam turbine sets.

DER EINSATZ VON GASTURBINEN IN DER WÄRMETECHNIK

Der Aufsatz behandelt sehr eingehend die betriebstechnischen und theoretischen Grundlagen der Kreisprozesse in Gasturbinen. Verglichen werden die verschiedenen Schemen der Prozesse in Gasturbinen mit den Schemen von Dampfturbinen. Ausserdem werden verschiedene Möglichkeiten des Einsatzes von Gasturbinen zur gleichzeitigen Erzeugung von Wärmeenergie und Strom untersucht und kombinierte Anlagen mit Gas-u. Dampfbetrieb behandelt. Gezeigt wird eine grössere Zahl von Wärmeschaltschemen ausgeführter Anlagen.

ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОВЫХ ТУРБИН В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

В статье очень опширно изложены принципы работы и теоретические основы круговых процессов газовых турбин, схемы различных вариантов процесса газовых турбин со сравнительными показателями характерных величин и сопоставлеие с процессом паровых турбин. Далее проанализированы возможности применения газовых турбин для совместной выработки тепловой и электической энергии нагазотурбинных установках и комбинированных газо-паротурбинных установках. Статья иллюстрирована многочисленными схемами выполненных установок.

mr. Milanović Zlatko, dipl. ing.
Eektroprivreda—Zagreb

Energija God. 30 (1981) br. 3—4, 131—134

OPTIMALNO OPTEREĆENJE GRADSKOG DISTRIBUTIVNOG SISTEMA S OBZIROM NA ŠTETE ZBOG NEISPORUĆENE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Rihard Schenner, Zagreb

UDK 621.316.1

Prikazan je teorijski pristup analizi pouzdanosti gradskih TS 110/20 kV. Izrađen je, nadalje, numerički primjer za jednu od takvih budućih stanica u gradu Zagrebu. Na kraju se navode problemi koje bi u daljnjim studijama trebalo obrađivati u području ove materije.

1. ANALIZA POUZDANOSTI

Kod analize pouzdanosti potrebno je poći od same svrhe cijelog računa, a zatim objasniti sam postupak.

Kao najrealniji pristup cijeloj analizi može se prihvatiti postupak objavljen u (2) i (3). Baza cijelog postupka je zapravo analiza troškova i traženje njihova minimuma. Jednom su to troškovi ulaganja u mrežu, a drugi put troškovi korisnika zbog prekida napajanja.

Račun troškova u mrežu ovdje se neće provoditi, jer je to već dosta često napravljeno ranije.

Račun pouzdanosti će se nešto detaljnije proanalizirati zbog kontinuiteta, a i zbog nekih zaključaka. Sam račun pouzdanosti može se podijeliti na dva dijela, i to na:

— određivanje tehničkih veličina pouzdanosti
— određivanje šteta korisnika.

1.1. Tehničke veličine pouzdanosti

O računu pouzdanosti u posve tehničkom smislu dosta se pisalo, ali se piše i dalje jer je dosta teško prilagoditi se svim događajima u jednoj električnoj mreži. Međutim, jedan dosta kompleksan i sveobuhvatan pristup nalazi se u (4) i (5).

Pouzdanost napajanja nekog sistema određena je ovim veličinama:

— vjerojatnošću prekida napajanja
— srednjim trajanjem prekida napajanja
— srednjim trajanjem ciklusa napajanje — nenapajanje.

Svaki sitem električne mreže prelazi u toku pogona iz jedng stanja u drugo po nekom slučajnom odnosno stohastičkom procesu.

Najjednostavniji stohastički proces je slučajno pomicanje (6).

Za analizu pouzdanosti u električnim mrežama koristi se složeniji oblik stohastičkih procesa, a to su Markovljevi procesi (7). Osnovno je svojstvo Markovljevih procesa to da distribucija slučajnih varijabli u momentu $t = t_n$ ovisi samo o stanju procesa u prethodnom koraku odnosno stanju. To drugim riječima znači da će sistem prijeći u neko drugo stanje, ovisno samo o mogućnostima prijelaza u druga stanja, a ne i o stanjima kroz koja je sistem prolazio u prošlosti.

Vjerojatnost prijelaza iz stanja i u stanje j u vremenu τ određena je Champan-Kolmogorovljevim sistemom jednadžbi:

$$p_{ij}(t+\tau) = \sum_k p_{ik}(t) \cdot p_{kj}(\tau) \qquad i, j = 1, 2 \cdots r. \tag{1}$$

Deriviranjem izaza (1) po τ i stavljanjem $\tau = +\emptyset$ dobije se Kolmogorovljev sistem diferencijalnih jednadžbi zadanog Markovljeva procesa:

$$p_{ij}(t) = \sum_k \lambda_{kj} \cdot p_{ik}(t) \qquad i, j = 1, 2 \cdots r. \tag{2}$$

Izraz (2) može se pisati u matričnom obliku:

$$\underline{P}'(t) = \underline{P}(t) \cdot \underline{\lambda}. \tag{3}$$

Elementi λ_{kj} matrice određeni su prema (7) izrazom:

$$\lambda_{kj} = \left| \frac{d\, p_{ki}(\tau)}{d\tau} \right| \tag{4}$$

Ti elementi nazivat će se u daljnjem tekstu koeficijenti prijelaza. Praćenjem kvarova na tehničkim uređajima došlo se do zaključka da se vjerojatnost zastoja određenog uređaja može izraziti pomoću eksponencijalne distribucije koja ima gustoću vjerojatnosti:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} \qquad t > 0. \tag{5}$$

Jedno vrlo važno svojstvo eksponencijalne distribucije jest to da vjerojatnost kvara u periodu vremena $T + t$ ne ovisi o veličini vremena T. To svojstvo je neobično važno jer omogućava primjenu Markovljevih procesa za račun pouzdanosti električne mreže.

Matematičko očekivanje, odnsno srednje vrijeme trajanja pogona kod eksponencijalne distribucije određeno je izrazom:

$$E(t) = \int_0^\infty \lambda \cdot t \cdot e^{-\lambda \cdot t} dt = \frac{1}{\lambda}. \qquad (6)$$

Derivacija vjerojatnosti zastoja u vremenu $t = \emptyset$ iznosi λ, što je recipročna vrijednost srednjeg trajanja pogona. Ova veličina služi za određivanje matrice Δ. U slučaju analize zastoja uvodi se koeficijent prijelaza μ.

Ovdje se zbog pomanjkanja prostora neće navoditi primjeri rješenja prema izrazu (3).

Srećom, za praktičnu primjenu su realni podaci za λ i μ takvi da se vrijednosti za vjerojatnost pojedinih stanja u toku vremena vrlo brzo približavaju statičkom stanju, tj. vrijednostima kada je $t = \infty$. Zbog toga se za praktičnu primjenu može koristiti izraz (3) u ovom obliku:

$$\underline{O} = \underline{P}(t) \cdot \underline{\lambda}. \qquad (7)$$

To znači da se dobiva sistem linearnih jednadžbi, koji se lako rješava.

Na ovaj način dobiva se veličina vjerojatnosti događaja određenog stanja ili grupe stanja sumiranjem vjerojatnosti pripadnih stanja.

Međutim, osim te veličine potrebno je i odrediti frekvenciju određenog stanja ili grupe stanja. Frekvencija određenog stanja određena je izrazima:

$$f_s = \frac{1}{T_s} = p_{ps} \cdot \lambda_{ps} = p_{zs} \cdot \mu_{zs} \qquad (8)$$

$$\left(T_s = t_{ps} + t_{zs}, \quad \lambda_{ps} = \frac{1}{t_{ps}}, \quad \mu_{zs} = \frac{1}{t_{zs}}, \quad p_{ps} = \frac{t_{ps}}{T}, \quad p_{zs} = \frac{t_{zs}}{T}\right).$$

Frekvencija stanja može se očito odrediti ako se poznaju koeficijenti prijelaza λ i μ i vjerojatnosti pojedinih stanja.

Prema (8) mogu se koeficijenti λ i μ za pojedina stanja odrediti uz pretpostavku da su sva stanja osim analiziranog apsorbirajuća stanja. Na takav način se može analizirati serijski i paralelni spoj, pa se dobije:

za serijski spoj: $\lambda_s = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$

za paralelni spoj: $\mu_s = \sum_{i=1}^{n} \mu_i.$ (9)

Međutim, ako se analiziraju kao osnovna dva stanja, i to napajanje i nenapajanje, tada svako od tih stanja čini grupa stanja. Prema (9) određena je frekvencija takve grupe izrazom:

$$f_{sg} = \sum_i \sum_j p_i \cdot \lambda_{ij} = \sum_i \sum_j p_j \cdot \lambda_{ji} \qquad (10)$$

(i — stanja napajanja, j — stanja nenapajanja)

Upravo će izraz (10) biti potreban u analizi pouzdanosti električne sheme transformatorske stanice 110/20 kV za grad Zagreb, jer kod nje postoji uzdužno rastavljanje i na 110 kV i na 20 kV sabirnicama.

Srednja vremena pogona odnosno koeficijenti prijelaza dobiju se računskim putem iz statistike kvarova.

Za ovu analizu koristili su se podaci iz (9) i nalaze se u tabl. 1.

Tablica I.

Podaci za proračun pouzdanosti pojedinih elemenata mreže

Element mreže	Vjerojatnost zastoja x 10^{-6}	Koeficijenti		Vrijeme ciklusa g
		λ	μ	
		g^{-1}	h^{-1}	
1 km 20 kV kab. voda	208,283	0,0761	0,0417	13,1
1 km 110 kV kab. voda	85,438	0,0125	0,0167	80,0
20 kV rastavljač	1,884	0,00165	0,1000	606,1
110 kV rastavljač	8,056	0,00235	0,0333	425,5
20 kV sklopka	3,482	0,00305	0,1000	327,9
110 kV sklopka	17,351	0,00380	0,0250	263,2
20 kV strujni transf.	0,799	0,00070	0,1000	1428,6
110 kV strujni transf.	2,743	0,00080	0,0333	1250,0
20 kV naponski transf.	0,571	0,00050	0,1000	2000,0
110 kV naponski transf.	2,743	0,00080	0,0333	1250,0
20 kV sabirnice	0,685	0,00060	0,1000	1666,7
110 kV sabir-	3,771	0,0011	0,0333	909,1
20 kV transformator	4,566	0,0040	0,1000	250,0
110 kV transformator	41,665	0,0073	0,0200	137,0

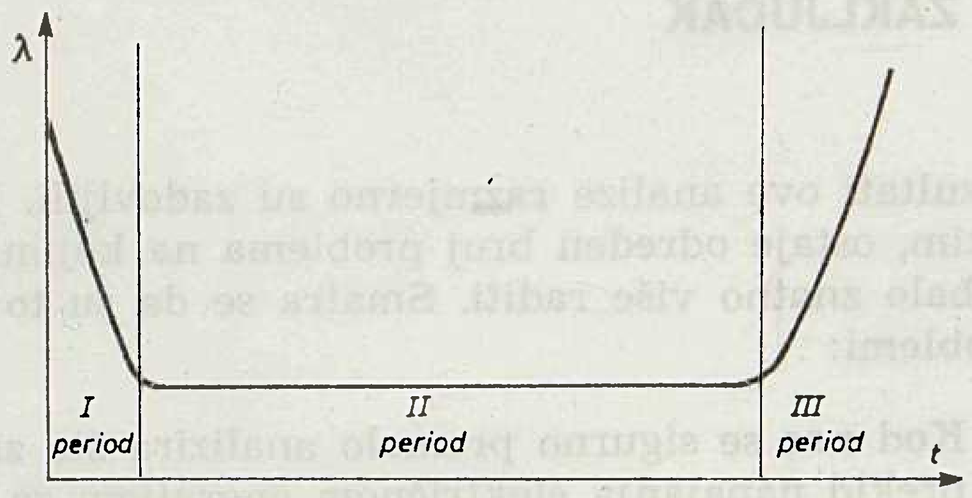
Potrebno je osvrnuti se na prilično velika vremena ciklusa, odnosno pogona, jer su vremena zastoja razmjerno malena. Ona, osim kod vodova, prelaze stotinu godina, što na prvi pogled nije realno.

Takva pojava može se objasniti osnvnim postavkama kod distribucije kvarova. Prema (4) općeniti izraz za vjerojatnost pogona određenog elementa mreže glasi:

$$P_p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)\,dt}. \qquad (11)$$

Ako je λ = konst., dobije se eksponencijalna distribucija. Međutim, u realnosti koeficijent λ nije ipak konstantan i ovisan je o vremenu prema sl. 1.

Prvi period je puštanje određenog elementa mreže u pogon, drugi je normalni pogon, a treći je kraj životne dobi.



Sl. 1.

Računskim putem se u stvari dobije λ iz normalnog pogona, jer on ima i najveći period trajanja. Međutim, taj λ je i najmanji, odnosno prosječna vremena pogona pogona, zapravo su enormno velika, mnogo veća od životne dobi.

Očito je da će se određeni element mreže morat isključiti barem jedanput u periodu životne dobi, ali su ispitivanja iz (10) pokazala da dolazi i prije. U (10) su analizirani pogonski događaji u sedmogodišnjem razdoblju (1971—1977) za dva transformatora 110/30 kV na području grada Zagreba.

Ta je pojava još više istaknuta kod vodova, koji se često moraju isključivati zbog raznih građevinskih radova.

U tabl. 1. nalaze se i podaci za koeficijente μ, odnosno srednja vremena trajanja zastoja. Ta vremena određena su na bazi literature, ali su u određenoj mjeri korigirana kod elemenata koji se mogu zamijeniti (transformatori, sklopke), gdje maksimalno vrijeme zastoja može biti trajanje izmjene elementa.

Sve to pokazuje da je kod računa pouzdanosti potrebno računati s isključenjem pojedinih elemenata mreže i kad nema kvarova. U (11) postoje podaci za ta vremena, ali seinače dosta teško nalaze. Za račun iz ovog članka koristit će se podaci iz tabl. 2.

Tablica 2.

Vremena zastoja zbog drugih postrojenja

Element mreže	Vrijeme zastoja zbog drugih postrojenja, h/god
110 kV kabelski vod	45
110 kV transformator	5

1.2. Štete zbog neisporučene električne energije

O samim analizama šteta zbog neisporučene električne energije piše se razmjerno malo. Navode se brojke, ali se ne objašnjava kako se do njih došlo. Međutim, prema njihovim veličinama može se zaključiti da je pristup svugdje sličan, tj. da se jednostavni dijeli narodni dohodak s potrošnjom električne energije prema postupku iz (2). No i kod ovakvog pristupa može doći do greške ako se ne analizira ovisnost narodnog dohotka o električnoj energiji. To znači da treba analizirati korelaciju narodnog dohottka i potrošnje elekrične energije, odnosno drediti pravac regresije:

$$ND = a \cdot W + b. \qquad (12)$$

Konstanta a jest ona kojom se mogu definirati štete zbog neisporučene električne energije.

Prema analizama iz (12) došlo se do veličina koje se mogu smatrati dosta realnima. Neki rezultati se nalaze u tabl. 3.

Tablica 3.

Štete zbog neisporučene električne energije (cijene iz 1978)

Vrsta potrošača	Troškovi neisporučene el. energije (Din/kWh)
Prosjek kućanstva, industr. i ostalo	15
Kućanstva	15
Industrija*	26
Industrija kože i obuće	87
Elektroindustrija	70
Metalna industrija	47
Tekstilna industrija	32
Prehrambena industrija	30
Drvna industrija	20
Industrija gume	12
Kemijska industrija	8
Trgovina, turizam, uredi i sl.	26

Osim troškova zbog neisporučene električne energije nastaju i troškovi zbog neispručene električne snage. To su zapravo štete zbog uništenja materijala i slično u momentu nestanka električne energije. Prema podacima iz strane literature u (12) su određene kao najrealnije veličine, koje se nalaze u tabl. 4.

Tablica 4.

Štete zbog neisporučene električne snage (cijene iz 1978)

Vrsta potrošača	Troškovi neisporučene el. snage (dinara/kW)
Industrija i promet	21
Trgovina i zanatstvo	4
Kućanstva i ostala potrošnja	3
Prosjek	5

* Bez grana 111, 112, 114, 115 i 118.

2. ANALIZA TROŠKOVA

Analiza troškova napravljena je pomoću godišnjih troškova.

Cijela analiza svodi se na to da se s porastom opterećenja transformatorske stanice 110/20 kV smanjuju troškovi opreme po kilovatsatu transformirane energije, ali rastu troškovi neisporučene električne energije i snage i gubitaka. Optimum se postiže minimumom sume troškova.

Cijena 110 kV kabelskih vodova računala se ovisno o presjeku od 4 137 000 d/km do 7 179 000 d/km, cijena transformatorske stanice 110/20 kV, 2 × 63 MVA ovisno o opterećenju od 87 960 000 d do 93 400 000 d, a cijena 20 kV kabelskog voda 185 mm² Al sa 900 000 d/km. Faktor godišnjih troškova iznosi u računu 0,15.

Kod računa gubitaka računalo se s cijenom gubitaka energije i snage prema tarifnim stavovima za određen naponski nivo. Vršno opterećenje transformatorske stanice 110/20 kV, 2 × 63 MVA i 110 kV kabelskog voda variralo se između 60 i 120 MW, a 20 kV izvoda iznosilo je 5 MW.

Kod računa troškova neisporučene električne energije i snage bila je cijena neisporučene električne energije 34 d/kWh, a snage 11 d/kW. Rezultati analize nalaze se u tab. 5.

Tablica 5.

Troškovi po kilovatsatu transformirane energije kod analize transformatorske stanice 110/20 kV, 2× 63 MVA

Vršno opterećenje, MW	Troškovi po kWh transformirane energije (d/kWh. god)			
	opreme	gubitaka	neisporučene el. energije	ukupno
60	0,087.858	0,009.128	0,021.318	0,118.304
70	0,082.103	0,008.823	0,025.887	0,116.813
80	0,077.329	0,008.946	0,028.907	0,115.182
90	0,073.094	0,008.965	0,032.410	0,114.469
100	0,070.840	0,009.155	0,035.829	0,115.824
110	0,069.188	0,009.366	0,038.690	0,117.244
120	0,067.164	0,009.512	0,040.630	0,117.306

Prema ovoj analizi optimum se postiže kod približno 75% termički dozvoljenog opterećenja. U prije napravljenoj studiji predloženo je 70% termički dozvoljenog opterećenja, što se može prihvatiti. Pri tome se ima u vidu da se rezultati razlikuju maksimalno za samo 3,3%.

3. ZAKLJUČAK

Rezultati ove analize razmjerno su zadovljili. Međutim, ostaje određen broj problema na kojima bi trebalo znatno više raditi. Smatra se da su to ovi problemi:

1. Kod nas se sigurno premalo analizira što znači prekid napajanja električnom energijom za potrošača, odnosno kakve su štete zbog prekida napajanja.
2. Analiza kvarova u električnim mrežama pokazuje, i to u većini literature, da su kvarovi na elementima mreže vrlo rijetki i da srednja vremena između kvarova prelaze životnu dob elemenata. Iznimka su samo vodovi. S druge strane se prema (10) pokazalo da vrlo veliko vrijeme ukupnih zastoja nisu kvarovi, nego zahtjevi drugih. To znači da je potrebna kompleksnija analiza svih zastoja i zbog čega do njih dolazi, što bi sigurno prilično pridonijelo analizi pouzdanosti.

LITERATURA

1. R. Schenner, R. Šimunec: Određivanje nazivne snage transformatorske stanice 110/10, 20 kV i presjeka vodiča 10, 20 kV kabelskog voda pomoću ispitivanja na modelu, JUKO CIGRE, Sarajevo, 1979. g. R. 322.03.
2. R. B. Shipley, A. D. Patton, J. S. Denison: Power Reliability Cost VS Worth. IEE Transactions on Power Aparatus and Systems, Vol. 91, No 8, September/October 1972.
3. W. Kaufman: Abnehmerorientierte Optimierung des Aufwandes für die Zuverlässigkeit der Elektrizitätsversorgung insbesondere im grossstädtischen Netz, Universität Stuttgart. (Technische Hochschule) Stuttgart 1974. (disertacija)
4. R. Billinton: Power System Reliability Evaluation, Gordon and Breach, New York, 1970.
5. J. Endrenyi: Reliability Modeling in Electric Power Systems, John Wiley and Sons, Chichester, New York, Toronto
6. V. Vranić: Vjerojatnost i statistika, Tehnička knjiga, Zagreb, 1971.
7. Ž. Pauše: Vjerojatnost — Informacija Stohastički procesi, Školska knjiga, Zagreb, 1974.
8. A. K. Ayoub, J. D. Guy, A. D. Patton: Evaluation and Comparison of Some Methods for Calculating Generating System Reliability, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-89, No 4, April 1970.
9. E. Schuh: Störungs — und Schadensstatistik 1966——1975., Verband der Elektrizitätswerke Österreich, Wien, 1978.
10. R. Schenner: Primjer proračuna pouzdanosti u distributivnoj mreži, Energija, 1979. br. 1—2

11. K. P. Ewelt: Zur Bestimmung der Versorgungssicherheit von Stromverteilungsnetzen, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 68 (1969) Heft 9.

12. R. Schenner, R. Šimunec: Metoda brzog određivanja ekonomskih faktora pouzdanosti i rezerve u gradskim i pokrajinskim mrežama, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1980.

OPTIMAL LOADING OF URBAN DISTRIBUTION NETS WITH REFLECTION ON LOSSES DUE TO UNDELIVERED ELECTRICAL ENERGY

In the article is presented theoretical method for analysis of reliability of 110/20 kV urban transformer stations. Numerical example for one future station in town Zagreb is also presented. At the end, some problems which have to be solved in following studies are highlighted.

ZUR OPTIMALEN BELASTUNG EINES STÄDTISCHEN STROMVERSORGUNGSNETZES UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VOM VERBUSTEN DURCH MICHTERFOLGTE ENERGIELIEFRUNGEN

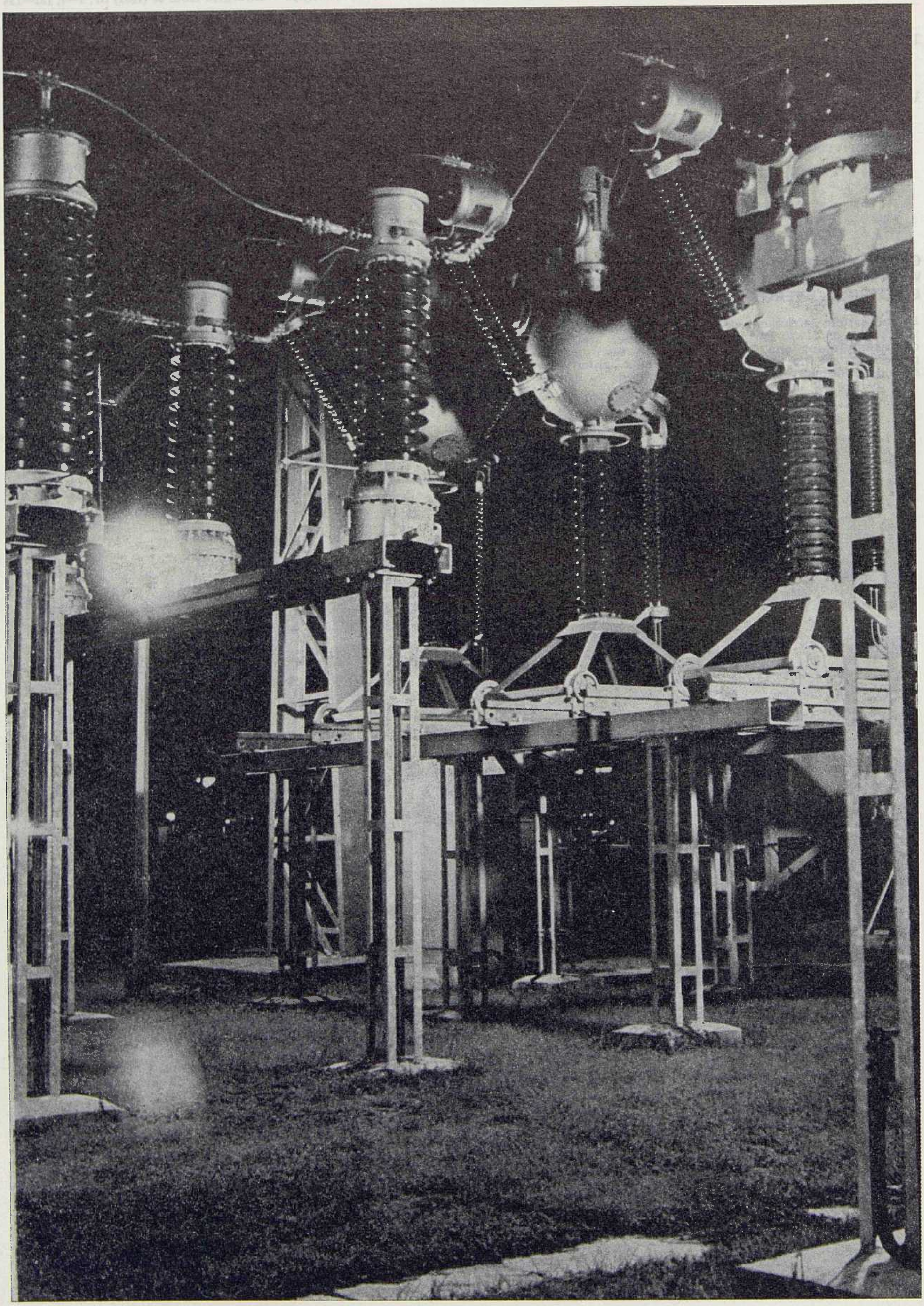
Gezeigt wir die theoretische Behadnlung des Problems der Zuverlässigkeit von städtischen 110/20 kV Transformatorenanlagen. Gleichzeitig wird ein numerisches Beispiel für eine der geplanten Umspannstationen der Stadt Zagreb dargestellt. Abschliessend behandelt der Verfasser Fragen, die bei nachfolgenden Studien dieser Probleme untersucht werden sollten.

ОПТИМАЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ ГОРОДСКИХ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ С УЧЕТОМ УЩЕРБА ОТ ОБЕСТОЧЕНИВАНИЯ

Показан теоретический подход к анализу надежности городских подстанций 110/20 кВ. Выполнен числовой расчет для одной из таких будущих подстанций в г. Загреб. Наконец указываются проблемы, которые, по мнению автора, следовало бы исследовать при дальнеиших проработках данной материи.

Naslov pisca:

mr. Rikard Schenner, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb



Energija God. 30 (1981) br. 3—4, 135—140

UPOTREBA BETONSKIH STUPOVA U ELEKTRIČNOJ MREŽI »ELEKTROISTRE« PULA

Luciano Delbianco, Pula

UDK 621.315.66

Dane su tehničke karakteristike i mogućnosti primjene betonskih stupova za vodove 10 kV i 20 kV. Prikazana je njihova upotreba prilikom sanacije šteta od nevremena na području Istre.

UVOD

Prema planu razvoja elektroenergetske mreže »Elektroistre« Pula za razdoblje d 1981. do 1985. godine bit će potrebno, između ostalog, izgraditi 258 km nove 10/20/ kV mreže i oko 300 km nove niskonaponske mreže. Ako tome dodamo i održavanje tj. izmjenu dotrajalih ili oštećenih stupova, (od groma, požara i dr.) dolazimo do potrebe za velikim brojem novih, drvenih stupova, bilo za visoki 10/20/ kV bilo sza niski 0,4 kV napon. Već poznat problem nabave tako velikog broja drvenih stupova, a uz to i nedovoljna kvaliteta drvene građe (mali vijek trajanja, loša kvaliteta impregnacije i dr.) naveli su tručnjake radne organizacije »Elektroistra« Pula na razmišljanje o upotrebi betonskih stupova za mreže niskog i visokog napona.

Uz to što bi se betonski stupovi mogli koristiti za izgradnju novih dalekovoda, njihova je primjena još veća kod sanacije postojećih.

Upotreba betonskih stupova za sanaciju dalekovoda

Potkraj travnja ove godine veliko nevrijeme koje je zahvatilo srednjoistarsko područje i bilo praćeno snijegom, ledenom kišom i vrlo jakim vjetrom uzrokovalo je velike materijalne štete na 35 kV dalekovodu Pazin—Pula, te na objektima elektroenergetske mreže prema tablicama 1. i 2.:

10/20 kV mreža Tablica 1.

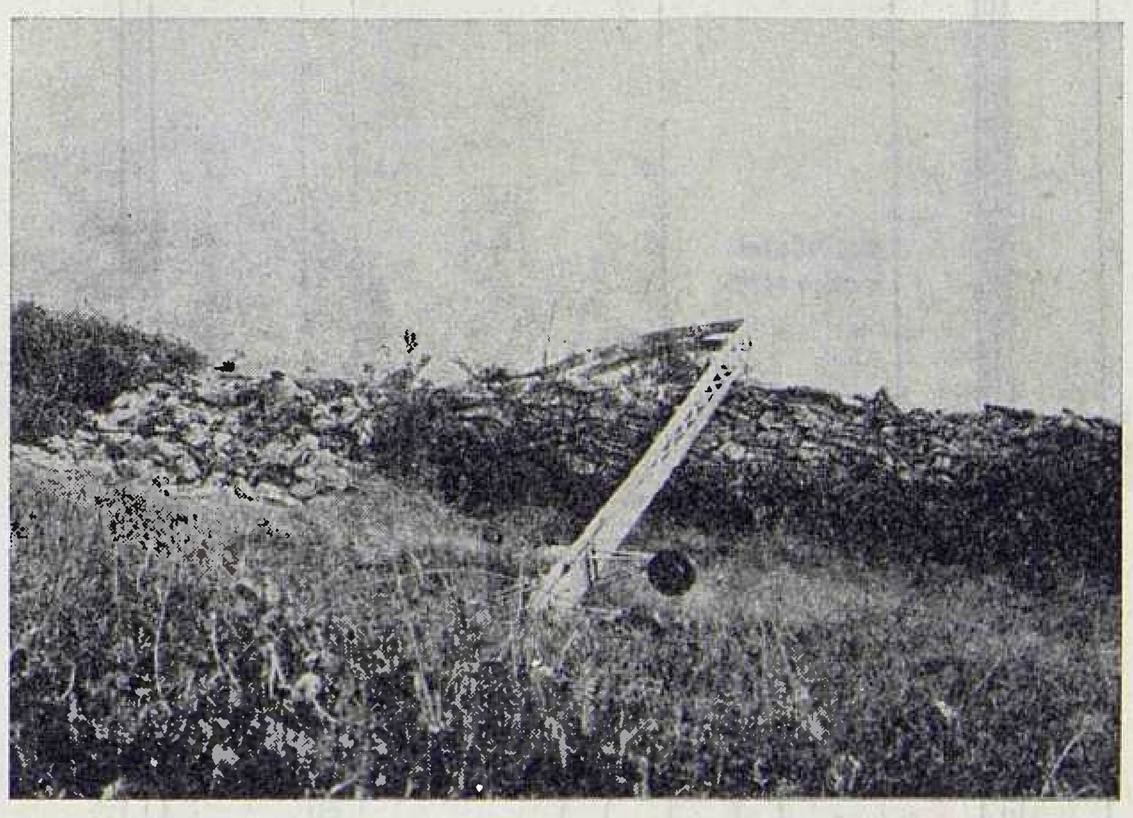
Drveni stupovi na betonskim nogarima 9 i 10 m	trajno oštećeni	kom.	150
Betonski stupovi (talijanske proizvodnje)	„	„	8
Željezno-rešetkasti stupovi tip »BATES«	„	„	20
Drveni stupovi »A« na betonskim nogarima, 9 m	„	„	4

0,4 kV-tna mreža Tablica 2.

Drveni stupovi 9 m	trajno oštećeni	kom.	130
Drveni stupovi na betonskim nogarima	„	„	9

Da bi se dobio točan opseg oštećenja, treba dodati oštećenja na vodičima, izolatorima, spojnom materijalu i dr.

Na slici 1 prikazana su oštećenja drvenog stupa na betonskom nogaru, te željezno-rešetkastog stupa tipa »Bates«.



Sl. 1

U 10 kV-tnoj mreži »Elektroistre« Pula još uvijek postoje dalekovodi starijeg datuma, izgrađeni na željeznorešetkastim stupovima tipa »Bates«, talijanske proizvodnje. Kao što je vidljivo iz Tabele I, za spomenutog nevremena trajno je oštećeno 20 takvih stupova. Najviše je oštećen DV 10 kV Vinčent — Kanfanar, na području OOUR-a »Elektra« Rovinj, gdje je trajno deformirano 18 od ukupno 41 stupa tipa »Bates«.

Zbog prosječnog raspona od oko 90 metara nije bilo moguće popraviti vod s drvenim stupovima, a

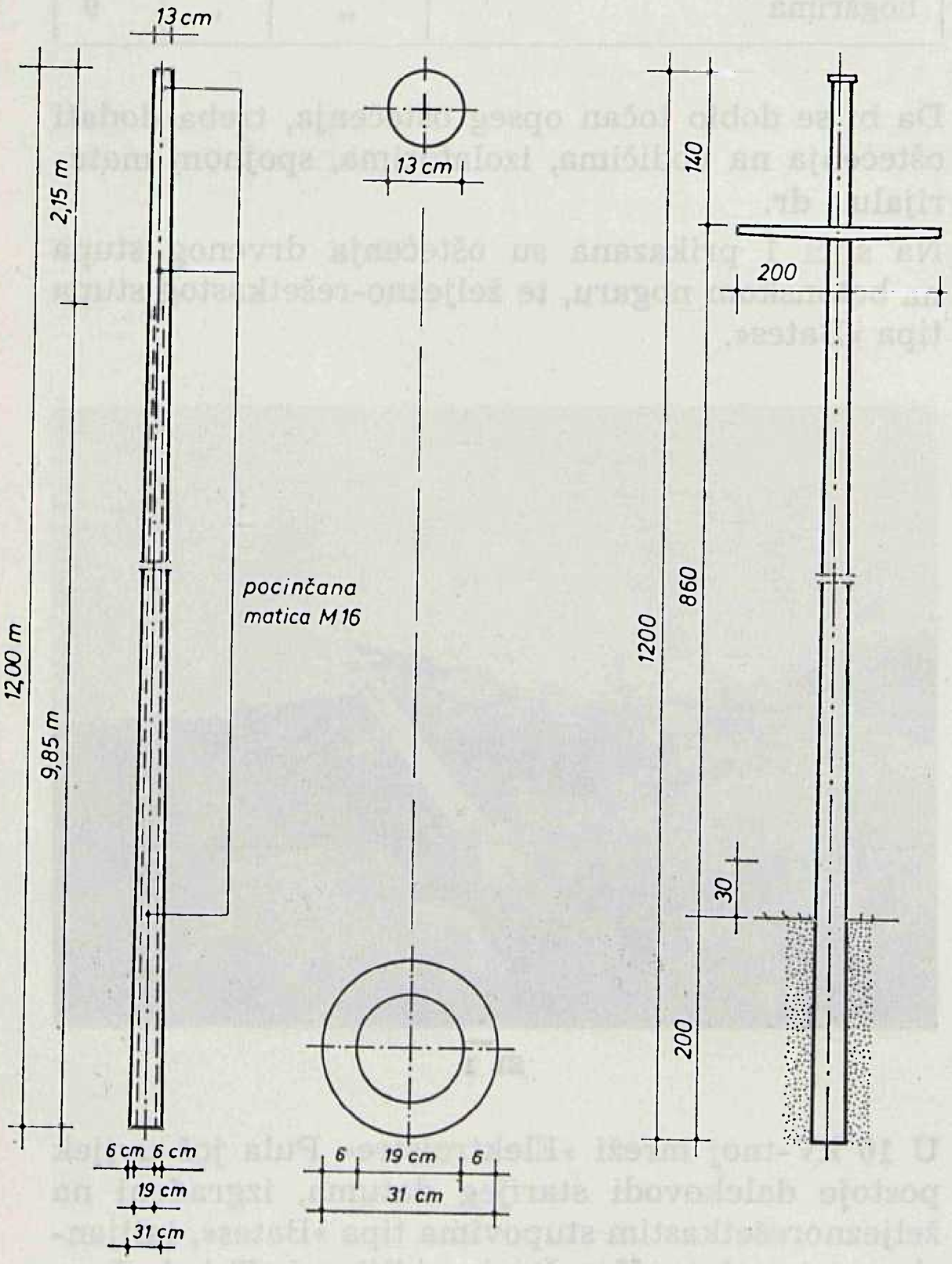
željeznorešetkasti stupovi proizvodnje »Dalekovod« Zagreb bili su preskupi. Za popravak voda upotrijebljeni su betonski stupovi što ih proizvode OOUR »Betonjerka« iz Aleksinca i Elektroizgradnja »Bajina Bašta« iz Bajine Bašte.

OKRUGLI BETONSKI STUPOVI

Okrugli betonski stupovi koriste se kao **nosivi** i **kutni** stupovi u distributivnim zračnim mrežama niskog napona i mrežama 10/20/ kV.

Stupovi su izgrađeni od armiranog betona MR 400 metodom vibriranja na vibrostolovima, što omogućuje pravilniji granulometrijski sastav betona.

OOUR »Betonjerka« iz Aleksinca i Elektroizgradnja »Bajina Bašta« iz Bajine Bašte proizvode nekoliko tipova niskonaponskih i visokonaponskih betonskih stupova.



GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE

L	D	d	G	D_1	b	L_1	L_2
m	cm	cm	kg	cm	cm	m	m
12,00	31	13	870	19	6	9,85	2,15

Sl. 2

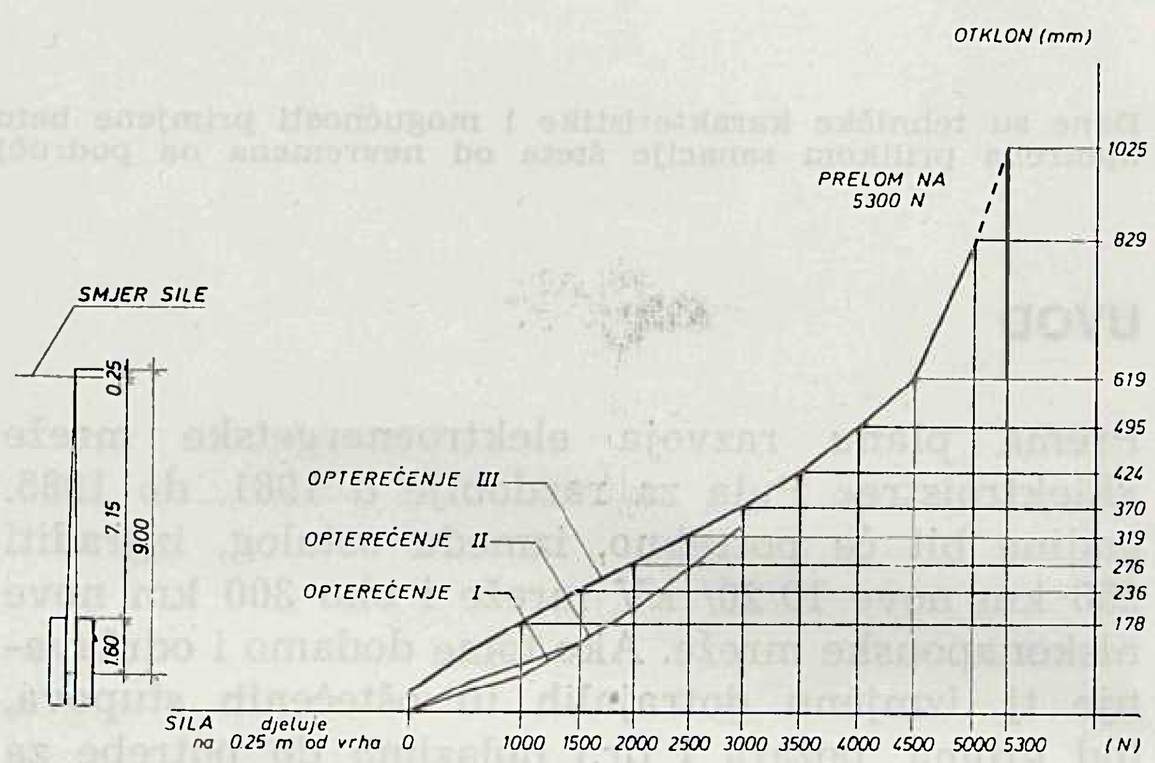
1. NISKONAPONSKI STUPOVI

1.1. Nosivi NN stupovi

Na slici 2. prikazane su dimenzije 9-metarskog stupa. Po narudžbi se također proizvode i stupovi visine 8 i 10 m. Čvrstoća stupova određena je silom na njihovu vrhu. Kod spomenutih stupova ona iznosi:

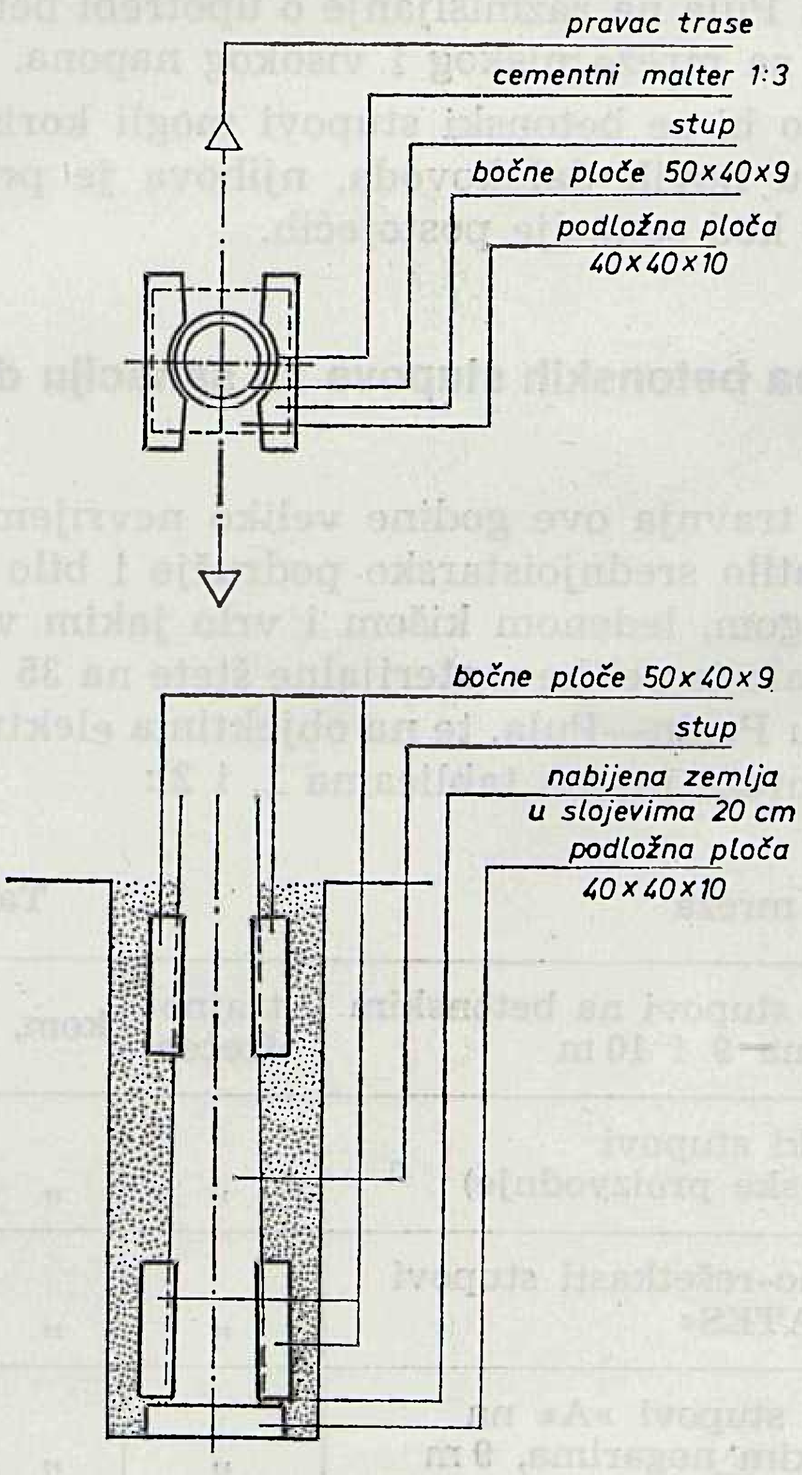
$$F = 225\ daN.$$

Na sligi 3. prikazan je dijagram ispitivanja takvog stupa.



Sl. 3

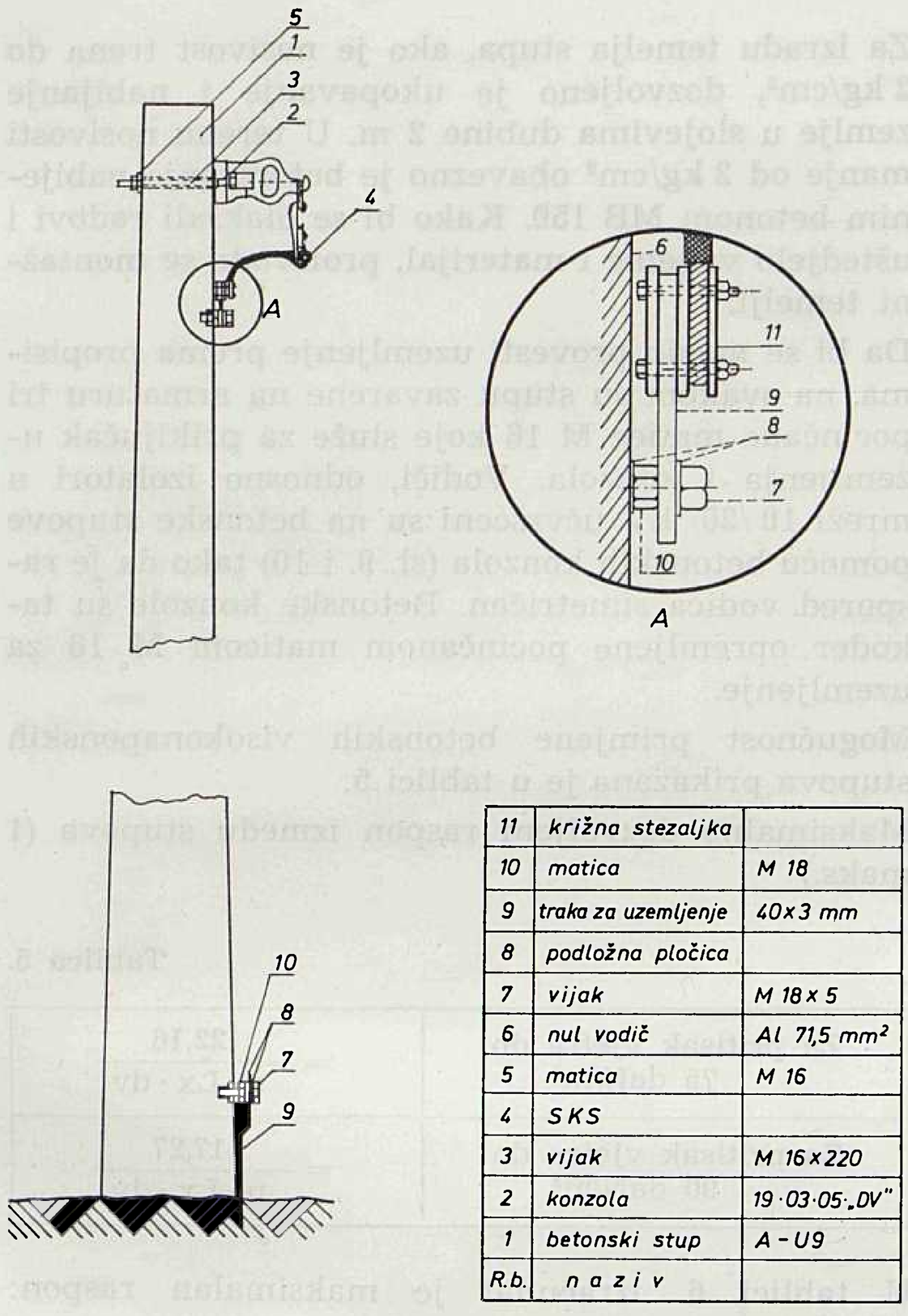
Karakteristično je za primjenu betonskih stupova da se njihovo postavljanje vrši **bez betonskih temelja.** Međutim, pri ugradnji preporučljiva je primjena stabilizacionih ploča.



Sl. 4

Te su stabilizacione ploče tvornički izrađene (dimenzije ploče — 50 × 40 × 9 cm).

Kod terena koji imaju nosivost manju od 1,5 kg/m² potrebno je upotrijebiti i petu podložnu ploču (dimenzije — 40 × 40 × 10). Na slici 5. prikazana su mjesta ugradnje spomenutih ploča.



11	križna stezaljka	
10	matica	M 18
9	traka za uzemljenje	40×3 mm
8	podložna pločica	
7	vijak	M 18×5
6	nul vodič	Al 71,5 mm²
5	matica	M 16
4	SKS	
3	vijak	M 16×220
2	konzola	19·03·05·„DV"
1	betonski stup	A-U9
R.b.	n a z i v	

Sl. 5

Napominjemo da dodatno učvršćivanje temelja pomoću kamenja ne samo da nije korisno, već može biti i štetno za otpornost stupa.

Primjena betonskih stupova u izgradnji distributivnih mreža donosi sa sobom niz problema specifičnih za te stupove.

Jedan je od njih problem **uzemljenja** stupa. Prema tehničkim propisima za gradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nije potrebno izvesti uzemljenje betonskih stupova u mrežama niskog napona ako napon dodira ne prelazi 65 V. Taj se uvjet može postići »nulovanjem« mreže niskog napona, ali istovremeno uvjet nulovanja zahtijeva uzemljenje nul-vodiča svakih 200 do 300 metara, kao i na kraju strujnog kruga.

Uz ta uzemljenja potrebno je provesti i uzemljenje katodnih odvodnika prenapona. To se postiže pomoću pocinčanih matica M 18 zavarenih na armaturu prema slici 5.

Daljnji problem u primjeni betonskih stupova predstavlja učvršćenje vodiča, odnosno izolatora na stupove. Ako se mreža gradi golim vodičima, kao krajnja konzola može se primijeniti ravna konzola za 2 do 5 niskonaponskih priključaka. (Proizvode je spomenuti proizvođači stupova.)

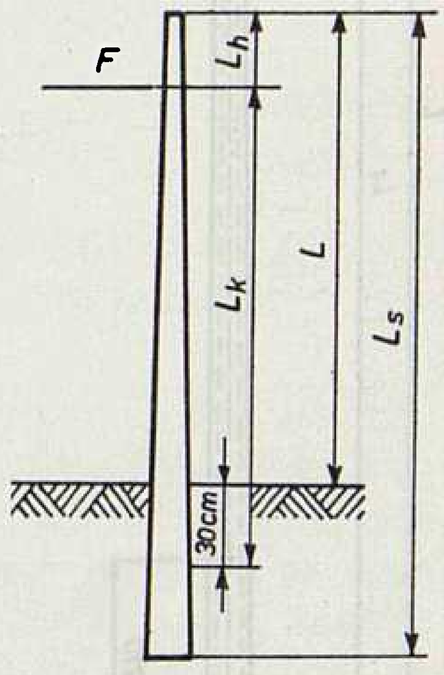
Ako se umjesto golih vodiča upotrijebi elkaleks-kabel, tada se umjesto konzola upotrebljava standardni pribor (»Dalekovod« Zagreb) za pričvršćenje elkaleks-kabela.

Mogućnost primjene neskonaponskih betonskih stupova vidljiva je iz priložene tablice 3.

Maksimalno dozvoljeni raspon između stupova (1 maks)

Tablica 3.

Za pritisak vjetra do 60 daN/m²	$= \frac{24,2}{n \cdot dv \cdot Lk}$
Za pritisak vjetra do 75 daN/m²	$= \frac{18,64}{n \cdot dv \cdot Lk}$



Sl. 6

gdje je:

L = visina vrha stupa nad tlom (m)
Lk = razmak između središta pritiska vjetra na vodiče i tla plus 0,3 m (m)
dv = promjer vdiča (m)
n = broj vodiča.

Kao primjer upotrebe (tablica 4) izračunat ćemo dozvoljeni razmak stupova za kabelski snop ELKALEKS.

Tablica 4.

Kabelski snop ELKA-LEKS		Napreza-nje snopa	Pritisak vjetra	Maks. teoretski raspon	Maks. stvarni raspon
mm²		daN/mm²	daN/m²	m	m
3×35	70 2×16	8	75	82	50
3×70	70 2×16	8	75	63	45

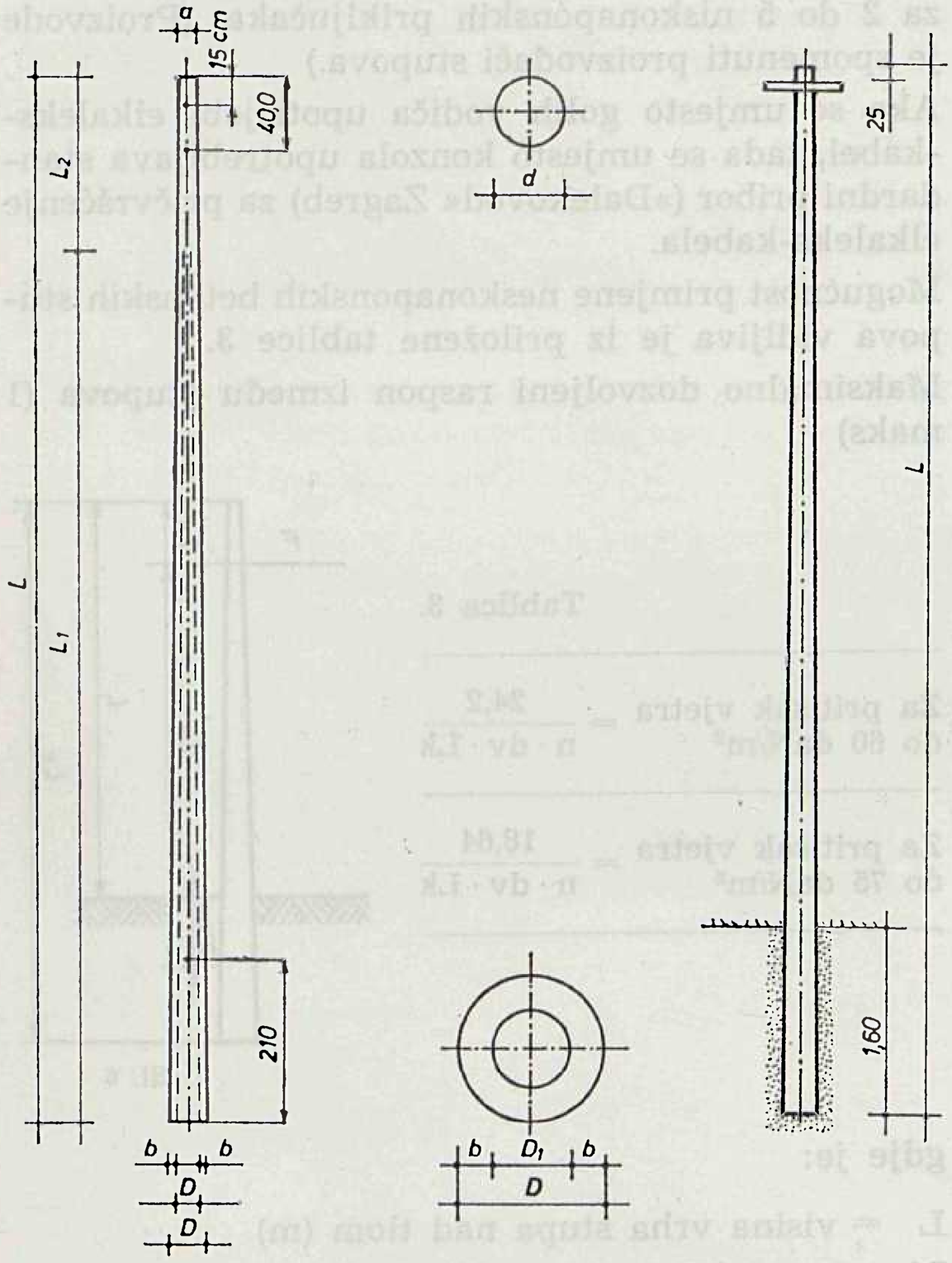
1.2. Kutni niskonaponski stupovi

Dozvoljena sila kojom se može horizontalno opteretiti vrh stupa:

a) za kut skretanja trase do 40 F = 972 daN
b) za kut skretanja trase do 60 F = 1421 daN.

Temelj stupa, bez obzira na nosivost terena, treba izgraditi betoniranjem stope nabijenim betonom MB 150.

2. VISOKONAPONSKI STUPOVI



GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE

L	D	d	G	D_1	b	L_1	L_2
m	cm	cm	kg	cm	cm	m	m
9,00	26,50	13	520	14,50	6	7,50	1,50

Sl. 7

2.1. Nosivi visokonaponski stupovi

Osim 12-metarskog stupa (sl. 7) proizvodi se i stup visine 11 metara jednakih karakteristika. Sila kojom se može horizontalno opteretiti vrh stupa iznosi:

$$F = 220\ daN.$$

Za izradu temelja stupa, ako je nosivost trena do 2 kg/cm², dozvoljeno je ukopavanje i nabijanje zemlje u slojevima dubine 2 m. U terenu nosivosti manje od 2 kg/cm² obavezno je betoniranje nabijenim betonom MB 150. Kako bi se olakšali radovi i uštedjelo vrijeme i materijal, proizvode se montažni temelji.

Da bi se moglo provesti uzemljenje prema propisima, na svakom su stupu zavarene na armaturu tri pocinčane matice M 16 koje služe za priključak uzemljenja i konzola. Vodiči, odnosno izolatori u mreži 10 /20/ kV učvršćeni su na betonske stupove pomoću betonskih konzola (sl. 9. i 10) tako da je raspored vodiča simetričan. Betonske konzole su također opremljene pocinčanom maticom M 16 za uzemljenje.

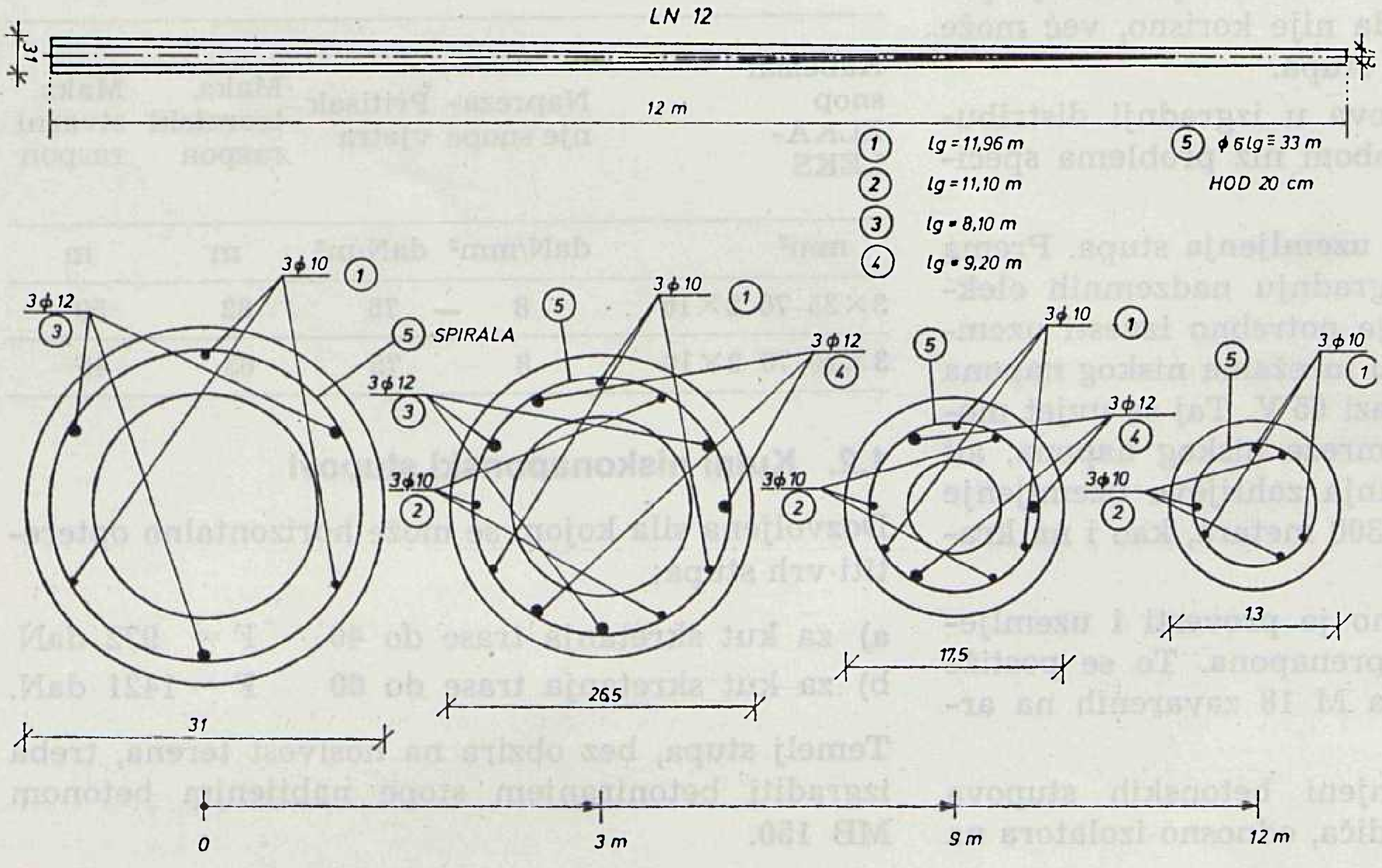
Mogućnost primjene betonskih visokonaponskih stupova prikazana je u tablici 5.

Maksimalno dozvoljeni raspon između stupova (1 maks.)

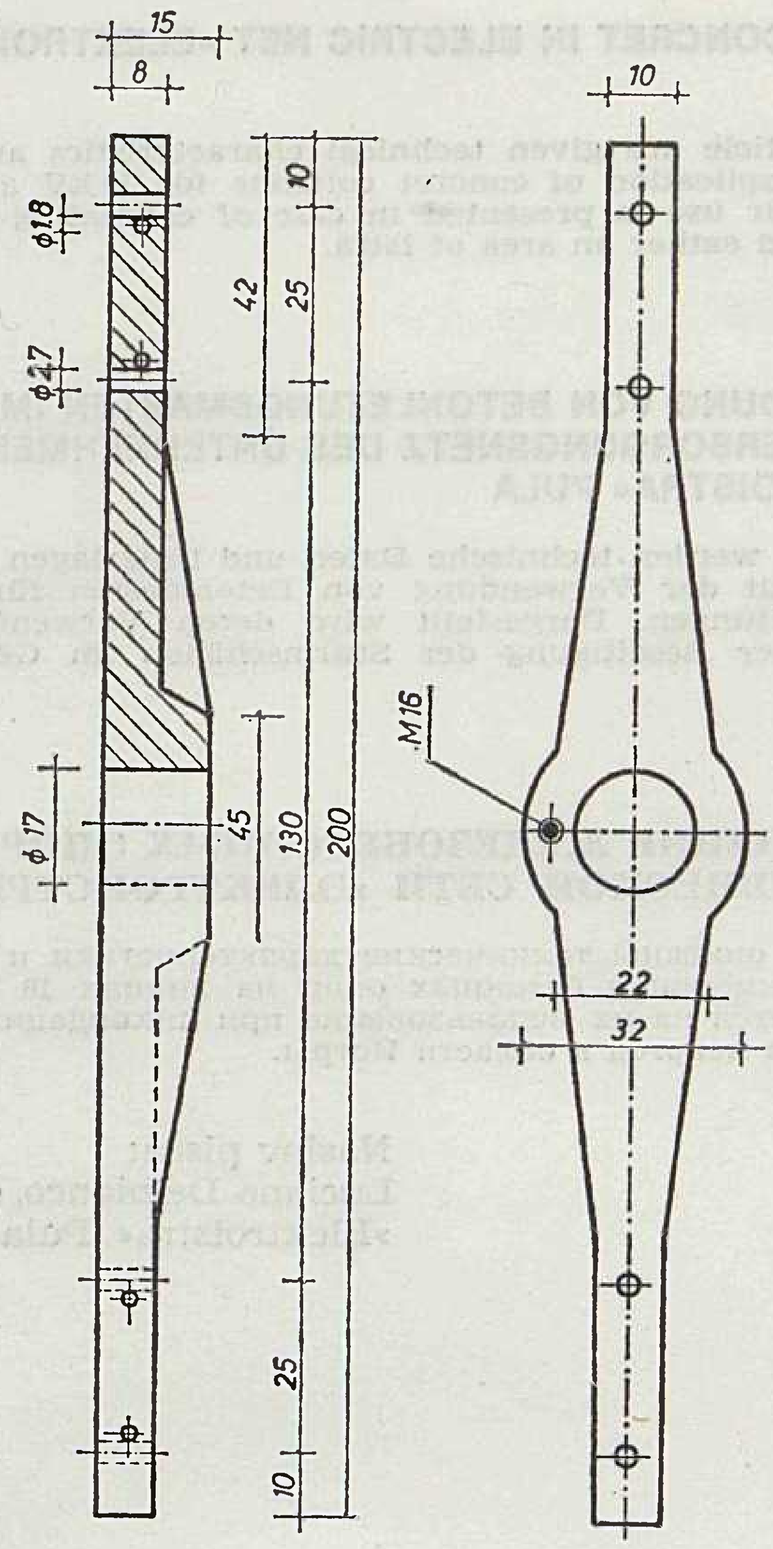
Tablica 5.

Za pritisak vjetra do 75 daN/m²	$= \frac{22,16}{n \cdot Lx \cdot dv}$
Za pritisak vjetra do 90 daN/m²	$= \frac{17,27}{n \cdot Lx \cdot dv}$

U tablici 6. izračunat je maksimalan raspon:



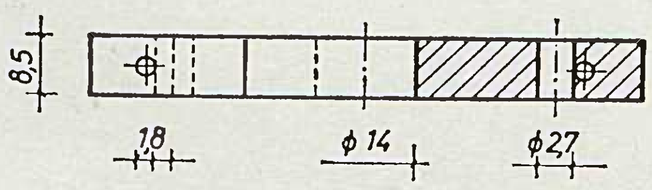
Sl. 8

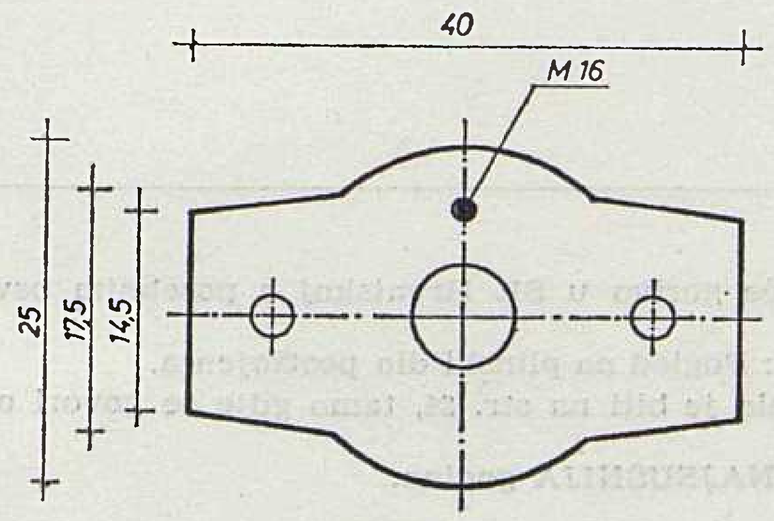


Sl. 9

Tablica 6.

Vodič	Naprezanje vodiča	Atestirana sila na vrhu	Pritisak vjetra	Maks. teoretski raspon	Maks. stvarni raspon
AlČe	daN/mm²	daN	daN/m²	m	m
3×25	8	220	75	110	90
3×35	8	220	75	98	85
3×50	10	220	75	83	80
3×70	10	220	75	68	65





Sl. 10

Za bilo koji drugi razmještaj vodiča mogu se na jednaki način odrediti maksimalni rasponi. Treba napomenuti da je za razmještaj vodiča u obliku »jele« ptrebno izraditi konzola jer se one tvornički ne proizvode.

2.2. Kutni visokonaponski stup

Sila kojom se može horizontalno opteretiti vrh stupa:

a) za kut skretanja trase do 40 F = 1 040 daN
b) za kut skretanja trase do 60 F = 1 400 daN.

Težine pojedinih 12 m visokih stupova:

a) visokonaponski kutni do 40 G = 1 700 kg
b) visokonaponski kutni do 60 G = 2 500 kg.

Temelj stupa, bez obzira na nosivost terena, treba izgraditi betoniranjem stope nabijenim betonom MB 150.

Montaža stupova za niski ili visoki 10 /20/ kV napon vrši se pomoću kamiona dizalice čije mogućnosti moraju odgovarati težini stupa. Ako je trasa dalekovoda nepristupačna kamionu dizalici, za razmještaj stupova po trasi može se koristiti traktor ili neko drugo prikladno vozilo. U tom se slučaju za podizanje stupova može upotrijebiti vitlo i natezač (»tirofor«).

Za penjanje na stup korirste se penjalice (»Karpoš« Skopje iz uvoza) koje se izrađuju u dvije dimenzije. Međutim, ne može se reći da je time riješen problem penjanja, naročito u vrijeme zimskih dana nakon kiše i snijega. Zbog toga je potrebno da proizvođači i korisnici betonskih stupova pronađu bolje, a time i sigurnije rješenje ovog ne tako malog problema.

Nakon ovog pregleda betonskih tupova, da bismo dobili što potpuniju sliku njihove upotrebe, navest ćemo i cijene za nekoliko tipova:

— niskonaponski nosivi stup (9m) . . . 1 532,00 d
— niskonaponski kutni stup (9m) . . . 3 429,00 d
— visokonaponski nosivi stup (12m) . . . 2 635,00 d
— visokonaponski kutni stup za 40 (12m) . . . 5 251,00 d
— visokonaponski kutni stup za 60 (12m) . . . 7 781,00 d

(Cijene u svibnju 1980. godine, u koje nije uračunat i utovar stupova.)

ZAKLJUČAK

Na kraju treba napomenuti da betonski stupovi imaju vrlo veliku mogućnost primjene u izgradnji novih 10/20/ kV i 0,4 kV vodova ili za popravak već postojećih vodova na željeznorešetkastim, betonskim ili drvenim stupovima, kao što je učinjeno u slučaju 10 kV dalekovoda VINČENT — KANFANAR.

Treba također naglasiti da u ovom članku nismo željeli isticati betonske stupove a zanemariti vrijednost i ulogu drvenih i željeznorešetkastih, jer je to nemoguće bez potpunije ekonomsko-tehničke analize. Međutim, betonski stupovi svakako pružaju još jednu mogućnost u izgradnji električnih mreža srednjeg i niskog napona.

LITERATURA

1. Katalozi proizvođača OOUR »Betonjerka« iz Aleksinca i Elektroizgradnje »Bajina Bašta« iz Bajine Bašte.
2. M. Balling: »Uvođenje betonskih elemenata, nogara i stupova u gradnji distributivnih mreža Hrvatske«, Energija 1967 / 11—12.

USE OF CONCRET IN ELECTRIC NET »ELEKTROISTRA« PULA

In the article are given technical characteristics and possibility of aplication of concret columns for 10 kV and 20 kV lines. Their use is presented in case of estimating damages during bad eather on area of Istra.

VERWENDUNG VON BETONLETUNGSMASTEN IM STROMVERSORGUNGSNETZ DES UNTERNEHMENS »ELEKTROISTRA« PULA

Mitgeteilt werden technische Daten und Unterlagen über die Möglichkeit der Verwendung von Betonmasten für 10 und 20 kV-Leitungen. Dargestellt wird deren Verwendung anlässlich der Beseitigung der Sturmschäden im Gebiet von Istrien.

ПРИМЕНЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ »ЭЛЕКТРОИСТРЫ«

В статье описаны технические характеристики и возможность применения бетонных опор на линиях 10 и 20 кВ. Указывается на их использование при ликвидации аварий вследсвии непогод в области Истры.

Naslov pisca:
Luciano Delbianco, dipl. ing.
»Elektroistra« Pula

ISPRAVAK:

U broju 1—2, u članku inž. Pavlovića — Problematika elektrana na tekuće gorivo u SR Hrvatskoj s posebnim osvrtom na plinsku TE »Jertovec« pogrešno je otisnuto:

Na str. 20 potpis pod slikom, koji treba da glasi: PTE Jertovec—Konjščina: Pogled na plinski dio postrojenja.

Shema postrojenja za pročišćavanje goriva otisnuta na istoj strani, trebala je biti na str. 24, tamo gdje se govori o uređaju za pročišćavanje goriva.

U tablici na strani 26. umjesto NAJUSPJEŠNIJA godina trebalo je da piše NAJSUŠNIJA godina.

Molimo autora i čitatelje da uvaže ovu ispriku.

Uredništvo

HE EL CAJON — HONDURAS

Nakon više od 10 godina projektiranja započeta je gradnja HE El Cajon u Hondurasu.

Lučna brana visoka 225 m zasad je najviša brana Amerike. Površina umjetnog jezera iznosit će 94 km². Sa svake strane brane predviđen je po jedan tunel za ispust kapaciteta 8 500 m³/sek. Na sredini brane su četiri prelijeva.

Strojarnica je podzemna i u prvoj će se etapi ugraditi polovina predviđenih agregata, tj. 300 MW. Planirana je godišnja proizvodnja od 1,3 milijarde kWh.

Kod projektiranja se mislilo i na to da se HE gradi u blizini vrlo aktivnog potresnog područja.

Postrojenje je višenamjensko, tj. služi za proizvodnju električne energije, zaštite velikih plantaža banana od poplava i navodnjavanje sjevernog dijela Hondurasa. Proizvodnja električne energije je od životne važnosti za zemlju i iznosi 40% investicija Hondurasa u slijedećih pet godina. S pravom se uspoređuje s vrjednošću asuanske brane za Egipat i Itaiqu za Brazil.

Samo u proizvodnji električne energije ova bi hidroelektrana smanjila uvoz zemnog ulja za 10,0 milijuna USA $ Elektrana iznosi 52% instalirane snage i 38% proizvodnje električne energije Hondurasa.

Prema EW 1980/5.

B. Mr.

HE NUSSDORF NA INNU

U toku je izgradnja HE Nussdorf na rijeci Inn, graničnoj rijeci između SR Njemačke i Austrije.

HE Nussdorf će imati dva vertikalna agregata od po 31,5 MVA svaki 75 okr/min napona 10 500 V. Predviđena je godišnja proizvodnja od 225 MWh.

HE je zajedničko postrojenje Innkraftwerke i Österreichische-Bayerische Kraftwerk (u postocima 53% odnosno 47%).

Kada elektrana bude 1982. godine dovršena, bit će to zadnja od 15 elektrana projektiranih na Innu. Ukupna instalirana snaga svih elektrana iznosit će 777 MW, a godišnja proizvodnja 4,5 GWh, što je oko 10% sadašnje potražnje Bavarske.

Prema EW 1980/5.

B. Mr.

PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U SR NJEMAČKOJ

U SR Njemačkoj je tablica 1) u 1979. godini proizvedeno svega 5% električne energije iz derivata nafte, a 20% iz zemnog plina. Osim možda u Norveškoj, sigurno je to najmanje učešće derivata nafte u proizvodnji električne energije. Iznenađuje brzina kojom se je SR Njemačka ponovno preorijentirala na ugljen, koji sudjeluje sa 55% u proizvodnji električne energije.

Malen udio hidroelektrana u proizvodnji električne energije posljedica je malih uvjeta za izgradnju i velike potrošnje. Vidi se da su svi hidropotencijali u zemlji već i iskorišteni jer je 14 HE sa ukupno 193 MW u gradnji (prosječno 14 MW po HE) zaista skroman iznos i za SR Njemačku beznačajan (tablica 2).

Sadašnje učešće nuklearnih termoelektrana u proizvodnji električne energije iznosi oko 14%. Prema planovima poduzeća bi iznosilo u 1990. godini najviše 30%.

B. Mr.

Tablica 1.

Proizvodnja električne energije u 1979. godini u SR Njemačkoj

Proizvodnja — prag %	Proizvodnja — prag TWh	Gorivo
30,0	90,0	smeđi ugljen
25,0	73,0	kameni ugljen
5,0	15,0	mazut
20,0	59,0	plin
14,0	42,0	nuklearno
95,0	279,0	termo ukupno
5,0	16,0	hidro
100,0	295,0	ukupno

Tablica 2.

HE u SR Njemačkoj u 1979. godini

MW	Vrsta	Broj
76 200	elektrane ukupno	
6 000	hidroelektrane	626
2 282	HE protočne	561
3 658	HE akumulacione pumpne	65
193	HE u gradnji	14

PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U NUKLEARNIM TERMOELEKTRANAMA

U tablici je dana proizvodnja električne energije u NTE za 1978. godinu. Iz nje se vidi da su najveći korisnici nuklearne energije za proizvodnju električne energije: Sjedinjene Američke Države, Evropska zajednica, Sovjetski Savez, Japan i Kanada.

Za EZ iznenađuje proizvodnja električne energije u NTE u SR Njemačkoj, kao i malo učešće NE u proizvodnji u Italiji.

Prema pisanju stručne literature odnosno stavovima EdF-a (Electricite de France) i Francuske, očekivalo se je veće korištenje NE u Francuskoj. Možda se radi o nastupu jednog poduzeća u Francuskoj, pa se takav nastup i više ističe od nastupa odnosno rada više poduzeća u SR Njemačkoj.

Ako se može vjerovati planovima, Francuska računa da će 1988. godine imati u pogonu 51 NTE s instaliranih 53 000 MW. Udio NTE u proizvodnji električne energije porastao bi sa 14% u 1979. godini na oko 50% u 1988. godini.

Ovoga časa su u Francuskoj u pogonu 11 NTE od oko 11 000 MW; 30 NTE je u gradnji, a 10 se NTE projektira. 34 NTE će biti snage od po 900 MW, a 17 od oko 1 300 MW.

Uočljiv je prirast učešća NTE u proizvodnji električne energije u Švedskoj +19,6% (godina 1978/1977), pa je vidljiva razlika između stranačkih deklaracija i potreba zemlje.

Proizvodnja električne energije na pragu nuklearnih termoelektrana

Zemlja	1970.	1975.		1977.		1978.	
	TWh	TWh	%	TWh	%	TWh	%
	1	2	3	4	5	6	7
1. SR Njemačka	5 668	20 246		34 015		33 856	−0,3
2. Velika Britanija	22 805	26 463		34 660		32 462	−6,3
3. Francuska	5 147	17 451		17 092		28 999	+69,7
4. Belgija	49	6 321		11 314		11 872	+4,9
5. Italija	3 001	3 619		3 213		4 159	+29,4
6. Nizozemska	347	3 162		3 483		3 811	+9,4
Evropska zajednica	37 017	77 256		103 777		115 159	+11,0
7. Švedska	50	11 489		19 011		22 740	+19,6
8. Njemačka DR	421	2 515		4 790		7 380	+54,1
9. Sovjetski Savez	—	—		33 000		41 500	+25,8
10. Kanada	969	11 858		24 850		29 458	+18,5
11. Sjedinjene Američke Države	21 801	172 506		250 883		276 403	+10,2
12. Japan	3 040	23 591		29 668		56 131	+89,2

Isto je tako vidljiva nagla izgradnja NTE u Sovjetskom Savezu, što začuđuje u zemlji s takvim hidropotencijalom, tolikim zalihama ugljena i takvim izvoznikom zemnog plina.

INVESTICIJE U ELEKTROPRIVREDI FRANCUSKE

I u 1979. godini nastavlja se politika investiranja u izvore (tablica 1), posebice u izgradnju nuklearnih termoelektrana. Apsolutni i postotni iznosi za izgradnju izvora su iz godine u godinu veći. Vidljiv je napor elektroprivrede da plan izgradnje izvora financira iz vlastitih sredstava, vjerojatno i zbog poteškoća u dobivanju kredita za te potrebe.

EdF — TABELA 1.

INVESTICIJE U ELEKTROPRIVREDI PO DJELATNOSTI

	1974 %	1975 %	1978 %	1979 %
IZVORI UKUPNO			71,4	73,9
NTE			52,0	56,4
PRENOS			8,2	8,0
DISTRIBUCIJA	35,0	25,0	20,4	18,1
UKUPNO			100,0	100,0

Od sveukupno 36 000 MW izvora u izgradnji čak 85% (29 963 MW) se odnosi na NTE, manje od 5% na klasične TE, a oko 10% na HE.

Francuska je praktički bez ugljena, te sve termoelek trane koje su izgrađene u zemlji ovise o uvoznom gorivu. U zemlji postoje nalazišta urana u ograničenim količinama, ali se čuvaju kao rezerva, a uz tehničku pomoć koriste se bogata nalazišta urana u bivšim kolonijama.

EdF — TABELA 2

ELEKTRANE U GRADNJI U 1979. GODINI

NTE	GORIVO	MODERATOR	HLAĐENJE	JEDINICA KOM.	JEDINICA MW	INSTALIRANA SNAGA PRAG MW	U POGONU
TRICASTIN	OBOGAĆENI URAN	VODA	VODA POD TLAKOM	4	956	3680	1980/81.
GRAVELINES	OBOGAĆENI URAN	VODA	VODA POD TLAKOM	4	956	3680	1980/81.
DAMPIERRE	OBOGAĆENI URAN	VODA	VODA POD TLAKOM	4	943	3600	1980/81.
LE BLAYAIS	OBOGAĆENI URAN	VODA	VODA POD TLAKOM	4	956	3680	1981/82. 1983.
SAINT LAURENT B	OBOGAĆENI URAN	VODA	VODA POD TLAKOM	2	920	1760	1981.
CHINON B	OBOGAĆENI URAN	VODA	VODA POD TLAKOM	2	920	1748	1982.
CRUAS	OBOGAĆENI URAN	VODA	VODA POD TLAKOM	4	920	3520	1983/84.
PALUEL	OBOGAĆENI URAN	VODA	VODA POD TLAKOM	3	1335	3855	1983/84.
SAINT ALBAN	OBOGAĆENI URAN	VODA	VODA POD TLAKOM	1	1335	1285	1984.
FLAMANVILLE	OBOGAĆENI URAN	VODA	VODA POD TLAKOM	1	1335	1285	1985.
CATTENOM	OBOGAĆENI URAN	VODA	VODA POD TLAKOM	1	1321	1270	1985.
CREYS-MALVILLE	URAN PLUTONIUM	—	RASTALJENI NATRIUM	2	620	600*	1983.
NTE UKUPNO						29963	
TE KLASIČNE							
LE HAVRE 4	UGLJEN			1	600	580	1982.
CORDEMAIS 4	UGLJEN			1	600	580	1983.
VAZZIO	MAZUT			4	19,5	78	1981.
BREST-PORTZIC	MAZUT			2	19,5	39	1980.
BRENNILIS	MAZUT			2	85	170	1980/81.
DIRINON	MAZUT			2	85	170	1981.
TE KLASIČNE UKUPNO						1617	
HE	RIJEKA	TIP	GWh				
MONTEZIC	TRUYERE	REVERZIBILNA	—	4	230	920	1982.
GRAND MAISON	PRITOKE	REVERZIBILNA	208	8	150	1200	1984/85.
	ISERA	PELTON		4	150	600	
LE TRUEL	TARN	REVERZIBILNA	—	1	38	38	1982.
LE POUGET	TARN	FRANCIS	8	1	257	257	1981.
SUPER BISSORTE	BISSORTE	REVERZIBILNA	—	4	150	600	1986.
		PELTON		1	150	150	
VILLEREST	LOIRE	KAPLAN	167	2	30,5	61	1983.
HE UKUPNO			383			3826	
SVEUKUPNO ELEKTRANE						36406	

* FRANCUSKI DIO

Hidropotencijali zemlje su praktično iskorišteni i ono što se sada gradi je rekonstrukcija dotrajalih i zastarjelih HE ili gradnja reverzibilnih elektrana. Ovog se

časa grade zadnje PHE, a to se najbolje vidi po tome što se kod izgradnje 7 HE sa 21 turbinom i instaliranih 3 826 MW godišnje dobiva 383 GWh električne energije.

Nužna je bila orijentacija francuske elektroprivrede na izgradnju NTE s dugotrajnom pripremom. Pri tome se misli na izgradnje malenih probnih NTE.

Kod prijenosa se nastavlja s gradnjom 220 kV vodova (492 km u 1979. godini), uza sve to što će se u budućnosti graditi 380 kV vodovi. Postoji naime ekonomska računica o potrebi i jednog i drugog napona.

EdF — TABELA 3.

IZGRAĐENI OBJEKTI PRENOSA TOKOM 1979. GODINE

NAPON kV	VODOVA NADZEMNI km	VODOVA PODZEMNI km	KLJETKE SA SKLOPKAMA kom	TRANSFORMATOR MVA
400	365	—	41	6940
—	104*	—	—	—
225	492	30	70	3050
90	198	14	50	1192
63	296	7	79	1834

* 220 kV VODOVI PREŠLI NA 380 kV.

Potrebno je, kada je riječ o 220 kV, istaknuti ugradnju 30 km podzemnog kabela. To prije što je gotovo sigurno izolacija kruti dielektrik PE (polietilen). Francuska elektroprivreda je već prije nekoliko godina tipizirala 220 kV podzemne kabele s izolacijom PE i vodičima A1.

Distribucija Francuske svjesno plaća danak izgradnje skupih NTE; postotni iznosi koji se investiraju u distribuciju iz godine u godinu sve su manji i teško da mogu biti još manji. Pri tome je rukovodstvo EdF-a svjesno da je to privremena mjera. Neinvestiranje u proteklim godinama mora se nadoknaditi. Dobro dimenzionirani izvori i prijenosna mreža nemaju kome prodavati električnu energiju ako je zanemarena distribucija; to se i dogodilo 10 godina nakon rata. Naime, nove elektrane su mogle proizvesti potrebne količine električne energije, prijenosna mreža ih je mogla prenijeti, ali distribucija nije mogla distribuirati.

EdF — TABELA 4.

RAZVOJ DISTRIBUTIVNE MREŽE

	JED.	GODINA 1969.	1978.	1979.
VISOKO NAPONSKI VODOVI	km	1320	1723	1863
SREDNJE NAPONSKI VODOVI	km	349848	439151	448733
NISKO NAPONSKA MREŽA	km	518926	583622	590052
UDIO NAPONA 220/380V	%	74,7	87,4	89,0
TRAFO-STANICE S.N/N.N	kom	248814	404470	425053
INSTALIRANO TRANSFORMATORA	MVA	18724	44307	48537
INSTALIRANO KONDENZATORA	MVar	3494	7116	8078

Uspoređujući dužinu distributivne mreže, broj trafo-stanica i njihovu instaliranu snagu (tabela IV) u desetogodišnjem razdoblju 1969—1979. godina, dobiva se dojam da je distributivna mreža već izgrađena, te da se radilo uglavnom na poboljšanju kvalitete isporučene električne energije instalacijom trafo-stanica i kompenzacijom. Možda i takve prilike mreže omogućuju manje investicije. Srednjonaponska i niskonaponska mreža su se u promatranom desetljeću povećale za oko 30% (sa 350 000 km na 450 000 km), odnosno za 14% (sa 520 000 km na 590 000 km), što je malo.

Naprotiv, broj trafo-stanica se povećao za 70% (sa 250 000 komada na 430 000), a instalirana snaga transformatora u trafo-stanicama čak za 126% (sa 19 000 MVA na 49 000 MVA).

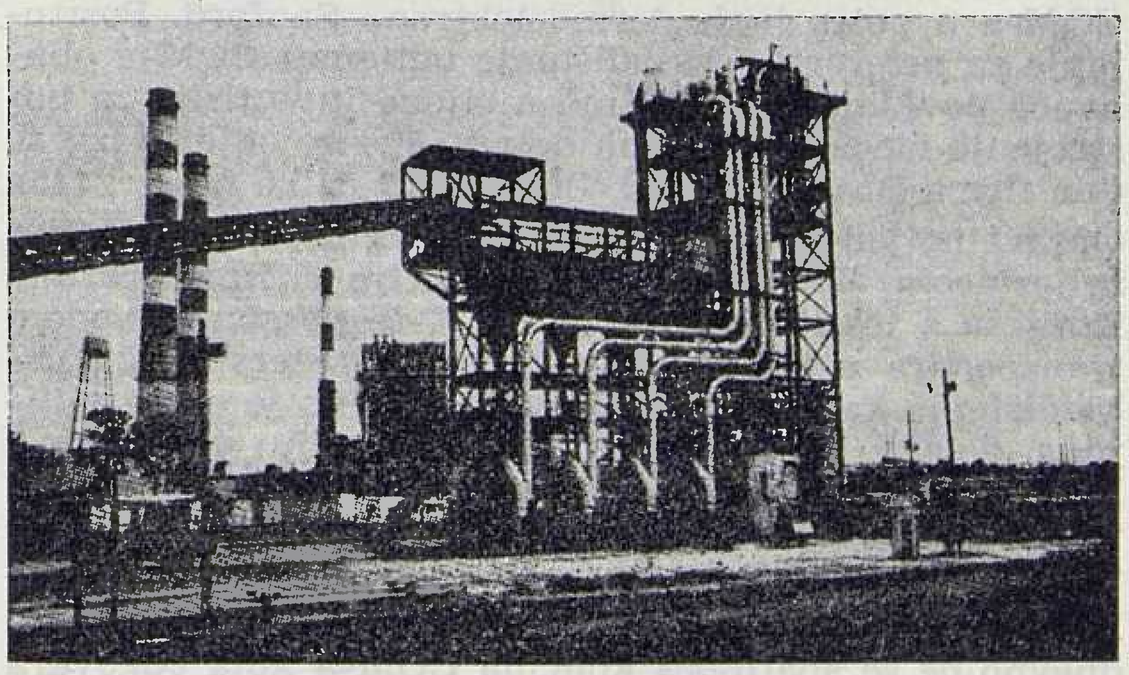
Potrebno je istaknuti da je udio n.n. mreža čak 89% investicija u distributivna postrojenja. Brojka sama po sebi pokazuje izvanrednu važnost smanjenja troškova na n.n. mreži, počevši od projektiranja preko izgradnje, pa sve do održavanja. Francuska elektroprivreda je životno zainteresirana za kvalitetu impregnacije ili nove materijale kod oko 5 milijuna ugrađenih stupova u distribuciji. U desetogodišnjem razdoblju distribucija je obratila pažnju i kompenzaciji jalove energije na nivou distribucije.

U distribuciji je u tom vremenu ugrađeno kondenzatora za 3 500 MVar.

B. Mr.

MJEŠAVINA UGLJENE PRAŠINE I TEKUĆEG GORIVA: JEDNO DOBRO RJEŠENJE

Energetska kriza a posebno kriza tekućih goriva, koja je postala sastavni dio naše svakidašnjice, nije mimoišla ni mnogo bogatije zemlje od naše. I Sjedinjene Države, koje imaju i značajne vlastite izvore nafte i ogromne zalihe kvalitetnog kamenog ugljena, čine napore da postojeće termoelektrane na pogon tekućim gorivom izgrađene u doba jeftinih tekućih goriva os-



Postrojenje za miješanje ugljene prašine i tekućeg goriva priprema gorivo za loženje kotlova 50/50% težinske mješavine za 120 — dnevno probno ispitivanje kod pune snage za 400 MW termoelektranu prvotno građenu za spaljivanje tekućeg goriva.

posobi da mogu raditi i na čisti ugljen ili pak na mješavinu ugljene prašine i tekućeg goriva u različitim težinskim odnosima. U ovom članku prikazano je nastojanje Elektroprivrede Floride — Florida Power & Light Co (EPL) — da jedinicu br. 4 Sankfordske termoelektrane za rad na snagu 400 MW, predviđene da spaljuje tekuće gorivo, osposobi da spaljuje mješavinu 50 : 50 težinskih dijelova ugljene prašine i tekućih goriva, tzv. Coal — oil mixture — nazvanu COM.

Materijal koji je ovdje prezentiran zapravo je slobodan prijevod članka Coal-oil mixture; one viable option, autora Michael B. Mc Grawa objavljenog 1. IX 1980. u časopisu Electrical World.

UVOD

Florida Power & Light Co provodi opsežnu analizu primjene mješavine tekućeg goriva i ugljene prašine kao goriva na jednom kotlu u svojoj termoelektrani u Sanfordu. Dosadašnja ispitivanja mješavine ugljene prašine i tekućeg goriva (COM) bila su obavljena na nekim manjim termoelektranama, koje su prvobitno bile predviđene da spaljuju ugljen. Ova analiza predviđa ispitivanja bloka 4 snage 400 MW termoelektrane Sandford, prvobitno predviđene da troši tekuće gorivo, kod primjene mješavine ugljene prašine i tekućeg goriva (COM).

Značajno za ovaj pokus da će ugljen u toj mješavini biti zastupljen sa 50% težinskog udjela tekuće gorivo sa 50%, ovo ispitivanje čini značnajnim za cijelu državu. Ako ispitivanja dadu pozitivne rezultate, tj. ako se ekonomski i tehnički aspekti pokažu pozitivnima, FLP će moći sve svoje termoelektrane na tekuće gorivo snage 6800 MW opremiti uređajima za spaljivanje COM-a. Ako se ta zamisao realizira, moći će se oko 2,5 milijuna tona tekućeg goriva na godinu nadomjestiti ugljenom, odnosno oko 35% sveukupne potrošnje tekućih goriva FLP-a. Naravno da se razmišlja da se na sličan način postupi u cijeloj zemlji, kako bi se što više smanjila upotreba tekućeg goriva.

Osim primjene COM-a FLP, prave se i drugi pokusi s ugljenom da bi se još više smanjila potrošnja tekućih goriva.

Ugljen bi se umjesto tekućeg goriva mogao početi upotrebljavati najranije 1983. ili 1984. godine jer su potrebne preinake i zahvati u elektranama (novi plamenici, oprema za kontrolu zagađivanja). Budući da je ugljen jeftiniji i lakše se dobije nego tekuće gorivo, za nekoliko bi se godina morala višestruko isplatiti ulaganja u novu opremu. Predviđeno je da sadašnje ispitivanje COM-a završi u travnju 1981. godine. Nakon toga će se donijeti odluka o primjeni COM-a, a razmatrat će se i druge mogućnosti veće primjene ugljena.

FLP sada, kao što smo već naveli, ispituje primjenu COM-a u postrojenju termoelektrane Sanford. Postrojenje za pripremu i skladištenje ugljena i COM-a obuhvaća površinu od 7 000 m², a cijena investicije za postrojenje iznosi 7 milijuna dolara. Postrojenje je izgradila firma BECHTEL POWER CORP (slika na str. 145).

Oprani ugljen se iz Virginije do odredišta transportira željeznicom. Tamo se ugljen samelje u finu prašinu, izmiješa s tekućim gorivom br. 6, te posebnim vodom transportira u specijalno prilagođen rezervoar za uskladištenje kapaciteta 8 750 m³. Utrošeno je oko 4 milijuna dolara za ispitivanja, modifikaciju gorionika i kotla, sistem za tretiranje pepela, vrtložnike, pumpe, vodove za gorivo i ostale modifikacije za kompletiranje postrojenja.

Ispitivanje će trajati 120 dana normalnog pogona, a dnevno će se spaljivati količina COM-a koja odgovara ekvivalentu od oko 1 600 m³ tekućeg goriva.

Kada se ispitivanje završi, a to će biti u travnju 1981. g. oko 1,15 milijarde kWh energije bit će proizvedeno mješavinom ugljena i tekućeg goriva.

Zašto tako velika investicija u COM?

Nadležno savezno zakonodavstvo preporučuje elektroprivredi i ostalim potrošačima tekućeg goriva da drastično smanje potrošnju tekućeg goriva do 1990. godine ili, ako je to moguće, još i prije. A postojeće zakonodavstvo zabranjuje upotrebu prirodnog plina nakon 1990. godine.

Za FPL posebno vrlo su nejasni izgledi za osiguranje tekućih goriva. FLP u svojim elektranama potroši godišnje oko 6,2 milijuna tona tekućeg goriva, koje je podvrgnuto međunarodnoj politici cijena nafte, a poznato je da cijene rastu mimo svih zakonitosti. Nestašica nafte i plina bila je tolika da je došla u pitanje normalna opskrba električnom energijom, pa je elektroprivreda Floride bila prisiljena uputiti molbu floridskim državnim agencijama da izmjene odluku o ograničenju potrošnje goriva za elektroprivredu Floride. Bez te izmjene raspoložive količine goriva ne bi bile dovoljne i trebalo bi uvesti redukcije električne energije.

U odgovoru na molbu FLP-a državne su agencije Floride kao uvjet za osiguranje opskrbe termoelektrana tekućim gorivom postavile obavezu da elektroprivreda u roku od dvije godine modificira postrojenja na tekuća goriva i smanji njihovu potrošnju. Ove je godine situacija mnogo lakša i elektroprivreda nema poteškoća u osiguranju tekućih goriva. Ali cijena nafte je udvostručena prema prošloj godini. Godišnji izdatak FPL za tekuće gorivo popeo se na preko 1 milijardu dolara i stalno se povećava, ovisno o svjetskom tržištu nafte.

Osim toga, izbor raspoloživih goriva za FLP je ograničen. Jedino alternativno gorivo kojim se njene termoelektrane trenutno mogu koristiti jest prirodni plin. FLP za termoelektrane ima dugoročni ugovor (do 1988. g.) koji osigurava oko 5,7 milijuna m³ N plina dnevno. Ugovor osigurava energiju koja odgovara samo količini od 1,65 milijuna tona tekućeg goriva na godinu. Da pripomenemo i to da je raskinuto nekoliko ugovora o dobavi plina drugim potrošačima kod kojih je to bilo moguće.

Međutim, zbog ograničene propusne moći u plinovodu Floride, kao i kompliciranih vladinih propisa koje onemogućuju dugoročno ugovaranje i garanciju dodatnih količina plina za FLP, količina raspoloživog plina mijenja se iz dana u dan. Ocjenjuje se da je u najboljem slučaju u ovoj godini moguća zamjena oko 2,1 milijuna tona tekućeg goriva. Stoga dugoročno rješenje problema zamjene tekućeg goriva treba tražiti u gorivu kojemu glavnu komponentu čini ugljen. COM-program provodi se u skladu s programom i ciljevima koje je propisao i koje zahtijeva US DEPT OF ENERGY floridske vlade. Prije nego je projekt COM bio završen, FLP je u listopadu 1979. o tome podnijela sveobuhvatni izvještaj floridskoj komisiji za javne službe (Florida public service commission), koja je program odobrila. George W. Woerner, pogonski inženjer u floridskoj komisiji za javne radove, koji je program pratio od samog početka, rekao je o projektu: Mi smo veoma ponosni na ovaj projekt. Kao inženjer nešto slično tome još nisam vidio... Za mene je fantastičan uspjeh realiziracija takvog projekta u tako kratkom vremenu, u kojem smo to uspjeli.

Područno odobrenje za primjenu COM-a izdao je u prosincu 1979. »Volusia Country Zoning Board«. Nakon prezentiranja projekta i temeljite diskusije o njemu, američka (US) agencija za zaštitu okoline i floridsko odjeljenje za uređenje okoline također su dali dozvolu za ovaj projekt.

Utjecaj na okolinu

FLP također ispituje posljedice primjene COM-a na sistem rukovanja gorivom kao i ispuštanje dimnih plinova i njihov utjecaj na okolinu. Na definitivne rezultate ovih ispitivanja trebat će čekati dok se potpuno ne završe sva ispitivanja i analiziraju dobiveni podaci. Uza sve to, kažu u FPL, ni za vrijeme ispitivanja neće biti prekoračene dozvoljene granice zagađivanja.

Ispitivanje COM neće prouzročiti ispuštanje SO_2 veće od onoga koje je dopušteno sadašnjim federalnim, državnim propisima. Međutim, za vrijeme ispitivanja bit će prekoračeni postojeći državni standardi, kako u pogledu vidljivih čestica, tako isto i pojedinačnih ispuštanja. To su odobrili i agencija za zaštitu okoline, i floridsko odjeljenje za uređenje okoline.

Kasnije će u izvedenim COM-postrojenjima elektrostatski taložnici (filteri) ili drugi tipovi sakupljača letećeg pepela smanjiti pojedine emetante tako da oni neće prijeći dozvoljenu granicu emitiranja u atmosferu. Da bi se postigao taj cilj, već se za vrijeme ocjene projekta FPL ispituje dva različita tipa taložnika pepela (filtra), kako bi došli do specifičnih informacija o kvaliteti njihova rada u slučaju da se COM-program šire prihvati.

Informacije dobivene upotrebom ovih probnih taložnika (filtera) pomoći će i FPL i industriji koja ih izrađuje u razvoju budućih filtra za COM-postrojenja.

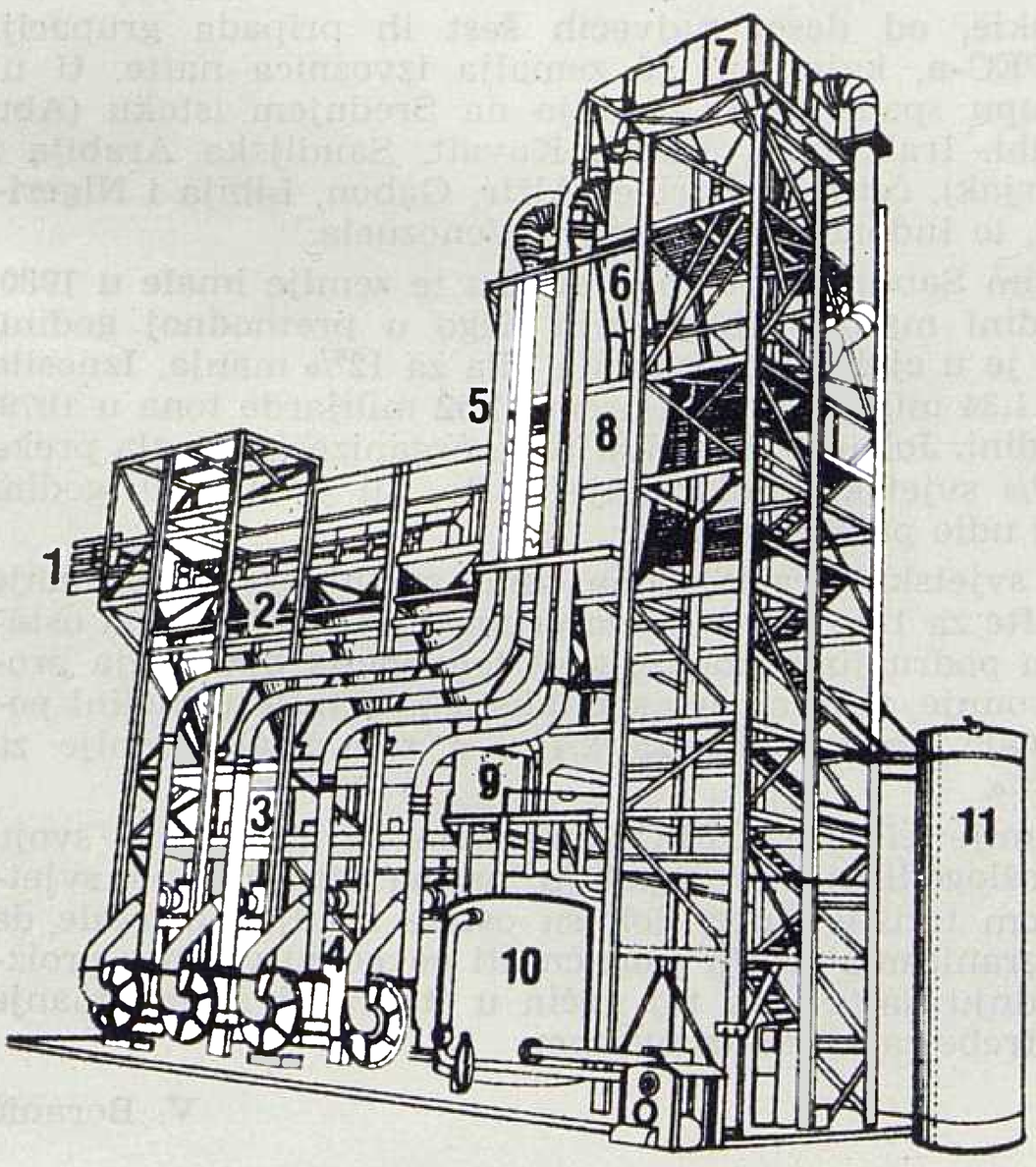
Potpredsjednik FPL Michael Cook je izjavio: FPL će postaviti odgovarajuću opremu za kontrolu ispuštanja na svim COM-jedinicama kao nužnost, kako bi se time zadovoljili svi federalni i državni zahtjevi za »kvalitetom« zraka.

Kao što je prije navedeno, FPL nastavlja ocjenjivati sve moguće alternative za tekuće gorivo. Cook kaže: Mi smo odlučili da reduciramo naše potrebe za tekućim gorivima do mogućih granica i mi ćemo to učiniti. To znači da smo na putu da primijenimo različite oblike ugljena u našim termoelektranama prvobitno građenim za spaljivanje tekućih goriva. COM se sve više dokazuje kao dobro rješenje, a mi uporno istražujemo i druge mogućnosti efikasne zamjene tekućeg goriva za FPL.

Način rada uređaja za miješanje ugljene prašine i tekućeg goriva

1. Transporter transportira ugljen do vrha uređaja za pravljenje mješavine ugljena prašina — tekuće gorivo [COM].

2. Silos uskladištuje ugljen i opskrbljuje mlinove za ugljenu prašinu.



3. Dozatori reguliraju količinu ugljena koja se dodaje mlinovima.

4. Mlinovi melju ugljen u ugljenu prašinu. Topli zrak se miješa s ugljenom prašinom radi sušenja i transporta kroz odvodni uređaj za ugljen.

5. Odvodni uređaj nosi ugljenu prašinu do vrha uređaja za COM.

6. Ciklon-separatori odvajaju ugljenu prašinu i zrak.

7. Specijalni filtar (bag house) pročišćava zrak odvojen u T. 6, otklanjajući svaki zaostatak ugljene prašine prije nego se zrak ispusti iz procesa.

8. Bunker za ugljenu prašinu prije miješanja.

9. Dozatori reguliraju količinu (težinsku) ugljene prašine ispuštenu u posudu za miješanje.

10. Posuda za miješanje obavlja miješanje ugljene prašine i tekućeg goriva u COM-a. Ovdje se također dodaje aditiv koji pomaže da ugljena prašina lebdi u u tekućem gorivu. Nakon miješanja COM se cijevima odvodi u rezervoar za uskladištenja a zatim u kotao.

11. Rezervoar za uskladištenje nitrogena je dio sigurnosnog sistema COM-a. Nitrogen se dodaje u bunkeru za ugljenu prašinu i rezervoaru COM-a, kako bi osigurao inertnu atmosferu, a radi zaštite od eksplozije.

Pripremio T. PAVLOVIĆ

PROIZVODNJA NAFTE U SVIJETU U 1980. GODINI

U 1980. godini svjetska proizvodnja nafte bila je za 124 mln tona manja nego u prethodnoj godini. Naime, u 1979. godini svjetska proizvodnja nafte iznosila je 3 189 milijuna tona, a u 1980. godini 3 065 milijuna tona, tako da je smanjenje iznosilo 3,9%.

U tablici 1. iskazana je svjetska proizvodnja nafte raspoređena prema području proizvodnje.

Kako se iz te tablice vidi, proizvodnja nafte na istočnoj hemisferi bila je u 1980. godini za 6,8% manja nego u prethodnoj godini, te je iznosila nešto iznad 2,2 milijarde tona. Prema svjetskoj proizvodnji to je bilo 71,8%, što je manje nego u 1979. godini, kad je taj udio bio 74%. Na zapadnoj hemisferi proizvodnja nafte porasla je na preko 864 milijuna tona ili za 3,2% više. Zbog toga je i udoi u vjetkoj proizvodnji porasao od 26% u 1979. godini na 28,2% u 1980. godini.

Situacija u pojedinim područjima je slijedeća:

Zapadna Evropa svojom proizvodnjom nafte od nešto preko 116 milijuna tona čini tek oko 7% od svjetske proizvodnje u 1980. godini. Ta je proizvodnja bila za 3,8% veća nego u 1979. godini. Povećanje je posljedica povećane proizvodnje od 5,5 milijuna tona u norveškom dijelu Sjevernog mora, te oko dva milijuna tona u britanskom dijelu tog mora.

Proizvodnja nafte u Sovjetskom Savezu i u zemljama istočne Evrope prekoračila je u 1980. godini 625 milijuna tona, što je za 2,8% više nego u prethodnoj godini. Ta proizvodnja čini petinu svjetske proizvodnje. Pretežni dio od 96% otpada na Sovjetski Savez, a od toga najveći dio na Sibir.

Afrika je 1980. godini imala proizvodnju nafte od 261 mln tona, što je bilo za 11% manje nego u 1979. godini, a učešće u svjetskoj proizvodnji bilo je 8,5%. Najveći pad proizvodnje bio je u Alžiru (—15,7%), Libiji (—13,5%), te u Nigeriji (—11,0%), dakle u zemljama s najvećom proizvodnjom. I druge afričke zemlje proizvođači nafte (znatno manji) imale su smanjenu proizvodnju. Samo su Angola, Kamerun i Kongo količinski neznatno povećali svoju proizvodnju nafte.

Srednji istok je u cjelini najveći svjetski proizvođač nafte. U 1980. godini dao je preko 30% svjetske proizvodnje (u 1979. godini taj je udio bio 34%). Od svih zemalja tog područja samo je u Saudijskoj Arabiji ostvarena veća proizvodnja u 1980. godini nego u 1979. godini, i to za 4,2%, dok su sve ostale zemlje smanjile proizvodnju. Kao posljedica rata u Iraku je proizvodnja bila za 17% manja, a u Iranu za preko 50%, no smanjenju u Iranu pridonijele su i političke prilike u toj zemlji.

Smanjenjem proizvodnje od gotovo 3% imao je i Daleki istok u cjelini, pa je u 1980. godini bilo proizvede-

Tablica 1.

Svjetska proizvodnja nafte

10^3 tona

Područje	1978.	1979.	1980.	%	Promjena u 1980. %
Zapadna evropa	83 972	108 887	116 665	3,8	+7,1
SSSR i stočna Evropa	595 511	608 251	625 465	20,4	+2.8
Afrika		293 310	261 025	8,5	−2,8
Srednji istok	1 089 851	1 091 858	956 630	31,2	−11,0
Daleki istok	243 373	248 880	241 515	7,9	−12,4
istočna hemisfera	2 288 762	2 351 186	2 201 300	71,8	−6,8
Sjeverna Amerika	134 557	642 660	677 000	22,1	+5,3
karipsko područje	622 633	140 583	130 545	4,2	−7,7
Južna Amerika	51 109	54 625	56 780	1,9	−3,9
Zapadna hemisfera	808 299	837 868	864 325	28,2	+3,2
svijet	3 097 061	3 189 054	3 065 625	100,0	

(Petroleum Economist, I 1981.)

no nešto preko 241 milijuna tona nafte, što je bilo gotovo 8% od svjetske proizvodnje. Osim Kine, koja je zadržala proizvodnju nafte od 106 milijuna tona, sve su ostale zemlje više ili manje smanjile svoju proizvodnju nafte.

Sjeverna Amerika imala je u 1980. godini za 5,3% veću proizvodnju nafte, pa je od nešto preko 642 milijuna tona u 1979. godini proizvodnja povećana na 677 milijuna tona, što je bilo 22% od svjetske proizvodnje. To povećanje najvećim dijelom otpada na Meksiko, gdje je proizvodnja porasla za gotovo 20 milijuna tona na 110 milijuna tona. SAD su svoju proizvodnju povećale za oko šest milijuna.

Gotovo za osam posto smanjena je u 1980. godini proizvodnja nafte u karipskom području, pa je ostvareno oko 130 milijuna tona, što je činilo 4,2% svjetske proizvodnje. Najveći pad u proizvodnji nafte zabilježen je u Venezueli: za preko deset milijuna tona.

Najmanji udio, od oko 2%, ima u svjetskoj proizvodnji Južna Amerika. Tamo je, doduše, zabilježen porast proizvodnje od gotovo 4%, ali to iznosi samo dva milijuna tona. Ukupna proizvodnja dosegla je nešto ispod 57 milijuna tona. Na prvom mjestu po proizvodnji je Argentina sa 25 milijuna tona, a slijedi je sa oko deset milijuna tona Brazil, Ekvador i Peru.

Svakako je interesantno promatrati kretanje proizvodnje nafte u deset najvećih svjetskih proizvođača nafte. S obzirom na različitu dinamiku proizvodnje nafte u pojedinim zemljama redoslijed se mijenjao.

Na prvom je mjestu stalno Sovjetski Savez, koji je svoju proizvodnju nafte u zadnje tri godine povećao za oko 30 milijuna tona, i to od 572,5 milijuna tona u 1978. godini na 603 milijuna tona u 1980. godini, što čini petinu svjetske proizvodnje. Na drugo je mjesto izbila Saudijska Arabija, koja je u 1978. godini i 1979. godini bila na trećem mjestu, a u 1980. godini proizvodnjom od 495 milijuna tona pretekla SAD, koje su s drugog pale na treće mjesto. Iako je proizvodnja nafte u Iraku u 1980. godini pala na 138 milijuna tona, ipak je i u toj godini on zadržao četvrto mjesto. U 1978. godini Iran je s proizvodnjom od 261 milijuna tona bio na četvrtom mjestu, dok u 1980. godini nije među prvih deset. Na peto mjesto je došla Venezuela sa 113 milijuna tona. Sa 116 milijuna tona u 1978. godini bila je na šestom mjestu, a sa 123 milijuna tona u 1979. godini na sedmom mjestu. S proizvodnjom od 110 milijuna tona Meksiko se svrstao na šesto mjesto, a do te godine nije bio među prvih deset. Na sedmom je mjestu Kina (106 milijuna tona), koja je u 1978. godini bila na osmom mjestu (104 milijuna tona), a u 1979, godini na devetom mjestu (106 milijuna tona). Nigerija je s proizvodnjom od 101 milijuna tona na osmom mjestu, kao i u 1979. godini, dok je u 1979. godini bila na desetom mjestu. Kuvajt, čija se je proizvodnja nafte smanjila na 86 milijuna tona, pao je sa šestog mjesta u 1979. godini na deveto u 1980. godini. Na desetom mjestu je Libija, koja je to mjesto držala i u prethodnoj godini.

U razdoblju koje je ovdje obrađeno nalaze se među prvih deset svjetskih proizvođača nafte iste zemlje, s izuzetkom Irana i Meksika. Naime, u 1978. godini među prvom desetoricom još nema Meksika, a u 1980. godini više nema Irana.

Tih deset zemalja dalo je u 1980. godini gotovo 76% od svjetske proizvodnje nafte, ali samo prva trojica (SSSR, Saudijska Arabija i SAD) drže gotovo 52% proizvodnje, a ostalih sedam oko 24%.

Nadalje, iz tablice se vidi da je u 1978. godini proizvodnja nafte prvih deset zemalja u cjelini bila gotovo ista kao i 1977. godine (nešto ispod 2,4 milijuna tona), u 1979. godini ta je proizvodnja porasla za 2,3%, tj. na 2,43 milijarde tona, ali je u 1980. godini pala za 4,3%, tj. na 2,3 milijarde tona.

Od spomenutih deset zemalja šest ih pripada grupi OPEC-a, dok SSSR i SAD, te Kina i Meksiko ne pripadaju toj grupi proizvođača nafte.

Dakle, od deset najvećih šest ih pripada grupaciji OPEC-a, koju čini 15 zemalja izvoznica nafte. U tu grupu spada osam zemalja na Srednjem istoku (Abu Dabi, Irak, Iran, Katar, Kuvait, Saudijska Arabija i Šarjak), četiri iz Afrike (Alžir, Gabon, Libija i Nigerija), te Indonezija, Ekvador i Venezuela.

Osim Saudijske Arabije sve su te zemlje imale u 1980. godini manju proizvodnju nego u prethodnoj godini, pa je u cjelini proizvodnja bila za 12% manja. Iznosila je 1,34 milijarde tona prema 1,52 milijarde tona u 1979. godini. Još u 1978. godini ta je organizacija imala preko 48% svjetske proizvodnje nafte, ali je u 1980. godini taj udio pao ispod 44%.

U svjetskim razmjerima osim smanjenja proizvodnje nafte za 12% u zemljama grupacije OPEC u svim ostalim područjima pokazuje se tendencija povećanja proizvodnje, tako su sve socijalističke zemlje u cjelini povećale proizvodnju za 2,4%, a sve ostale zemlje za 4,5%.

Zemlje članice OPEC-a ravnale su uglavnom svoju prošlogodišnju proizvodnju prema situaciji na svjetskom tržištu nafte, dok su ostale zemlje nastojale da u granicama svojih mogućnosti povećaju vlastitu proizvodnju nafte i na taj način u što većoj mjeri smanje potrebe za njezinim uvozom.

V. Boranić

Ideja čije je vrijeme već stiglo

ŠTEDIŠA TOPLINE

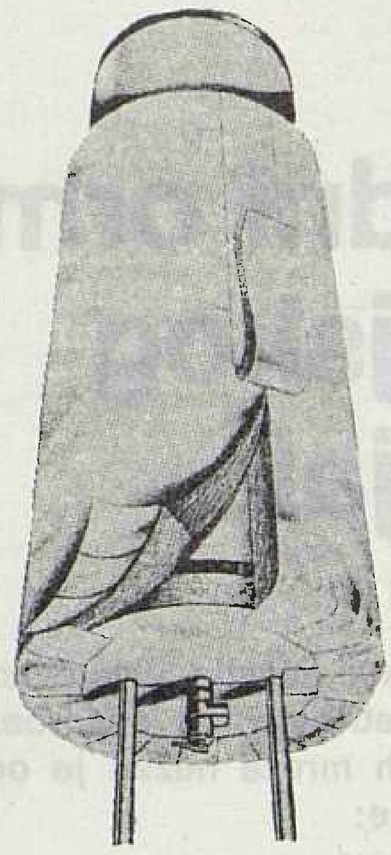
Energetska kriza koja od 1973. godine sve više postaje trajni pratilac našeg života bila je poticaj da se počne razmišljati o smanjenju potroška energije gdje god je to moguće. Ta akcija, koja je postala

sastavni dio naše svakidašnjice, dovela je do niza više ili manje uspješnih rješenja u štednji energije, ali i do otkrivanja i primjene dotad zanemarivanih oblika energije. Na području ušteda energije postignuti su značajni rezultati primjenom pojačane toplinske izolacije na zgradama i pojedinim aparatima i uređajima. Otkriveni su, a i dalje se otkrivaju novi termičkoizolacijski materijali. Na tom smo području još daleko i od približnog savršenstva pogotovo onda kada se radi o širokoj primjeni.

Jedan od vrlo uspjelih i značajnih oblika uštede energije jest i dodatna izolacija grijača vode (bojlera). U vrijeme kad su oni bili projektirani, niti je energija bla osobito skupa, niti su postojali tako dobri izolacijski materijali koji bi gubitak isijavanja energije u okolni prostor sveli na što je moguće manji iznos. Mnogi od tih grijača vode stari su 10 do 15, pa čak i 20 godina, a čak ni oni ranije proizvodnje nisu tako dobro izolirani da se dodatna izolacija ne bi isplatila. U Sjedinjenim Američkim Državama već su 1975. godine počeli primjenjivati originalnu opremu za dodatnu izolaciju toplinskih grijača vode. Čak je i ministarstvo za energiju sugeriralo primjenu dodatne izolacijske obloge kao jednu od mjera za smanjenje potroška energije, kako za električne, tako i za plinske i uljne grijače na cijelom teritoriju SAD.

»Štediša topline«, kako ga je sam proizvođač nazvao, vrlo je efikasan proizvod koji se može uspješno prilagoditi i priuštiti u svakom domu. Njegovo postavljanje je vrlo jednostavno, a industrija ga isporučuje za sve veličine. Kao što se iz slike vidi, izolacijska obloga se sastoji od gornje i donje izolacijske ploče i plašta, koji se nakon prilagođenja specijalnom šavnom trakom lijepe pomoću posebno pripremljenog ljepila.

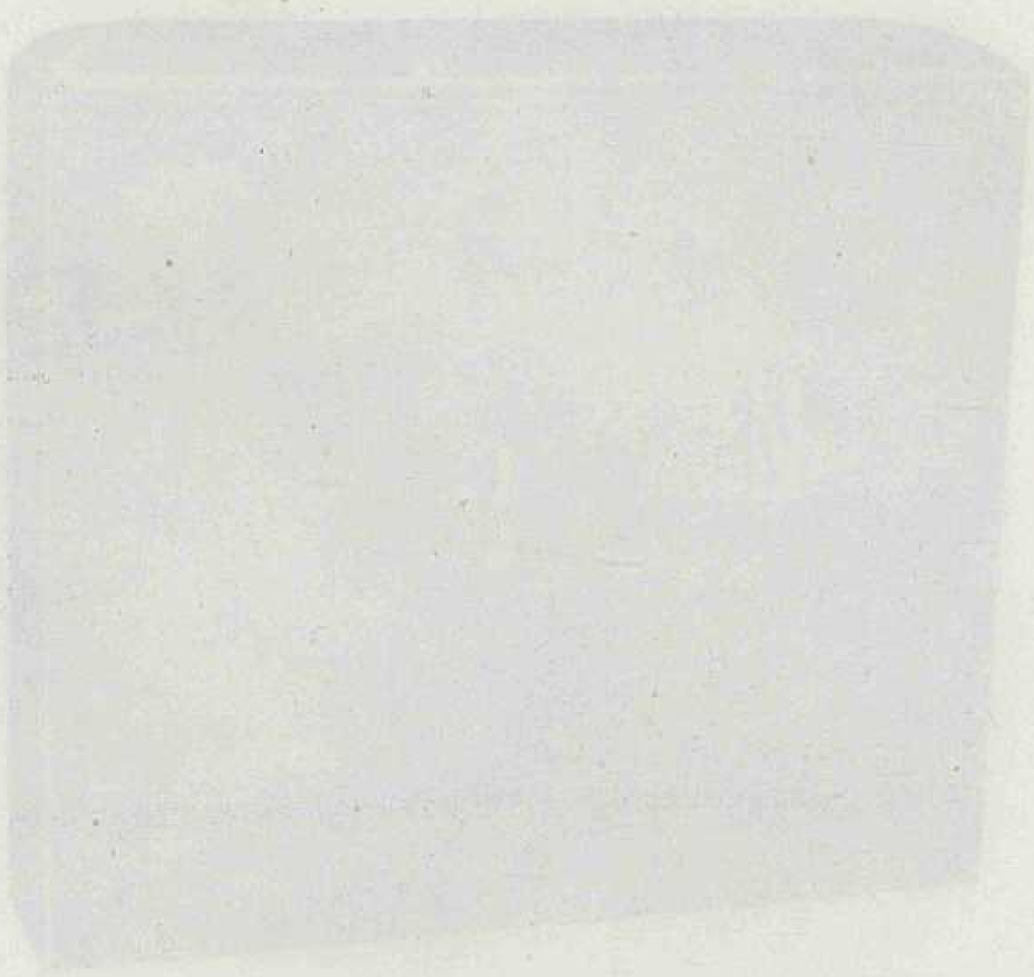
Izolacijska obloga je izrađena od specijalne vinil-tkanine velike gustoće, slična je fiberglasu i vrlo je pogodna za postavljanje jer ne zahtijeva mnogo dodatnog prostora. Izolacijska svojstva toplinskog grijača



kao cjeline povećava za nekoliko puta. Računa se da ušteda na smanjenim gubicima kod jednog toplinskog grijača za domaćinstvo sadržaja 80 litara koji je stalno u pripremi tople vode (svakodnevnoj) iznosi između 300 i 500 kWh na godinu. Preračunamo li samo za SRH (uz pretpostavku da ima 400 000 toplinskih grijača i uz uštedu od samo 300 kWh na godinu — (manje od 1 kWh na dan), dobivamo iznos od 120 milijuna kWh, što nije zanemariva veličina.

Jasno, ta se procjena zasniva na pretpostavci da se kod nas može nabaviti takva dodatna izolacijska obloga. U svakom slučaju bio bi hvale vrijedan pokušaj da naša industrija o tom problemu malo ozbiljnije razmisli i poradi na njegovu rješenju jer nam budućnost donosi zasigurno samo veće cijene energije, bez obzira o kojoj se vrsti energije radi.

T. PAVLOVIĆ



Razvodni ormari od izolacijskog materijala

TEP

Nagli razvoj gradskih naselja uvjetovao je sve veću primjenu kabela u distributivnim elektroenergetskim mrežama. Pri izgradnji tih mreža nužan je određen broj tipova ormara za rješavanje:

— čvornih točaka u kabelskoj mreži

— kabelskog razvoda i upravljanja javnom rasvjetom.

U praksi se to rješava ormarima, različitih tipova i izvedaba. Svaka distributivna organizacija ima svoje rješenje a posljedica je ta da proizvođači opreme izrađuju male serije i nemaju mogućnost da postignu kvalitetnija tehnička rješenja. Sagledavajući sve to, TEP je izradio tri osnovna tipa slobodnostojećih ormara od poliestera ojačanog staklenim vlaknima koji mogu zadovoljiti sve uvjete da se ugradi oprema koja se koristi u elektrodistribuciji.

Materijal za izradu ormara

U posljednjih nekoliko godina sve veću primjenu u elektrotehnici ima poliester ojačan staklenim vlaknima. To je materijal s dobrim električnim i mehaničkim karakteristikama, veoma otporan na atmosferske utjecaje i na ultraviolete zrake. Te osobine omogućuju da uspješno zamjenjuje metale, čelični lim i silumin kao materijale za izradu kućišta razvodnih ormara i ormarića.

Osobine poliestera ojačanog staklenim vlaknima jesu:

mala gustoća, postojanost na koroziju, veoma dobre mehaničke osobine te kao najvažnije dobre izolacione osobine čime se postiže dobra zaštita od previsokog napona dodira. Toplinska vodljivost poliestera je niska pa je on toplinski izolator, što može utjecati na smanjenje kondenzacije u ormarua a time i na manju koroziju ugrađene opreme.

Nedostatke ormara izrađenih od čeličnog lima u usporedbi s onima koji su izrađeni od poliestera ojačanog staklenim vlaknima možemo svesti na sljedeće:

— u određenim uvjetima može se na njima pojaviti opasan napon dodira

— potrebno je izraditi kvalitetno zaštitno uzemljenje

— potrebno je pravovremeno održavanje bojenjem.

Iz svega što je navedeno proizlazi da je primjena poliesterskog ormara tehnički opravdana.

Ako gledamo s ekonomskog stajališta, onda se cijena jednog uređaja u zaštiti »zaštitno izoliranje« može prikazati na ovaj način:

C_k zaš. izol. = $C_{kl} + C_{kzuz}$

C_k zaš. izol. = cijena uređaja u izvedbi zaštitno izoliranje

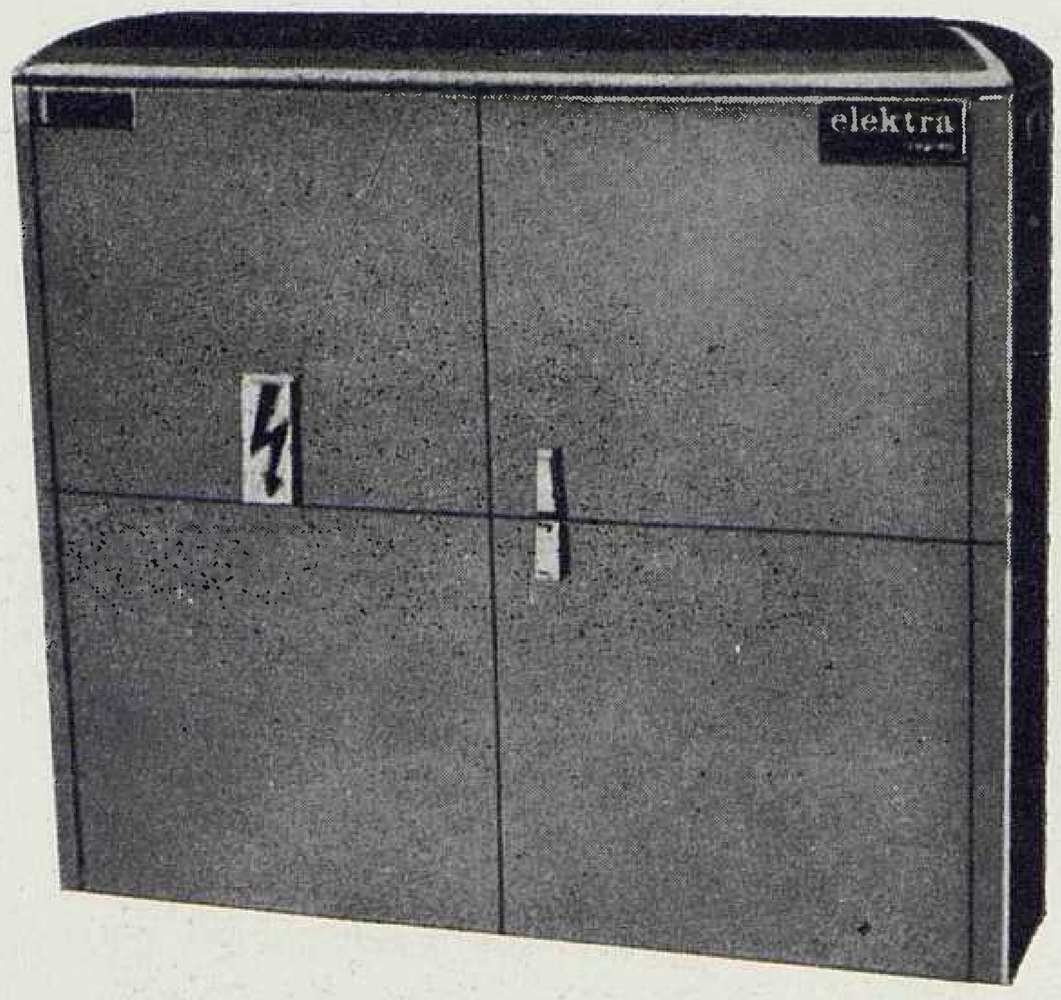
C_{kl} = cijena uređaja u izvedbi od lima ili silumina

C_{kzuz} = cijena izvedbe zaštitnog uzemljenja.

Moramo biti svjesni da svaka zaštita od previsokog napona dodira ima svoju cijenu.

Izvedba ormara s opremom

Ormari su konstrukcijski riješeni tako da ostvaruju stupanj zaštite od prodora stranih tijela i vode IP 43, a uz dodatno brtvljenje može se postići stupanj zaštite IP 54 (slika 1).

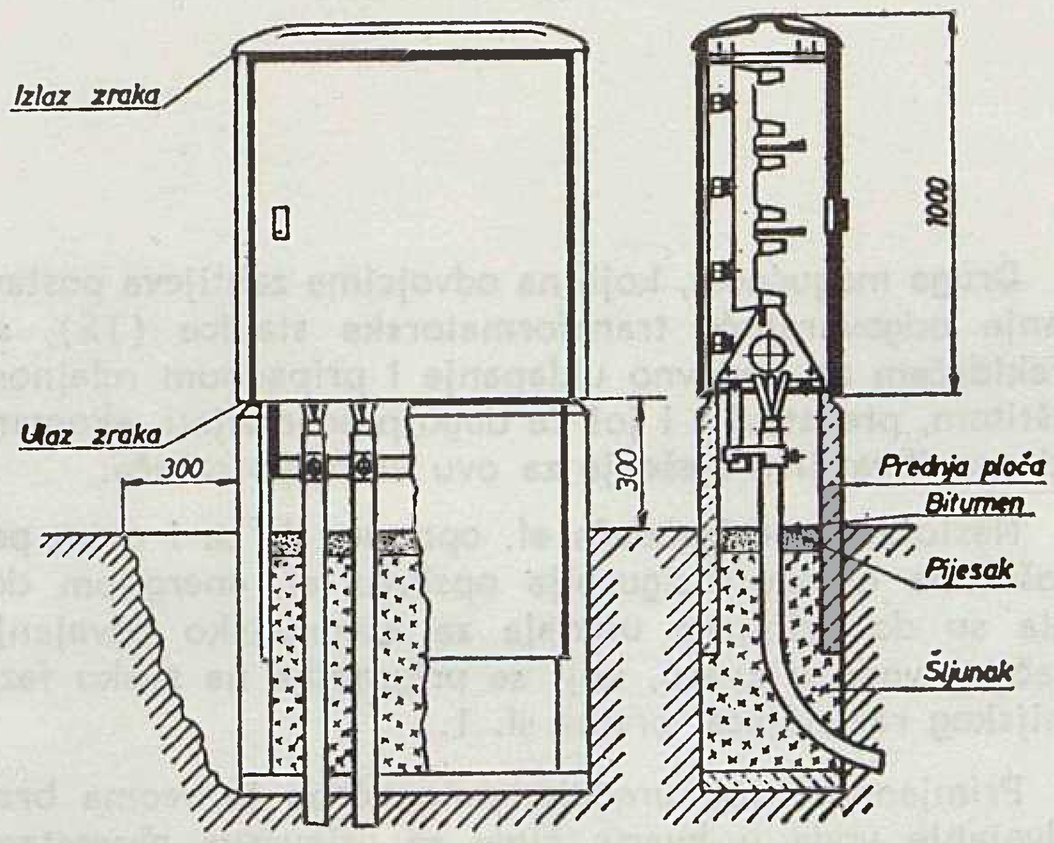


Sl. 1.

Ormar se montira na tvornički izrađen temelj koji se isporučuje u dijelovima, a izrađen je od armiranog betona. Kod spajanja kabela na opremu ormara prednja ploča te-

melja i prag ormara skidaju se, čime je olakšana montaža, te kabele nije potrebno uvlačiti u ormar.

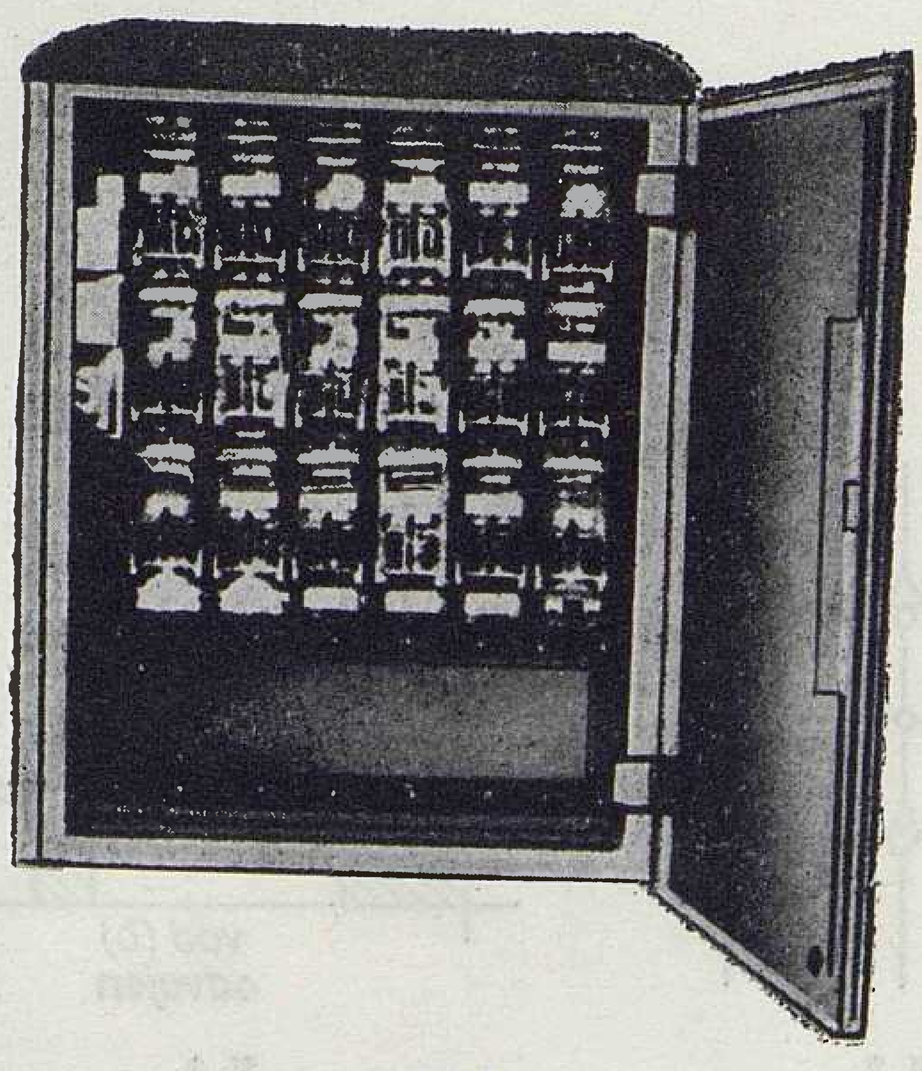
Na dnu ormara je nosač za učvršćenje kabela. Prostor gdje ulaze kabeli u ormar potrebno je ispuniti zemljom ili pijeskom, a u nivou zemlje unutrašnjost temelja zabrtviti bitumenom ili tankim slojem betona da se spriječi isparavanje vlage iz zemlje i kondenziranje u unutrašnjosti ormara (slika 2).



Sl. 2.

Ormari su čvorne točke u kabelskoj mreži tipa KRO-o1l KRO-02 i KRO-03, napona do 1 kV. Mogu biti opremljeni sa 4, 6 ili 8 (9) slogova osigurača nazivne struje 400 A (slika 3). Slog osigurača može biti izvedben kao neokloplјen, pa se za umetanje i izvlačenje patrona treba koristiti nasadnom ručicom, ili kao izoliran, u kojem su slučaju osnove osigurača oklopljene a ručica je sastavni dio osnove osigurača.

Rastavljajući slog osigurača ima ugrađenu lučnu komoru, pa je moguće vršiti prekopčanja i isklapanja pod opterećenjem, ali jednopolno. U ormar je ugrađena žarulja, koja se pali otvaranjem vrata ormara. Vrata se zatvaraju policilindarskom brtvom.



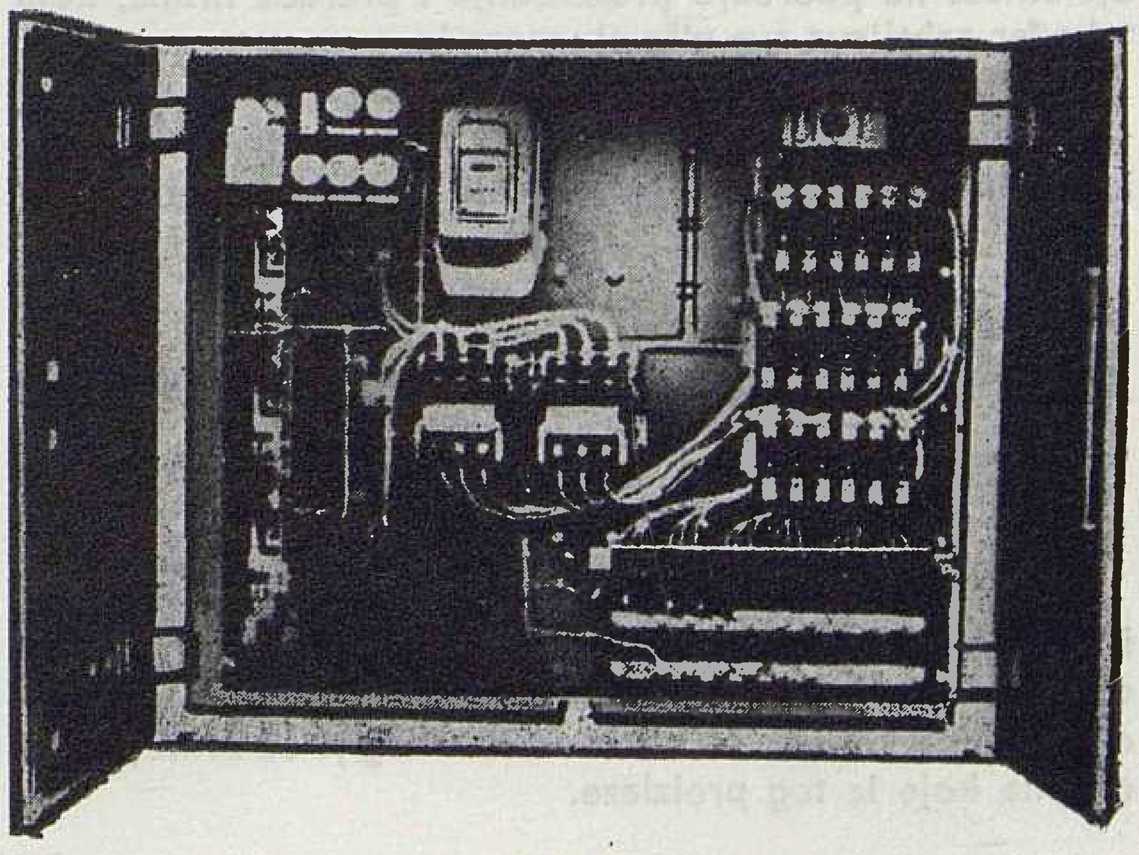
Sl. 3.

Na osnove osigurača moguće je priključiti kabel presjeka do 300 mm².

Ormari tipa KRO-JR namijenjeni su za uklapanje i isklapanje javne rasvjete (slika 4). Kod razrade električne sheme djelovanja obuhvaćene su sve mogućnosti koje se pojavljuju kod upravljanja javnom rasvjetom. Ormar se priključuje na pojni kabel koji može biti maksimalnog presjeka do 185 mm² sistema ulaz — izlaz. Kabeli koji vode do priključnice rasvjetnog stupa mogu imati maksimalni presjek 35 mm². Moguće je izvesti najviše 12 trofaznih izvoda kabela, a svaki je izvod osiguran visokoučinskim rastalnim osiguračem. Uklapanje i isklapanje rasvjete vrši se preko 2 sklopnika od 125 A. Kod uključenja obaju sklopnika svijetle sve svjetiljke, a kada je uključen jedan sklopnik, svijetli pola rasvjete, dakle obuhvaćen je sistem cjelonoćne i polunoćne rasvjete.

Upravljanje se vrši jednom od mogućnosti:

— tonfrekventno
— uklopnim satom
— luksomatom
— komandnim vodom
— ručno u ormaru.



Sl. 4.

Za biranje sistema služi grebenasta sklopka ugrađena u ormar. Z mjerenje potrošnje u ormar je ugrađeno kWh brojilo.

Ove kombinacije zadovoljavaju sve uvjete koji se postavljaju na moderno koncipiranu javnu rasvjetu i u pogledu štednje električne energije u periodu smanjenog prometa.

Marijan Jakovac dipl. inž.

RADE KONČAR

NEKA NOVA RJEŠENJA U POBOLJŠANJU KONTINUIRANE OPSKRBE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM ZRAČNIM VODOVIMA SREDNJEG NAPONA

Uvod

Prenapučenost velikih gradova i industrijskih središta, te nedovoljna propusna moć njihovih prometnica, sve više postaju ograničavajući faktor daljnjeg razvoja industrijske proizvodnje na postojećim lokacijama.

Već i do sada je često bilo nužno, a u buduće će biti još češće, da se prilikom novih ulaganja u proširenje proizvodnje, pronađu nove — uglavnom — disperzirane lokacije, više ili manje udaljene od sadašnjih.

Osim toga, u prigradskim selima razvija se i značajna djelatnost na području proizvodnje i prerade hrane, koja također zahtijeva sve više el. energije.

Svi ovi potrošači opskrbljuju se, pretežno, zračnim vodovima napona 12, 24 i 38 kV, koji su izloženi čestim kvarovima pod utjecajem atmosferskih prenapona.

Automatsko odvajanje voda u kvaru

Postojeća rješenja s ugradnjom linijskih rastavljača, ili rastavnih sklopki, na počecima krajnjih vodova, ne daju mogućnost brzog lociranja kvara, pa čitava područja ostaju duže vrijeme bez električne energije sa svim posljedicama koje iz tog proizlaze.

Druga mogućnost, koja na odvojcima zahtijeva postavljanje odgovarajuće transformatorske stanice (TS), sa prekidačem za ponovno uklapanje i pripadnom relejnom zaštitom, predstavlja i još će dugo predstavljati, ekonomski neprihvatljivo rješenje za ovu vrstu potrošača.

Nastojanja proizvođača el. opreme, da se i ovim potrošačima omogući sigurnija opskrba el. energijom dovela su do primjene uređaja za automatsko odvajanje zračnog voda u kvaru, koji se prigrađuje na svaku fazu linijskog rastavljača, prema sl. 1.

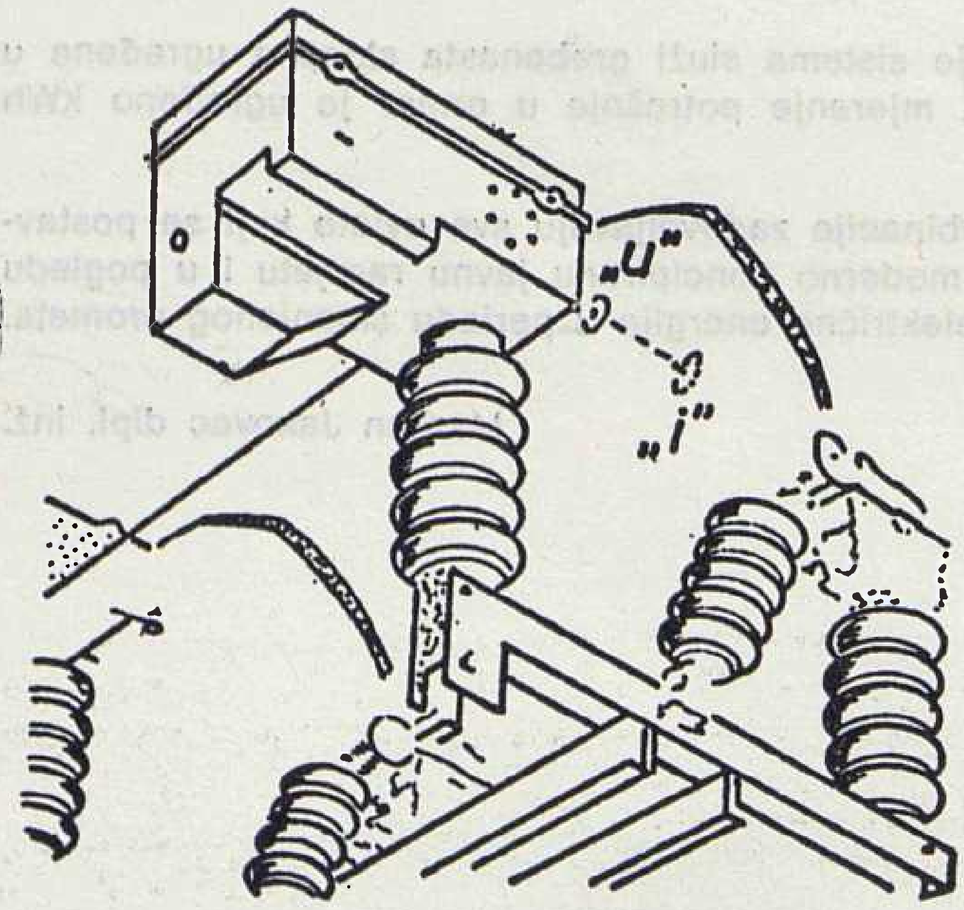
Primjenom ovog uređaja, omogućeno je veoma brzo odvajanje voda u kvaru, čime se osigurava nesmetana opskrba potrošača priključenih na druge krajnje vodove u promatranom konzumnom području.

Za naše razmatranje, pretpostavimo mrežu s četiri radijalno spojena voda — prema sl. 2. na čijim su počecima ugrađeni linijski rastavljači LR, ili rastavne sklopke, s uređajima za automatsko odvajanje voda u kvaru, proizvodnje »R. Končar« — OOUR Sombor.

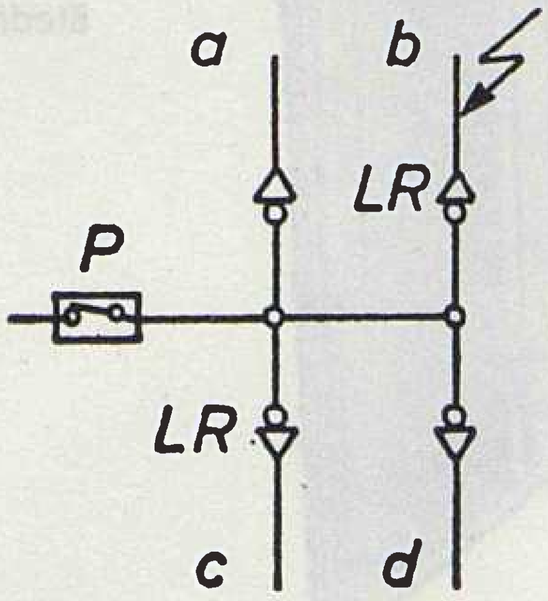
U slučaju pojave kvara na vodu (b), struja kratkog spoja I_k aktivira zaštitu prekidača (P), ugrađenog u TS na početku glavnog voda, koji prekida struju I_k za približno 0,1 — 0,2 sek. od njezinog nastanka.

Istovremeno je struja I_k aktivirala i automatski uređaj za odvajanje na vodu (b), koji nakon zatezanja od 10 do 20 sek. odvoji vod od preostalog dijela mreže.

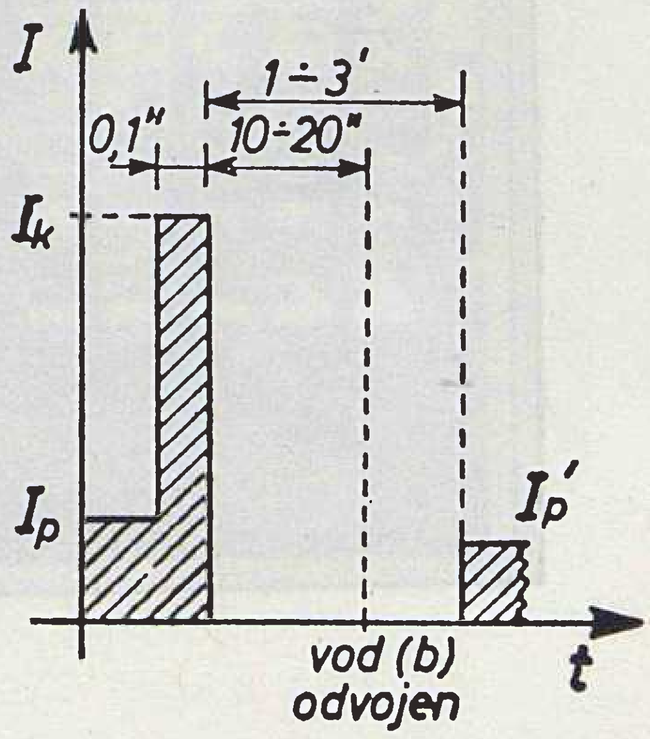
Uklapanjem prekidača, ručno ili automatski nakon pauze od 1 — 3 min., ponovno se nastavlja opskrba



Sl. 1.



Sl. 2.



Sl. 3.

potrošača priključenih na vodove (a), (c) i (d), kao što je vidljivo iz dijagrama na sl. 3.

$$I_p = I_k = 0$$

Prije otklanjanja kvara na vodu, potrebno je linijski rastavljač ručno otvoriti u krajnji isklopni položaj, čime se izdanak vidljiv na sl. 1. vrati iz položaja »i« u položaj »u« i na taj način ponovno zatvori strujni put kroz uređaj za automatsko odvajanje na vodu (b).

Samo po sebi razumljivo, ako je na početku glavnog voda ugrađen prekidač (P) suvremenih karakteristika, kao što su prekidači tipa M12 — 38 proizvodnje »RK« — OOUR Zagreb Borongaj, koji imaju mogućnost brzog ponovnog uklopa, te ako u TS postoji odgovarajući APU uređaj i ako se radi o prolaznom kvaru, prekidač (P) ponovo uklopi nakon pauze od 0,3 do 8 sek., da u tom slučaju automatski uređaj za odvajanje voda u kvaru neće proraditi, čime se nastavlja redovna opskrba i potrošača priključenih na vod (b).

Neke mogućnosti primjene uređaja za automatsko odvajanje voda u kvaru

Posebno je zanimljiv slučaj, ako na razvijenijem konzumnom području imamo i takve potrošače, koji ni kraću stanku u opskrbi el. energijom ne mogu prihvatiti zbog zastoja u proizvodnom procesu. Primjer opskrbe važnijih potrošača na vodovima A i B, uz korištenje dva prekidača i linijskih rastavljača s uređajem za automatsko odvajanje voda u kvaru, prikazan je na slici 4.

U našem primjeru, ponovno je pretpostavljen kvar na odvojku (b). Struja kratkog spoja istovremeno potiče relej za automatsko odvajanje voda (b), te odgovarajuće zaštite na prekidačima P_1 i P_2. Zaštita prekidača u glavnoj TS, je tako podešena da prekidač P_1 prvi isklopi, dok je vremensko zatezanje na uređaju za automatsko odvajanje voda u kvaru — kako već znamo — od 10 do 20 sekundi. Uređaj za brzo ponovno uklapanje, uz prekidač P_1, odmah proslijedi impuls za ponovni uklop, te prekidač — nakon beznaponske pauze od približno 0,3 sek. — ponovno uklopi.

Ako je kvar bio prolaznog karaktera, opskrba el. energijom nastavlja se dalje bez ikakvih smetnji na čitavom području, kao što je opisano u prvom dijelu ovog članka.

Međutim, ako je na vodu (b) kvar trajnog karaktera, uklapanjem prekidača P_1 ponovno se u vodu (b), kao i kroz prekidače P_1 i P_2 uspostavlja struja kratkog spoja I_k. Za ovaj slučaj, zaštite na prekidačima se tako podešene, da drugo isklapanje izvrši prekidač P_2 u područnoj TS.

Ovime je mjesto kvara odvojeno prekidačem P_2, čime je osigurana nesmetana opskrba potrošača priključenih na vodovima A i B. Dijagram struje kroz prekidač P_1 prikazan je u ovom primjeru na sl. 5.

Nakon 10 do 20 sekundi po isklopu prekidača P_2, tj. nakon prestanka djelovanja struje kratkog spoja I_k, uređaj za automatsko odvajanje voda u kvaru, odvoji vod (b) od ostalog dijela mreže, čime vod (b) trajno ostaje izvan pogona dok se kvar točno ne pronađe i otkloni. Za potrošače priključene na vodove (a), (c), i (d), uspostavit će se ponovno redovna opskrba el. energijom jednu do tri min. nakon isklopa prekidača P_2 u područnoj TS, a dijagram struje kroz prekidač P_2 prikazan je u tom slučaju na sl. 6.

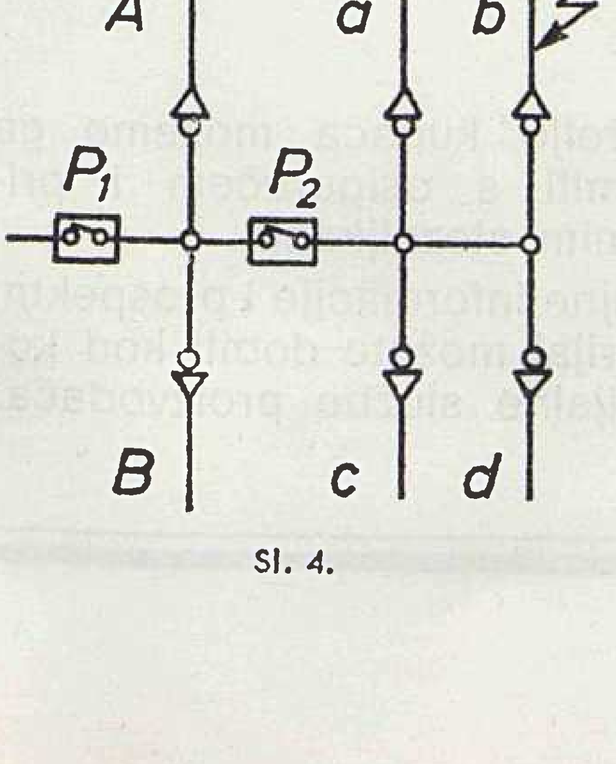
Zaključak

Iz navedenih primjera se vidi da uređaj za automatsko odvajanje voda u kvaru omogućava:

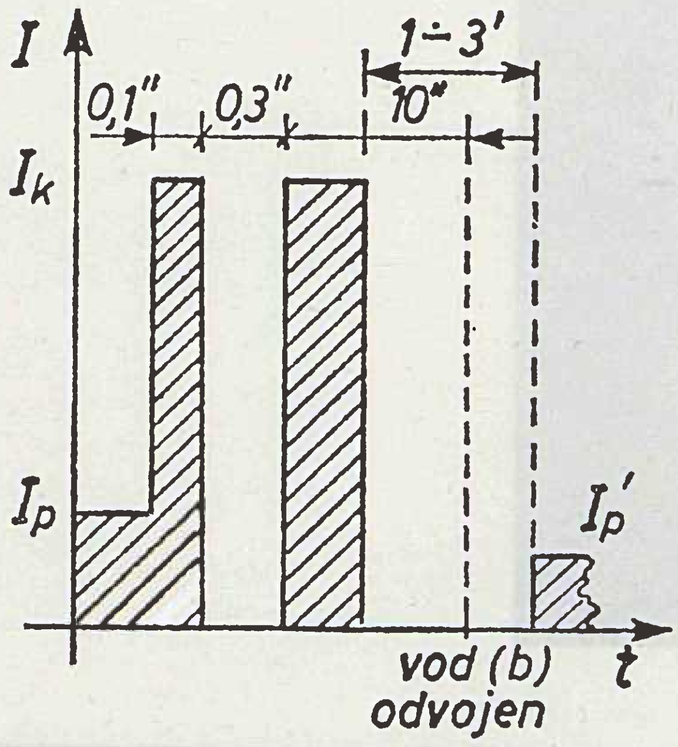
— sigurniju opskrbu el. energijom, radi manjeg broja ispada, jer izvan pogona ostaje samo vod u kvaru,
— kraće vrijeme za pronalaženje i otklanjanje kvara,
— manje troškove za otklanjanje nastalih kvarova,
— manje ljudstva i vozila za održavanje zračnih mreža srednjeg napona.

Sve ove prednosti potvrđuju zaključak, da se ubuduće može očekivati značajna primjena uređaja za automatsko odvajanje voda u kvaru na zračnim mrežama srednjeg napona.

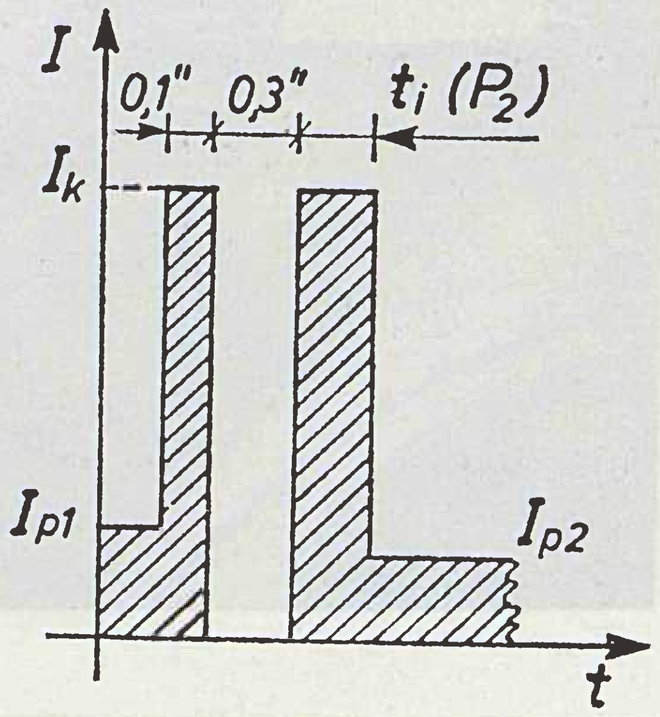
Naslov pisca:
Josip Polanc, dipl. ing.
RO »Rade Končar« — Elektrouređaji



Sl. 4.



Sl. 5.



Sl. 6.

KANDELABRI „ARPOSA"

proizvodnje IGM „Sava" – Krško

Industrija građevnog materijala »SAVA« Krško počela je s proizvodnjom kandelabera »ARPOSA« od armiranog poliestera, tipske dužine 4,7 i 4,0 m.

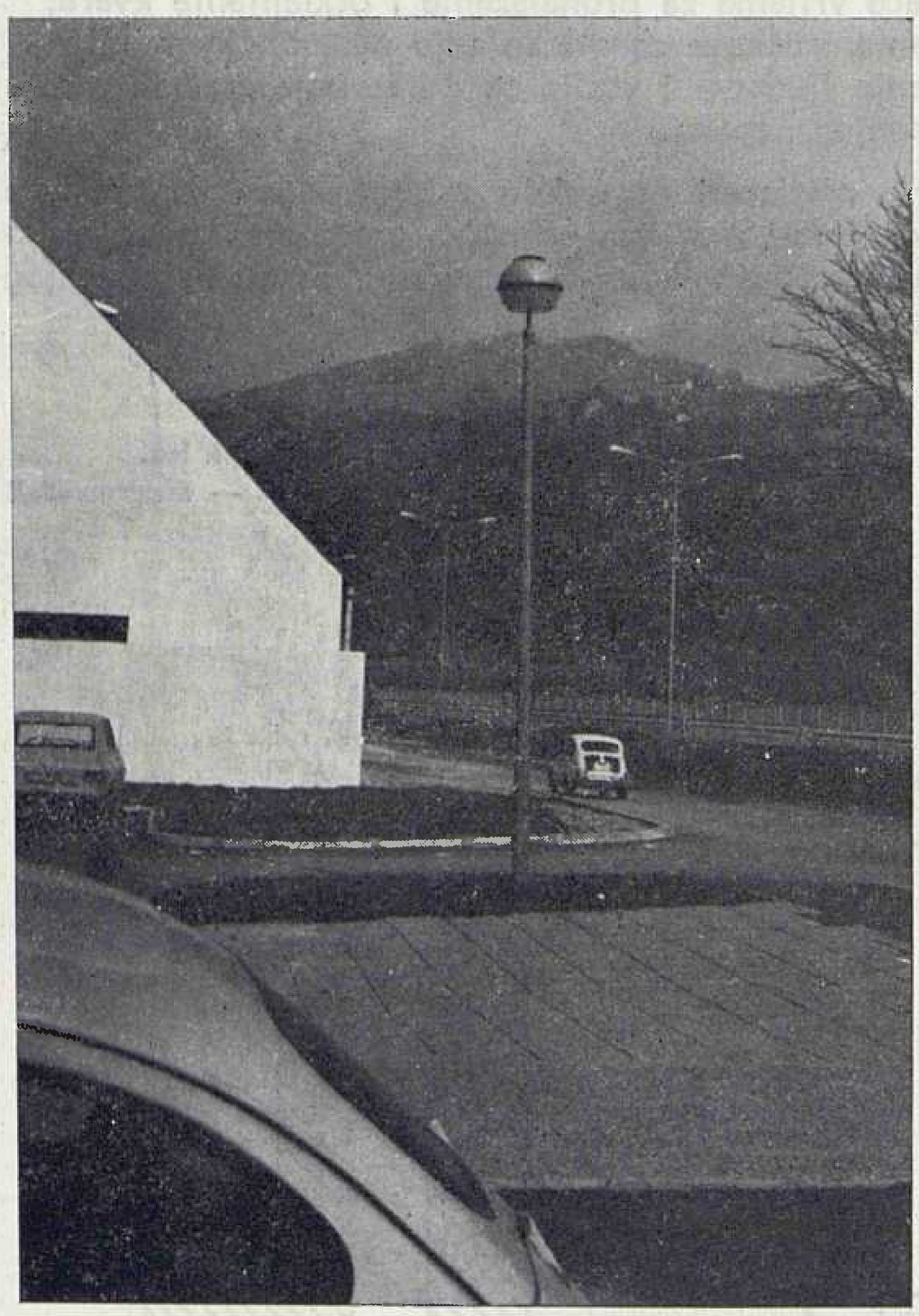
Kandelabri su oblikom šuplji s konicitetom, konačnog vanjskog promjera 76 mm, što odgovara svjetiljkama koje se upotrebljavaju u te svrhe.

Estetskog su oblika, pa ih možemo (zbog mogućnosti različitih boja) uklopiti u bilo kakav ambijent. Zbog upotrebe armiranog poliestera sa staklenim vlaknima predstavljaju izolaciono tjelo, pa ih nije potrebno uzemljivati. Sam materijal ne korodira, a ne uništavaju ga ni mikroorganizmi.

Stoga imaju dug životni vijek i ne mijenjaju im se mehanička i druga svojstva. Zbog specijalne tehnologije predstavljaju kompaktan element s malim uklonom, pa su upotrebljivi i u području vjetra treće zone.

Vrlo su lagani (težina oko 14 kg) i zato se mogu jednostavno prenositi i transportirati.

Osim kandelabra IGM, »SAVA« proizvodi i montažne temelje pomoću kojih možemo kandelabre brzo i jednostavno podizati i na manje nosivom tlu.



Na želju kupaca možemo ga opremiti s osiguračem i priključnim stezaljkama.

Detaljne informacije i prospektni materijal možete dobiti kod komercijalne službe proizvođača.

Energija God. 30 (1981) br. 5—6, 181—189

PRIJEDLOG SAMOUPRAVNOG SPORAZUMA O ZAJEDNIČKIM OSNOVAMA PLANOVA RAZVOJA ELEKTROPRIVREDE SR HRVATSKE U RAZDOBLJU 1981. DO 1985. GOD.

Đuro Lađević, Zagreb

Dan je sadržaj utvrđenog prijedloga Samoupravnog sporazuma o zajedničkim osnovama planova razvoj elektroprivrede SR Hrvatske u razdoblju od 1981. do 1985. godine. Obrazlažu se i komentiraju njegove važnije odredbe, naglašavaju dobre i loše strane nekih predloženih rješenja, iznose problemi i njihova moguća rješenja.

Ključne riječi:
Plan razvoja
Elektroenergetski objekti
Udruživanje sredstava

DK 621.31
Prethodno saopćenje

UVOD

Zajednička skupština Samoupravne interesne zajednice potrošača električne energije Hrvatske i Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske (dalje: Zajednička skupština RSIZ-a i ZEOH-a) utvrdila je 26. 3. 1981. Prijedlog samoupravnog sporazma o zajedničkim osnovama planova razvoja elektroprivrede Hrvatske u razdoblju od 1981. do 1985. godine (dalje: Prijedlog ili SAS o razvoju). Budući da se s izradom ovog prijedloga SAS-a o razvoju kasni i da je taj samoupravni sporazum za prethodno plansko razdoblje od 1976. do 1980. godine prestao vrijediti, Sabor SR Hrvatske je — da bi se održao kontinuitet izgradnje elektroenergetskih objekata i postrojenja — zakonom utvrdio obavezu udruživanja dijela sredstava društvene reprodukcije organizacija udruženog rada radi sudjelovanja u kreditiranju izgradnje elektroenergetskih objekata i postrojenja. Ovim zakonom je utvrđena obaveza udruživanja u visini 4% od iznosa isplata za investicijska ulaganja i 25% od iznosa za potrošenu električnu energiju. Zakon se primjenjuje od 1. 1. 1981. do zaključenja SAS-a o razvoju, a najduže do 31. 12. 1981.

Sudionici sporazuma trebali bi prihvatiti ovaj Prijedlog SAS-a o razvoju unatoč svim poteškoćama što ih imaju u privređivanju i uz sve zamjerke na neka rješenja utvrđena u njemu. Ako ne bi bio prihvaćen Prijedlog odnosno zaključen SAS o razvoju, trebalo bi sredstva za financiranje izgradnje elektroenergetskih objekata i postrojenja od 1981. do 1985. g. osigurati vrlo velikim i teško prihvatljivim povećanjem cijena električne energije ili donošenjem zakona o obaveznom udruživanju dijela sredstava društvene reprodukcije za financiranje izgradnje elektroprivredne infrastrukture. Mogućnost da se ne grade elektroenergetski objekti i postrojenja utvrđena Prijedlogom SAS-a o razvoju nisam naveo jer se izgradnja ni u kojem slučaju ne bi smjela obustaviti.

Na osnovi zaključaka Sabora SRH od 23. i 24. 4. 1981. Zajednička skupština RSIZ-a i ZEOH-a je 11. 5. 1981. dopunila Prijedlog SAS-a o razvoju što ga je utvrdila 26. 3. 1981. i odlučila da se Prijednog SAS-a o razvoju utvrđen 11. 5. 1981. dostavi sudionicima na prihvaćanje.

Ovaj SAS o razvoju bit će usklađen s rješenjima što će se utvrditi dogradnjom ekonomskih odnosa u elektroprivredi SR Hrvatske.

Namjera je prikazati Prijedlog SAS-a o razvoju, obrazložiti njegove važnije odredbe, naglasiti poslove što ih treba odmah obaviti odnosno početi obavljati i izazvati stručnu raspravu, kako bi provedba SAS-a o razvoju bila optimalna i za potrošače električne energije za elektroprivredu SR Hrvatske. Zbog opširnosti Prijedloga SAS-a o razvoju nije rezimirano izlaganje odnosno zaključeno, čime je ušteđen prostor i izbjegnuto eventualno ponavljanje, a zaključke dosta naglašeno sadrži navedeni tekst.

Investicije u privrednu infrastrukturu su smanjene

Radi svođenja investicija u realnije okvire, zbog provođenja politike privredne stabilizacije i poteškoća prenesenih iz prethodnog srednjoročnog raz-

Ovim Prijedlogom SAS-a o razvoju je utvrđeno da se sva sredstva udružuju samoupravno a ne zakonom. Zato je odredbama člana 33. i 34. Prijedloga SAS-a o razvoju predviđeno da se sredstva što su do sada udruživana na osnovi zakona (naknade za priključenje novih potrošača i povećanje angažirane snage postojećih potrošača i doprinosi na potrošnju električne energije — 1, 3 i 23 p/kWh) udružuju SAS-ovima o razvoju distribucije, a raspoređuju prema odredbama člana 45. i 47. ovog Prijedloga SAS-a o razvoju.

doblja, nužno je smanjiti investicije u cjelini pa i ulaganja u privrednu infrastrukturu. Ukupna ulaganja u objekte privredne infrastrukture snižena su s 31,6% od ukupnih investicija u osnovna sredstva društvene privrede Hrvatske u razdoblju od 1976. do 1980. godine na 25,5% u razdoblju 1981.—1985. godine. Od ukupnih investicija u privrednu infrastrukturu SR Hrvatske od 1981—1985. g. otpada na elektroprivredu 39,7%, vodoprivredu 9,0%, komunalnu infrastrukturu 9,2% i saobraćajnu infrastrukturu 42,1%.

Cijena električne energije utvrđuje se za razdoblje 1981—1985. g.

Zajednička skupština RSIZ-a i ZEOH-a, prema čl. 14. Prijedloga SAS-a o razvoju, donijet će u roku 6 mjeseci od zaključivanja ovog SAS-a srednjoročni plan ukupnog prihoda, dohotka i njegove raspodjele s proračunom ekonomskog položaja i prosječne prodajne cijene električne energije. Uza sve poteškoće ovaj posao trebalo je uraditi prije utvrđivanja Prijedloga SAS-a o razvoju odnosno prije njegova prihvaćanja, tako da potrošači električne energije znadu — prije nego što utvrde odnosno prihvate prijedlog SAS-a o razvoju — efekte udruživanja svojih sredstava, tj. da znadu koliko će ih koštati svaki potrošeni kWh električne energije od 1981. do 1985. godine.

Cijenu električne energije valja utvrditi za razdoblje 1981. do 1985. godine na osnovi kriterija iz člana 3. Zakona, odnosno na osnovi kriterija iz člana 12. Prijedloga SAS-a o razvoju. Zasad nije dovoljno naučno istraženo da li je utvrđena cijena električne energije na osnovi elemenata bazne godine (npr. 1980. g.) najvažnije mjerilo i kriterij za izbor elektroprivrednih objekata što ih treba graditi (npr. od 1981. do 1985. g.), ili na osnovi planiranih troškova eksploatacije izabranih objekata — uz postojeće troškove i dohodak jednostavne reprodukcije — cijenu električne energije treba unaprijed utvrditi za svaku godinu srednjoročnog razdoblja.

Prijedlogom SAS-a o razvoju utvrđen je samo globalni plan razvoja djelatnosti distribucije

Zbog tehničkog i tehnološkog jedinstva elektroenergetskog sistema Prijedlogom SAS-a o razvoju utvrđen je i globalni plan razvoja djelatnosti distribucije električne energije od 1981. do 1985. godine. Osnovne samoupravne interesne zajednice potrošača električne energije i elektroprivredne organizacije distribucije zaključit će, prema odredbama čl. 29. Prijedloga SAS-a o razvoju, samoupravne sporazume o zajedničkim osonvama planova razvoja distribucije od 1981. do 1985. godine (dalje: SAS o razvoju distribucije). SAS-om o razvoju distribucije mogu se osigurati i veća sredstva od sredstava utvrđenih za pojedinu elektrodistributivnu orgainzaciju u okviru globalnog plana distribucije.

Ostvarenje globalnog plana distribucije financirat će se iz:

a) sredstava potrošača električne energije:
   - 25% doprinosa na potrošnju električne energije potrošača priključenih na distributivnu mrežu (1, 3, 23 p/kWh),
   - 8,5% od iznosa računa za potrošenu električnu energiju potrošača prključenih na distributivnu mrežu, i

b) sredstava elektrodistributivnih organizacija:
   - sredstava slobodne amortizacije distributivnih organizacija i
   - 50% naknada koje naplaćuju distributivne organizacije za priključenje novih potrošača i povećanje angažirane snage postojećih potrošača električne energije.

Iz navedenih izvora za financiranje razvoja distribucije proizlazi da će — zbog vrlo različite privredne razvijenosti pojedinih područja u SR Hrvaskoj — i priljev sredstava po područjima odnosno elektrodistributivnim organizacijama i osnovnim samoupravnim interesnim zajednicama potrošača električne energije biti vrlo različit. U privredno najnerazvijenijim krajevima prikupit će se odnosno udružit će se najmanje sredstava za izgradnju elektrodistributivne mreže i objekata. Takvim rješenjima za razvoj elektroprivredne infrastrukture u privredno nedovoljno razvijenim krajevima ne provodi se u suštini čl. 15. Prijedloga dogovora o osnovama Društvenog plana SR Hrvatske o politici regionalnog razvoja i razvoja privredno nedovoljno razvijenih krajeva u razdoblju od 1981—1985. g. niti čl. 2. st. 3. Prijedloga dogovora o osnovama Društvenog plana SR Hrvatske o razvoju privredne infrastrukture od 1981. do 1985. g. Odredbe navedenih članova obvezuju sudionike da samoupravnim sporazumima o osnovama planova razvoja infrastrukturnih djelatnosti utvrde način bržeg razvoja infrastrukture u privredno nedovoljno razvijenim krajevima kao preduvjeta ubrzanijeg privrednog razvoja tih krajeva. Posebnim samoupravnim sporazumima i godišnjim planovima izgradnje treba osigurati brži razvoj elektroprivredne infrastrukture u privredno nedovoljno razvijenim krajevima. Ne treba očekivati, a tako nije ni utvrđeno, da će se svi problemi razvoja privredno nedovoljno razvijenih krajeva riješiti samo posebnim fondom za ubrzaniji razvoj ovih krajeva.

Potrošnja električne energije

Planirana potrošnja električne energije u SR Hrvatskoj od 1981. do 1990. godine:

Godina	Distribucija	Direktni i specijalni potrošači	Gubici prenosa	Ukupno
1	2	3	4	5
1980.	8 547	2 680	371	11 598
1981.	9 225	2 823	398	12 446
1982.	9 816	3 026	438	13 280
1983.	10 591	3 112	467	14 170
1984.	11 226	3 394	499	15 119
1985.	12 012	3 611	533	16 156
1981—1985.	52 870	15 966	2 335	71 171
1986.	12 613	3 899	564	17 076
1987.	13 240	4 214	596	18 050
1988.	13 910	4 539	630	19 074
1989.	14 600	4 901	665	20 166
1990.	15 355	4 230	703	21 288

Ostvarena potrošnja električne energije u SR Hrvatskoj od 1975. do 1980. godine:

Godina	Distribucija	Direktni i specijalni potrošači	Gubici prenosa	Ukupno
1	2	3	4	5
1975.	5 785	2 393	313	8 491
1976.	6 173	2 457	293	8 923
1977.	6 665	2 511	337	9 513
1978.	7 291	2 616	340	10 247
1979.	7 856	2 773	340	11 039
1980.	8 547	2 680	371	11 598
1976—1980.	36 532	13 037	1 751	51 320

Potrošnja električne energije u SR Hrvatskoj rast će od 1981. do 1985. godine po prosječnoj godišnjoj stopi od 6,7%, a od 1986. do 1990. g. po stopi od 5,7%. Od 1976. do 1980. godine potrošnja električne energije u SR Hrvatskoj rasla je po prosječnoj godišnjoj stopi od 6,4%.

Potrošnja električne energije porasla je od 8 491 GWh u 1975. godini na 11 598 GWh u 1980. godini, tj. za 3 107 GWh ili za 36,6%. Utvrđeno je da će potrošnja električne energije porasti od 11 598 GWh u 1980. godini na 16 156 GWh u 1985. godini, tj. za 4 558 GWh ili za 39,3%.

Za podmirenje povećane potrošnje električne energije od 1981. do 1985. godine završit će se elektrane kontinuiteta iz planskog razdoblja 1976—1980. godine, i to:

Elektrana	Snaga MW	Rok ulaska u pogon
HE Golubić	6,5	1981.
NE Krško	332,0	1981.
HE Čakooec	81,7	1982.
TE Gacko s rudnikom	100,0	1982.
RHE Obrovac	276,0	1983.
TE-TO Osijek	45,0	1983.
Ukupno:	841,2	

Za podmirenje istog prirasta potrošnje od 1981. do 1985. godine započet će se i završiti izgradnja TE Plomin II, snage 200 MW s rokom ulaska u pogon u 1985. godini, kao i donji bazen PHE Vinodol koji treba biti završen u 1981. godini.

Do 31. 12. 1981. treba izabrati elektrane kontinuiteta ukupne snage 1 240 MW i započeti njihovu izgradnju u ovom planskom razdoblju kako bi se osiguralo pokriće porasta potrošnje električne energije od 1986. do 1990. godine.

U srednjoročnom razdoblju od 1976. do 1980. godine bilo je predviđeno izgraditi 1 772 MW proizvodnih kapaciteta, a izgrađeno je i ušlo u pogon 10 elektrana ukupne snage 1 440 MW. Budući da je porast konzuma bio manji od predviđenoga, ostvarena je na kraju razdoblja 95%-tna sigurnost opskrbe potrošača električnom energijom.

Članovima 7. i 8. Prijedloga SAS-a o razvoju utvrđeni su sumarno objekti i mreža za prijenos i distribuciju električne energije čiju izgradnju treba završiti, započeti i završiti ili samo započeti graditi od 1981. do 1985. godine.

Izgradnjom elektroenergetskih objekata i posrojenja od 1981. do 1985. osigurava se 95%-tna sigurnost opskrbe potrošača električnom energijom u razdoblju od 1981. do 1985. godine i 90%-tna sigurnost opskrbe potrošača u razdoblju od 1986. do 1990. godine.

Financiranje izgradnje elektroenergetskih objekata i postrojenja

Ukupna investicijska ulaganja u izgradnju objekata i postrojenja za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije i za zamjene, rekonstrukcije i studije u razdoblju od 1981.—1985. godine, a prema cijenama iz 1980. godine, iznosi:

U izvorima sredstava utvrđenim i čl. 32. Prijedloga SAS-a o razvoju nije do kraja provedeno načelo da onaj tko više troši električnu energiju i udružuje više sredstava za financiranje razvoja i izgradnje elektroprivrede. To se odnosi na udruživanje iz dohotka (0,40, 0,45 i 0,50%) i 4% od isplata za investicije ulaganja. U djelatnosti proizvodnje i prijenosa električne energije ta dva izvora čine 42,6% od ukupnih ulaganja u tu djelatnost od 1981. do 1985. godine, i to bez dijela sredstava sadržanih u prije danim kreditima, čije vraćanje se odgađa i koja se ponovno udružuju.

Znatno je povećan udio bespovratno udruženih sredstava

Od ukupnih sredstava utvrđenih za financiranje izgradnje elektroenergetskih objekata i postrojenja od 1981. do 1985. godine bespovratna sredstva čine 89,1%. U ukupnim sredstvima za financiranje izgradnje objekata za proizvodnju i prijenos električne energije u istom razdoblju bespovratna sredstva sudjeluju sa 84,3%. Sva su investicijska ulaganja predviđena za ostvarenje globalnog plana

— u milijunima dinara

Red. br.	Izvori financijskih sredstava	Proizvodnja, prijenos i studije	Elektrifikacija i nedovoljno raz. općine	Distribucija	Ukupno
1	2	3	4	5	6
	Bespovratna sredstva	27 358	1 150	13 276	41 784
1.	Slobodna sredstva amortizacije elektroprivrednih organizacija udruženog rada	—	—	5 880	5 880
2.	Naknada za priključke nooih potrošača i povećanje angažirane snage postojećih potrošača električne energije	3 231	—	2 777	6 008
3.	Doprinosi potrošača električne energije na osnovi postojećih zakona	2 878	1 150	1 290	5 318
4.	4% na isplate za investicijska ulaganja	7 898	—	—	7 898
5.	25%, 10% i 5% od iznosa računa za potrošenu električnu energiju	7 430	—	3 329	10 759
6.	Iz dohotka 0,40% u 81. god.; 0,4% u 82. g. i 0,50% od 1983—1985.	5 921	—	—	5 921
	Povratna sredstva	5 111	—	—	5 111
7.	Sredstva data ranije u vidu zajma čije se vraćanje odlaže	4 375	—	—	4 375
8.	Inozemni krediti	736	—	—	736
	UKUPNO:	32 469	1 150	13 276	46 895
9.	Prosječno godišnje ulaganje	6 494	—	2 655	9 149

Prema tekućim cijenama proračunatim na osnovi metode Republičkog zavoda za društveno planiranje ukupna ulaganja u elektroprivrednu infrastrukturu od 1981. do 1985. godine iznose 80.712 milijuna dinara. Ako bi se ostvaria predviđena povećanja cijena, ocijenjeno je da bi, s ovim sredstvima bilo moguće izgraditi elektroenergetske objekte i postrojenja utvrđena Prijedlogom SAS-a o razvoju. Radi usklađivanja ovih ulaganja s raspoloživim sredstvima odredaba člana 81. je predviđeno da će Zajednička skupština RSIZ-a i ZEOH-a godišnje razmatrati usklađivanje stopa izdvajanja iz dohotka s raspoloživim sredstvima što ih za ovu namjenu udruženi rad može udružiti.

distribucije od 1981. do 1985. godine bespovratna. Samoupravnim sporazumima o udruživanju dijela sredstava društvene reprodukcije za financiranje izgradnje elektroenergetskih objekata i postrojenja od 1976. do 1980. godine utvrđen je udio bespovratnih sredstava u odnosu prema ukupnim sredstvima u iznosu 39,9%.

Zašto je udio bespovratnih sredstava u ovom srednjoročnom razdoblju u odnosu prema prethodnom povećanju za više od dva puta? Evo odgovora: Elektroprivreda nema otkuda vratiti ta sredstva, jer društvo je od 1976. do 1980. godine vodilo i danas još vodi takvu politiku cijena električne energije prema kojoj bi putem cijena trebalo osigurati pokriće samo društveno priznatih troškova i dohotka jednostavne reprodukcije elektroprivrede Hrvatske.

Ekonomski ne bi bilo opravdano osiguravati putem cijene i kredita većinu sredstava ili sva sredstva za financiranje razvoja i izgradnje elektroprivrede jer se rad i razvoj elektroprivrede — s obzirom na njezina infrastrukturna i monopolna obilježja — ne može temeljiti isključivo na tržišnim zakonitostima. Kada bi se sredstva za izgradnju elektroenergetskih objekata i postrojenja osiguravala većim dijelom ili u cijelosti putem cijene električne energije i kredita, ona bi bila samo prividno nepovratna. Potrošači bi u ovom slučaju plaćali električnu energiju više nego da su bespovratno udružili sredstva i imali bi manje mogućnosti samoupravnog odlučivanja i utjecaja na ekonomičnost, racionalnost i efikasnost izgradnje u elektroprivredi.

Udružena sredstva ne otuđuju se od radnika OOUR-a koji su ih udružili

Udruživanje sredstava potrošača električne energije i elektroprivrede Hrvatske, zapravo je zajedničko ulaganje sredstava za izgradnju elektroenergetskih objekata i postrojenja u razdoblju od 1981. do 1985. godine. Glavni je cilj ovog zajedničkog ulaganja što produktivnija i ekonomičnija proizvodnja, prijenos i distribucija električne energije. Dakle, glavni cilj koji potrošači električne energije žele postići udruživanjem svojih sredstava jest sigurna i kvalitetna opskrba što jeftinijom električnom energijom. Budući da je elektroprivreda prviredna djelatnost posebnog društvenog interesa, da je ona monopolna i infrastrukturna djelatnost i da cijene električne energije direktno utječu na cijene druge robe i usluga i na životni standard stanovništva, osnovni cilj udruživanja sredstva potrošača i elektroprivrede za izgradnju elektroenergetskih objekata i postrojenja ne može biti ostvarivanje što većeg dohotka na

osnovi zajedničkog ulaganja. Najvažniji rezultati investicijske izgradnje financirane na ovaj način i eksploatacije elektroenergetskog sistema trebaju biti dovoljne količine kvalitetne i što jeftinije električne energije.

Ako potrošači za formalno bespovratno udružena sredstva za financiranje izgradnje elektroenergetskih objekata i postrojenja dobivaju električnu energiju, i to jeftiniju električnu energiju od one koju bi dobili da nisu udružili sredstva, onda to stvarno nije bespovratno udruživanje, nego zajedničko ulaganje zasnovano na obostranom ekonomskom interesu potrošača električne energije i elektroprivrede. Budući da se sredstva za proširenje materijalne osnove rada elektroprivrede Hrvatske nisu u prethodonm srednjoročnom razdoblju osiguravala povećanjem cijene električne energije, a ni danas se na taj način ne osiguravaju, bez udruživanja sredstava ne bi bilo moguće osigurati pokriće povećane potrošnje električne energije. Posljedica ovakve situacije bila bi stagnacija privredne i neprivredne aktivnosti, osobnog i društvenog standarda. Zato su potrošači električne energije nakon temeljite i duge samoupravne rasprave odlučili da nova sredstva za izgradnju elektroenergetskih objekata i postrojenja od 1981. do 1985. udruže bespovratno (čl. 44 prijedloga SAS-a o razvoju), a sredstva u vidu kredita koja su udružena ranije na osnovi zakona ili samoupravnog sporazuma i čije vraćanje dospijeva do 31. XII 1985. ponovno se udružuju na 15 godina uz kamatnu stopu od 4% godišnje. Elektroprivredne organizacije udruženog rada vratiti će sredstva u 15 jednogodišnjih anuiteta, od kojih prvi dospijeva na naplatu 1. 1. 1986. (član 43. Prijedloga SAS-a o razvoju).

Udio vlastitih sredstava u financiranju razvoja elektroprivrede treba povećati

Udio vlastitih sredstava elektroprivrednih organizacija udruženog rada u ukupnim sredstvima za financiranje izgradnje elektroenergetskih objekata smanjeno je od prosječnih 28,7% u razdoblju od 1976. do 1980. na 25,4% u razdoblju 1981—1985. godine. Glavni razlog smanjenju vlastitog udjela jest manjak slobodne amortizacije u elektroprivrednim proizvodno-prijenosnim organizacijama udruženog rada. Njihova je amortizacija u cijelosti angažirana uglavnom za otplate investicijskih kredita i popunu inventara.

Kako su se mogle provesti odredbe Ustava SFRJ i Ustava SR Hrvatske te Zakona o udruženom radu da radnici u elektroprivredi Hrvatske — na osnovi svojih neotuđivih prava rada društvenim sredstvima u OOUR-a u kojima rade — upravljaju zajedno i ravnopravno s drugim radnicima poslovima i sredstvima u cjelini odnosa društvene reprodukcije, kada elektroprivreda Hrvatske u prethodnom srednjeročnom razdoblju nije ostvarila niti danas ostvaruje objektivno potreban ostatak dohotka za proširenje materijalne osnove svojega rada? Ako radnici svojim radom u elektroprivredi ne ostvaruju društveno priznat višak novostvorene vrijednosti, tj. ostatak dohotka za financiranje proširene reprodukcije, oni ne mogu ravnopravno s drugim radnicima — koji su svojim radom stvorili višak novostvorene vrijednosti — odlučivati o proširenoj reprodukciji. Zašto? Zato što oni nisu stvorili višak novostvorene vrijednosti za proširenje materijalne osnove rada elektroprivrede i društva u cjelini, pa ne mogu iskoristiti svoje neotuđivo samoupravno pravo da odlučuju o višku novostvorene vrijednosti, odnosno ostatku dohotka za proširenu reprodukciju jer ga — zbg ekonomske politike društva — nisu niti stvorili. Na ovaj način reproduciraju se — našem ekonomskom i društveno-političkom sistemu — neprihvatljivi proizvodniodnosi u proširenoj reprodukciji: na jednoj strani su radnici koji u proširenu reprodukciju svojeg OOUR-a, radne organizacije, djelatnosti i društva u cjelini mogu uložiti samo svoj živi rad, a na drugoj strani su radnici koji u proširenu reprodukciju ulažu uz svoj živi rad i ostatak dohotka što su ga za tu namjenu stvorili.

Elektroprivredne proizvodno-prijenosne organizacije udruženog rada ne udružuju ni dinara slobodne amortizacije za izgradnju elektroenergetskih objekata i postrojenja od 1981. do 1985. godine, jer slobodne amortizacije nemaju. Ako Ustavni sud SR Hrvatske presudi, u procesu koji je u toku, da su naknade za priključenje novih potrošača i povećanje angažirane snage postojećih potrošača električne energije sredstva potrošača a ne elektroprivrede, onda će elektroprivredne organizacije udruženog rada za proizvodnju i prijenos električne energije biti sudionici SAS-a o razvoju bez dinara vlastitih sredstava. Neprihvatljiva su ekonomski, pravno i društveno-politički obrazloženja koja se svode na to da nije važno čija su sredstva, nego da je samo važno da ih elektroprivreda ima i da ih racionalno koristi.

Ekonomska je nužnost da se elektroprivredi Hrvatske putem cijena električne energije osigura ostvarivanje objektivno potrebnog i društveno opravdanog ostatka dohotka za proširenje materijalne osnove rada elektroprivrede. Visinu vlastitog učešća za financiranje razvoja elektroprivrede bit će potrebno vrlo pažljivo utvrditi i paziti da se ne ode u drugu krajnost, tj. da se ne dopusti prekomjerno djelovanje zakona tržišta u elektroprivredi i da se potrošačima električne energije ne smanji optimalno potreban samoupravni utjecaj na rad i razvoj elektroprivrede. Dakle, problem se svodi na to da se radnicima u elektroprivredi omogući stvarno samoupravno odlučivanje na osnovi ostvarenog ostatka dohotka za proširenu reprodukciju elektroprivrede, da oni odlučuju ravnopravno s potrošačima električne energije i da rezultat zajedničkog i ravnopravnog odlučivanja bude optimalan rad i razvoj elektroprivrede. Konačan rezultat ovakvog udruživanja sredstava i zajedničkog rada i samoupravnog odlučivanja treba biti najniža cijena električne energije koja ima svoje

ekonomsko i društveno opravdanje i za potrošače električne energije i za elektroprivredu.

Potrošači električne energije odlučuju zajedno s elektroprivredom o optimalnoj upotrebi udruženih sredstava

Zakonom o elektroprivredi i Samoupravnim sporazumom o uređivanju međusobnih odnosa Samoupravne interesne zajednice potrošača električne energije Hrvatske i Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske utvrđeno je da sve bitne odluke o radu i razvoju elektroprivrede donose zajedno potrošači električne energije i elektroprivreda. Prijedlogom SAS-a o razvoju detaljnije su razrađene neke odredbe Zakona o elektroprivredi i navedenog SAS-a o međusobnim odnosima dviju zajednica.

Zajedničko odlučivanje potrošača električne energije s elektroprinvredom o efikasnom korištenju udruženih sredstava regulirano je s više odredaba Prijedloga SAS-a o razvoju. Prema članu 75. potrošači i elektroprivreda će donijeti na zajedničkoj skupštini plan razvoja od 1981. do 1985. godine s konstrukcijom financiranja po objektima i godinama i godišnje planove izgradnje za organizacije proizvodnje i prijenosa električne energije i globalni plan za djelatnost distribucije električne energije. Radi brže i efikasnije izgradnje te jednostavnijeg i jeftinijeg održavanja objekata i postrojenja elektroprivredne će organizacije udruženog rada prema čl. 63. zaključiti samoupravni sporazum o tipizaciji i standardizaciji elemenata proizvodnih, prijenosnih i distributivnih objekata i postrojenja. Plan razvoja od 1981. do 1985. godine treba donijeti u roku od dva mjeseca nakon zaključivanja ovog SAS-a o razvoju.

U prethodnom srednjoročnom razdoblju bilo je znatnih poteškoća s izradom tehničke dokumentacije, tako da se često projektiralo i gradilo gotovo istovremeno. Nepripremljenost tehničke dokumentacije utjecala je uz ostalo i na produženje rokova izgradnje i poskupljenje izgradnje, a zbog brzine projektiranja imala je za posljedicu lošija tehnička i tehnološka rješenja u izvedbi elektroenergetskih objekata i postrojenja. Da bi se od 1981. do 1985. godine uklonile takve i druge posljedice nedovoljne pripremljenosti tehničke dokumentacije, članom 73. Prijedloga SAS-a o razvoju propisano je da investitor ne počinje s rekonstrukcijom ili izgradnnjom elektroenergetskog objekta i postrojenja ako prethodno nije izrađen i revidiran investicijski program i kompletna tehnička dokumentacija sa svim projektima potrebnim za dobivanje građevinske dozvole, za ustupanje radova i za građenje objekata i postrojenja (izvedbenim projektima). Investicijski program, tehnička dokumentacija i svaki projekt pojedinačno moraju sadržavati sve elemente propisane zakonom, Samoupravnim sprazumom o zajedničkom razvoju elektroenergetskog sistema Hrvatske i Pravilnikom o reviziji investicijsko-tehničke dokumentacije.

Budući da su stručni kadrovi jedan od osnovnih uvjeta efikasnosti rada, čl. 65. Prijedloga SAS-a o razvoju utvrđena je obaveza vođenja zajedničke kadrovske politike elektroprivrede Hrvatske kako bi se udružena sredstva što racionalnije iskoristila u izgradnji elektroprivrede i da bi eksploatacija elektroenergetskog sistema bila optimalna.

Zajednička skupština RSIZ-a i ZEOH-a će prema čl. 74. Prijedloga SAS-a o razvoju najmanje dvaput godišnje razmatrati izvještaje o ostvarenju SAS-a o razvoju.

Zajednički odbori zajedničke skupštine nadležni za planiranje i financiranje pratit će prema čl. 77. Prijedloga SAS-a o razvoju izvršenja planova izgradnje, obavještavat će o tome zajedničku skupštinu i predlagati joj poduzimanje potrebnih mjera i akcija za optimalno korištenje udruženih sredstava.

Elektroprivreda je i materijalno odgovorna za racionalno korištenje udruženih sredstava

Dosadašnja velika povećanja predračunskih vrijednosti investicija, velika zakašnjenja s ulaskom u pogon elektroenergetskih objekata i postrojenja, te nestandardizirana i netipizirana oprema — i zbog toga otežano i skuplje održavanje — nisu gotovo uopće utjecala na smanjenje dohotka i osobnih dohodaka investitora, elektroprivrede i ostalih odgovornih sudionika u izgradnji. Poslovi i odgovornost za izgradnju nisu razgraničeni, nisu odvojeni objektivni razlozi od subjektivnih, pa su i svi propusti u izgradnji kao i objektivni elementi bili sastavni dio cijene električne energije koja u prethodnom razdoblju uglavnom nije mogla osigurati pokriće troškova i dohotka jednostavne reprodukcije elektroprivrede Hrvatske.

Da bi se udružena sredstva što ekonomičnije i efikasnije koristila u izgradnji, odredbama čl. 76. Prijedloga SAS-a o razvoju obavezale su se elektroprivredne osnovne i radne organizacije, Samoupravna interesna zajednica potrošača električne energije Hrvatske i Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske da posebnim samoupravnim općim aktom razgraniče poslove i utvrde, uz ostalo, i materijalnu odgovornost za obavljanje poslova iz zakonski i samoupravno utvrđenog djelokruga rada investitora i ostalih sudoinika u izgradnji. Ovim samoupravnim općim aktom regulirat će se i to da rezultati rada ostvareni na izgradnji utječu na povećanje odnosno smanjenje dohotka i osobnih dohodaka svih sudionika u izgradnji i nakon ulaska u redovan pogon elektroenergetskog objekta i postrojenja. Taj utjecaj na poboljšanje odnosno pogoršanje ekonomskog položaja u području jednostavne reprodukcije treba biti razmjeran preuzetim poslovima na izgradnji elektroenergetskih objekata i postrojenja.

Ekonomska zainteresiranost i materijalna odgovornost za efikasnost izgradnje odnosno materijalno stimuliranje racionalnije izgradnje i materijalno

destimuliranje neekonomične i neefikasne izgradnje jedna je od najsigurnijih garancija optimalnog korištenja udruženih sredstava potrošača električne energije i elektroprivrede. Na ovaj način radnici u elektroprivredi i potrošači imati će veći stvarni samoupravni utjecaj na optimalno korištenje udruženih sredstava. Oni će već prilikom usvajanja investicijskog programa znati koliko im se godišnje može povećati dohodak i osobni dohoci ako objekt izgrade na najbolje mogući način, odnosno koliko im se može godišnje smanjivati dohodak i osobni dohoci ako izgradnju obave manje uspješno. Prilikom usvajanja svakog periodičnog obračuna i završnog računa i prilikom svakog utvrđivanja vrijednosti boda odnosno visine osobnih dohodaka trebat će utvrditi stvarni i mogući dio dohotka i osobnih dohodaka što su posljedica veće ili manje uspješnosti izvršenja preuzetih obaveza na izgradnji elektroenergetskih objekata i postrojenja.

Sva udružena sredstva su do trenutka trošenja depozit lokalnih banaka

Odredbama člana 9. Prijedloga dogovora o osnovama Društvenog plana SR Hrvatske o razvoju privredne infrastrukture u razdoblju od 1981. do 1985. godine i odredbama članova 41, 45. i 46. Prijedloga SAS-a o razvoju utvrđeno je da sva udružena sredstva za financiranje razvoja i izgradnje čine do trenutka trošenja depozit lokalnih banaka. Prikupljanje sredstava na ovaj način regulirat će se samoupravnim sporazumima osnovnih banaka i samoupravnih interesnih zajednica materijalne proizvodnje. Naročito je važno ovim samoupravnim sporazumima točno utvrditi obvezu osnovnih banaka da u svakom trenutku udovolje zahtjevu Interne banke elektroprivrede i ostalih internih banaka ili posebinh financijskih službi SIZ-a materijalne proizvodnje o doznaci sredstava s lokalnih računa udruženih sredstava. Dakle, osnovno je osigurati — na ovakav dosta složen i skup način udruživanja i korištenja sredstava — da udružena sredstva potrošača električne energije i elektroprivrednih organizacija udruženog rada budu u svakom trenutku raspoloživa za financiranje izgradnje elektroenergetskih objekata i postrojenja. Isto se odnosi i na udružena sredstva za financiranje razvoja ostalih infrastrukturnih djelatnosti.

Trebalo bi naučno dokumentirati da li je ekonomski opravdanije da se udružean sredstva za financiranje razvoja privredne infrastrukture od 1981. do 1985. godine nalaze na mnogo računa u mnogo mjesta u SR Hrvatskoj, ili da se sva sredstva nalaze na jednom računu u bilo kojem mjestu u SR Hrvatskoj i da ih odnosna infrastrukturna djelatnost optimalno koristi i na taj način snizuje cijenu svojih proizvoda ili usluga. Također bi trebalo utvrditi da li su veći efekti ovog sniženja cijena od efekata što ih imaju mikroregije i makroregije od privremenog korištenja dijela udruženih sredstava za razvoj infrastrukturnih djelanosti.

Potrošači električne energije i elektroprivreda osnovat će internu banku elektroprivrede Hrvatske

Potrošači električne energije udruženi u Samoupravnu interesnu zajednicu potrošača električne energije te elektroprivredne organizacije udruženog rada osnovat će, prema članu 20. Prijedloga SAS-a o razvoju, internu banku elektroprivrede Hrvatske u roku od 6 mjeseci od donošenja SAS-a o razvoju.

OOUR za proizvodnju i prijenos električne energije i potrošači električne energije obavezno udružuju i koriste udružena sredstva za razvoj i nabavu električne energije preko interne banke, a OOUR za distribuciju elektrine energije i osnovne samoupravne interesne zajednice potrošača električne energije mogu preko interne banke udruživati i koristiti udružena sredstva za financiranje izgradnje elektroenergetskih objekata i postrojenja za distribuciju električne energije.

U prošlom srednjoročnom razdoblju udružena sredstva za financiranje izgradnje elektroprivrednih objekata i postrojenja neefikasno su korištena. Investitori pojedinih objekata morali su uzimati kratkoročne skupe kredite za plaćanje situacija izvođačima radova i dobavljačima opreme, a u isto vrijeme na računima drugih investitora i samoupravnih interesnih zajednica ležala su privremeno slobodna znatno veća investicijska sredstva nego što su iznosi kratkoročnih kredita. Na ovaj nači nije neopravdano poskupljivana izgradnja i povećavana cijena električne energije. Kamati na kredite čine 22% od ostvarenog dohotka elektroprivrede Hrvatske u 1980. godini. Budući da u pogon ulaze objekti građeni u nepovoljnim uvjetima, učešće kamata na kredite u dohotku i cijeni električne energije će se povećavati.

Interna banka ili posebna financijska služba elektroprivrede Hrvatske do sada nije osnovana uglavnom zbog toga što je postojala i postoji sumnja da bi se osnivanjem banke ili službe sredstva sa žiroračuna elektroprivrednih organizacija udruženog rada koncetnrirala na jednom računu i u jednom mjestu i da bi se ona otuđila od OOUR-a jer bi o njima navodno odlučivala interna banka ili posebna financijska služba. To je bio a i sada je glavni razlog i za neudruživanje sredstava za financiranje jednostavne reprodukcije. Izmjenama i dopunama Zakona o osnovama kreditnog i bankarskog sistema predlaže se, uz ostalo, da novčana sredstva sa žiro-računa interne banke mogu biti deponirana kod više osnovnih banaka, da interna banka može u svoje ime a za račun svojih članova izdavati instrumente osiguranja plaćanja i da se sredstva s prolaznog računa zajedničkog prihoda mogu prenositi neposredno na žiro-račun interne banke i evidentirati na internim računima te banke. Predloženim izmjenama navedenog zakona bili bi eliminirani glavni razlozi neudruživanja sredstava za financiranje jednostavne i proširene reprodukcije elektroprivrede Hrvatske.

Prilikom izrade i zaključivanja Samoupravnog sporazuma o osnivanju interne banke elektroprivrede Hrvatske trebat će stalno imati na umu da je osnovni razlog njena osnivanja optimalno korištenje ukupnih financijskih sredstava s namjerom da cijena kWh za potrošače električne energije u tekučoj i idućim godinama bude što niža. Taj će cilj biti teško ostvariti. U Prijedlogu SAS-a o razvoju došli su do izražaja suprotni interesi.. Odredbama člana 55. Prijedloga SAS-a o razvoju omogućava se korištenje privremeno slobodnih udruženih investicijskih sredstava čak i za obrtne svrhe, a nigdje u Prijedlogu SAS-a nije utvrđeno načelo o udruživanju svih slobodnih sredstava za financiranje jednostavne reprodukcije, jer se sudionici sporazuma o tome nisu mogli dogovoriti. Jedino je u članu 20. Prijedloga SAS-a o razvoju utvrđena obaveza udruživanja sredstava za nabavu električne energije izvan elektroenergetskog sistema Hrvatske.

Do osnivanja interne banke elektroprivrede Hrvatske udruživanje i korištenje udruženih i ostalih sredstava obavljat će se uglavnom na dosadašnji način.

Elektroprivreda Hrvatske će graditi elektrane u drugim republikama i pokrajinama

Odredbama člana 21. do 23. Prijedloga SAS-a o razvoju utvrđena je obaveza elektroprivrede Hrvatske da sudjeluje u izgradnji i financiranju izgradnje elektrana na područjima drugih republika i obaveza suradnje u području jednstavne reprodukcije, tj. eksploatacije elektroenergetskog sistema.

Članom 22. Prijedloga SAS-a o razvoju sudionici sporazuma se obavezuju da će:

— završiti izgradnju TE Gacko 100 MW s pripadajućim dijelom rudnika

— izvršiti potrebne pripreme za izgradnju objekata i postrojenja na području SAP Kosovo,

— izvršiti potrebne pripreme za izgradnju druge zajedničke nuklearne elektrane na lokaciji Prevlaka s Elektroprivredom SR Slovenije

— utvrditi mogućnosti daljnje izgradnje objekata u suradji ns elektroprivredama drugih republika i pokrajina i

— izvršiti potrebne pripreme za izgradnju retencije Čaprazlije.

Budući da su potrošači vrlo zainteresirani za što nižu cijenu kWh električne energije, utvrdili su člaom 23. Prijedloga SAS-a o razvoju da u odnosima s elektroprivredama drugih republika i pokrajina nastupaju zajednički Samoupravna interesna zajednica potrošača električne energije Hrvatske i Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske. Toj suradnji zasonvanoj na obostranim interesima i zajedničkom ulaganju treba obratiti posebnu pažnju s obzirom na to da gotovo sve termoelektrane u SR Hrvatskoj (osim TE Plomin) imaju pogon na tekuće, uglavnom uvozno gorivo, da SR Hrvatska nema značajnijih rezervi ugljena i da je jeftiniji vodni potencijal već iskorišten.

Elektroprivreda će zaključiti samoupravne sporazume s proizvođačima energetske opreme

Radi osposobljavanja domaće industrije za proizvodnju energetske opreme utvrđeno je odredbama člana 60. do 63. Prijedloga SAS-a o razvoju da će elektroprivreda Hrvatske zaključiti samoupravne sporazume s domaćim proizvođačima energetske preme i uređaja i s organizacijama koje se bave studijama, istraživanjima, projektiranjima i izgradnjom elektroenergetskih objekata i postrojenja. Neke samoupravne sporazume zaključiti će putem Zajednice jugoslavenske elektroprivrede a neke sama, ovisno o zajedničkom interesu drugih republika i pokrajina.

Studijsko-israživački radovi

Stalan i nagao razvoj elektroenergetskog sistema radi pokrića prirasta porošnje električne energije zahtijeva neprekidan studiozni rad i istraživanje izvora električne energije, razvoja prijenosne i distributivne mreže i postrojenja te istraživanja novih izvora ugljena i urana. Prema odredbama člana 56. do 59. Prijedloga SAS-a o razvoju organiziranje i obavljanje studijsko-istraživalačkih radova regulirat će elektroprivreda zaključivanjem samoupravnhi sporazuma s odgovarajućim znanstvenim organizacijama na princinpima neposredne i slobodne razmjene rada.

Prijelazne i završne odredbe

Zajednička skupština RSIZ-a i ZEOH-a može, pema članu 80. Prijedloga SAS-a o razvoju, prilikom donošenja godišnjih planova izgradnje mijenjati dinamiku ulaganja, konstrukciju financiranja i odnose ulaganja ovisno o raspoloživim sredstvima, pripremljenosti ekonomsko-tehničke dokumentacije i odvijanju radova na pojedinim objektima i postrojenjima.

Prema članu 78. Prijedlog SAS-a o razvoju je na snazi do usvajanja istog samoupravnog sporazuma za razdoblje od 1986. do 1990. godine, odnosno do završetka objekata i postrojenja čija je izgradnja započeta prema odredbama ovog SAS-a o razvoju.

Iz udruženih sredstava mogu se, prema čl. 79. Prijedloga SAS-a o razvoju, financirati akcije za racionalizaciju i štednju električne energije te uklanjanje većih šteta na elektroenergetskim objektima i postrojenjima prouzrokovanim elementarnim nepogodama.

Prema članu 85. Prijedloga, odredbe SAS-a o razvoju tumačit će Zajednička skupština RZIZ-a i ZEOH-a.

Služba društvenog knjigovodstva će, prema članu 82. Prijedloga SAS-a o razvoju, nadzirati obračun, uplatu i namjensko korištenje udruženih sredstava.

Način zaključivanja SAS-a

Ovaj SAS o razvoju zaključuje se neposrednim izjašnjavanjem većine radnika svake osnovne organizacije udruženog rada — sudionika Sporazuma. Razlog je ovakvom načinu zaključivanja SAS-a o razvoju njegov sadržaj. Na primjer: Dio samoupravnog sporazuma što se odnosi na osnove plana samoupravnih interesnih zajednica trebale bi — prema član 122. Zakona o društvenom planiranju u SR Hrvatskoj (Narodne novine 40/78) — zaključiti skupštine samoupravnih interesnih zajednica odnosno zajednička skupština na osnovi pismenih izjava radničkih savjeta sudionika sporazuma. Dio SAS-a o razvoju koji se odnosi na ostvarivanje neotuđivih samoupravnih prava radnika, tj. dio SAS-a koji se odnosi na udruživanje sredstava i reguliranje međusobnih odnosa u vezi s udruženim sredstvima zaključuje se — prema članu 189. Ustava SR Hrvatske i člana 462. i 593. Zakona o udruženom radu — osobnim izjašnjavanjem većine radnika svakog OOUR-a — sudionika sporazuma.

Key words:

ELECTRIC UTILITY OF CROATIA
SELF_MENAGEMENT CONNTRACT

SUGGESTION FOR SELF_MENAGEMENT CONTRACT FOR COMMON BASES DEVELOPMENT PLAN OF ELECTRIC UTILITY SR CROATIA IN PERIOD FROM 1981 TO 1985 YEAR

In the article is presented suggestion for self-menagement conntract for common bases development plan of electric utility SR Croatia in period from 1981 to 1985 year. Few important statements are commented, good and bed aspects of some suggestions are highlighted and some problems with possible solutions are also presented.

VORSCHLAG EINER SELBSTVERWALTUNGSVEREINBARUNG ÜBER GEMEINSAME GRUNDLAGEN DER VERBUNDWIRTSCHAFTLICHEN ENTWICKLUNGSPLÄNE DER VR KROATIEN IM ZEITABSCHNITT VON 1981 bis 1985.

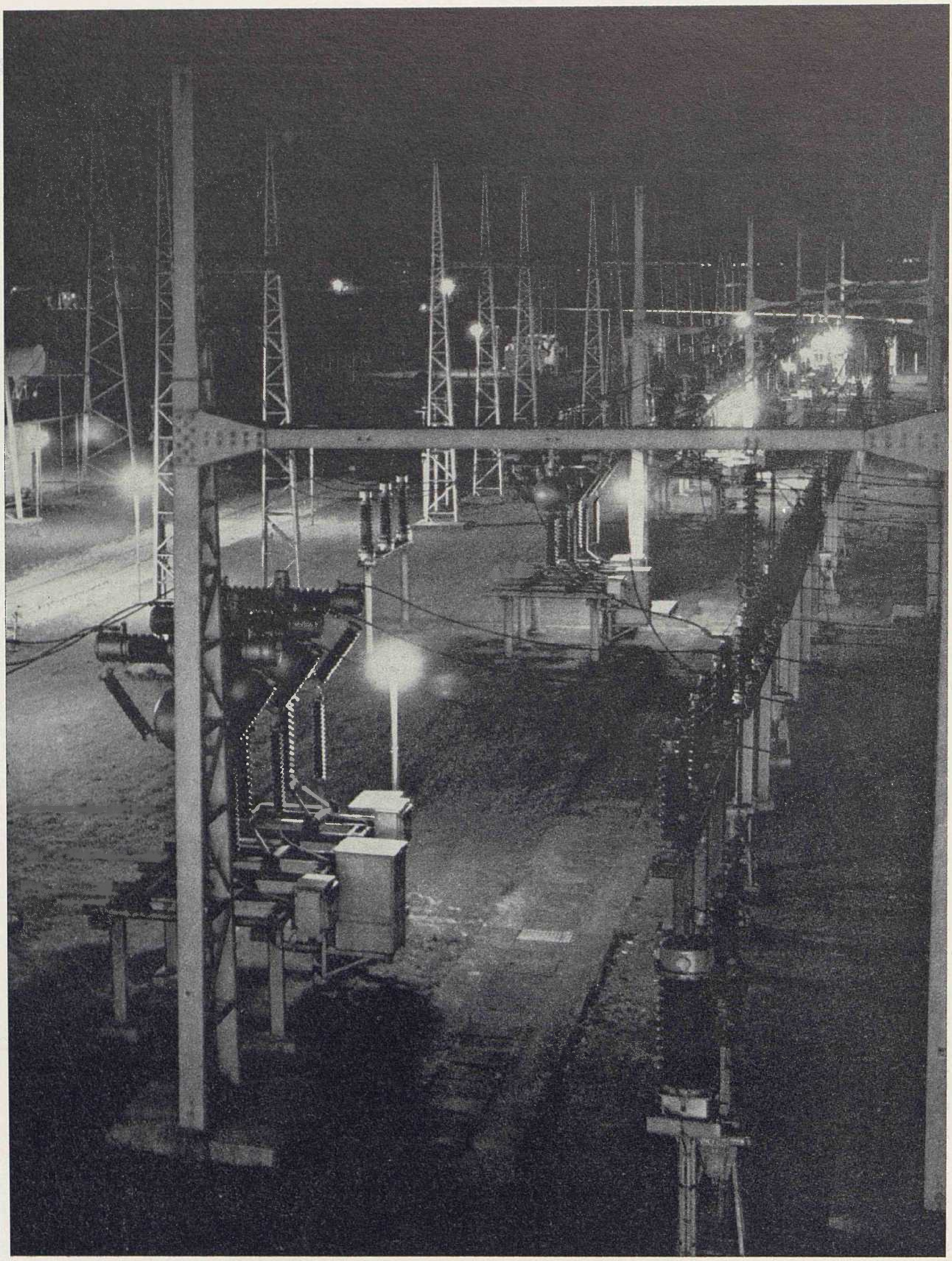
Dargestellt wird der Inhalt eines Vorschlages für eine Selbstverwaltungsvereinbarung über die gemeinsamen Grundlagen der Entwicklungspläne der kroatischen Verbundwirtschaft im Zeitraum von 1981 bis 1985. Einzelne Abschnitte werden erläutert und kommentiert mit Hinweisen auf gute und schlechte Seiten einiger der vorgeschlagenen Bestimmungen, wobei auch die sich daraus ergebenden Probleme und einige der möglichen Lösungen erörtert werden.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ САМОУПРАВНОГО СОГЛАШЕНИЯ О СОВМЕСТНЫХ ОСНОВАХ ПЛАНОВ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВА СР ХОРВАТИИ НА ПЕРИОД С 1981 ПО 1985. ГОДЫ

Приводится содержание усвоенного предложения Самоуправного соглашения о совместных основах планов развития электрохозяйства СР Хорватии на период с 1981 по 1985 годы. Обосновываются и объясняются его важнейшие положения, подчеркиваются положительные и отрицательные стороны некоторых предложенных решений, высказываются проблемы и их возможные решения.

Lađević Đuro

RZIS potrošača el. energije Zagreb



Energija God. 30 (1981) br. 5—6, 191—193

POSLJEDICA UVOĐENJA SUSTAVA DALJINSKOG VOĐENJA (SDV) NA ORGANIZACIJU RADA U PRIJENOSNIM ORGANIZACIJAMA

Zorko Cvetković, Zagreb

Kao jedan element tog budućeg SDV pojavljuje se Centar daljinskog upravljanja prenosnom mrežom (CDU) čija se direktna posljedica svodi na činjenicu da će buduće transformatorske stanice u pravilu biti bez posade.

Članak uočava niz problema koji se pojavljuju u prijenosnim organizacijama kao posljedica spomenute činjenice i koji će u prijenosnim organizacijama trebati riješiti istovremeno s puštanjem u pogon budućih SDV.

Ključne riječi:
Daljinsko upravljanje
Električna mreža
Posada

UDK 621.316.1:681
Stručni rad

1. UVOD

Jugoslavenski elektroenergetski sistem je sa svojih 50 milijardi kWh godišnje potrošnje i 10 000 MW vršnog opterećenja postao snažan sistem. Jedinične snage termoblokova od 600 MW, koje su u gradnji, kao i interkonektivna mreža 400 kV odgovaraju po svojoj veličini i karakteristikama blokovima, odnosno maksimalnim naponima u najrazvijenijim evropskim zemljama. Činjenica je, međutim, da smo na području vođenja tog sistema zaostali. Riječ »vođenje« upotrebljavam kao zajednički termin za dispečiranje, daljinsko upravljanje i lokalnu automatizaciju. Nije stoga ni čudo da se u posljednje vrijeme na svim nivoima elektroprivrede, od Jugela pa do pojedinih elektrana i prijenosnih organizacija vrlo intenzivno priprema uvođenje sistema daljinskog vođenja (SDV).

U pristupu ovom zadatku ima — što je i normalno — raznih filozofija i raznih rješenja, ali bi se usprkos razlikama moglo konstatirati da su u osnovi rješenja identična.

Kad to kažem, mislim da je uz budući zamišljeni dispečerski centar (DC) Jugela zamišljena realizacija DV u svim republikama i autonomnim pokrajinama, a kao treći nivo predviđeni su centri daljinskog upravljanja, odnosno mrežni upravljački centri ili slivni centri.

Svrha ovog razmatranja je utjecaj budućih mrežnih centara daljinskog upravljanja (CDU) na danas usvojenu organizaciju rada u prijenosnim organizacijama.

Pri tome u ovom momentu nije važno postojanje stanovitih razlika u koncepciji daljinskog upravljanja prijenosnom mrežom na pojedinim područjima, kao npr. da li se upravlja samo prekidačima ili također rastavljivačima, da li se vrši daljinska regulacija transformatora ili ne, da li se upravlja kompenzacionim uređajima ili ne, da li se vrše pojedinačne operacije aparatima ili sekvence i sl.

2. BIT PROBLEMA

Budući CDU prijenosne mreže bit će smješten u pravilu u neku centralnu transformatorsku stanicu (i ako ni druga lokacija nije isključena), i iz njega će se vršiti daljinsko upravljanje prijenosnom mrežom. Praktički to se upravljanje odnosi na transformatorske stanice i na dalekovodna polja u pojedinim elektranama. Ono što nas zanima jest baš ta buduća transformatorska stanica uključena u rad SDV.

Pogledajmo u čemu je osnovna razlika npr. jedne truansformatorske stanice 110/35 (20) kV danas i sutra. U momentu dok projektiramo i izgrađujemo SDV zanima nas prvenstveno tehnički aspekt problema pojedinog objeka, pa tako i naše transformatorske stanice. Shvatili smo da je prvi preduvjet za pouzdani rad SDV da transformatorska stanica bude prilagođena za rad u SDV. Da vidimo što to znači da je neka stanica prilagođena za rad u SDV. Pojednostavljeni odgovor na to pitanje bi bio da zato treba ispuniti tri uvjeta:

— da svi elementi stanice besprijekorno funkcioniraju — rastavljači, prekidači, signalne sklopke na aparatima, pomoćni uređaji u stanici itd.;

— da je stanica predviđena sa svim nužnim terminalima odabranog sistema daljinskog upravljanja i povezana odgovarajućim prenosnim putovima sa centrom daljinskog upravljanja;

— da su pomoćni krugovi stanice izvedeni na temelju shema djelovanja koje baziraju na odabranoj filozofiji SDV.

Prvi uvjet zapravo i nije uvjet, ili ne bi trebao biti uvjet za prijelaz na rad u SDV. To bi morala biti normalna situacija u svakom našem postrojenju. Budimo, međutim, iskreni pa priznajmo da to nije uvijek tako bilo zbog objektivnih, bilo zbog subjektivnih razloga. Sada dolazimo do biti problema. Prijelazom na SDV nastaje bitna razlika prema današnjem stanju, tj. u budućoj stanici nema posade, tj. nema čovjeka koji služi kao inteligentni korektor eventualnih nedostataka. Očito da konstatacija da u daljinskoj upravljanoj stanici nema čovjeka koji nije revolucionarno otkriće, jer i to je jedan od faktora koji se uzimaju u obzir kod prijelaza na rad u SDV. Ipak, nakon rada na realizaciji SDV ili konkretno na realizaciji CDU u »Elektroprenosu«, Zagreb, koji rad traje nekoliko godina, dolazim do uvjerenja da se svi zajedno nismo još uvijek dovoljno uživili u situaciju koja nas čeka kad jednom SDV bude stvarnost.

Svrha je ovog članka da sistematizira dio problema koje treba riješiti u prijenosnim organizacijama u vezi s organizacijom eksploatacije i održavanja prijenosnih postrojenja nakon uređenja SDV.

3. UTJECAJ SDV NA ORGANIZACIJU RADA

3.1. Održavanje dalekovoda

Prije rada na dalekovodu potrebno je da se dalekovod na oba kraja iskopča i uzemlji. Noževi za uzemljenje se u pravilu ne upravljaju daljinski, a u stanici nema uklopničara pa proizlazi potreba da se organizira priprema dalekovoda za rad u obje krajnje stanice.

3.2. Održavanje transformatorskih stanica

— Nužno je uvesti periodsku kontrolu stanica.

— Nužno je reorganizirati način komuniciranja sa dipečerom.

— Nužno je promijeniti način vođenja pogonskih dnevnika.

— Nužno je organizirati mogućnost brze dijagnoze u slučaju defekta u stanici. Informacija u CDU je samo generalna.

— S obzirom na novu tehnologiju sastavljenu mahom od slabostrujnih elemenata, a često u integralnoj izvedbi, nužno je naći granice održavanja današnjih specijalističkih grupa — pogon — zaštita — mjerenje — informativni sistem.

— Nužno je uvesti pravovremenu informaciju u slučaju neispravnog rada pomoćnih pogona, npr. defekta u krugu komprimiranog zraka, defekta u ispravljaču za punjenje akumulatorskih baterija, defekta u krugu transformatora vlastite potrošnje.

3.3. Održavanje zaštite

— Nužno je uvesti lokalnu registraciju rada zaštite radi postanalize; registracija na nivou CDU ili DC je generalna i dovoljna samo za vođenje sistema).

— Nužno je dogovoriti postupke u slučaju ispada NHSc sklopnika u sekundarnom krugu naponskih transformatora koji služe napajanju zaštitnih i mjernih uređaja.

3.4. Održavanje mjerenja

U ovom području postoji jedan za sada neriješen problem, bolje reći anomalija. Moderni SDV u kojem radi niz odgovarajućih procesora rješava sve bitne funkcije elektroenergetskog sistema. Po našim važećim propisima daljinski prijenos stanja brojila ne priznaje se kao podatak za obračun, već samo kao rezervni podatak za mjerenje energije u stanovitom periodu, dok se osnovni podatak dobiva integriranjem podataka MW, odnosno, MVAr metara kroz željeni period.

Iz toga slijedi da se obračun može vršiti očitovanjem traka, odonsno obradom traka na nekom centralnom mjestu ili očitanjem brojila u skladu s tarifnim sistemom. Očito, kad nema uklopničara, to traži odgovarajuću organizaciju koja odstupa od logike sistema. Biti će potrebno ili mijenjati propise u smislu priznavanja daljinskog prijenosa stanja brojila ili smanjiti na minimum godišnji broj očitanja mjerodavnih za obračun.

3.5. Održavanje informacijskog sistema

S obzirom da cijeli DSV bazira na pouzdanom radu informacijskog sistema (I. S.), ova će služba doživjeti značajne reorganizacijske probleme koji se odnose na permanentnost službe, broj ljudi pa i njihov profil. Polako nas prestaje čuditi podatak dobiven u američkoj elektroprivredi (BPA) da je ekipa I. S. po broju ljudi jača do ekipe za DV ili ekipe za TS.

3.6. Sigurnost na radu

— Nužno je mijenjati propise o osiguranju radnog mjesta kod rada u transformatorskim stanicama i na dalekovodima.

3.7. Opće funkcije

— Nužno je izvršiti korekture u nizu samoupravnih akata.

— Nužno je regulirati odnose sa SUP-om i čuvarskom službom.

— Treba riješiti način komuniciranja s lokalnim organima.

— Treba riješiti način ulaska u transformatorsku stanicu s time da postoji stanovita kontrola, a da se ne kompliciraju svakodnevni zahvati koje pojedine specijalističke službe vrše u stanicama.

3.8. Odnos s distribucijom

Prijenos i distribucija se po nuždi susreću kao zajednički korisnici niza transformatorskih stanica 110/x kV. Kod prijelaza na rad u SDV treba riješiti niz problema iz svakodnevne rutine, a pogotovo probleme nastale iz različite dinamike realizacije SDV prijenosa (110 kV) i SDV distribucije (35 (20) kV). Riječ je prije svega o rješenju odnosa vezanih za uklopničarsku službu u prijelaznom periodu, dok oba sistema (i SDV prijenosa i SDV distribucije) nisu još u pogonu. Radi se tu i o izobrazbi i o kompetencijama, pa i o troškovniku te službe.

4. ZAKLJUČAK

Kod prijelaza na SDV treba riješiti niz problema vezanih za eksploataciju i održavanje postrojenja. Pritisnuti problemima koncipiranja i izgradnje SDV, često ne mislimo dovoljno o problemima buduće eksploatacije. Da ne bi bilo raskoraka, nužno je i te probleme paralelno rješavati pa ih treba specificirati, odrediti nosioce rješenja i uskladiti dinamiku sa realizacijom SDV.

Na kraju možda dva pitanja za diskusiju:

— Koji su problemi iz ove domene uočeni kod ostalih organizacija, a nisu navedeni u ovom prikazu?

— Tko je neke od tih problema uspješno riješio?

Key words:

REMOTE CONTROL
TRANSMISSION NETS
UNMANNED STATIONS

CONSEQUENCES ON WORK ORGANIZATION IN TRANSMISSION ENTERPRISES DUE TO IMPLEMENTATION OF REMOTE CONTROL (SDV)

As one elment of future remonte control is a central dispatching unit with a direct consequence as unmanned tranformer stations.

In the article are presented some problems which can occur in transmission enterprises as a consequence of aforesaid facts and which should be solved before putting in operation remote control centers.

FOLGEN DER EINFÜHRUNG DER FERNSTEUERUNG AUF DEN BETRIEB DES ÜBERTRAGUNGSNETZES

Als ein Bestandteil der zukünftigen Fernsteurung ensteht ein Fernsteuerungszentrum mit einem Übertragungsnetz, dessen unmittelbare Begleiterscheinung in der Regel unbemannte Trafostationen sein werden.

Diese Arbeit behandelt eine Reihe von Problemen die bei den Übertragungsunternehmungen als Folge der vorgenannten Umstände auftreten werden, und die gleichzeitig mit der Inbetriebsetzung der zuküftigen Fernsteuerung gelöst werden müssen.

ВЛИЯНИЕ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОРГАНИЗАЦИЮ ТРУДА ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРЦИИ

Центр дистанционного уиравления является одним из элементов подобнной системы дистантного управтения высоковольтной сетью, непосредственное влияние которой проводит к отсуствию персонала в будущих подстанциях.
Стать выявляет рад проблем встающих перед организациями по передаче электроэнергии, являющихся следствием такого внедрения, решить которые необходимо одновременио с вводом в эксплуатацию будущих систем дистантного управления.

Naslov pisca:

Zorko Cvetković, dipl. ing.
OOUR »Elektroprenos«, Zagreb

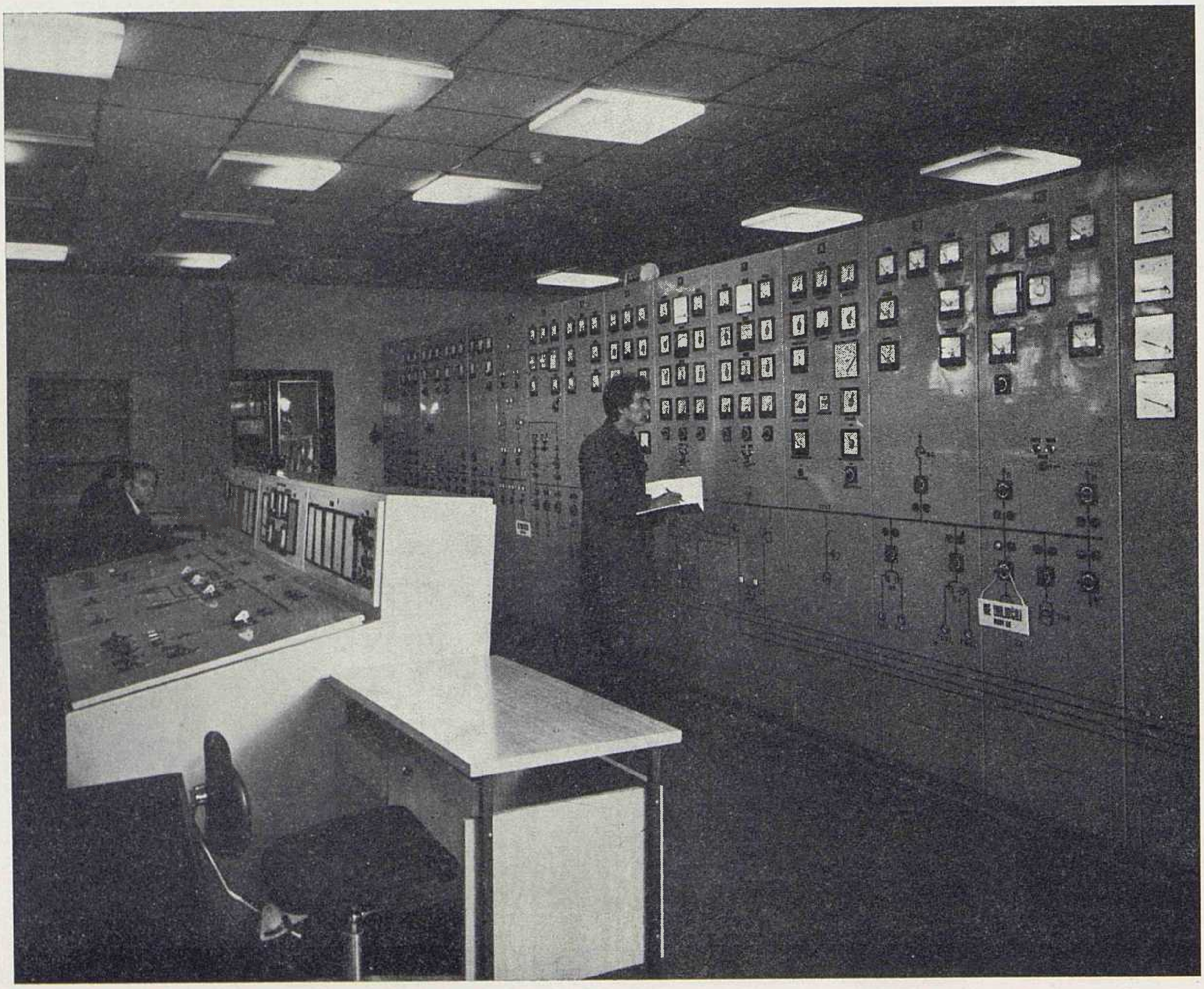
SOUR
MONTING
ZAGREB n.sol.o.

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



Energija God. 30 (1981) br. 5—6, 195—198

PRIKAZ DINAMIČKOG STANJA ELEKTRIČNE MREŽE NA VIŠEBOJNOM VIDEO TERMINALU

Branko Ciganović i Vlatko Debeljuh, Zagreb

Opisuju se neki novi principi prikazivanja stanja električne mreže razvijeni radi optimalnog iskorištenja računarske opreme u procesu upravljanja elektroenergetskim sistemima.

U razmatranom sistemu boja se koristi kao nosilac dinamičke informacije o stanju mreže. Podaci iz procesa prikupljaju se pomoću mreže računala i daljinskih stanica, a na osnovi njih i topologije mreže, koja se određuje automatski iz grafičkog prikaza (jednopolne sheme), izračunava se stanje i onih elemenata mreže o kojima se podaci ne dobivaju izravno.

Ključne riječi:
Električna mreža
Dinamičko stanje
Videoterminal

UDK 621.316.1
Stručni rad

1. UVOD

Pojeftinjenje računarske opreme i istovremeni porast složenosti raznih tehnoloških procesa dovodi do sve intenzivnijeg uvođenja računala kao sredstva za brzo prikupljanje velikog broja podataka, njihovu obradu i prezentaciju u obliku najpogodnijem za čovjeka te napokon za upravljanje nekim kritičnim dijelovima procesa. Takvi sistemi nadgledanja mnogo su pouzdaniji od klasičnih.

Za prikaz podataka postoji nekoliko rješenja. Jedno od njih je sinoptička ploča, naslijeđena iz prošlosti, čija je prednost u tome što kompletan tehnološki proces, dok su joj nedostaci glomaznost, kompleksnost (stoga i relativna nepouzdanost — izgorjela žarulja npr.) i relativna neprikladnost za izvođenje više brzih sukcesivnih operacija upravljanja na udaljenim mjestima na ploči.

Drugo rješenje, koje postaje sve popularnije, sastoji se u primjeni videoterminala upravljanih računalom. Na njima se mogu podaci pod kontrolom programa dinamički mijenjati, odabirati, formirati, sve to često prema želji operatora, što osigurava brzo i sigurno očitanje vitalne informacije i olakšava izbor najboljeg postupka.

Često takvi videoterminali (VT) moraju osim alfanumeričkih znakova (slova i brojke) biti u stanju ispisivati i grafičke simbole. U tome se razlikuju razni tipovi terminala: od onih s minimalnim mogućnostima do onih koji su u stanju zadovoljiti sve moguće zahtjeve za grafičkim prikazom.

Kao posebno dobar kompromis između grafičkih mogućnosti s jedne i jednostavnosti upravljanja iz računala s druge strane pokazali su se tzv. semigrafički višebojni videoterminali. Oni osim alfanumeričkih znakova omogućuju ispis skupa grafičkih simbola čijom kombinacijom se mogu izgraditi složenije strukture (kao što je npr. jednopolna shema rasklopnog postrojenja i sl.). Svaki od tih znakova ima pridružen jedinstveni ASCII kod, a kontronlim znakovima može se smjestiti bilo gdje na ekranu i pridijeliti mu jednu iz niza boja. Također se kontrolnim znakom može uzrokovati treperenje svakog pojedinog simbola. U najjednostavnijem slučaju simboli su definirani od proizvođača VT-a i orijentirani na primjenu u elektroprivredi. U složenijem slučaju simboli se mogu definirati po želji.

Na taj način može se jednopolna shema na VT-u prikazati slično kao na sinoptičkoj ploči. Međutim, uz neka odstupanja od ustaljenih načina prikazivanja, moguća su znatna poboljšanja u kvaliteti i količini prikazanih informacija. Tako npr. ako se odustane od upotrebe boje za identifikaciju naponskih nivoa, onda se te boje mogu iskoristiti za prikaz nekih dinamičkih podataka, jer se mogu programski (dakle, dinamički) mijenjati na VT prikazu. Isto tako se stanje dvopoložajnog aparata (npr. prekidača) može prikazati pomoću dva različita grafička simbola na istom mjestu na ekranu, za razliku od sinoptičke ploče na kojoj se takvo stanje prikazuje dvjema žaruljicama. Općenito, skup podataka o nekom elementu procesa (npr. prekidaču) rastavlja se na one koji se prikazuju oblikom (dakle izborom simbola) i na one koji se prikazuju bojom. Pri tome su podaci iz ta dva skupa posve nezavisni.

2. DINAMIČKA STANJA MREŽE I REPREZENTACIJA NA ZASLONU

Električna mreža kao objekt nadgledanja i upravljanja pomoću računala ima u memoriji računala

svoju »sliku«; ona opisuje statička (topološka) svojstva i dinamičko stanje mreže.

Podaci o dinamičkom stanju mreže mogu potjecati iz samog procesa i imati mehaničko (položaj prekidača) ili električko (iznos napona) značenje. U tom slučaju postoji ekvivalencija između fizičkog stanja mreže i slike tog stanja u računalu. Neki podaci, međutim, nastaju u samom procesu vođenja. Takav je npr. postojanje zabrane upravljanja nekim prekidačem. Kad budemo govorili o dinamičkom stanju mreže, podrazumijevat ćemo dinamičko stanje slike mreže.

Podjelu skupa podataka na one koji se prikazuju oblikom i one koji se prikazuju bojom psihološki je opravdano učiniti na slijedeći način:

1. o b l i k o m (tj. različitim simbolom) prikazuju se mehanička stanja odgovarajućih elemenata procesa
2. b o j o m se prikazuju svi ostali podaci o dinamičkom stanju mreže.

Prekidači i rastavljači su jedini elementi mreže koji mijenjaju mehaničko stanje i oni su označeni uobičajenim simbolima: prekidač kvadratom (□, ■), a rastavljač rombom (◇, ◆). Kod toga puni simbol označava uključeno, a prazni isključeno stanje aparata. Osim ta dva, moguća su još dva stanja: međupoložaj i oba krajnja položaja istovremeno uključena (ovo posljednje može nastati kao posljedica kvara na davaču). Ona su prikazana simbolima zajedničkim i za prekidač i za rastavljač, i to međupoložaj znakom »X«, a oba krajnja položaja istovremeno uključena znakom »*«.

Kako pojedini simbol može u jednom času poprimiti samo jednu boju, potrebno je sve nemehaničke podatke (i pripadne boje) rangirati po prioritetu i simbolu pridijeliti onu boju koja označava najprioritetniji podatak.

U »Končarevom« sistemu za akviziciju podataka i vođenje procesa PROZA-11, elementu (npr. prekidaču ili rastavljaču) mogu biti pridružena slijedeća stanja (navedena su po opadajućem prioritetu):

1. element je izabran od operatora radi promjene njegova dinamičkog stanja,
2. stanje elemenata se ne očitava (npr. zbog toga što je poznato da davač daje pogrešan podatak; očitavanje se može zabraniti naredbom s upravljačkog mjesta),
3. o elementu nakon puštanja sistema u rad nije dobiven nikakav podatak (ovo se uglavnom odnosi samo na nekoliko početnih minuta rada),
4. na elementu je alarmno stanje (npr. spontano isključenje prekidača radi prorade neke zaštite),
5. na elementu postoji kvar (odgovara stanju u kojem je operator prihvatio alarm, ali je aparat ostao u istom, pogrešnom stanju),
6. upravljanje elementom blokirano,
7. naponsko stanje: pod naponom, bez napona ili nedefinirano.

Treba ovdje naglasiti da se s aparata naponsko stanje ne očitava izravno, već se izračunava na temelju podataka o cijeloj mreži (vidi točke 3. i 4).

Naponsko satnje očitava se izravno s »pasivnih« elemenata mreže (onih kojima se ne može upravljati), npr. sabirnica i dalekovoda, ali i to samo s nekih, dok se za ostale naponsko stanje također računa.

Pomoću primjera na sl. 3. može se ilustrirati ponašanje elemenata shematskog prikaza u skladu s prethodno iznesenim principima.

Neka je sabirnica (označena brojem 1) definirana mjerenjem i neka je početno pod naponom, dakle zelene boje. Neka je rastavljač A isključen. Tada rastavljač mora također biti zelene boje, jer je s jedne strane priključen na napon.

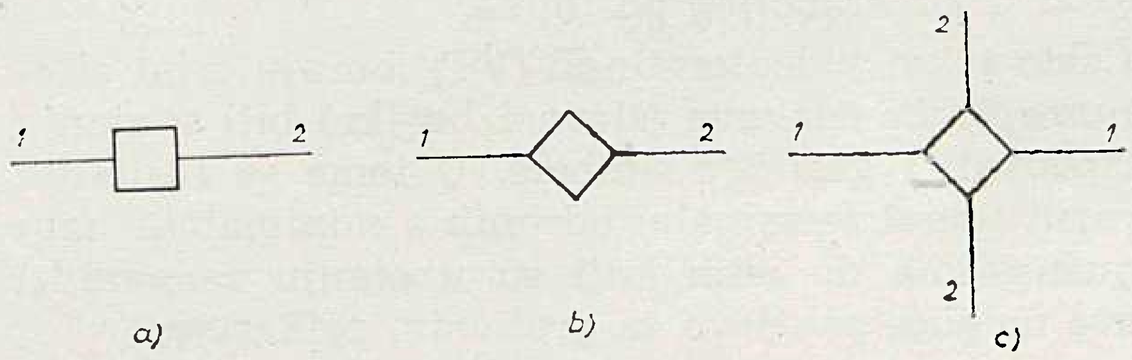
Uključenjem rastavljača A vod označen brojem 2 također mora poprimiti zelenu boju jer je doveden pod napon. S njega, međutim, ne postoji izravno mjerenje pa se naponsko stanje mora odrediti ručno. Isto se mora dogoditi s vodovima 3 i 4 ako se uključe prekidač B i rastavljač C.

3. TOPOLOGIJA JEDNOPOLNE SHEME

Shematski prikaz voda broj 4 na sl. 3. sastavljen je od niza segmenata (⊦, ⊢, ⊐, −). Kod promjene naponskog stanja svi oni moraju promijeniti boju. Zbog toga je još u fazi projektiranje ciljnog sistema nužno uspostaviti vezu svakog znaka na prikazu s podacima iz procesa. (1)

Jednopolna shema za prikaz VT mora biti topološki ekvivalentna fizičkoj mreži koju predstavlja. Zbog toga svi znakovi pomoću kojih se jednopolna shema gradi moraju imati definirane topološke karakteristike (sintaksu), koja opet mora odgovarati karakteristikama onih elemenata mreže koje ti znakovi predstavljaju.

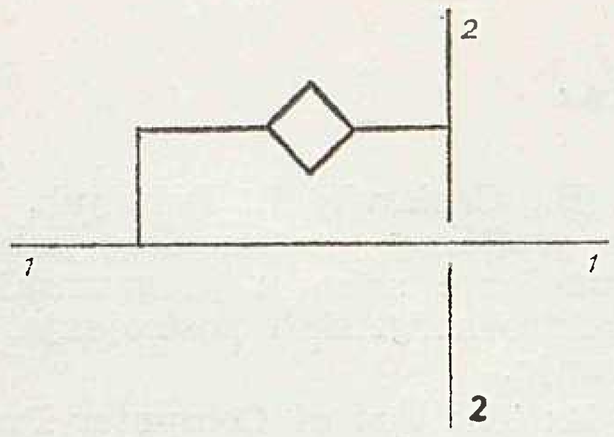
Ako mrežu promatramo s apstraktnog stajališta teorije grafova, možemo aparate identificirati s granama, a sabirnice i dalekovode s čvorovima ekvivalentnog grafa.



Sl. 1

Svaka grana (aparat) je priključena na dva čvora. Zbog toga je sintaksa simbola za aparate kao na sl. 1. (čvorovi su označeni brojevima). Slučaj na sl.

1.c zapravo je »skraćeni« prikaz konfiguracije na sl. 2. kod koje je korištena sintaksa na sl. 1.b. Ne može doći do sumnje o tome koja linija pripada kojem čvoru jer postoji jednostavno pravilo za jednoznačnu interpretaciju: ako iz znaka za aparat izlazi više od dvije linije, onda one dvije koje su kolinearne pripadaju istom čvoru. (U kontekstu jednopolne sheme čvor je definiran dao skup susjednih elemenata iz kojih se može izgraditi linija, a ako je sintaksom dozvoljeno (čvor 2 na sl. 2) mogu i nesusjedni elementi pripadati istom čvoru.)



Sl. 2

Topologija mreže odnosno njoj ekvivalentne jednopolne sheme vidljiva je neposredno; čvorovima i granama nisu pridruženi brojevi. U memoriji računala, međutim, svi čvorovi i grane su numerirani ,a veze među njima su sadržane u tablici povezivanja. Tablica povezivanja sadrži za svaku granu podatke o čvorovima na koje je priključena.)

Sl. 3

Primjer

Tablica povezivanja za graf. na sl. 3. dana je u tablici I. Takve tablice se određuju automatski na osnovi jednopolne sheme koju zada (crta) projektant u vrijeme projektiranja ciljnog sistema. (1)

Tablica I

GRANA	ČVOR 1	ČVOR 2
A	1	2
B	3	2
C	3	4
D	5	4

4. ALGORITAM ZA RAČUNANJE STANJA MREŽE

Sa stajališta algoritma za računanje naponskih stanja čvorova i grana mreže čvorovi su podijeljeni u dvije grupe:

1. definiranje — one s kojih se direktno mjerenjem ili na drugi način uzima potrebni podatak,
2. nedefinirane — one čije stanje algoritmom treba odrediti.

To je statička informacija koju treba dati projektant u vrijeme generiranja ciljnog sistema. U nekim situacijama osnovni algoritam ne može odrediti stanje svih nedefiniranih čvorova. Da bi se mogao definirati veći broj čvorova, koristi se dodatni algoritam. Čvorovi se dijele u dva podtipa (također u vrijeme projektiranja):

1. bitno nedefinirane — one koje treba ostaviti nedefiniranog stanja ako se stanje ne može definirati osnovnim algoritmom,
2. izolirane — one koji se mogu proglasiti bez napona ako su sve priključene grane isključene.

Na sl. 3. definirani čvorovi su 1 (eksplicitno) i 5 (implicitno, jer je proglašen uzemljenjem). To je također podatak koji se daje još u vrijeme projektiranja. Ostali (2, 3 i 4) su nedefinirani.

Čvorovi 2 i 3 mogu se proglasiti izoliranim, dok čvor 4 ostaje bitno nedefiniran jer se ne zna kako je zaključen na svim svojim krajevima.

U situaciji kad su grane A i C isključene, a grana B uključena, nijedan od izoliranih čvorova nema na oba kraja isključene grane. Algoritam za dodatnu obradu nedefiniranih (točnije, samo izoliranih) čvorova prepoznat će, međutim, da je cijeli podgraf (grana B i čvorovi 2 i 3) zaključen isključenim granama (A i C) pa će cijeli podgraf biti proglašen bez napona. To vrijedi za bilo koju veličinu podgrafa (tzv. izoliranog podgrafa) jer je algoritam rekurzivan.

Osnovni algoritam sastavlja popis (listu) uključenih grana i polazi od prve (one s najmanjim rednim brojem). Samo uključene grane promatraju se zbog toga što se samo preko njih može »proširiti« definiranost grafa. Pomoću podataka iz vezne tablice određuje se koji čvorovi su priključeni na granu, nakon toga se dohvaća njihov opis. Ako je jedan od njih definiran, očitava se stanje, drugi čvor se također proglašava definiranim i u istom stanju, a grana se vadi iz popisa i pamti se da je došlo do promjene stanja definiranosti grafa. U suprotnom se ništa ne poduzima.

Zatim se dohvaća nova grana iz popisa i postupak se ponavlja. Jedan pregled svih grana iz popisa čini jedan prolaz algoritma.

Novi prolaz započinje samo ako je u prethodnom prolazu došlo do proširenja definiranosti i ako još

ima uključenih grana u listi. U suprotnom, algoritam završava s radom.

Uklanjanje obrađenih grana iz liste uključenih grana ubrzava se rad algoritma jer se tako u svakom prolazu lista skraćuje. S druge strane, pamćenje proširenja definiranosti osigurava završetak rada algoritma (npr. u slučaju izoliranog podgrafa koji sadrži neke uključene grane koje su ušle u listu, ali nisu korisne jer je podgraf okružen isključenim granama).

Definiranim (iz procesa i algoritmom) čvorovima pridjeljuje se nakon toga jedna od dviju boja, ovisno o naponskom stanju. Nedefinirani čvorovi podvrgavaju se daljoj obradi.

Dodatni algoritam za obradu izoliranih čvorova uzima prvi takav čvor a, sve grane priključene na nj smješta u LIFO listu (LIFO — Last In First Out, stack, stog). (2) Čvor trenutno u obradi nalazi se na ulazu u odnosu na sve te grane. Zatim se uklanja grana s vrha liste i ako je bila uključena ili nedefiniranog stanja (neisključena), pokušava se prijelaz na čvor na izlazu iz grane kako bi se ponovio isti postupak. Prijelaz se, međutim, obavlja samo ako je na izlazu isto tako nedefinirani izolirani čvor.

Ako je grana bila isključena, nema nikakve akcije i pokušava se prijelaz preko slijedeće grane na vrhu liste.

Algoritam završava ako na izlazu iz grane nije nedefiniran izolirani čvor (u tom slučaju se ishodišni čvor ostavlja nedefiniranim) ili ako se isprazni LIFO lista (u tom slučaju ishodišni čvor je bez napona). Naime, prelazi se uvijek preko uključenih grana ili grana nedefiniranog stanja. Ako je čvor s druge strane bitno nedefiniran, onda se ne može definirati ni stanje čvora od kojeg je algoritam krenuo, jer od njega do mjesta u kojem se algoritam upravo nalazi vodi niz uključenih ili nedefiniranih grana. S druge strane, ako je na izlazu čvor koji je u osnovnom algoritmu definiran, onda grana s vrha LIFO liste preko koje bi trebalo prijeći sigurno nije uključena (jer bi se definiranost čvora na izlazu već prije proširila na tekući ulazni čvor), već je nedefiniranog stanja.

Na taj način su određena stanja (dakle i boje) svih čvorova na slici. Grane (svaka priključena na dva čvora) poprimaju boju ovisno o čvorovima prema ovom pravilu: ako je bar jedan čvor pod naponom, onda je i grana pod naponom; u suprotnom, ako je bar jedan čvor nedefiniran, onda je i grana nedefiniranog naponskog stanja.

Tako određena boja je, međutim, na dnu po prioritetu (vidi 2) i tek ako ne postoji neka prioritetnija informacija, bit će grana ispisana na VT tom bojom.

5. ZAKLJUČAK

U članku su razmotreni neki principi i metode prikazivanja dinamičkih podataka vezanih uz proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije. Neke od njih su nove kao npr. računanje stanja mreže i prikazivanje naponskog stanja dinamičkim pridjeljivanjem boja. Izložene ideje implementirane su u »Končarevom« sistemu PROZA-11. Iskustvo s više izvedenih sistema za razne primjene (TS »MELINE« DC »ELEKTROPRIMORJE«, TS »BILICE«, TUNEL »UČKA«) uvjeravaju nas u opravdanost njihova uvođenja, tj. na njihovu primjerenost čovjeku kao još uvijek odlučujućem činiocu u procesu upravljanja.

Literatura:

1. Ciganović, B., Crnković, I., Debeljuh, V., Šantek, V.: Prikaz grafičkog programskog paketa za pripremu i unošenje slika u programski sistem za vođenje elektroenergetskih postrojenja. Referat na II savjetovanju.
2. Knuth, D. E.: The Art of Computer Programming, Vol. 1: Fundamental Algorithms, Addison-Wesley, 1968.

Key words:

Electrical Net Dinamical State
Electrical System Dispatching
Color Video-terminal

DISPLAY OF ELECTRICAL NETS DINAMICAL STATES ON COLOR VIDEO-TERMINAL

In the article are described some new principles of display of electrical nets dinamical states, which have been developed due to optimal use of computers in electrical system dispatching.

In particular system color is used as carier of dinamical information of net state. Data are collected by the way of computer nets and remote stations, and with topologic nets which are automaticaly determined from graphic diagrams (one line scheses), states for undetermined net elements are calculated.

DARSTELLUNG DES LAUFEND-VERÄNDERLICHEN ZUSTANDES EINES VERBUNDNETZTES DURCH DEM BILDSCHIRM EINER MEHRFARBEN-VIDEOEINRICHTUNG

Beschrieben werden einige neue Gesichtspunkte der Zustandsdarstellung elektrischer Netze, die zwecke einer bestmöglichen Ausnutzung der Rechnertechnischen Einrichtungen von Verbundsystemen entwickelt wurden.

Im untersuchten System wird die Farbdarstellung als Träger der dynamischen Information über den Zustand des Systems benützt. Die einzelnen Prozessinformationen werden durch ein Netz von Rechnern und ferngesteuerter Anlagen erfasst. Anhand dieser Daten und der Netzkonfiguration, die automatisch aus graphischen Darstellungen (einpoliges Schema) bestimmt werden, sollen auch Daten solcher Netzelemente rechnerisch ermittelt werden, deren Unterlagen nicht unmittelbar erfasst werden können.

Naslov pisaca:

Branko Ciganović, dipl. inž.
Vlatko Debeljuh, dipl. inž.
»Rade Končar«, Zagreb

Energija God. 30 (1981) br. 5—6, 199—205

PRILAGOĐENJE POSTROJENJA PRIJENOSNE MREŽE ZA RAD U SUSTAVU DALJINSKOG VOĐENJA

Božidar Radmilović i Franjo Vidaković, Zagreb

Pošto su dane osnovne informacije o sustavu za daljinsko vođenje elektroenergtskog sistema Hrvatske i »Elektroprivrede Zagreb«, kao i zahtjevi koji iz toga proizlaze za postrojenja u mreži 110, 220 i 380 kV, u članku je prikazan princip rješenja prilagođenja postrojenja »Elektroprenosa« Zagreb, način izvedbe, kao i problemi koji su uočeni prigodom prvih realizacija.

Ključne riječi:
Daljinsko upravljanje
Električna postrojenja
El. sistem

UDK 621.316.1:621.318
Stručni rad

1. UVOD

Pod pojmom prilagođenja postrojenja u prijenosnoj mreži 110, 220 i 380 kV (TS-e, RP-a samostalna i u sklopu elektrana) za rad u sustavu daljinskog vođenja (SDV) mogu se smatrati svi oni nužni zahvati koji trebaju omogućiti da navedeni objekti mogu biti u pogonu bez stalne prisutnosti kvalificiranog osoblja, te da se oni mogu daljinski, iz odgovarajućih nadzornih upravljačko-dispečerskih centara, nadzirati i upravljati.

Ovi se zahvati mogu svrstati u slijedeće skupine:

— Zahvati na visokonaponskoj i ostaloj pridruženoj (tzv. jakostrujnoj ili primarnoj) opremi radi osiguranja pouzdanog i nesmetanog pogona, sigurnog izvršavanja pogonskih manevara za promjenu uklopnih stanja i pouzdane povratne dojave i slično. U ovoj su skupini radova dotjerivanje ili zamjena pogonskih mehanizama sklopnih aparata kao i samih aparata, zamjena komandnih ormara, signalnih kabela i slične opreme. Spomenuti zahvati mogu biti, pogotovo u starijim postrojenjima veoma opsežni, dugotrajni i skupi, pa će se eventualno izvoditi i etapno.

— Zahvati na lokalnoj automatizaciji radi povećanja broja pogonskih operacija koje izvode lokalni pojedinačni automati u postrojenjima odnosno povećanje kvalitete i pouzdanosti rada postojećih automata, a sve sa svrhom povećanja pouzdanosti rada samog postrojenja i rasterećenja opreme i operatora u upravljačko-nadzornim centrima od niza zahvata koje lokalna automatizacija u objektima može kvalitetno izvoditi. U tu skupinu spadaju uređaji zaštite, uređaji za brzi i spori ponovni uklop, uređaji za automatsko ukapčanje rezervnih vodova i transformatora, uređaji za automatsku regulaciju napona, uređaji za rasterećenje i dr.

Bez obzira na permanentno prisutnu varijabilnost koncepcijskog rješenja sustava za vođenje, osnovna se filozofija koja se primjenjuje u objektima prijenosne mreže »Elektroprenosa« Zagreb ne mijenja, što znači:

— Iz centra daljinskog upravljanja nadzirat će se i upravljati oni elementi postrojenja koji su od interesa za prijenosnu mrežu. To znači da se RP 380, 220 i 110 kV, te TS 380/110 i 220/110 kV u potpunosti vode iz CDU-a, a od TS 110/x kV samo 110 kV postrojenje. Postrojenja nižeg napona (35, 20, 10 kV) nadzirat će se i njima će se upravljati iz odgovarajućih centara nadležnih distributivnih organizacija. Granica nadležnosti je transformacija 110/x kV, pri čemu se dogovorno rješava koji će centar biti nadležan za upravljanje i nadzor samog transformatora (obično se transformatori 110/35 kV nadziru iz CDU »Elektroprenosa« Zagreb, a oni 110/20 i 110/10 kV iz centra distribucije).

— U principu, daljinski će se upravljati prekidači, sabirnički i vodni rastavljači uz povratnu dojavu uklopnog stanja svih sklopnih aparata. Kako je već u uvodu rečeno, daljinsko upravljanje rastavljača zahtijevat će u većem broju slučajeva opsežne radove na njihovim zagonima ili na samim rastavljačima, pa se može očekivati da će se mogućnost njihova daljinskog upravljanja moći tek kasnije realizirati. U vezi s daljinskim upravljanjem prekidača ne očekuju se neki veći problemi.

— Od alarmnih dojava prenosio bi se u centre upravljanja samo manji broj uglavnom skupnih dojava kako bi se operator centra informi-

rao o pogonskoj neraspoloživosti postrojenja ili dijela postrojenja (na pr. 4 dojave iz vodnih polja, do 8 dojava iz trafo polja, oko 20 dojava iz pomoćnih postrojenja).

— Daljinski prijenos mjerenja ovisit će o značaju i položaju dotičnog postrojenja ili dijela postrojenja u sistemu.

— Zahvati na pomoćnim postrojenjima i opremi radi omogućavanja njihova autonomnog pogona i osiguranja tražene pouzdanosti. To se odnosi na postrojenja za razvod pomoćnih izmjeničnih i istosmjernih napona, na postrojenja za proizvodnju i razvod komprimiranog zraka, telekomunikacionu opremu, sigurnosno-zaštitnu opremu i slično.

— Zahvati vezani na rješavanje interface-postupaka i uređaja između visokonaponske i ostale »jakostrujne« opreme u postrojenjima i informatičke — »slabostrujne« opreme za potrebe daljinskog nadzora i upravljanja, ali i za potrebe lokalne obrade informacija. Ovi se zahvati mogu smatrati kao prilagođenje postrojenja prijenosne mreže za rad u sustavu daljinskog vođenja u užem smislu.

2. Osnnovno rješenje daljinskog nadzora i upravljanja postrojeja u prijenosnoj mreži »Elektroprivrede Zagreb«

Osnovna koncepcija sustava daljinskog vođenja elektroenergetskog sistema Hrvatske rađala se veoma dugo i veoma teško pod djelovanjem mnogobrojnih unutrašnjih i vanjskih snaga i faktora, kao i raznorodnih općih ideja o razrešenju elektroprivrednog kompleksa Hrvatske. Prema rješenju, koje je sada na snazi (a koje se ne bi moglo smatrati konačnim), sustav daljinskog vođenja elektroenergetskog sistema Hrvatske zamišljen je u dvije razine, i to iz republičkog dispečerskog centra (RDC) u Zagrebu i po jednog ili više centara daljinskog upravljanja (CDU) u svakoj od 4 elektroprivredne regije u Hrvatskoj. U regiji Zagreb, tj. na području djelovanja »Elektroprivrede Zagreb« a time i njene OOUR »Elektroprenos« Zagreb, u ovom se času gradi jedan CDU (u TS 380/110 kV Zagreb I), a daljim razvojem elektroenergetskog sistema mogu se očekivati još dva CDU-a za potrebe vođenja prijenosne mreže, kao i eventualno neki centri za vođenje slivnih elektrana (npr. HE na Dravi).

Tako se predviđa daljinski prijenos:

— radne snage (MW) sa po jednog kraja 110 kV internih vodova

— radne i jalove snage (MW i MVAR) sa oba kraja svih 220 i 380 kV vodova te s interkonektivnih 110 kV vodova kao i vodova za napajanje velepotrošača

— radne i jalove snage (MW i MVAR) sa transformatora 110/x kV koji nisu vlasništvo »Elektroprenosa« Zagreb (mjereno na strani 110 kV)

— radne i jalove snage (MW i MVAR) te struje i napona (A i kV) sa transformatora 110/35 kV koji su vlasništvo »Elektroprenosa« Zagreb (mjereno na strani 35 kV)

— radne i jalove snage (MW i MVAR) iz elektrana (skupno ili pojedinačno, zavisno od veličine agregata), te sa interkonektivnih transformatora 380/110 i 220/110 kV (pojedinačno)

— napon (kV) i frekvencija (Hz) s određenog broja sabirnica 380, 220 i 110 kV

— radnu energiju (MWh) s određenog broja interkonektivnih vodova.

Broj mjerenja MW i MVAR po vodovima 110 kV može biti uvećan zbog potrebe programa u proširenom realnom vremenu u republičkom dispečerskom centru.

Radi dobivanja cjelokupne informatike o djelovanju zaštitnih uređaja, radu visokonaponske opreme kao i o evoluciji smetnji u principu je odlučeno da se svi objekti opremaju uređajima za kronološku registraciju događaja — KRD ,vrijeme rezolucije 10 m/sek. Odabrani uređaji sustava za daljinsko vođenje (SINDAC) omogućuju da se izvrši sinhronizacija lokalnih uređaja KRD, te da se informacije iz tih uređaja prenesu u centar, čime se dobiva jedna centralizirana apsolutna kronologija.

U ovoj fazi izgradnje sustava za daljinsko vođenje ovo centraliziranje nije predviđeno, no mogućnost za realizaciju postoji.

3. Prikaz rješenja prilagođenja postrojenja

S obzirom na prethodno rečeno:

— što je prilagođenje postrojenja u užem smislu

— kakvo je osnovno rješenje daljinskog nadzora i upravljanje objekata prenosne mreže, a kao posljedica toga koje se informacije uzimaju, prenašaju i obrađuju proizlazi i osnovno rješenje prilagođenja.

Nužno je prema tome:

— Za svaki daljinski upravljani sklopni aparat predvidjeti po dva izvršna releja sa kontaktima za napon 220 V= dovoljne snage za aktiviranje poticajnih organa sklopnih aparata, te sa svicima za napon 48 V= koji su prilagođeni po snazi izlaznom stupnju uređaja za daljinskog vođenje. Nadalje za potrebe povratne dojave uklopnog stanja sklopnih aparata treba za svako uklopno stanje predvidjeti odvojne releje sa svicima 220 V= i beznaponskim kontaktima za uvod ove informacije u uređaj za daljinsko vođenje te u uređaje za lokalnu obradu podataka.

— Za svaku alarmnu ili sličnu dojavu predvidjeti po jedan odvojni relej istih kvaliteta i namjena kao za slučaj povratne dojave uklopnog stanja.

— Za svaku mjernu veličinu koja se prenosi (analogno mjerenje) predvidjeti jedan odgovarajući

mjerni pretvarač s izlazom 0—10 mA za jednosmjerne veličine ili —5(0)+5 mA za dvosmjerne veličine.

— Za prijenos stanja brojila (digitalno mjerenje) treba bilo jedan beznaponski kontakt u samom brojilu bilo na neki drugi pogodni način prilagođen impulsni izlaz iz brojila za ulaz u uređaj za daljinski nadzor i upravljanje.

Slične principe treba primijeniti i za ostale daljinski nadzirane i upravljane dijelove postrojenja kao na primjer regulaciju napona na transformatorima 110/35 kV, pomoćna postrojenja i drugo.

Način realiziranja tih rješenja ovisit će međutim o izvedbi samog postrojenja.
Prema tome razlikujemo:

— postojeća postrojenja koja nisu bila projektirana za rad u sustavu daljinskog vođenja, pa ih u tome smislu treba adaptirati

— nova postrojenja koja se odmah projektiraju za pogon u sustavu daljinskog vođenja.

Da bi se predviđeni način realizacije prilagođenja postrojenja za rad u sustavu daljinskog vođenja što više uniformno riješio, a uz zadovoljenje svih zahtjeva i uz suglasnost svih zainteresiranih službi, u »Elektroprenosu« Zagreb je u toku 1979. godine izrađen elaborat pod naslovom »Podloge za izradu shema djelovanja i vezivanja« gdje su na oko 200 stranica izložena načelna rješenja te način izrada shema djelovanja i vezivanja. Pri tome su najviše razmatrana nova postrojenja, dok su za postojeća postrojenja dane samo osnovne smjernice, jer svako postojeće postrojenja, s obzirom na stanje opreme, opće rješenje, raspoloživ prostor i drugo, predstavlja poseban problem koji treba i posebno rješavati.

Tako je od postojećih postrojenja za sada pronađeno rješejne samo za TS 110/35 kV Nedeljanec (Varaždin), gdje su djelomično izvršeni i radovi na lokalnoj obradi informacija.

Od novih postrojenja u potpunosti su, prema izloženim principima, opremljene TS 110/35 kV Virovitica i Nova Gradiška kao i TS 380/110 kV Zagreb I (specifično rješenje zbog relejnih kućica), a na isti se način izvodi (u različitim momentalnim fazama projektiranja ili izgradnje) cijeli niz TS 110/x (Samobor, Dugo Selo, Zdenčina, Karlovac II, Varaždin I, Zaprešić, Križevci).

Kao ilustracija spomenutih principa u prilogu (sl. 1) dana je blok-shema upravljanja, dojave, zaštite, mjerenja i obrade podataka za jedno vodno polje s tzv. indirektnim upravljanjem i povratnom dojavom što se primjenjuje za nova postrojenja.

Osnovne su značajke ovog rješenja:

— mogućnost upravljanja sklopnih aparata sa samih aparata, iz komandnih ormara, s komandne ploče i iz nadležnog upravljačkog centra, ali uz izbor mjesta upravljanja pojedinačno u komandnom ormaru (preklopka KO — KP) i centralizirano za cijelo ili dio postrojenja na komandnoj ploči (preklopka LOK — CDU),

— električno upravljanje sa samih aparata i iz komandnih ormara upravljačkim naponom 220 V= (s tim da su su i blokade riješene na tom naponu), upravljanje s komandne ploče i daljinski posredno, preko izvršenih releja, upravljački napon 48 V=,

— povratna dojava uklopnog stanja u komandnom ormaru izravna, preko pokazivača položaja 220 V=, dalja dojava posredna preko odvojnih releja sa svitkom 220 V= i 3 kontakta koji omogućuju privod ove informacije na komandnu ploču (pokazivač položaja 48 V=), na uređaj za daljinski nadzor i upravljanje (SINDAC) te na uređaj za lokalnu obradu podataka (KRD),

— zaštitni uređaji izravno djeluju a prekidnač (napon 220 V=) dok se za potrebe informacija o radu zaštite postavlja određen broj odvojnih releja, pa se te dojave uvode u lokalni uređaj za obradu podataka (alarmni uređaj i KRD) dok se manji broj tih informacija prenosi u upravljački centar,

— mjerenje (V, A) na komandnoj ploči vrši se izravno (100 V, 1 A), dok se za daljinski prijenos mjerenja ugrađuje potreban broj mjernih pretvarača (u ovom slučaju MW i eventualno MVAR),

Za realizaciju ovakvog načina upravljanja, dojave i obrade podataka trebalo je razviti, projektirati i proizvesti odnosno nabaviti odgovarajuću opremu te pronaći pogodne načine njezine ugradnje i međupovezivanja. U vezi s tim učinjeno je slijedeće:

— Odvojni i izvršni releji ugrađuju se u ormare VSK — 6 (RADE KONČAR), maksimalnog kapaciteta $12 \times 20 = 240$ releja tipa PR 41 c (ISKRA); ormari su s dvostranim vratima dimenzije $2270 \times 630 \times 680$ mm.

— Razvijen je novi tip komandne ploče s komandno-signalnim elementima modula 30×30 mm (RADE KONČAR/ASEA) tako da se na 1 m dužine ploče može ugraditi $2 \times 5 = 10$ polja.

  Upravljanje s ploče riješeno je pomoću tipkala, dvije ruke, a povratne dojave preko pokazivača položaja.

— Odabrani su uređaji za daljinski nadzor i upravljanje (SINDAC). To su mikroprocesorsko vođeni modularni uređaji familije DS — 8, proizvodnje RADE KONČAR po licenci ASEA ugrađeni u ormare VSK — 6.

— Od istih modula razvijen je uređaj za kronološku registraciju događaja — KRD (RADE KONČAR/ASEA) s mogućnosti ispisa čisto numeričkim ili alfanumeričkim kodom, ugradnje također u ormare VSK — 6.

— U većini novih postrojenja ugrađuju se elektronički alarmni uređaji JAL ili OKAL (RADE KONČAR), ugrađeni u ormar VSK — 6.

— Za međupovezivanje odvojnih i izvršnih releja (strana 48 V=) i korisnika informacija (komandna ploča, alarmni uređaj, uređaj KRD, uređaj za daljinsko vođenje — SINDAC) razvijen je razdjelnik ugrađen u okvire proširenog ormara VSK — 6 s kapacitetom 2 × 640 stezaljki (RADE KONČAR).

— Za povezivanje primarne (jakostrujne) opreme odvojnih i izvršnih releja (strana 220 V=) predviđeni su koncentratori kabela (ravni razdjelnik za prijelaz s kabela tipa PP-OO i PP 41, n × 2,5 mm² na pogodnije kabele za uvod u relejne ormare).

— Razvijeni su odgovarajući razvodi pomoćnih napona (380/220 V izmj., 220 i 48 V istosmjerno) koji odgovaraju ovako opremljenim daljinski nadziranim i upravljanim objektima.

U priloženim slikama i tablicama dane su dodatne informacije o ovdje opisanim rješenjima.

Prigodom opremanja prvih objekata prijenosne mreže na opisani način susreli smo se s nekoliko problema.

Navedeni način opremanja zahtijeva dosta prostora. Iako je komandna ploča osjetno smanjena, ormari odvojnih releja, razdjelnika i elektroničke opreme traže velike prostorije, pogotovo što se za ormare traži pristup s obje strane. U tab. 2. dan je pregled potrebnih količina ormara za neka reprezentantna postrojenja.

PREGLED DOJAVA IZ VODNOG POLJA PREMA SHEMI NA Sl. 1

Tabela I/1

DOJAVA	ODR	Vodi se na KP	Al	KRD	SDV	Op.
1. Uklopna stanja						
Prekidač Q0 - UK	+	+		+	+	1
Q0 - IZ	+	+		+	+	1
Rastavljači Q1 - UK	+	+		+	+	1
Q1 - IZ	+	+		+	+	1
Q2 - UK	+	+		+	+	1
Q2 - IZ	+	+		+	+	1
Q4 - UK	+	+		+	+	1
Q4 - IZ	+	+		+	+	1
Q5 - UK	+	+		+	+	1
Q5 - IZ	+	+		+	+	1
Q6 - UK	+	+		+	+	1
Q6 - IZ	+	+		+	+	1
2. Ostala stanja						
Upravljanje iz kom. ormara	+	+			+	2
Naponsko stanje voda	+				+	3
3. Prekidač						4
p < 16 at (blok APU)	+			+	+	5
p < 14 at (blok UK-IZ	+			+	+	5
p < 11 at (samouključivanje)	+			+		
4. Zaštita distantne						6
Prorada člana D	+		+	+	+	
R	+			+		
S	+			+		
T	+			+		
E	+			+		
W	+			+		
II	+			+		
III	+			+		
Isključenje IZ - R	+			+		
IZ - S	+			+		
IZ - T	+			+		
IZ - Def	+			+		
5. Zaštita nadstrujna IZ	+		+	+	+	7
6. Ponovno ukapčanje						8
Ponovni uklop 3 p	+			+		
-"- 1 + 3 p	+			+		
7. Pomoćni naponi						
Nest. napona 100 V izmj. za zaštitu	+		+	+	+	9
Nest. napona 100 V izmj. za brojila	+		+	+	+	3,9
Nest. pom. napona 100 V izmj. za brojila i mjerne pretvarače	+			+	+	3,9
Nestanak uprav. doj. napona 220 V =	+			+	+	9
Nestanak uprav. doj. napona 48 V =	+			+	+	9,10

Legenda:

ODR .... odvojni relej i dojava, svitak 220 V =, 3 preklopna kontakta (PR 41 c)

KP .... komandna ploča

Al .... alarmni uredjaj

KRD .... uredjaj kronološke registracije dogadjaja

SDV .... uredjaj sustava daljinskog vodjenja (SINDAC)

Tablica 2.

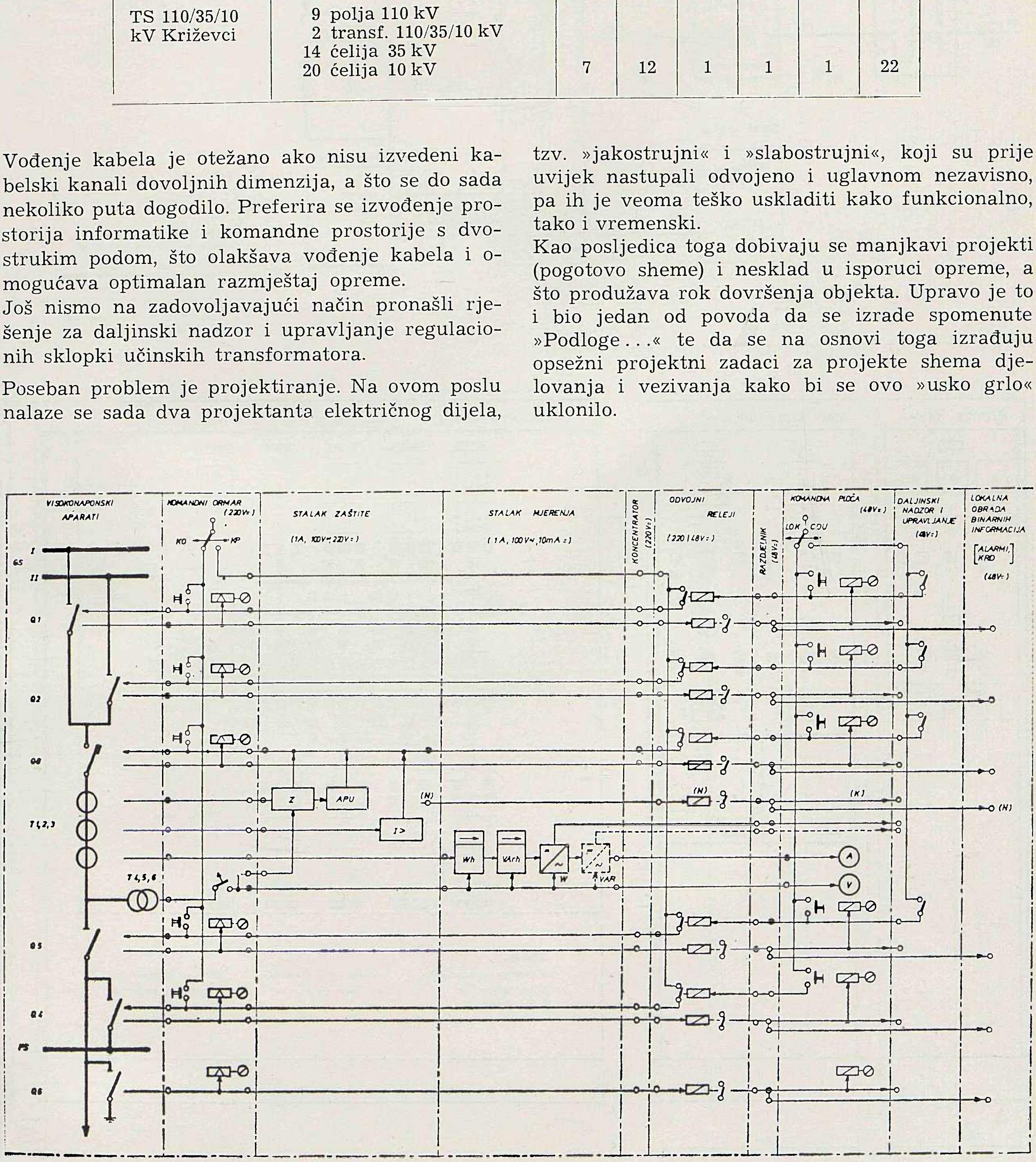
Postrojenje	Opseg izgradnje	Ormari					
		Rel.	Razd.	KRD	Al	SDV	UK
TS 110/20 kV Samobor	8 polja 110 kV 3 transf. 110/20 kV	2	4	1	—	1	8
TS 110/35 kV N. Gradiška	10 polja 110 kV 2 transf. 110/35 kV 14 ćelija 35 kV	3	6	1	1	1	12
TS 110/35/10 kV Križevci	9 polja 110 kV 2 transf. 110/35/10 kV 14 ćelija 35 kV 20 ćelija 10 kV	7	12	1	1	1	22

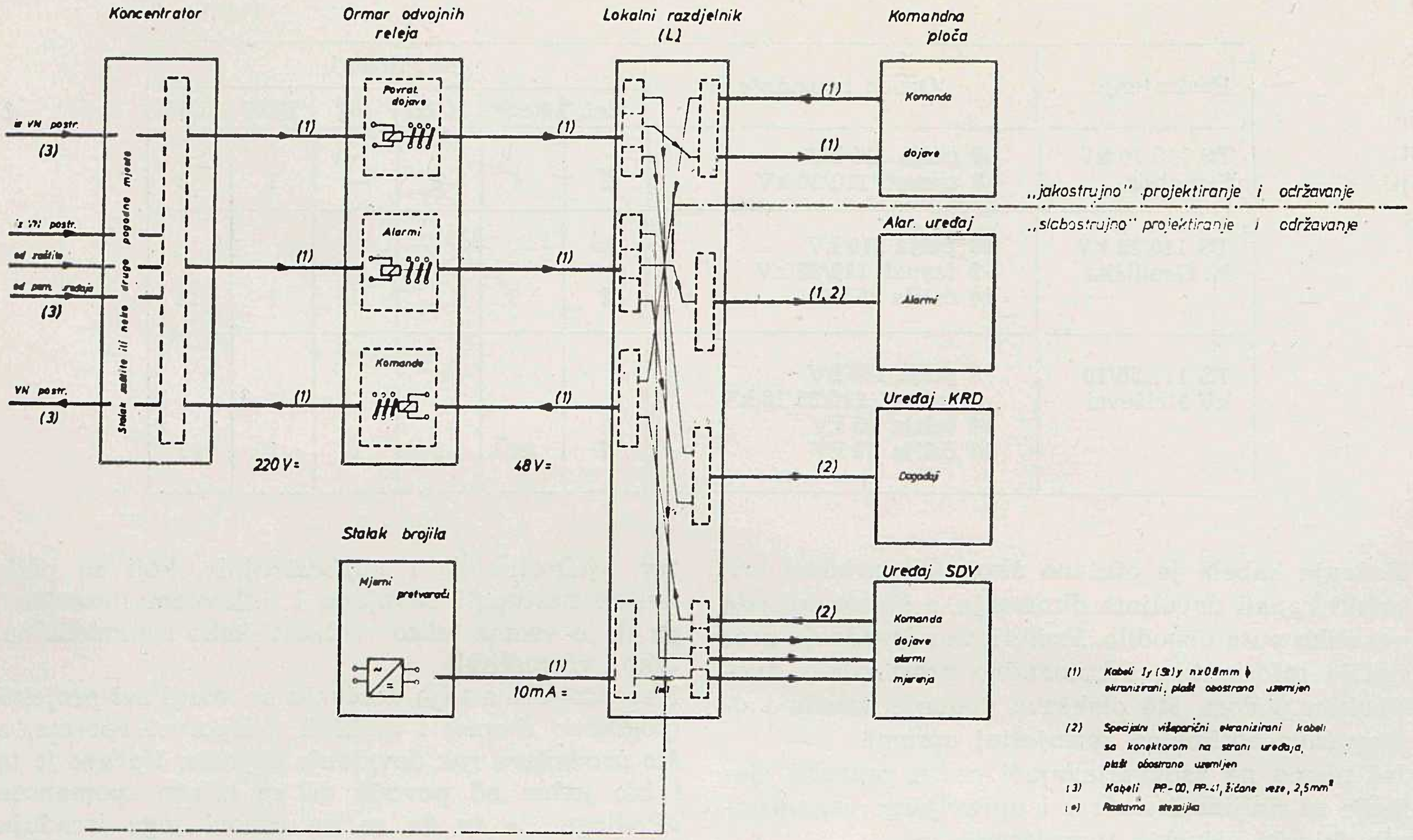
Vođenje kabela je otežano ako nisu izvedeni kabelski kanali dovoljnih dimenzija, a što se do sada nekoliko puta dogodilo. Preferira se izvođenje prostorija informatike i komandne prostorije s dvostrukim podom, što olakšava vođenje kabela i omogućava optimalan razmještaj opreme.

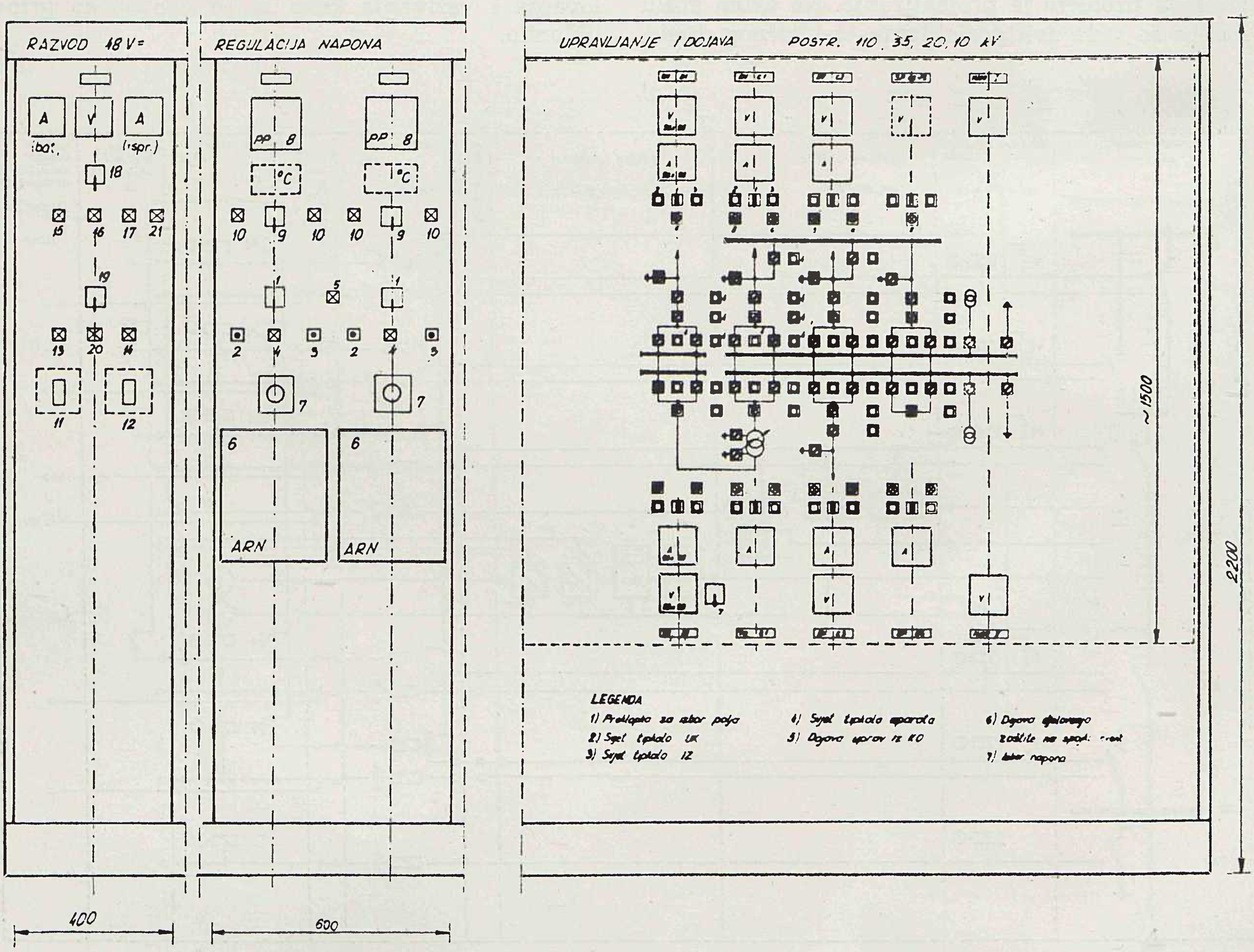
Još nismo na zadovoljavajući način pronašli rješenje za daljinski nadzor i upravljanje regulacionih sklopki učinskih transformatora.

Poseban problem je projektiranje. Na ovom poslu nalaze se sada dva projektanta električnog dijela, tzv. »jakostrujni« i »slabostrujni«, koji su prije uvijek nastupali odvojeno i uglavnom nezavisno, pa ih je veoma teško uskladiti kako funkcionalno, tako i vremenski.

Kao posljedica toga dobivaju se manjkavi projekti (pogotovo sheme) i nesklad u isporuci opreme, a što produžava rok dovršenja objekta. Upravo je to i bio jedan od povoda da se izrade spomenute »Podloge . . .« te da se na osnovi toga izrađuju opsežni projektni zadaci za projekte shema djelovanja i vezivanja kako bi se ovo »usko grlo« uklonilo.




Koncentrator
Ormar odvojnih releja
Lokalni razdjelnik (L)
Komandna ploča
iz VN postr.
(3)
iz VN postr.
od zaštite
od pom. uređaja
(3)
VN postr.
(3)
Stalak zaštite ili neke drugo pogodne mjesta
Povrat. dojave
Alarmi
Komande
(1)
220 V=
48 V=
Komande
dojave
Alar. uređaj
Alarmi
(1, 2)
Uređaj KRD
Događaji
(2)
„jakostrujno" projektiranje i održavanje
„slabostrujno" projektiranje i održavanje
Stalak brojila
Mjerni pretvarači
~
=
(1)
10 mA =
Uređaj SDV
Komanda
dojave
alarmi
mjerenja
(2)
(1) Kabeli Iy (St) y nx0,8 mm ϕ ekranizirani, plašt obostrano uzemljen
(2) Specijalni višeparični ekranizirani kabeli sa konektorom na strani uređaja, plašt obostrano uzemljen
(3) Kabeli PP-00, PP-41, žičane veze, 2,5 mm²
(*) Rastavna stezaljka


RAZVOD 48 V=
REGULACIJA NAPONA
UPRAVLJANJE I DOJAVA POSTR. 110, 35, 20, 10 kV
A
V
A
(bat.)
(ispr.)
18
15
16
17
21
19
13
20
14
11
12
pp 8
°C
10
9
1
5
2
4
3
7
6
ARN
~1500
2200
400
600
LEGENDA
1) Prekidač za izbor polja
2) Sijal. tipkalo UK
3) Sijal. tipkalo IZ
4) Sijal. tipkalo aparata
5) Dugme sporov iz KO
6) Dugme glavnog zaštite na spoj: prek
7) Izbor napona

4. Zaključak

Kako je iz rečenog vidljivo, u »Elektroprenosu« Zagreb postoje određena usvojena standardna rješenja i prava iskustva u vezi s prilagođenjem postrojenja prijenosne mreže za rad u sastavu daljinskog vođenja.

Smatramo da su principi uglavnom dobro riješeni (iako se i na tome području mogu očekivati poboljšanja) te da najveći napredak treba očekivati na području njihove realizacije, napose na smanjenju gabarita opreme.

Ovo je još interesantnije stoga što se danas u Hrvatskoj intenzivno radi na projektiranju tipske TS 110/x kV koja bi trebala biti optimalno riješena u svim detaljima, pa tako i u ovom veoma važnom području. Nadamo se da će ovaj referat potaknuti učesnike Savjetovanja na diskusiju o izloženoj problematici i na taj način pridonijeti razmjeni stavova, mišljenja i iskustva iz ove domene.

Opaska

1. U uređaj KRD uvode se logične dojave uklopnog stanja:
   »DV uključen na sis. I«
   »DV uključen na sis. II«
   »DV uključen na pom. sabirnicu«
   »DV« isključen
   »DV« uzemljen.
2. Ova se dojava samo izuzetno vodi u CDU
3. Samo za interkonektivne vodove
4. Pneumatski prekidač (RK — 3 P), za druge tipove nužne su neke druge dojave o nespremnosti prekidača
5. Za Al i SDV sumarna dojava
   »Prekidač nespreman za pogon«
6. Pretpostavljena elektromehanička distantna zaštita BBC — LZ 32
7. Prekostrujna jaštita u jednoj fazi kao rezervna zaštita voda
8. Pretpostavljen uređaj BBC — CW6/A, B
9. Za Al i SDV sumarna dojava:
   »Smetnje na pomoćnim naponima«
10. Odvojni relej sa svitkom 48 V =.

Key words:

REMOTE CONTROL
NET ASSEMBLY
POWER SYSTEM

ADAPTATION OF TRANSMISSION NET ASSEMBLIES FOR OPERATION IN REMOTE CONTROL SYSTEM

In the article are given some basic informations about remote control system in »Elektroprivreda Zagreb«, some additional requirements for 110, 220 and 380 kV nets, as well as a review of solutions for adaptation of assemblies of »Elektroprenos« Zagreb with problems which were experienced during implementation.

ANGLEICHUNG EINES ÜBERLANDNETZES ZUM EINSATZ EINER FERNSTEUERUNGSANLAGE

Veröffentlicht werden grundsätzliche Unterlagen über Einrichtungen zur Fernsteuerung des kroatischen Verbundnetzes und der Elektrizitätswirtschaft (»Elektroprivreda«) Zagreb, wie auch die sich daraus ergebenden Anforderungen für die 110, 220 und 380 kV Übertragungsnetze.

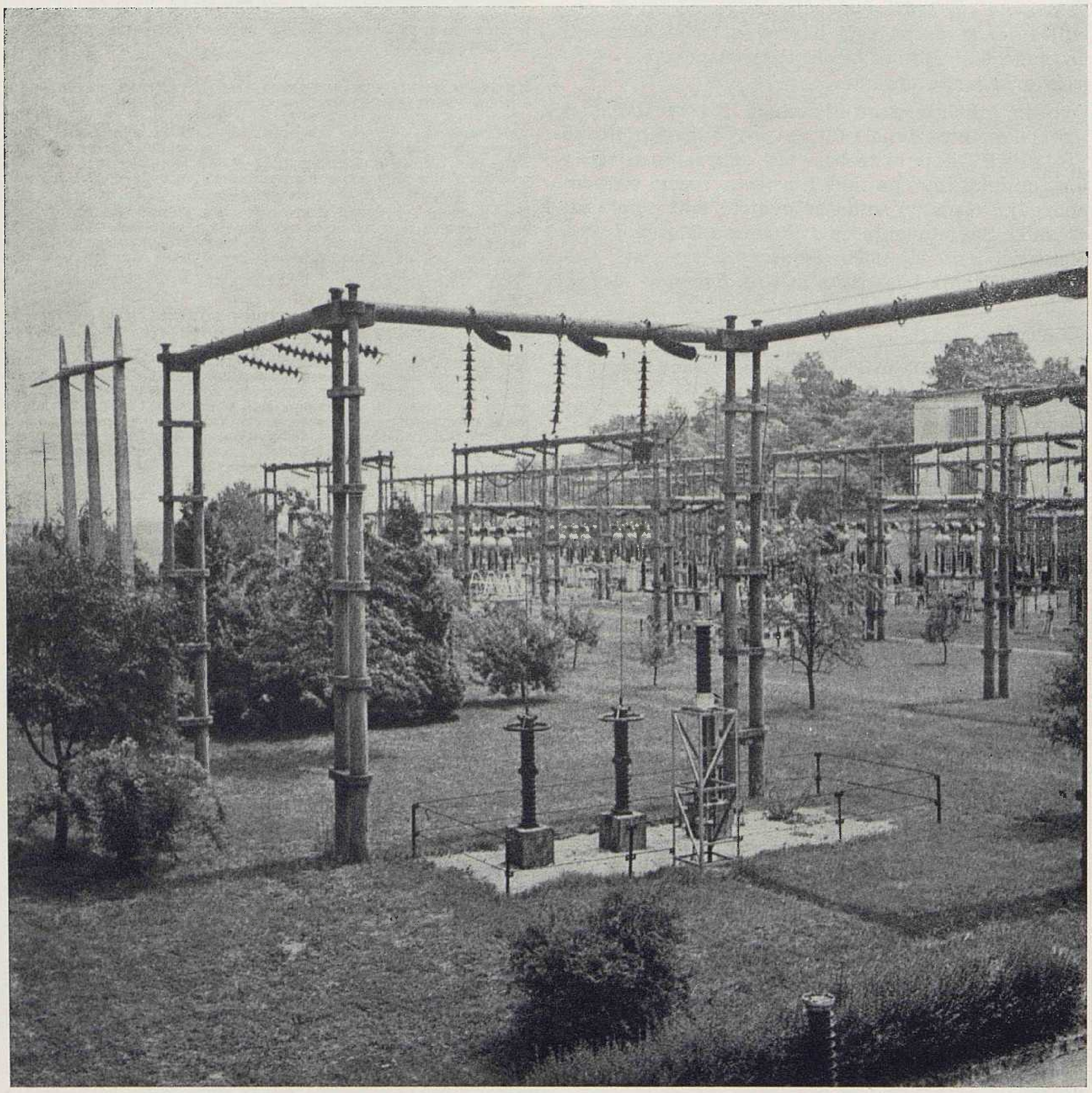
Der Bericht gibt ein Bild der principiellen Lösungen zur Angleichung der Anlagen an die Einrichtungen des Unternehmens »Elektroprenos«, der Ausführungsformen und Fragen, die bei der Durchführung der ersten Anlagen entstanden sind.

ПОДГОТОВКА ОБЪЕКТОВ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ СЕТИ К РАБОТЕ В СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

После изложения основних сведений о системе дистанционного управления электроэнергетической системой Хорватии и »Електропивреды-Загреб«, а также вытекающих из этого требований в отношении объектов сетей 110, 220 и 380 кВ, о докладсеизложены прициниальные решнеия по подготовке объектов »Електропреноса-Загреб«, способ их выполнения, как и проблемы с которыми прошлось столкнутся на первом этапе осуществления.

Naslov pisaca:

Božidar Radmilović, dipl. ing.
Franjo Vidaković, dipl. ing.
»Elektroprenos« Zagreb



Energija God. 30 (1981) br. 5—6, 207—210

STATISTIČKO-IZVJEŠTAJNE FUNKCIJE KOMPJUTORSKOG SISTEMA NADZORA I UPRAVLJANJA

Tomislav Lerman, Goran Ilakovac i Petar Bodlović,
Zagreb

U radu su opisane mogućnosti jednog programskog sistema a u realnom vremenu za formiranje i izdavanje složenijih statističkih obrada u obliku izvještaja. Neke od mogućnosti su iskorištene na konkretnom primjeru informacijskog sistema TS Melina.

Ključne **riječi:**
Informacijski sistem
Nadzor
Upravljanje

UDK 681.3:621.311.4
Prethodno saopćenje

UVOD

Prvenstvena uloga informacijskog nadzora i upravljanja je prikaz informacija o trenutnom stanju. Za planiranje pogona i razvoj sistema potrebni su podaci iz »prošlosti« u reduciranom obliku. Funkcija prikupljanja tehnoloških podataka pridjeljuje se izvještajima: smjenskim, dnevnim, tjednim, mjesečnim i godišnjim ili se obavlja arhiviranje podataka na magnetskim medijima za naknadnu redukciju »off-line« obradom prema željama korisnika. Prebacivanjem zadataka informatičara na fiktivnog korisnika ne rješava se problem nego se odlaže na mjesto gdje ga je mnogo teže riješiti ili neće ni biti riješen. Prema iskustvu naknadne »of-line« obrade za tehničku svrhu prihvaćaju se vrlo rijetko. Zbog toga sistema izvještaja treba obogatiti potrebnim redukcijama podataka već u realnom vremenu.

U TS 380/220/110 kV Melina izveden je i nalazi se preko godine dana u pogonu sistem nadzora i upravljanja u kojem se koristi procesno mini-računalo sa semigrafičkim višebojnim videoterminalima. U sistemu se koristi programski paket PROZA D/A izrađen u Sektoru procesnih informacijskih sistema RADE KONČAR u Zagrebu. Osim osnovnih funkcija programski sistem realnog vremena ima integrirane statističko-izvještajne mogućnosti.

1. STATISTIČKO-IZVJEŠTAJNE FUNKCIJE U SKLOPU PROZE D/A

U okviru svojih osnovnih funkcija sistem PROZA D/A koristi se bazom podataka realnog vremena (BPRV) smještenom u memoriji računala. Cilj je BPRV da se svakom elementu procesa pridruži odgovarajući element — adresa lokacije u bazi podataka.

Time je stvorena »slika« procesa u memoriji računala koja odražava trenutno stanje. I statističko izvještajne funkcije (radi jednostavnosti nazvane izvještaji) koriste podatke BPRV i to podatke analognog tipa kao i statistike o promjenama stanja digitalnih signala. Podaci prikupljeni iz BPRV upisuju se u datoteku izvještaja, te se nakon »on line« obrade i redukcija prikazuju grafičkim ili tabelarnim prikazima. U sklopu PROZA D/A razvijen je programski modul IZVJEŠTAJI koji je osim spomenutih trebao riješiti ove probleme:

1. Prikupljanje podataka u datoteke izvještaja, izbor podataka, način obrade i prezentiranje treba u potpunosti prilagoditi potrebama korisnika sistema.
2. Prikaze izvještaja vršiti automatski ili na zahtjev.
3. Formate datoteka s prikupljenim podacima prilagoditi postojećim programima »off line« obrada.
4. Definirati maksimalna dopuštena vremena prikupljanja (ciklus prikupljanja), frekvenciju uzimanja uzoraka i stupanj redukcije.
5. Razvit ikonverzacione programe za generiranje izvještaja uzevši u obzir velik broj parametara i složene strukture datoteka.

2. PRIKUPLJANJE PODATAKA U IZVJEŠTAJE

Raznolikost primjena prikupljanja i načina obrada uvjetovala je definiranje nekih elementarnih rutina prikupljanja (pogl. 2.2). Kombinacijom tih ele-

mentarnih rutina u datoteke postupaka prikupljanja definiraju se postupci složenijih obrada. Prikupljanje podataka definirano je dvjema datotekama na disku, datotekom za definiranje postupaka prikupljanja i datotekom definiranja redoslijeda aktiviranja (slika 1). Podaci se iz baze podataka realnog vremena spremaju u datoteku spremljenih podataka.

Modul za vremensko aktiviranje »starta«, modul za prikupljanje podataka ili modul za pripremu ispisa u vrijeme definirano datotekom redoslijeda aktiviranja, tj. po unaprijed zadanom »voznom redu«.

2.1. **Tipovi izvještaja**

S obzirom na trajanje ciklusa prikupljanja u PROZI D/A definirani su ovi tipovi izvještaja:

— SATNI
— SMJENSKI
— DNEVNI
— TJEDNI
— MJESEČNI
— GODIŠNJI.

Prikupljeni podaci spremaju se u različite datoteke na disku ovisno o tipu izvještaja. Svaka datoteka podijeljena je u dva dijela: dio za spremanje prikupljenih podataka (tekući podaci) i dio s podacima prikupljenim u prethodnom ciklusu prikupljanja (zaleđeni podaci).

2.2. **Rutine postupaka prikupljanja**

Za ilustraciju ćemo navesti nekoliko tipičnih rutina:

1. Podatak se uzima iz BPRV i pribraja u pripadni zapis odgovarajućeg segmenta datoteke na disku pri čemu se pamti i broj sumiranja.
2. Podatak se uzima iz BPRV i ovisno o satu realnog vremena pribraja u jedan od 24 zapisa odgovarajućeg segmenta datoteke na disku. Broj sumiranja pamti se za svaki zapis posebno.
3. Podatak se uzima iz BPRV i uspoređuje se izabranom nominalnom vrijednošću, pa se prema tome svrstava u jednu od deset klasa: do 20%, 20—30%, 30—40%, ... 90—100% i iznad 100%. Rezultat tog razvrstavanja je pribrajanje jedinice odgovarajućem zapisu (jednom od 10) pripadnog segmenta datoteke na disku.

Postupkom obrade pod 1. određuje se srednja vrijednost promatrane procesne veličine u određenom vremenskom intervalu. Postupak pod 2. koristi se za prikaz ponašanja procesne veličine u dnevnim izvještajima (srednje vrijednosti za svaki sat). Postupkom pod 3. dobiva se trajanje opterećenja procesne veličine u odnosu na izabranu nazivnu vrijednost. Postupak je pogodan za mjesečne ili godišnje izvještaje.

3. **PRIKAZ IZVJEŠTAJA**

Prikupljeni podaci u datotekama izvještaja prikazuju se u formi grafičkih ili tabelarnih prikaza. U PROZI D/A postoje dvije osnovne mogućnosti prikaza:

1. Prikaz izvještaja na višebojnom videoterminalu (VT) na zahtjev s upravljačke tastature.
2. Automatsko izdvajanje izvještaja na pisač nakon završetka ciklusa prikupljanja.

Izvještaji na zahtjev izdaju se nakon upisa odgovarajuće šifre tipa izvještaja ili izborom svjetlećom markicom (cursor) preko popisa izvještaja. Može se zahtijevati prikaz izvještaja s »tekućim« ili »zaleđenim« podacima. Svaki izvještaj može imati više stranica prikaza.

Izvještaji s automatskim izdavanjem na pisač koriste se za prikaze »zaleđenih podataka«, nakon završetka ciklusa prikupljanja, a prikazuju se najčešće u formi tablica.

4. **GENERIRANJE DATOTEKA IZVJEŠTAJA**

Datoteke za definiranje redoslijeda aktiviranja i za definiranje postupaka prikupljanja iz razumljivog razloga uštede memorijskog prostora na disku, organizirane su veoma koncizno. Kao takve one su vrlo nepogodne za direktno upisivanje. U tu svrhu je razvijen program koji u dijalogu postepeno formira te dvije datoteke. U toku dijaloga program provjerava zahtjeve u smislu postojećih ograničenja i upozorava na prekoračenje granica. Program se sastoji od dva dijela. Prvi dio obavlja komunikaciju preko terminala, a drugi dio prihvaćene zahtjeve transformira u datoteke za definiranje redoslijeda aktiviranja i definiranje postupaka prikupljanja. Komunikacija je tipa »pitanje-odgovor«. Pitanja su tako formulirana da se mogu lako razumjeti, a postoji i mogućnost dobivanja detaljnog objašnjenja postavljenog pitanja. Da bi se npr. definirali tipovi izvještaja u sistemu, pritiskom na tipku za protupitajne ispišu se svi postojeći tipovi izvještaja:

SATNI	1. Srednja vrijednost u toku sata
DNEVNI	1. Srednja vrijednost u toku dana
	2. Tablica satnih srednjih vrijednosti
TJEDNI	1. Srednja vrijednost u toku tjedna
	2. Tablica dnevnih sumarnih vrijednosti
MJESEČNI	1. Prosječna srijeda — tablica satnih vrijednosti
	2. Prosječna srijeda — trajanje opterećenja
	3. Tablica dnevnih sumarnih vrijednosti

GODIŠNJI
1. Prosječna srijeda — tablica satnih vrijednosti
2. Prosječna srijeda — trajanje opterećenja
3. Tablica mjesečnih sumarnih vrijednosti.

5. PRIMJERI PRIMJENE IZVJEŠTAJA

Opisane metode prikupljanja i prezentiranja podataka u izvještaje upućuju samo na neke mogućnosti primjene. Definiranjem postupaka obrade podataka odnosno metoda integriranja tih postupaka nisu riješeni problemi optimalnog korištenja statističko-izvještajnih funkcija u konkretnim sistemima. Za rješavanje tih problema potrebno je prije svega provesti analize stvarnih potreba za obradom podataka i korištenjem rezultata na mjestima primjene (do sada nismo raspolagali primjerima sličnih realiziranih sistema). Radi ilustracije u ovom će se poglavlju opisati nekoliko primjera realizacije izvještaja u informacionom sistemu TS MELINA. Obrađivane su grupe analognih mjerenja na vodovima 220 kV: mjerenja snage, napona i struje te raspoloživa energetska mjerenja na vodovima DIVAČA i PEHLIN. Prikupljeni podaci iskorišteni su za prikaze srednjih satnih protoka energije u dnevnim izvještajima (do sada su se ti podaci očitavali s maksiprint-traka i unosili u pogonske dnevnike). Korištenjem rutine 2. (pogl. 2.2) srednji satni protoci energija dobiveni su integriranjem snaga. Uz 15-minutno uzimanje uzoraka rezultati su uspoređeni s podacima odštampanim na maksiprint-trakama. Maksimalna odstupanja bila su ± 5% za mjerenje snaga, odnosno ± 10% za energetska mjerenja na vodovima DIVAČA i PEHLIN. Grupiranjem dnevnih izvještaja svih srijeda u mjesecu dobiven je izvještaj »prosječne srijede« u mjesečnom izvještaju (Prilog I). Srednji satni protoci radnih i jalovih energija prikazani su po satima dana (sat 00 odgovara vremenu između 00 i 01 sat). Predznaci označavaju smjer protoka energije; + daje, — prima. Izračunate prosječne vrijednosti satnih protoka na kraju dana, maksimumi i minimumi te ukupni dnevni protoci prikazani su na dnu tablice.

Praktične primjene redukcija podataka ilustrirane su tablicama u prilogu II i III. U prilogu II podaci o ukupnim dnevnim protocima energije prikazani su podacima u mjesečnom izvještaju. U prilogu III primijenjena je rutina 3. (pogl. 2.2) za dobivanje godišnjeg izvještaja. Rezultati obrade su pogonski sati trajanja opterećenja u odnosu na izabrane nazivne veličine:

— aktivne snage vodova 200 MW

— reaktivne snage vodova 200 MVAR.

Podaci su prikupljeni srijedama uz frekvenciju uzimanja uzoraka 15 min tokom tekuće godine. Primjer pokazuje kako izbor pogrešnih parametara

ES VODJENJE 80-03-05 15:46:02

TS MELINA - 220 KV MJ:02

* *

* MJESECNI IZVJESTAJ- DNEVNI PRIKAZ * STR 8(9)

* PROSJECNE SRIJEDE NAP. NIVO 220 KV *

* *

	DV PEHLIN 3		DV BRINJE		DV DIVACA		DV SENJ	
HH.MM	MWH	MVARH	MWH	MVARH	MWH	MWARH	MWH	MVARH
00.00	-54	7	103	16	-78	-1	106	7
01.00	-54	7	101	19	-73	-3	104	8
02.00	-53	7	99	19	-73	-5	103	9
03.00	-52	7	98	20	-73	-5	103	9
04.00	-50	7	96	20	-75	-6	102	10
05.00	-56	7	108	20	-80	-6	110	9
06.00	-67	10	143	18	-107	-6	133	10
07.00	-75	12	158	13	-109	3	143	7
08.00	-76	12	161	16	-111	-1	145	8
09.00	-72	11	148	16	-110	-7	138	7
10.00	-72	11	145	14	-115	-9	135	6
11.00	-70	10	143	13	-113	-3	133	6
12.00	-67	10	128	12	-100	5	123	4
13.00	-63	7	126	13	-106	0	121	5
14.00	-60	7	119	14	-104	1	116	6
15.00	-60	6	126	10	-112	1	118	4
16.00	-61	6	127	7	-107	4	117	2
17.00	-60	7	122	8	-102	4	114	3
18.00	-62	7	120	7	-109	4	112	4
19.00	-62	7	114	6	-104	7	108	3
20.00	-66	5	128	1	-113	12	117	0
21.00	-70	5	130	3	-121	5	121	0
22.00	-59	6	100	12	-98	1	102	5
23.00	-56	7	102	16	-85	2	104	7
PROSJ	-62	7	122	13	-99	0	117	5
MAX	76	12	161	20	121	12	145	10
MIN	50	5	96	1	73	0	102	0
UKUP.	-1497	188	2945	313	-2378	-9	2828	139

PRIKUPLJANJE:15 MIN SMJENE: 1) 2)

ES VODJENJE 80-03-05 15:39:09

TS MELINA 220KV

* MJ:02

* MJESECNI IZVJESTAJ-TABELA DNEVNIH POTROSNJI * STR 2(9)

* *

	DV PEHLIN 3		DV BRINJE		DV DIVACA		DV SENJ	
DAN	KWH	KVARH	KWH	KVARH	KWH	KVARH	KWH	KVARH
1	-1458	216	1719	427	-2546	-365	2053	231
2	-1452	134	3309	342	-2302	-46	3162	139
3	-1269	13	2902	152	-2137	-74	2900	9
4	-1747	175	2906	90	-2979	-363	2877	-25
5	-1933	248	2969	170	-3312	-443	2908	52
6	-300	27	535	19	-514	-22	515	-7
7	-1730	106	3873	181	-2424	190	3535	10
8	-1612	144	3548	267	-2229	121	3335	72
9	-1563	71	3528	167	-2333	102	3303	-34
10	-1530	16	3456	47	-2346	110	3288	-93
11	-1738	63	4011	115	-2592	169	3628	-47
12	-1783	122	4070	176	-2586	252	3657	-18
13	-1745	192	3905	291	-2433	203	3525	94
14	-1790	137	3982	-6	-2472	362	3648	91
15	-1893	34	4481	45	-2930	224	3919	-104
16	-1662	41	3788	197	-2489	-42	3461	3
17	-1557	51	3656	141	-2564	82	3381	-38
18	-1802	109	4130	128	-2616	274	3684	-29
19	-1953	155	4352	211	-2569	275	3833	9
20	-1456	125	3319	261	-2235	58	3115	74
21	-1011	139	2469	427	-1946	-283	2400	266
22	-1027	187	2537	437	-1976	-162	2384	284
23	-973	148	2428	426	-2006	-240	2380	253
24	-846	-49	2152	105	-1937	-293	2221	2
25	-1017	57	2444	239	-1877	-217	2347	137
26	-1049	202	2361	388	-1643	-30	2311	260
27	-1150	255	1627	483	-2043	-237	1811	347
28	-1189	185	1091	453	-2362	-489	1459	345
29	-1165	163	1589	479	-2432	-399	988	246
30								
31								

PERIOD PRIKUPLJANJA:1 DAN SMJENE: 1) 2)

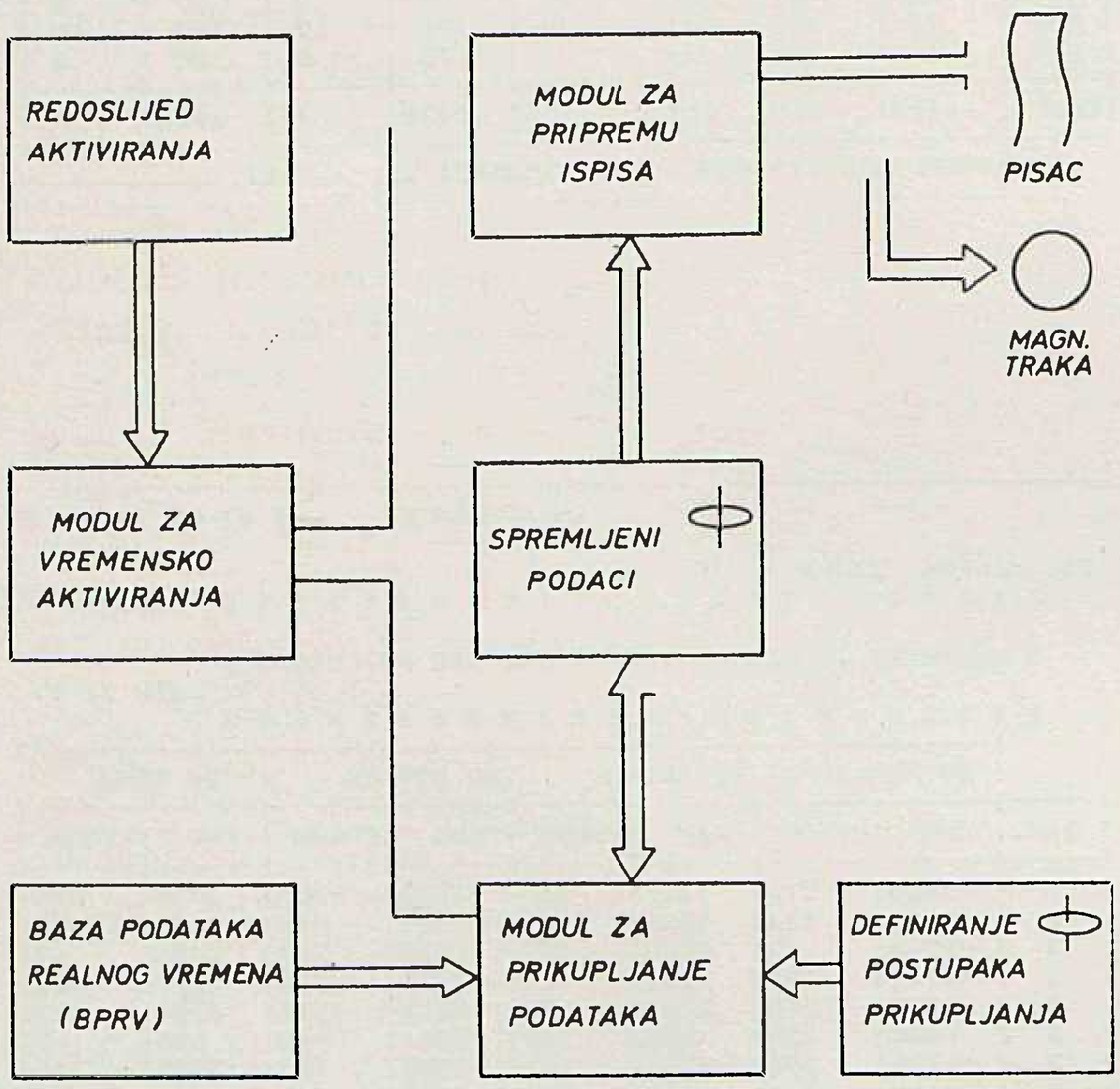
```
                                        ES VODJENJE     80-03-05 15:48:34

TS MELINE       220 KV
        * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *   GG:79
        *  GODISNJI IZVJESTAJ - TABELA TRAJANJA       *
        *  OPTERECENJA  U  %  NAZIVNIH  VELICINA      * STR 2(3)
        * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
```

	DV PEHLIN 3		DV BRINJE		DV DIVAČA		DV SENJ	
%NAZ.	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
	H	H	H	H	H	H	H	H
00-20	58	480	9	476	52	476		480
20-30	99		11	4	77	4	9	
30-40	192		61		94		27	
40-50	126		121		175		164	
50-60	5		103		64		117	
60-70			49		18		58	
70-80			50				73	
80-90			45				25	
90-100			23				7	
100-			8					

```
UZIMANJE UZORAKA:SVAKE SRIJEDE

PERIOD PRIKUPLJANJA:15 MIN
                              SMJENE: 1)      2)
```



Sl. 1. Blok-shema izvještaja u prozi D/A

može dovesti do gubitka informacija. Vidljivo je da su pogonski sati trajanja reaktivnih snaga uglavnom u klasi 0—20% što je posljedica »previsoko« izabrane nazivne vrijednosti.

Literatura:

Mr Petar Bodlović i Nikola Vagić: Korištenje registriranih podataka za obračun preuzete energije u svrhu utvrđivanja elektroenergetskih karakteristika potrošnje, XII stručno savjetovanje elektrotehničara Jugoslavije, Budva, 1975, referat broj 322.08.

G. Ilakovac: Definiranje načina prikupljanja i izdavanja izvještaja u programskom sistemu PROZA D/A »Rade Končar« OOUR Elektrotehnički institut, Zagreb, 1980.

Key words:

**INTERNATIONAL SYSTEM
MONITORING CONTROL**

STATISTICAL — REPORTING FUNCTIONS OF COMPUTERIZED SYSTEM FOR MONITORING AND CONTROL

In the article are described possibilities of one computer programme in real time for formation and issuing of complicated statistical data in form of a report. Some possibilities are applied on specific example of information system TS Meline.

STATISTISCH-BERICHTERSTATTENDE FUNKTIONEN EINER DATENVERARBEITUNGSANLAGE ZUR KONTROLLE UND ANALYSE DER BETRIBSFUHRUNG

Die Arbeit behandelt Möglichkeiten der Verarbeitung eines Realzeitprogramms zur Aufstellung und Ausgabe von komplizierten statistischen Daten in Berichtsform. Einige solcher Möglichkeiten wurden für einen wirklich vorliegenden Fall im Informationssystem der Unterstation Meline durchgeführt und verarbeitet.

СТАТИСТИЧЕСКО-ОСВЕДОМИТЕЛЫНЫЕ ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ НАДЗОРА И УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ВЫЧИСЛЕТЕЛЬНЫХ МАШИН

В статье описаны возможности одной программной системы в реальном времени оформлять и выдавать сложные статистические обработки в виде сообщений. Некоторые из этих возможностей использованы, например, в информационной системы подстанции »Мелине«.

Naslov pisaca:

**Tomislav Lerman, dipl. ing.
»Rade Končar« — RO Industrijska elektronika
Goran Ilakovac, dipl. ing.
mr Petar Bodlović, dipl. ing.
»Rade Končar« — OOUR Elektrotehnički institut**

Energija God. 30 (1981) br. 5—6, 211—214

UČESTALOST SPONTANIH INFORMACIJA U PROCESU PRENOSNE MREŽE

mr Juraj Šimunić, Opatija

Za izabranu konfiguraciju prijenosne mreže na području Elektroprivrede Rijeka izvršena su istraživanja učestalosti spontanih informacija u procesu. Definirane su spontane informacije i prema pogonskim izvještajima dobiven je skup empiričkih podataka o spontanim informacijama po satu. Izrađena je distribucija frekvencija grupirajući podatke po jedan i po deset, i na kraju je provedena analiza učestalosti spontanih informacija po minutama unutar izabranih satnih intervala s najvećim brojem informacija.

Ključne riječi:
Spontane informacije
Električna mreža

UDK 621.316.1
Naučni rad

1. Uvod

Danas se nalazimo u vremenu intenzivnih aktivnosti radi automatizacije u EES-u. Težište aktivnosti automatizacije odnosi se na informacijsko-upravljački sistem (IUS). Pri tome osnovu IUS-a čine tokovi informacija i informacijskih naloga koje je potrebno istraživati i definirati za potrebe suvremenog vođenja EES-a. S obzirom na zahtjev suvremenog vođenja i zbivanja u procesu mogu se tokovi informacija podijeliti u dvije osnovne grupe:

— tokovi cikličkih informacija

— tokovi spontanih informacija.

Spontane informacije, gledano statički (Lit. 3), čine više od 90% skupa informacija pridruženih prijenosnoj mreži. Ali tek promatrajući dinamiku informacijskih tokova može se doći do stvarnih odnosa u tokovima spontanih i tokovima cikličkih informacija. Tokovi cikličkih informacija defirani su statičkim brojem mjernih veličina i zahtjevima vremena osvježavanja informacija. Tokovi spontanih informacija su stohastičke prirode i ovise o zbivanjima u procesu, te je potrebno vršiti istraživanja statističkim metodama da se dobije približno slika o njihovoj dinamici.

Predmet ovog rada jest da za jednu konkretnu mrežu pokaže s kojom učestalošću i prema kojim zakonitostima se pojavljuju spontane informacije u pogonu, a samim tim opterećuju uređaje IUS-a.

2. Opis spontanih informacija u izabranoj mreži

Tokovima spontanih informacija obuhvatit će se u ovim razmatranjima tokovi signalizacija alarma i zaštite, tokovi signalizacija uklopnog stanja elemenata mreže i tokovi upravljanja elementima mreže. Tokovi informacija signalizacije sklapanja i upravljanja nisu s obzirom na svoj karakter potpuno spontanog obilježja, ali u razmatranjima tokova informacija u IUS-u oni se ipak pojavljuju kao nepravilni diskretni impulsi, te će se u jednoj cjelini, s tokovima signalizacije zaštite i alarma, promatrati kao tokovi spontanih informacija. Za promatranje učestalosti spontanih informacija u prijenosnoj mreži izabrana je konfiguracija mreže iz 1978. godine na području Istre, Hrvatskog primorja, Like i Gorskog kotara. Promatrana mreža imala je 29 dalekovoda sa oko 550 km dužine i 16 postrojenja prenosne mreže (uključena i rasklopišta elektrana) sa 28 transformatora 220/110 kV i 110/35 kV. Statički skup spontanih informacija pridruženih promatranoj mreži iznosi oko 6 500. U priloženoj tablici 1. prikazani su podaci o promatranoj mreži s pridruženim informacijama i postoci pojedinih grupa informacija i informacijskih naloga u odnosu na statički skup spontanih informacija.

Tablica 1.

Broj postrojenja		16
Broj transformatora	220/110 kV 110/35 kV	28
Broj dalekovoda		29
Statički skup spontanih informacija (Broj informacija)		6 500
Informacije signalizacije stanja %		30
Informacija signalizacije događaja %		50
Informacijski nalozi %		20

Predmet daljnjeg razmatranja bit će prikazani statički skup od 6 500 spontanih informacija i uče-

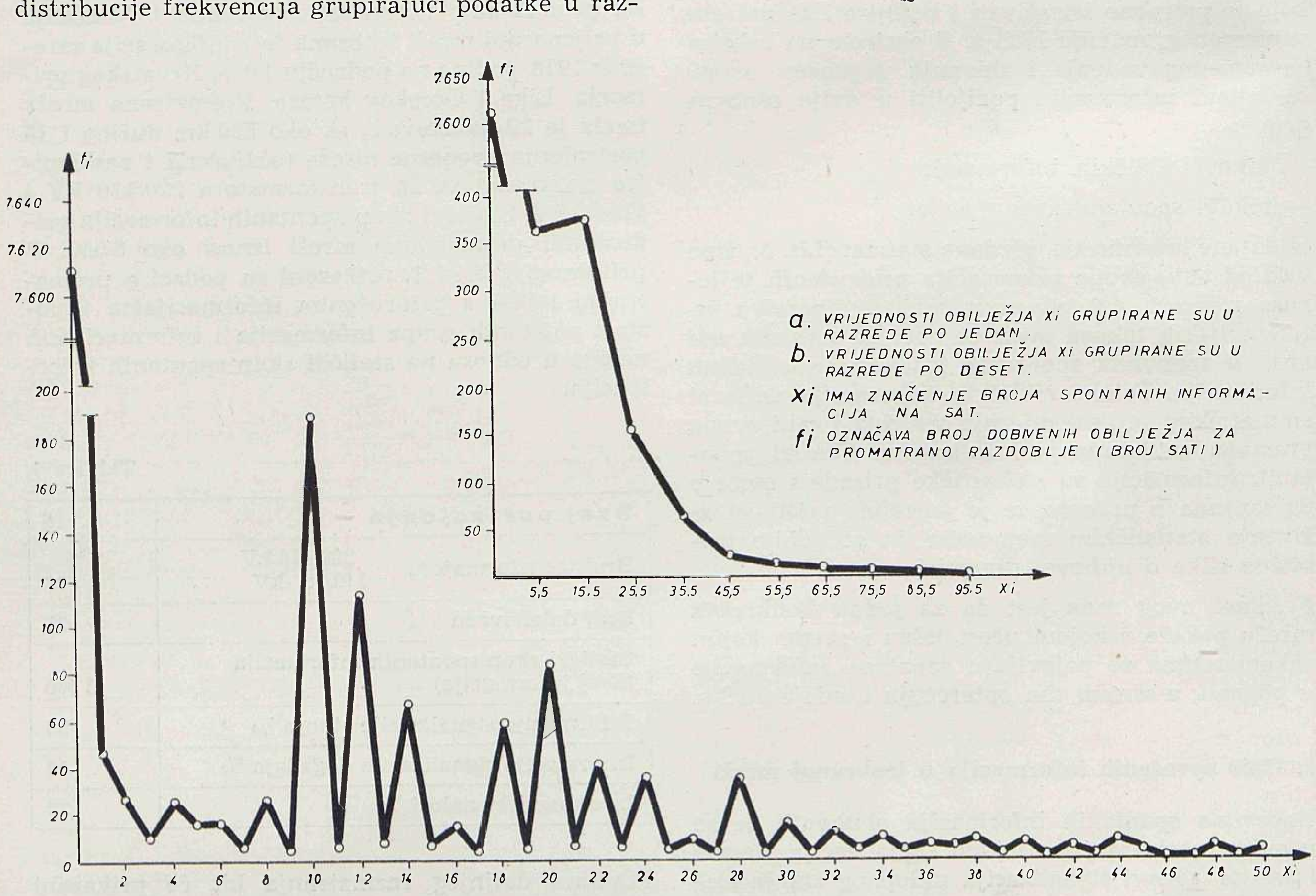
stalost pojavljivanja pojedinih informacija ovisno o zbivanjima u procesu promatrane mreže. Treba naglasiti da će se promatrati učestalost pojedinačnih informacija i informacionih naloga, a ne učestalost događaja, jer svaki događaj prati određeni broj informacija. Za planiranje i projektiranje SDV-a potrebno je poznavati upravo osnovne parametre učestalosti informacija u procesu. Potrebno je to posebno pri razmatranjima i analizi vremena osvježavanja informacija u centrima vođenja EES-a. U dosadašnjim radovima (Lit. 2) uglavnom su se promatrali događaji i njihova zakonitost što za potrebe analize suvremenog vođenja EES-a nije dovoljno.

3. Učestalost spontanih informacija u promatranoj mreži

Istraživanja učestalosti spontanih informacija vršena su na temelju dnevnih pogonskih izvještaja po postrojenjima za 1977. godinu. Kao vremenski period promatranja izabran je jedan sat. Izbor je učinjen tako da izabrani vremenski period bude što kraći u odnosu na zbivanja procesa u realnom vremenu, a da ipak bude razuman u odnosu na učestalost spontanih informacija. Unutar satnih intervala promatrao se broj informacija koje prate pojedine događaje i dobiven je skup empiričkih podataka o spontanim informacijama po satu.

Daljnje sređivanje podataka odnosilo se na izradu distribucije frekvencija grupirajući podatke u razrade po jedan. Kako je na taj način dobiveno područje rasipanja vrijednosti obilježja X_i bilo veliko, grupirale su se vrijednosti empiričkih podataka u razrade po deset. Time su se izbjegle sitne i nevažne varijacije obilježja X_i koje bi samo predstavljale zapreku u očuvanju zakona po kome su one raspoređene. U tablici 2. prikazana je distribucija frekvencija za grupirane podatke po deset u jednom razredu, a na sl. 1. prikazan je poligon frekvencije za vrijednosti obilježja X_i grupirane u razrade po jedan (sl. 1.a) i za vrijednosti obilježja X_i grupirane u razrade po deset (sl. 1.b). Osim osnovnih podataka distribucija frekvencija prikazani su u tablici 2. podaci potrebni za izračunavanje srednje vrijednosti i varijance promatranog skupa i izračunati podaci o relativnim frekvencijama kojima se može pridružiti (Lit. 1) značenje vjerojatnosti. Uočljivo je da vjerojatnost da se ne pojave spontane informacije u satnim intervalima za promatranu mrežu iznosi 0,88. Vjerojatnost da se pojavi jedna do dvadeset informacija u satu iznosi 0,085, a vjerojatnost da se pojavi preko 20 informacija na sat je vrlo malena i iznosi 0,035. Prema podacima iz tablice mogu se izračunati i aritmetička sredina i varijanca prikazanog skupa podataka prema izrazima:

$$\bar{x} = \frac{\sum f_i \cdot x_i}{\sum f_i} \qquad (1)$$



Sl. 1 *Grafički prikaz distribucije frekvencija spontanih informacija po satu (poligon frekvencija)*

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i f_i \cdot x_i^2}{\sum_i f_i} - \bar{x}^2 \qquad (2)$$

Statistički podaci o spontanim informacijama po satu

Tablica 2.

x_i	f_i	$f_i \cdot x_i$	$f_i \cdot x_i^2$	$f_r = \frac{f_i}{\sum_i f_i}$
0	7 612	0	0	0,8837
1—10	358	1.969	10.829,5	0,0416
11—20	375	5.812	90.093,7	0,0435
21—30	154	3.927,5	100.138,5	0,0179
31—40	61	2.165,5	76.875,2	0,0071
41—50	25	1.137,5	51.756,2	0,0029
51—60	11	610,5	33.882,7	0,0013
61—70	9	589,5	38.612,2	0,0010
71—80	6	453	34.201,5	0,0007
81—90	2	171	14.620,5	0,0002
91—100	1	95,5	9.120,2	0,0001
	8 614	16 932	450 130,2	1,0000

te se dobiju vrijednosti za aritmetičku sredinu $\bar{x} = 1{,}96$, a za varijantu $\sigma^2 = 50{,}3$, koja nam pokazuje da postoje prilično velika odstupanja od aritmetičke sredine. Sama aritmetička sredina nema neko posebno značenje u provedenim analizama jer za informacijsko-upravljački sistem nije interesantna aritmetička sredina, već »vršna opterećenja« tokova spontanih informacija u procesu. Da bi se ta »vršna opterećenja« spontanih informacija na neki način istakla, prikazane su u tablici 3. spontane informacije po minutama za događaje s najvećim brojem spontanih informacija. Na lijevoj strani tablice dan je broj informacija u jednom satu, a na desnoj strani su dani periodi od jedne, dvije, tri ili četiri minute unutar promatranog sata i broj informacija koje su se u tim intervalima pojavile. Vidi se iz prikazanog da se u promatranoj mreži (za navedeni broj postrojenja i komponenti postrojenja) pojavljuju »impulsi« od desetak, dvadesetak, a rjeđe i od pedesetak do sto spontanih informacija. Mora se naglasiti da su provedena istraživanja učestalosti spontanih informacija provedena na temelju ručno vođenih podataka u geografski odvojenim postrojenjima te se nije moglo ići na još kraće vremenske periode promatranja. Uvođenjem uređaja kronologije događaja u postrojenju znatno će se povećati kvaliteta skupljenih statističkih podataka. Nadalje, za dobivanje cjelovite slike potrebno bi bilo slična istraživanja vršiti za različite konfiguracije mreže i u različitim geomorfološkim područjima. Ipak se na temelju prikazane analize može zaključiti da se spontane informacije u procesu pojavljuju rijetko, i to najčešće u većim (10—50) ili manjim (1—10) grupama. Koristeći rezultate provedenih istraživanja učestalosti spontanih informacija i literaturu koja obrađuje rutinu razmjene informacija u SDV-a (Lit. 4, 5, 6), izvršeno je nekoliko test-primjera potrebnog vremena za daljinski prijenos pojedinih ciklusa informacija između postrojenja i centara vođenja sistema. Pokazuje se da se za manje grupe spontanih informacija može očekivati vrijeme prijenosa unutar jedne sekunde, a za veće grupe spontanih informacija vrijeme prijenosa unutar tri sekunde. Time se pokazuje da bi za promatranu mrežu, uz pravilno planiranje komunikacija između centara vođenja i postrojenja, bili zadovoljeni zahtjevi zadržavanja osnovne rutine razmjene informacija u prioritetu P_1 koji je definiran kao 5 s. Sigurno je da bi se točno definiranje vremena potrebnih za prijenos spontanih informacija moglo provesti tek kada bi se znao broj i vrsta spontanih informacija po postrojenju u pojedinim pogonskim stanjima i nakon izbora uređaja za komunikaciju između centralnih i perifernih stanica.

Tablica 3.

BROJ INFOR NA SAT	VREMENSKI INTERVAL U MINUTAMA I BROJ INFORMACIJA U IZABRANOM INTERVALU								
120	BROJ MINUTA	2	2	1	1				
20. VI 1977.	BROJ INFORMACIJA	46	43	12	15				
303	BROJ MINUTA	3	2	2	2	2	3		
25. VI 1977.	BROJ INFORMACIJA	26	22	66	18	23	41		
137	BROJ MINUTA	1	2	3					
26. VI 1977.	BROJ INFORMACIJA	16	16	93					
119	BROJ MINUTA	3	3	2					
30. VI 1977.	BROJ INFORMACIJA	40	33	43					
332	BROJ MINUTA	3	1	2	2	1	2	2	2
30. VI 1977.	BROJ INFORMACIJA	71	27	33	78	53	19	14	19
214	BROJ MINUTA	3	2	2	2	2			
30. VI 1977.	BROJ INFORMACIJA	16	51	17	16	17			
146	BROJ MINUTA	1	2	2					
20. VII 1977.	BROJ INFORMACIJA	48	32	45					
57	BROJ MINUTA	1	1						
27. VII 1977.	BROJ INFORMACIJA	37	10						
76	BROJ MINUTA	1	1						
2. VIII 1977.	BROJ INFORMACIJA	47	11						
373	BROJ MINUTA	2	3	1	4	3	3		
23. VIII 1977.	BROJ INFORMACIJA	117	25	17	82	56	54		
73	BROJ MINUTA	3	3						
13. XI 1977.	BROJ INFORMACIJA	36	37						
176	BROJ MINUTA	3	3	3	3	3	3		
21. XI 1977.	BROJ INFORMACIJA	31	35	13	29	20	49		

4. Zaključak

Spontane informacije predstavljaju osnovu statičkog skupa informacija i informacijskih naloga pridruženih prijenosnoj mreži. Zbog male učestalosti pojavljivanja u procesu predstavljaju u stvari samo »vršna opterećenja« u tokovima informacija za potrebe vođenja EES-a i kao takve ih treba promatrati. Imajući u vidu karakteristike današnjih uređaja IUS-a i zahtjeve suvremenog vođenja EES-a, »vršna opterećenja« spontanih informacija ne bi trebala predstavljati poteškoće. Vjerojatno će se u budućnosti tražiti kraća vremena osvježavanja informacija za potrebe vođenja EES-a i to naročito za izvanredne pogone i za prijelazna stanja. Zbog toga bi bilo potrebno istraživati zakonitosti tokova informacija u procesu jer informacije čine osnovu procesnog vođenja EES-a i osnovu za analize i planiranje razvoja EES-a.

Prikazana analiza učestalosti spontanih informacija obradila je jedno konkretno područje na temelju ručno prikupljenih podataka i za relativno kratko vremensko razdoblje. Potrebno bi bilo ovakva istraživanja vršiti u raznim područjima i u raznim konfiguracijama prijenosne mreže. Uvođenje suvremenih uređaja za prikupljanje informacija iz procesa sigurno će znatno poboljšati kvalitetu prikupljenih podataka i omogućiti znatno kvalitetnija istraživanja na tom području.

Literatura:

1. Ivo Pavlić, Statistička teorija i primjena, Tehnička knjiga, Zagreb.
2. V. Kavur, Digitalno upravljanje distributivnom mrežom, magistarski rad, Zagreb, 1977.
3. J. Šimunić, Automatizacija EES-a na području Elektroprivrede Rijeka, magistarski rad, Zagreb, 1979.
4. P. Vranić, Integrirani programabilni sistem daljinskog prenosa i obrada podataka DS-8 Sindac 800, Simpozij o informatici, Cavtat, 1975.
5. Idejni projekat SDV za mrežu na području Elektroprivrede Rijeke, Rade Končar, Zagreb, 1977.
6. Doc. Ž. Zlatar, A. Marušić, Studija automatizacije prenosne mreže Elektroprenosa Matulji, II dio, ETF, Zagreb.

Key words:

SPONTANEOUS INFORMATIONS
TRANSMISSION NETS

FREQUENCY OF SPONTANEOUS INFORMATIONS IN TRANSMISSION NETS PROCESS

For given transmission net configuration of »Elektroprivreda« Rijeka, some examinations of frequency of spontaneous informations are defined, and on the base of operationaldata a group of empirical data for hourly spontaneous informations is collected. Frequency distribution for groups of one and ten data is presented, and at the end analysis of frequency of spontaneous greatest number of informations is performed.

ÜBER DIE HÄUFIGKEIT VON SPONTANEN INFORMATIONEN IM ÜBERLANDNETZBETRIEB

Für einen gewählten Aufbau von Informationen über den Zustand des Übertragungsnetzes auf dem Gebiet des Verbundunternehmens Rijeka wurden Untersuchungen über die Häufigkeit von spontanen Betriebsinformationen durchgeführt. In diesem Rahmen erfolgte eine Definition der spontanen Informationen, wobei aus den Betriebsberichten eine Menge von empirischen Unterlagen über stündlich auftretende spontane Informationen erfasst werden konnte. Ausgearbeitet wurde eine Verteilung der Frequenzen, indem die Unterlagen einzeln oder in Zehnergruppen erfasst wurden. Schliesslich erarbeitete man eine Häufigkeitsanalyse der Spontaninformationen nach Minuten innerhalb von ausgewählten stündlichen Intervallen mit der grössten Zahl der Informationen.

ЧАСТОТА САМОПРОИЗВОЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ СЕТИ

Для выбранной кофигурации высоковольтной сети на территории электрохозяйства г. Риека проведены были исследования частоты самопроизвольных информации в технологическом процессе. Были определены самопроизвольные информации, а на основании суточных ведомостей был собран ряд эмперических сведений о самопроизвольных информациях в течение часа. Группируя данные по одному и по десеять, было выполнено распределение частоты, и, наконец, проанализирована частота самопроизвольных информаций по минутам в выбранных часовых интервалах с наибольшим числом информаций.

Naslov pisca:

mr Juraj Šimunić, dipl. ing.
Elektroprenos, Opatija

Energija God. 30 (1981) br. 5—6, 215—219

BANKE PODATAKA OSNOVNO SVOJSTVO SUVREMENOG INFORMACIJSKOG SISTEMA UGRAĐENOG U ELEKTROENERGETSKI PROCES

mr Vladimir Kavur, Zagreb

U uvodnom dijelu članka govori se o skupovima informacija koje generira elektroenergetski proces, kao i načinima njihova grupiranja. Upućuje se na potreban broj datoteka i načine obrade informacija u njima.

Na kraju se diskutira o smještaju datoteka i nekim aspektima unapređenja rada zbog prisutnosti banki podataka.

Ključne riječi:
Banka podataka
Informacijski sistem
Elektroenergetski sistem

UDK 621.31:681.3
Stručni rad

1.0. UVOD

Od trenutka uvođenja digitalnih sistema kao elementa za praćenje rada elektroenergetskog sistema (EES) ocjenjivala se njihova valjanost na osnovi kvalitete i kvantitete informacija koje su pružali. Naime, elektroenergetsko postrojenje (EEP), uključeno u ESS, proizvodi određenu količinu informacija koju treba prenijeti u centralnu stanicu (ovaj termin odgovara pojmovima: centar daljinskog upravljanja i dispečerski centar). U prvoj fazi razvoja digitalnih uređaja osnovna težnja bila je brz i siguran prijenos informacija, te njihov što bolji i prihvatljiviji prikaz na određenom izlaznom mediju u centralnoj stanici (CS). Usavršavanjem uređaja u komunikacijskom smislu postale su informacije u CS pouzdane, ali i količinski velike. Tako se pojavilo pitanje kako ih spremiti i na koji način obraditi da bi što više koristile u vođenju procesa u ESS.

Sve do uvođenja računala taj posao iziskivao je od neposrednih izvršilaca izuzetan napor, jer sve informacije bile su prezentirane ili optički ili u obliku zapisa koji se trebao naknadno ručno obrađivati. Tako je većina informacija, premda se prenašala u CS, bila izgubljena pri njihovu bilježenju. Uvođenjem računala u proces obrade dolazi do bitnih promjena u tretmanu informacija čija obrada sada prorima po važnosti isto mjesto kao i sigurnost njihova prijenosa.

U članku se iznose razne mogućnosti obrade informacija, vrste datoteka i banki podataka (*), te načini njihova formiranja i etapna realizacija. Treba istaći da već i onaj mali broj datoteka i banki podataka koji se pojavio u praksi ukazuje kako na veliko rasterećenje operativnog osoblja, tako i bitno unapređenje u vođenju EES.

2.0. SKUPOVI INFORMACIJA

Možemo reći da se skup informacija pridruženih EEP formira iz ovih grupa informacija:

— komadi
— signalizacija
— mjerenja.

Pri tome trebamo istaći da svaku grupu sačinjavaju nekoliko podgrupa karakterističnih informacija. Tako se može izvršiti daljnja podjela informacija, dana tablicom 1. Tamo navedeno grupiranje informacija važno je iz razloga, što će se pokazati kasnije, njihove obrade.

Naime, zbog količine i karakteristika informacija od kojih se formiraju navedene grupe nužno ih je razdijeliti jer se njihove obrade tretiraju odvojeno.

Tablica 1.

SKUP INFORMACIJA	
Grupa	Podgrupe
KOMANDE	— jednostruke komande — višestruke komande
SIGNALIZACIJE	— signalizacije položaja — signalizacije zaštite (alarmi) — opće (sigurnosne) signalizacije
MJERENJA	— kontinuirana mjerenja — komulativna mjerenja

* Datoteka — dio memorije gdje su spremljene tekuće informacije
Banka podataka — informacije iz većeg vremenskog perioda.

3.0. NAČIN FORMIRANJA DATOTEKA — BANKI PODATAKA

Prvi i osnovni preduvjet formiranja datoteka, odnosno banki podataka jest računalo uključeno u informacijski sistem (IS) u CS. Naravno, pri tome treba osigurati i da kompletan IS omogućuje siran i kvalitetan prijenos velikog broja informacija. To uvjetuje pouzdan komunikacijski medij, te način rada »poziv — odgovor« s mogućnošću prioriteta ili spontane dojave.

Ako su navedeni uvjeti zadovoljeni, može se prići kvalitetnijem korištenju prisjelih informacija. Pri tome treba uzeti u obzir činjenicu da se IS izgrađeni oko računala mogu, a to je u praksi i pravilo, proširivati u pogledu svojih funkcija u toku njihove eksploatacije. Iz tog razloga potrebno je pažljivo proučiti redoslijed i načine pristupa obradi informacija, a s tim u vezi i formiranja datoteka i banki podataka.

3.1. Datoteke potrebne u početku eksploatacije IS

Kažimo na početku dvije stvari. Daljnje razmatranje odnosi se na IS koji se pridružuju EES s određenim brojem postrojenja (obično više od osam) i određenom razgranatošću energetske mreže (barem dvije »pojne točke« i više od jednog spojnog puta između dva EEP). Za manje i jednostavnije EES treba izvršiti određenu redukciju potrebnih datoteka i banki podataka. Dok se ne sagledaju potrebe za bankama podataka, a to je moguće tek nakon određenog vremena eksploatacije IS, formiraju se uglavnom samo datoteke podataka. Ta činjenica istaknuta je i u naslovu ove točke. Prve dvije datoteke koje su nužne za početak eksploatacije IS jesu datoteka komandi (DK) i datoteka uklopnog stanja (DUS). One su osnova za ekranski prikaz uklopnog stanja i izdavanje komandi preko pripadne komandne tastature (tastatura za komunikaciju s računalom). DK sadrži sve adrese izlaznih elemenata digitalnog sistema u perifernoj stanici i na taj način omogućuje da se na jednostavan način (navođenjem svjetlosnog znaka na upravljani element u jednopolnoj shemi prikazanoj ekranski, ili otipkavanjem šifre dotične adrese u datoteci) izda bilo koja komanda. Isto tako DK je preduvjet kasnijeg automatizma u radu, odnosno grupnih komandi. DUS sastavljena je u biti iz dva dijela. Jedan sadrži sve simbole koji se koriste pri »crtanju« jednopolne sheme, a drugi sadrži sve trenutne informacije signalizacije položaja. Na osnovi tih podataka moguće je formirati uvijek aktualnu sliku uklopnog stanja EEP. Naglasimo da se DUS formira zasebno za svako EEP, dok se DK može formirati kao jedna za cijeli IS, ali i posebice za svako EEP, što ovisi o primijenjenom sistemu.

Slijedeće datoteke koje trebaju bili prisutne na početku eksploatacije IS jesu datoteka alarma (DA), datoteka mjerenja (DM) i datoteka granica mjerenja (DGM). DA sadrži trenutne informacije stanja alarma za svako EEP. DM sadrži sve iznose mjernih veličina dotičnog EEP, a da bismo odmah imali pregled o tome kolik je postotak od svoje granične vrijednosti dosegao trenutni iznos mjerne veličine, potrebno je za svako EEP formirati i DGM. Kao što je vidljivo iz navedenog, već u početku eksploatacije IS računalo nužno treba sadržavati spomenute datoteke, što će omogućiti jednostavan i kvalitetan nadzor i upravljanje u EES. Međutim, želimo li postići mogućnost vođenja elektroenergetskog procesa, moramo bezuvjetno prići formiranju daljnjih datoteka, a ujedno i pripremi za formiranje banki podataka.

3.2. Proširenje datoteka

Prvi korak u proširenju datoteka jest dorada postojećih datoteka, a to znači takva njihova podjela u pogledu grupiranja podataka da bi se omogućila njihova šira obrada.

Upozorimo ukratko na potrebna prestrukturiranja datoteka spomenutih u prethodnoj točki.

Na osnovi podataka sadržanih u DUS moguće je formirati novu datoteku koja će sadržavati podatke o broju uključenja, odnosno isključenja pojedinog elementa (obično prekidača) EEP, te podatke o broju kvarova (pogrešna signalizacija položaja). Općenito se može reći da prilikom svake promjene koja se bilježi u DUS ili DA, a označava da je došlo do određene promjene stanja uzrokovane namjernom radnjom (manevar) ili uslijed kvara/preopterećenja (prorade zaštite), stvara se podatak koji će biti osnova za formiranje datoteke aktivnosti (DAK), kako možemo nazvati opisanu datoteku.

DA možemo proširiti tako da joj dodamo datoteku namještenih vrijednosti prorade zaštite (DGA) koja će omogućiti da prilikom svakog signala alarma provjerimo da li su elementi i uređaji zaštite ispravni. To ćemo postići uspoređenjem podataka iz DGM i DM.

Usporedo s DM potrebno je formirati dodatnu datoteku u kojoj će se bilježiti trenutne vrijednosti iznosa kumulativnih mjerenja (DE). Istovremeno DGM treba proširiti u smislu povećanja broja graničnih vrijednosti (npr. 80%, 100% i 120% od nazivne vrijednosti mjerne veličine).

Vidimo da već u prvim trenucima eksploatacije, na osnovi kratkotrajnog ponašanja elemenata EES, malim zahvatima u preraspodjeli podataka i formiranjem dodatnih datoteka možemo postići znatno poboljšanje u radu, što će se naročito odraziti u obradi prikupljenih informacija.

3.3. Obrada sadržaja datoteka

U početku eksploatacije IS sigurno ćemo imati mogućnost tabelarnog ispisa sadržaja svih dato-

teka. Daljnja težnja u proširenju obrada treba se odnositi na automatski ispis pojedinih sadržaja na određene, definirane načine.

Iz DUS potrebno će biti trenutno ispisivanje nastupilih promjena, s istovremenim ispisom podataka iz DAK. Provede li se isti postupak za DA, vrlo lako će se dobiti razne karakteristične veličine kao što su prosječan broj manevara, broj ispada zbog kvarova, točnost zaštite, broj kvarova i druge. Naravno, svi ti rezultati dobivat će se u prvo vrijeme ručnom obradom, no treba težiti njihovoj programskoj obradi.

Kod DM biti će potrebno u određenim vremenskim periodima (npr. 30 min) automatski ispisivati iznose mjernih veličina, te na taj način dobiti brojčani prikaz njihovih varijacija duž određenog perioda (dan, tjedan, mjesec). Takav prikaz može dati niz korisnih informacija o parametrima EES, naročito kad se uvede programska obrada (traženje maksimuma, prosječne vrijednosti i sl.). Specijalno će u slučaju energije biti odmah vidljiva dnevna potrošnja (ili vremenski dulja), a neće biti problem odrediti (pre-) opterećenja unutar kraćih, bitnih vremenskih perioda.

Sve navedeno ukazuje na prisutnu mogućnost: stvaranja banki podataka i uvođenja programske obrade podataka. Naime, opisani postupci samo su prirodni redoslijed nadgradnje računarskog sistema, odnosno sagledavanje mogućnosti i potreba na osnovi podataka prisutnih u datotekama.

4.0. **BANKE PODATAKA**

Prilično mukotrpna obrada podataka danih u pisanom obliku bitno se pojednostavnjuje uvođenjem banki podataka, što je ujedno i nužan uvjet kvalitetne programske obrade. Na osnovi prisutnih datoteka moguće je formirati banke podataka (arhivske datoteke):

— grupnih komandi (ADK)

— alarma (ADA)

— mjerenja (ADM)

— energije (ADE)

— modela energetske mreže (ADEM)

— paralelnog rada transformatora (ADPT)

te nekih drugih. Pravilo je da se sve informacije koje mogu ukazati na određene parametre EES prate i bilježe u dužem vremenskom razdoblju i da od njih tvorimo banke podataka.

Kažimo nešto o navedenim bankama podataka. ADK predstavlja bitno oterećenje u radu dispečera jednostavno zato što omogućuje da neke standardne manevre, npr. uključivanje (isključivanje) određenog polja, prebacivanje odvoda s jednog sistema sabirnica na drugi i sl., izvedemo automatski. Isto tako, preko ove banke podataka može se obaviti priprema određenih manevara koji se onda u danom trenutku mogu automatski izvršiti. Banka podataka alarma (ADA) ukazivat će na broj prorada određene zaštite, na određenoj poziciji, a samim tim i na kritična mjesta u EES. To će omogućiti bitno kvalitetnije održavanje, a u zajednici s podacima iz datoteke DAK povečat će znatno pouzdanost u radu EES. ADM pružit će nam bitne pokazatelje za niz elemenata EEP. Tako će ukazivati na opterećenje svakog voda posebice, iskoristivost transformatora snage, varijacije napona i frekvencije i druge. Ovi rezultati prikazivat će dnevna, tjedna i duža opterećenja, pa će se na osnovi njih moći odrediti:

— odstupanja od idealnih karakteristika,

— moguće rezerve i

— preopterećenja pojedinih putova energije.

Ti će pokazatelji omogućiti prognoziranje pojedinih veličina za iduće razdoblje (dan, mjesec, godina). Prognoziranje je pak prvi korak u optimiranju elektroenergetskog procesa u EES. Istovremeno će, zajedno s analizom uklopnog stanja, gornje prognoze definirati i načine predvidivih ukapčanja (iskapčanja). Isto tako bit će korisno rezultate analiza primijeniti u kriznim trenucima, kod nastupa preopterećenja i redukcija. Naime, na osnovi pojedinih opterećenja točno će se znati gdje i kako treba reagirati da bi se izbjeglo duže beznaponsko stanje. Odavde proizlazi i pojam tzv. superponirane zaštite. Funkcija te zaštite bit će da kod pojave preopterećenja određenog postrojenja na osnovi programa izvrši postepeno odbacivanje tereta ili prekapčanje na drugu pojnu točku dok se opterećenje ne svede u normalne granice. Na kraju kažimo da korištenjem podataka ADM i ADE možemo dobiti osnovne podatke za formiranje modela energetske mreže i realizacije ADEM. Ova banka podataka primjenjivat će se u trenucima kvara u određenom čvoru EES, odnosno ispadu određenog »izvora« jer odmah dati odgovor kako promjeniti uklopno stanje energetske mreže. Spomenimo i ADPT, koja će omogućiti da se pri određenom opterećenju isključi, odnosno uključi jedan ili više transformatora koji rade paralelno, a u određenoj situaciji unose samo gubitke.

4.1. **Proširenje obrade podataka**

Svi postupci koji će dovesti do obrade određenih banki podataka (ADA, ADM, ADE) i do formiranja novih (ADK, ADEM, ADPT) uvjetovat će znatno proširenje obrade podataka. Istaknimo odmah činjenicu da na računalu vezanom uz IS pridržen EES trebamo predvidjeti takve obrade koje će omogućiti formiranje banki podataka, odnosno primjenu podataka sadržanih u njima. Simulacija, modeliranje, stvaranje novih aplikacionih programa i drugo potrebno je obaviti na nekom drugom, većem računarskom sistemu (obično off — line).

Iz tog razloga možemo pod proširenjem obrada računarskog sistema koji prati proces EES u realnom vremenu smatrati ove obrade:

— praćenje trenda rasta kritične mjerne veličine
— funkcionalnu kontrolu ispravnosti izdavanja komandi
— kontrolu snage (na osnovi energije)
— praćenje tokova snage u energetskoj mreži i kontrolu pravilnog uklopnog stanja.

Za računalo na kojem će se obrađivati podaci iz banki podataka nezavisno od nadziranog procesa moguće je:

— analizirati kvarove
— modelirati energetsku mrežu
— proračunavati tokove snage
— istraživati moguće rezerve
— prognozirati
— i drugo.

5.0. SMJEŠTAJ DATOTEKA I BANKI PODATAKA

Sve navedene datoteke i banke podataka zapravo su dio memorije rezerviran isključivo za smještaj podataka (data) dobivenih iz procesa. Ovisno o njihovoj važnosti, količini i potrebnoj brzini pristupa do njih smjestit će se u vanjsku ili centralnu memoriju. Pri tome treba razlikovati vanjsku memoriju po tome koliko podataka možemo pohraniti u nju i kojom brzinom možemo doći do njih. Jedan od mogućih načina dodjele memorije datotekama i bankama podataka prikazan je tab. 2.

6.0. ZAKLJUČAK

Iz danog pregleda mogućnosti u načinu korištenja informacija koje pružaju moderni IS s pripadnim računarskim sistemom moguće je istaći dvije bitne činjenice.

Od onovnog sistema koji omogućuje kvalitetno upravljanje i nadziranje EES moguće ga je proširiti do svojstva vođenja i optimiranja procesa u tom istom EES.

Da bismo to postigli, potrebno je naročitu pažnju posvetiti formiranju datoteka i banki podataka, te kontinuiranom proširenju programskih obrada podataka na taj način spremljenih.

Dakle, možemo rezimirati: da bi se ostvarilo približenje funkciji optimalnog vođenja elektroenergetskog procesa, potrebno je postepeno proširivati pojedine funkcije IS. O tom proširenju treba voditi brigu još u fazi izgradnje i instalacije sistema tako da se »ugradi« takav operacioni sistem koji će omogućiti nesmetano proširenje svih funkcija računala. Pri tome treba istaći da se većina off-line obrada može obavljati na nekom drugom, »jačem« računalu te da zbog toga nije potrebno sistem proširivati unedogled.

Navedimo još jednom osnovne elemente koji će omogućiti kvalitetnije vođenje EES. To su:

— pravilno pripremljen računarski sistem
— formiranje svih nužnih datoteka
— programska obrada datoteka
— formiranje banki podataka
— proširenje programskih obrada i
— uvođenje programskih poslova, kao što su statistika, analiza, planiranje, prognoziranje, modeliranje, simulacija i dr.

7.0 Literatura:

1. V. Kavur: *»Digitalno upravljanje distributivnom mrežom«*, magistarski rad, Zagreb, 1977.
2. D. Škarica: *»Budućnost primjene procesnog računala kod upravljanja distributivnom elektroenergetskom mrežom«*, Energija br. 9—10, 1972.
3. R. Pomberger: *»On-line kontrola električnih mreža«*, Jurema, Zagreb, 1973.
4. D. Castelli, G. Soldadino, R. Capra: *»15. nouveau systeme de supervision et controle pour les services publics des villes de Brescia et de Milan«*, Cired, Liege, 1975.
5. P. Pettit: *»Digital computer programs for an etperimental automatic load dispatching system«*, Proceedings of the IEEE, br. 4, 1968.
6. ***: *Telegyr 709*, Landis and Gyr, prospekt
7. ***: Siemens sistem 300 za automatizaciju mreža, Uređaj za daljinsko upravljanje FW 537, Iskra, prospekt

Tablica 2.

Vrsta memorije	Informacija	Mjerenja	Signalizacija položaja	Signalizacija zaštite
Centralna memorija		DM, DE DGM	DAK	DAK
Vanjska memorija	brz pristup		DUS, ADEM ADK	ADA
	spori pristup/ /veliki kapacitet	ADM ADE		ADPT ostale

8. ***: DS — 8 sistemi, ASEA, Rade Končar, prospekti
9. ***: PDP-11 Computer family, katalog 1976.

Key words:

DATA BASES
INFORMATIONAL SYSTEM
POWER SYSTEM

DATA BANKS — BASIC CHARACTERISTIC OF MODERN INFORMATION SYSTEM APPLICABLE FOR ELECTRICAL — GENERATION PROCESS

In the article is firstly discussed about information groups which can be obtained in electrical-generation process and about the way of their collection. Number of data files and way of data processing as well as storage of files and some improvements of work are presented.

DATENBANKEN ALS GRUNDLAGE EINES INFORMATIONSSYSTEMS EINER VERBUNDWIRTSCHAFTLICHEN BETRIEBSFÜHRUNG

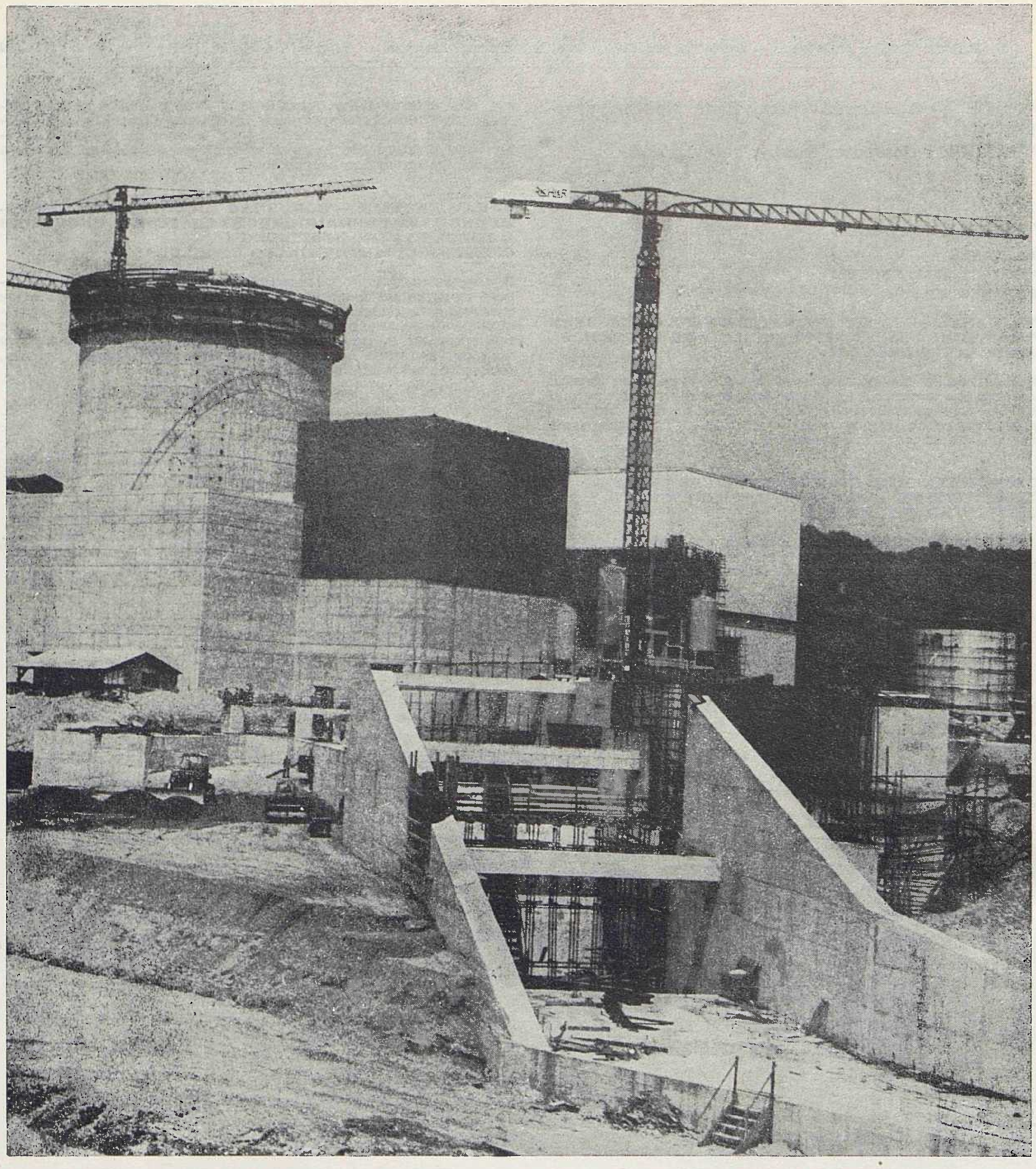
Der einleitende Teil behandelt Mengen von Informationsdaten die in einem Verbundsystem erscheinen wie auch deren Aufteilung auf entsprechende Gruppen. Hingewiesen wird auf die erforderliche Anzahl von Datstheken und die Verarbeitung der Informationen in diesen Einrichtungen. Abschliessend wird die Unterbringung solcher Datotheken erörtert und werden die Zukunftsaussichten durch das Bestehen solcher Datenbanken besprochen.

ВАНКИ ДАННЫХ — ОСНОВНАЯ ОСОБЕННОСТЬ СОВРЕМЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ, ВХОДЯЩЕЙ В СОСТАВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЄЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

В введении статьи рассказано о совокупности информации, порождаемой технологическим электроэнергетическим процессом и способах ее группировки. Указывается на необходимое количество файлов и способи обработки в них информации и, наконец, обсуждается вопрос расмещения файьов, а также некоторые аспекты улучшения работы, благодаря наличию банка данных.

Naslov pisca:

mr Vladimir Kavur, dipl. ing.
»Elektra« Zagreb



hidroelektra

SLOŽENA ORGANIZACIJA UDRUŽENOG RADA

Zagreb, **Leskovačka 10**

Energija God. 30 (1981) br. 5—6, 221—226

MOGUĆNOSTI PRIMJENE AUTOMATSKE OBRADE PODATAKA U ODRŽAVANJU ELEKTROENERGETSKIH POSTROJENJA

Vinko Perinić, Zagreb

Razrađene su osnovne pretpostavke za primjenu autom atske obrade podataka u poslovanju. Razmatrane su određene mogućnosti i način realizacije takve obrade u radnoj orga nizaciji »Elekrtoprivreda — Zagreb«, s kraćim osvrtom na do sada postignute rezultate u drugim radnim organizacijama.

Ključne riječi:
Obrada podataka
Elektroenergetsko postrojenje
Održavanje

UDK 621.31-52
Stručni rad

1. UVOD

Polazeći od važnosti posjedovanja kvalitetnih (točnih, brzih i redovnih) informacija za upravljanje i rukovođenje poslovnim i proizvodnim procesima, potrebno je takvim procesima pridružiti efikasan i dobro organiziran sistem informacija. Pod sistemom informacija razumijeva se niz usklađenih djelatnosti prikupljanja, uskladištenja, razmjene i obrade podataka, te izdavanja informacija na korištenje. Dio tih djelatnosti koji se može izraziti formalnim izrazom, algoritmom, odnosno programom prilagođenim za izvođenje na elektroničkom računalu, može se automatizirati primjenom elektroničkih računala.

Na automatiziraonsti što većeg broja takvih djelatnosti težište je osnovne koncepcije sistema informacija u radnoj organizacija »Elektroprivreda-Zagreb«.

U trenutku početka realizacije osnovne koncepcije automatiziranog informacijskog sustava u radnoj organizaciji »Elektroprivreda-Zagreb«, namjena je ovog materijala da se:

— izlože i razmotre smjernice organizacije općenitog informacijskog sistema termoelektrane kao najreprezentativnijeg predstavnika dijela elektroenergetskog sistema (postrojenja)

— prikažu pretpostavke i mogućnosti primjene odgovarajuće opreme za AOP, metoda i tehnika obuhvata, obrade i dostave podataka na korištenje, s posebnim osvrtom na probleme održavanja termoelektrana

— iznesu praktični problemi i iskustva u dosadašnjem radu na realizaciji projekta održavanji elektroenergetskih postrojenja u vlastitoj sredini

— pokloni posebna pažnja mogućnostima povezivanja u zajedničke projekte na planu održavanja s onim radnim organizacijama kojih je osnovna djelatnost opskrba rezervnim dijelovima, uz kratak osvrt na moguće organizacijske oblike skladišta rezervnih dijelova.

2. O INFORMACIJSKOM SISTEMU U TERMOELEKTRANI

Termoelektrana je složen industrijski proizvodno-poslovni sistem ovih karakteristika:

— naročitog oblika izlaznog proizvoda (električna energija ne zaprema prostor i ne može se ekonomično uskladištiti

— visoke investicijske vrijednosti

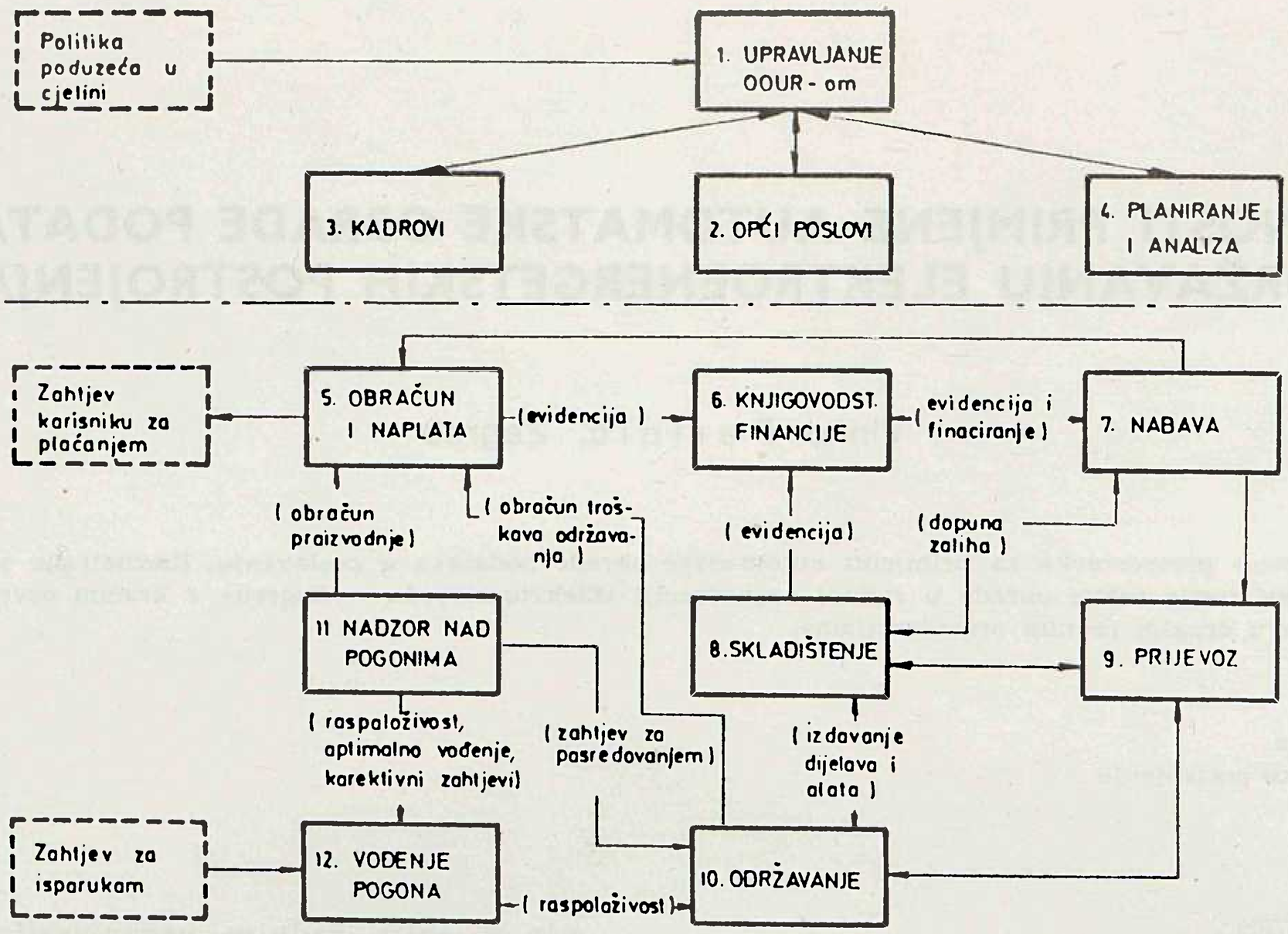
— osposobljenosti za trajni rad i s tim u vezi visok stupanj pouzdanosti i raspoloživosti

— visokocentraliziranog vođenja glavnog pogona.

U termoelektrani su čvrsto isprepletene mnoge proizvodne i poslovne aktivnosti, a pridružen im je unutrašnji informacijski sustav (s podsistemima) koji sadrži podatke o uputama i kriterijima za započinjanje i obavljanje pojedinih aktivnosti, te zapise o potrebnim aktivnostima. Međusobna povezanost i ovisnost aktivnosti uvjetuje nadalje tok informacija među čvorištima odlučivanja i njihovu izmjenu s okolinom.

Informacijske podsisteme vezane uz aktivnosti povezujemo u cjeloviti informacijski sistem termoelektrane identificiranjem sadržaja i uvjeta toka obavijesti među pojedinim podsistemima. Obavijesti koje su bile »vanjske« za podsistem postaju sada dijelom unutrašnje, a dijelom vanjske s obzirom na cjeloviti sistem.

Budući da se pojedini podaci pojavljuju u više podsistema vezanih uz aktivnost, to se oni mogu jedinstveno organizirati unutar cjelovitog sistema.



Sl. 2.1. Informacijski sustav termoelektrane prikazan s obzirom a grupe aktivnosti

Stoga obično nije povoljno cjeloviti sistem informacija organizirati podjelom na podsisteme isključivo vezane uz aktivnost, već ujedno treba težiti najvećoj mogućoj sažetosti baze podataka i opsega toka obavijesti među podsistemima.

Na slici 2.1. prikazan je grubi blok-dijagram informacijskog sustava, termoelektrane prikazanog s obzirom na grupe aktivnosti.

Zbog složenosti proizvodno-poslovnog sistema termoelektrane potrebno je pridružene informacijske podsisteme organizirati modularno.

Module treba odabrati tako da se odnose samo na bitno povezane aktivnosti, da se izbjegnu ponavljanja istih grupa podataka u više baza, da se opseg toka obavijesti među podsistemima što više smanji i, što je naročito važno, da se što više olakšaju pripremni radovi na uvođenju automatizirane obrade podataka.

Vodeći brigu o sadržaju i povezanosti grupa aktivnosti u termoelektrani, o gore izloženim pretpostavkama, te o specifičnom trenutku kad se na razini radne organizacije ostvaruje zamisao uvođenja automatiziranog informacijskog sustava, organizacija informacijskog sistema bila bi podijeljena na tri glavna podsistema (modula) i to:

— procesni informacijski podsistem

— informacijski podsistem održavanja

— financijsko-opći informacijski podsistem.

Procesni informacijski podsistem odnosi se na informacijske sadržaje izvođenja i nadzora glavnog i pomoćnih pogonskih procesa. Ovdje pripada nabava i uskladištenje goriva.

Podsistem održavanja obuhvaća informacijske sadržaje iz aktivonsti preventivnog i remontnog održavanja u slučaju nastanka kvara, nabave i uskladištenja opreme, dijelova i alata što sudjeluju u održvanju, njihov prijevoz od mjesta uskladištenja do mjesta upotrebe, na pohranu pripadajuće dokumentacije, na radioničke aktivnosti i dio kadrovske evidencije vezane uz održavanje.

Financijsko-opći podsistemi sadrže podatke iz općih i kadrovskih poslova, knjigovodstveno-financijskih aktivnosti, obračuna proizvodnje i troškova unutarnjih aktivnosti, obračuna proizvodnje i troškova unutarnjih aktivonsti u elektrani, te konačno analizu poslovanja povezanu s planiranjem i upravljanjem OOUR-a u cjelini.

3. O ODRŽAVANJU TERMOELEKTRANE

Aktivnosti vezane uz remont i održavanje glavnog i pomoćnih pogona termoelektrane, povezane s aktivnostima nabave, skladištenja, prijevoza i prijenosa predmeta što sudjeluju u održavanju (uređaja, dijelova, alata itd.) zahtijevaju raspoložive ljudske i materijalne resurse. Njihov je glavni cilj postizanje određeong stupnja raspoloživosti pogonskih postrojenja, te održavanje optimalnih uvjeta njihova rada.

Dok dugogodišnje dosadašnje iskustvo omogućuje visok stupanj čak i početne »uređenosti« administrativnih i procesnih funkcija, s održavanjem to nije slučaj. Znatni iznos odlučujućih podataka dostupan je tek ograničenom broju pogonskog osoblja, a tu je i uvijek prisutna težnja da se posreduje tek u slučaju kvara (»vatrogasna« metoda), da se ne izvršavaju čak ni temeljni zahtjevi isporučitelja opreme, te da se ne zapisuje povijest postrojenja.

3.1. Osnovne pretpostavke uspješnog djelovanja održavanja u termoelektrani jesu:

— čvrsto određene i dokumentirane aktivnosti preventivnog održavanja, remonta i zamjene, a po mogućnosti i aktivnosti predviđene u slučaju nastanka »standardnih« kvarova

— čvrsto usvojeni opći plan preventivnog održavanja, remonta i zamjene

— raspoloživost dovoljnog broja dovoljno školovanog i dovoljno uvježbaong osoblja

— dobro organizirano i opremljeno skladište s poznavanjem tekućeg stanja zaliha, te s laganim i brzim određivanjem položaja svakog pojedinog predmeta, na zahtjev

— dobro organizirana nabavna služba, koja prati stanje zaliha i upotpunjuje ga, vodeći brigu o usvojenom općem planu preventivnog održavanja

— dobro organizirana i alatima dobro opremljena radionica

— dobro organizirano praćenje rada postrojenja, te s tim u vezi točan zapis povijesti postrojenja.

Skup podataka što pripada jednom postupku održavanja treba sadržavati:

— nacrte opreme koja podliježe toj aktivnosti sa svim potrebnim pojedinostima

— potreban opis aktivnosti i upute o tomu koji se zahvati i kojim redoslijedom izvode

— broj i kvalifikaciju osoblja potrebnog za obavljanje svakog zahvata

— uređaje, odnosno dijelove koji se ugrađuju ili zamjenjuju svakim od zahvata

— alate i posebne uređaje (npr. mosna dizalica) koji su potrebni za obavljanje svakog zahvata

— vrijeme potrebno za obavljanje svakog zahvata

— frekvenciju aktivnosti, tj. vremenski razmak predviđen između dva uzastopna jednaka postupka.

Osnovni podaci:

— podaci o aktivnostima

— plan preventivnog održavanja, remonta i zamjena

— popis opreme, dijelova i alata

— popis prijevoznih i prijenosnih uređaja

— popis osoblja

— popis skladišnih prostorija, njihova organizacija i namjena

— popis radioničkih postrojenja, njihova organizacija i namjena.

Tekući podaci

— zahtjev za pokretanjem aktivnosti preventivnog održavanja, remonta ili zamjene

— zahtjev za bitnim uklanjanjem kvara

— zahtjev za nabavu opreme, dijelova ili alata

— nazočnost osoblja na poslu

— dodjeljivanje alata i alatnih strojeva

— dodijeljenost vozila i uređaja za rukovanje

— tekuće stanje zaliha opreme, dijelova i alata.

Povijesni podaci

— povijest postrojenja

— povijest poticajnih i povratnih dokumenata

— povijest alata

— povijest osoblja.

Poticajni dokumenti izdaju se u obliku skupa radnih naloga i izdatnica dijelova i alata.

Veza održavanja s financijsko-općim informacijskim podsistemom

— kadrovska evidencija

— predaja podataka potrebnih za obračun radnih naloga i obračun nabavâ

— financiranje nabave

— predaja podataka služi analizi i planiranju.

4. OBRADA PODATAKA ODRŽAVANJA

U vrijeme kad smo u našoj radnoj organizaciji odlučili pristupiti rješavanju problema održavanja termoenergetskih postrojenja, u elektroprivrednoj nam je djelatnosti bio na raspolaganju samo kartotečni sistem, koji se koristi u TE Obrenovac. Osnovna ideja je bila da se na takav ili sličan sistem, koji će nam poslužiti kao uzor, nakon njegove konačne razrade primijene odgovarajuće tehnike obuhvata, obrade i načini korištenja podataka iz sistema održavanja, a koje bi kao tehničku osnovicu imale elektronički sistem poslovno-opće namjene.

Uvođenjem automatske obrade podataka i u ostale poslovne funkcije RO, OOUR-a i RZ-a, u okviru cjelokupno zacrtane koncepcije tehničkog rješenja AOP-a poslovne-opće namjene, dobilo je i održavanje postrojenja svoje mjesto kao jedan od najprioritetnijih projekata.

4.1. Značenje automatske obrade podataka u djelatnosti održavanja postrojenja

Značenje automatske obrade podataka u postizanju veće djelotvornosti složenog sistema održavanja prvenstveno je u:

— organiziranom uskladištenju velikog broja podataka o predvidivim aktivnostima održavanja, dobivenih podrobnom identifikacijom tih aktivnosti; Pod predvidivim aktivnostima razumijevamo ne samo planirane aktivnosti preventivnog održavanja i remonta, već i zahvata za otklanjanje najčešćih kvarova.

— automatiziranom izdavanju poticajnih dokumenata po planu preventivnog održavanja i remonta (nalozi i upute)

— mogućoj automatiziranoj razdiobi poticajnih dokumenata, potvrdi njihovog primitka i identifikacije, te automatiziranom slanju povratnih izvještaja

— brzoj obradi primljenih povratnih izvještaja

— opsežnom vođenju i obradi povijesti održavanja

— brzom uzvratu informacijskog sistemu nastupu »neplaniranih« događaja (kašnjenja u odnosu na plan brzo otklanjanje kvara, neplanirani zastoji).

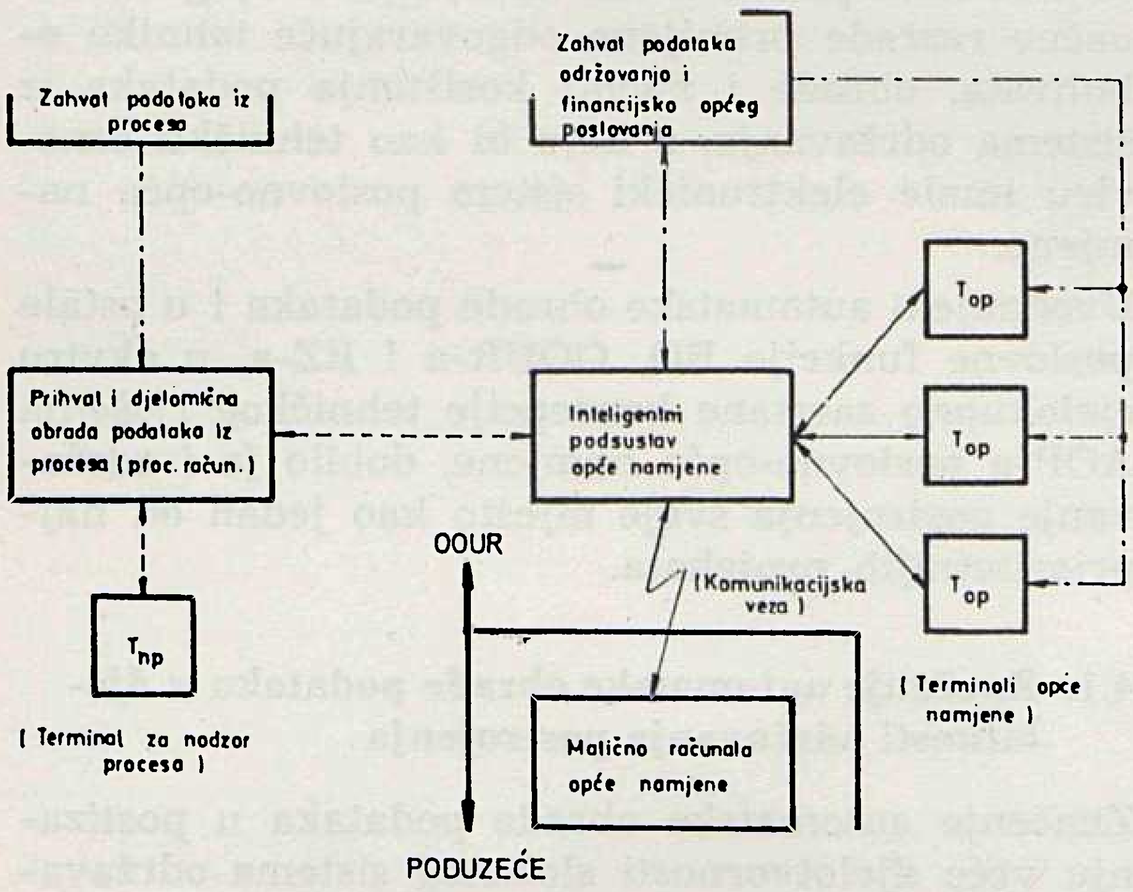
Kako su podaci koji pripadaju informacijskim sistemima financijsko-općeg poslovanja i održavanja dobrim dijelom zajednički (evidencija kadrova, odnosnih sredstava, dijelova alata, itd.), nameće se organizacija zajedničke baze podataka tih dvaju sistema.

5. OPREMA ZA AUTOMATSKU OBRADU PODATAKA

Oprema za AOP termoelektrana načelno je prikazana slikom 5.1. Oprema se može svrstati u dvije funkcionalne grupe:

— oprema za obradu namjene, koja služi automatiziranju informacijskih podsustava održavanja i financijsko-općih poslova

— oprema vezana za proces.



Sl. 5.1. Funkcionalni sastav opreme za AOF

Oprema opće namjene temelji se na podsustavu (terminalu) komunikacijski vezanom s matičnim računalom.

Jezgra opreme vezane za proces jest procesno ili mikroračunalo koje preko svojih ulaznih jedinica prihvaća podatke zahvaćene u procesu, obrađuje ih i prosljeđuje u željenom obliku i željenim redoslijedom na izlazne jedinice.

Ostaje još da se razmotri važno pitanje mogućnosti povezivanja procesnog dijela opreme s opremom opće namjene.

Bez obzira na visoku pouzdanost u radu koju posjeduje oprema za automatsku obradu podataka, treba računati s mogućnošću kvara na dijelu opreme ili na kratkotrajni ispad cjelokupne opreme iz rada. Zbog toga treba predvidjeti postupke i dokumente koji će osigurati skraćene zabilješke podataka i događaja kojima bi se popunili propušteni povijesni podaci pošto se kvar otkloni.

6. REALIZACIJA PROJEKTA ODRŽAVANJA U RADNOJ ORGANIZACIJI »ELEKTROPRIVREDA-ZAGREB« (ISKUSTVA I PROBLEMI)

U radnoj organizaciji »Elektroprivreda-Zagreb, formirana je 6. ožujka 1978. radna grupa za koordinaciju poslova na uvođenju informacijskog sistema vezanog uz aktivnosti na održavanju termoenergetskih postrojenja (OOUR TE Sisak, OOUR EL-TO, OOUR TE-TO, PE Jertovec).

Rad koordinacione grupe odvijao se po fazama vezanim uz prihvaćeni plan rada za projekt održavanja postrojenja.
Te faze su:

1. registriranje temeljnih podataka,
2. snimanje stanja skladišta,
3. popis postrojenja,
4. popis dokumentacije o postrojenju i tehnološke procedure održavanja.

Do sada je u potpunosti završeno »registriranje temeljnih podataka« koje obuhvaća:

— plan remonta i zamjena

— plan preventivnog održavanja

— popis osoblja na održavanju

— popis radioničkog prostora

— popis skladišnog prostora.

To je snimka postojećeg stanja održavanja na nivou poduzeća. Pisani materijali vezani za ovu fazu pod nazivom »Projekt održavanja I dio« od kolovoza 1979. godine omogućuju da se sagleda postojeće stanje održavanja na nivou radne organizacije, te se na temelju toga mogu izvesti zaključci o nedostacima takvog održavanja i predložiti poboljšanje koje će biti ukomponirano u projekt odr-

žavanja kao cjelinu (znači u sistemska rješenja i organizaciju održavanja podržavanu elektroničkim računalom).

Nakon završetka 1. faze prešlo se na aktivnosti obuhvaćene poslovima 2. faze, a to je snimka stanja skladišta. Ta je snimka, koja bi dala stanje skladišta uz prihvaćanje zajedničkog fifarskog sistema za materijale, rezervne dijelove i nomenklaturu postrojenja, preduvjet koji omogućuje postavljanje jedne organizacije od više poslova sa zajedničkim karakteristikama, a to su:

— materijalno knjigovodstvo, vođenje skladišta (optimiranje, i održavanje postrojenja (radni nalozi, preventivno održavanje, remont itd.).

Željeli bismo napomenuti da je u usvajanju šifarskog sistema izgubljeno najviše vremena i da je bilo mnogo nesporazuma jer se korisnici nisu željeli odreći stečenih navika i prihvatiti nove metode i organizaciju.

Koordinaciona grupa razmatrala je šifarski sistem koji je usvojila TE »Nikola Tesla« iz Obrenovca i sistem sistematizacije tehničke dokumentacije i djelovanja termoelektrana opisan u elaboratu »SADRŽAJ INVESTICIONIH PROGRAMA I GLAVNIH PROJEKATA TERMOELEKTRANA« (Materijal JUGEL-a), te nakon kritičkih analiza zaključila na svom sastanku 7. 6. 1979. da se prihvaća šifarski sistem koji ima TE »N. Tesla« i naša OOUR »TE-TO« (prvi započeli s ovim projektom još 1977. godine).

Predviđeno je da se posao oko šifriranja završi za godinu dana ako bi na njemu radila dva tehničara uz sadašnjeg koordinatora u svakom OOUR-u.

Paralelno se radi i na poslovima oko uvođenja materijalnog knjigovodstva koji će preuzeti skladište svakog OOUR-a posebno s postojećim šiframa, ako se drugačije ne dogovori. Uvođenje ovog paketa predviđa se u 1981. godini.

Gledajući održavanje kao dio jedne kompleksne organizacije poslova, treba imati na umu da je ono vezano za koncepciju opreme (kompjutor) preko koje će se izvoditi.

Uz definiranu opremu, te godinu i pol nakon njezina instaliranja može se pripremiti paket održavanja, pa će se već tada moći koristiti sve prednosti ovakvog načna održavanja, a to je statistika kvarova, plan remonta, prevetnivno održavanje, historijat sistema, štampanje radnih naloga, evidencija izvršioca itd.

Godina i pol bila bi potrebna za preuzimanje podataka, pisanje i testiranje programa, odnosno usvajanje nekog od već gotovih softvareskih paketa, koje smo u dosadašnjem radu razmatrali ili na osnovi njih razvijali određene pristupe (VORI, COPISCS) u realizaciji projekta održavanja.

7. MOGUĆNOSTI POVEZIVANJA U ZAJEDNIČKE PROJEKTE NA PLANU ODRŽAVANJA SA SR

Uskladištenje rezervnih dijelova potrebnih za normalnu pogonsku spremnost elektroenergetskih postrojenja u sadašnjem obliku (princip: svaki za sebe) nefunkcionalno je i neracionalno. Ideja o osnivanju tzv. centralnog skladišta elektroprivrednih organizacija udruženih u ZEOH, stara je, doduše, već gotovo desetak godina. Međutim, ove godine doživljava svoju reafirmaciju i pronalaze se konkretna rješenja za akciju.

Ovdje bi značajnu ulogu trebala odigrati radna organizacija »Elektroopskrba — Zagreb«, kao najznačajniji dobavljač, naročito pri zasnivanju i organizaciji novog sistema nabave, uskladištenja i korištenja zaliha, što se podrazumijeva pod pojmom centralnog skladišta elektroprivrede (CSE) koje bi bilo formirano pri ovoj članici Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske.

CSE bi imalo ove organizacijske dijelove:

— skladište pogonske spremnosti
— skladište društvenih materijalnih rezervi
— skladište za investicijsku izgradnju
— skladište rezervnih dijelova i materijala za tekuće održavanje
— skladište tehnički ispravne, ali tehnološki zastarjele opreme (demodirane zalihe — nekurentne zalihe)
— specijaliziranu transportnu službu
— službu tehničkog održavanja
— automatsku obradu podataka.

Iako je ovaj projekt u razradi, radna organizacija »Elektroprivreda — Zagreb« zainteresirana je već od samog početka njegove realizacije za suradnju zbog prije opisanih započetih poslova na uvođenju suvremenije organizacije poslova održavanja postrojenja uz primjenu AOP-a, a i zbog toga jer je upravo u svibnju 1980. god. preseljena čitava služba za AOP s opremom i kadrovima u poslovni prostor »Elektroopskrbe — Zagreb«.

Uvaživši prethodno izneseno, stvoreni su tako dobri uvjeti za kvalitetnu i neposrednu suradnju, te zajedničko rješavanje problema od obostranog interesa, koji će uz objektivno moguć i realno sagledan pristup i ulaganja donijeti već 1981. godine prve rezultate, posebice na realizaciji projekta održavanja elektroenergetskih postrojenja u operativnom i troškovnom pogledu.

8. UMJESTO ZAKLJUČKA

Realizacija ovakvih projekata je moguća i primjenom odgovarajuće opreme za AOP mogu se postići vrhunski rezultati u operativnom i dohovnom smi-

slu. Isto tako autor smatra da bi primjena AOP-a baš u ovim dijelovima poslovanja svake radne organizacije u elektroprivrednoj djelatnosti mogla naći svoj puni smisao i ekonomsko opravdanje, s više prednosti i koristi nego što imamo danas u vlastitoj praksi. No za realizaciju ovakvih projekata treba još mnogo učiniti na planu organizacije poslovanja, ulaganja u kadrove na svim razinama, kao i u potrebnu opremu za AOP, te dobiti svakodnevne bitke za promjenu starih shvaćanja i stečenih navika.

Literatura:

V. Perinić, S. Jarnjak: Idejni projekt osnovnog informacijskog sistema poslovno-opće namjene EPZ, Zagreb, lipanj 1979.

J. Matjan, V. Perinić, S. Jarnjak: Organizacija informacijskog sistema u termoelektrani, Bled, 1978, Informatica

Materijali poduzeća IBM: Copics, 1—VIII, New York, 1978.

Materijali RO EPZ: Projekt održavanja postrojenja, snimka stanja — dio I, Zagreb, 1978.

Key words:

DATA PROCESSING
GENERATION ASSEMBLY
MAINTENANCE

POSSIBILITIES OF DATA PROCESSING APPLICATIONIN MAINTENANCE OF ELECTRIC GENERATION ASSEMBLIES

In the article some basic presumptions for data processing in business are presented. Some possibilities and ways of application for enterprise »Elektroprivreda — Zagreb«, with short review of experience in another organizations are discussed.

MÖGLICHKEITEN DES EINSATZES DER AUTOMATISCHEN DATENVERARBEITUNG BEI DER INSTANDHALTUNG VON STROMVERSORGUNGSANLAGEN

Erörtert werden grundsätzliche Bedingungen für den Einsatz von Einrichtungen einer automatischen Datenverarbeitung in der Geschäftsführung. Der Verfasser untersucht bestimmte Möglichkeiten und Formen der Durchführung einer derartigen Datenverarbeitung in elektrizitätswirtschaftlichen Unternehmungen der »Elektrizitätswirtschaft Zagreb« mit einem kurzen Rückblick auf die bisherigen Ergebnisse in anderen Arbeitsorganisationen.

ВОЗМОЖНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ЄЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Разработаны основные предпосылки рля автоматической обработки данных по обслуживанию электроэнергетических установок. Рассмотрены определенные возможности и способ реализации подобной обработки в трудовой организации »Электропривреда-Загреб«; сделан краткий обзор достигнутых до настоящего времени результатов в других трудовых организациях.

Naslov pisca:

Vnko Perinić, dipl. ing.
»Elektroprivreda - Zagreb«

Energija God. 30 (1981) br. 5—6, 227—239

PRIJEDLOG POJEDNOSTAVNJENJA DISTRIBUTIVNE ELEKTRIČNE MREŽE GRADA RIJEKE

Branko Damjanović, Rijeka

U ovom se članku daju smjernice za pripremu distributiv ne električne mreže užeg područja grada Rijeke za primjenu efikasnije prekostrujne zaštite. Ta se priprema sastoji u pojednostavnjenju mreže usvajanjem radijalnog sistema razvoda gdjegod je to tehnički bilo lako izvodljivo i s mogućnošću napajanja svih trafostanica preko još jednog rezervnog kabela bez obzira na naponski nivo.

Ključne riječi:
Gradska električna mreža
Relejna zaštita

UDK 621.316.1
Stručni rad

1. UVOD

S porastom opterećenja, a time i povećanjem broja transformatorskih stanica, distributivna mreža grada Rijeke postaje sve razgranatija pa kontrola pogonskog stanja, a još više upravljanje tom mrežom za vrijeme nenormalnih prilika postaje sve složenije.

Da bi se u svakom momentu imala što preglednija slika stanja mreže, potrebno je usvojiti neka načela kojih se treba pridržavati ne samo kod izgradnje novih objekata nego i kod rekonstrukcije i proširenja postojeće mreže.

Odmah u početku treba naglasiti da je svaka distributivna mreža jedinstvena cjelina kojoj se trebaju potčiniti svi elementi koji je sačinjavaju, i to redom od višeg prema nižem naponu, od izvora prema krajnjem, najnižem trošilu. Prema tome, prioritet bi imali kabeli i nadzemni vodovi 35 kV ispred trafostanica 35/10 kV, a ove ispred kabela i vodova 10 kV, i tako redom do posljednjeg trošila — do žarulje.

Čak kad se i ne bismo pridržavali navedenih principa i redoslijeda, vodovima i kabelima 35 kV bismo morali posvetiti više pažnje nego stanicama 35/10 kV iz više razloga:

1. preko jednog se voda ili kabela napaja više transformatora 35/10 kV, pa čak i više stanica;

2. na nadzemnim vodovima kvarovi se češće događaju, a na kabelima teže uočavaju i dulje uklanjaju;

3. elementi vodova i kabela ne zastarijevaju tako brzo kao elementi stanica (vijek trajanja im je dulji).

Naprotiv, distributivne se stanice, naročito 35/10 kV, nikako ne smiju promatrati — ponovimo još jednom — odvojeno ili iznad mreže 35 kV, već se moraju uklopiti u postojeću distributivnu mrežu, pa im kao takvima ne treba pridavati neko naročito značenje u mreži i graditi ih kao primarne stanice s vrlo složenom i s glomaznom elektroopremom, kao i s velikom rezervom radi »što pouzdanijeg napajanja potrošača«. Pretjerana bojazan daje sasvim suprotan rezultat: umjesto pouzdanog napajanja, naročito u kritičnim momentima, često puta dolazi, zbog kompliciranosti postrojenja, do zatajivanja skupe automatike, a zbog složenog održavanja, rukovanja i nesnalažljivosti dežurnog osoblja do pogrešnog manevra, i to baš u vrijeme kada se traži najveća prisebnost toga osoblja.

Da bi distributivna mreža bila pouzdana i pregledna, mora se osloboditi onih elemenata koji su »radi sigurnosti« postali svrha sami sebi. Stoga na postojećim objektima treba sve takve elemente zanemariti kao da uopće ne postoje ili sasvim ukloniti, a ostaviti samo one koji će stvarno dati optimalne rezultate u pogledu zaštite ljudi i sigurnosti pogona.

Najpreglednija i najjednostavnija će se mreža dobiti (iako ne najekonomičnija) ako se za normalan pogon za sva tri naponska nivoa usvoji radijalno napajanje.

Gledajući tako, svaki će objekt u distributivnoj mreži dobiti svoju pravu vrijednost, bez obzira na to da li je on već izgrađen ili se ima izgraditi. Objekt će se ne samo lako uklopiti u mrežu, jer će se već unaprijed znati što se od njega zahtijeva, nego će postati vrlo jednostavan, a kao posljedica ove jednostavnosti pojeftinit će izvedba, brzo će se izgraditi i lako staviti u pogon.

Budući da se na podzemnim kabelima, a naročito na nadzemnim vodovima očekuju kvarovi koji mogu prouzrokovati dulje prekide i ostaviti veći broj potrošača bez električne energije, potrebno je svakoj stanici 35/10 kV i većem broju stanica 10/0,4 kV koje napajaju važnije potrošače (bolnice, pošte, hotele, ustanove, industrijska postrojenja) osigu-

rati dvostrano napajanje: normalno iz glavne stanice, a u izuzetnim prilikama:

— preko rezervnog kabela ili nadzemnog voda iz neke druge stanice ili

— iz pomoćnog izvora (lokalne elektrane).

2. OBJAŠNJENJE PRINCIPA MREŽE NA JEDNOM PRIMJERU

Na sl. 1 prikazan je na jednom ilustrativnom primjeru princip napajanja triju tipičnih transformatorskih stanica 35/10 kV (TS-f, TS-h i TS-i) iz TS 110/35 kV (TS-A, TS-B i TS-C), zatim dio distributivne mreže s napojnim i rezervnim kabelima 35 kV, te kabelima 10 kV na kojima — zbog preglednosti — nisu ucrtane transformatorske stanice 10/0,4 kV.

Usvajanjem radijalnog sistema napajanja mreže, te mogućnosti paralelnog rada dvaju transformatora (do 8 MVA svaki primarne i sekundarne sabirnice u svim stanicama se pojednostavnjuju, sve se dvostruke sabirnice svode na jednostruke, ali tako da drugi sistem dvostrukih sabirnica postaje produženje prvog sistema.

Treba naglasiti da se jedno polje, ako se priključuje na prvi sistem sabirnica, nikako ne smije spajati ni prebacivati na drugi sistem i obratno. Zbog toga rastavljači određenog strujnog kola prema jednom sistemu moraju biti stalno otvoreni i blokirani. Jedino se dopustilo da se veza između ovih dvaju sistema odnosno između glavnih i produženih sabirnica uspostavi preko prekidača u spojnom polju.

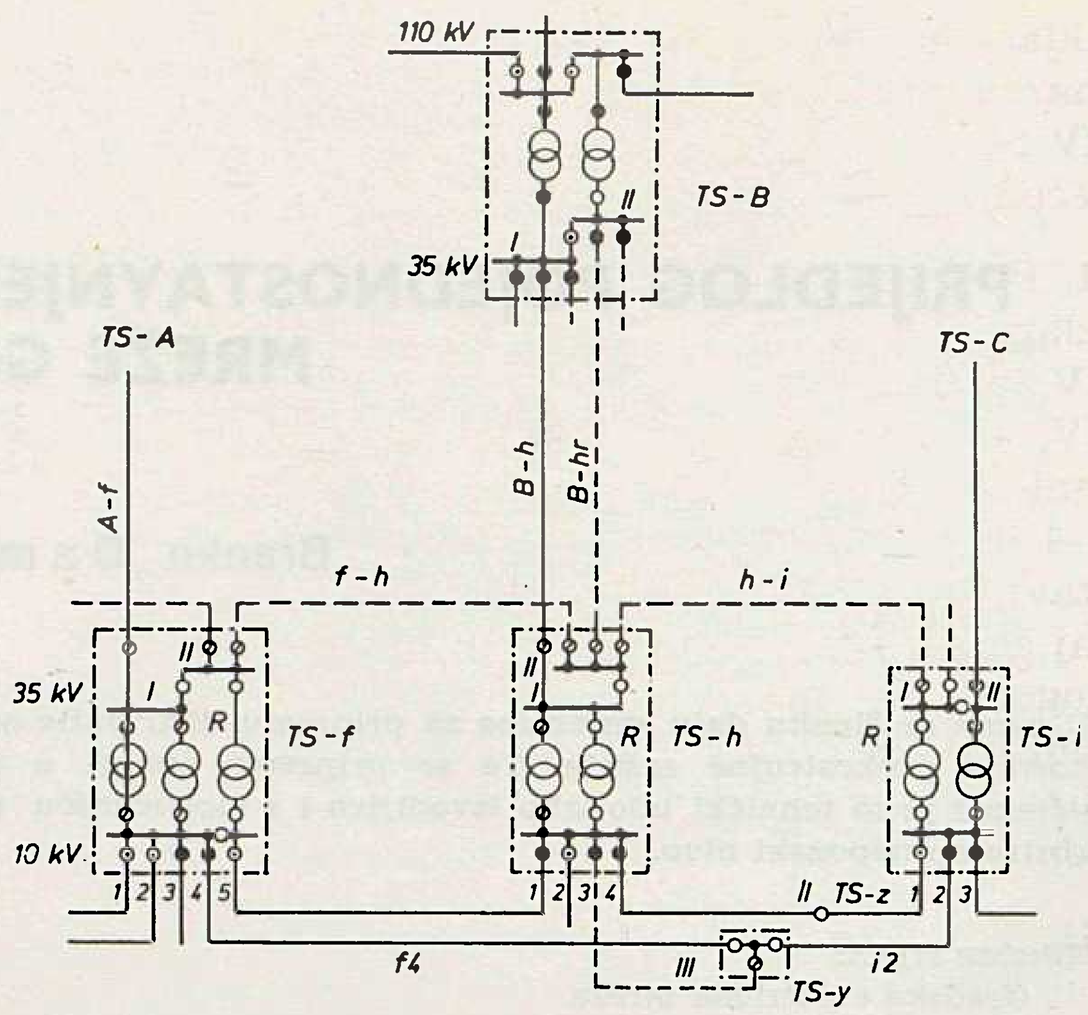
Ipak, da bi se vidjelo koliko je polja iskorišteno iz prvog, a koliko iz drugog sistema sabirnica 35 kV i da bi se istakla razlika u njihovoj funkciji, na sl. 1. donje će sabirnice biti prikazane u normalnom pogonu, dok će gornje — koje se ovdje tretiraju kao produžene — služiti kao rezerva.

Kako će se dvostruke sabirnice transformirati u jednostruke (produžene), kasnije će se detaljnije opisati.

Zbog paralelnog rada dvaju transformatora svi su kabeli 35 kV dimenzionirani tako da mogu preuzeti čitavo opterećenje jedne stanice s dva transformatora, od kojih je svaki snage 8 MVA, čak i u trenutku preopterećenja. Dakle, svaka se stanica 35/10 kV napaja svojim vlastitim kabelom presjeka Cu 3 × 150 mm².

Ako se bude montirao veći broj transformatora, onda se oni moraju podijeliti u grupe po dva, dok transformatori veće snage (na pr. 16 MVA) moraju raditi odvojeno.

Radi preglednosti na shemi (Sl. 1) nisu ucrtani na primarnoj i na sekundarnoj strani rastavljači, strujni, naponski i kućni transformatori, a na kabelima 10 kV kompletne transformatorske stanice 10/0,4 kV.



Sl. 1.

Napomena: Ako nije posebno naglašeno, navedene oznake vrijede za sve slkie u ovom članku.

Kabeli kojima se u normalnom pogonu napajaju trafostanice 35/10 kV označeni su punom debljom crtom, dok su iscrtkanom linijom označeni rezervni.

Iste oznake vrijede i za kabele 10 kV.

Ne ulazeći detaljnije u električnu shemu i u način rada transformatorskih stanica 110/35 kV, ipak se preporučuje da jedan transformator 110/35 kV — u normalnom pogonu — napaja preko jednog sistema sabirnica (na pr. I) i kabela 35 kV distributivne stanice 35/10 kV, dok se drugi transformator 110/35 kV sa sabirnicama II i na njih priključenim kabelima predviđa da stoji kao rezerva ne samo za one stanice 35/10 kV koje se normalno napajaju iz stanice rezervnog transformatora, nego i iz drugih stanica 110/35 kV.

Treba napomenuti da će se rezervni kabeli stalno držati pod naponom i odmah automatski uključiti čim nestane napona na jednom od napojnih kabela. Također je sistem napajanja trafostanica 10/0,4 kV usvojen radijalan, a osigurano je napajanje stanica i s druge strane. Ovaj sistem može imati više mogućnosti, od kojih će se izabrati tri najjednostavnije:

I. Po prvoj početak kabela izlazi iz jedne stanice 35/10 kV, a završava u drugoj stanici 35/10 kV. Tako će npr. kabel f-h sa sl. 1 izlaziti iz stanice TS-h i završavati — bez prekida — na otvorenom pre-

kidaču u trafostanici TS-f. U normalnom pogonu maksimalno opterećenje priključenih stanica 10/0,4 kV ne smije premašiti dopunjenu vrijednost opterećenja kabela.

II. Prema ovoj mogućnosti dva se kabela, koji izlaze iz iste ili iz dviju odvojenih stanica 35/10 kV, priključuju na sabirnice jedne stanice 10/0,4 kV, ali su u normalnom pogonu međusobno odvojeni isključenim rastavljačem snage. Izlazni kabeli h-4 iz TS-h i i-l iz TS-i sa sl. 1 završavaju na rastavljaču u trafostanici TS-x. U slučaju potrebe taj se rastavljač uključuje, a opterećenje se s jednog kabela prebacuje na drugi. Tako se iz varijante II dobije varijanta I. Zbog istodobnih maksimalnih struja obaju kabela ne smije premašiti dopuštenu (norminalnu) struju opterećenog kabela.

III. Treća mogućnost zahtijeva još jedan, treći kabel koji se stalno drži pod naponom i, po mogućnosti, neopterećen. Služi kao puna rezerva jednome od dvaju kabela, pa se mora dimenzionirati na istu nominalnu struju kao i kabel kojega će zamjenjivati. Zbog toga se sva tri kabela priključuju preko rastavljača snage na zajedničke sabirnice 10 kV stanice 10/0,4 kV (TS-y na sl. 1). Rastavljač rezervnog kabela bit će stalno uključen, a rastavljači ostalih dvaju kabela će biti otvoreni.

Ove će se trafostanice u daljnjem tekstu nazivati rasklopnicama 10 kV.

3. POJEDNOSTAVNJENJE MREŽE RIJEKE

Koristeći se usvojenim principima, shema napajanja distributivne mreže 35 kV pogona Rijeka dobila je oblik kao na sl. 2., gdje je ucrtan položaj stanica 110/35 kV i 35/10 kV sa shematski ucrtanim trasama kabela i vodova 35 kV koji ove stanice napajaju. Treba napomenuti da su punom crtom prikazani vodovi i kabeli koji normalno napajaju stanice, a isprekidanom crtom ucrtani rezervni (o tome kasnije).

Na sl. 3. prikazana je pojednostavnjena jednopolna shema užeg područja Rijeke, i to samo one stanice koje se na sl. 2. nalaze u uokvirenom području. Te su stanice, osim punog naziva, označene i malim, a stanice 110/35 kV velikim slovima abecede.

Da bi se prema usvojenim principima električne sheme postojećih trafostanica 35/10 kV uklopile u mrežu 35 i 10 kV, treba izvršiti — ponovimo još jednom — pojednostavnjenja koja će se sastojati u zanemarivanju onih elemenata koji nisu prijeko potrebni za bolje funkcioniranje stanice u okviru jedne veće cjeline: distributivne mreže grada Rijeke.

Kao primjer za pojednostavnjenje uzet će se dvije stanice: TS 35/10 kV »Turnić« (TS-c) i TS 35/10 kV »Industrija« (TS-b). Prva je uzeta kao primjer kod koje postoji mogućnost pojednostavnjenja primarnog i sekundarnog dijela, iako je po broju polja najveća na području pogona Rijeka i kod koje su montirana tri energetska transformatora.

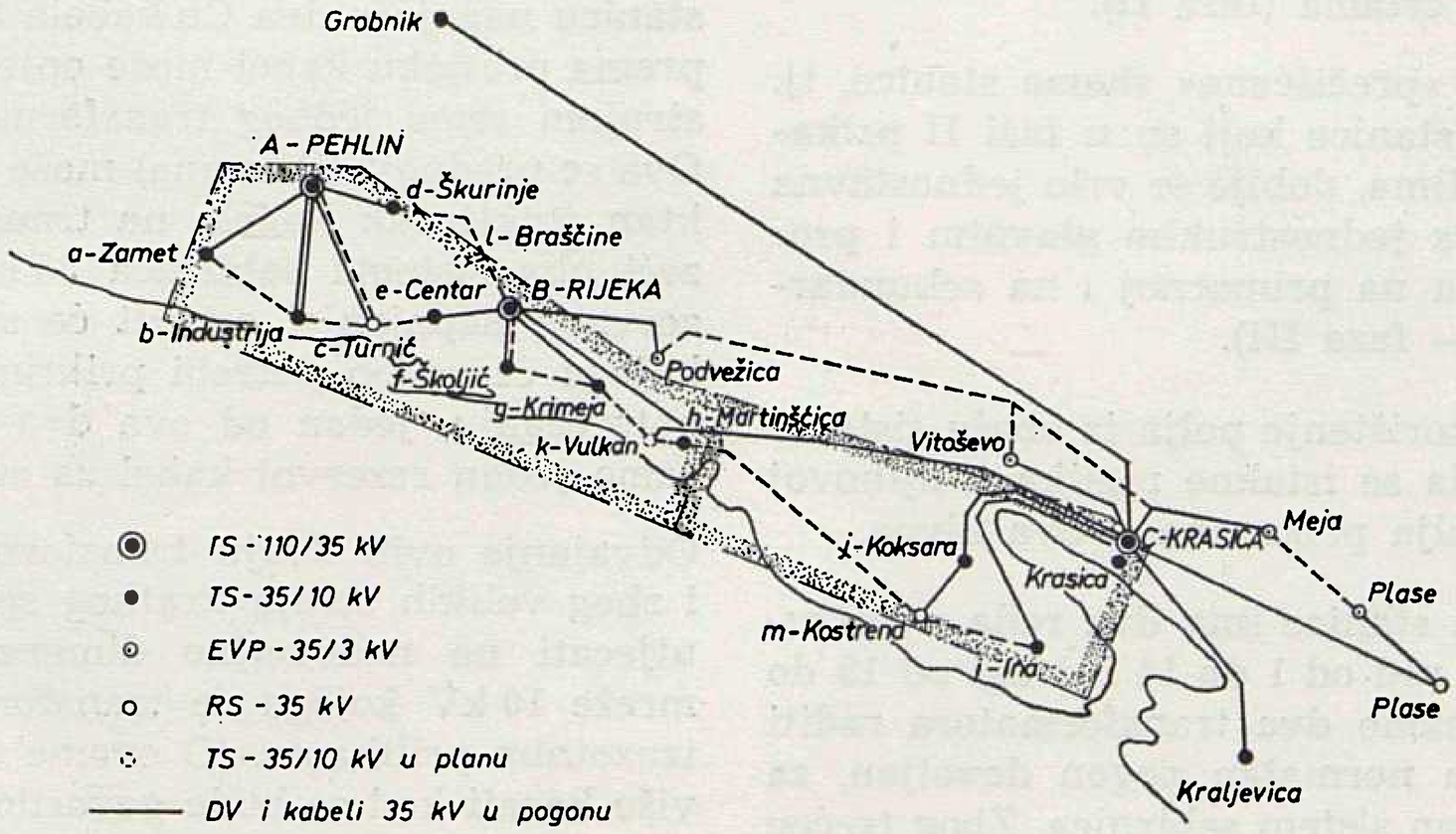
Iako će u ovoj stanici ostati onakvo stanje kakvo je sada, na ovom se primjeru (kao i na ostalima) željelo pokazati koliko je polja i sabirnica nepotrebno izvedeno. Ovakva je izvedba zahtijevala veći građevinski dio stanice, a posljedica je veliko poskupljenje objekta.

Naprotiv, kod drugog je primjera poželjno izvesti rekonstrukciju primarnog dijela iz dva razloga:

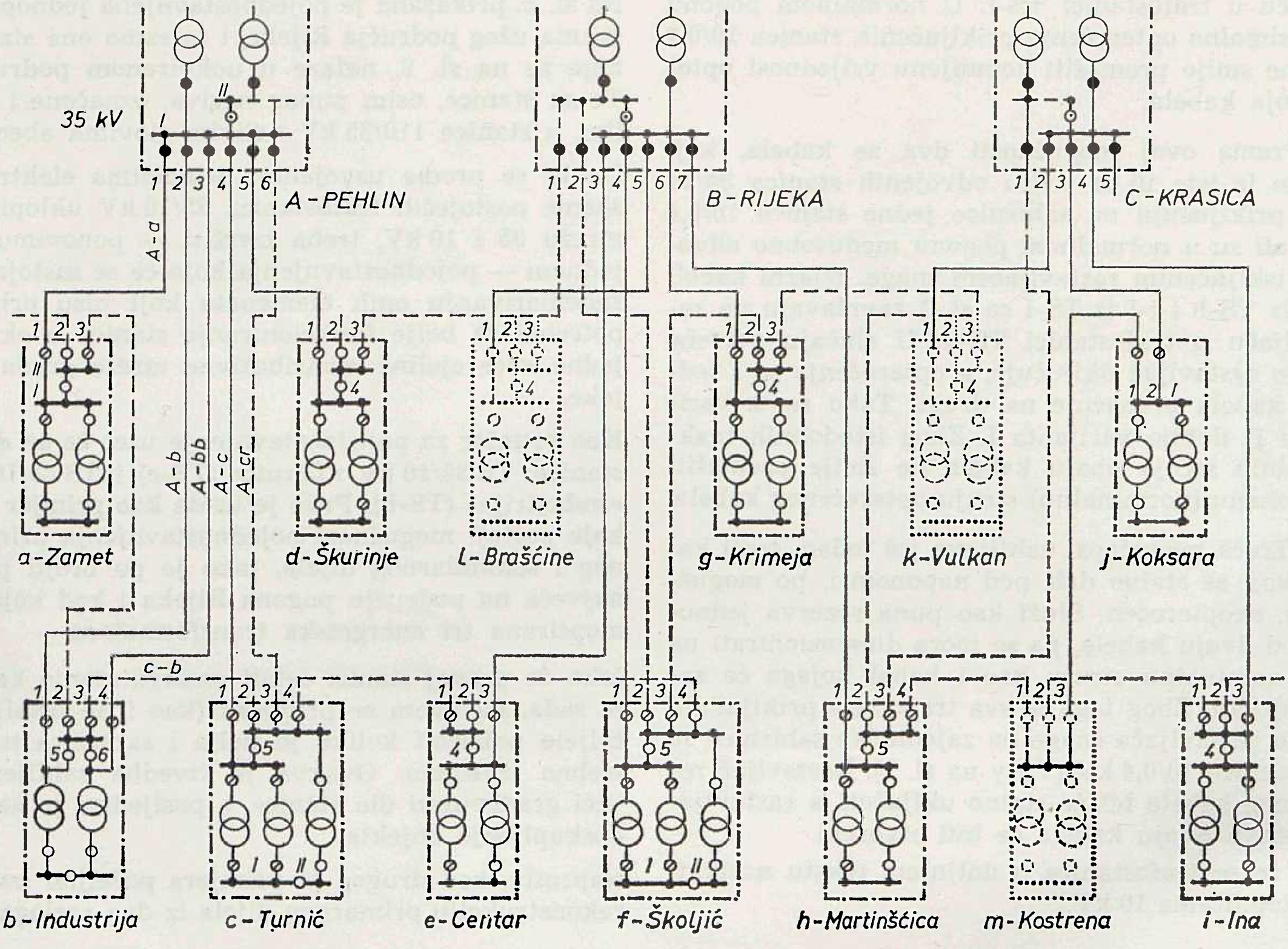
1. zato što se sabirnice pojednostavnjuju,

2. zato što postojeće (dvostruke) sabirnice moraju udovoljiti zahtjevima odvojenog rada transformatora 16 MVA, a istodobno poslužiti kao rezerva ostalim stanicama.

Na ostalim stanicama 35/10 kV, koje su uglavnom izvedene na klasičan način, neće biti potrebno izvesti nikakve preinake. Ako ponegdje do toga i dođe, neće bitno mijenjati principijelnu shemu prikazanu na sl. 3.



Sl. 2.



Sl. 3.

TS »Turnić« — Uspoređujući jednopolnu shemu primarne strane TS »Turnić« (Sl. 4 — Faza I) sa shemom prikazanom na sl. 3, vidimo da su neka polja suvišna ili uopće nisu iskorištena.

Iako će raspored polja u stanici ostati neprimijenjen, ipak bi se prikladnom (teorijskom) preraspodjelom polja drugi sistem dvostrukih sabirnica na primarnoj strani znatno skratio a sveo na jednostruke ,ali kao produženje prvih. Da se to istakne, aktivne sabirnice i izvodi transformatorskih polja ucrtani su debljim crtama (faza II).

Ako se ucrta nova »prečišćena« shema stanice, tj. samo oni elementi stanice koji su u fazi II prikazani debljim simbolima, dobije se vrlo jednostavna jednopolna shema s jednostrukim glavnim i produžnim sabirnicama na primarnoj i na sekundarnoj strani (sl. 4.a — faza III).

Da se bolje vidi iskorištenje polja iz obaju sistema sabirnica 35 kV i da se istakne razlika u njihovoj funkciji, ova su polja prikazana u dva nivoa.

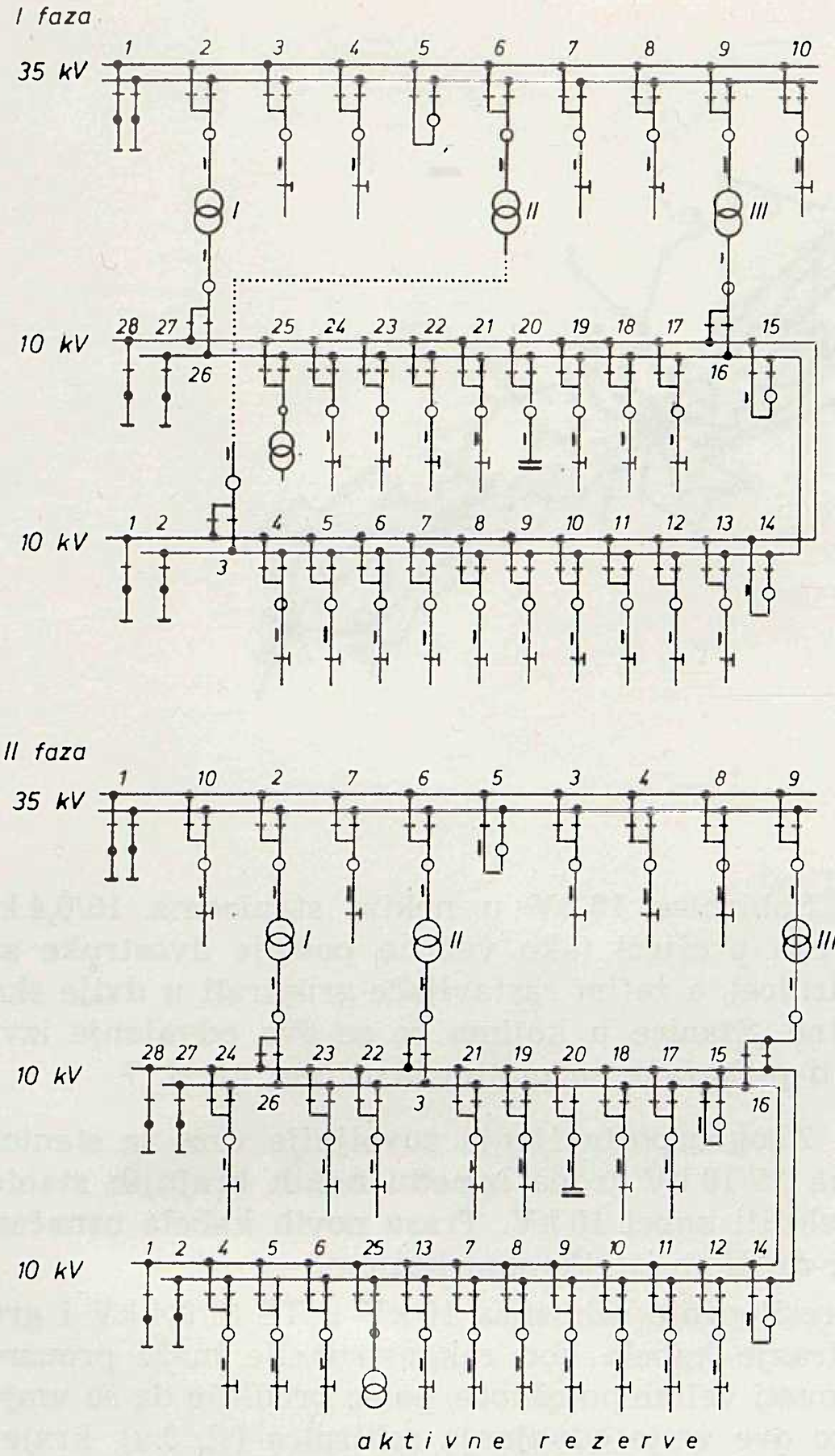
Sekundarna strana stanice ima dva reda dvostrukih sabirnica: prvi red od 1 do 14 i drugi od 15 do 28. Budući da će samo dva transformatora raditi paralelno, to je za normalan pogon dovoljan, za oba reda, samo jedan sistem sabirnica. Zbog trećeg transformatora, koji će služiti kao rezerva ne samo jednom transformatoru vlastite stanice, nego i za susjedne, ostavit će se na sekundarnoj strani također drugi sistem sabirnica (dva nivoa).

Dvostruke sabirnice, zbog istih razloga, ostaju i u TS »Školjić« (TS-f).

TS »Industrija« — Na sl. 5 prikazane su tri faze toka pojednostavnjenja jednopolne električne sheme primarnog dijela 35 kV stanice 35/10 kV »Industrija«. Stanica je predviđena za definitivnu montažu dvaju transformatora od 16 MVA, iako su sada montirana dva svaki snage od 8 MVA. Kako stanicu napajaju dva Cu kabela $3 \times 150\ mm^2$, to se prema presjeku kabel može opteretiti nominalnom strujom samo jednog transformatora od 16 MVA. Ova se prednost (ili mana) može iskoristiti za direktan priključak kabela na transformator zaobilazeći oba sistema sabirnica 35 kV. Ipak, radi rezervnog napajanja, ostavit će se jedan sistem na kojega će se po potrebi priključiti, u ovisnosti o opterećenju, jedan od ova dva transformatora ili samo jedan rezervni kabel za susjedne stanice.

Odvajanje ovih dvaju transformatora poželjno je i zbog velikih struja kratkog spoja koje bi mogle utjecati na nedovoljno dimenzionirani onaj dio mreže 10 kV kojega će transformatori napajati u izuzetnim prilikama. (O ovome će se kasnije nešto više kazati kad se bude govorilo o zaštiti).

Kako se sada primarna strana s dvostrukim sabirnicama (postojeće stanje I faza na sl. 5) sastoji



Sl. 4.

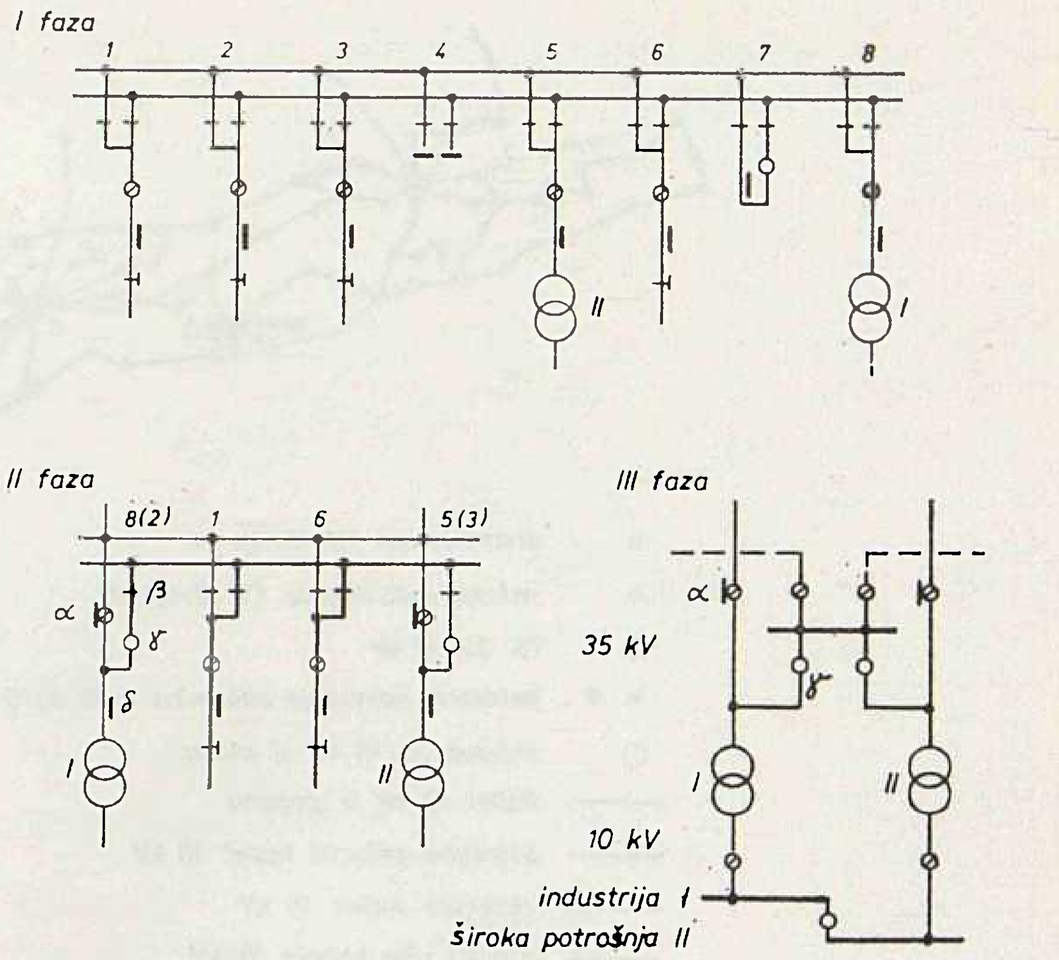
Sl. 4.a

35 kV

1 — Mjerenje
2 — Trafo I
3 — Industrija
4 — Centar
5 — Spojno
6 — Trafo II
7 — Pehlin II
8 — Pehlin I
9 — Trafo III
10 — Rezerva

10 kV

1 — Mjerenje
2 — Mjerenje
3 — Trafo II
4 — Rezerva
5 — Rezerva
6 — Rezerva
7 — Trogirska
8 — Napojna
9 — Krnjevo
10 — Turnić 3
11 — Bajamonti
12 — Peradarstvo
13 — Rezerva
14 — Spojno
15 — Spojno
16 — Trafo III
17 — Čandek I
18 — Duella
19 — Štamparija
20 — Kondenzator
21 — Volta — kab. 9
22 — Volta — kab. 10
23 — Volta — kab. 4
24 — Rafinerija
25 — Kućni
26 — Trafo I
27 — Mjerenje
28 — Mjerenje

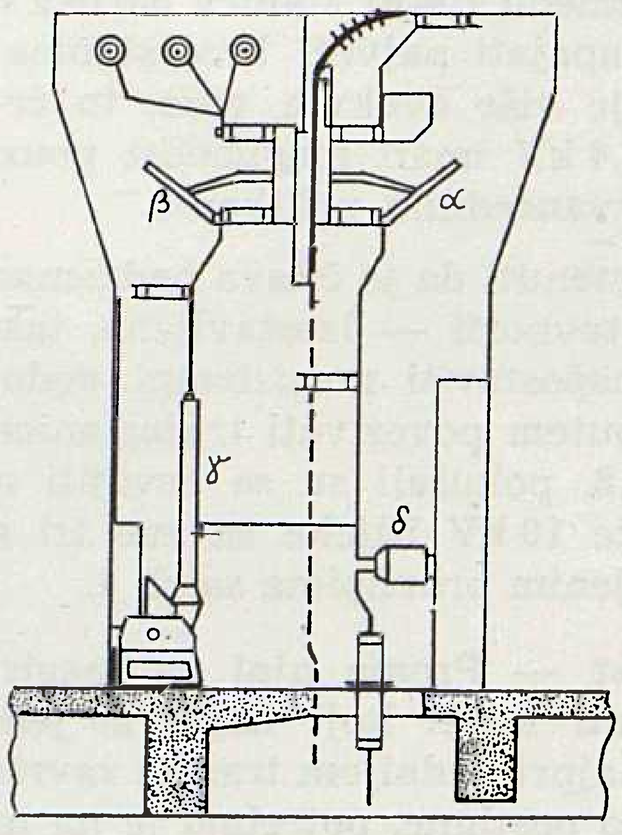


Sl. 5.

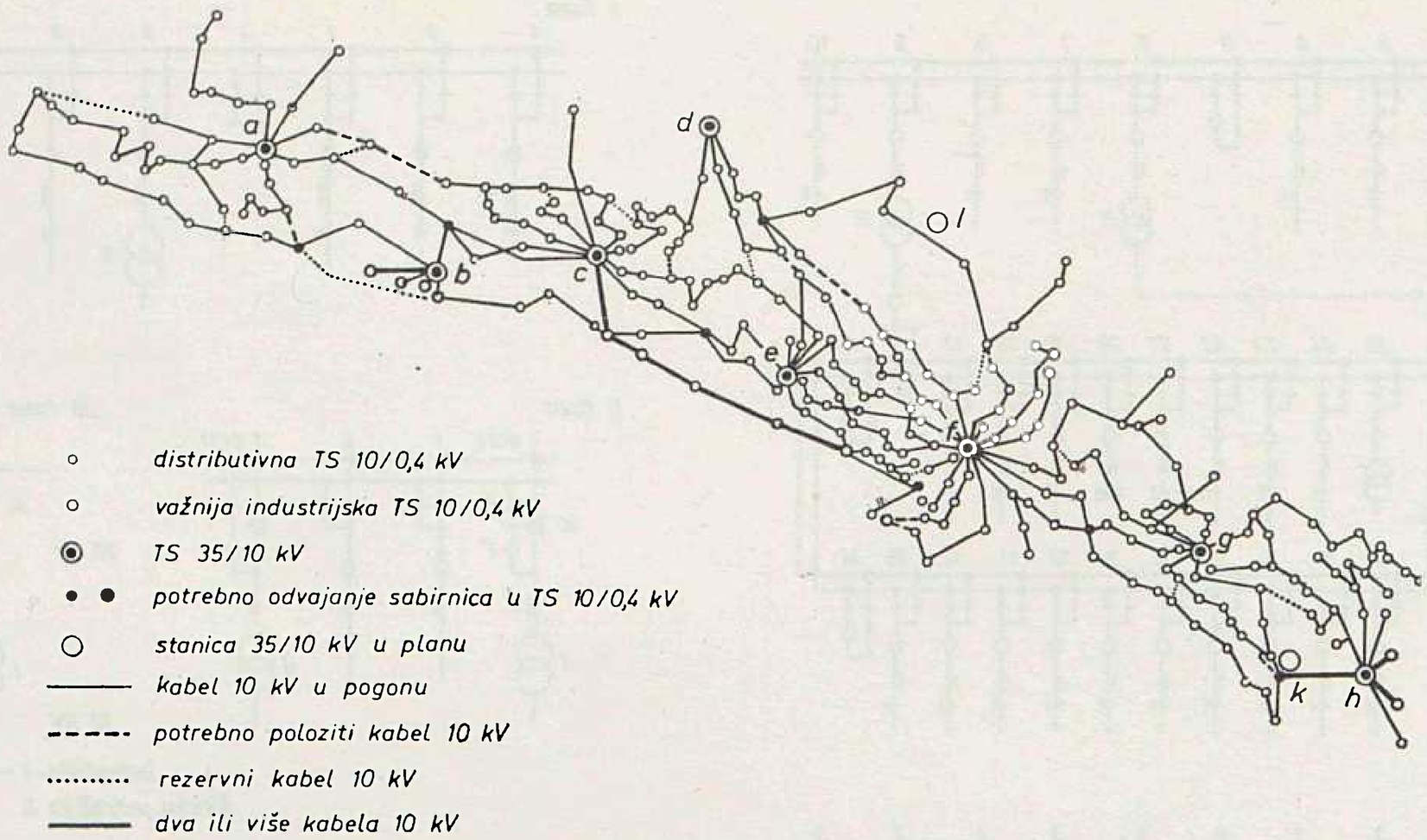
od 8 polja: 4 vodna, 2 transformatorska, 1 mjerno i 1 spojno, to se vještom kombinacijom može vod-

1 — Zamet
2 — Pehlin I
3 — Pehlin II
4 — mjerenje
5 — Trafo II
6 — Turnić
7 — Spojno
8 — Trafo I
α — Rastavljač snage sa noževima za uzemljenje
β — Rastavljač
γ — Sklopka
δ — Strujni trafo

no i transformatorsko polje spojiti u jedno zajedničko gdje će kabel 35 kV TS »Pehlin« s transformatorom od 16 MVA činiti jednu cjelinu — »blok-spoj«. U tu će se svrhu ćelija transformatorskog polja morati nešto preinačiti. Uklanjanjem jednog sistema sabirnica gornji se rastavljač snage direktno priključuje na kabel 35 kV (sl. 6). Rastavljač na gornjoj strani mora imati noževe za uzemljenje. Ostale se preinake vide na slici.



Sl. 6.



Sl. 7.

Ako zanemarimo spojno i mjerno polje, dobije se postrojenje 35 kV s jednostrukim sabirnicama i s četiri ćelije, od kojih samo dvije ostaju dvostruke (transformatorske), a ostale dvije (vodna polja rezervnih kabela) postaju jednostruke (sl. 5 — faza II).

Radi prilagođavanja shemi mreže na fazi III (sl. 5) dano je krajnje rješenje.

Budući da će transformatori morati stalno raditi odvojeno, to se jedan sistem sabirnica s drugim sistemom sekundarne strane 10 kV nikako ne smije spojiti paralelno. To će spajanje biti jedino moguće ako se jedan transformator trajno isključi.

Mreža 10 kV — Iako se kabelska mreža 10 kV Rijeke napaja radijalno iz trafostanica 35/10 kV, ipak je ona po svojoj konfiguraciji dosta nepregledna i složena. Naročito se to iskazuje u izvanrednim prilikama, za vrijeme kvara jednog kabela 10 kV, a još više kod većih kvarova. Zato će se ovdje pokušati pojednostaviti kabelska mreža oblikujući je tako da se izaberu i usvoje magistralni kabeli 10 kV koji će s jedne strane uspostaviti najprikladniju vezu između dviju stanica 35/10 kV, a s druge strane napajati najveći broj stanica 10/0,4 kV. Što se dobije više ovakvih veza, to će veći broj stanica 10/0,4 kV imati mogućnost pouzdanog napajanja u izvanrednim prilikama.

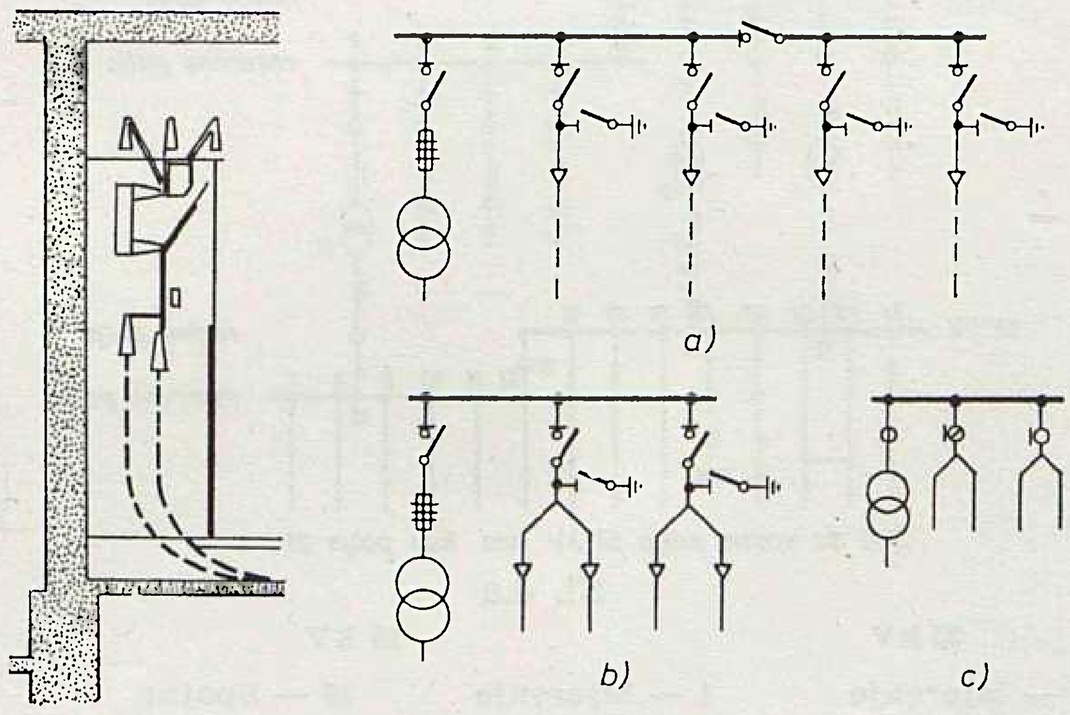
Treba napomenuti da je čitava nadzemna mreža — zbog jednostavnosti — izostavljena, iako se i ovdje mogu uspostaviti magistralni vodovi koji će najkraćim putem povezivati trafostanice 35/10 kV. Na sl. 7. i 8. pokušali su se usvojiti magistralni kabeli mreže 10 kV Rijeke za sve tri mogućnosti prema usvojenim principima sa sl. 1.

I. mogućnost — Prema njoj za magistralni vod treba izabrati kabel koji izlazi iz jedne stanice 35/10 kV i najprikladnijom trasom završava u drugoj. Da se to postigne, potrebno je na mreži 10 kV izvršiti ove preinake i nadopune (sl. 7):

1. Sabirnice 10 kV u nekim stanicama 10/0,4 kV treba presjeći (ako već ne postoje dvostruke sabirnice), a zatim rastavljače grupirati u dvije skupine. Stanice u kojima će se ovo odvajanje izvršiti prikazane su punim kružićem na sl. 7.

2. Zbog uspostavljanja povoljnije veze sa stanicama 35/10 kV treba između nekih krajnjih stanica položiti kabel 10 kV. Trasa novih kabela označena je debljom iscrtkanom linijom.

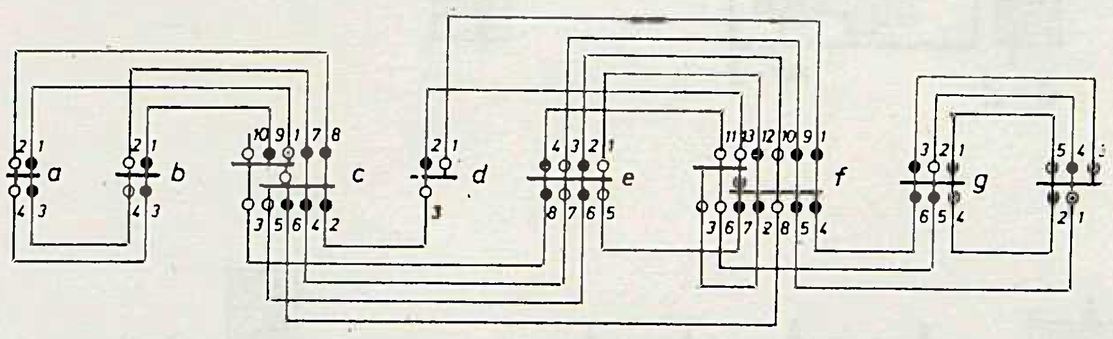
Presijecanje sabirnica 10 kV u TS 10/0,4 kV i grupiranje kabela kod rekonstrukcije može prouzrokovati velike poteškoće, pa se predlaže da se umjesto ove vrste odvajanja sabirnica (sl. 8.a), krajevi dvaju kabela spoje na jedan isti rastavljač usvajanjem sistema »glava na glavu« (sl. 8.b). Takva



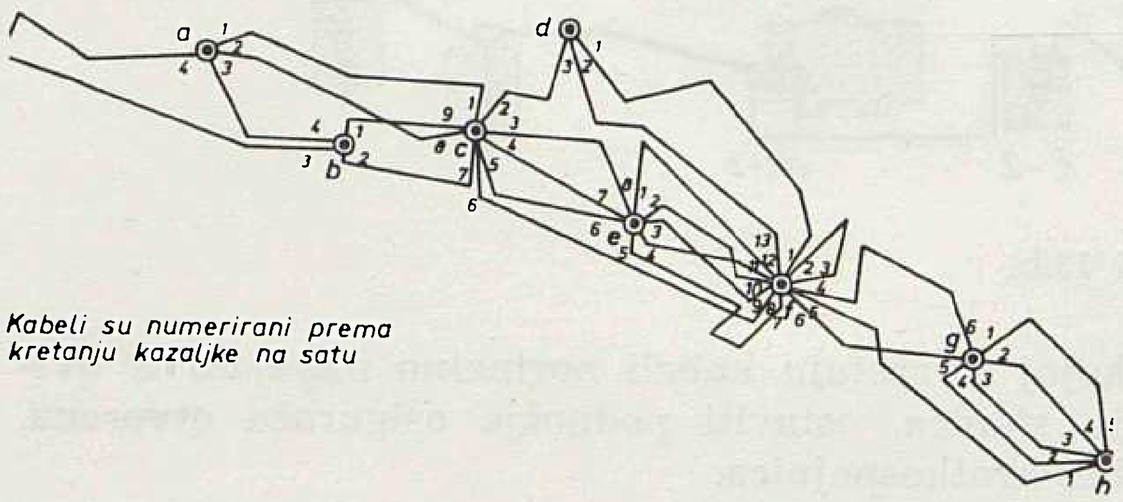
Sl. 8.

se izvedba opravdava činjenicom da su se kabelske glave 10 kV i do sada pokazale pouzdane u pogonu, pa nema razloga da se dvije kabelske glave ne priključe na isti rastavljač umjesto na dva odvojena koji su smješteni u dvije posebne ćelije. Iz pojednostavnjene sheme magistralnih kabela dobije se sl. 9.a, a njihov približan pravac na situacijskom planu na sl. 9.b.

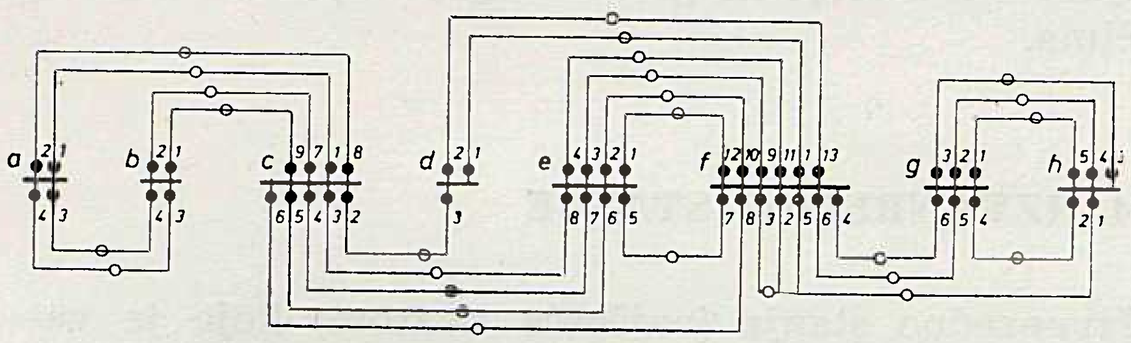
Umjesto naziva ovdje su kabeli dobili brojeve s napomenom da nisu upisani svi izlazi iz stanica, nego samo oni najvažniji — magistralni — i da brojevi sa jednopolnih shema sa sl. 4. i sl. 5. ne odgovaraju onima sa sl. 9. i sl. 10.



Sl. 9.a.



Sl. 9.b.

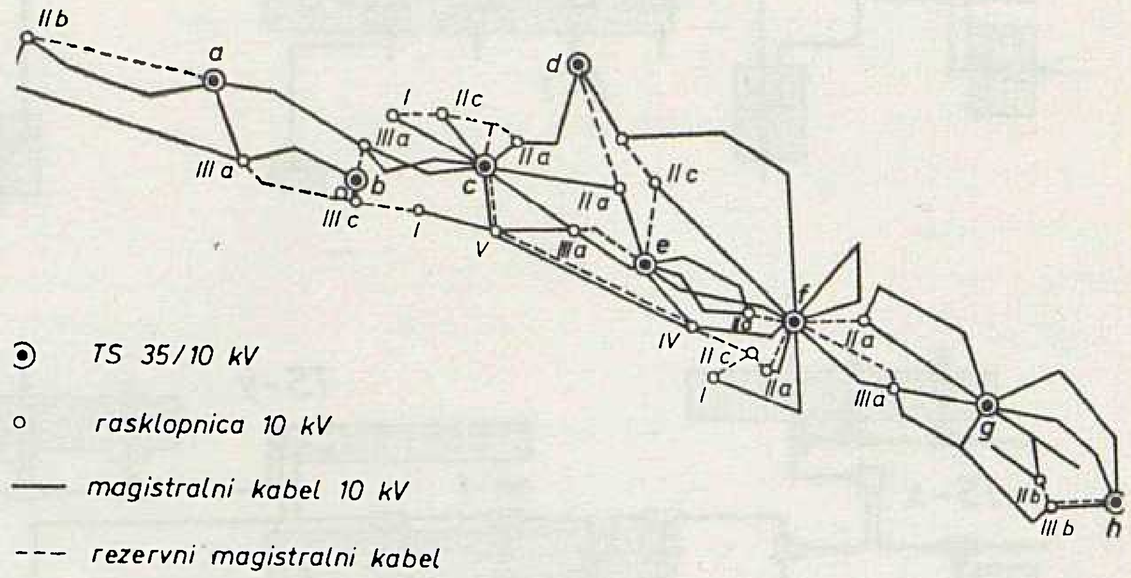


Sl. 10.

II. mogućnost — Po njoj situacijski plan stanica sa sl. 7. ostaje nepromijenjen, tj. ostaje isti kao i kod prve mogućnosti. Ovdje se dva kabela koji izlaze iz iste ili iz dvije odvojene stanice 35/10 kV — ponovimo još jednom — priključuju na iste sabirnice jedne stanice 10/0,4 kV, ali su u normalnom pogonu međusobno odvojeni isključenim rastavljačem snage koji se može nalaziti u ma kojoj transformatorskoj stanici 10/0,4 kV. Čak se ovom mogućnošću ne zahtijeva posebno odvajanje sabirnica ni u karakterističnim stanicama kao u I. Ipak će biti prikladnije izabrati one stanice u kojima se sastaje više kabela, s tim da se povede briga o magistralnim kabelima čiju ćemo funkciju detaljnije objasniti.

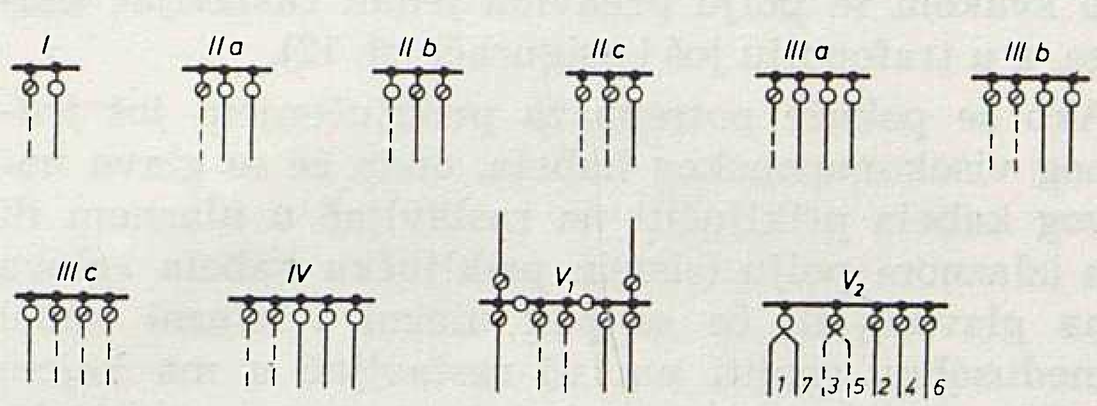
Da se bolje uoči princip ove alternative, na sl. 10a prikazana je ista shema kao na sl. 9.a, ali s ucrtanim rastavljačima snage u nekoj stanici 10/0,4 kV.

III. mogućnost — Za nju se moraju izabrati transformatorske stanice 10/0,4 kV u kojima se sastaju barem 3 kabela, od kojih će jedan služiti kao rezerva za ostala dva. Ako se u stanici sastaje više kabela, onda i rezervni može imati više od jednog ulaza ili izlaza. Takvih stanica 10/0,4 kV koje ujedo služe i kao rasklopnice 10 kV ima na užem području Rijeke oko 20 (sl. 11.a).



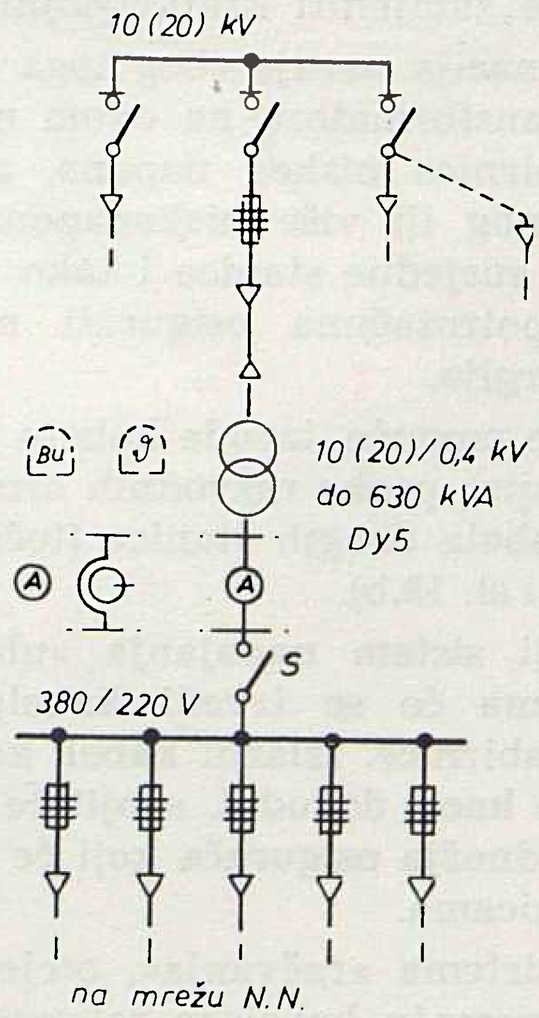
Sl. 11.a.

Prema broju ulaznih i izlaznih napojnih i rezervnih kabela rasklopnice će se međusobno razlikovati, pa će se svrstati u grupe, a ove u podgrupe (sl. 11.b). U rasklopnice će se montirati samo rastavljači snage koji će prema normalnom pogonskom stanju biti uključeni ili isključeni, što je na sl. 11.b i prikazano.

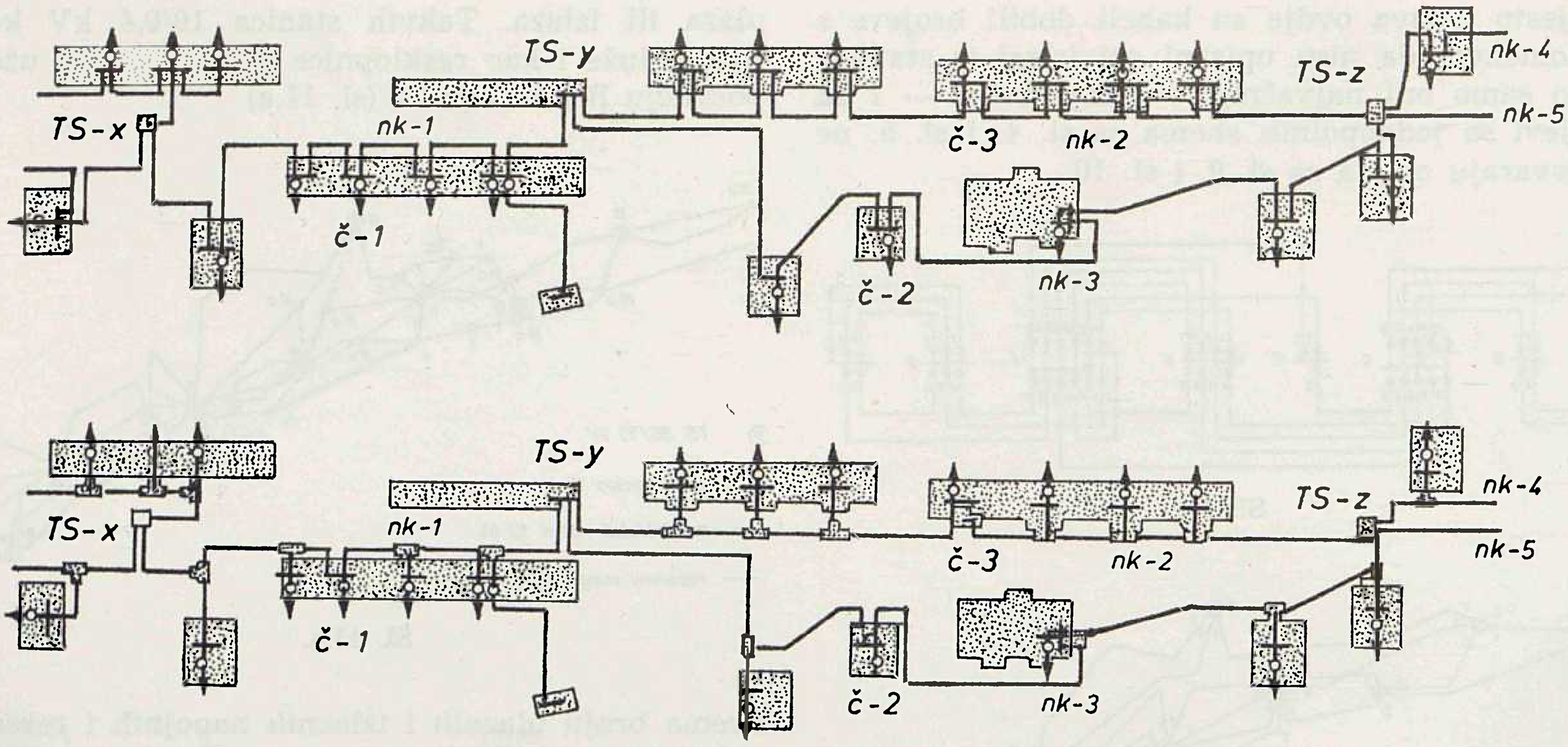


Sl. 11.b.

Trafostanice 10/0,4 kV — Električne sheme distributivnih stanica 10/0,4 kV moraju biti vrlo jednostavne. I ovdje će se, kao i kod TS 35/10 kV,



Sl. 12.



Sl. 13.a. i 13.b.

ukloniti svi oni elementi koji nisu prijeko potrebni za normalno funkcioniranje stanice. Tako će se primarna strana stanice sastojati samo od triju polja: ulaznog, izlaznog i transformatorskog. U svakom se polju predviđa jedan rastavljač snage, a u trafopolju još i osigurači (sl. 12).

Ako se pokaže potreba za priključenjem još jednog visokonaponskog kabela, onda će se glava novog kabela priključiti na rastavljač u ulaznom ili u izlaznom polju (sistem priključka kabela »glava na glavu«), ili će se pak ulazni i izlazni kabel međusobno spojiti na isti rastavljač u ma kojem polju, dok se za novi kabel rezervira preostalo, treće polje.

Sekundarna strana transformatora spaja se izravno na niskonaponske sabirnice bez osigurača. Ipak se predviđa odvajanje sabirnica od transformatora preko sklopke (S) ili podnožja osigurača čije će topljive uloške zamjeniti kratkospojnice.

Ova se kombinacija usvaja zbog toga da se u slučaju kvara transformatora na ovom mjestu izvrši odvajanje sabirnica niskog napona, a stanica će se, preko jednog ili više niskonaponskih kabela, priključiti na susjedne stanice i tako će se barem najvažnijim potrošačima osigurati najpotrebnija električna energija.

Gdje god je to moguće, izvode kabela iz jedne stanice treba spojiti, preko razvodnih ormarića (niša), s izvodima kabela drugih stanica (točke č-1, č-2 i č-3 na sl. 13.a i sl. 13.b).

Ako se usvoji sistem napajanja »ulaz-izlaz« (sl. 13.a), u nišama će se izvodi kabela priključiti direktno na sabirnice. Izlazni kabel, koji mora biti istog presjeka kao i dovodni, spojit će se na sabirnice preko podnožja osigurača koji će se premostiti kratkospojnicama.

Usvajanjem sistema »račvanja«, otcjep za zgradu će se izvesti pomoću kabelske račvaste spojnice u zemlji (sl. 13.b). Za oba sistema će se u niši, u kojoj se sastaju kabeli normalno napajani iz dviju stanica, ostaviti podnožja osigurača otvorena, bez kratkospojnica.

Na sabirnice u niši spojit će se kućni priključci. Budući da će se ovdje promijeniti presjek, priključci se moraju osigurati odgovarajućim osiguračima.

4. IZVANREDNO STANJE

Izvanredno stanje (najčešće kvarovi) koje je vezano za gradsku distributivnu mrežu može nastati:

1. u transformatorskim stanicama 110/35 kV kojima pripadaju izlazni nadzemni vodovi i kabeli 35 kV,

2. u transformatorskim stanicama 35/10 kV s pripadajućim izlaznim vodovima i kabelima 10 kV,

3. u transformatorskim stanicama 10/0,4 kV s izlaznim vodovima i kabelima 0,4 kV.

Kvarovi kao što su kratki spojevi na sabirnicama višeg i nižeg napona, veći požari u stanici, kvarovi na glavnim napojnim kabelima i vodovima 110 kV i sl. najteže su prirode, jer mogu prouzrokovati ispadanje iz pogona kompletne stanice 110/35 kV i paralizirati dulje vrijeme normalno napajanje većeg broja potrošača.

Ispadanje iz pogona samo jednog dijela stanice 110/35 kV rješava se mnogo lakše nego ispad čitave stanice. Tako npr. kvar jednog transformatora 110/35 kV, kvar opreme u vodnom, transformatorskom, spojnom ili u mjernom polju 110 ili 35 kV paralizira rad samo toga polja, pa stanica može bez njega raditi i nadalje. U ovakvim se slučajevima potrošači prebacuju na druga polja ili se napajaju zaobilaznim putem, a u težim slučajevima samo jedan dio potrošača koji bi se napajao iz po-

lja u kvaru može eventualno ostati bez električne energije. Ovo isto vrijedi ako se kvar dogodi i na nekoj pomoćnoj opremi (kućnom transformatoru, akumulatorima, dovodu zraka itd.).

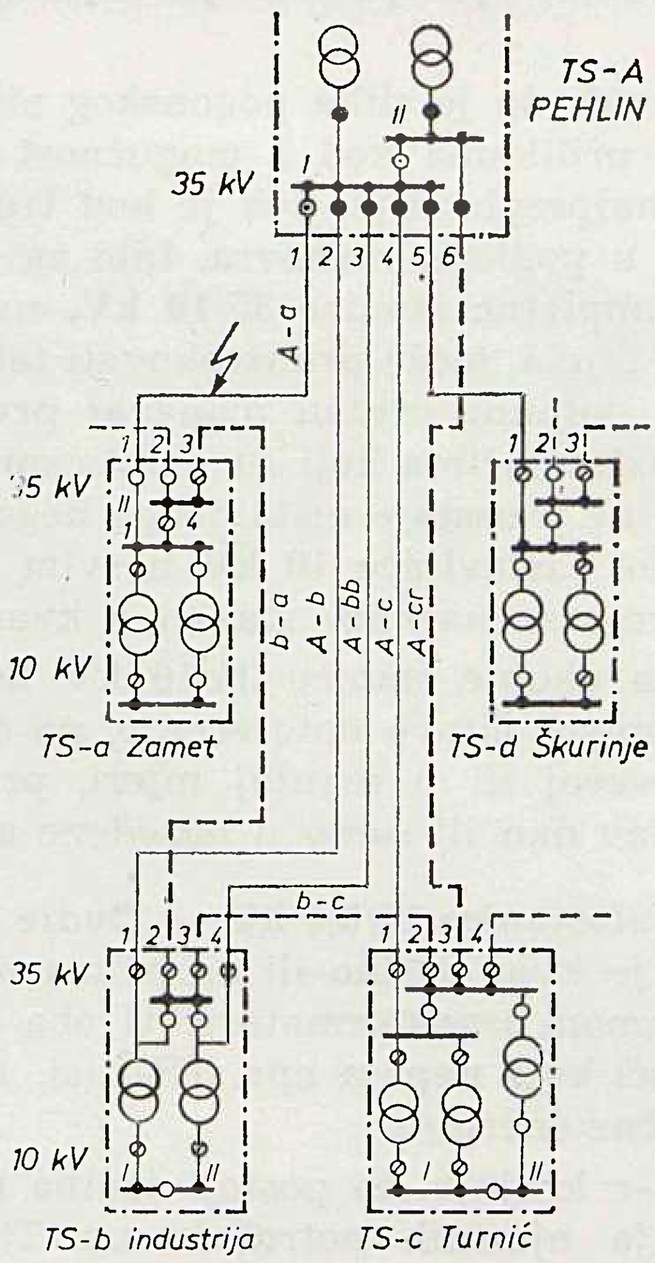
Pobrojani kvarovi u TS 110/35 kV ne pripadaju problematici distribucije, ali je ipak potrebno naglasiti da i oni mogu imati teške posljedice za čitavu distributivnu mrežu.

Isti kvarovi, ali sa nešto manjim posljedicama, mogu se dogoditi i u transformatorskim stanicama 35/10 kV: ispadanje iz pogona čitave stanice ili samo jednog njena dijela.

Da potrošači što manje osjete takve kvarove, detaljnije će se opisati mjere koje treba poduzeti radi ublažavanja posljedica nenormalnog stanja na jednom karakterističnom primjeru:

1. oštećenje kabela 35 kV,
2. oštećenje kabela 10 kV,
3. kvar transformatora 35/10 kV,
4. kvar trafostanice 35/10 kV i
5. kvar trafostanice 10/0,4 kV.

1. Oštećenje kabela 35 kV — Pretpostavlja se da je teže oštećen kabel 35 kV koji normalno napaja TS-a (TS 35/10 kV »Zamet«). Stanica ostaje bez napajanja, pa joj je potrebno osigurati napajanje zaobilaznim putem preko rezervnog kabela 35 kV (sl. 3. i sl. 14.a; Ista shema ali razvijena sl. 14.b).

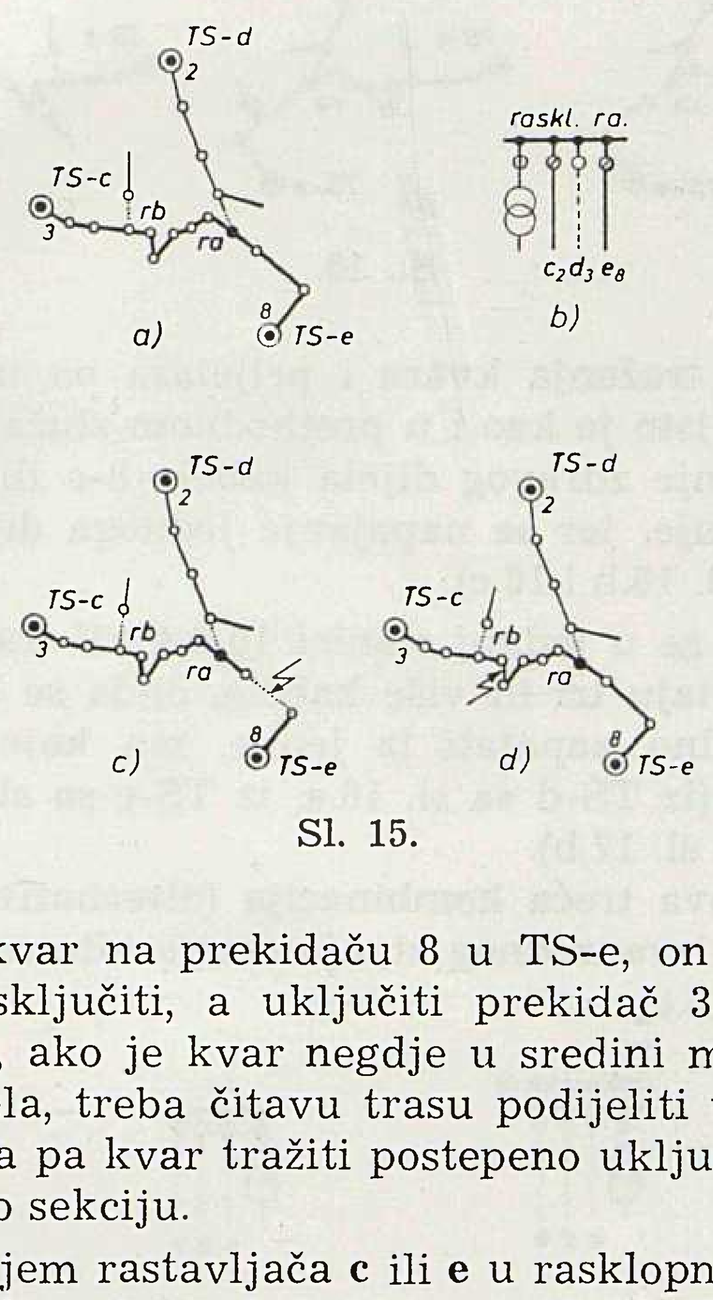


Sl. 14.a. i b.

Rezervni kabel (Oznaka kabela A-cr) izlazeći iz stanice TS-A (TS 110/35 kV »Pehlin«) prolazi preko produženih sabirnica stanice TS-c (TS 35/10 kV »Turnić«) te rezervnim kabelom c-b do stanice TS-B (TS 35/10 kV »Industrija«), a zatim nastavlja do TS-a kabelom b-a. Kako je kabel A-cr stalno priključen na produžene sabirnice ili na drugi sistem dvostrukih sabirnica u TS-A i kako se te sabirnice drže pod naponom, a sve rastavljačke snage u trafostanicama 35/10 kV (osim spojnih između sabirnica) zatvorene, to će i produžene sabirnice 35 kV u TS-a biti stalno pod naponom. Stoga će biti potrebno da se prekidač u TS-a i rastavljač snage 1 (sklopka) u TS-a obavezno isključe, a uključi sklopka 4 (rastavljač snage) koja je do sada držala odvojene glavne i produžene sabirnice 35 kV u TS-a. Stanica se može napajati ovim putem sve dok se glavni napojni kabel A-a ne osposobi za normalan pogon.

2. Oštećenje kabela 10 kV — Ovdje se pretpostavlja da je došlo do proboja kabela 10 kV (kabel e-8) koji se napaja iz TS-e (»Centar«). U ovom slučaju imamo tri kombinacije koje zavise od sistema napajanja kabela iz trafostanica:

2.1. Kabel e-8 je usvojen kao magistralni kabel čiji je početak priključen preko zatvorenog prekidača na sabirnice 10 kV u TS-e, a kraj (završetak) c-3 na isključeni prekidač u stanici TS-c (sl. 15.a).



Sl. 15.

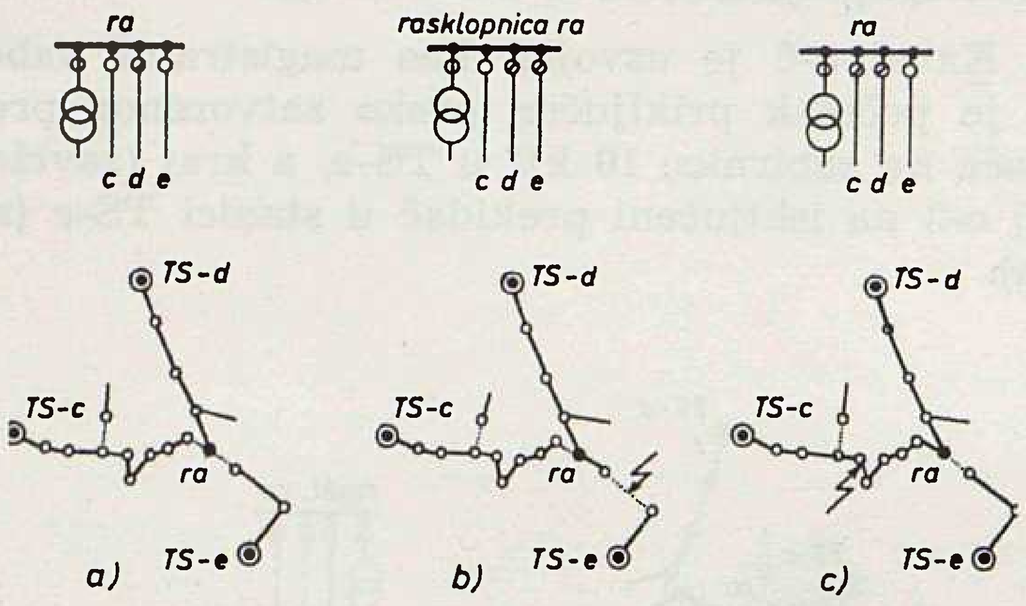
Ako je kvar na prekidaču 8 u TS-e, on se mora odmah isključiti, a uključiti prekidač 3 u TS-c. Međutim, ako je kvar negdje u sredini magistralnog kabela, treba čitavu trasu podijeliti u nekoliko sekcija pa kvar tražiti postepeno uključivanjem sekcije po sekciju.

Isključenjem rastavljača **c** ili **e** u rasklopnici **ra** (sl. 15.b) dijelimo trasu kabela sa sl. 15.a u dvije sekcije: e-ra i ra-c. Tako se možemo lako uvjeriti u kojem je dijelu nastala smetnja. Ako ponovnim uključenjem prekidač 8 u TS-e isključi, kvar je u prvoj dionici. U protivnom kvar će se nalaziti u drugom dijelu, jer će se prekidač 3, koji se u TS-c uključio ručno ili automatski, najvjerojatnije sam opet isključiti.

Ako se nastali kvar na kabelu nalazi između dvije stanice 10/0,4 kV u kojima su montirani rastavljači za odvajanje kabela, onda će se isključiti rastavljači u najbližim stanicama od oštećenog mjesta kvara. Jedan će se dio kabela 8-e (do mjesta kvara) napajati i nadalje iz TS-e, a drugi će dio kabela 3-c (od mjesta kvara) preuzeti stanica TS-c (sl. 15.c ili 15.d).

2.2. Po drugoj kombinaciji u normalnom je pogonu čitava trasa magistralnog kabela podijeljena u dvije sekcije. Odvajanje kabela može se izvesti u ma kojoj stanici 10/0,4 kV, ali je najbolje u onoj gdje se sastaje najviše kabela, jer je traženje kvara olakšano (sl. 16).

Budući da na trasi kabela od TS-e do TS-c imamo dva otcjepa ra i rb, drugoga ćemo zanemariti, ali će se odvajanje kabela ipak izvesti u rasklopnici ra prema električnoj shemi sa sl. 16.a. Oštećenjem ma kojeg kabela mora se dio stanica koje su nakon kvara ostale na neoštećenom kabelu prebaciti na drugi kabel.

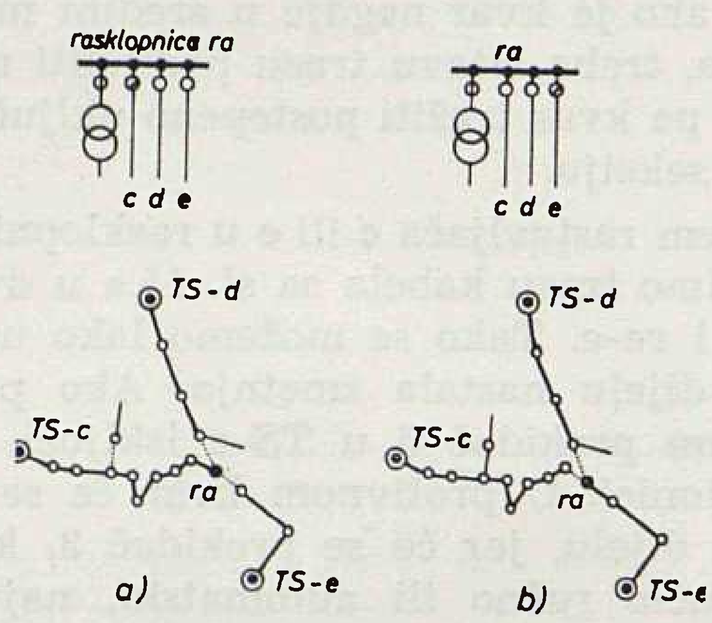


Sl. 16.

Postupak traženja kvara i prijelaza na izvanredno stanje isto je kao i u prethodnom slučaju, samo se napajanje zdravog dijela kabela 8-c ili 3-c nešto razlikuje, jer se napajanje jednoga dijela vrši iz TS-d (sl. 16.b i 16.c).

2.3. Kada se u jednoj stanici 10/0,4 kV (rasklopnica ra) sastaju tri ili više kabela, onda se ona može normalno napajati iz jedne, ma koje stanice 35/10 kV (iz TS-d sa sl. 16.a, iz TS-c sa sl. 17.a ili iz TS-e sa sl. 17.b).

Tako se ova treća kombinacija (alternativa) svodi na slučaj izvanrednog stanja druge alternative (sl. 16.b i sl. 16.c).



Sl. 17.

3. **Kvar transformatora** u trafostanicama 35/10 kV TS-c i u TS-f neće predstavljati poteškoće, jer ove stanice imaju jedan rezervni transformator iste snage. Poteškoće će nastupiti onda kada nastane kvar u jednog stanici koja nema rezervnog transformatora.

Primjera radi pretpostavimo da je u kvaru transformator I od 16 MVA u stanici TS-b. Prema III fazi pojednostavnjenja sa sl. 4. potrošači »industrije« će se prebaciti sa sabirnica I na sabirnice II, a veći dio »široke potrošnje« sa sabirnica II na okolne stanice. Za naš slučaj, koristeći se mogućnošću I sa sl. 9.b, treba isključiti prekidače 1 i 3 uz uvjet da njihov teret preuzmu stanice TS-c i TS-a preko prekidača 9 i 4 u spomenutim stanicama.

Za razliku od te vrlo jednostavne mogućnosti, drugo rješenje zahtijeva ne samo isključivanje svih prekidača koji su priključeni na sabirnice I u TS-b (sl. 10), nego i uključivanje rastavljača snage u stanicama 10/0,4 kV preko kojih je moguće uspostaviti vezu sa stanicama 35/10 kV. Nakon svih izvršenih operacija vraćamo se na rješenje mogućnosti I.

I prema III mogućnosti prijelaz s normalnog stanja na izvanredno složenije je nego po II, jer ovdje treba izvršiti manipulaciju s rastavljačima snage u rasklopnicima, odnosno i u rasklopnicima treba izvesti prebacivanje opterećenja s jednog kabela na drugi.

Iz toga se vidi da je slika pogonskog stanja u izvanrednim prilikama kod I mogućnost najjednostavnija i najpreglednija, dok je kod treće najsloženija bilo u pogledu manevra, bilo za pamćenje.

4. Kvar kompletne stanice 35/10 kV, naročito sekundarnog dijela, može prouzrokovati takve poteškoće da je potpuno otežan manevar prekidačima, pa čak i rastavljačima koji su montirani u stanici. U tu svrhu ne preostaje ništa drugo nego ručno isključiti prve rastavljače 10 kV u svim stanicama 10/0,4 kV koje su najbliže stanici u kvaru.

Svakako da okolne stanice 35/10 kV neće biti u stanju podmiriti čitavo opterećenje, pa će biti potrebno, u većoj ili u manjoj mjeri, provesti redukciju čitav dan ili samo u određene sate.

5. Kvar trafostanice 10/0,4 kV — Ovdje se pretpostavlja da je kvar nastao ili na primarnom dijelu TS ili u samom transformatoru. U oba će slučaja svi potrošači koje napaja npr. TS-z (sl. 13.a) ostati bez električne energije.

Ako je TS-z krajnja, to postoji jedina mogućnost prebacivanja njezinih potrošača na TS-y. Kako je između tih dviju stanica moguće uspostaviti vezu pomoću dva niskonaponska kabela (nk-2 i nk-3) i kako je kabel nk-3 manje opterećen, to će biti potrebno izvršiti ove operacije:

a) U TS-z (ako je njena električna shema slična shemi stanice 10/0,4 kV sa sl. 12) treba isključiti sklopku niskog napona S. Time je odvojen oštećeni dio stanice od neoštećenog.

b) U TS-z treba ukloniti uloške s osigurača kabela nk-2. Time je kabel nk-2 sasvim odvojen od TS-z.

c) Podnožja osigurača u niši (č-3 sa sl. 13.a), koja su do sada bila otvorena, treba premostiti kratkospojnicama. Tako će sada svi potrošači na kabelu nk-2 imati mogućnost napajanja iz TS-y.

d) Kabel nk-3 treba premostiti u niši č-2. Ako je transformator u TS-y u mogućnosti dati, a kabel nk-3 moguće opteretiti, ovakvo stanje može ostati do osposobljenja stanice TS-z. U protivnom će biti potrebno još:

e) ukloniti uloške osigurača kabela nk-1 u TS-y,

f) premostiti podnožja osigurača u niši č-1.

Ako i kod ovog prebacivanja opterećenja dođe do preopterećenja, tada će se morati isključiti neki potrošači u TS-z, pa čak i u TS-y.

Poznavajući kvalitetu izvedbe radova i najnoviji kabelski materijal, može se niskonaponski kabelski razvod — kao pouzdano i jeftino rješenje — izvesti s račvastim spojnicama (sl. 13.b) umjesto primjenom dosadašnjeg sistema »ulaz-izlaz«. Svakako da će ovaj sistem trebati detaljnije ispitati i u našem poduzeću, iako se u nekim distributivnim poduzećima već dosta dugo koristi.

5. STUPNJEVANJE ZAŠTITE MREŽE NISKOG NAPONA

Stupnjevanje zaštite distributivne električne mreže vršit će se od krajnjeg potrošača prema izvoru — od osigurača kod potrošača preko transformatora 10/0,4 kV, zatim preko kabela 10 kV i TS 35/10 kV do sabirnica 35 kV u TS 110/35 kV ovim redoslijedom:

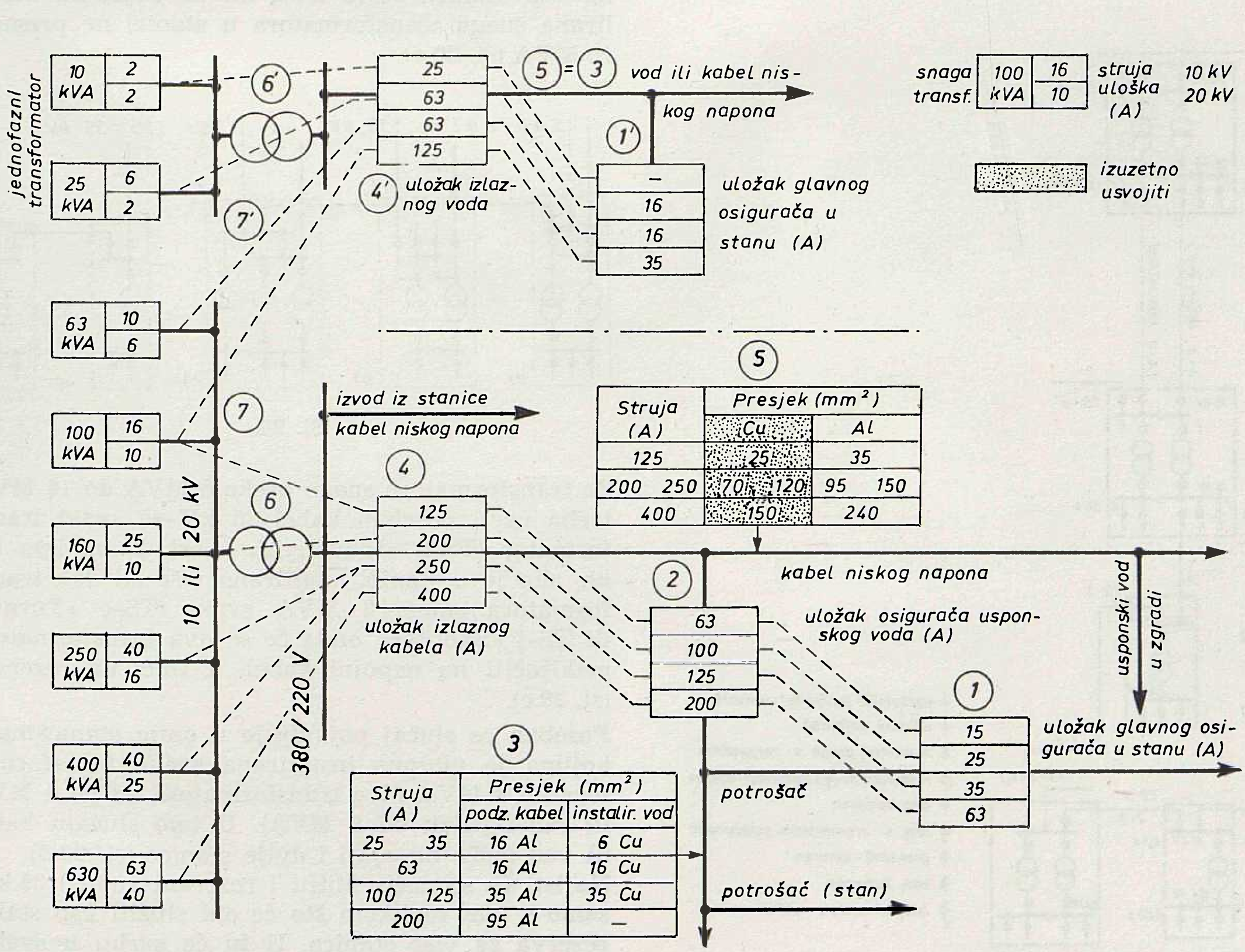
1. Prema dogovoru s potrošačima široke potrošnje ili prema tipizaciji poduzeća uzet će se jačina nominalne struje uloška glavnog osigurača jednofaznog priključka jednog stana (domaćinstva) ili trofaznog, kao npr. trgovina, zanatskih radionica, ustanova i sl. (vidi (1) na sl. 18).

2. Od jačine struje uloška iz 1. zavisit će jačina struje uloška u razdjelniku (niši) usponskog voda većih stambenih zgrada (2).

3. Presjek usponskog voda (kolone) u ovoj zgradi (3).

4. Od jačine nominalne struje uloška osigurača u niši većih stambenih zgrada zavisit će jačina struje uloška u trafostanici (4).

5. Presjek izvoda podzemnih kabela iz ove transformatorske stanice (5).



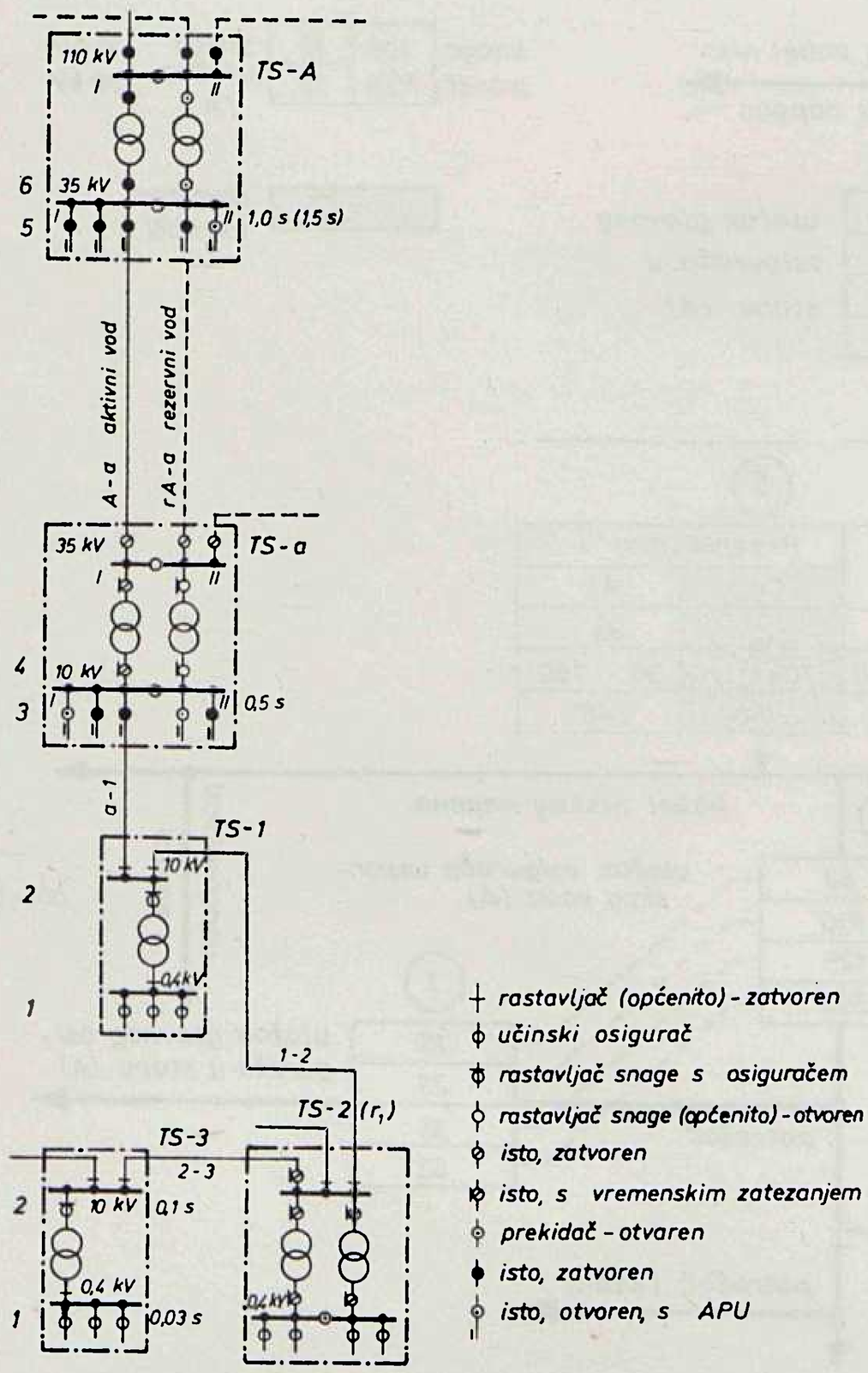
Sl. 18.

6. Od jačine struje uloška osigurača na sekundarnoj strani transformatora zavisit će — prema nominalnom naponu — izbor nominalne snage transformatora (6), a time i

7. izbor uloška osigurača na njegovoj primarnoj strani (7).

Primjer — Za glavne osigurače u stanovima većih stambenih zgrada usvojeni su ulošci osigurača nominalne struje od 35 A (oznaka 1 na sl. 18). Tim ulošcima odgovaraju ulošci u nišama od 125 a (2). Radi što selektivnije zaštite struja u vodičima usponskog voda mora biti usklađena sa strujom osigurača u niši, pa će se izabrati oni presjeci bakrenih vodiča koji odgovaraju ovoj struji — 4 × 35 mm² (u tabl. 3 na sl. 18).

Nominalna struja uloška osigurača u trafostanici mora se također uskladiti s nominalnom strujom u niši, pa će se usvojiti uložak od 250 A (4), a prema ovoj struji i presjek izlaznog kabela niskog napona iz stanice (5). Ovdje imamo izbor od 4 prepresjeka. U starijim se projektima nalaze kabeli s bakarnim žilama presjeka 4 × 70 mm² (kao i na sl. 13) i 4 × 95 mm², dok se danas najviše preporučuju kabeli s aluminijskim žilama presjeka 4 × 95 mm² ili još češće 4 × 150 mm². Ovdje će se za gradske mreže usvojiti presjek 4 × 150 mm².



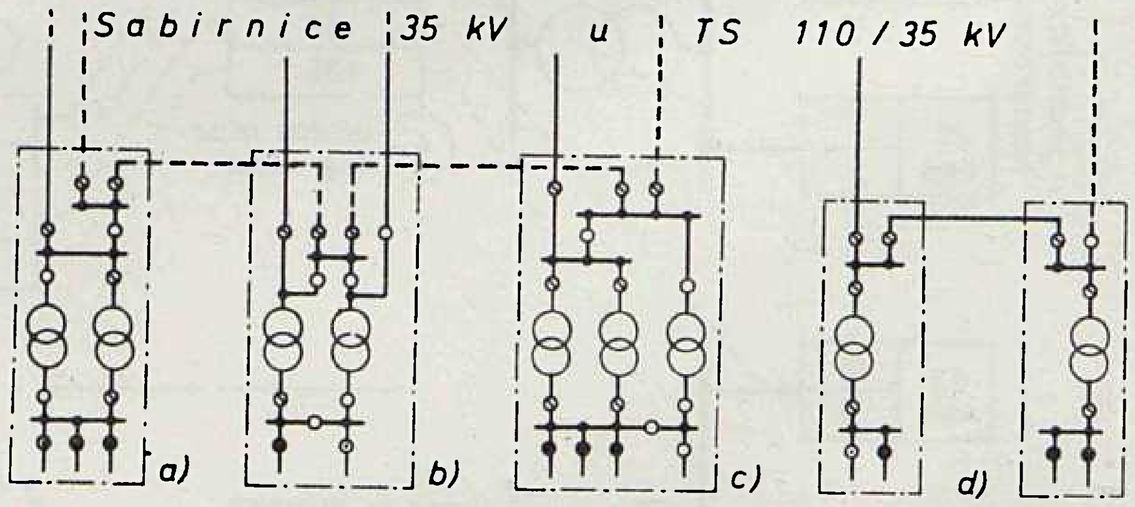
Sl. 19.

Prema ulošcima osigurača od 250 A (4) izabrat će se nominalna snaga transformatora (6). Za konkretan slučaj najpovoljnija je snaga transformatora od 400 kVA. Nominalnoj struji uloška od 250 A odgovara na primarnoj strani kod napona 10 kV, uložak od 40 A, a kod napona 20 kV uložak od 25 A.

Za mala naseljena mjesta neke od gornjih faza selektivne zaštite će se izostaviti, tako da će ostati samo 1', 4', 5', 6' i 7' (gornji dio sl. 18). Kod nekih mreža neće biti potrebne ni faze 5' i 7', a kod jednog malog individualnog potrošača (seoskog domaćinstva — ekonomije) bit će dovoljno samo 4' i 6', a eventualno i 7'.

6. STUPNJEVANJE ZAŠTITE MREŽE SREDNJEG NAPONA

Koristeći se principima izloženim u prethodnom opisu, kabeli 35 kV koji normalno napajaju sve trafostanice 35/10 kV na području grada Rijeke (sl. 2. i sl. 3), štiti će se samo na izlazu iz trafostanice 110/35 kV prekostrujnim relejima podešenim za isključenje prekidača nakon zatezanja od 1,0 sekunde (sl. 19. pozicija 5). Principijelna shema zaštite napojnih kabela 35 kV svih trafostanica 35/10 kV ista je: »jedan kabel 35 kV — jedna trafostanica 35/10 kV«, ali uz uvjet da instalirana snaga transformatora u stanici ne premaši 16 MVA (sl. 20.a).



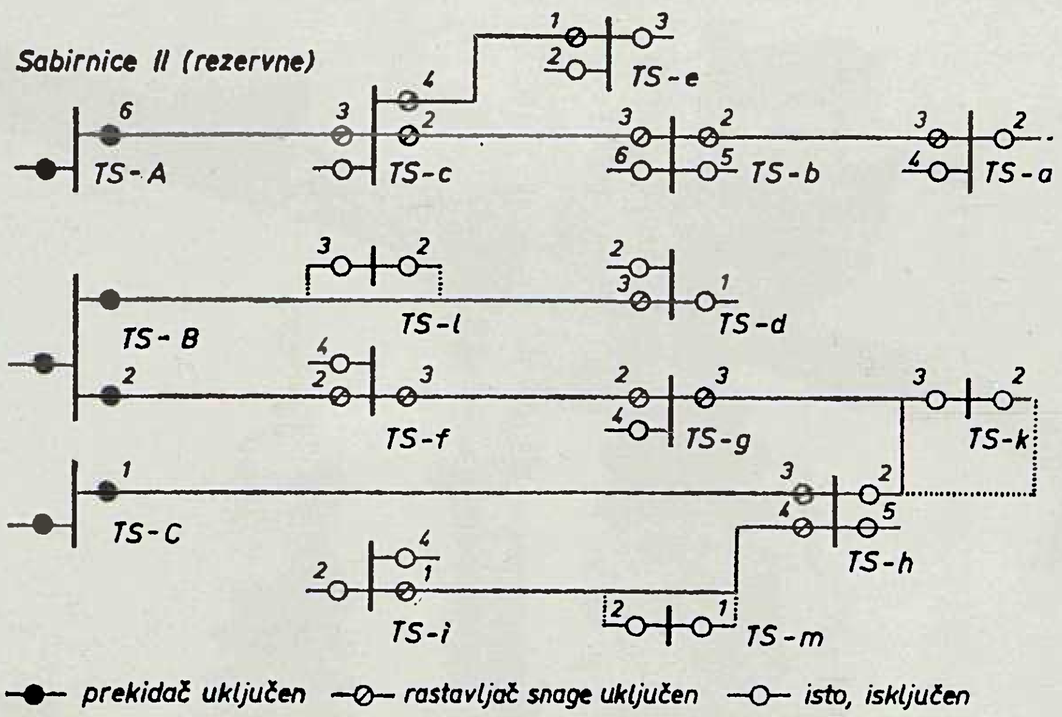
Sl. 20.

Za transformatore snage preko 8 MVA do 16 MVA treba uzeti poseban kabel 35 kV za svaki transformator (TS-b »Industrija« — sl. 20.b). Isto tako, ako je u stanici montirano više od dva transformatora snage 8 MVA svaki (TS-c »Turnić« ili TS-f »Skoljić«), onda će se dva transformatora priključiti na napojni kabel, a treći na rezervni (sl. 20.c).

Poseban se slučaj pojavljuje u onim stanicama u kojima je ukupna instalirana snaga transformatora do 8 MVA (dva transformatora od po 4 MVA ili samo jedan od 8 MVA). U tom slučaju kabel ili vod može napajati i dvije stanice (sl. 20.d).
Na isti će se način štititi i rezervni vodovi 35 kV, samo s tom razlikom što će oni služiti kao stalna rezerva za više stanica. U tu će svrhu u svakoj stanici 35/10 kV, na ulazu i na izlazu voda iz sta-

nice, biti predviđena sklopka ili rastavljač snage (bez relejne zaštite i bez automatike).

Principijelna razvijena shema za sve rezervne kabele i rezervne sabirnice (II sa Sl. 3) grada Rijeke prikazana je na sl. 21. (Rezervni vodovi se napajaju iz TS-A »Pehlin«, TS-B »Rijeka« i TS-C »Krasica«.)



Sl. 21.

Također i zaštitu transformatora u stanicama 35/ /10 kV preuzima isti prekidač u TS 110/35 kV (kao i vodova 35 kV) s tim da se oštećeni transformator isključuje za vrijeme beznaponske pauze istodobno na primarnoj i na sekundarnoj strani pomoću sklopaka ili rastavljača snage.

U svim stanicama 35/10 kV treba predvidjeti relejnu zaštitu koja će isključivati prekidač 10 kV štićenog kabela i njegove otcjepe nakon vremenskog zatezanja od 0,5 sekundi po nastanku smetnje.

Radi montaže sklopke ili rastavljača snage s automatskim odvajanjem otcjepa u beznaponskom stanju kod pojave kratkog spoja, zbog složene izvedene mreže 10 kV (sl. 11.a) u ovom je momentu vrlo teško dati neko pravilo prema kojem bi se jedno vodno polje u pojnim točkama (rasklopnicama) moglo uzeti kao ulazno, koje kao izlazno, a koje otcjepno. Čak je u nekim varijantama teško odrediti koji će se kabel (Vod) uzeti kao napojni, a koji kao rezervni, što sve otežava primjenu selektivne zaštite ove mreže.

Smatrajući da se na pravilno položenim kabelima 10 kV malokad događaju kvarovi, to se predlaže da se na otcjepima ovih kabela u rasklopnicama gradske distributivne mreže ostave ili montiraju — kao najjednostavnije rješenje — samo rastavljači snage bez prekostrujne zaštite (sl. 11.b). Naprotiv, u rasklopnicama s priključkom na zračne i na mješovite mreže treba odmah obavezno odvojiti otcjepe od magistralnih vodova zbog očekivanih smetnji koje se često pojavljuju na ovoj vrsti vodova.

Zbog svojih prednosti i odličnih tehničkih karakteristika predlaže se upotreba modularnog sistema »combiflex« relejne zaštite koja omogućuje zajedničku montažu raznih električnih, elektronskih i elektromehaničkih jedinica, a time formiranje jedne kompletne, a ujedno i funkcionalne cjeline. Detaljnije spojne sheme s modularnim rasporedom ovih releja nudi svaka tvornica u vidu prospekata i detaljnijih objašnjenja.

7. ZAKLJUČAK

Pouzdana prekostrujna zaštita u niskonaponskim i srednjonaponskim distributivnim mrežama s pripadajućim transformatorima postiže se:

1. kada vodovi i kabeli imaju što jednostavniji, uglavnom radijalni oblik napajanja,

2. kada postoji mogućnost brzog odstranjivanja kvara,

3. kada se u pogonu može zadržati što veći dio neoštećenog postrojenja i mreže,

4. u izuzetnim prilikama, kada se u kombinaciji s automatikom može brzo izvršiti prebacivanje najvećeg dijela neoštećenog postrojenja na normalan pogon preko rezervnog postrojenja.

Key words:

TOWN/CITY DISTRIBUTION NET
RELAY PROTECTION

PROPOSAL FOR SIMPLIFICATION OF DISTRIBUTION NET FOR TOWN RIJEKA

In the article are given guidelines for preparation of distribution net for one part of town Rijeka due to application of more effective overcurrent protection. This preparation consists of simplification of net by the way of radial distribution system, and wherever is technically possible by feed of all transformer stations by spare cable regardless on voltage level.

VORSCHLAG ZUR VEREINFACHUNG DES STROMVERTEILUNGSNETZES DER STADT RIJEKA

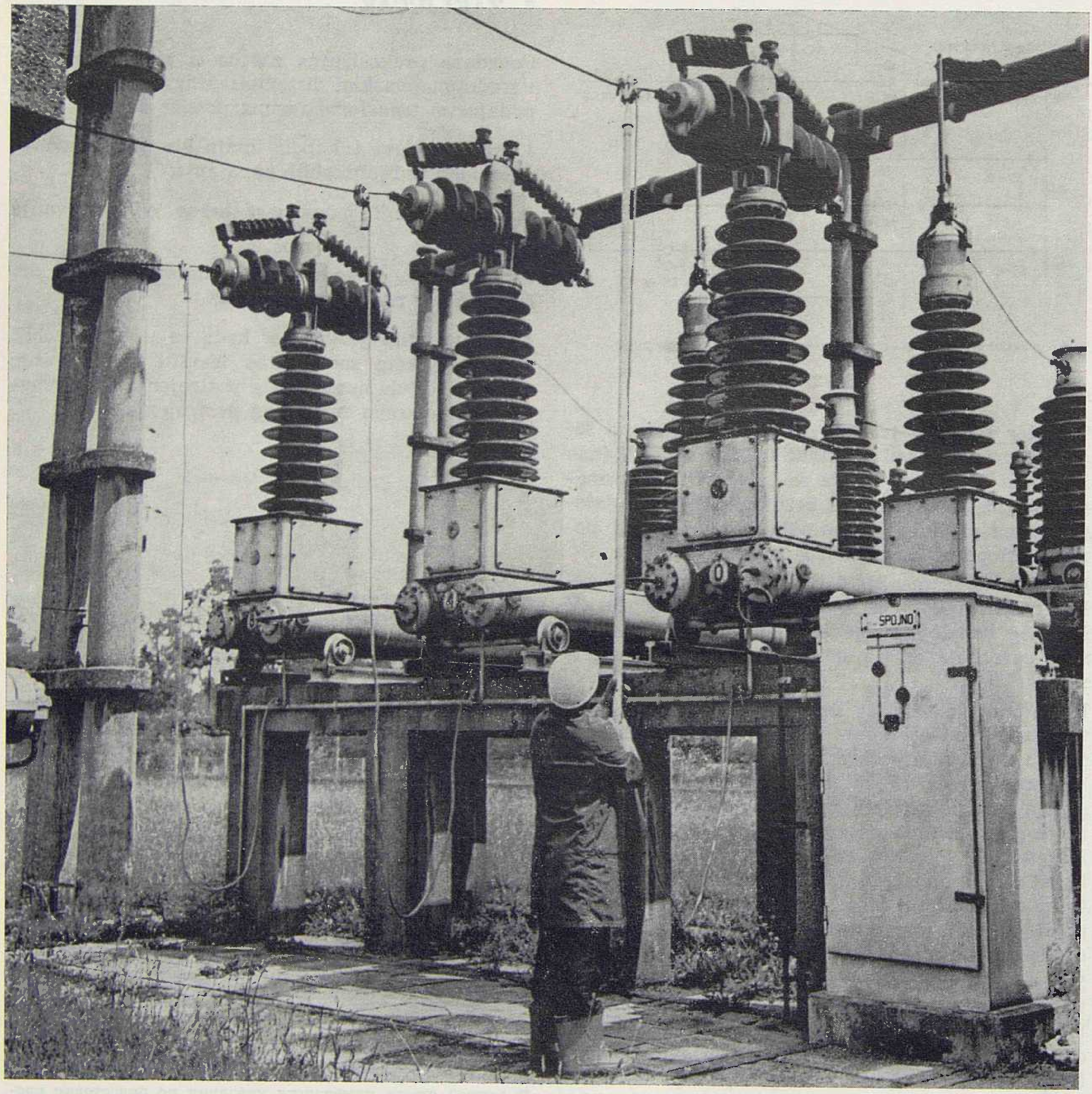
Der Aufsatz behandelt Richtlinien zur Vorbereitung eines elektrischen Versorgungsnetzes für den engeren und weiteren Bereicht der Stadt Rijeka zur Einrichtung eines wirkungsvolleren Überstromschutzes. Dieser Vorschlag liegt in einer Vereinfachung des Netzaufbaus durch eine radiale Netzaufteilung, und, wo die erforderlichen technischen Möglichkeiten gegeben sind, durch eine Stromversorgung sämtlicher Trafostationen über ein Reservekabel ohne Rücksicht auf die Spannungsebene.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ УПРОЩЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЄЛЕКТРОСЕТИ ГОРОДА РИЕКА

В данной статье приводятся указания по подготовке распределительной электросети более узкой территории города Риека в целях применения более эффективной токовой защиты. Настоящая подготовка состоит в упрощении электросети путем перехода на радиальное питание и по всех техически возможных случаях легкого выполнения прокладки еще одного кабеля для резервного питания всех подстанций независимо от ряда напряжений.

Naslov pisca:

Branko Damjanović, dipl. ing.
»Elektroprimorje« Rijeka


SPOJNO

III SIMPOZIJ O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE

Treći simpozij o upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije organizirao je JUKO — CIGRE Studijski komiteti 32 — Pogon, upravljanje i regulacija u prijenosnim mrežama i 35 — Komunikacije. Simpozij je održan od 19. do 21. studenog 1980. u Cavtatu.

Svrha Simpozija je bila da se referatima obuhvate sva uža područja iz teorije, praktičnih realizacija, eksploatacije, upravljanja i razvoja informacijskog sistema u elektroprivredi.

Prezentirano je 46 referata i uvodni referat Zajednice jugoslavenske elektroprivrede.

Referati su obuhvatili ova područja:

— opći problemi upravljanja i informatike u elektroprivrednim i distributivnim organinzacijama Jugoslavije — 8 referata,

— planiranje pogona — 4 referata,

— operativno upravljanje — 12 referata,

— informacijski upravljački kompleksi i oprema — 14 referata,

— telekomunikacijski sistemi i oprema — 8 referata.

Na simpoziju je bilo više od 300 sudionika i gostiju. Studijski komiteti 32 i 35 JUKO CIGRE održali su zajednički sastanak 10. II 1981. u Beogradu, izvršili su analizu III simpozija i na bazi izloženih referata po grupama, izvještaja izvjestilaca, dopune autora referata, diskusije o referatima i oblastima, a na osnovi nacrta zaključaka koji su pročitani na završnom plenarnom sastanku sudionika u Cavtatu usvojili su konačni tekst zaključaka po grupama:

1. I GRUPA

OPĆI PROBLEMI UPRAVLJANJA I INFORMATIKE U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE

1.1. Sudionici Simpozija su sa zadovoljstvom konstatirali da je između II i III simpozija ostvaren vidan napredak u pripremama za modernizaciju i unapređenje sistema upravlja i informatike u elektroprivredi Jugoslavije i pozdravljaju utvrđivanje programa razvoja tehničkog sistema upravljanja kao prioritetan zadatak za iduće razdoblje. Realizacija ovog projekta je u sadašnjem stadiju razvoja elektroprivrede nužna i pridonosi poboljšanju ekonomičnosti, sigurnosti i pouzdanosti naših EES, tako da je sasvim u duhu politike privredne i ekonomske stabilizacije.

1.2. U svjetlu sadašnje ekonomske situacije u zemlji i proklamirane politike stabilizacije sudionici Simpozija podržavaju etapni razvoj izgradnje ovog sistema upravljanja, ali uz uvjet da završetak prve, prati neposredan početak druge, konačne etape završetka sistema i to zato što realizacija prve etape ne predstavlja funkcionalno zaokruženi i pogonski pouzdan sistem na kome se može bazirati trajna eksploatacija jugoslavenskog EES.

1.3. U toku realizacije tehničkog sistema upravljanja u Jugoslavenskoj elektroprivredi, treba pokloniti punu pažnju pripremi i prilagođenju postrojenja (HE, TE, razvodne i transformatorske stanice) i modernizaciji primarne opreme u njima, kako bi ona mogla odgovarati kvalitativno višim zahtjevima novog sistema upravljanja.

1.4. Sudionici Simpozija smatraju da treba pristupiti sistematičnijem projektiranju i izgradnji centara upravljanja u prijenosnim i distributivnim sistemima i na taj način izbjeći šarenilo koncepcija i opreme koji se već uočavaju. Pri tome se preporučuje da gdje god je to moguće treba zajednički rješavati tehničke probleme upravljanja distributivnih i prijenosnih mreža.

1.5. Kod izgradnje MTK sistema treba naći zajednički interes i s proizvođačima električne energije i s prijenosom, jer je očito da ono što MTK pruža, a to je »peglanje« dijagrama potrošnje, nije i ne može biti interes jedino distribucije.

2. II GRUPA

PLANIRANJE POGONA

2.1. Da bi se utvrdile mogućnosti korištenja već izrađenih programa i programskih paketa od naših institucija za potrebe sistema planiranja pogona, preporučuje se da se u okviru jugoslavenske elektroprivrede stvori registar postojećih programa i paketa, da se oni testiraju, da se usmjeri razvoj postojećih i novih programa, ujedini i stvori zajednički, jedinstveni paket programske podrške za planiranje pogona.

2.2. Da bi se povećala pogonska spremnost i postigle uštede skraćenjem rokova remonta i popravaka predlaže se razrada jedinstvenih banki podataka s odgovarajućim šifarskim sistemom za područje termoelektrana, hidroelektrana, nuklearnih elektrana i objekata prijenosne i distributivne mreže.

2.3. Preporučuje se da elektroprivredne organizacije usklade metode i osnove za izradu banke podataka, što bi znatno unaprijedilo poslove na planiranju, eksploataciji i održavanju elektroenergetskih postrojenja.

3. III GRUPA

OPERATIVNO UPRAVLJANJE

3.1. U daljnjem radu potrebno je ostvariti mnogo veću suradnju naučnoistraživačkih, projektantskih i proizvodnih organizacija u zemlji kako bi se uz manje utroška radne snage, vremena i sredstava programske opreme na polju operativnog upravljaostvarili veći rezultati u proizvodnji aparaturne i programske opreme na polju operativnog upravljanja kao dijela kompleksnog informacijsko--upravljačkog sistema u elektroprivredi.

3.2. Elektroprivredni stručnjaci iz redova korisnika sistema operativnog upravljanja trebaju biti znatno više i aktivnije uključeni u izradu studijske, projektne, investicijske i ostale tehničke dokumentacije, te kasniju izgradnju i izradu programskih proizvoda, kako bi se što je moguće više izbjegao dosadašnji oblik suradnje koji se sastoji isključivo u investitorsko-izvođačkim odnosima ugovaranja, davanju projektnih podloga, revidiranju i plaćanju usluga.

3.3. Preporučuje se da pristup definiranju i projektiranju baza podataka za sve nivoe, od radne organizacije do Zajednice jugoslavenske elektroprivrede, bude sistemski i u razumnoj tehničkoj mjeri jedinstven, kako bi se u budućnosti izbjegle poteškoće oko zajedničkog korištenja i razmjene informacija u sistemu operativnog upravljanja i šire.

3.4. Projektirajući ssiteme operativnog upravljanja, potrebno je imati na umu cjelinu potrebnih funkcija i njihove zahtjeve koji se postavljaju na opremu i programsku podršku, bez obzira na to što se niz ovih obrada za sada redovno ne vrši u centrima dispečerskog upravljanja, i to zato što ne postoji fond potrebnih informacija ili nedostaje oprema za obradu (npr. estimacija stanja, analiza sigurnosti i dr.). Pri tome treba jasnije definirati uzročno-posljedičnu vezu između sistemskog softvera (operativnog sistema) i između zahtjeva koje nameće aplikacijski softver i izbora sklopovskih struktura aparaturne opreme.

3.5. I dalje treba nastaviti s proučavanjem izbora i zakonitosti pojava informacija u elektroenergetskom sistemu radi pravilnijeg dimenzioniranja aparaturne i programske opreme za zahvat, prijenos i obradu informacija.

3.6. Preporučuje se da elektroprivredne organizacije načine registar postojećih programa i programskih paketa iz područja operativnog upravljanja (osnovno i prošireno realno vrijeme) koji se koriste u centrima upravljanja svih nivoa.

4. IV GRUPA

INFORMACIJSKO UPRAVLJAČKI KOMPLEKSI I OPREMA

4.1. Prilagođenju izgrađenih postrojenja prijenosne mreže za uvođenje sistema za automatizaciju lokalnog upravljanja i za njihovo uključivanje u sistem daljinskog vođenja mora se posvetiti posebna pažnja. Nužno je da priprema objekata prethodi il ibar da se izvrši usporedo s izgradnjom novih sistema daljinskog vođenja.

4.2. S obzirom na dugotrajnost izgradnje složenih novih sistema daljinskog vođenja preporučuje se tješnja suradnja stručnjaka iz elektroprivrede i razvojno-istraživačkih institucija na izvođenju manjih, ekonomičnih zahvata za rješavanje problema operativnog upravljanja u prijelaznom razdoblju, do puštanja u pogon novih sistema.

4.3. Preporučuje se da se u okviru jugoslavenske elektroprivrede organizira rad na standardizaciji metoda i procedura komuniciranja u terminalskim i računarskim mrežama koje su temelj novog sistema daljinskog vođenja.

4.4. Preporučuje se da se u okviru jugoslavenske elektroprivrede organizira rad na standardizaciji metoda, rezervnih dijelova, instrumenata za održavanje informacijsko-upravljačkih kompleksa i opreme kako bi se dobili realni podaci o raspoloživosti sistema odnosno pojedinih dijelova tog sistema.

5. V GRUPA

TELEKOMUNIKACIJSKI SISTEMI I OPREMA

5.1. Dobro dmezinioniran, pouzdan i u zahtjevanoj mjeri raspoloživ funkcionalni sistem veza jugoslavenske elektroprivrede bitan je preduvjet funkcioniranja sistema upravljanja u cjelini.

5.2. Osnovna mreža veza jugoslavenske elektroprivrede predviđena da zadovolji u najvećoj mogućoj mjeri zajedničke potrebe u pogledu korištenja i razmjene informacija u sistemu tehničkog upravljanja i planiranja, realizirana uz uvažavanje utvrđenih parametara koji osiguravaju te zajedničke potrebe, dovoljno je fleksibilna da omogućava istovremeno i zadovoljenje posebnih potreba pojedinih zaokruženih elektroprivrednih cjelina.

5.3. U daljnjem razvoju elektroprivrednih telekomunikacija treba omogućiti primjenu novih i provjerenih tehničkih rješenja radi postizanja tehničko--tehnoloških i ekonomskih optimuma.

Ujedno je nužno razraditi način praćenja sistema veza odnosno njegova održavanja kako bi se dobili realni podaci o raspoloživosti sistema, odnosno pojedinih dijelova tog sistema.

5.4. Posebno se naglašava važnost najuže daljnje suradnje u području telekomunikacija stručnih timova elektroprivrede, domaćih proizvođača, naučnih institucija i projektantskih organizacija radi što uspješnije realizacije programa elektroprivrede.

6. OPĆI ZAKLJUČCI

6.1. Preporučuje se elektroprivrednim i distributivnim organizacijama, s obzirom na kompleksnost i opsežnost problematike, da pristupe planiranom primanju, osposobljavanju i usavršavanju potrebnih kadrova.

6.2. Studijski komiteti 32 — Pogon, upravljanje i regulacija u prijenosnim mrežama i 35 — Komunikacije JUKO CIGRÉ trebaju pratiti realizaciju zaključaka sa III simpozija o Upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije i da daju izvještaje o učinjenom na Savjetovanju elektroenergetičara Jugoslavije, Zajednici Jugoslavenske elektroprivrede i na slijedećem IV simpoziju o Upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije.

Sadržaj referata, broj sudionika, diskusija po grupama referata i konačni zaključci ukazali su na opravdanost održavanja III simpozija o upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije.

Simpozij je ukazao da od prioritetnih zadataka u elektroprivredi Jugoslavije važno mjesto zauzima utvrđivanje programa razvoja tehničkog sistema upravljanja. U sadašnjem razvoju elektroprivrede realizacija ovog programa je nužna, jer pridonosi poboljšanju ekonomičnosti, sigurnosti, pouzdanosti i raspoloživosti elektroenergetskog sistema, a što je i u duhu privrede i ekonomske stabilizacije.

Studijski komiteti 32 i 35 JUKO CIGRÉ zaključili su da se IV simpozij održi krajem 1982. godine.

Naslov pisca:

Mirko Majić, dipl. ing.

Elektroprenos, Zagreb

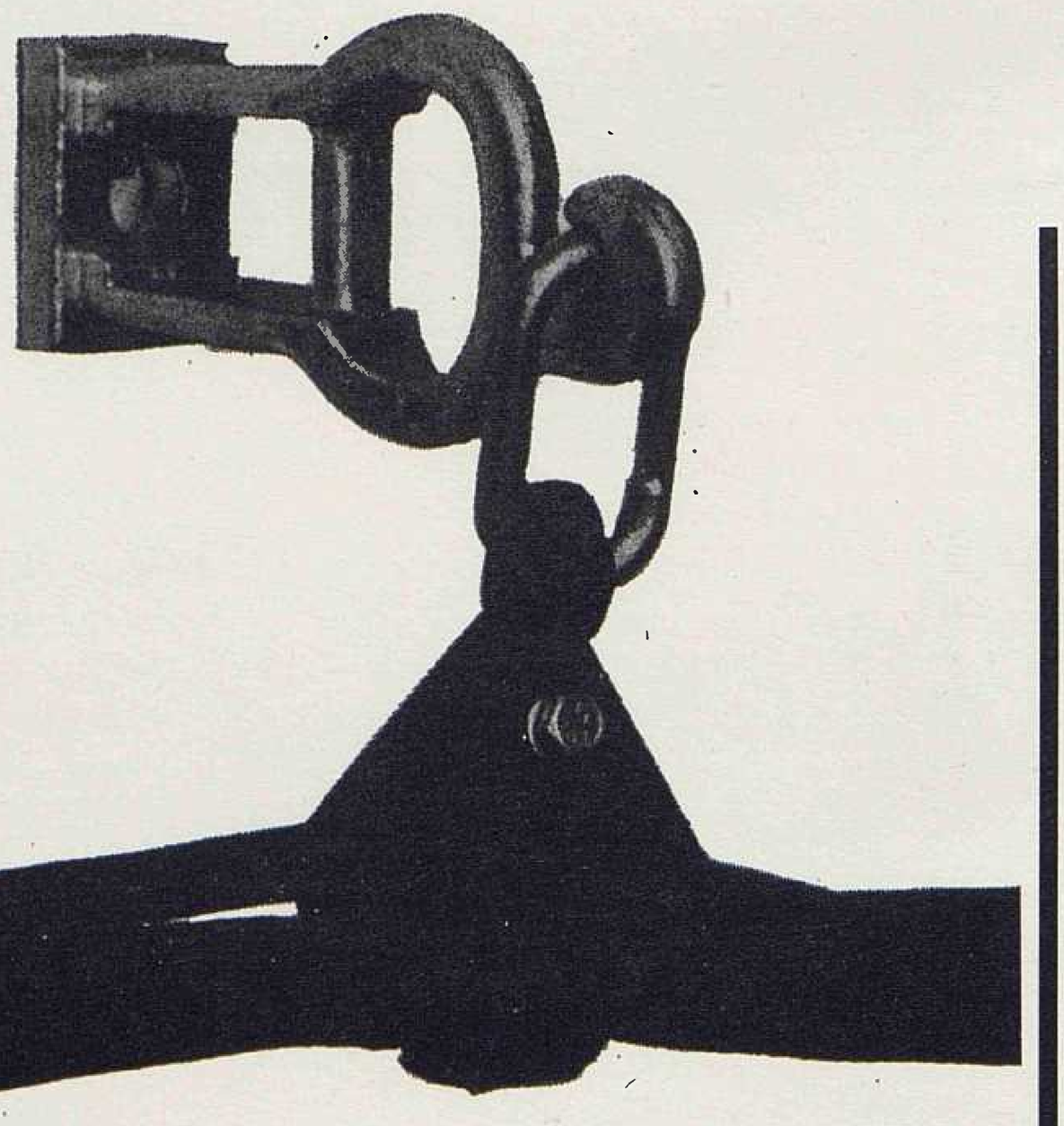
„Struja“

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

ELEKTROENERGETSKA BILANCA HRVATSKE ZA 1981. GODINU

Elektroenergetska bilanca Hrvatske za 1981. godinu izrađena je kao usklađena elektroenergetska bilanca elektroprivrednih organizacija udruženog rada za proizvodnju, prijenos i ditribuciju električne energije.

Osnovni elementi utvrđeni su prema elaboratu »Metodologija za izradu elektroenergetske bilance« uz poštivanje kriterija utvrđenih Samoupravnim sporazumom o zajedničkom radu elektroenergetskog sistema Hrvatske i Sporazuma o zajedničkom radu u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu. Ukratko su razrađeni glavni elementi elektroenergetske bilance Hrvatske za 1981. godinu.

Potrebe električne energije na mreži prijenosa za distributivnu potrošnju, direktne i specijalne potrošače, te gubici prijenosa planirani su u skladu s načinom planiranja utvrđenim metodologijom za izradu elektroenergetske bilance.

Distributivna potrošnja

Distributivna potrošnja utvrđena je na temelju prijava organizacija udruženog rada distribucije.

Ukupne potrebe električne energije za potrošače koje opskrbljuju radne organizacije distribucije utvrđene su na mreži prijenosa za 1981. godinu u količini 9 205 GWh. U odnosu na ostvarenu potrošnju distribucije u 1980. plan potrošnje za 1981. godinu povećan je za 7,7 posto.

Osim iz mreže prijenosa RO, distribucije djelomično planiraju podmirenje potreba električne energije svojih potrošača iz vlastitih i industrijskih elektrana, te kupnjom od distribucije drugih republika i međusobnom razmjenom električne energije sa susjednim distributivnim organizacijama.

Ukupne potrebe električne energije radnih organizacija distribucije na mreži prijenosa planirane su u 1981. godini za porast 7,7%, odnosno za 658 GWh više od ostvarenja u 1980. godini.

Veći porast potrošnje u 1981. godini planiraju Elektroslavonija Osijek 9,9% i Elektrolika Gospić sa 16,9%, zbog priključenja novih potrošača. Kod Elektroistre Pula povećane su potrebe za 14,7% radi prelaska Istarskih ugljenokopa Raša iz direktnih potrošača u potrošače distribucije.

Plan »Elektre« Sisak je manji od prošlogodišnje potrošnje za oko 3%, jer će Rafinerija Sisak dio svojih potreba podmiriti iz vlastite energane.

Direktni i specijalni potrošači

Potrebe direktnih i specijalnih potrošača u 1981. godini utvrđene su na temelju njihovih prijava koje su u okviru elektroenergetskih sugiasnosti, a potvrđuju se sklapanjem ugovora za plansku godinu. Plan potrošnje predviđa u 1981. godini za direktne i specijalne potrošače 2 794 GWh, od čega otpada na direktne 874 GWh i specijalne potrošače 1 920 GWh.

U odnosu na ostvarenu potrošnju u 1980. godini porast potreba direktnih potrošača za 1981. godinu iznosi 4,2%.

Gubici prijenosa planiraju se u okviru postotka gubitaka prijenosa u odnosu na ukupno predanu električnu energiju potrošačima u protekloj godini i u 1981. godini iznosi 3,29% od ukupno raspoložive električne energije.

U 1981. godini plan gubitaka prijenosa od 395 GWh odnosi se na planiranu predaju električne energije na mreži prijenosa od 11 999 GWh.

Raspoloživa električna energija

Plan raspoložive električne energije ovisan je o izgrađenosti elektroenergetskog sistema u pogledu izvora i mogućnosti prijenosa električne energije, te ostvarenju dotoka vode na hidroelektranama i osiguranju goriva za termoelektrane.

U toku 1981. godine predviđa se od novih izvora ulazak u pogon samo Nuklearne-termoelektrane Krško, instalirane snage 664 MW, odnosno raspoložive snage na pragu 632 MW, koju u jednakim dijelovima koriste elektroprivrede Hrvatske i Slovenije.

Proizvodnja hidroelektrana. U toku 1981. godine ne ulazi u pogon ni jedna nova hidroelektrana, niti se povećava kapacitet postojećih hidroelektrana. Ukupno raspoloživa snaga hidroelektrana u 1981. godini iznosi 1421 MW. Plan proizvodnje hidroelektrana u 1981. godini iznosi 4 604 GWh (protočne HE 842 GWh i akumulacione HE 3762 GWh. Proizvodnja hidroelektrana planirana je prema kriteriju na temelju ostvarenih prosječnih mjesečnih dotoka u nizu od 40 godina (1926. do 1965. godine) pojedinih vodotoka uz poštivanje ispuštanja biološkog minimuma vode nizvodno od brane.

Proizvodnja termoelektrana. Plan proizvodnje termoelektrana utvrđuje se kao dopuna plana proizvodnje hidroelektrana do plana ukupnih potreba električne energije.

U planu proizvodnje termoelektrana obuhvaćene su:

— isporuke iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama,

— proizvodnja termoelektrana Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske.

Isporuke električne energije iz termoelektrana u drugim republikama u 1981. godini planirana je na temelju ugovora o dugoročnoj izgradnji elektroprivrednih objekata s Elektroprivredom BiH i ZEP Beograd. Na temelju ugovora isporučuju:

— TE Tuzla IV	1 200 GWh godišnje
— TE Kakanj IV	276 GWh godišnje
— TE Obrenovac VI	1 680 GWh godišnje
Ukupno	3 156 GWh godišnje

Prema planu ulazi 1. srpnja 1981. u probni pogon NTE Krško, a probni pogon traje do 15. listopada

1981, kada će elektrana biti predana za normalnu eksploataciju.

Plan proizvodnje pojedinih termoelektrana ZEOH utvrđen je u odnosu na vrstu goriva, redoslijedu troškova goriva i njihova ukupna planska proizvodnja iznosi 4 634 GWh.

Plinske termoelektrane (KTE JERTOVEC i PTE Osijek)nisu predviđene u planu proizvodnje. Te termoelektrane smatraju se interventnim elektranama, a koristit će se i u slučaju raspolaganja plinom kao gorivom za supstituciju proizvodnje termoelektrana na tekuće gorivo.

Godišnje veličine osnovnih elemenata elektroenergetske bilance Hrvatske u 1981. godini su slijedeće:

Raspoloživa električna energija

Proizvodnja hidroelektrana	4 604 GWh
Proizvodnja termoelektrana	4 634 GWh
Ukupno HE + TE	9 238 GWh

Isporuke iz drugih republika:

TE Tuzla IV	1 200 GWh
TE Kakanj IV	276 GWh
TE Obrenovac VI	1 680 GWh
Ukupno raspoloživo	12 394 GWh

Potrebe električne energije:

Potrošači distribucije	9 205 GWh
Direktni i specijalni potrošači	2 792 GWh
Gubici na mreži prijenosa	395 GWh
Ukupne potrebe	12 394 GWh

DISPEČERSKI CENTAR U OSIJEKU

U skladu s planom gradnje dispečerskih centara Elektroprivrede u Hrvatskoj jedan od takvih centara predviđen je i u RO Elektroslavoniji, lociran u Osijeku za područje Slavonije i Baranje.

Oprema je ugovorena s tvornicom »Rade Končar« i tvrtkom Digital E. C. iz SAD.

Montažni radovi su povjereni RO »Elektrotehna« Ljubljana, a u tom poslu sudjeluju i stručne ekipe »Elektroslavonije«.

Glavni dio montažnih radova bit će završen u 1981. godini i tada će proraditi automatsko upravljanje u tri transformatorske stanice: 400 kV Ernestinovo, 110 kV Osijek i 110 kV Beli Manastir. U drugoj etapi na dispečerski centar u Osijeku povezat će se i ostale transformatorske stanice na području Slavonije i Baranje.

I. R.

GORIVO ZA TERMOELEKTRANE

Potrebe goriva u 1981. godini za pojedine termoelektrane u Hrvatskoj utvrđene su na temelju njihove planirane proizvodnje na pragu elektrane i na temelju specifičnog potroška topline za kWh i toplinske vrijednosti goriva koje koristi.

Ukupne godišnje potrebe goriva:

— kameni ugljen (TE Plomin)	280.000 tona
— teško lož-ulje (TE Rijeka, TE Sisak, TE-TO Zagreb I i II i EL-TO Zagreb)	780.000ftona
— zemni plin (TE-TO Zagreb, EL-TO Zagreb)	$75{,}7 \times 10^6$ Nm³
— koksni plin (TE Rijeka)	$88{,}7 \times 10^6$ Nm³

Ovisno o ostvarenju dotoka vode i proizvodnje hidroleektrana mijenjaju se potrebe tekućeg goriva za termoelektrane, dok potrebe kamenog ugljena i plina ostaju iste osim kod TE Rijeka.

Potrošnja koksnog plina u TE Rijeka ovisna je o angažiranoj snazi elektrane oko 150 MW, dok se povećanjem angažirane snage elektrane smanjuje mogućnost korištenja plina.

I. R.

HE VINODOL — REKONSTRUKCIJA POGONA

Plan rekonstrukcije glavnih pogona HE Vinodol koji je otpočeo prošle godine uspješno se ostvaruje. Izvršen je opsežan rad na izgradni crpilišta rashladne vode, čime će se dobiti više milijuna kWh električne energije godišnje. Ova se energija gubila dosadašnjim načinom crpljenja rashladne vode.

Izvršena je i temeljita rekonstrukcija transformatora napona 110 kV. Predviđeno je da rad svih pogona u HE Vinodol bude automatiziran. Montažni radovi na automatizaciji nastavit će se i u 1981. godini. Veći zahvati rekonstrukcije izvest će se i na generatorima. Dobar dio poslova izvode članovi kolektiva, što donosi velike uštede poduzeću. U radovima rekonstrukcije sudjeluju i stručne ekipe isporučilaca elektroopreme.

I. R.

VELIKE KOLIČINE PLINA U LEŽIŠTU MOLVE

Potkraj prosinca 1980. godine počela je eksploatacija zasad najbogatijeg ležišta plina u SR Hrvatskoj Molve, nedaleko od Virja u Podravini.

Plinsko polje Molve I davat će godišnje 300 milijuna kubičnih metara pročišćenog prirodnog plina, čime će se njegova proizvodnja u Hrvatskoj povećati na oko 1,3 milijarde kubičnih metara.

Prema istražnim radovima, postoje realne mogućnosti povećanja proizvodnje plina s toga ležišta.

Odmah nakon puštanja u pogon Molve I počeli su radovi na Molvama II, u neposrednoj blizini Molve I i trostruko većeg proizvodnog kapaciteta.

Trostrukim povećanjem proizvodnje prirodnog plina u Molvama proširuje se sirovinska baza za etansko postrojenje, a osim toga će se i bolje iskoristiti etilensko postrojenje.

Nakon puštanja u rad Molve II bit će dovoljno plina i za gradnju II faze tvornice umjetnih gnojiva u Kutini.

I. R.

MOGUĆNOST GRADNJE HE MANOJLOVAC II

Predstavnici Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske, RO Elektrodalmacija Split, poduzeća Hidroelektrane na Krki, Knin, te stručne službe zainteresiranih općina sjeverne Dalmacije, razmotrili su program gradnje HE Manojlovac II na Krki.

Prema usvojenoj studiji buduća HE Manojlovac II obuhvaća pad postojeće HE Manojlovac I, koji je inače nedovoljno iskorišten, te pad Bilušić Buka, što ukupno čini pad od 138 metara. Zahvatom iznad Bilušić Buka stvara se akumulacija od 3,4 milijuna kubičnih metara vode. Godišnja moguća proizvodnja iznosila bi oko 270 do 280 GWh električne energije.

Predviđeno je da strojarnica bude smještena 500 m nizvodno od postojeće HE Manojlovac I. Za gradnju HE Manojlovac II, prema nivou današnjih cijena s nekim korekcijama, potrebne su investicije od 1 900 milijuna dinara.

Osim gradnje Manojlovac II razmatrano je i pitanje gradnje dviju manjih hidroelektrana na rječici Čikoli, snage 15 MW i godišnjom proizvodnjom 75 GWh.

Interes za izgradnju hidroelektrana u Hrvatskoj raste iz dana u dan, jer se radi o obnovljivoj energiji, što je posebno važno u tekućoj energetskoj krizi. Stvoren je zaključak da treba nastaviti užurbano na pripremnim radovima — izradom studija i istraživanjem, a za hidroelektrane gdje je to završeno, treba izraditi projektnu dokumentaciju.

I. R.

»DALEKOVOD« IZVOZI ELEKTRO OPREMU

Posljednjih godina Radna organizacija »Dalekovod« Zagreb orijentirala se na probni izvoz ovjesnog i spojnog materijala za dalekovode i transformatorske stanice napona do uključivo 400 kV.

Izvoz je od 1976. godine u stalnom porastu. Prošle godine ostvaren je izvoz u vrijednosti 130 milijuna dinara, a plan izvoza za 1981. godinu predviđen je u iznosu od 240 milijuna dinara.

Ovjesni i spojni materijal izvozi se u niz zemalja kao u:

Libiju, Egipat, Zambiju, Ganu, Togo, Etiopiju, Irak, Iran, Kambodžu, Indoneziju, Bangladeš, Burmu, Jordan, zatim Meksiko, Mađarsku, ČSSR, Rumunjsku i Italiju a u posljednje vrijeme i u austriju i SR Njemačku. Najveći uvoznik ovjesnog i spojong materijala jest Libija i Irak.

Izvozni poslovi uglavnom su dobiveni na međunarodnim licitacijama na kojima redovno sudjeluju i renomirani svjetski proizvođači ovjesne i spojne opreme. Unatoč tako oštroj konkurenciji »Dalekovod« uspijeva dobiti poslove, jer je renome izvoznika stekao kvalitetom i poštivanjem ugovorenih rokova isporuke.

Mogućnosti izvoza su znatno veće od današnjih količina, a izvoz će se znatno povećati nakon izgradnje nove tvornice ovjesnog i spojnog materijala.

I. R.

UDRUŽENA SREDSTVA ZA ELEKTRANE U BiH

Zajedničkim ulaganjem proizvođača i potrošača električne energije u idućih pet godina riješit će se mnogi problemi Elektroprivrede SR Bosne i Hercegovine. Postignuta je suglasnost i utvrđenim Samoupravnim sporazumom o udruživanju sredstava radi financiranja izgradnje elektroenergetskih objekata do 1985. godine. Udruženim sredstvima financirat će se dovršenje izgradnje hidroelektrana Bočac, Salakovac, Mostar i Grabovica, termoelektrana i rudnika u Gacku i Ugljeviku i izgradnje pete etape TE Kakanj.

Udruživanjem sredstava osigurala bi se svota od oko 9 900 milijuna dinara.

I. R.

ISTRAŽIVANJE ENERGETSKIH SIROVINA

Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske i u 1981. godini nastavlja opsežna istraživanja za pronalaženje novih ležišta energetskih sirovina na svome području. U prvom planu su istraživanja i utvrđivanja rezervnih količina ugljena na području Slavonije, Istre i sjeverne Dalmacije.

Nastavit će se i geološka istraživanja urana u području Papuka, te za dobivanje urana iz uranonosnih ugljena i pepela, kao i proizvodnja urana iz fosforne kiseline dobivene preradom fosfata kod proizvodnje umjetnih gnojiva na bazi fosfata.

Za istraživanje ugljena i urana u 1981. godini elektroprivreda Hrvatske utrošit će oko 72,5 milijuna dinara.

I. R.

SLOVENIJA — 100 MALIH HIDROELEKTRANA

Slovenska elektroprivreda namjerava do 1895. godine sagraditi 100 malih hidroelektrana. Za približno 30 posto već su predviđene lokacije, a za preostale valja izabrati najprikladnije rijeke, rječice i potoke.

Planom je utvrđeno da takve male elektrane u Sloveniji ne budu vezane s postojećom električnom mrežom, već bi davale struju određenim potrošačima. Male hidroelektrane moći će graditi i pojedinci ili grupe zainteresiranih u brdovitim naseljima, a i pojedina seoska gospodarstva i obrtnici za svoje potrebe (mlinovi, pilane i sl.).

I. R.

RADE KONČAR

NEKA NOVA RJEŠENJA U POBOLJŠANJU KONTINUIRANE OPSKRBE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM ZRAČNIM VODOVIMA SREDNJEG NAPONA

Uvod

Prenapučenost velikih gradova i industrijskih središta, te nedovoljna propusna moć njihovih prometnica, sve više postaju ograničavajući faktor daljnjeg razvoja industrijske proizvodnje na postojećim lokacijama.

Već i do sada je često bilo nužno, a u buduće će biti još češće, da se prilikom novih ulaganja u proširenje proizvodnje, pronađu nove — uglavnom — disperzirane lokacije, više ili manje udaljene od sadašnjih.

Osim toga, u prigradskim selima razvija se i značajna djelatnost na području proizvodnje i prerade hrane, koja također zahtijeva sve više el. energije.

Svi ovi potrošači opskrbljuju se, pretežno, zračnim vodovima napona 12, 24 i 38 kV, koji su izloženi čestim kvarovima pod utjecajem atmosferskih prenapona.

Automatsko odvajanje voda u kvaru

Postojeća rješenja s ugradnjom linijskih rastavljača, ili rastavnih sklopki, na počecima krajnjih vodova, ne daju mogućnost brzog lociranja kvara, pa čitava područja ostaju duže vrijeme bez električne energije sa svim posljedicama koje iz tog proizlaze.

Druga mogućnost, koja na odvojcima zahtijeva postavljanje odgovarajuće transformatorske stanice (TS), sa prekidačem za ponovno uklapanje i pripadnom relejnom zaštitom, predstavlja i još će dugo predstavljati, ekonomski neprihvatljivo rješenje za ovu vrstu potrošača.

Nastojanja proizvođača el. opreme, da se i ovim potrošačima omogući sigurnija opskrba el. energijom dovela su do primjene uređaja za automatsko odvajanje zračnog voda u kvaru, koji se prigrađuje na svaku fazu linijskog rastavljača, prema sl. 1.

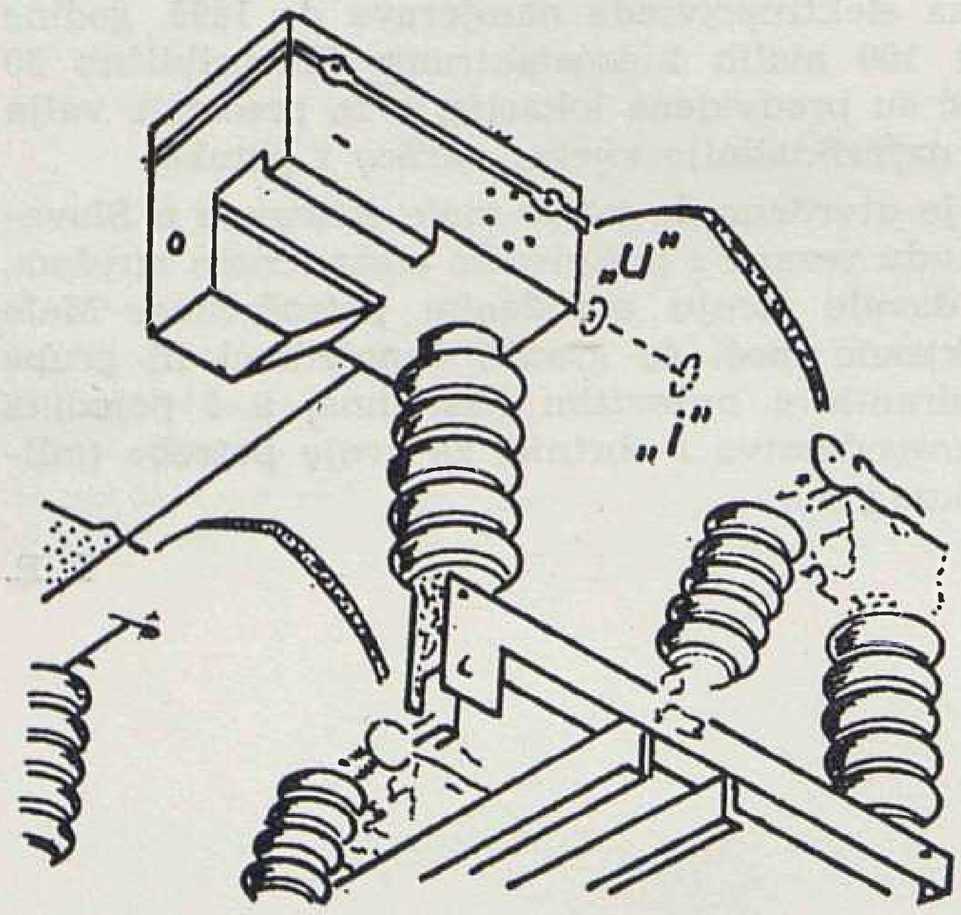
Primjenom ovog uređaja, omogućeno je veoma brzo odvajanje voda u kvaru, čime se osigurava nesmetana opskrba potrošača priključenih na druge krajnje vodove u promatranom konzumnom području.

Za naše razmatranje, pretpostavimo mrežu s četiri radijalno spojena voda — prema sl. 2. na čijim su počecima ugrađeni linijski rastavljači LR, ili rastavne sklopke, s uređajima za automatsko odvajanje voda u kvaru, proizvodnje »R. Končar« — OOUR Sombor.

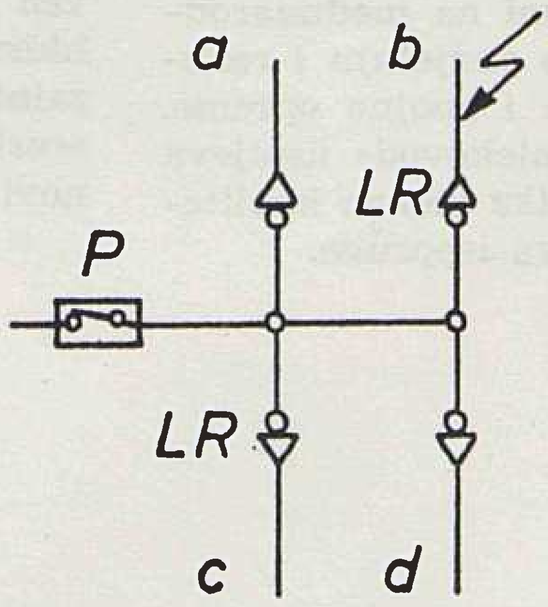
U slučaju pojave kvara na vodu (b), struja kratkog spoja I_k aktivira zaštitu prekidača (P), ugrađenog u TS na početku glavnog voda, koji prekida struju I_k za približno 0,1 — 0,2 sek. od njezinog nastanka.

Istovremeno je struja I_k aktivirala i automatski uređaj za odvajanje na vodu (b), koji nakon zatezanja od 10 do 20 sek. odvoji vod od preostalog dijela mreže.

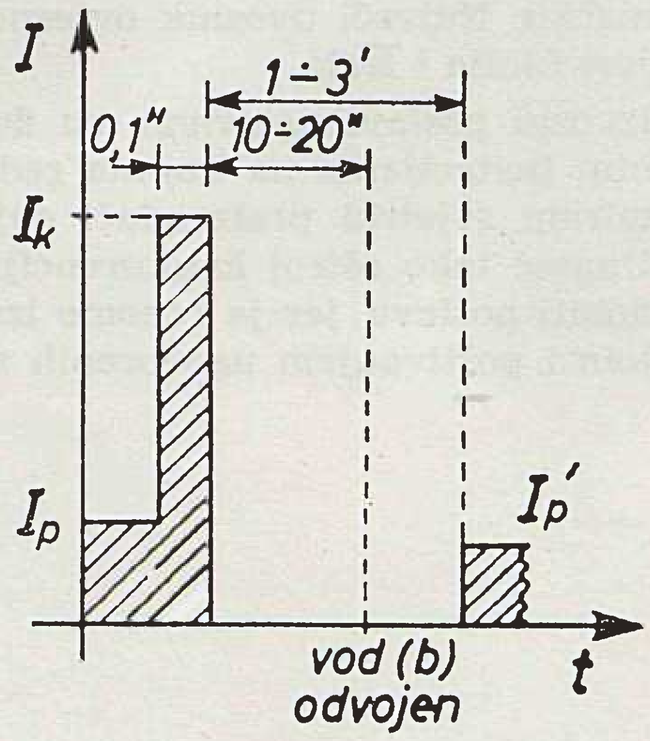
Uklapanjem prekidača, ručno ili automatski nakon pauze od 1 — 3 min., ponovno se nastavlja opskrba



Sl. 1.



Sl. 2.



Sl. 3.

potrošača priključenih na vodove (a), (c) i (d), kao što je vidljivo iz dijagrama na sl. 3.

$$I_p = I_k = 0$$

Prije otklanjanja kvara na vodu, potrebno je linijski rastavljač ručno otvoriti u krajnji isklopni položaj, čime se izdanak vidljiv na sl. 1. vrati iz položaja »i« u položaj »u« i na taj način ponovno zatvori strujni put kroz uređaj za automatsko odvajanje na vodu (b).

Samo po sebi razumljivo, ako je na početku glavnog voda ugrađen prekidač (P) suvremenih karakteristika, kao što su prekidači tipa M12 — 38 proizvodnje »RK« — OOUR Zagreb Borongaj, koji imaju mogućnost brzog ponovnog uklopa, te ako u TS postoji odgovarajući APU uređaj i ako se radi o prolaznom kvaru, prekidač (P) ponovo uklopi nakon pauze od 0,3 do 8 sek., da u tom slučaju automatski uređaj za odvajanje voda u kvaru neće proraditi, čime se nastavlja redovna opskrba i potrošača priključenih na vod (b).

Neke mogućnosti primjene uređaja za automatsko odvajanje voda u kvaru

Posebno je zanimljiv slučaj, ako na razvijenijem konzumnom području imamo i takve potrošače, koji ni kraću stanku u opskrbi el. energijom ne mogu prihvatiti zbog zastoja u proizvodnom procesu. Primjer opskrbe važnijih potrošača na vodovima A i B, uz korištenje dva prekidača i linijskih rastavljača s uređajem za automatsko odvajanje voda u kvaru, prikazan je na slici 4.

U našem primjeru, ponovno je pretpostavljen kvar na odvojku (b). Struja kratkog spoja istovremeno potiče relej za automatsko odvajanje voda (b), te odgovarajuće zaštite na prekidačima P_1 i P_2. Zaštita prekidača u glavnoj TS, je tako podešena da prekidač P_1 prvi isklopi, dok je vremensko zatezanje na uređaju za automatsko odvajanje voda u kvaru — kako već znamo — od 10 do 20 sekundi. Uređaj za brzo ponovno uklapanje, uz prekidač P_1, odmah proslijedi impuls za ponovni uklop, te prekidač — nakon beznaponske pauze od približno 0,3 sek. — ponovno uklopi.

Ako je kvar bio prolaznog karaktera, opskrba el. energijom nastavlja se dalje bez ikakvih smetnji na čitavom području, kao što je opisano u prvom dijelu ovog članka.

Međutim, ako je na vodu (b) kvar trajnog karaktera, uklapanjem prekidača P_1 ponovno se u vodu (b), kao i kroz prekidače P_1 i P_2 uspostavlja struja kratkog spoja I_k. Za ovaj slučaj, zaštite na prekidačima se tako podešene, da drugo isklapanje izvrši prekidač P_2 u područnoj TS.

Ovime je mjesto kvara odvojeno prekidačem P_2, čime je osigurana nesmetana opskrba potrošača priključenih na vodovima A i B. Dijagram struje kroz prekidač P_1 prikazan je u ovom primjeru na sl. 5.

Nakon 10 do 20 sekundi po isklopu prekidača P_2, tj. nakon prestanka djelovanja struje kratkog spoja I_k, uređaj za automatsko odvajanje voda u kvaru, odvoji vod (b) od ostalog dijela mreže, čime vod (b) trajno ostaje izvan pogona dok se kvar točno ne pronađe i otkloni. Za potrošače priključene na vodove (a), (c), i (d), uspostavit će se ponovno redovna opskrba el. energijom jednu do tri min. nakon isklopa prekidača P_2 u područnoj TS, a dijagram struje kroz prekidač P_2 prikazan je u tom slučaju na sl. 6.

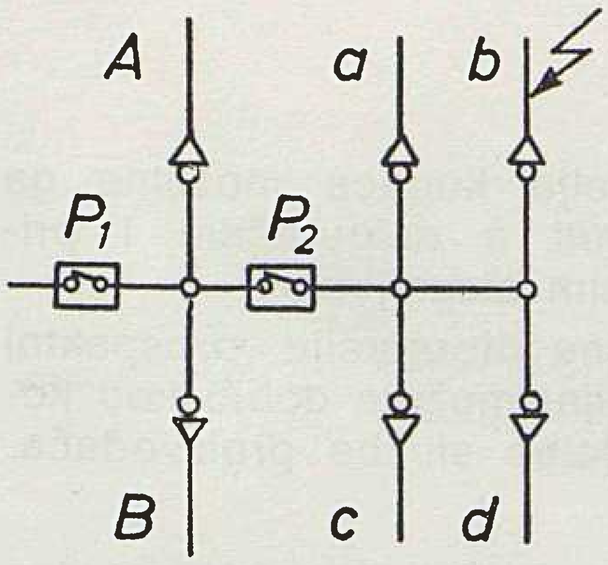
Zaključak

Iz navedenih primjera se vidi da uređaj za automatsko odvajanje voda u kvaru omogućava:

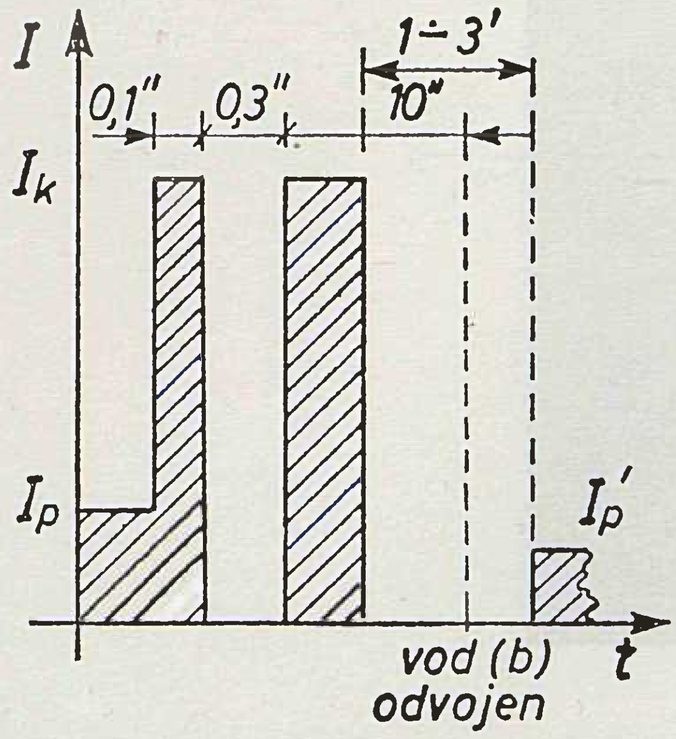
— sigurniju opskrbu el. energijom, radi manjeg broja ispada, jer izvan pogona ostaje samo vod u kvaru,
— kraće vrijeme za pronalaženje i otklanjanje kvara,
— manje troškove za otklanjanje nastalih kvarova,
— manje ljudstva i vozila za održavanje zračnih mreža srednjeg napona.

Sve ove prednosti potvrđuju zaključak, da se ubuduće može očekivati značajna primjena uređaja za automatsko odvajanje voda u kvaru na zračnim mrežama srednjeg napona.

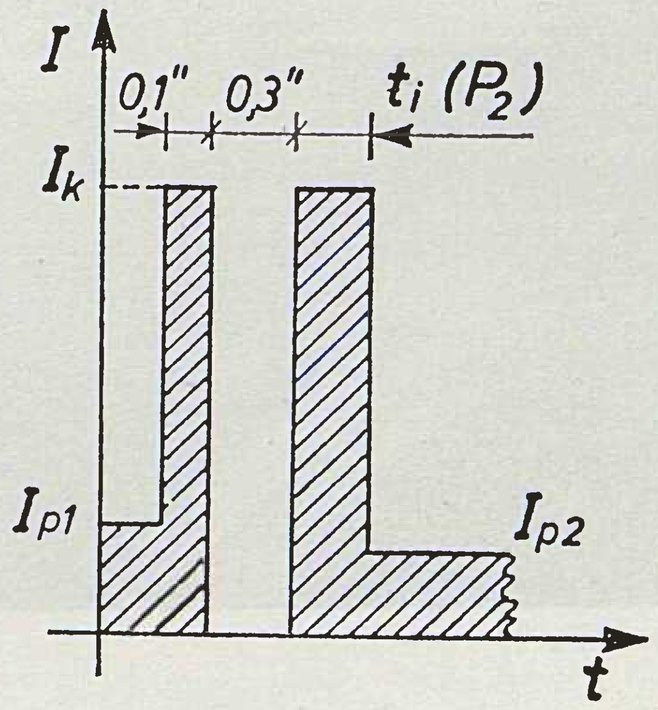
Naslov pisca:
Josip Polanc, dipl. ing.
RO »Rade Končar« — Elektrouređaji



Sl. 4.



Sl. 5.



Sl. 6.

KANDELABRI „ARPOSA"

proizvodnje IGM „Sava" – Krško

Industrija građevnog materijala »SAVA« Krško počela je s proizvodnjom kandelabera »ARPOSA« od armiranog poliestera, tipske dužine 4,7 i 4,0 m.

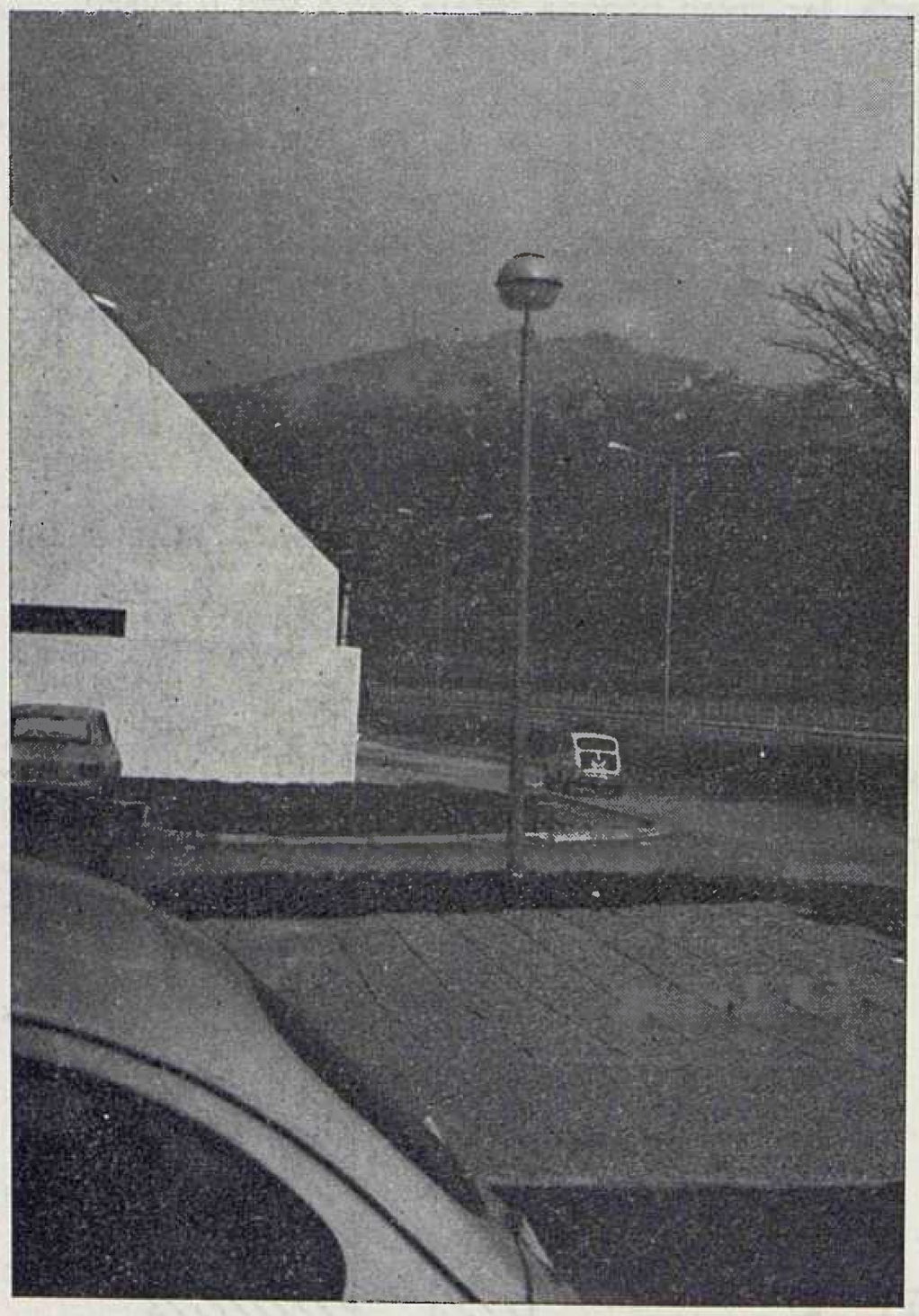
Kandelabri su oblikom šuplji s konicitetom, konačnog vanjskog promjera 76 mm, što odgovara svjetiljkama koje se upotrebljavaju u te svrhe.

Estetskog su oblika, pa ih možemo (zbog mogućnosti različitih boja) uklopiti u bilo kakav ambijent. Zbog upotrebe armiranog poliestera sa staklenim vlaknima predstavljaju izolaciono tjelo, pa ih nije potrebno uzemljivati. Sam materijal ne korodira, a ne uništavaju ga ni mikroorganizmi.

Stoga imaju dug životni vijek i ne mijenjaju im se mehanička i druga svojstva. Zbog specijalne tehnologije predstavljaju kompaktan element s malim uklonom, pa su upotrebljivi i u području vjetra treće zone.

Vrlo su lagani (težina oko 14 kg) i zato se mogu jednostavno prenositi i transportirati.

Osim kandelabra IGM, »SAVA« proizvodi i montažne temelje pomoću kojih možemo kandelabre brzo i jednostavno podizati i na manje nosivom tlu.



Na želju kupaca možemo ga opremiti s osiguračem i priključnim stezaljkama.

Detaljne informacije i prospektni materijal možete dobiti kod komercijalne službe proizvođača.

Energija God. 30 (1981) br. 7—8, 263—272

RAZVOJ ELEKTOPRIVREDE HRVATSKE I RAZVOJ ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U ZAGREBU*

Rade Pavlović i Ivo Božin, Zagreb

1. UVOD

Prije 25 godina, točnije 26. travnja 1956, Sabor SRH donio je odluku prema kojoj je od Elektrotehničkog odsjeka Tehničkog fakulteta u Zagrebu formiran Elektrotehnički fakultet. Od tog vremena do danas na tom Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu diplomiralo je oko 5 000 inženjera elektrostruke. Brzi razvoj privrede omogućio je zapošljavanje mladih stručnjaka, a nemali dio njih našao je svoje radno mjesto u osnovnim i radnim elektroprivrednim organizacijama Hrvatske.

Smatramo korisnim ovom prigodom prikazati razvoj elektroprivrede Hrvatske od 1946. do 1980. godine, iznijeti naša saznanja o razvoju do kraja ovog stoljeća te upozoriti na povezanost razvoja elektroprivrede i Elektrotehničkog fakulteta.

2. RAZVOJ ELEKTROPRIVREDE 1946—1980.

Električna energija pripada među relativno novije oblike energije koje koristimo za praktičnu upotrebu. Od prvih početaka njezina korištenja do danas prošlo je tek devedesetak godina a njezina upotreba utkana je u sve privredne, veći dio društvenih pa i osobnih aktivnosti, tako da je postala nezamjenjiv oblik energije. Osiguranje energije svih oblika, a posebno električne, predstavlja preduvjet razvoja privrede i rasta standarda stanovništva. Zato je razumljivo da je naše društvo poklanjalo izuzetnu pažnju planiranju i izgradnji objekata za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije.

Nakon oslobođenja na području Jugoslavije postojali su, tehnički nepovezani, mali elektrosistemi. Izgradnjom visokonaponske mreže pojedini dijelovi zemlje su se međusobno povezivali, a 1957. godine ostvareno je tehničko jedinstvo elektroenergetskog sistema zemlje. Budući da je razvoj elektroprivrede Hrvatske tijesno povezan s razvojem elektroprivrede Jugoslavije, to ćemo prilikom iznošenja podataka o razvoju proizvodnje i potrošnje električne energije u Hrvatskoj istaknuti neke najbitnije momente iz zajedničkog razvoja.

Planiranje razvoja privrede i elektroprivrede od 1945. vodilo se centralno, za zemlju u cjelini. Izgradnja važnih elektroenergetskih objekata financirala se iz centralnih fondova. Tako se od 1945. do 1953. godine izgradnja elektrana financirala iz budžetskih sredstava (nepovratno), a od 1954. do 1965. godine izgradnja elektrana i prijenosne mreže financirala se kreditima iz općeg investicionog fonda pod vrlo povoljnim uvjetima (kamatna stopa 2%, a rok otplate 20—40 godina). Do značajnih promjena u financiranju izgradnje, u ekonomskom položaju elektroprivrede pa i organizaciji dolazi 1965. godine. Na osnovi zakonskih odredbi koje su stupile na snagu 1. srpnja 1965. godine odgovornost za razvoj i rad eletroenergetskog sistema prenosi se s federacije na nivo republika. To znači da se od tog vremena u okviru republika planira razvoj potrošnje električne energije, izgradnja novih elektroenergetskih objekata, osiguravaju izvori financijskih sredstava, vrši optimizacija eksploatacije te utvrđuju prodajne cijene električne energije.

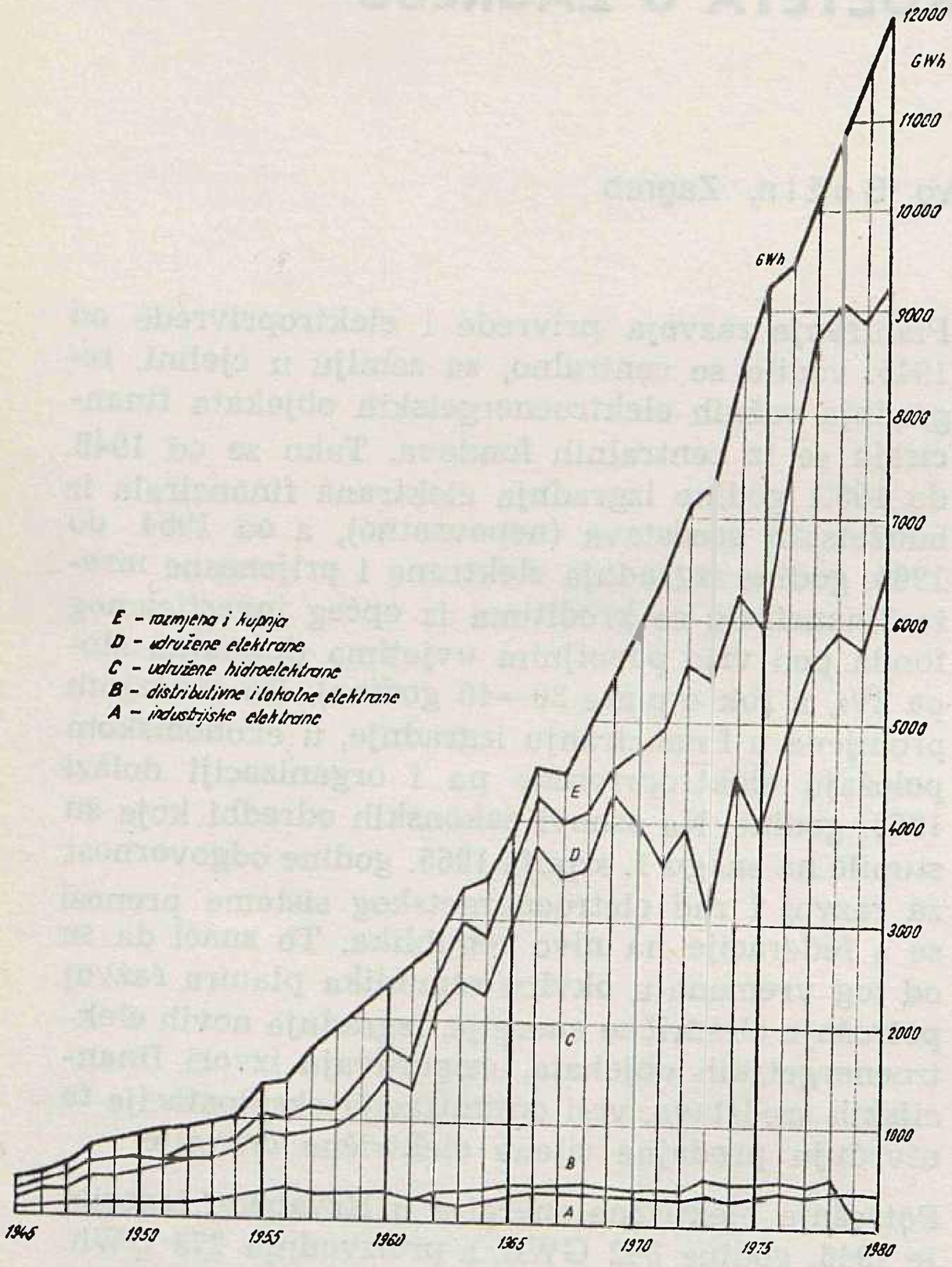
Potrošnja električne energije u Hrvatskoj iznosila je 1946. godine 342 GWh, a proizvodnja 273 GWh. Potrošnjom od 92 kWh po stanovniku godišnje bili smo na samom začelju evropskih zemalja. Primjena električne energije u privredi bila je ograničena niskim stupnjem privrednog razvoja, a primjena u kućanstvima niskim životnim standardom i neizgrađenošću distributivne mreže. Za ilustraciju stanja može poslužiti podatak da je 1946. godine od ukupnog broja naselja bilo elektrificirano samo 15%, a od ukupnog broja domaćinstva tek 28%. Instalirana snaga u elektranama iznosila je 117 MW, od toga 69 MW u hidroelektranama i 48 MW u termoelektranama. Snaga najvećeg instaliranog agregata bila je 26 MVA (hidroelektrana Kraljevac). To su, eto, samo neki osnovni podaci iz startne 1946. godine.

Potreba ubrzanog privrednog i industrijskog razvoja diktira razvoj elektroprivrede. Prvo plansko razdoblje s intenzivnom industrijalizacijom i elektrifikacijom počinje 1947. godine. Osnovna strategija pri planiranju izgradnje elektrana bila je da se iskoristi hidroenergetski potencijal i sitni »otpadni« asortimani ugljena, a kod mreže da se novim dalekovodima i trafo-stanicama omogući transport energije u potrošačka područja i osigura bolja

* Članak iz publikacije ETF.

povezanost pojedinih dijelova unutar republika i zemlje u cjelini.

Razvoj potrošnje električne energije u elektroprivredi Hrvatske za razdoblje 1946—1980. godine prikazan je na slijedećem dijagramu.



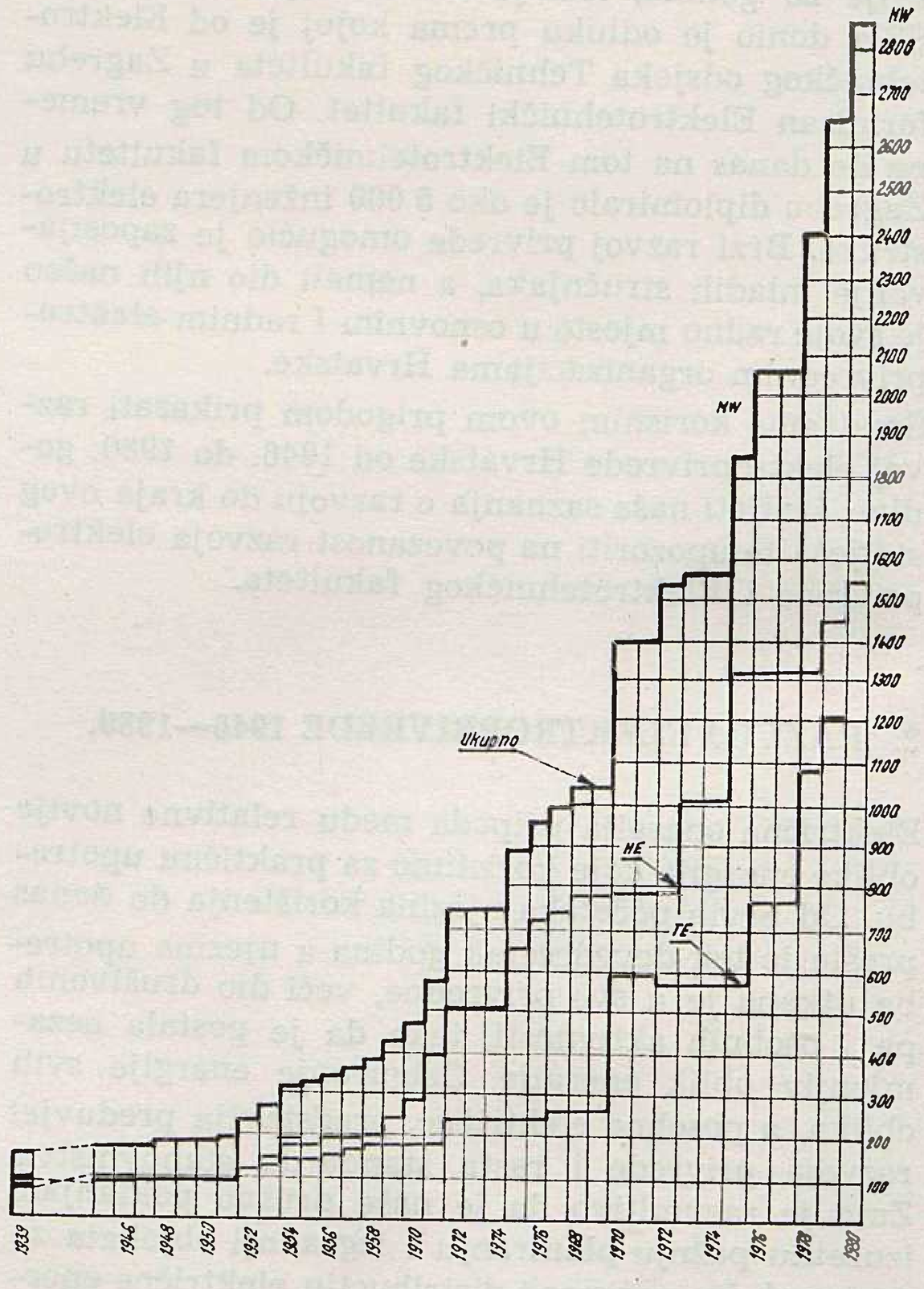
Dijagram 1. Razvoj elektroprivrede Hrvatske

U pojedinim vremenskim razdobljima ostvaren je ovakav srednji godišnji porast potrošnje električne energije:

1947—1950.	15, 4 %
1951—1960.	11,50 %
1961—1970.	10,25 %
1971—1980.	7,63 %
1947—1980.	10,49 %

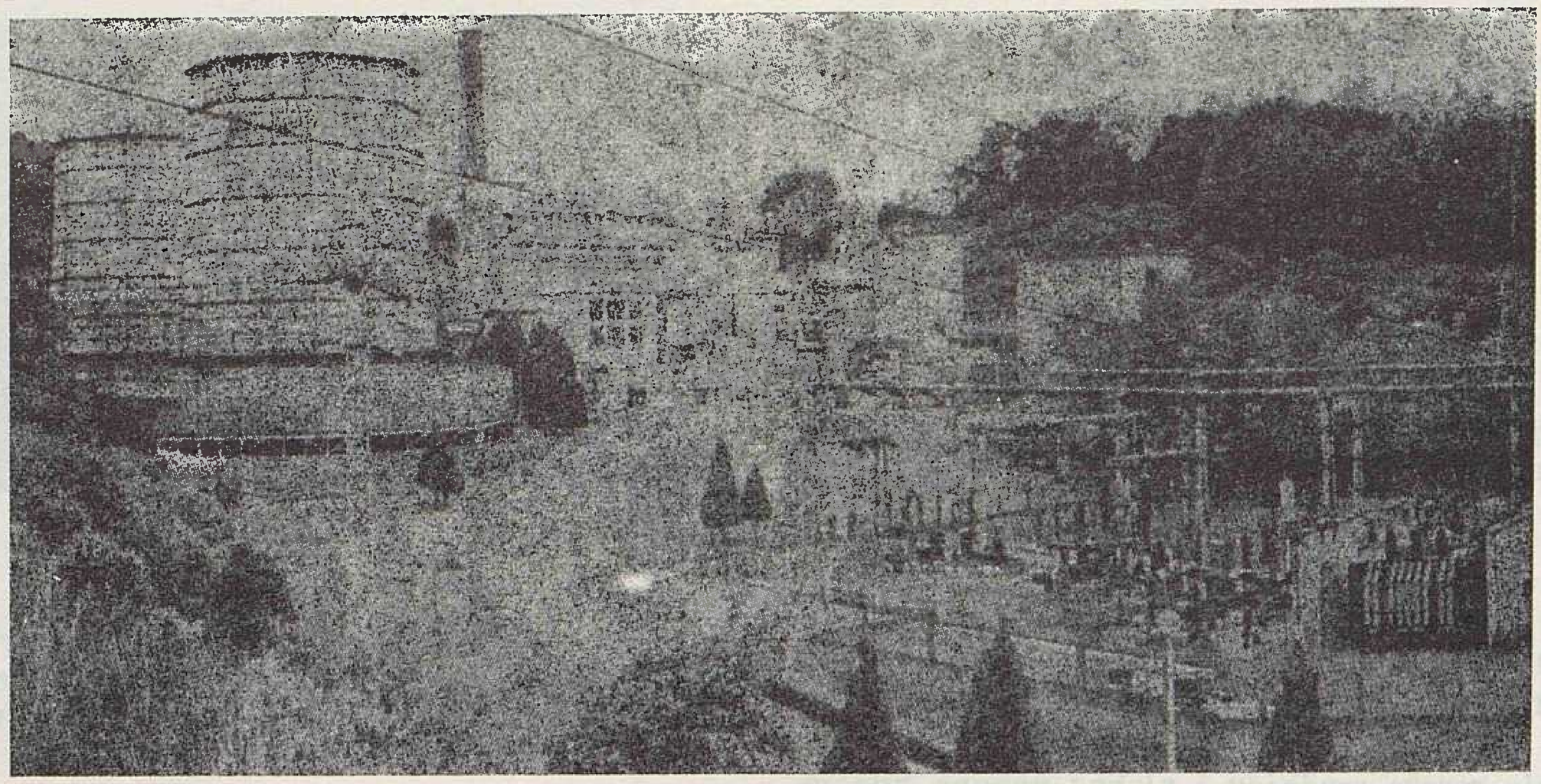
Porast potrošnje bio je najveći u prvim poslijeratnim godinama, tako da je udvostručenje potrošnje iz 1947. godine postignuto za samo 4,7 godina. Kod većeg nivoa potrošnje opadao je srednji godišnji porast tako da je udvostručenje potrošnje iz 1966. ostvareno za 6 godina, a za nivo potrošnje u 1970. godini trebalo je 9 godina da se potrošnja udvostruči.

Navedenu potrošnju električne energije bilo je moguće ostvariti izgradnjom odgovarajućih kapaciteta za proizvodnju, prijenos i distribuciju. Planiranje izgradnje elektrana vršeno je na domaćim energetskim izvorima. Bilo je poznato da Jugoslavija raspolaže značajnim hidroenergetskim potencijalom koji se procjenjivao na oko 84 TWh, od čega je 12 TWh bilo na području Hrvatske. Mogućnosti korištenja niskokaloričnih ugljena za proizvodnju električne energije u termoelektranama bile su također vrlo velike. Polazeći od tadašnjeg, veoma niskog nivoa potrošnje i, za tadašnje potrebe, ogromnih mogućnosti proizvodnje, stvoreno je mišljenje kako smo veoma bogata zemlja primarnim oblicima energije, koji mogu osigurati energetsku osnovu za izgradnju elektrane ne samo za razdoblje od 30 do 50 godina, već i za nekoliko stotina godina. Porast instalirane snage u elektranama elektroprivrede Hrvatske prikazan je na slijedećem dijagramu.



Dijagram 2. Razvoj instalirane snage u elektranama Hrvatske

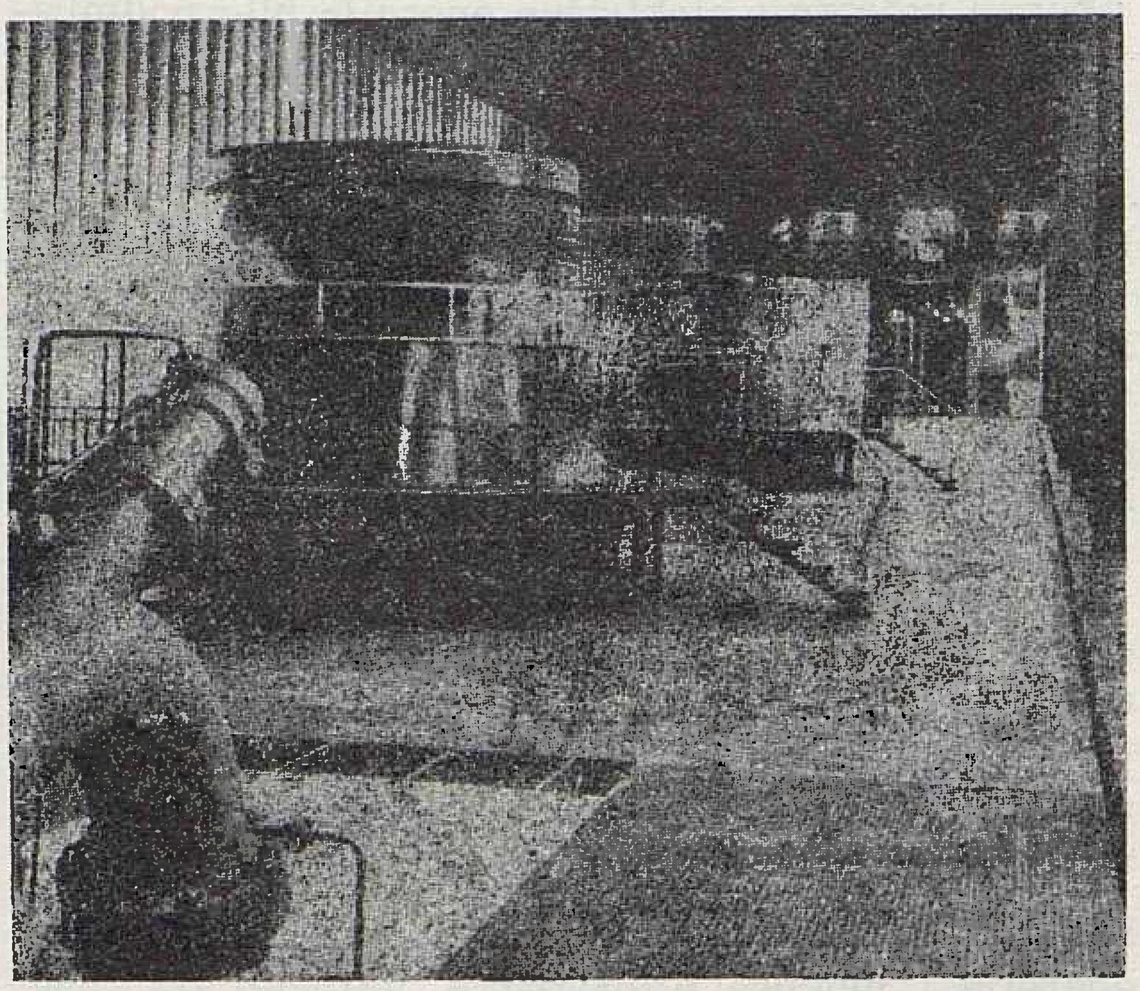
Važno je konstatirati da od ukupno instalirane snage termoelektrana 1980. godine oko 1 100 MW upotrebljava kao gorivo loživo ulje ili plin, a 130 MW radi na bazi ugljena. Niske cijene uvoznog tekućeg goriva, naročito u razdoblju 1967—1973, u odnosu na cijene ugljena domaće proizvodnje po jedinici topline bile su osnovni razlog što je elektroprivreda Hrvatske gradila termoelektrane na tekuće gorivo locirane uz rafinerije nafte u Sisku i Rijeci. Štoviše, termoelektrane Jertovec i toplana Zagreb, koje su do tada za proizvodnju električ-



TE Jertovec

ne i toplinske energije upotrebljavale ugljen, iz istih su razloga bile pregrađene na korištenje loživog ulja.

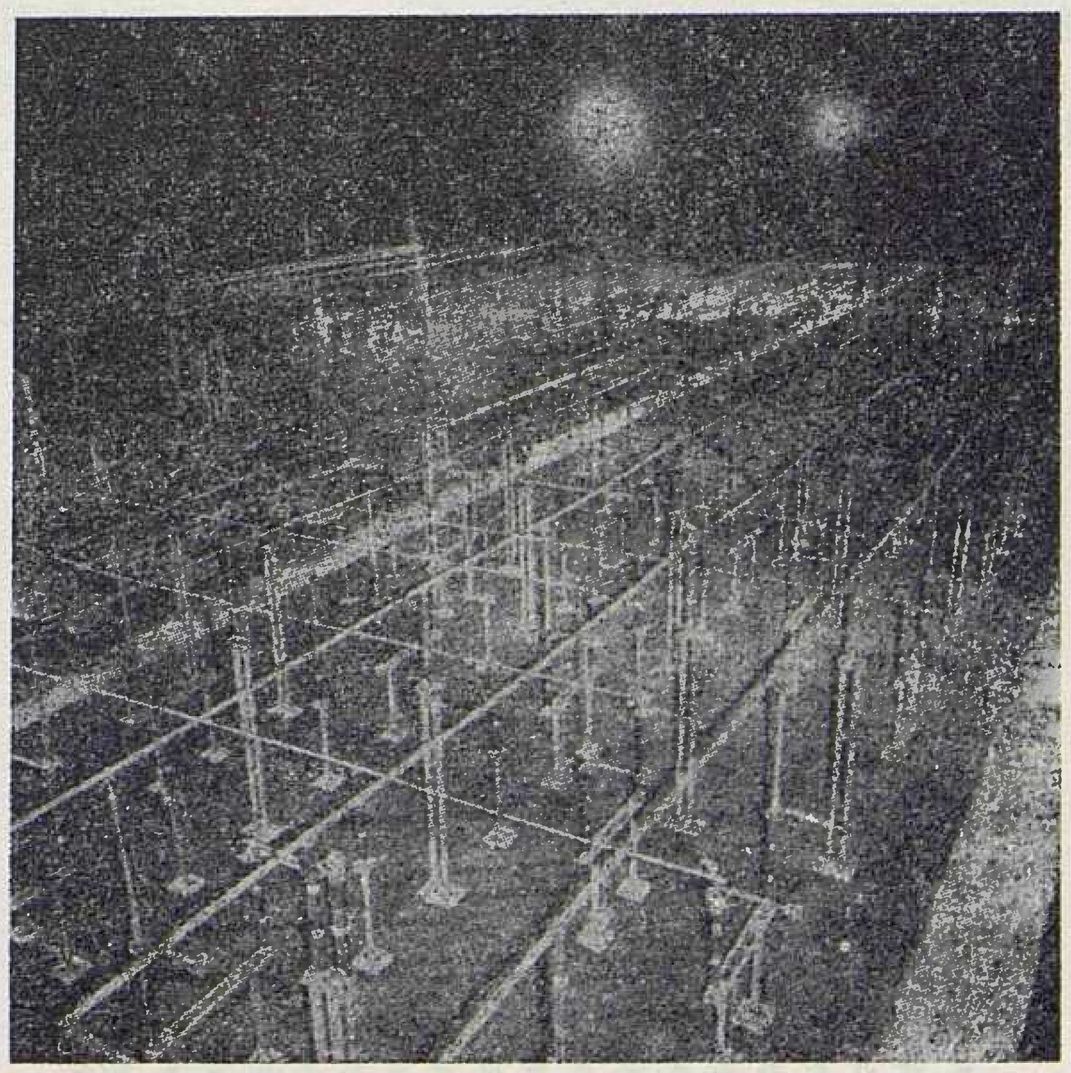
Udio hidroelektrana u ukupnoj instaliranoj snazi elektrana bio je dominantan i u vremenskom razdoblju od 1965. do 1968. iznosio je oko 80%.



HE Zakučac — unutrašnji dio strojarnice

U prikazu instaliranih snaga nisu sadržani proizvodni kapaciteti od 570 MW u 1980, čiju izgradnju je financirala elektroprivreda Hrvatske u vremenu od 1969. do 1980. godine na području drugih republika, i to na lokacijama Tuzla, Obrenovac i Kakanj, a radi osiguranja dugoročnijih potreba potrošača električne energije u Hrvatskoj.

Izgradnjom visokonaponske prijenosne mreže povezani su dotad izolirani manji elektroenergetski sistemi, a to je omogućilo efikasniji razvoj i rentabilniju eksploataciju. Tako da je 1957. godine, stavljanjem u pogon dvostrukog 110 kV dalekovoda Jajce—Zagreb, stvoren tehnički jedinstven elektroenergetski sistem zemlje. Izgradnjom i stavljanjem u pogon 220 kV dalekovoda Split — Zagreb 1962. godine omogućen je prijenos značajnih količina električne energije iz novoizgrađene hidroelektrane Zakučac prema velikom konzumnom području Zagreba. Godine 1978. stavljena je u pogon dionica 380 kV dalekovoda Obrenovac — Ernestinovo — Zagreb, čime je omogućeno povećanje prijenosa električne energije na ovom pravcu i stabilniji rad elektroenergetskog sistema cijele zemlje.



Slika trafo-stanice 380/110 kV Zagreb

Porast kapaciteta visokonaponske mreže elektroprivrede Hrvatske može se najbolje iskazati podacima o rastu dužine dalekovoda:

	1945. godina	1965. godina	1980. godina
110 kV	83 km	1 673 km	3 192 km
220 kV	--	593 km	1 019 km
380 kV	—	—	612 km

i porast instalirane snage transformatora u trafo-stanicama:

	1945. godina	1965. godina	1980. godina
TS 110/ 35 kV	20 MVA	1 161 MVA	3 672 MVA
TS 220/110 kV	—	350 MVA	2 100 MVA
TS 380/110 kV	—	—	1 200 MVA

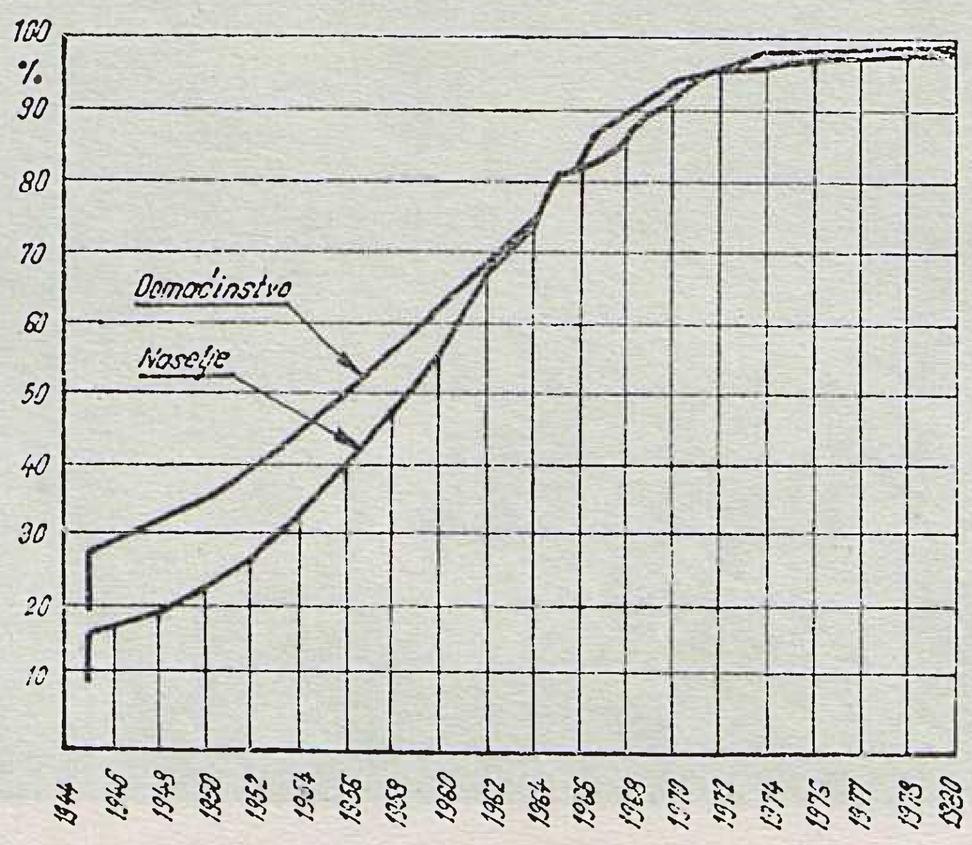
Izgradnja mreže srednjeg i niskog napona bila je diktirana razvojem potrošnje električne energije na pojedinim područjima. Rast opsega ove mreže vidi se iz porasta dužine vodova raznih napona:

	1945. godina	1965. godina	1980. godina
Vodovi 35 kV	493 km	2 848 km	4 023 km
Vodovi 3—10 kV	1 691 km	12 154 km	22 758 km
Vodovi 0,4 kV	4 376 km	26 042 km	43 318 km

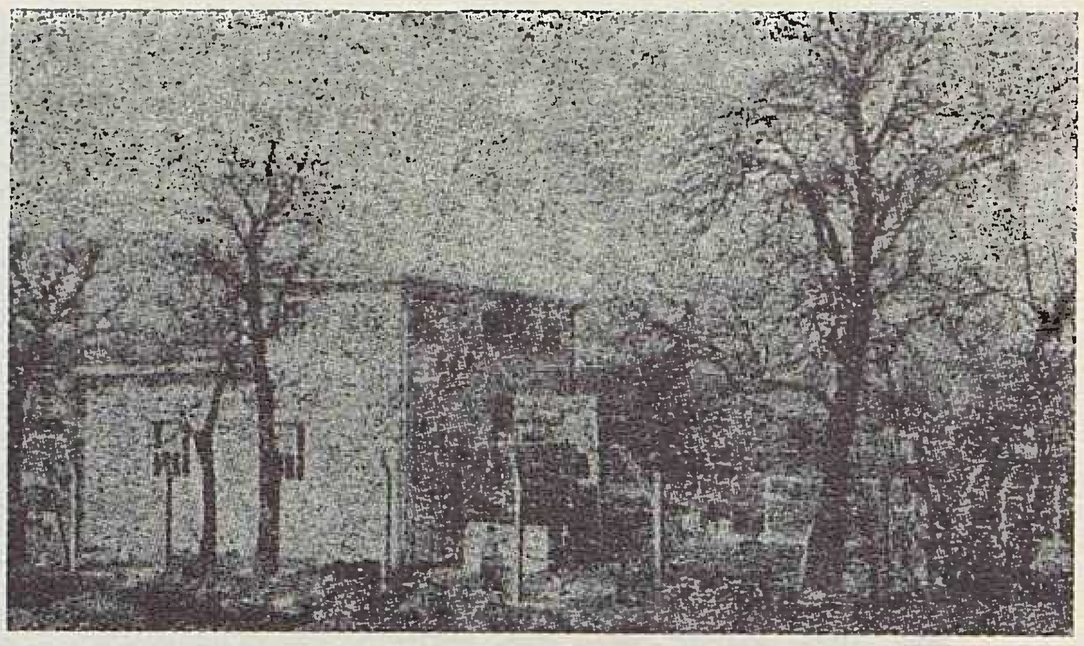
te iz porasta instalirane snage transformatora u trafo-stanicama:

	1945. godina	1965. godina	1980. godina
TS 35/10 kV	88 MVA	1 011 MVA	2 553 MVA
TS 10— 3/ 0,4 kV	187 MVA	1 109 MVA	3 405 MVA

Intenzivnim razvojem distributivne mreže omogućen je priključak velikog broja novih potrošača. Izuzetan napredak postignut je upravo u elektrifikaciji naselja i domaćinstava, što je prikazano na slijedećem dijagramu.



Dijagram 3. Razvoj elektrifikacije SR Hrvatske



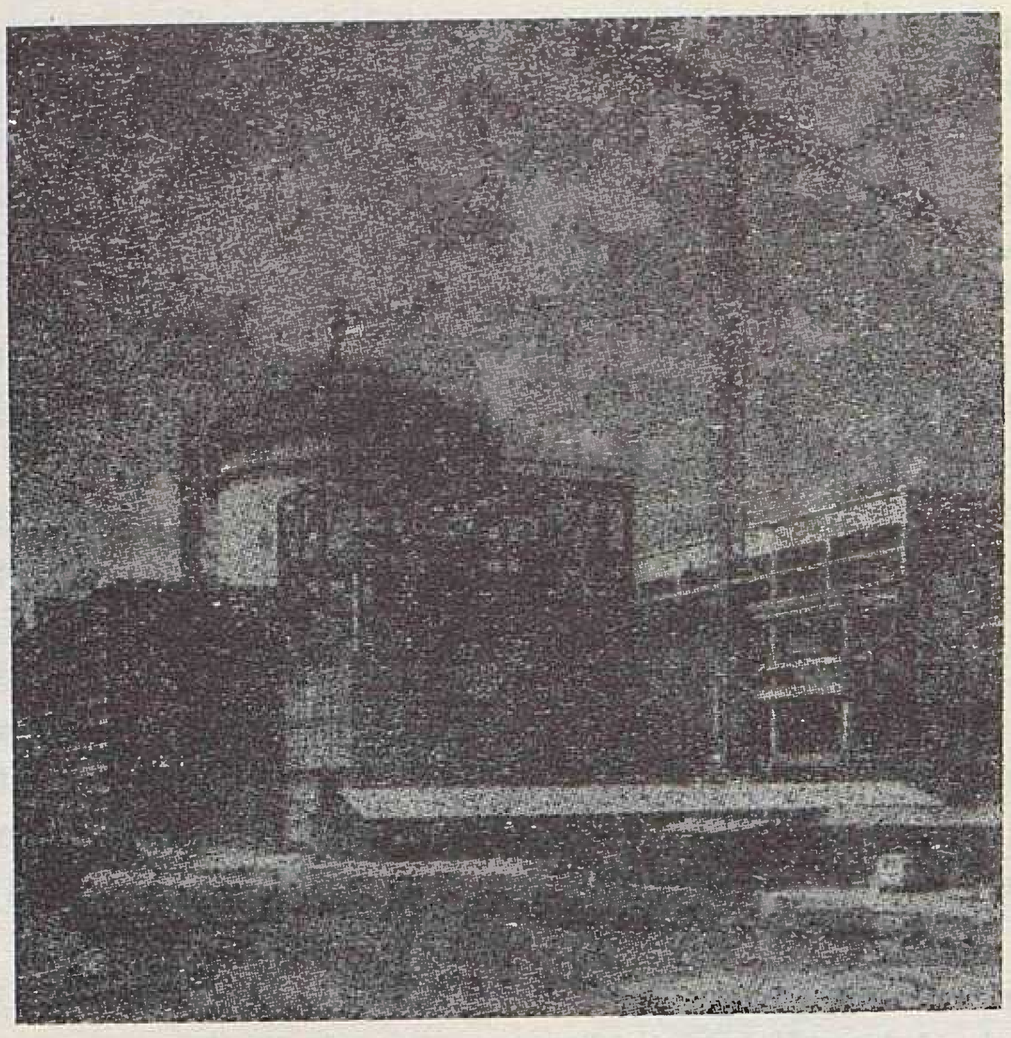
Slika distributivne trafo-stanice

Za razvoj elektroprivrede u promatranom razdoblju karakteristični su još neki momenti na koje treba posebno upozoriti jer se oni ne uočavaju u iskazanim sumarnim podacima rasta.

Kao što je već spomenuto, 1965. godine došlo je do značajnih promjena u načinu planiranja razvoja, financiranju izgradnje, ekonomskom položaju i organizaciji elektroprivrede. Naime, od te godine odgovornost za razvoj i za rad elektroprivrede preuzimaju republike. U prvo vrijeme smatralo se da će elektroprivreda Hrvatske u novim odnosima biti u povoljnom položaju jer je oko 80% ukupne potrošnje električne energije podmirivano jeftinom proizvodnjom u izgrađenim hidroelektranama. Situacija je ipak bila složenija jer je 10—20% od ukupne potrošnje električne energije bilo podmirivano iz drugih republika, što je u novim uvjetima trebalo kompenzirati izgradnjom elektrana.

Planove razvoja od 1965. godine izrađivala je i predlagala elektroprivreda, što je zatim usaglašavala s odgovarajućim republičkim organima za pojedina petogodišnja razdoblja. Planovima je bio definiran razvoj potrošnje električne energije, izgradnja objekata te izvori financijskih sredstava. Radi zaostajanja izgradnje novih kapaciteta, u prvom redu elektrana, u razdoblju 1968—1974. godine, došlo je krajem 1973. godine do raskoraka između narasle potrošnje i mogućnosti proizvodnje. Ograničavanje potrošnje električne energije trajalo je više mjeseci s negativnim posljedicama kako za privredu, tako i za organizaciju života stanovništva, naročito u većim urbanim sredinama.

Dugoročne projekcije razvoja potrošnje električne energije i moguće proizvodnje, naročito od 1960. godine, jasnije su upućivale na zaključak da smo, dugoročno gledano, kao zemlja, a posebno kao republika, siromašni primarnim energetskim izvorima. Polazeći od takve spoznaje, elektroprivreda Hrvatske bila je još 1968. godine inicijator izrade dugoročne projekcije razvoja koja je trebala pokazati mjesto i ulogu nuklearnih elektrana u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije. Na osnovi većeg broja studija, kao i ostale tehničke dokumentacije, između Socijalističke Republike Hrvatske i Socijalističke Republike Slovenije zaključen je 1970. godine ugovor o izgradnji dviju nuklearnih



Nuklearna elektrana Krško

elektrana. Osnovni je princip zajedničke izgradnje i korištenja da se obaveze, koristi i rizici dijele u omjeru 50 : 50%. Na osnovi takvog aranžmana zaključen je 1974. godine ugovor s američkom tvrtkom Westinghouse o nabavi opreme za izgradnju NE Krško instalirane snage 630 MW, s reaktorom tipa PWR. Izgradnja NE Krško nalazi se u završnoj fazi.

Jednako kao što je industrijalizacija zemlje diktirala razvoj proizvodnje električne energije, i izgradnja elektroenergetskih objekata zahtijevala je angažiranje domaćih projektanata, isporučilaca opreme i izvođača radova. Domaći projektanti su se postupno osposobili za izradu projektne dokumentacije i za najsloženija rješenja, kao što su stavaranje velikih akumulacionih jezera u krškom terenu, a strojogradnja se osposobila za izradu najvažnijih elemenata opreme kao što su generatori, transformatori, turbine itd. Danas možemo kazati da su projektanti u stanju izraditi projekte, a industrija cjelokupnu opremu za hidroelektrane najvećih snaga te za prijenosnu mrežu najvišeg napona. Na žalost, učešće domaće industrije u izgradnji termoelektrana znato je nepovoljnije. Uzroka za takvo stanje ima više, no jedan je od važnijih nepostojanje dugoročnih planova razvoja elektroprivrede, a time i razvoja industrije energetske opreme u zemlji.

Rekapitulirajući razvoj elektroprivrede Hrvatske u protekle 34 godine, možemo zaključiti da su postignuti značajni rezultati koji se ogledaju u porastu proizvodnje i potrošnje električne energije za oko 35 puta, što je omogućeno odgovarajućim porastom proizvodnih, prijenosnih i distributivnih kapaciteta.

Isto tako treba konstatirati da je radi pomanjkanja dugoročnih razvojnih planova elektroprivrede Hrvatske i Jugoslavije, kao i radi značajnih promjena u uvjetima nabave energije na svjetskom tržištu, u zadnjih dvadesetak godina dolazilo do promjene strukture izgradnje elektrana.

3. MOGUČNOST RAZVOJA ELEKTROPRIVREDE DO 2000. GODINE

Raspoloživost električne energije bit će u budućnosti, kao što je bila i u proteklom razdoblju, ograničavajući element razvoja privrede i društva. Planiranje i optimalni razvoj elektroprivrede bit će otežan u usporedbi s razdobljem do 1980. godine zato što treba računati s većim količinama potrebne energije, sa smanjenim raspoloživim rezervama primarnih oblika energije koje su potrebne za proizvodnju električne energije i sa sve težim uvjetima nabave energije na međunarodnom tržištu.

Planovi razvoja elektroprivrede rade se i sada za petogodišnja razdoblja u kojima se donose planovi društvenog razvoja republike i Jugoslavije. Dosadašnja saznanja upućuju na zaključak da se realni petogodišnji planovi mogu napraviti samo ako je sagledana dugoročna projekcija razvoja energetike i elektroprivrede za razdoblje od 15 do 20 godina. Naime, efektivna izgradnja značajnih elektroenergetskih objekata traje 4—6 godina, a ako tome pribrojimo i potrebno vrijeme za izradu studija, terenska istraživanja, izradu projektne dokumentacije i ostale pripreme, onda se vrijeme za realizaciju termoelektrana i nuklearnih elektrana povećava na 6 odnosno 11 godina. Dugoročniji razvojni program elektroprivrede daje solidnu podlogu za razvoj tehnologija u proizvodnji energetske opreme u industriji te za planove izobrazbe kadrova svih struka i profila potrebnih u izgradnji i eksploataciji sistema.

To su bili osnovni razlozi zbog kojih je elektroprivreda Hrvatske, a i društvena zajednica, razmatrala i usvojila »Elektroenergetske osnove za 15-godišnji plan razvoja potrošnje i izgradnje izvora električne energije Hrvatske do 1995. godine s osvrtom na 2000 godinu«.

U daljnjem tekstu ukratko ćemo navesti podatke o raspoloživim izvorima energije te perspektivnim potrebama električne energije prema usvojenim osnovama.

Energetski izvori u Jugoslaviji obrađivani su u više radova znanstvenih organizacija iz kojih se nameće zaključak da smo raspoloživim rezervama energije po stanovniku 10 puta siromašniji od svjetskog prosjeka. Situacija u Hrvatskoj je još nepovoljnija jer raspolažemo sa 3,4% ukupnog energetskog potencijala Jugoslavije, odnosno sa 7,6% ukupnog potencijala ako ne računamo rezerve urana.

Prema svim dosadašnjim obradama Hrvatska raspolaže sa 12 TWh hidropotencijala, a smatra se da će ekonomski iskoristivo biti oko 10,6 TWh. Proizvodnja izgrađenih hidroelektrana, kao i onih koje su u izgradnji, iznosi u prosječnim hidrološkim

prilikama 5,8 TWh, pa prema tome neiskorišteni potencijal iznosi 4,8 TWh. Korištenje tog potencijala složen je zadatak jer se radi o pedesetak objekata malih instaliranih snaga koji trebaju biti projektirani i građeni s gledišta višenamjenskog korištenja voda. Poznato je naime, da vodni potencijal predstavlja nacionalno bogatstvo koje mora biti korišteno za šire društvene potrebe kao što su vodoopskrba, poljoprivreda, energetika, te eventualne druge namjene. Polazeći od ovakvog zadatka, bit će nužno da se neiskorišteni vodni potencijal projektira, gradi i koristi upravo sa stajališta višenamjenskih rješenja. Takav pristup mogao bi ubrzati realizaciju pojedinih objekata jer se na taj način dobije znatno povoljniji ekonomski bonitet objekta, a teret investicija i troškovi eksploatacije za pojedine partnere kod takvih su rješenja povoljniji. Realno je očekivati da će u takvim uvjetima preostali energetski potencijal naših rijeka biti iskorišten do kraja ovog stoljeća.

Rezerve ugljena u Hrvatskoj čine 4,5% jugoslavenskih rezervi. Glavnina se nalazi na području istarskih ugljenokopa Raša. Na osnovi do sada verificiranih rezervi ugljena u ovom rudniku, planom razvoja elektroprivrede do 1985. godine donesena je odluka o izgradnji termoelektrane Plomin II snage 200 MW. Postoji mogućnost izgradnje i novih kapaciteta od oko 300 MW na osnovi novoutvrđenih rezervi u jami Koromačno istog rudnika, pod uvjetom da se daljnjim istraživanjima dokaže ekonomska opravdanost korištenja navedenih količina ugljena.

U posljednje vrijeme sve se češće pokreće pitanje opravdanosti ponovnog otvaranja manjih rudnika u drugim krajevima Hrvatske. Dosadašnja istraživanja pokazala su da postoje rezerve od oko 120 mil. tona lignita na više lokacija u zagorskim ugljenokopima. Utvrđene su nadalje rezerve mrkog ugljena od oko 3 mil. tona u Bukovici te manje količine lignita u području Vukomerca i Međimurja. Koliko god te količine mogu biti od interesa za široku potrošnju zbog blizine potrošačkih područja koja oskudijevaju energijom, veličine rezervi ne omogućuje da se na tim količinama planira izgradnja termoelektrana.

Procjenjuje se da će godišnja proizvodnja nafte u Hrvatskoj porasti od 3,4 mil. tona u 1985. godini na oko 5,50 mil. tona u 2000 godini, a plina sa 2,4 milijardi m^3 u 1985. na 8,7 milijardi m^3 u 2000 godini. Značajni dio povećanja proizvodnje nafte i plina otpada na podmorje Jadrana, dok se u panonskom bazenu proizvodnja nafte smanjuje, a proizvodnja plina neznatno raste.

S obzirom na potrebe tekućeg goriva i plina za energetske potrebe, gdje supstitucija drugim oblicima energije danas gotovo i nije moguća, na mogućnost da sve veća upotreba plina smanji porast potrošnje električne energije u budućnosti, te na sve veće korištenje nafte i plina kao sirovinske osnove u petrokemijskoj industriji, nivo potreba te energije veći je od planirane proizvodnje. Osnovama dugoročnog plana razvoja elektroprivrede nije predviđena izgradnja termoelektrana koje bi se koristile tekućim gorivom i plinom zbog visoke vrijednosti tih oblika energije te mogućnosti postizavanja većih ekonomskih efekata primjenom za navedene druge namjene. Štoviše, bit će nužno da se detaljno razmotre tehničke mogućnosti i ekonomski uvjeti supstitucije tekućeg goriva ugljenom u nekim od postojećih elektrana.

Istraživanja urana na području Hrvatske provodila su se u razdoblju do 1964. godine i nisu dala osobito pozitivne rezultate. U zadnjih nekoliko godina elektroprivreda Hrvatske financira nastavak radova na traženju uranove rude. Prema sadašnjim saznanjima, izgradnju nuklearnih elektrana u Hrvatskoj moguće je za sada planirati ili na jugoslavenskim rezervama urana, ili, što je još vjerojatnije, na uvoznom uranu.

Danas se u svijetu velika pažnja poklanja istraživanju i korištenju nekonvencionalnih izvora energije kao što su geotermalna energija, energija Sunčeva zračenja, energija vjetra, uljnih škriljaca, te biljnih i stočnih otpadaka. Iako ti oblici energije postaju interesantni i za naše prilike, u dugoročnoj elektroenergetskoj bilanci nije se računalo s proizvodnjom električne energije na toj osnovi. Treba, međutim, očekivati da će korištenje nekonvencionalnih oblika energije biti primijenjeno u drugim područjima, a naročito u proizvodnji topline, pa to može povoljno utjecati na smanjenje porasta potrošnje električne energije u budućem razvoju.

Rekapitulirajući ukupne energetske potencijale u Hrvatskoj, možemo konstatirati da oni omogućuju instaliranje novih kapaciteta u hidroelektranama snage od oko 1 000 MW, s proizvodnjom od 4,8 TWh, a u termoelektranama do 500 MW, što odgovara godišnjoj proizvodnji od oko 2,5 TWh.

Da bi se utvrdilo u kojoj mjeri proizvodnja u novim kapacitetima zadovoljava buduće potrebe, treba sagledati rast potrošnje električne energije do 2000. godine.

Potrošnja električne energije u razdoblju 1981—1985. utvrđena je planom razvoja elektroprivrede i očekuje se da će sa 11 602 GWh u 1980. godini porasti na 16 156 GWh u 1985. godini, što odgovara srednjoj godišnjoj stopi rasta potrošnje od 6,8%. Rast potrošnje električne energije do 2000 godine detaljno je analiziran u elaboratu »Elektroenergetske osnove dugoročnog razvoja«. Dobiveni rezultati pokazuju da bi potrošnja i maksimalno opterećenje sistema u karakterističnim godinama iznosili:

	1990. godina	1995. godina	2000. godina
Potrošnja u GWh	24 726	33 600	45 400
Maksimalno opterećenje u MW	4 077	5 665	7 654

Navedeni nivo potrošnje odgovarao bi stopama srednje godišnjeg rasta za razdoblje 1981—1990. go-

dine od 6,6% za razdoblje 1991—2000. godine od 6,42%.

Manjak energije i snage u sistemu nakon ulaska u pogon objekata u izgradnji kao i onih koji će biti dovršeni do 1985. godine iznosi:

	1990. godina	1995. godina	2000. godina
Manjak energije u GWh	6 600	16 314	29 012
Manjak snage u MW	1 214	3 364	6 429

Vidi se da postoji velik raskorak između moguće proizvodnje u novim kapacitetima koje je moguće izgraditi s energetskim potencijalima u SRH i planiranih novih potreba električne energije u 2000. godini. Manjkovi snage iznose u 2000. god. oko 5 000 MW, s godišnjom proizvodnjom od oko 21 TWh, i oni se mogu izgraditi:

— na ugljenim bazenima u drugim republikama, a prvenstveno u pokrajini Kosovo gdje su koncentrirane najveće rezerve lignita u našoj zemlji i

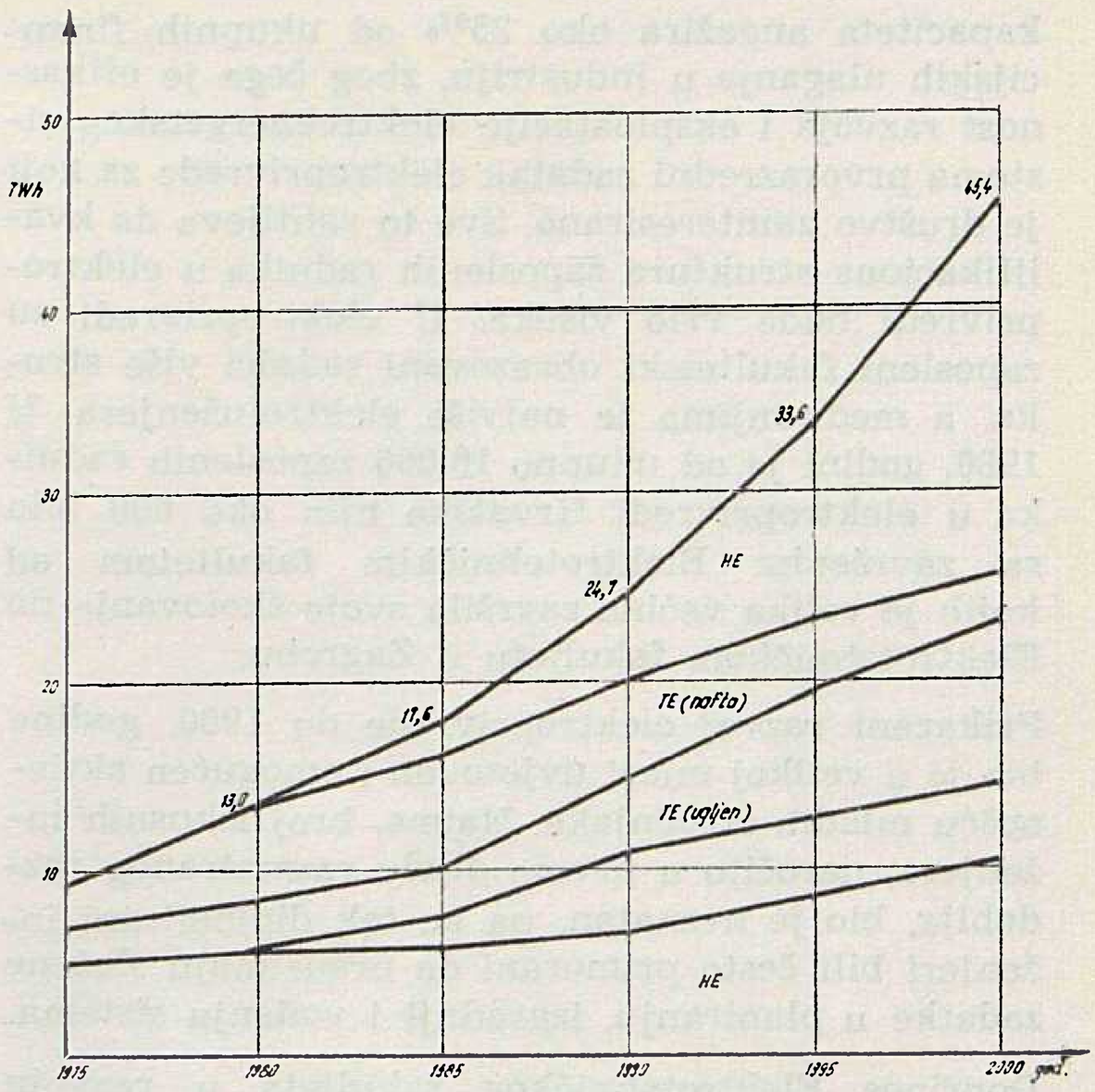
— nuklearnim elektranama u Hrvatskoj budući da su ovi objekti, pod određenim uvjetima u cijeni proizvodnje električne energije već danas konkurenti proizvodnji u TE na ugljen.

Rezerve lignita u Jugoslaviji su znatne, ali zbog sve bržeg korištenja za proizvodnju električne energije te za druge potrebe one su ograničene i ne mogu biti isključiva osnova za proizvodnju električne energije. Zbog toga izgradnju nuklearnih elektrana do 2000. godine planiraju i republiku znatno bogatije ugljenom. Prema »Elektroenergetskim osnovama razvoja do 2000 godine« predviđa se ova ukupna izgradnja novih kapaciteta:

	1990. godina	1995. godina	2000. godina
Hidroelektrana MW	240	640	1 093
Termoelektrane na ugljen MW	500	1 230	1 840
Nuklearne elektrane MW	500	1 500	3 500

Na slijedećem dijagramu prikazana je struktura proizvodnje elektrana za razdoblje do 2000. godine.

Sagledavanje realnog razvoja potrošnje jedno je od osnovnih pitanja realnosti dugoročnih planova razvoja. Rast potrošnje električne energije u budućnosti bit će, kao i u prošlom razdoblju, veći od rasta ukupnih energetskih potreba unatoč sve višim cijenama električne energije. Naime, korištenje električne energije daje velike tehnološke i ekološke prednosti kod potrošača, što će imati presudan utjecaj na planirana kretanja. Međutim, racionalno korištenje energije, a posebno električne energije, mora biti sve prisutnije kako kod postojećih potrošača, tako i kod izbora tehnologija u novim industrijskim kapacitetima.



Dijagram 4. Struktura električne energije u Hrvatskoj 1980—2000. god.

Iznesenu projekciju treba prihvatiti kao okvire i pravce mogućeg dugoročnijeg razvoja, ali ne i kao precizne veličine u proizvodnji i potrošnji električne energije 2000. godine. Bit će nužno da se povremeno, a najmanje svake druge godine provode novelacije dugoročnih projekcija u kojima će biti uzeta u obzir nova saznanja o raspoloživim izvorima, o razvoju tehnologija za proizvodnju i potrošnju električne energije te energetski i ekonomski vrednovana izgradnja pojedinih objekata s realnim investicionim ulaganjima.

Najnovija istraživanja vršena u Institutu za elektroprivredu o dugoročnom razvoju potrošnje energije i električne energije u Hrvatskoj potvrđuju potrebu novelacije prije izrađene studije.

Realizacija programa razvoja proizvodnje električne energije do 2000. godine veliki je zadatak ne samo za elektroprivredu, već i za znanstvene organizacije, projektante, proizvođače energetske opreme, građevinske i montažne organizacije.

Ne manje značajno mjesto u tome imaju i visokoškolske ustanove. One treba da odgoje kadrove potrebnih profila koji će biti nosioci realizacije razvojnih programa elektroprivrede. Upravo zato dugoročni planovi razvoja elektroprivrede predstavljaju dobru podlogu da i ostali sudionici mogu definirati svoje dugoročne programe.

4. POVEZANOST RAZVOJA ELEKTROPRIVREDE I ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA

Elektroprivreda je kapitalno intenzivna grana privrede s visokom vrijednošću osnovnih sredstava po zaposlenom radniku. Izgradnja elektroenergetskih

kapaciteta angažira oko 25% od ukupnih financijskih ulaganja u industriju, zbog čega je efikasnost razvoja i eksploatacije elektroenergetskog sistema prvorazredni zadatak elektroprivrede za koji je društvo zainteresirano. Sve to zahtijeva da kvalifikaciona struktura zaposlenih radnika u elektroprivredi bude vrlo visoka. U elektroprivredi su zaposleni fakultetski obrazovani radnici više struka, a među njima je najviše elektroinženjera. U 1980. godini je od ukupno 16 000 zaposlenih radnika u elektroprivredi Hrvatske njih oko 600 bilo sa završenim Elektrotehničkim fakultetom od kojih je velika većina završila svoje školovanje na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu.

Prikazani razvoj elektroprivrede do 1980. godine bio je u velikoj mjeri uvjetovan i omogućen aktivnošću mladih stručnjaka. Naime, broj iskusnih inženjera, naročito u prvom dijelu razmatranog razdoblja, bio je neznatan, pa su tek diplomirani inženjeri bili često primorani da preuzimaju složene zadatke u planiranju, izgradnji i vođenju sistema.

Doprinos Elektrotehničkog rakulteta u razvoju elektroprivrede nije se sveo samo na osposobljavanje kadrova, nego su profesori i nastavnici pripomogli razvoju znanstvenoistraživačkih programa elektroprivrede. Radi toga je potrebno izniieti neke osnovne podatke o razvoju znanstveno-istraživačkog rada u elektroprivredi Hrvatske.

Početkom 1950-ih godina, dakle na početku intenzivnog razvoja elektroprivrede, bilo je jasno da se planiranje razvoja potrošnje, izbor strukture proizvodnje, primjena novih tehnoloških i tehničkih riešenja u razvoju, definiranje parametara glavnih elemenata opreme i vođenje sistema ne može kvalitetno izvršiti bez visoko specijaliziranog stručnog kadra te odgovarajućih znanstvenoistraživačkih metoda i studijskih podloga. Za ostvarivanje ovog zadatka elektroprivreda je izdvojila dio iskusnog kadra, oslobađajući ga operativnih, tehničkih i organizacionih obaveza, a kojih je tada bilo napretek. Tako je odlukom elektroprivrede, a uz suglasnost Skupštine grada Zagreba, u svibnju 1953. godine osnovan Institut za elektroprivredu u Zagrebu sa zadatkom da razvija znanstvenoistraživački rad u oblasti planiranja, izgradnje i vođenja sistema. Postupno su razvijane i usavršavane metode dugoročnog planiranja razvoja potrošnje električne energije, metode bilanciranja proizvodnje hidroelektrana, optimalnog dimenzioniranja izgradnje termoelektrana u sistemu, sve sa stajališta sigurne opskrbe potrošača uz prihvatljiva investiciona ulaganja i što nižu cijenu električne energije. U Institutu je razvijena i razrađivana koncepcija razvoja visokonaponske mreže, rađene su analize o uvjetima primjene viših naponskih nivoa u prijenosu električne energije, razrađivana osnovna rješenja distributivne mreže za pojedina područja te razvijene metode proračuna rasklopnih snaga u mreži. Nešto kasnije razrađene su metode optimiranja jedinica u spojnom procesu proizvodnje toplinske i električne energije te razrađene metode, osposobljen kadar i nabavljena oprema za ispitivanja pojedinih elemenata i cijelih postrojenja. U posljednje vrijeme ostvaren je znatan napredak u razradi metoda za dugoročno planiranje kompleksne energetike te za izradu dugoročnijih planova optimalne opskrbe energijom velikih urbanih sredina. Na programu izgradnje nuklearnih elektrana postoje više područja aktivnosti Instituta. Nema sumnje da su u proteklih 28 godina znanstvenoistraživački radovi Instituta bitno pridonijeli razvoju elektroprivrede. Bilo je potrebno sve ovo navesti da bi se konstatiralo da je desetak profesora i nastavnika s Elektrotehničkog fakulteta od samog početka rada Instituta aktivno sudjelovalo i radilo na razvoju dijela navedenih metoda. Među njima posebno mjesto zauzima prof. dr Hrvoje Požar koji je nosilac razvoja velikog broja metoda primijenjenih u planiranju razvoja elektroenergetskog sistema.

Elektroprivreda je imala potrebe da povremeno po raznim stručnim problemima iz razvoja i eksploatacije sistema, konzultira eminentne stručnjake iz pojedinih područja. Profesori i nastavnici fakulteta bili su često članovi takvih komisija, uvijek spremni i za ovakav oblik suradnje.

Postojala je i suradnja između elektroprivrede i Elektrotehničkog fakulteta u izradi nastavnog programa i njegovoj realizaciji. Tako je elektroprivreda bila inicijator prijedloga da se u nastavni program na Elektrotehničkom fakultetu i Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu uvede poseban smjer nuklearne energetike, koji bi u zadnjim godinama studija imao predmete iz nuklearne fizike i nuklearne tehnike. Potreba za ovakvim profilom kadrova povezana je s izgradnjom prve nuklearne elektrane u Krškom, s pripremama za gradnju NE Prevlaka te potrebnim radovima za izgradnju serije nuklearnih elektrana. Angažiranje stručnjaka iz elektroprivrede u nastavi na Elektrotehničkom fakultetu postaje u zadnje vrijeme važan oblik suradnje. Danas na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu sudjeluje pet predavača iz Instituta za elektroprivredu, a nekolicina drugih iz radnih organizacija elektroprivrede aktivna je u nastavi na fakultetima u Splitu i Rijeci. U toku su pripreme da se i u Osijeku formira jezgro znanstvenih radnika koji bi se angažirali na programu razvojnoistraživačkog rada elektroprivrede, a ujedno bi sudjelovali u izobrazbi kadrova na visokoškolskim ustanovama u Osijeku.

Ne bismo mogli reći da je nivo suradnje bio u svemu zadovoljavajući. Bilo je propusta, prvenstveno onih elektroprivrede, koji su posljedica dosadašnje rascjepkanosti u vođenju razvoja elektroprivrede Hrvatske. Nije se dovoljno pažnje posvetilo planiranju potrebnih kadrova po broju i specijalnostima, što bi mogao biti vrlo važan podatak za plan razvoja fakulteta. Također nije postojala dovoljna suradnja elektroprivrede u praktičnom dijelu nastave (u korištenju visokonaponskih laboratorija za potrebe elektroprivrede i nastave), a studenti se

nisu dovoljno upoznali s elektroenergetskim objektima putem nastave i prakse.

Elektrotehnički fakultet je u proteklih 25 godina svog rada izobrazbom kadrova i sudjelovanjem u razvoju znanstvenoistraživačkog rada dao značajan doprinos razvoju elektroprivrede. U ime elektroprivrede zahvaljujemo se svima koji su svojim radom pridonijeli izvršavanju ovog zadatka.

Perspektiva razvoja elektroprivrede iznesena u prethodnom poglavlju pokazuje svu složenost zadatka pred kojim se nalazimo ne samo mi u elektroprivredi, nego i svi drugi sudionici u razvoju, pa prema tome i Elektrotehnički fakultet. Složenost budućeg razvoja potencirana je potrebnim količinama električne energije koje se pokazuju i pri nižim stopama rasta, sve većim iskorištenjem odnosno iscrpljenošću primarnih oblika energije, uvođenjem u elektroenergetski sistem novih tehnologija (kao što su nuklearne elektrane), ekološkim zahtjevima koje treba uzimati u obzir pri projektiranju, izgradnji i eksploataciji objekata, nužnošću povećanja efikasnosti razvoja i korištenje sistema. Za realizaciju svih tih i drugih zadataka potreban je, osim materijalne osnove veći broj visokokvalificiranih kadrova svih profila.

Dugoročni razvojni program elektroprivrede može poslužiti kao dobra osnova za konkretiziranje suradnje među učesnicima u realizaciji programa.

Prema našem mišljenju postoje dva značajna područja suradnje:

a) učešće elektroprivrede u odgojno-obrazovnim zadacima Elektrotehničkog fakulteta i

b) učešće elektrotehničkog fakulteta u znanstveno istraživačkim programima elektroprivrede.

Suradnja elektroprivrede na prvom zadatku svodi se, po našem mišljenju, na definiranje broja i profila kadrova za dugoročni program, na prijedlozima za prilagođavanje nastavnog programa potrebama elektroprivrede, na većem učešću vlastitih stručnjaka u nastavi te na pomoći Elektrotehničkom fakultetu da u praktičnom dijelu nastave omogući studentima bolje upoznavanje s tehnikom i postrojenjima elektroprivrede.

Zadržat ćemo se ovom prilikom na potrebi kadrova za elektroprivredu. Iako do danas nije učinjena detaljna projekcija kadrova, studije koje su razrađivale primjenu nuklearne tehnologije ističu da su kadrovi jedan od glavnih ograničavajućih činilaca u realizaciji plana izgradnje nuklearnih elektrana u Hrvatskoj. Prema preliminarnim podacima za realizaciju ovog plana potrebno je osigurati na fakultetima i privredi slijedeće kadrove:

	1990. godina	1995. godina	2000. godina
Nastavnika i asistenata	200	220	240
Znanstvenih radnika i istraživača	65	85	100
Inženjera	357	599	833
Tehničara	474	918	1 384

Prema podacima iz iste studije, za ovaj program broj inženjera elektrostruke do 2.000 godine iznosi 211, a nuklearnih inženjera 114.

Izgradnja termoelektrana na rudnicima u drugim republikama zahtijevat će naše učešće ne samo u financiranju, nego i u svim fazama realizacije objekata i njegove eksploatacije. A to opet znači da treba osigurati visokostručan iskusan kadar koji će zajedno s partnerom organizirati kvalitetne istražne radove, izvršiti izbor projektanta, isporučilaca opreme i izvođača radova te angažirati nadzor izgradnje.

Za potrebe školovanja kadrova za izgradnju i eksploataciju nuklearnih elektrana trebat će opremiti centar s odgovarajućom laboratorijskom opremom.

Elektroprivreda pristupa izradi dokumentacije za izgradnju visokonaponskog laboratorija za potrebe periodičnog ispitivanja opreme. Postoji mogućnost da se laboratorij projektira i koristi i za potrebe nastave na Elektrotehničkom fakultetu.

Iskustva iz dosadašnjeg razvoja upućuju na zaključak da je bitan preduvjet za kvalitetnije planiranje razvoja intenzivnije razvijanje znanstvenoistraživačkog rada u elektroprivredi. Praksa u razvijenim zemljama to samo potvrđuje. Kvalitet dugoročnih planova razvoja može se unaprijediti razvojem i usavršavanjem metoda planiranja, uvođenjem novih tehničkih i tehnoloških rješenja, praćenjem tehnološkog razvoja u svijetu i nalaženjem načina za optimalnu primjenu u našim uvjetima uz maksimalno uključivanje domaćih partnera, a efikasnost eksploatacije uvođenjem suvremene tehnike i razradom programa optimalnog vođenja sistema.

Na sve to, kao i na mnoga druga pitanja treba da odgovor dadu programi znanstvenoistraživačkog rada. Osim potrebe povećanja broja znanstvenih radnika u elektroprivredi koji bi preuzeli obavezu rada na ovim programima postoji potreba da se znanstveni radnici s Elektrotehničkog fakulteta aktivno uključe u njegovu realizaciju.

Uvjereni smo da je dosadašnja suradnja u razvoju elektroprivrede Hrvatske i Elektrotehničkog fakulteta bila uspješna, te da omogućuje i zahtijeva da se na realizaciji dugoročnog razvoja elektroprivrede još više unaprijedi. Ako ovim člankom potaknemo takva razmišljanja, smatramo da je cilj postignut.

Naslov pisaca:

Rade Pavlović, dipl. inž.
ZEO, Zagreb

Ivo Božin, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu, Zagreb



Zgrada Rooseveltov trg 6 u kojoj je započela rad Tehnička visoka škola i u kojoj su bili smješteni svi odjeli Tehničkog fakulteta do 1940. godine. Zavod za osnove elektrotehnike i električna mjerenja i Zavod za elektrostrojarstvo do 1963. god. a dekanat Elektrotehničkog fakulteta od 1956. do 1959. godine.

Energija God. 30 (1981) br. 7—8, 273—280

UVOĐENJE OPLODNIH REAKTORA; NEKA TEHNO—EKONOMSKA RAZMATRANJA

Vladimir Knapp, Zagreb

UDK 621.039.52

Polazeći od efektivnih relativnih investicionih troškova oplodnog reaktora prema termalnim reaktorima (PWR i CANDU), određuju se granične cijene urana za pogon termalnih reaktora kod kojih termalni reaktori proizvode energiju po istoj cijeni kao i brzi oplodni reaktori. Granične cijene kreću se u rasponu od 350 do 600 za termalne reaktore tipa PWR i HWR, ako su pretpostavljene raspoloživosti od 0,8, 0,7 i 0,6 za HWR i PWR, odnosno oplodni reaktor. Istaknuto je da bi na osnovi primjene tehno-ekonomskih kriterija prednost mogli imati terminalni oplodni reaktori.

Ključne riječi: **Oplodni reaktor**
Termalni reaktor
Cijene
Instalacije

1. UVOD

U toku proteklih godina nuklearna energija prolazila je kroz uspone i padove. Bez obzira na objektivnu situaciju koja nalaže nizu zemalja, posebno Evrope i Japanu hitno traženje zamjene za tekuća goriva, opozicije nuklearnoj energiji uspjele su u znatnoj mjeri taj razvoj usporiti.

Bez obzira na to što je takav razvoj u suprotnosti s objektivnim potrebama, on je činjenica i ima svoje reperkusije na dugoročan razvoj fisione energetike. U okviru planova i vizija intenzivnog razvoja nuklearne energetike iz ranijih godina značajnu ulogu imali su oplodni reaktori, i to brzi oplodni reakori. Intenzivan nuklearni razvoj trebao je već sredinom osamdesetih godina dovesti do krize opskrbe uranom. Brzi oplodni reaktori svojim ranim uvođenjem predusreli bi taj problem i nakon toga osigurali perspektivu nuklearnoj fisionoj energiji na neodređeno vrijeme.

S obzirom na pretpostavljenu visoku stopu porasta snage nuklearnih elektrana, vrijeme udvostručenja fisibilnog inventara bila je jedna od najvažnijih karakteristika budućih oplodnih reaktora. Termalni oplodni reaktori tu nisu mogli zadovoljiti i nisu ulazili u taj scenarij i na značajniji način.

Početkom 80-ih godina praktički su sve postavke na kojima se bazirala dugoročna vizija u kojoj brzi oplodni reaktor igra centralnu ulogu izmijenjene. Znatno je usporena izgradnja nuklearnih elektrana, ali i povećana procjena o uranskim resursima. Nužnost uvođenja oplodnih reaktora pomiče se na razdoblje nakon 2 000 godine. U takvom razvoju brzi oplodni reaktori nisu više ekskluzivni; usporeni porast izgradnje nuklearnih elektrana omogućuje uključenje i termalnim oplodnim reaktorima. No pojavljuju se i drugi momenti. Brzim oplodnim reaktorima se nakon godine 2 000—2 010. može pojaviti još jedan ozbiljan konkurent, fisijsko-fuzijski sistem koji će proizvoditi fisibilne nuklide za korištenje u teškovodnim reaktorima. Brzi oplodni reaktor prestaje biti nužan sastavni dio dugoročnih planova razvoja fisione energetike — u novim uvjetima on je jedna od alternativa, a to znači da se u izboru treba primijeniti ekonomsko-tehnička razmatranja i da se brzi oplodni reaktor treba smatrati dugoročnom perspektivom ako bude preferiran na osnovi tih kriterija. Što će biti ishod analiza i ocjena, sada je preuranjeno tvrditi. To ovisi i o rezultatima i performansama velikih oplodnih reaktora koji se grade, kao npr. Super-Fenix, kao i o razvoju fuzionih uređaja. Znatno određenije o tome će se moći govoriti u drugoj polovici osamdesetih godina. Može se lako dogoditi da se u izmijenjenim uvjetima termalni oplodni reaktori pokažu ekonomski povoljnijim rješenjem. Preliminarne ocjene koje su danas raspoložive upućuju na to da bi visoki investicijski troškovi brzih oplodnih reaktora mogli njihovo ekonomski osnovano uvođenje odgoditi za duže vrijeme, nakon 2000. godine, pa čak i sasvim isključiti. Vrlo kasno uvođenje, recimo 2020. godine praktički je ekvivalentno isključenju, osim u slučaju da bude ozbiljnih teškoća s fuzionim sistemima i s razvojem ostalih alternativa.

Intencija je ovog napisa da upozori na nove momente koji bi se mogli pokazati odlučnim u izmijenjenim uvjetima. Njihovo detaljnije određenje ili kvantifikacija nije moguće jer su relevantni razvoji u toku.

Kako je budući razvoj u znatnoj mjeri nejasan, prilično je dvojbeno da bi predodžbe o dugoročnom razvoju nuklearne energetike od unazad petnaestak godina, vezane za brze oplodne reaktore, mogle biti zadržane bez temeljite revizije.

2. UVOĐENJE BRZIH OPLODNIH REAKTORA

Niz argumentacija i diskusija oko uvođenja brzih oplodnih reaktora (FBR) koncentrira se na sposobnost brznog oplodnog reaktora da iskoristi znatno veći dio energije urana nego što je to slučaj kod današnjih termalnih reaktora. Faktor iznosi 50—70 i nesumnjivo je dovoljan da osigura adekvatnost uranskih rezervi za neograničena vremenska razdoblja. Međutim, te izvanredno atraktivne fizikalne karakteristike ne smiju imati za posljedicu da se ostali aspekti brzog oplodnog reaktora promatraju manje pažljivo ili manje realno. Oplodni reaktor je tehnički i tehnološki znatno složeniji od današnjih termalnih reaktora. Međutim, intenzivni napori u tehničkom razvoju su učinjeni, te na osnovi dostignutih rezultata ne treba sumnjati da je tehnički pouzdan oplodni reaktor moguće razviti. Nije intencija ovog napisa da razmatra tehnički status oplodnih reaktora. Diskusija se bazira na koncepciji brzog oplodnog reaktora hlađenog natrijem, na kojeg je koncentriran praktički sav današnji razvoj brzih oplodnih reaktora, s nizom reaktora u eksperimentalnom pogonu (npr. ref. 1). Napredak velikih projekata ovog tipa, kao što su u prvom redu francuski Super-Fenix, dat će znatno određeniji odgovor na niz tehničkih pitanja.

Potrebno je naglasiti da uspješan tehnički razvoj još nipošto ne garantira da će oplodni reaktor biti i ekonomski atraktivan. Istina je da su troškovi goriva kod oplodnog reaktora vrlo maleni. Međutim, to nije tako za čitav gorivi ciklus koji uključuje preradu, koja kod oplodnog reaktora nije opcija, nego ulazi u osnovni način rada (tablica 1).

Tablica 1.
Godišnje količine goriva za preradu kod brzog oplodnog reaktora hlađenog tekućim natrijem snage 1 000 MW (e) pri raspoloživosti od 0,7

Gorivo, obogaćenje	Količina
gorivo iz jezgre s visokim procentom Pu (oko 20%)	~ 11 500 kg
gorivo u omotaču, prirodni ili osiromašeni uran u kojem se generira plutonij	~ 16 000 kg

Investicijski troškovi oplodnog reaktora nužno su veći nego kod termalnih reaktora. Oplodni reaktori proizvodit će jeftiniju energiju od termalnih reaktora tek ako redukcija troškova goriva pokriva povećane investicije i obavezne troškove prerade goriva.

Relativne investicije FBR/LWR, nominalne

Po svojoj složenijoj konstrukciji brzi oplodni reaktor mora imati više specifične investicije od tipičnog termalnog lakovodnog reaktora. Preciznije procjene, međutim, nisu dostupne. Starija službena američka procjena iz 1975. godine (ref. 2) računa sa povećanjem od 22% u odnosu na lakovodne reaktore. Takvo se predviđanje kritički razmatra u tzv. MITRE izvještaju (ref. 3).

Detaljnija komparativna analiza načinjena je u studiji Comparative capital costs for the prototype large breeder reactor (ref 4). Komparativna studija bazira se na tri nezavisne studije investicijskih troškova za veliki oplodni reaktor (snage 930 — 1 150 MW(e)) koje su načinile tri projektne grupe; Atomic International — Burns and Roe, Westinghouse — Stone and Webster, General Electric — Bechtel.

U zaključku komparativne studije dolazi do investicijskih troškova od $ 2 500/kW(e) (dolari 1977), to jest do faktora iznad 2 u odnosu na lakovodni reaktor. Procjene se odnose na prototip, te su redukcije u slijedećim gradnjama moguće i očekivane. Zaključuje se dodatno o nužnosti tehničkih pojednostavljenja radi redukcije troškova. Studije pružaju neku osnovu za procjenu odnosa komercijalnih oplodnih reaktora naprama komercijalnim lakovodnim reaktorima. Opći zaključci koji se daju jesu:

a) Na osnovi uspoređenja sistema, opreme i komponenata u sistemu za proizvodnju sistema pare (NSSS) treba očekivati da će taj sistem kod brzog oplodnog reaktora stajati 2 do 3 puta više nego kod lakovodnog reaktora.

b) Za preostali dio elektrane (Balance of plant, BOP) sličnom se analizom dolazi do troškova 1,3 puta viših nego kod lakovodnog reaktora.

c) Kod lakovodnog reaktora odnos troškova na preostali dio elektrane i na sistem za proizvodnju pare jest 85% naprama 15%.

S odvojenim faktorima povećanja troškova između 1,2 do 1,3 za prvi dio, i 2 do 3 za drugi dio, dolazi se do faktora 1,3 do 1,6 za odnos ukupnih investicijskih troškova brzog oplodnog reaktora prema lakovodnom reaktoru.

U razmatranja možemo uključiti i teškovodne reaktore kanadskog tipa. Relativni investicijski troškovi teškovodnih naprama lakovodnim, točnije HWR (CANDU) naprama PWR, dosta su diskutirani. Vjerojatno je da su investicije za teškovodni reaktor za 10—15% iznad investicija za PWR. Zajedno s teškom vodom investicije su oko 25—30% više od onih za PWR (ref. 5).

Efektivne relativne investicije

Komparacija na bazi nominalnih specifičnih investicija korektna je samo ako su raspoloživost, odnosno godišnje proizvedene energije jednake.

Raspoloživosti termalnih reaktora nisu jednake Najviše vrijednosti daju teškovodni reaktori, dok dosta zaostaju PWR reaktori. Kao što je porast raspoloživosti spor proces kod PWR reaktora, on

će to biti i kod FBR, i to barem toliko spor jer se radi o kompliciranijim reaktorima.

U periodu od 1995. do 2015. oplodni reaktori će se uspoređivati sa već uhodanim i razvijenim termalnim reaktorima. Za teškovodne reaktore velike snage raspoloživost od 0,8 već je gotovo dostignuta. Za PWR reaktore u periodu od 1985. i dalje realno je računati s raspoloživošću od 0,7. Današnje vrijednosti su dosta niže. Kvartalni pregledi daju se u časopisu Nuclear Engineering (vidi ref. 5 za period do sredine 1980. godine).

Za oplodne reaktore period do i oko 2000. bit će period prve generacije velikih reaktora i nije realno na osnovi iskustava sa LWR reaktorima očekivati faktor iskorištenja veći od 0,6. Pored znatnog broja elektrana i mnogo godina iskustva kumulativna raspoloživost za PWR elektrane dostigla je u 1980. tek oko 56%.

Korektne efektivne investicije dobit ćemo ako sve elektrane s istom godišnjom proizvodnjom energiju. Želimo li vršiti takvu komparaciju, valja voditi brigu o različitim raspoloživostima.

To je moguće a i indikativno načiniti uspoređujući elektrane s istom godišnjom proizvodjnom energije. U tablici 2. dane su efektivne relativne investicije, odnosno relativne investicije za elektrane s istom godišnjom proizvodnjom energije. Kao referentna uzeta je PWR elektrana snage 1 000 MW(e) s raspoloživošću 0,7.

Tablica 2.
Efektivne specifične investicije za HWR, PWR i FBR elektrane s istom godišnjom proizvodnjom energije

Elektrana	Snaga MW(e)	Raspoloživost	Relativne investicije	Rel. investicije za istu godiš. proizvod.
HWR	875	0,8	1,3	1,137
PWR	1 000	0,7	1	1
FBR	1 166	0,6	1,3—1,6	1,51—1,78

Efektivno FBR pokazuje u odnosu na PWR višak investicija od barem 50%. Ako bismo, ilustracije i određenosti radi, uzeli da su specifične investicije kod PWR reaktora oko $ 1 000/kW(e), 50% razlika za 1 000 MW(e) elektranu iznosi 500 milijuna $.

Ekonomska komparacija

Ako bismo ovaj višak investicija stavili na raspolaganje za nabave urana za termalni reaktor, dobili bismo približnu cijenu urana koju se može platiti za termalnu elektranu pa da zbroj investicijskih troškova i troškova urana ne premaši investicijske troškove kod oplodnog reaktora. Pri raspoloživosti od 0,7 PWR elektrana troši godišnje oko 140 t (ref. 7) urana, pa bi granična cijena urana bila viša od $ 300/kg. Dakako, ta je procjena suviše gruba. Međutim, u ovom se kratkom napisu ne pretendira na preciznost, koja bi uostalom bila deplasirana s obzirom na neizbježne neodređenosti u relativnim investicijskim troškovima. U sva tri tipa reaktora postoje troškovi za izradu goriva; uzet će se da su oni isti za tri slučaja. Aproksimacija je u prilog oplodnom reaktoru, jer će proizvodnja plutonijskog goriva biti ipak nešto skuplja. Zanemarit će se nadalje razlike koje nastaju pri svođenju investicija na određeni vremenski trenutak. Pretpostavit ćemo nadalje jednake pogonske troškove, što je također aproksimacija u korist oplodnog reaktora.

Velike stavke koje ne možemo zanemariti jer se ne pojavljuju podjednako u sva tri reaktora jesu troškovi obogaćenja kod PWR reaktora i troškovi prerade goriva kod oplodnog reaktora.

Naravno, ako bismo išli na recikliranje plutonija kod PWR reaktora, onda bi se i tu pojavili troškovi prerade, ali i redukcija potrošnje urana. Detaljnje analize (npr. ref. 8) pokazuju da nema velike razlike između dodatnih troškova i uštede, tj. da je ekonomski efekt recikliranja malen kod PWR reaktora, pa se prema tome možemo ograničiti na komparaciju brzog oplodnog reaktora s lakovodnim PWR i bez prerade goriva.

Dakako, neodređenosti postoje i u cijenama obogaćenja, a pogotovo prerade. Danas se računa s cijenom obogaćenja u rasponu od 80 do 100 $ po jedinici separacijskog rada. Usvojimo li za procjenu 90 $ po JSR, dolazi se pri raspoloživosti od 0,7 na godišnje troškove obogaćenja od približno 10 milijuna $ (110 000 JSR × 90 = $ 9,9 × 10^6). Cijene prerade su neizvjesne i za obično U — Pu oksidno gorivo iz termalnih reaktora, a pogotovo za gorivo oplodnih reaktora. Kako samo dio goriva iz oplodnog reaktora ima relativno visok postotak plutonija i fisionih produkata — godišnja količina za reaktor snage 1 166 MW(e) pri raspoloživosti 0,6 približno je 11 tona, dok ostalo gorivo za preradu iz omotača sadrži malo plutonija i fisionih produkata — godišnja količina za isti reaktor i istu raspoloživost je približno 16 t (tablica 1), to se može uzeti za svrhu ove procjene da je prosječna cijena jednaka onoj za obično oksidno gorivo iz lakovodnih reaktora. O ekonomici prerade takvog goriva postoji niz studija. Studija MAAE (ref. 9) i izvještaj INFCE (ref. 10) mogu se detaljnošću obrade i sastavom suradnika na studijama smatrati najobjektivnijima.

U studiju MAAE o regionalnim centrima za gorivni ciklus, polazeći od 12,5% kamata na investicije (fixed charge) i za kapacitet instalacija od 1 000 t godišnje, dolazi se na cijenu prerade od oko $ 350/kg (dolari 1977).

Do slične cijene dolazi se i u izvještaju INFCE, ali pri nižem kapacitetu instalacije, od oko 300 t godišnje. Iako veći kapaciteti instalacija vode u principu na niže troškove prerade, treba imati na umu da troškovi prerade znatno ovise o raspolo-

živosti instalacije i da se za veće instalacije treba očekivati manja raspoloživost. Redukcija cijene prerade u velikim instalacijama nije nipošto garantirana, barem ne u onoj mjeri koju bismo dobili pri istoj raspoloživosti.

S cijenom od $ 350/kg godišnji troškovi prerade goriva oplodnog reaktora iznosili bi 9,5 milijuna $ (27 000 × 350).

S obzirom na to da ova svota nije velika prema dodatnim godišnjim troškovima zbog viška investicija, to je vidljivo da je za ekonomsku komparaciju najvažniji parametar faktor viška investicija oplodnog reaktora. Konzekventno, neće se u ovoj procjeni detaljnije promatrati parametri o kojima može ovisiti i ovisi cijena prerade goriva.

Granična cijena urana

Pod graničnom cijenom urana u ovoj procjeni podrazumijevamo cijenu urana za termalni reaktor pri kojoj se uran za pogon termalnog reaktora pokriva viškom troškova oplodnog reaktora. Termalni reaktor proizvodi tada energiju po istoj cijeni kao i brzi oplodni reaktor.

Uz pretpostavku i aproksimacije koje su obrazložene, godišnji višak troškova oplodnog reaktora prema lakovodnom reaktoru može se izraziti ovako:

$$\begin{matrix}\text{višak troškova} \\ \text{FBR–PWR}\end{matrix} = \begin{matrix}\text{god. stopa na} \\ \text{višak} \\ \text{investicija}\end{matrix} + \begin{matrix}\text{troškovi} \\ \text{prerade}\end{matrix} - \begin{matrix}\text{troškovi} \\ \text{obogaćenja}\end{matrix}$$

Pri uspoređivanju s teškovodnim reaktorom odpada zadnji član.

Računajući sa specifičnim investicijama za PWR elektranu od 1 000 MW(e) za elektranu koja ulazi u pogon osamdesetih godina (ref. 3) te s efektivnim relativnim investicijama prema tablici 2, višak investicija za oplodni reaktor ekvivalentan u proizvodnji energije PWR elektrane snage 1 000 MW(e) s raspoloživošću 0,7, kreće se u granicama od 500—870 milijuna $. Uz 10% stopu (fixed charge) na investicije godišnji troškovi iz viška investicija iznose 50—87 milijuna $. S troškovima prerade od 9,5 milijuna $ i troškovima obogaćenja od 9,9 milijuna višak troškova kreće se u granicama od

50 + 9,5 — 9,9 = 49,6 do
87 + 9,5 — 9,9 = 86,4 milijuna dolara.

Pri opterećenju od 0,7 tipična PWR elektrana snage 1 000 MW(e) troši godišnje približno 140 000 kg urana. U povoljnom slučaju nižeg omjera efektivnih instalacionih omjera granična cijena urana iznosi:

$$\text{granična cijena urana} = \frac{49{,}6 \text{ milijuna } \$}{140\,000} = \$\ 354/\text{kg},$$

U nepovoljnom slučaju dobiva se:

$$\text{granična cijena urana} = \frac{\$\ 86{,}4}{140\,000} = \$\ 617/\text{kg}.$$

1. Dijagram 1. daje vrijednosti granične cijene za međuvrijednost faktora efektivnih relativnih investicija.

Pri komparaciji oplodnog reaktora s teškovodnim reaktorom višak troškova kreće se između 33 + + 9,5 = 42,5 i 64 + 9,5 = 73,5 milijuna dolara.

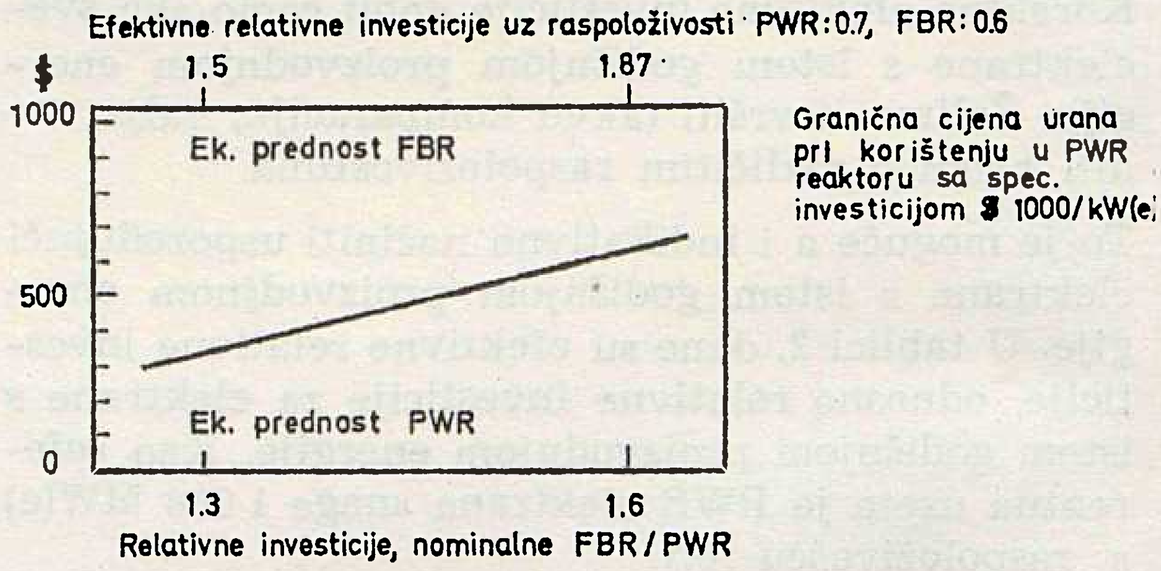
S obzirom na godišnju potrošnju urana od 120 000 kg granične cijene urana iznose za teškovodni reaktor:

$$\text{povoljna granična cijena} = \frac{42{,}5 \text{ milijuna}}{120\,000} = \$\ 354/\text{kg}.$$

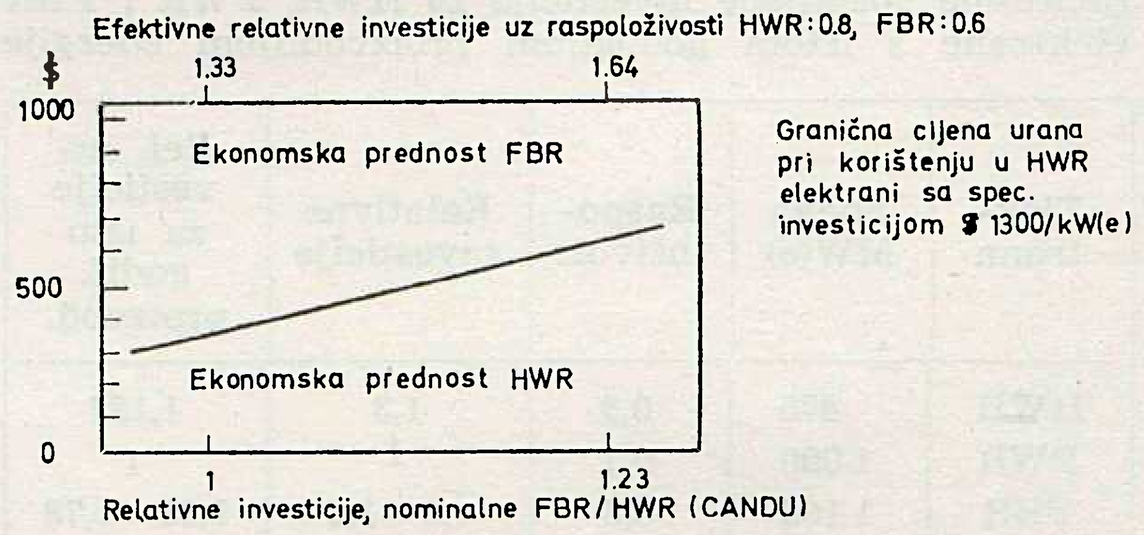
nepovoljan slučaj;

$$\text{granična cijena} = \frac{73{,}5 \text{ milijuna}}{120\,000} = \$\ 612/\text{kg}.$$

2. Dijagram 2 daje vrijednosti efektivnih relativnih investicija.



Dijagram 1.



Dijagram 2.

Dobivene vrijednosti praktički se ne razlikuju od onih za PWR elektrane.

Rezultati vrijede za specifične investicije za PWR od $ 1 000 i $ 1 300/kW(e) za HWR (CANDU), te uz specificirane troškove obogaćenja i prerade. Pri inflacijskom porastu tih stavaka ukupan efekt jest porast granične cijene, jer je višak investicija najveći doprinos u računu njezina iznosa.

Rezime komparacije

1. Granične cijene urana ovise prvenstveno o relativnim investicijama i o pretpostavljenim raspoloživostima, odnosno rasponima raspoloživosti.

Pojednostavnjenja u procjeni, kao izjednačenja pogonskih troškova i troškova izrade goriva idu u

korist oplodnog reaktora. Uspoređenja aktualizacije troškova također idu u prilog oplodnom reaktoru kod kojeg su veće, rane investicije, dok su troškovi goriva za termalne reaktore raspoređeni na 30 godina nakon ulaska u pogon.

2. Iako se, naravno, može i mora računati na porast raspoloživosti brzih oplodnih reaktora iznad pretpostavljene vrijednosti od 0,6, to isto vrijedi za pretpostavljene vrijednosti kod termalnih reaktora, posebno za vrijednost od 0,7 za PWR reaktore. Znatno suženje u rasponu raspoloživosti, a to je bitno za komparaciju ekonomike, može se očekivati tek kada se termalni reaktori približe svojim maksimalnim vrijednostima u toj karakteristici.

3. Granična cijena urana za oba termalna reaktora znatno nadmašuje današnje tržišne cijene urana u čitavom rasponu pretpostavljenog omjera investicijskih troškova 1,3—1,6.

4. Budući da i donja vrijednost omjera investicija od 1,3 daje visoku graničnu cijenu od 350 $ po kg urana, slijedi da bi se ekonomskoj kompetitivnosti brzog oplodnog reaktora moglo približiti tek kombinacijom vrlo povoljnog investicijskog omjera i znatno manjeg raspona raspoloživosti od onih kojima se može računati u doglednoj budućnosti.

3. TERMALNI OPLODNI REAKTORI

Visoka vrijednost faktora konverzije, odnosno oplodnje kod brzih oplodnih reaktora postiže se iskorištenjem visokog neutronskog prinosa η u fisiji ^{239}Pu s brzim neutronima.

Fisija brzim neutronima ostvaruje se izostavljanjem moderatora iz jezgre moderatora. To izostavljanje moderatora ima i daljnje konsekvence na faktor konverzije, bez kojih sam efekt povećanog neutronskog prinosa η i ne bi bio dovoljan za oplodnju. Prvo, smanjeni su gubici neutrona u jezgri, koja osim goriva sadrži znatno manje drugih materijala u odnosu na termalni reaktor.

Drugo, smanjuje se volumen jezgre. Zahvaljujući malenoj jezgri, nju je moguće »omotati« oblogom urana u kojoj se iz jezgre reaktora odbjegli neutroni iskorištavaju za proizvodnju plutonija reakcijom na ^{238}U. Bez tog »omotača« brzi oplodni reaktor ne bi dosegao jedinični faktor konverzije. Iz nužnog doprinosa omotača u proizvodnji plutonija slijede i osnovne tehničke karakteristike oplodnog reaktora. Da omotač ne bi bio preglomazan, rezultirajući u suviše velikim količinama urana za izradu i preradu, jezgra mora biti malena. Posljedica su visoki volumeni i težinske koncentracije snaga, kao specifične i inherentne karakteristike brzih oplodnih reaktora, iz kojih proizlaze osnovni konstrukcijski i tehnički problemi ovog tipa reaktora. Odvođenje topline iz jezgre kako u normalnim, tako i u nenormalnim uvjetima postavlja znatno teže fizikalne i tehničke uvjete. Alternativan put kojim se dosižu visoke vrijednosti faktora konverzije, ali bez ulaženja u tehničke i tehnološke probleme brzih oplodnih reaktora, ostvaruje se u koncepcijama termalnih oplodnih reaktora. Koncepcije se baziraju na visokoj vrijednosti neutronskog prinosa η u fisiji ^{233}U s termalnim neutronima, odnosno u prijelazu na U-Th gorivni ciklus u kojem je ^{235}U kao fisibilni nuklid zamijenjen sa ^{233}U.

Karakteristična vrijednost neutronskog prinosa za termalne reaktore jest oko 2,25 za ^{233}U, a 2,01 za ^{235}U, pa bi se sasvim približno tom zamjenom moglo očekivati povećanje faktora konverzije za oko 0,2. Ako je konverzijski faktor termalnog reaktora visok već i sa ^{235}U, postoji mogućnost da se sa ^{233}U dosegne oplodnja. Takav termalni reaktor postaje oplodni reaktor. Razlika u odnosu na obične termalne reaktore, odnosno konvertere jest u gorivu, odnosno gorivom ciklusu. Fisibilni nuklid je ^{233}U, ali da bi se proizveo, u reaktor treba staviti ^{232}Th kao oplodni materijal iz kojeg nastaje ^{233}U. Svaki termalni reaktor bez znatnijih izmjena može prijeći na takav U-Th gorivni ciklus, ali se može očekivati da će prednost za razvoj u termalne oplodne reaktore imati termalni reaktori koji se već odlikuju visokim faktorom konverzije. Od razvijenih i oprobanih termalnih reaktora tu je na prvom mjestu teškovodni reaktor, kod kojega je visoka vrijednost konverzijskog faktora posljedica male apsorpcije neutrona u moderatoru. Nešto je manje povoljna situacija kod reaktora s grafitnim moderatorom, a najlošija je kod lakovodnih reaktora. Pogleda li se godišnje proizvodnje plutonija, vidi se da je u teškovodnim reaktorima dva puta veća nego u lakovodnim. Konverzijski faktor lakovodnih termalnih reaktora predaleko je ispod jedinice da bi ga prijelaz na U-Th gorivni ciklus mogao približiti oplodnji. Potrebni su radikalniji zahvati u reaktorsku koncepciju da bi se to postiglo.

Lakovodni termalni oplodni reaktor

Demonstracijski lakovodni reaktor konstruiran radi povećanja konverzijskog faktora stavljen je u pogon u SAD 1977. godine (Shippingport, 60 MW(e)).

Reaktor je podmoderiran, što pridonosi povećanju neutronskog prinosa, a jezgra se sastoji od modula. Svaki modul sastoji se od centralnog dijela, u kome se nalazi visoko obogaćeno gorivo i u kojem je faktor multiplikacije znatno iznad jedan, te vanjskog dijela s niskim obogaćenjem i niskim faktorom multiplikacije koji služi kao reflektor za centralni dio.

Ukupan faktor multiplikacije kontrolira se pomicanjem centralnih dijelova modula u odnosu na vanjske. Ta kontrola reaktora geometrijom umjesto apsorpcijom neutrona s kontrolnim štapovima pridonosi poboljšanju ekonomije neutrona. Inače, elektrana se osim ovim izmjenama koristi oprobanim PWR tehnologijom.

Ekstrapolacije na bazi elektrane Shippingport daju slijedeće karakteristike za veliki lakovodni reaktor s modularnom jezgrom i promjenljivom geometrijom (ref. 11):

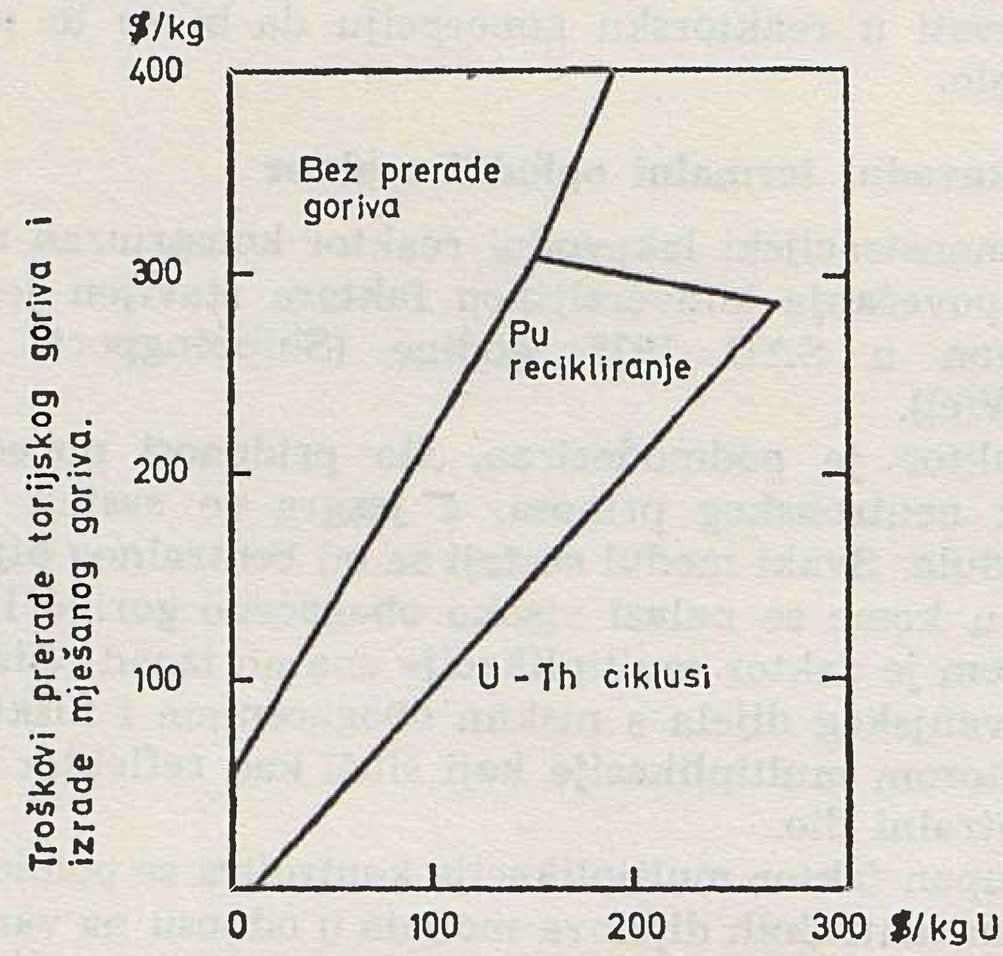
Termalna snaga	3 200 MW
Električna snaga, neto	1 000 MW
Ukupan stupanj djelovanja	31 %
Količina ^{233}U u jezgri	3 200 kg
Faktor oplodnje	1,01
Količina torija u jezgri	188 000 kg

Temperature i tlakovi kao za tipične PWR reaktore.

Ako bi se uz modularnu strukturu jezgre i geometrijsku kontrolu još iskoristile i prednosti teške vode, došlo bi do daljnjeg značajnog povećanja faktora oplodnje, po mišljenju nekih stručnjaka čak do vrijednosti koje se očekuju za brze oplodne reaktore.

Teškovodni termalni oplodni reaktori tipa CANDU

S obzirom na visoku vrijednost faktora konverzije u radu s običnim uranom kao gorivom teškovodni reaktor tipa CANDU je od svih razvijenih termalnih reaktora najbliži oplodnji. Prijelaz na U-Th ciklus ne traži nikakve značajnije izmjene na reaktorskoj koncepciji. Za uvođenje U-Th ciklusa odlučna je u prvom redu ekonomika. S jedne strane reducira se potrošnja urana, a s druge strane javljaju se troškovi prerade goriva, izdvajanja i recikliranja ^{233}U. Povoljnost uvođenja U-Th ciklusa u ovisnosti o cijeni urana i cijeni prerade prikazana je na dijagramu 3 (ref. 12):



Ekonomska povoljnost pojedinih gorivih ciklusa za CANDU reaktore u zavisnosti od cijena urana i prerade goriva.

Dijagram 3.

Osnovne karakteristike CANDU reaktora sa U-Th gorivnim ciklusom bile bi (ref. 11):

Termalna snaga	3 400 MW
Neto električna snaga	1 000 MW
Ukupan stupanj djelovanja	29,4 %
Fisibilnih nuklida	2 134 kg
Količina torija u jezgri	126 000 kg
Faktor oplodnje	1,0

Temperature i tlakovi kao za standardne CANDU reaktore. Izbor faktora oplodnje ovisan je o cijeni prerade goriva. S manjim zadržavanjem goriva u reaktoru i manjim izgaranjem manji su gubici neutrona na apsorpciju u fisionim produktima, posljedica čega su veći faktor oplodnje, ali i veći troškovi prerade.

Pri danim cijenama urana i prerade može se odrediti optimalna vrijednost faktora konverzije koja daje najnižu cijenu energije. Za sada cijene urana nisu toliko visoke da bi uvođenje U-Th gorivnog ciklusa bilo u prednosti s obzirom na cijenu proizvedene energije prema radu s prirodnim uranom. Od ostalih reaktorskih sistema prednost za razvoj u termalni oplodni reaktor ima visokotemperaturni reaktor. Postoje i druge kombinacije, ali su mnogo dalje od komercijalne eksploatacije, te bi njihov razvoj bio i skup i dugotrajan. To su npr. reaktor s tekućim gorivom, koji se nalazio u eksperimentalnom pogonu u SAD u razdoblju 1965—1969, ili teškovodni reaktor sa suspendiranim praškastim gorivom na čijem se razvoju radi u Nizozemskoj.

4. UVOĐENJE TERMALNIH OPLODNIH REAKTORA

Što možemo na kraju kazati o ekonomici uvođenja termalnih oplodnih reaktora. Ako se pretpostavi da će se oni bazirati na danas razvijenim termalnim reaktorima, onda bi to bili u prvom redu lakovodni i teškovodni reaktori sa U-Th gorivnim ciklusom. Kod teškovodnog termalnog oplodnog reaktora investicijski bi troškovi trebali biti praktički isti kao i kod teškovodnog termalnog reaktora. Osnovna razlika je u gorivnom ciklusu. Kod lakovodnog termalnog oplodnog reaktora s promjenjivom geometrijom jezgre može se očekivati da investicije neće biti znatno iznad onih za termalne reaktore PWR tipa, a vjerojatno će se približiti onima za teškovodni reaktor.

Prema tome, u ekonomskom uspoređivanju termalnih oplodnih reaktora s termalnim reaktorima bitna će biti usporedba redukcije troškova goriva s povećanim troškovima prerade. U najgrubljoj aproksimaciji izjednačenje redukcije i povećanja dalo bi graničnu cijenu urana u ranije definiranom smislu. Međutim, budući da se redukcija u cijeni goriva izjednačuje samo s dodatnim troškovima prerade, a ne sumom dodatnih troškova prerade i investicija, kao kod brzog oplodnog reaktora, mora granična cijena urana za uvođenje termalnih oplodnih reaktora biti znatno niža.

Kada se još uzme u obzir da termalni oplodni reaktori predstavljaju samo ekstenziju razvijene tehnologije, a ne bitno različitu kao što su to brzi oplodni reaktori, s velikim novim ulaganjima u razvoj tehnologije proizvodnje komponenata i opreme, onda je i bez detaljnije analize, koju svakako valja načiniti, jasno da u novim uvjetima, kada se na uvođenje oplodnih reaktora postavljaju ekonomski kriteriji, termalni oplodni reaktori imaju prednost pred brzim oplodnim reaktorima. To posebno vrijedi za industrijski manje snažne zemlje, za koje činjenica da se tehnologija termalnog oplodnog reaktora bazira na tehnologiji termalnog reaktora ima veliko značenje te omogućuje najracionalnije ulaganje sredstava i napora.

Dakako, ako se razvije proizvodnja umjetnih fisibilnih nuklida u fisijsko-fuzijskim uređajima ili akceleratorima, tada će postojati izbor između razvoja oplodnih reaktora i nastavka gradnje termalnih reaktora uz korištenje umjetno proizvedenih fisibilnih nuklida. O eventualnoj ekonomici tog izbora zasad je preuranjeno govoriti. No ipak i o ovoj mogućnosti treba voditi računa, a ona u svakom slučaju potkrepljuje gledište da se brzi oplodni reaktori ne mogu više smatrati jedinom dugoročnom perspektivom fisione energije.

LITERATURA

1. *Oplodni reaktori i perspektiva nuklearne energije*
   V. Knapp: Energija 23, No. 5—6, 1974.
2. *Environmental Impact Statement for the U. S. LMFBR Program*
   ERDA — 1535, 1975.
3. *Nuclear Power; Issues and Choices*
   Report of the Nuclear Energy Policy Study Group Ballinger 1977.
4. *Comparative Capital Costs for the Prototype Large Breeder Reactor*
   I. C. Scarboraugh: Paper presented at the American Nuclear Society Winter Meeting San Francisco, California Nov. 27 — Dec 2 1977.
5. *Usporedba teškovodnih PHWR i lakovodnih PWR reaktora nuklearnih elektrana*
   I. Lakota, V. Knapp, V. Nastasić, V. Štambuk, B. Burdukalo, M. Horvatić: Institut za elektroprivredu, Zagreb 1980.
6. *Nuclear Stations Achievements*
   L. R. Fowles: Nuclear Engineering International, September 1980, str. 54.
7. Godišnje količine goriva i separacionog rada uzete iz materijala INFCE, izvještaji radnih grupa 5 (Fast Breeders) i 8 (Advanced Fuel Cycle and Reactor Concepts)
8. *Final Generic Statement on the Use of Recycle Plutonium in Mixed Oxide Fuel in Light-Water Cooled Reactors*
   NUREG-002
9. *Regional Nuclear Fuel Cycle Centres*
   Vol. 1 Summary 1977 Report of the IAEA Study Project IAEA 1977
10. *Reprocessing, plutonium wondling, recycle*
    Report of WG 4 INFCE
11. *Status and Prospects of Thermal Breeders and their Effect on Fuel Utilistation*
    Report by consultants IAEA, Vienna 1978.
12. *Reactor physics aspects of CANDU reactors*
    E. Critoph: Winter courses on reactor theory and power reactors ICTP, Trieste 13. III 1978.

KEY WORDS:

BREEDER REACTOR
THERMAL REACTOR
COSTS
INSTALATION

APLICATION OF BREEDER REACTORS; SOME TECHNICAL-ECONOMICAL CONSIDERATIONS

Starting from effectiv relativ invent costs for breeder reactor versus thermal reactors (PWR, CANDU), determined is limited cost for uran for operation of thermal reactors for the case when thermal reactors produce energy at same price as a fast breeder. It is highlighted that on the base of technical-economical criteria, an advantage could have thermal breeder reactors.

EINFÜHRUNG VON BRUTREAKTOREN; TECHNISCH-WIRTSCHAFTLICHE ÜBERLEGUNGEN

Anhand der relativen, effektiven Anlagekosten eines Brutreaktors im Vergleich mit einem Wärmereaktor (PWR und CANDU) werden Grenzkosten des Urans für den Betrieb von Thermalreaktoren bestimmt, wobei die Wärmereaktoren die Energie zu gleichen Preisen wie die schnellen Brutraektoren erzeugen. Betont wird, dass bei Berücksichtigung von technisch-wirtschaftlichen Bewertungen Wärmebrüter-Reaktoren vorteilhafter sein könnten.

ВНЕДЕРЕНИЕ РЕАКТОРОВ-РАЗМНОЖИТЕЛЕЙ — НЕКОТОРЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ

Исходя из эффективных относительных капитальных затрат реакторов-размножителей и тепловых реакторов (PWR и CANDU) определяются пределы стоимости урана для эксплуатации тепловых реакторов, при которых тепловые реакторы вырабатывают энергию по той же цене, что и быстрые реакторы-размножители. Подчеркивается, что на основе применяемой технологии экономических критериев предпочтение могли бы получить тепловые реакторы-размножители.

Naslov pisca:

Prof. dr Vladimir Knapp, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet, Zagreb



Zgrada Ulica 8. maja 1945. u kojoj su od 1947. do 1963. god. bili smješteni Zavod za visoki napon, Zavod za osnove i mjerenja u slaboj struji i Zavod za elektroniku, a od osnivanja do 1963. godine Zavod za telekomunikacije

Energija God. 30 (1981) br. 7—8, 281—290

TOK NOVIJEG RAZVOJA SOLARNIH ĆELIJA

Prof. dr Borislav Juzbašić, Zagreb

UDK 621.383

U članku se, nakon kratkog uvoda u kome su dane predviđene i zacrtane perspektive razvoja solarnih ćelija, iznose pravci sadašnjeg razvoja. Težište je uglavnom na: 1. siliciju, 2. kadmijevu sulfidu odnosno Cu_2S-CdS ćelije, 3. galijevu arsenidu, pretežno $Ga_{1-x}Al_xAs$-GaAs ćelije za koncentriranu radijaciju kao i 4. tandem-ćelijama, uglavnom na bazi GaAs i Si za koncentriranu radijaciju koje serijski koriste Sunčev spektar.

Ključne riječi: **Solarne ćelije**
Solarna energija
Solarna radijacija

Originalni znanstveni rad

Interes za dobivanje električne energije direktnom konverzijom Sunčeva zračenja pomoću fotonaponskog efekta u solarnim ćelijama dobiva sve veće značenje. Pri tome se misli prvenstveno na pretvorbu u ovozemaljskim uvjetima, budući da su sve veće potrebe za diverzifikacijom izvora energije postale još evidentnije u uvjetima sve bržeg iscrpljivanja fosilnih goriva — posebno tekućih. Jedna je od osnovnih prednosti solarnih ćelija u tome da ne dovode do ekoloških problema, kao i da je gorivo — Sunčeva svjetlost —besplatno, obnovivo i neiscrpno. Istina je da je gustoća te energije relativno niska: na površini Zemlje, u optimalnim uvjetima, oko 1 kW/m², a izvan Zemljine atmosfere 1,353 kW/m² (AMO zračenje).

Za sada je glavna zapreka za masovnije korištenje fotonaponske konverzije visoka cijena solarnih ćelija koja iznosi najmanje $\frac{10\,\$}{W}$. Snaga 1 W traži neto-površinu od 100 cm² ako je efikasnost ćelije $\eta = 10\%$. U središtu su istraživanja i razvoja ovi problemi: a) sniženje cijene, b) povećanje efikasnosti ćelije. U razvijenom svijetu, posebno u SAD, postoje utvrđeni razvojni programi što ih financira država putem odgovarajućih organa. U SAD je je to DOE — Sekretarijat za energiju, odnosno SERI (Solar energy research institute). Oni raspolažu sumom od $\$ 1{,}5 \cdot 10^9$ na osnovi zakona o razvoju fotonaponske konverzije za razdoblje od 10 godina: od 1979. do 1988. g., koja je porazdijeljena više-manje linearno. I u zapadnoj Evropi postoje nacionalni programi koje potpomaže država uz znatno sudjelovanje E. E. C. (Evropska ekonomska zajednica), ali su ti programi skromniji od onih u SAD zbog manjih sredstava kojima raspolažu.

Sadašnja proizvodnja modula, odnosno skupova solarnih ćelija, daje otprilike vršnu snagu od oko 4 MW (oko 4×10^4 m² površine uz $\eta = 10\%$). Cilj je da se u SAD proizvede u 1986. godini 500 MW uz cijenu od oko $\frac{\$0{,}7}{W}$, odnosno $\frac{\$700}{kW}$. To su vrlo ambiciozni ciljevi kako u pogledu projekcije cijene, tako i u pogledu porasta proizvodnje. Mjerodavni faktori ocjenjuju ih kao realne i dostižne.

Osnovna je karakteristika razvojnog programa da je on vrlo širok u pogledu materijala, kao i pripadnih tehnologija. Postoje određena težišta rada i financiranja istraživanja i razvoja i ona se mogu svrstati u ove grupe: 1. silicij, monokristalni, polikristalni, a u najnovije vrijeme i amorfni silicij (a-Si), 2. kadmijev sulfid, zapravo Cu_2S-CdS ćelije u obliku tankog filma, 3. galijev arsenid odnosno najčešće ćelije $Ga_{1-x}Al_xAs$—GaAs tipa; obično su monokristalne, a istražuju se i polikristali u obliku tankog filma, 4. koncentracija radijacije i tandem-ćelije. To je zapravo niz ćelija koje slijede jedna iza druge, a mogu biti i na istom supstratu (podlozi), radi efikasnijeg korištenja spektra Sunčeva zračenja. Te ćelije, a isto tako i Ga—As, predviđaju se za rad u koncentratorskim sistemima s iznosima koncentracije i preko 100 puta.

Sadašnje stanje razvoja silicijevih solarnih ćelija

Silicij kao fotovoltaički materijal ima od novijih materijala najdulju prošlost od 1954. godine. Sa silicijevim jednokristalnim ćelijama kojima je početna efikasnost bila oko 6% dostignuta je stalnim istraživanjima i radom efikasnost oko 18% u 1976—1977. godini. Praktički sav ovozemaljski i svemirski (orbitalni) dio programa postignut je sa silicijevim jednokristalnim ćelijama. Kao što je već istaknuto[1], interes za ostale fotovoltaičke materijale nije doveo do eliminacije silicija, posebno ne u kratkoročnom i srednjoročnom programu razvoja. Upotreba amorfnog i polikristaličnog silicija vrlo se ozbiljno predviđa i za dugoročni program od 1990.

Efikasnost dana je relacijom $\eta = \frac{U_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF}{P_{ul}}$;

gdje je U_{OC} (V) napon praznog hoda, I_{SC} (mA) struja kratkog spoja, a FF faktor punjenja, dok je P_{ul} ulazna snaga Sunčeva zračenja.

O osnovnoj teoriji fotonaponske konverzije pisano je u dosadašnjim brojnim radovima, a autor je dao i opširnije preglede[2,3] gdje je i popis mjerodavne vanjske literature.

Već je spomenuto da je efikasnost rasla postepeno od početnih 6% prema 18% za AM1 zračenje. Istraživao se svaki parametar U_{OC}, I_{SC} i FF kako bi se postigla što bolja efikasnost.

Struja kratkog spoja I_{SC} veoma ovisi o efikasnosti kolekcije manjinskih nosilaca, tj. o transportu generiranih nosilaca do barijere i kroz nju. Rješenje tog problema svodi se na rješavanje jednadžbe kontinuiteta. Rezultati analize pokazuju jako umanjenu efikasnost kolekcije u kratkovalnom i ultravioletnom dijelu spektra, kao i nisku kolekciju u dugovalnom infracrvenom dijelu spektra prema dugovalnom rubu $\lambda_M = \frac{1{,}24}{E_G}$ (μm). Uzevši u obzir da je $\lambda_{MSi} = 1{,}127$ μm, pad efikasnosti kolekcije je izrazit iznad $\lambda \geq 0{,}9\mu m$.

Prvi značajni rezultati u povećanju efikasnosti kolekcije postignuti su u ranim sedamdesetim godinama[3], pomoću 1. ljubičaste ćelije, 2. nereflektirajuće CNR ili crne ćelije i 3. ćelijom sa stražnim poljem ili BSF ćelijom. U ljubičastoj ćeliji osnova je što uži površinski sloj; širina difundiranog n^+ sloja jest između 0,1 — 0,2 μm. Površinska koncentracija donora nešto je snižena, tako da je izbjegnut »mrtvi sloj« u kojemu je rekombinacija vrlo izražena. Struja kratkog spoja može iznositi do $40^{mA}/cm^2$. Povećanje odziva u infracrvenom dijelu spektra postignuto je teksturiranjem[3] (nazubljenjem) prednje površine kod CNR ćelije. Time se produžava put zraka u ćeliji (tipična širina oko 300 μm), što je vrlo važno za dugovalne fotone čiji je koeficijent apsorpcije vrlo nizak. Odabiranjem pogodnog antirefleksionog sloja koji može biti SiO ili TiO_2 ili Ta_2O_5 snizuje se koef. refleksije od oko 0,37, tj. 37% za čist polirani silicij, na manje od 0,05 za teksturiranu površinu i Ta_2O_5 antirefleksioni sloj. U domeni struje kratkog spoja stiglo se nedaleko od teoretske granice koja je određena uvjetom $I_{LM} = q(As) \cdot N\left(\frac{\text{fotona}}{s\,cm^2}\right) = 52{,}9\frac{mA}{cm^2}$ za AMO zračenje. Prema tome, u struji I_{SC} mogu se očekivati još neznatna povećanja efikasnosti.

Pažljivom tehnološkom izvedbom ljubičaste ćelije i ostalih ćelija postignuto je dobro slaganje diodne (tamne) karakteristike sa Shockleyevom jednadžbom: $I = I_S(e^{\frac{qU}{KT}} - 1)$ uz više napone, a naročito blizini napona praznog hoda. Ta činjenica povoljno djeluje na faktor punjenja FF. Za dobar faktor punjenja bitan je i što niži serijski otpor ćelije[4]. Postižu se faktori punjenja oko 0,8. Moguće ga je povećati do 0,82—0,83 uz isti napon U_{OC}, što je neznatno, pa se to neće dalje analizirati.

Napon praznog hoda U_{OC} je parametar koji je najdalje od svoje teorijske vrijednosti, i maksimalne vrijednosti koje su do kraja 1977. god. postignute iznose oko 600 mV. Od 1975. je napon praznog hoda u centru pažnje, a svrha je da se postigne njegovo povećanje do oko 700 mV i na taj način povisi efikasnost ćelije. U tome se djelomično uspjelo. Istraživanja se nastavljaju radi daljnjeg povišenja U_{OC} i dobivanja jednostavnih tehnoloških postupaka za osiguranje pouzdanih metoda serijskog dobivanja povoljnih vrijednosti napona U_{OC}, odnosno efikasnosti ćelije. Postignuti U_{OC} iznosi do oko 650 mV.

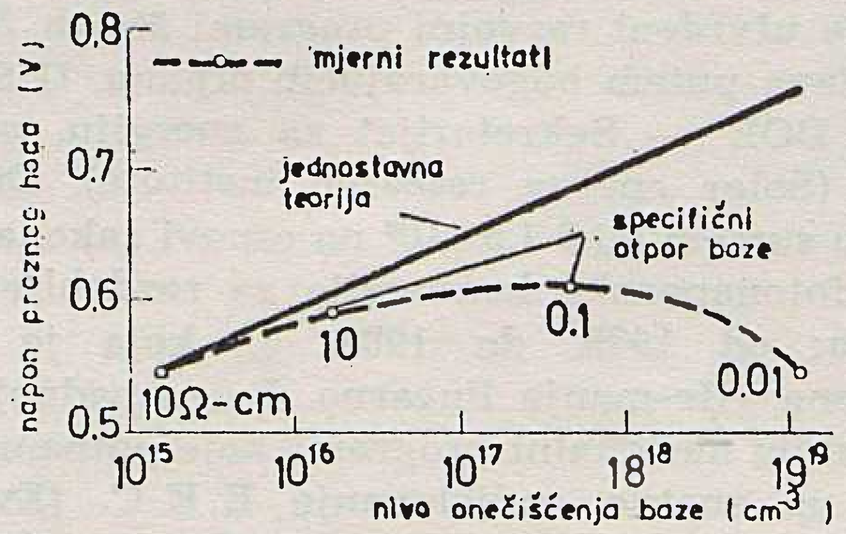
Poznato je da se napon U_{OC} (uz primjenjivost zakona o superpoziciji) određuje na temelju jednakosti fotogenerirane struje $I_L = I_{SC}$ i njoj suprotne tamne diodne struje $I_D = I_S(e^{\frac{qU}{kT}} - 1)$. Struja opterećenja je $I = I_{SC} - I_D$, a uz uvjet praznog hoda je $I = 0$, $I_{SC} = I_D$ uz $U = U_{OC}$, što daje:

$$U_{OC} = \frac{kT}{q}\left(\ln\frac{I_{SC}}{I_S} + 1\right) \approx \frac{kT}{q}\ln\frac{I_{SC}}{I_S}, \qquad (1)$$

gdje je I_S reverzna struja zasićenja po Shockleyu i za nju vrijedi jednadžba:[5]

$$I_S = q \cdot Sn_i^2\left(\frac{D_P}{n_{ON}L_P} + \frac{D_N}{p_{OP}L_N}\right). \qquad (2)$$

Značenja simbola poznata su iz literature[5]. Relacija (2) vrijedi ako su širine N i P područja W_n i W_p mnogo veće od difuzionih dužina manjinskih nosilaca L_P i L_N. Nadalje, jednadžba (2) pokazuje da je I_S to manji što su koncentracije donora i akceptora veće, I_S je proporcionalan s $\frac{1}{N} \cdot \frac{L}{\tau}$ što znači da su bitni što veća koncentracija nečistoća N i što veća vremena života. Međutim, poznato je da porast N izaziva sniženje vremena života τ, što djeluje u suprotnom smislu. To je prikazano na slici 1.



Sl. 1. Ovisnost napona praznog hoda o nivou koncentracije primjesa u bazi

Općenito najpovoljnije su bile ćelije n^+pp^+ tipa (BSF ćelije) sa specifičnim otporom baze oko 0,1 Ωcm, koncentracijom akceptora N_A do $5.10^{17}\,cm^{-3}$. Koncentracija donora u n^+ sloju je reda $10^{19}cm^{-3}$

i više. Diodna struja sastoji se od ovih komponenata:

$$I_D = I_E + I_B + I_{B+}, \qquad (3)$$

gdje su komponente redom: I_E struja emitera (n^+ sloj), struja baze I_B (p sloj) i struja jako onečišćenog sloja baze I_{B+} (p^+ sloj). Analize i eksperimentalni rezultati pokazali su da je emiter degeneriran, što ima za posljedicu suženje zabranjenog pojasa; povećana je intrinsična koncentracija, što izaziva efektivno sniženje koncentracije nečistoća i većinskih nosilaca a povećanje koncentracije manjinskih nosilaca. Posljedica toga je jak porast inverzne injekcije (šupljine u emiter) i emiterske struje, tako da postaje $I_E \gg I_B$ i sada I_{ES} dominira u određivanju napona praznog hoda.

Proračun U_{OC} pokazuje da je potrebno uz AM1 rasvjetu ($I_{SC} = 41{,}8 \frac{mA}{cm^2}$ – teorijski maksimum) struja zasićenja oko 10^{-12} A/cm² da bi se dobio U_{OC} od 600 do 610 mV. Tu vrijednost daje emiterska struja zasićenja I_{ES} i s tim bi klasične BSF ćelije bile praktički na granici mogućnosti. Važna posljedica uskoće n^+ područja jest parcijalna *transparentnost* emitera za manjinske nosioce. To pokazuje potrebu i važnost vremena života u emiteru i brzine površinske rekombinacije s_F koja bi trebala biti što niža. Za dobar rad BSF ćelije također je bitno da difuziona dužina elektrona L_N bude što veća u odnosu na širinu p područja tj. $W_p \ll L_N$. Uzevši u obzir da je p područje relativno široko (oko 100 μm minimalno), proizlazi potreba ekstremno velikih vremena života τ_N, a također difuzione konstante (pokretljivosti) u skladu s elementarnom relacijom $L_N = \sqrt{D_N \cdot \tau_N}$. U vezi s tim postaje kritična brzina površinske rekombinacije na stražnjem metalnom kontaktu s_B. Ona je efektivno umanjena pomoću nisko-visoke barijere (LH junction) na pp^+ prelazu. Iz iznesenog se vidi: 1. da izraz za struju zasićenja na bazi pretpostavke širokih područja ne zadovoljava, 2. da brzine površinske rekombinacije prednje i stražnje površine trebaju biti što niže, 3. da je potrebno točno poznavati mehanizam rekombinacije i nastojati je držati što nižom, odnosno τ što višom.

Postoje različiti pristupi koji se svode na smanjenje struje zasićenja radi postizanja što povoljnijeg U_{OC} i oni će biti razrađeni.

Najnovija tendencija razvoja jednokristalnih silicijevih solarnih ćelija

U najnovije vrijeme postoje u osnovi dvije metode za daljnje povećanje napona praznog hoda, odnosno efikasnosti ćelije. Prva metoda (prvi pristup) polazi sa stajališta da visoke koncentracije nečistoća ne zabrinjavaju, dok se pojave suženja pojasa zabranjenih energija, jak utjecaj Augerove rekombinacije u emiteru unose u analizu upotrebom Fermi-Dirac statistike, Augerovim vremenom života itd.[6] Predložene su različite metode sniženja tamne struje zasićenja, odnosno povećanja napona U_{OC}.

Drugi pristup odbacuje visoke koncentracije nečistoća i radi s manjim koncentracijama ($N_{max} \leq \leq 2.10^{18}$ cm^{-3}): ukupna širina ćelije je uža od klaćične (prosječno oko 100 μm). Zbog uskoće ćelije (čak do 50 μm) i potrebe što bolje apsorpcije fotona i efikasnosti kolekcije prednja površina izvodi se kao teksturirana, a stražnja površina kao reflektirajuća.[7] Nema potrebe za uvođenje Fermi-Diracove statistike, niti suženja pojasa zabranjenih energija, a Augerova rekombinacija ne igra važne uloge. Cijela analiza ćelije provodi se na klasičan način. Vrijeme života je parametar od najveće važnosti i treba da je što veće, a brzina površinske rekombinacije što niža. Popis važne literature iz navedenog područja do kraja 1977—1978. dan je većinom u radu 4, pa će biti naveden samo s tom oznakom.

Prvi pristup. Nakon što se je spoznalo da ograničenje U_{OC} unosi visoka koncentracija primjesa u bazi (sl. 1) i degenerirano onečišćenje emitera, pokušalo se problem detaljno proučiti i naći mogućnost njegova prevladavanja.[4] Uočeno je da su uzroci velike emiterske struje visoka koncentracija primjesa u emiteru, što izaziva suženje zabranjenog pojasa. To povezano s efektivnim povišenjem intrinsične koncentracije (efektivno sniženje koncentracije primjesa) u zajednici s vrlo malim prostorno promjenjivim vremenom života i njegovim padom u smjeru površine izaziva također potrebu za što manjom brzinom površinske rekombinacije na površini difundiranog emitera da bi se struja I_E snizila.

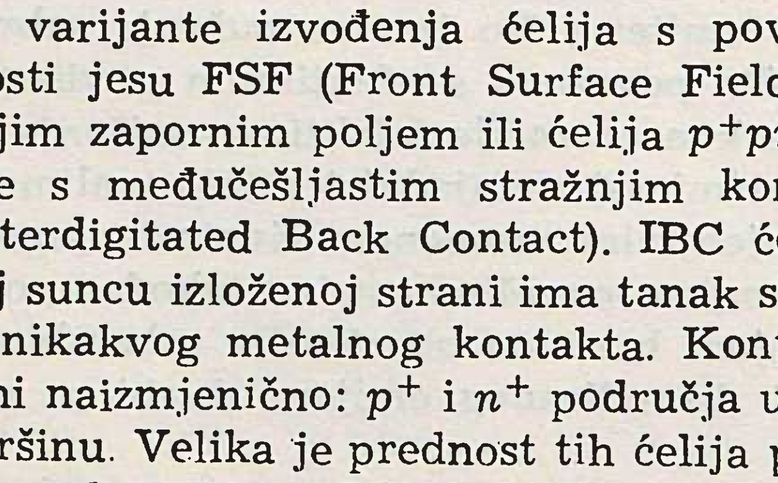
U tu svrhu se najprije pojavila BSF ćelija p^+nn^+ tipa umjesto klasične n^+pp^+ tipa. Prednost p^+n ćelije u odnosu na n^+p ogleda se u manjem padu efektivne koncentracije akceptora (uz visoku koncentraciju N_A), što izaziva manji porast efektivne intrinsične koncentracije i manjinskih elektrona, pa time i manji porast emiterske struje zasićenja, s povoljnim učinkom na U_{OC}. Uočila se važnost transparentnog emitera, što znači potrebu da vrijeme života manjinskih nosilaca u emiteru bude što veće u odnosu na vrijeme proleta τ_{tr}, dakle važnost $\tau_{tr} \ll \tau$. Ako je ispunjen uvjet transparentnosti, onda se rekombinacija ne obavlja unutar emitera, već na njegovoj površini.

Stvarno sniženje emiterske struje zasićenja postignuto je izvođenjem emitera kao »zrcala za manjinske nosioce« u slučaju n emitera kao n^+n visoko-niske barijere za manjinske šupljine. Dakle, ćelija postaje n^+np ćelija koja ima visoko-niski emiter (HLE)[4]. Manjinske šupljine injektirane iz baze ne rekombiniraju u umjereno onečišćenom emiteru jer je $W_n \ll L_p$. One se većinom reflektiraju na HL barijeri, a one koje pređu u n^+ ne rekombiniraju u njemu, jer je transparentan, nego na njegovoj vanjskoj površini. Sa HLE ćelijama klasične izvedbe postignuti su u 1978. god. naponi U_{OC} 625 — 630 mV.

Na suzbijanju struje zasićenja emitera odnosno baze uz njihovo izvođenje kao zrcala za manjinske nosioce (n^+n odnosno pp^+ spojevi) te transparentnost rubnih područja vrlo je važno suzbiti efektivnu površinsku rekombinaciju na prednjoj i stražnjoj površini. To se postiže termičkim naraštanjem tankog sloja SiO_2 na površinu. U slučaju p^+nn^+ BSF ćelije sloj SiO_2 debljine oko 5 nm narasta se na emiter, što dovodi do sniženja efektivne brzine površinske rekombinacije na oko 15 cm/s. Time se postiže $I_E \ll I_B +$, dok su bez pasivizacije obje komponente istog reda veličina.

Osnovno je pravilo za sve opisane ćelije da vrijeme života u bazi mora biti vrlo dugo: nekoliko stotina μs do 1 ms. Time se suzbija rekombinacija unutar baze, odnosno povisuje napon potreban za određenu struju, što ima povoljan učinak na napon U_{OC}. Radi povišenja U_{OC} moderne eksperimentalne BSF i HLE ćelije izvode se s pasiviziranom površinom pomoću tankog SiO_2 sloja. To povoljno djeluje i na struju I_{SC}, pa prema tome povisuje i efikasnost. Ćelije HLE tipa mogu se izvesti i kao ćelije: oksid-*np*, odnosno OCI-HLE ćelije (Oxide Charge Induced-HLE). Pomoću njih je dobiven $U_{OC} \approx 650$ mV.

Daljnje varijante izvođenja ćelija s povećanom efikasnosti jesu FSF (Front Surface Field) ćelija s prednjim zapornim poljem ili ćelija p^+pn^+ tipa, te ćelije s međučešljastim stražnjim kontaktom IBC (Interdigitated Back Contact). IBC ćelija na prednjoj suncu izloženoj strani ima tanak sloj SiO_2 i nema nikakvog metalnog kontakta. Kontakti su smješteni naizmjenično: p^+ i n^+ područja uz stražnju površinu. Velika je prednost tih ćelija pomanjkanje kontakta uz prednju površinu, što potencijalno znači mogućnost povišenja efikasnosti, te mali serijski otpor koji je u prvoj aproksimaciji obrnuto razmjeran intenzitetu Sunčeve radijacije. To čini ćelije pogodnim za koncentriranu Sunčevu radijaciju.



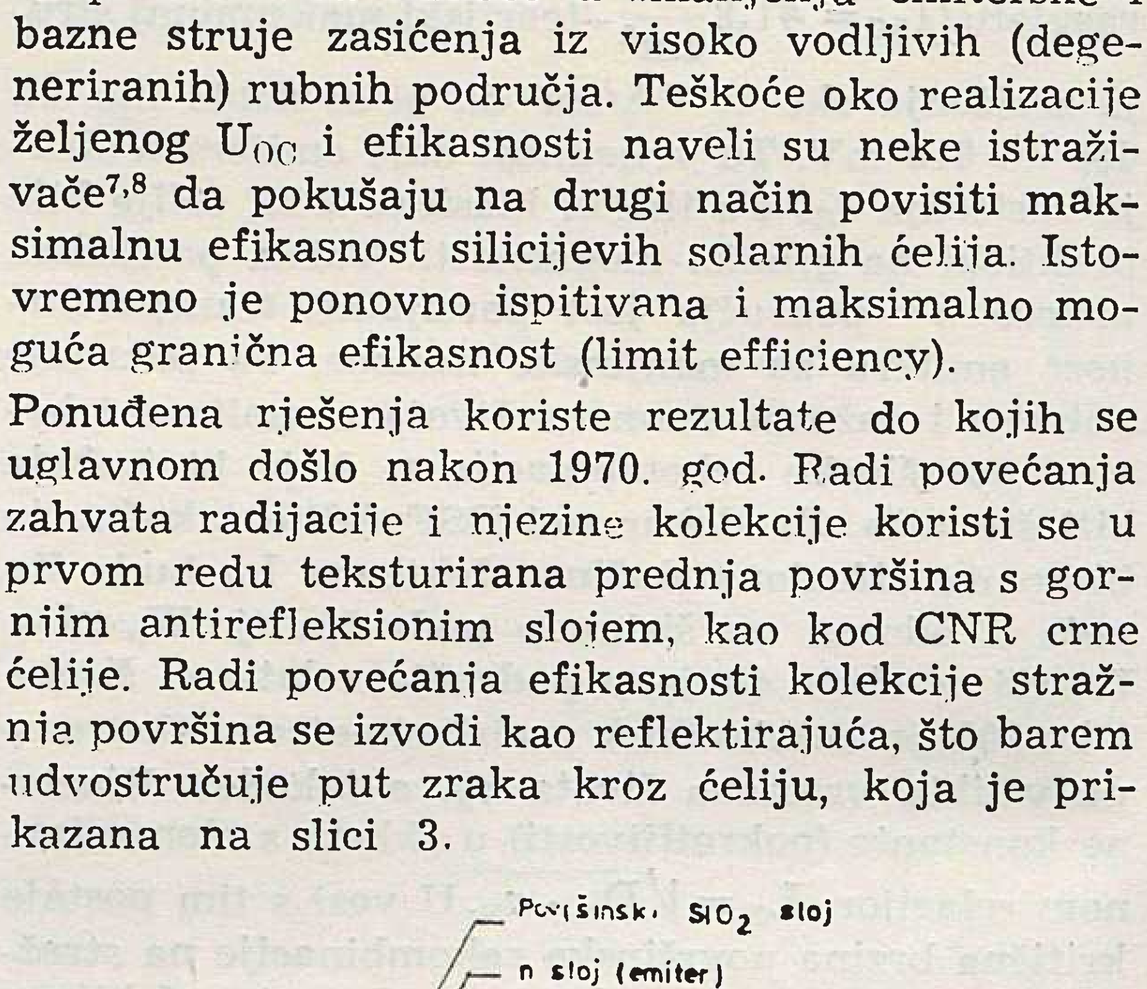
Sl. 2. Zajednički prikaz TJ, FSF i IBC solarne ćelije. Gornji sloj n^+ za TJ, p^+ za FSF i pasivizirajući SiO_2 za IBC ćeliju.

Na slici 2. dan je shematski prikaz IBC, FSF i TJ ćelije.[6] Ćelija TJ (Tandem Junction) jest ćelija s gornjom n^+p ćelijom i donjom pp^+ ćelijom. Kako FSF odnosno TJ ćelija (razlika je što je gornji spoj p^+p kod jedne odnosno n^+p kod druge ćelije) ne trebaju imati kontakt za gornji suncu izložen spoj, već je kod obiju moguć IBC spoj, što je vidljivo iz slike 2.

S navedenim ćelijama nije za sada postignut željeni napon $U_{OC} \approx 700$ mV uz rasvjetu 1. Sunce. Istraživanja na njima su u punom toku. Međutim, činjenica da kod ćelija IBC, FSF i TJ tipa nema metalizacije uz gornju površinu, pa naravno ni velike komponente serijskog otpora kao ni zasjenjenja, čini te ćelije potencijalno pogodnim za visoke koncentracije Sunčeve radijacije. Tu se može očekivati daljnje povišenje napona U_{OC}, vrlo povoljan FF., pa prema tome i povećanje efikasnosti.

Drugi pristup. Pojednostavljena tumačenja dana u prikazu ćelija s visokim koncentracijama nečistoća pokazala su teškoće u smanjenju emiterske i bazne struje zasićenja iz visoko vodljivih (degeneriranih) rubnih područja. Teškoće oko realizacije željenog U_{OC} i efikasnosti naveli su neke istraživače[7,8] da pokušaju na drugi način povisiti maksimalnu efikasnost silicijevih solarnih ćelija. Istovremeno je ponovno ispitivana i maksimalno moguća granična efikasnost (limit efficiency).

Ponuđena rješenja koriste rezultate do kojih se uglavnom došlo nakon 1970. god. Radi povećanja zahvata radijacije i njezine kolekcije koristi se u prvom redu teksturirana prednja površina s gornjim antirefleksionim slojem, kao kod CNR crne ćelije. Radi povećanja efikasnosti kolekcije stražnja površina se izvodi kao reflektirajuća, što barem udvostručuje put zraka kroz ćeliju, koja je prikazana na slici 3.



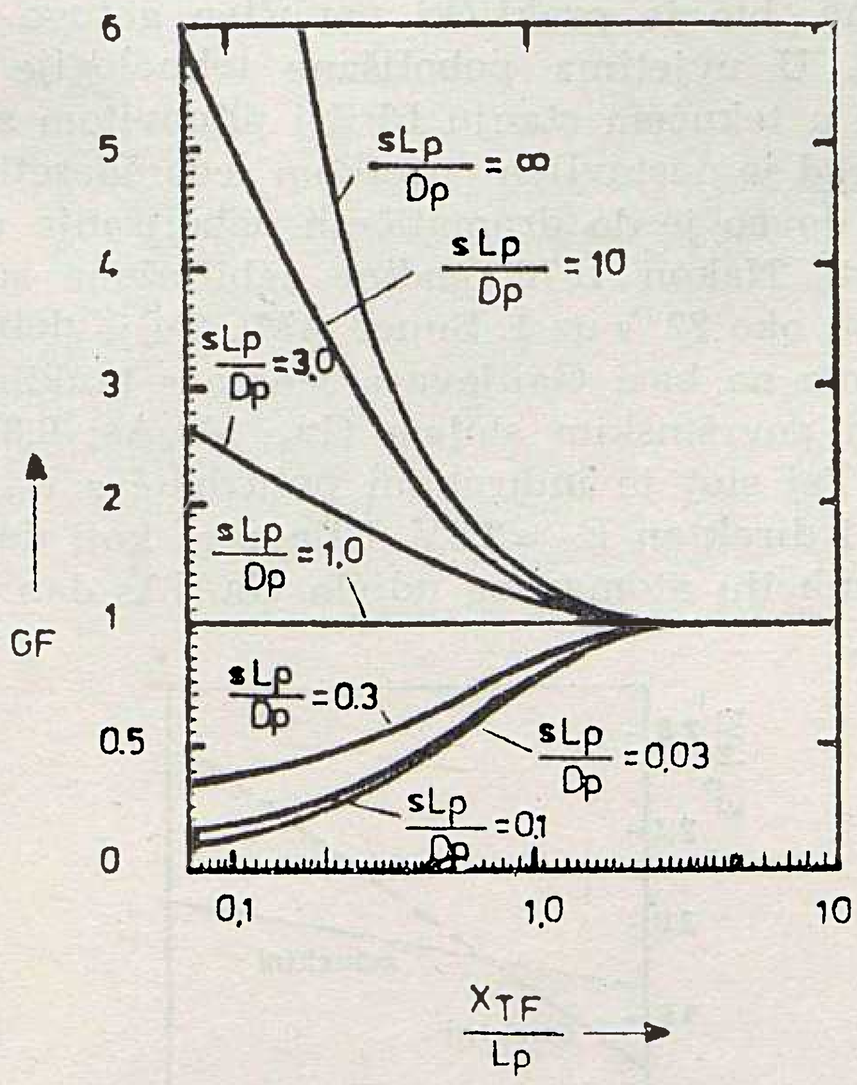
Sl. 3. Efikasna ćelija skore budućnosti. Objašnjenje i dimenzije očiti iz opisa slike.

Radi izbjegavanja komplikacija koje izazivaju vrlo visoke koncentracije nečistoća koriste se niže kon-

centracije primjesa koje nigdje ne prelaze 2.10^{18} cm^{-3}. Ukupna debljina ćelije je mala, prosječno oko 100 μm, a dubina emiterske barijere je nekoliko μm. Budući da je bitna što manja tamna diodna struja, posebno komponente njene struje zasićenja, vrijeme života unutar volumena ćelije treba da je što veće. Brzina površinske rekombinacije treba biti što niža, kako stvarna, a naročito efektivna. O toj brzini veoma ovisi struja zasićenja za koju vrijedi relacija:

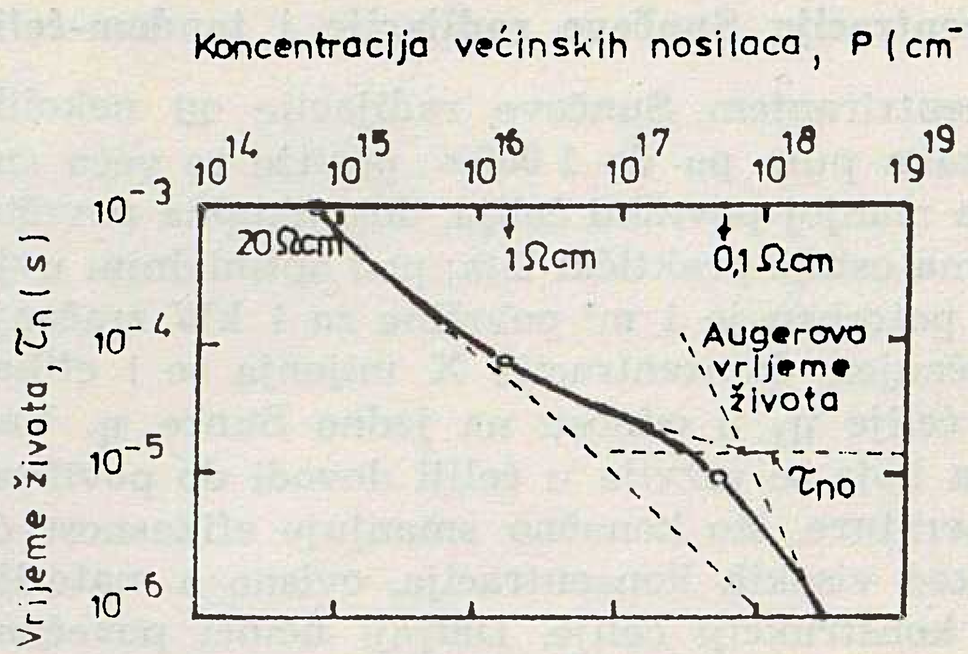
$$I_S = I_{S\infty} \cdot (GF) \qquad (4)$$

Gustoća struje zasićenja I_S jednaka je produktu te iste struje uz pretpostavku vrlo širokih područja $I_{S\infty}$ (rel. 2) i faktora geometrije (GF). Na slici 4. dana je ovisnost (GF) kao funkcija normirane dubine barijere $\frac{X_T}{L}$. Vidi se da je omjer $\frac{I_S}{I_{S\infty}} = (GF)$ može biti za male dubine X_T veći i manji od 1, ovisno o tome da li je brzina površinske rekombinacije velika ili malena. Očite su prednosti male (B. P. R.) brzine površinske rekobinacije. B. P. R. nije nužno visoka. Ona je visoka uz metalni kontakt i teži beskonačnom. Na nemetaliziranim dijelovima pažljivom pasivizacijom može se znatno umanjiti, a uz nisko-visoku barijeru (LH) može se praktički eliminirati. Stražnji metalni kontakt (prema unutra reflektirajuća površina) dolazi na p^+ sloj $N_A^+ \leq 2.10^{18}$ cm^{-3}, koji dolazi nakon slabije onečišćenog sloja baze, tako da se na granici stvara nisko-visoka (LH) barijera, što suzbija efektivnu B. P. R.



Sl. 4. Geometrijski faktor (GF) u ovisnosti o normiranoj dubini barijere uz razne površinske rekombinacije.

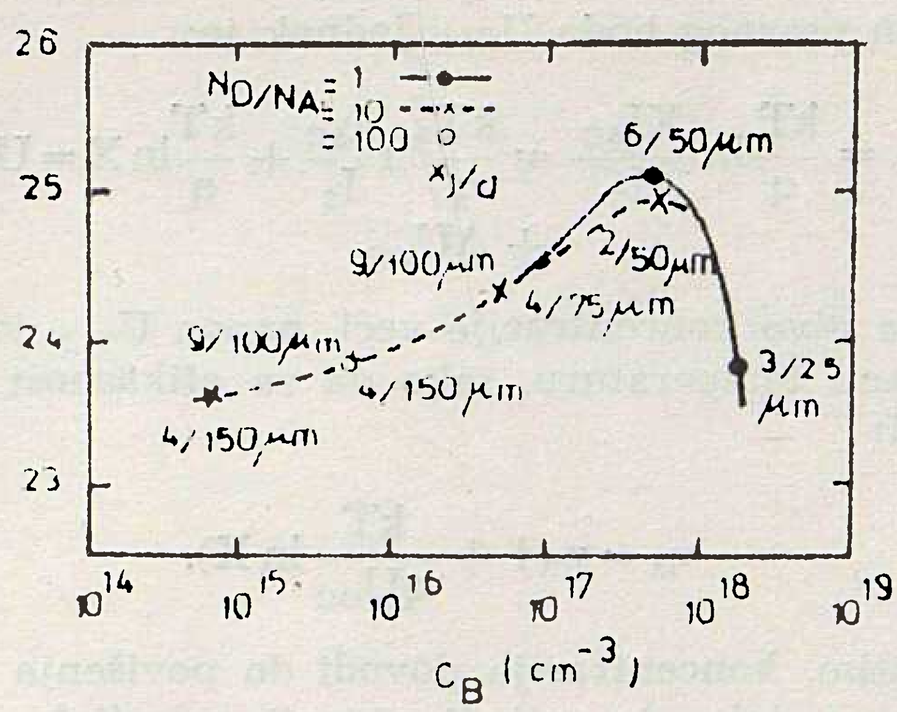
Prvi ključni parametar ćelije jest volumno vrijeme života. U vezi s potrebom novog utvrđivanja granične efikasnosti silicijevih solarnih ćelija renomirana grupa eksperata utvrdila je vremena života manjinskih elektrona u p tipu materijala. (Šupljine u n tipu imaju približno ista vremena života.) Rezultati su bazirani na najboljim (najvišim) vrijednostima koje se eksperimentalno dobivaju i prikazani su na slici 5. Vrijednosti kod drugih vrijednosti koncentracija osim triju označenih točkicama (što su ih utvrdili eksperti) dobivene



Sl. 5. Vrijeme života manjinskih nosilaca u ovisnosti o koncentraciji većinskih nosilaca za materijel p tipa

su interpolacijom i ekstrapolacijom na bazi Shockley-Read-Hall i Augerove teorije rekombinacije. Vremena života su 1-2 reda veličina veća nego dosad upotrebljavana u proračunima.

Na bazi ovih pojednostavljenih i uopćenih premisa i rezultata proračunate su i prikazane na slici 6. granične efikasnosti kao funkcija koncentracije



Sl. 6. Prikaz proračunate efikasnosti idealiziranih ćelija u ovisnosti o koncentraciji većinskih nosilaca.

većinskih nosilaca C_B u bazi ćelije. Parametri su $\frac{N_D}{N_A}$ tj. omjer koncentracije donora prema akceptorima u emiteru prema bazi, kao i omjer $\frac{x_j}{d}$, tj. omjer dubine barijere x_j prema debljini ćelije d. Vidi se da proračuni (na računalu) pokazuju da je moguća granična efikasnost od oko 25%. Naponi praznog hoda U_{OC} koji se postižu uz ovakve strukture i pretpostavke o vrijednosti parametara jesu oko 700 mV, dok su gustoće struje zasićenja reda 10^{-14} A/cm^2. Iako su za ovakve ćelije vršeni detaljni računarski proračuni, pokušaji praktične realizacije (koliko je piscu poznato) nisu još dani.

Ovim pregledom dan je na pojednostavljen način pregled najnovijeg razvoja jednokristalnih silicijevih ćelija. Ostaje da se vidi uz intenzivan rad mogućnosti približavanja zacrtanim ciljevima. Ćelije od polikristaličnog i amorfnog silicija nisu ovdje razmatrane.

Koncentracija Sunčeve radijacije i tandem-ćelije

Koncentriranjem Sunčeve radijacije od nekoliko desetaka puta pa do 1 000× postiže se veća snaga na manjoj površini ćelija, dok ukupna površina sistema ostaje praktički ista; pod optimalnim uvjetima potreban je 1 m² površine za 1 kW zračenja. Povećanjem koncentracije X mijenja se i efikasnost ćelije η_x u odnosu na jedno Sunce η. Veća snaga koja se razvija u ćeliji dovodi do povišenja temperature, što konačno smanjuje efikasnost ćelije kod visokih koncentracija, ovisno o materijalu i konstrukciji ćelije. Daljnji učinci povećanja koncentracije dovode do jačeg djelovanja serijskog otpora, što smanjuje faktor punjenja FF i sniženja efikasnosti.

Uzevši u obzir proporcionalnost struje kratkog spoja I_{SC} i koncentracije i za sada konstantnost faktora punjenja FF, napon praznog hoda U_{OCX} se mijenja[9] kod koncentracije X u odnosu na 1. Sunce U_{OC}, tako da se za η_x može približno pisati:

$$\eta_x = \eta \frac{U_{ocx}}{U_{oc}}. \qquad (5)$$

Napon praznog hoda U_{OCX} jednak je:

$$U_{ocx} = \frac{kT}{q} \ln \frac{XI_{sc}}{I_s} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{sc}}{I_s} + \frac{kT}{q} \ln X = U_{oc} + \Delta U_{oc}. \qquad (6)$$

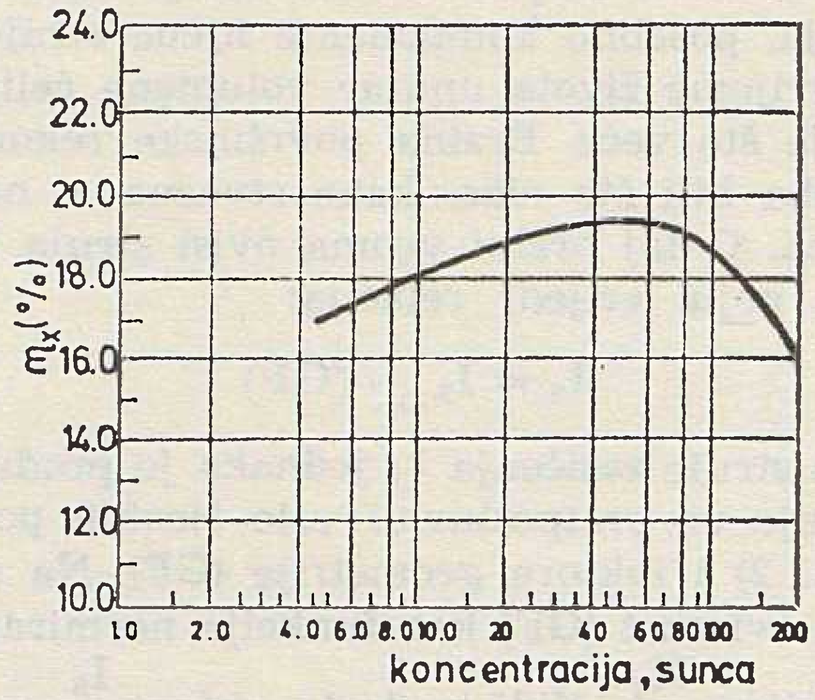
Što je nivo koncentracije veći, napon U_{OCX} je viši uz danu temperaturu, tako da za efikasnost proizlazi:

$$\eta_x = \eta \left(1 + \frac{kT}{qU_{oc}} \ln X\right). \qquad (7)$$

Međutim, koncentracija dovodi do povišenja temperature, tako da vrijedi poznata relacija[5]

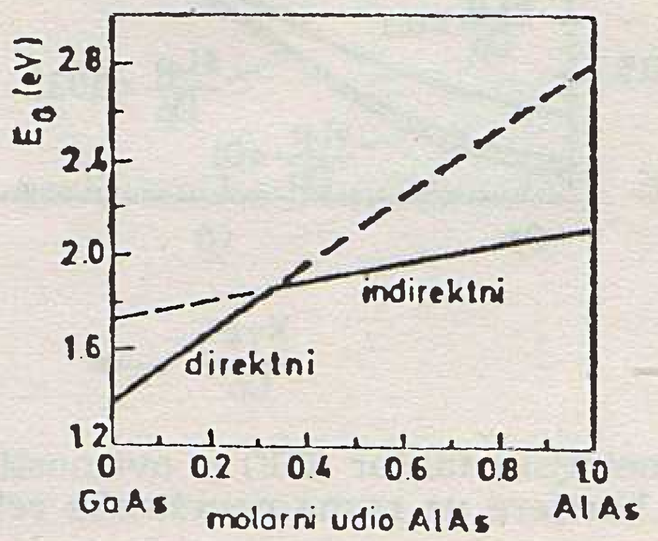
$$\frac{\Delta U_{oc}}{\Delta T} \approx -2 \frac{mV}{°C}. \qquad (8)$$

Povećanjem koncentracije dolazi do neminovnog pada napona zbog povišenja temperature, što je još potencirano djelovanjem serijskog otpora ćelije zbog lateralnog toka struje kroz uski površinski sloj i metalne prste površinskog kontakta. To dovodi do sniženja faktora punjenja i pada efikasnosti ćelije. Silicijeve ćelije su pogodne za koncentracije do 100× i temperature do oko 100 °C. Ovisnost efikasnosti η_x o nivou koncentracije za tipičnu silicijevu ćeliju (izvedena za koncentriranu rasvjetu) dana je na slici 7. Vidi se porast efikasnosti do koncentracije od nekoliko desetaka puta i nagli pad iznad 100×. Do pada dolazi zbog temperature i njezina djelovanja na U_{OC}, kao i zbog pojačanog djelovanja serijskog otpora R_S i time izazvanog pada faktora punjenja.



Sl. 7. Izmjerena efikasnost ćelije kao funkcija koncentracije radijacije AM1 spektra (tipična ćelija za koncentraciju)

Galijev arsenid je blizu maksimuma teorijske efikasnosti $\eta \approx 25\%$; predstavlja materijal s direktnim pojasom zabranjenih energija i zbog toga je vrlo dobar apsorber Sunčeve radijacije. To omogućuje izvođenje mnogo užih ćelija od silicijevih. Vrlo mala vremena života $\tau \approx 10^{-9}$s i velike brzine površinske rekombinacije $10^6 < s < 10^7$ cm/s dovodile su do toga da je maksimalna efikasnost oko 1960. godine iznosila 11—12%, nakon početnih 6% u 1955. godini na monokristalnim ćelijama male površine. Budući da se s mnogo jeftinijim silicijevim ćelijama bilježio stalan napredak rad na Ga-As ćelijama, bio je praktički napušten gotovo deset godina. U uvjetima poboljšane tehnologije (epitaksije u tekućem stanju LPE i plinovitom stanju VPE) rad je nastavljen početkom sedamdesetih godina i doveo je do dramatičnih poboljšanja u efikasnosti. Nakon 1976. godine zabilježene su efikasnosti oko 22% uz 1. Sunce AM1. To je dobiveno s ćelijom na bazi Galijeva arsenida s tankim ternarnim površinskim slojem $Ga_{1-x}Al_xAs$; $0{,}8 < x < 0{,}9$. Taj sloj je indirektan poluvodič s $E_G \approx 2$V, a ima i direktan $E_G \approx 2{,}5$V. Dijagram koji daje E_G kao funkciju atomarnog udjela GaAlAs dan je na slici 8.



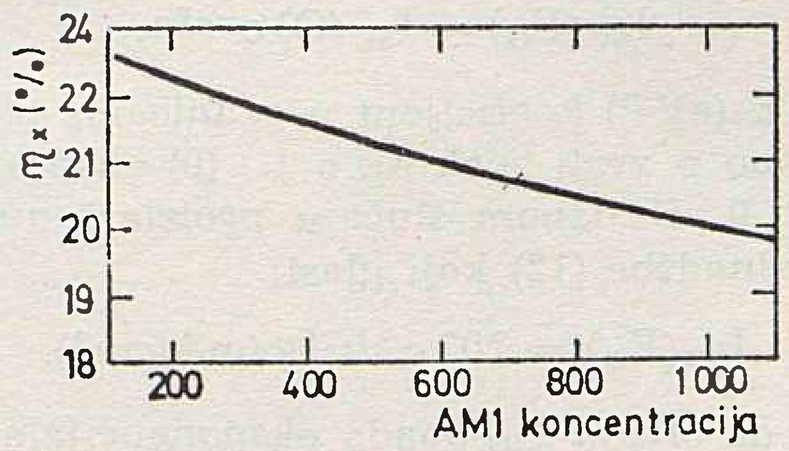
Sl. 8. Promjene direktnog i indirektnog pojasa E_G kao funkcija molarnog udjela x za $Ga_{1-x}Al_xAs$ strukturu

On je epitaksijalno narašten na normalnu pGaAs-nGaAs solarnu ćeliju koja ima $E_G \approx 1{,}43$eV. Tanki ternarni sloj ima ulogu prozora za radijaciju

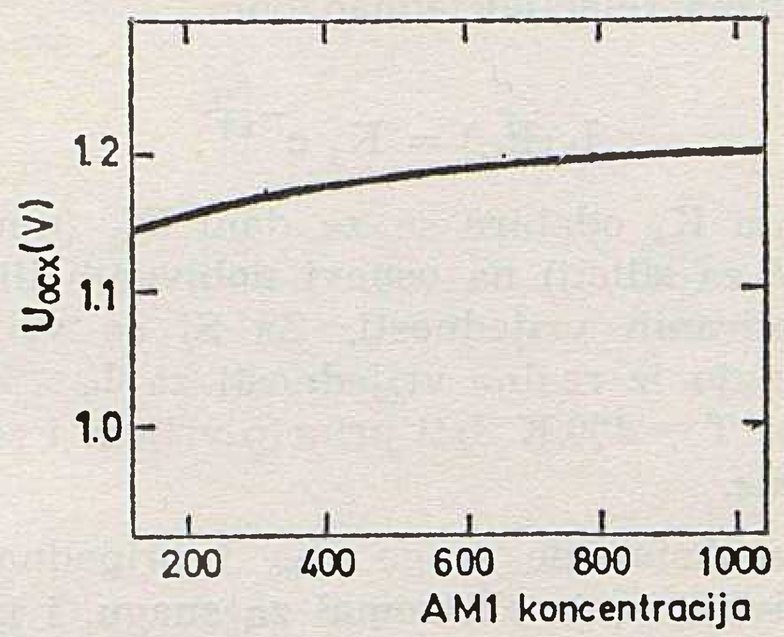
$hf \leq 2eV$, odnosno $hf \leq 2{,}5eV$ i propušta je na ćeliju ležeću ispod sebe. Taj sloj treba da je što tanji, debljine $D \leq 0{,}3$ μm da bi propustio veći dio radijacije $2 \leq hf \leq 2{,}5ev$ na GaAs ćeliju. Usput se učinak površinske rekombinacije znatno slabi zbog manjeg udjela visoko energetskih fotona $hf \geq 2{,}5eV$ koji mogu biti apsorbirani u površini. Zbog podešenosti koraka kristalne rešetke GaAs i AlAs brzina međupovršinske rekombinacije između ternarnog i GaAs sloja vrlo je niska, što dovodi do velikog poboljšanja efikasnosti tih ćelija.

Velika prednost GaAs struktura jest mogućnost rada pri visokim temperaturama. Već je 1959. godine utvrđeno da je omjer efikasnosti na sobnoj temperaturi oko 20% u korist GaAs prema siliciju. Na temperaturi od oko 200 °C taj omjer je preko 200% u korist GaAs. To je uglavnom posljedica većeg napona praznog hoda U_{OC} koji je kod GaAs između 0,95—1V, pa je relativni pad $1/U_{OC} \cdot \Delta U_{OC}/\Delta T$ znatno manji.

Ćelije za koncentriranu radijaciju također su (GaAl) As-GaAs tipa. Uloga je ternarnog (GaAl)As sloja da služi kao prozor za radiciju $hf \leq 2$—2.5eV i da smanji utjecaj površinske rekombinacije. Ključno pitanje za dobar rad ćelije pri visokim koncentracijama jest vrlo mali serijski otpor budući da gustoća struje može iznositi i preko 20 A/cm². Uzevši u obzir da se može dozvoliti gubitak napona do $\Delta U = 0{,}1V$, serijski otpor u normiranom obliku može iznositi $\Delta U/J = 0{,}1/20 = 5 \cdot 10^{-3} \Omega cm^2$. Serijski otpor kontakta prednje osvijetljene površine sastoji se od otpora poluvodičkog ternarnog sloja (GaAl)As, otpora metalnih prstiju i otpora kontakta metal-poluvodič. Izmjerene vrijednosti efikasnosti ćelije i napona praznog hoda[10] prikazane su na sl. 9. i 10.



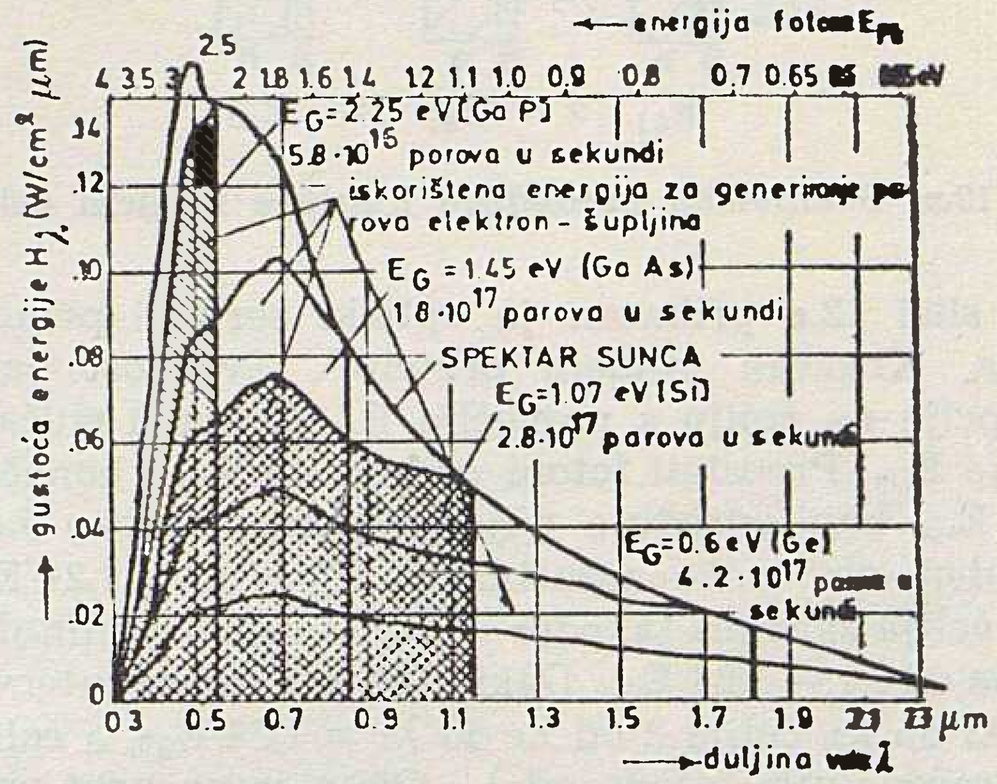
Sl. 9. Efikasnost ćelije (GaAl)As tipa u ovisnosti o koncentraciji AM1 zračenja



Sl. 10. Napon praznog hoda u ovisnosti o koncentraciji AM1 za istu ćeliju

Kao što se vidi, (GaAl)As-GaAs ćelije zadržavaju efikasnost od 20% i uz koncentraciju od 1 000×.

Povećanje efikasnosti silicijevih ćelija, uz koncentracije od 10 do 40× i zadržavanje efikasnosti na nivou 1. Sunca i uz koncentracije od 100×, što je još drastičnije izraženo kod GaAs ćelija koje rade dobro i uz koncentracije od 1 000×, dovelo je do toga da je zadnjih nekoliko godina ponovo oživjela ideja tandem-ćelija poznata još od 1955. do 1960. godine. Kod tandem-principa rada ćelija radi se o serijskom korištenju solarnog spektra (koji je obično koncentriran) pomoću više ćelija s različitim pojasima zabranjenih energija E_G. To je ilustrirano na slici 11, koja prikazuje solarni AMl spektar i



Sl. 11. Spektralna raspodjela Sunčeve energije na površini mora i iskoristivi dio radijacije za neke fotonaponske materijale u ovisnosti o E_G.

njegovo korištenje od strane pojedinih materijala Ge, Si, GaAs i GaP izvedenih kao solarne ćelije. Poznato je a i vidljivo iz slike da su gubici na solarnom spektru veliki i da se sastoje od dva dijela:

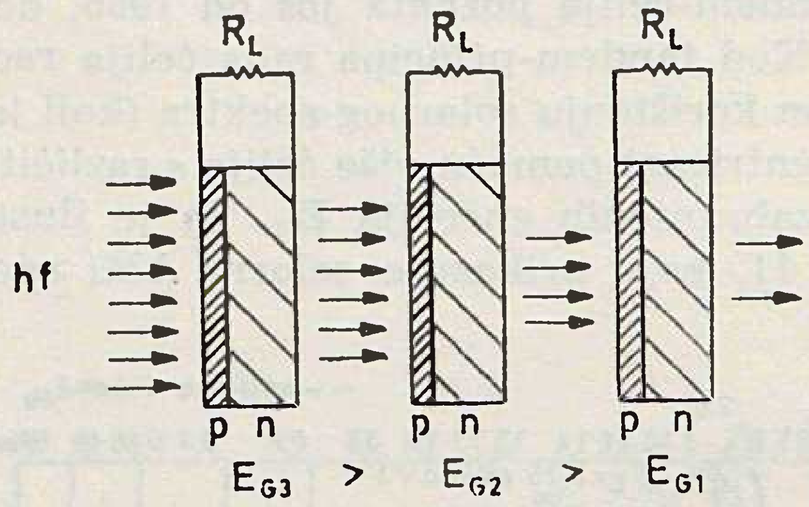
1. Svi fotoni čija je energija *hf* manja od širine zabranjenog pojasa ne mogu biti apsorbirani već ih poluvodič propušta. Znači da je maksimalna valna duljina koju dani pluvodič može apsorbirati:

$$\lambda_M = \frac{1.24}{E_G} (\mu m). \qquad (9)$$

Kod silicija udio duljevalnih fotona koji ostaju neapsorbirani iznosi između 23—24% ukupne energije radijacije, ovisno o vrsti Sunčeva zračenja. 2. Kraćevalni fotoni $\lambda < \lambda_M$ mogu biti apsorbirani, ali višak energije iznad E_G je izgubljen i izaziva zagrijavanje ćelije. Taj udio je od 33 do 34% ukupnog zračenja za silicij i označen je na slici. Ukupno je dakle kod silicija izgubljeno između 56—57% energije radijacije, a samo 43—44% stoji na raspolaganju za efikasno korištenje. Ti gubici su fundamentalni i fiksni za dani materijal, u ovom slučaju silicij. U principu isti gubici postoje kod ostalih materijala. Za GaP uz $E_G = 2{,}23eV$, ukupni gubici su oko 80%, znači svega oko 20% ostaje na raspolaganju za fotonaponsku konverziju. U ovom slučaju daleko veći su gubici duljevalnih fotona

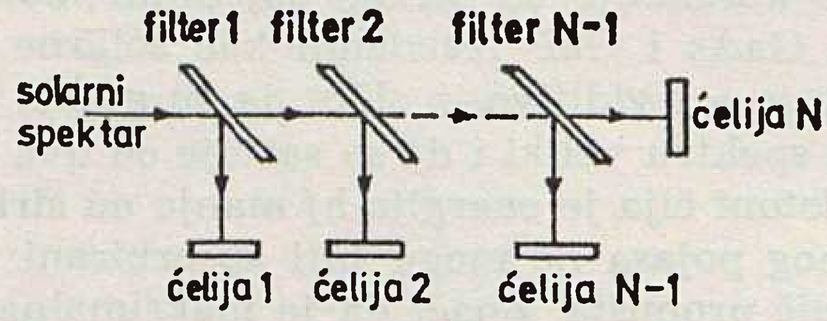
$\lambda > \lambda_{MGaP}$, od gubitka suviška energije kraćevalnih fotona $\lambda < \lambda_{MGaP}$.

Efikasnije korištenje Sunčeva spektra osnovna je ideja koja se koristi kod tandem-ćelija. Tu se radi o serijskom radu više ćelija s različitim E_G. Dva principa su kod takvog rada osnovna i ilustrirana na slici 12. a i b.



Sl. 12.a. Shematska predodžba klasične tandem ćelije

Na slici 12.a prikazan je optički serijski princip rada. Klasičan tandem princip[11]. Svjetlost pada najprije na ćeliju s najvećim E_G. U ovom slučaju to je E_{G3}. Preostali fotoni padaju na E_{G2} i konačno na E_{G1} koji određuje najduljevalnije fotone koji tandem-niz može apsorbirati. $\lambda_M = \lambda_1 = 1{,}24/E_{G1}$. Ta ćelija zahvaća također i fotone većih valnih duljina od $\lambda_2 = 1{,}24/E_{G2}$. Dakle ćelija 1 radi u intervalu λ_1 do λ_2, ćelija 2 od λ_2 do $\lambda_3 = 1{,}24/E_{G3}$, a ćelija 3 kraćevalnije fotone od λ_3. Očito je na prvi pogled da se gubici na višku energije $\lambda < 1{,}24/E_G$ smanjuju, jer svaka ćelija zahvaća samo dio spektra s kojim je u boljoj »rezonanciji«.



Sl. 12.b. Shematski prikaz tandem rada pomoću selektivnog cijepanja Sunčeva spektra

Drugi način ilustriran je na slici 12.b. On se sastoji u lomljenju (cijepanju) optičkog spektra pomoću optičkih selektivnih zrcala i raspoređivanju pojedinih dijelova spektra na solarne ćelije koje su za taj dio spektra najpogodnije. Princip odabiranja E_G je isti kao i kod klasičnog optički serijskog tandem-principa, pa je i ovaj princip tandem-rad s optički cijepanim spektrom[12].

Iako je osnovni princip tandem-rada solarnih ćelija relativno jednostavan, realizacija tog principa, vodeći računa o stvarnom povećanju efikasnosti nad efikasnosti s jednom ćelijom, vrlo je komplicirana, počevši od realizacije efikasnih ćelija s odabranim pojasom E_G, tako da će ovdje biti dani samo osnovni principi po kojima se projektira tandem-struktura. Treba napomenuti da je eksperimentalno do kraja 1978. realiziran tandem-rad s dvije ćelije, i to ćelijama (GaAl)As-GaAs, kao prvom i silicijevom ćelijom kao drugom s optički cijepanim spektrom te da je dobivena efikasnost od 28,5% uz koncentraciju od 165×.

Osnovni princip kod solarnih ćelija u tandem-radu sastoji se u tome da svaka ćelija apsorbira isti broj fotona iz solarnog spektra. Uz istu efikasnost kolekcije (isti broj nosilaca stvoren je i razdvojen barijerom) i pretpostavljenom jednakom jedinici svaka ćelija daje istu fotogeneriranu struju ili struju kratkog spoja $I_{ph} \approx I_{SC}$.

Uzevši silicij kao materijal s najmanjim $E_G = E_{G1}$, on dobiva fotone između λ_1 i $\lambda_2 = 1{,}24/E_{G2}$. Znači da mu je struja I_{SC} u intervalu E_{G1} do E_{G2} dana izrazom

$$I_{SC}(E_{G1}, E_{G2}) = I_{SC}(E_{G1}) - I_{SC}(E_{G2}). \quad (10)$$

Na ćeliju s E_{G2} pada sav Sunčev spektar, pa je struja I_{SC} te ćelije $I_{SC}(E_{G2})$. Iz uvjeta jednakosti struje prve i druge ćelije proizlazi $I_{SC}(E_{G2}) = I_{SC}(E_{G1}, E_{G2})$ što na osnovi jednadžbe (10) daje:

$$I_{SC}(E_{G1}) = 2\, I_{SC}(E_{G2}). \quad (11)$$

Struja druge fotoćelije $I_{SC}(E_{G1})$, tj. silicijeve, jednaka je dvostrukoj struji $I_{SC}(E_{G2})$ uzetih posebno, pa se na osnovi toga odabire materijal. Proizlazi da bi to bio materijal s $E_{G2} = 2$eV. Budući da nema materijala $E_{G2} = 2$eV i daljim fotovoltaičkim svojstvima odabire se materijal s manjim E_G na bazi GaAs s površinskim ternarnim slojem (GaAl)As. Na osnovi takve kombinacije dobivena je efikasnost od 28,5%, koja je već spomenuta.

Proizlazi također da se uz $E_G \geq 1$eV može pisati za gustoću struje I_{SC} izraz

$$I_{SC}(E_G) = I_{SC}(O)\, e^{-\alpha E_G}, \quad (12)$$

gdje je α (eV^{-1}) koeficijent u granicama od 1,2 do 2,1, ovisno o vrsti spektra, a $I_{SC}(0)$ eksprapolacija za $E_G = 0$. U danom slučaju proizlazi numerički oblik jednadžbe (12) koji glasi:

$$I_{SC}(E_G) = 202\, e^{-1{,}2E_G}\ (mA/cm^2). \quad (13)$$

Vidi se da struja I_{SC} opada eksponencijalno sa širinom zabranjenog pojasa. Reverzna struja zasićenja I_S vezana je sa širinom zabranjenog pojasa (približna relacija) jednadžbom

$$I_S(E_G) = K_1\, e^{-\frac{E_G}{kT}}. \quad (14)$$

Konstanta K_1 odabire se za dani E_G, (npr. $E_G = 1{,}1$ eV za silicij) na osnovi dobivenih ili realno ekstrapoliranih vrijednosti. Za Si se vrijednosti K_1 dobivaju iz realne vrijednosti za $I_S = 2 \times 10^{-12}$ A/cm² uz $T = 300$ K. Isti princip vrijedi i za ostale materijale.

Napon maksimalne snage U_{mp} i pripadna struja I_{mp} dobivaju se iz ekstrema[3] za snagu, i izrazi za tandem-rad ćelije 1, koja dolazi nakon ćelije 2, glase:

$$(1 + \beta U_{mp})\, e^{\beta U_{mp}} = \frac{I_{SC}(E_{G1}, E_{G2})}{I_S(E_{G1})} \qquad (15)$$

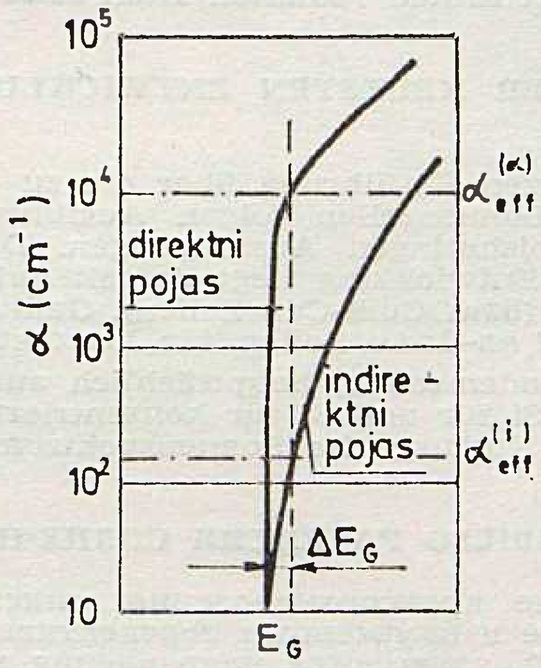
$$I_{mp}(E_{G1}, E_{G2}) = \frac{\beta U_{mp}}{1 + \beta U_{mp}} I_{SC}(E_{G1}, E_{G2}) \qquad (16)$$

$\beta = q/kT(V^{-1})$, što znači da je pretpostavljena primjenjivost Shockleyjeve teorije u relacijama (14), (15) i (16), a to će se činiti i u daljnjem tekstu. Za tandem-rad osnovno je imati na raspolaganju ćelije s relativno visokim i što je moguće međusobno bližim efikasnostima.

Navodi se primjer[13], tandem-rad tri ćelije s E_G 1,75, 1,1 i 0,7 eV može dati $\eta = 35\%$. Sedam ćelija sa E_G 2,5; 2; 1,75; 1,55; 1,35 1,1 i 0,7 eV mogu dati $\eta = 43\%$, dok 24 ćelije u rasponu od 3,2 do 0,8 eV uz interval od 0,1 eV i koncentraciju 1000 X mogu dati $\eta = 65\%$. To su, naravno, vrlo žestoke i idealizirane ekstrapolacije o realizabilnosti i efikasnosti takvih ćelija, ali pokazuju zaista impresivnu efikasnost. Postignute efikasnosti za GaAs ćelije, kao i napredak na višestruko složenim ćelijama daju nadu da će se takvim ciljevima moći približiti. Čak ako bude postignuta maksimalna efikasnost od 35 do 40% uz koncentracije nekoliko 100×, napredak će biti ogroman, pa je i razumljiv vrlo intenzivan razvoj u tom pravcu.

Ćelije s tankim filmom i Cu_2S-CdS ćelije

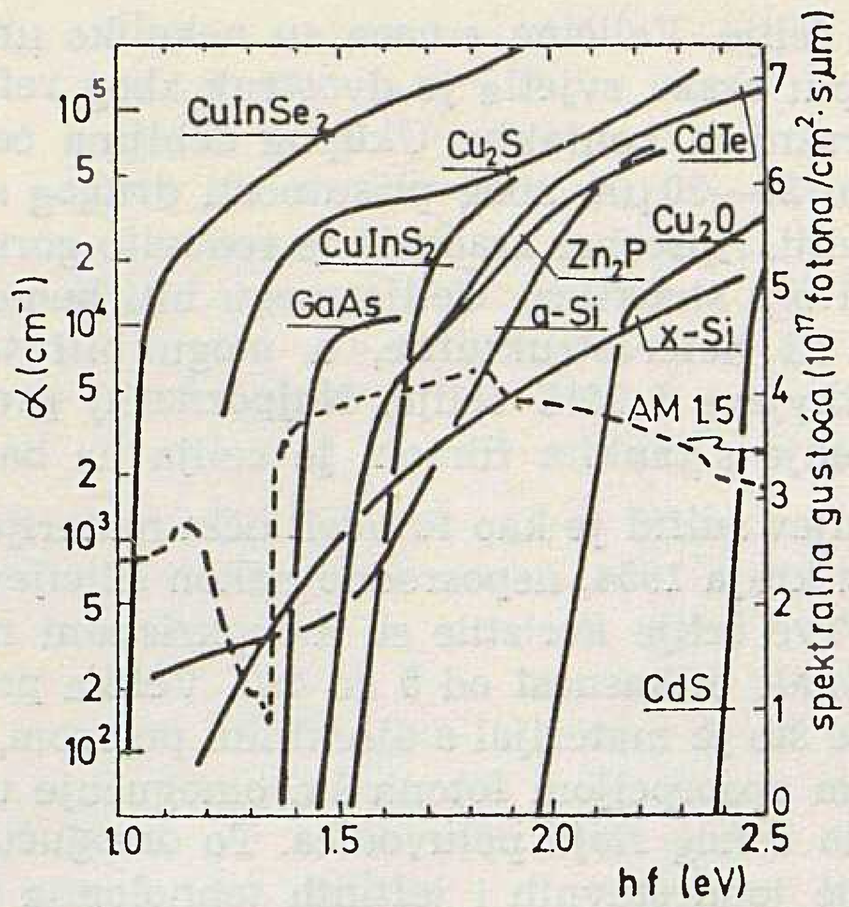
Glavne prednosti ćelija u obliku tankog filma jesu jednostavnost tehnološkog postupka i velika ušteda u materijalu uz istu površinu izloženu Suncu budući da su to materijali s direktnim pojasom zabranjenih energija. Na slici 13.a prikazani[14] su



Sl. 13.a. Hipotetski apsorpcioni koeficijenti dvaju materijala s istim E_G (direktni i indirektni materijal) u ovisnosti o energiji fotona

hipotetski oblici apsorpcijskog koeficijenta direktnog i indirektnog materijala za dva materijala s istim $E_G = h f$, a na slici 13.b stvarni apsorpcijski koeficijenti raznih materijala pogodnih za ćelije s tankim filmom[15].

Poznato je da je od monokromatskog toka fotona N(0) koji su udarili o površinu, nakon puta x pre-



Sl. 13.b. Apsorpcijski koeficijenti tankofilmskih ćelija u ovisnosti o energiji fotona

ostalo N(x) fotona i da je veza između njih dana relacijom

$$N(x) = N(O)\, e^{-\alpha(\lambda)x} \qquad (17)$$

Apsorpcijski koeficijent $\alpha(\lambda)$ veoma ovisi o duljini vala λ, što je vidljivo iz slike 13. Za isti postotak apsorbiranih fotona mora prema relaciji (17) biti ispunjeno: $\alpha x = \alpha_i x_i = \alpha_d x_d$. Zbog puno naglijeg porasta α u direktnim materijalima je $x_d \ll x_i$. Oko 90% fotona je apsorbirano kada je $\alpha x \approx 2$. To traži za silicij (i) oko 100 μm, a za GaAs (d) oko 4 μm. Na slici 13.a je s $\alpha_{eff} = 1/x_{eff}$ označena duljina $^{-1}$ nakon koje je preostalo oko 36%, a apsorbirano oko 64% fotona s energijom $E_G + \Delta E$. To se odigrava nakon $x_d = 1$ μm, odnosno nakon $x_i = 50$ μm za određeni hipotetski direktni i indirektni materijal. Na slici 13.b ucrtana je i spektralna gustoća AM1,5 zračenja. Za sve materijale s E_G od 1 do 1,8 eV dovoljne su debljine sloja $d = 5$ μm (osim za kristalinični silicij) da apsorbiraju 90% fotona s energijama $E > E_G$.

Da bi se osigurao efikasan transport i kolekcija nosilaca, mora biti difuziona dužina L barem dvostruka prema minimalnoj debljini sloja d. Znači $L = \sqrt{D\tau} = 2d = 10$ μm. Takve difuzione dužine su primijećene u gotovo svim materijalima na slici 13.b, osim za a-Si.

POLIKRISTALIČNE SOLARNE ĆELIJE



Sl. 14. Različite strukture polikristaličnih solarnih ćelija

Na slici 14. prikazane su polikristalinične strukture. Prvi dvije su tipične za silicij, a treća za ćelije s tankim filmom. Orijentirana zrnca su tipična za

takve ćelije. Veličine zrnaca su nekoliko μm. Optički put zraka svjetla je dvostruk zbog refleksije na stražnjem kontaktu. Ukupna debljina ćelije je između 20—30 μm zbog prisutnosti drugog sloja u p-n ćeliji. Apsorber zračenja je redovito gornji sloj *p*/*n* ili *n*/*p* strukture. Ćelije mogu biti homostrukturne ili heterostrukturne, a mogu biti također Schottkyjeve i MIS ćelije. Najpoznatiij predstavnik ćelije s tankim filmom je ćelija na bazi CdS

Kadmijev sulfid je kao fotovoltaički materijal poznat od kraja 1954, neposredno nakon silicijevih ćelija. Prve ćelije koristile su monokristalni materijal i imale efikasnost od 5 do 6%. Velika prednost CdS je što je materijal s direktnim pojasom, s vrlo dobrom apsorpcijom fotona što omogućuje upotrebu vrlo uskog sloja poluvodiča. To omogućuje korištenje jednostavnih i jeftinih tehnologija tankog filma za proizvodnju takvih solarnih ćelija. Koriste se postupci naparivanja u vakuumu ili naprskavanja.

Relativno kasno, 1968. godine, utvrdilo se da se u ovom slučaju radi o heterospojnoj strukturi Cu_2S-CdS, gdje je gornji sloj Cu_2S vrlo tanak, debljine ispod 0,5 μm i narašten na tanki, ali mnogo širi sloj CdS. Taj sloj se dobiva potapanjem CdS sloja u kupelj bakarnih iona. Praktički svi fotoni su apsorbirani u Cu_2S sloju i minoritetni elektroni odvojeni heterospojem prebačeni su u CdS i pridonose fotogeneriranoj struji. Kadmijev sulfid je uvijek materijal n-tipa, a Cu_2S je p-tipa i ne mogu biti amfoterični. Znači da se s jednim od tih materijala ne može dobiti p-n spoj. Širina E_G za CdS je 2,4eV, dok je za Cu_2S širina $E_G = 1{,}2$ eV. Dugovalni odziv počinje s $\lambda = 1\,\mu m$, a ne s $\lambda \approx 0{,}5\ \mu m$ kao što bi moralo biti za CdS. Znači da je sloj Cu_2S mjerodavan za fotonaponsku konverziju.

Sa Cu_2S-CdS ćelijama postižu se efikasnosti od oko 9%. Postoje određeni problemi oko stabilnosti karakteristika u raznim uvjetima. To znači da tehnološki proces još nije zreo za automatiziranu proizvodnju većeg opsega. Postoji pilotska linija za takvu proizvodnju manjeg opsega jer su perspektive tog materijala vrlo dobre, naročito za ravne kolektore (skupovi ravnih solarnih ćelija za 1. Sunce).

LITERATURA

1. B. Juzbašić: »Pregled novijeg razvoja solarnih ćelija« Solar 80-JUSE, Beograd 22—24. rujna 1980.
2. B. Juzbašić: »Mogućnosti direktne konverzije solarne energije u električku«. Elaborat za »R. Končar«, 1976.
3. B. Juzbašić: »Solarna ćelija kao fotonaponski pretvarač energije« Elektrotehnika 1878, br. 1/2.
4. B. Juzbašić: »Mogućnosti povećanja efikasnosti silicijevih solarnih ćelija«, Zagreb, 1979.
5. B. Juzbašić: »Elektronički elementi«, Školska knjiga, Zagreb, 1980.
6. F. A. Lindholm and J. G. Fossum »Physics Underlying Recent Improvement in Silicon Solar-Cell Perfomance«. Electron Dev. Meeting, Washington, 1979.
7. M. Wolf: »High Efficiency Silicon Solar Cells« Intern. Electron. Dev. Meeting, Washington, 1979.
8. M. Wolf: »Updating the Limit Efficiency of Silicon Solar Cells« IEEE Transactions on Electron Devices«, April 1980.
9. J. L. Fossum, R. L. Burgess: »Si Solar Cell Development for Concentrated Sunlight, High-Temperature Application«, Proc. 12th IEEE P. V. S. C., Baton Rouge 1976.
10. Ewan, Knechtli, Loo, Camath: »GaAs Solar Cells for High Solar Concentration Applications«, Proc. 13th IEEE P. V. S. C. Washington, 1978.
11. J. Loferski: Tandem Photovoltaic Cells and Increased Solar Energy Conversion Efficiency«, Proc. 12th IEEE, P. V. S. C., Baton Rouge, 1976.
12. G. Masden, C. Backus: »Increased Photovoltaic Efficiency through Use of Spectrum Splitting and Multiple Cells«, Proc. 13th IEEE, P. V. S. C., Washington, 1978.
13. J. Loferski: »Photovoltaics I, Solar Cell Arrays«, IEEE Spectrum, 2/1980.
14. J. Loferski: »Thin-film Solar Cells«, Inter. Electron. Dev. Meeting, Washington, 1979.
15. A. Barnett, A. Rothwarf »Thinfilm Solar Cells: A Unified Analysis of Their Potential« IEEE Transaction on El. Dev., April, 1980.

KEY WORDS: SOLAR CELLS
SOLAR ENERGY
SOLAR RADIATION

REVIEW OF THE NEWEST DEVELOPMENT OF SOLAR CELLS

In the article are presented, after foreword about planed perspectives of solar cells, nowadays ways of development. Highlighted are: 1. silicon, 2. cadmium sulfate (Cu_2S-CdS cells), 3. gallium arsenic, mainly $Ga_{1-x}Al_xAs$-GaAs cells for concentrated radiation and 4. tandem cells, mainly on base of GaAs and Si for concentrated radiation from solar spectrum.

ÜBERSICHT DER NEUESTEN ENTWICKLUNG VON SONNENZELLEN

Nach einer kurzen Einführung über die zu erwartende Entwicklung der Sonnenzellen folgen Ausführungen über die Richtung der bisheringen Ausführungen. Der Schwerpunkt der bisherigen Entwicklung liegt derzeit auf: 1. Silizium, 2. Kadmiumsulfid (bzw. Cu_2S-CdS Zellen), Galliumarsenid, überwiegend $Ga_{1-x}Al_xAs$-GaAs Zellen für konzentrierte Strahlung wie auch 4. Tandemzellen, hauptsächlich auf der Grundlage von GaAs und Si für und Si für konzentrierte Strahlung zur serienmässigen Nutzung des Sonnenspektrums.

ОБЗОР НОВЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

В статье, после краткого введения, описывающего предусматриваемые и намеченные перспективы развития солнечных батарей, излагаются направления нынешнего развития. Упор делается в основном на: 1-ое — кремний; 2-ое — сернистый кадмии, т.е. Cu_2S — CdS батарей; 3-ье — арсенид галлия, преимущественно $Ga_{1-x}Al_xAs$-GaAs батареи для концентрированной радиации, а также 4-ое — тандем-батареи на базе GaAs и Si для концентрированной р диации, серийно использующих солнечный спектр.

Naslov pisca:

Prof. dr Borislav Juzbašić, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet, Zagreb

Energija God. 30 (1981) br. 7—8, 291—302

RAZVITAK PROBLEMATIKE STABILNOSTI ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA

Mr Srđan Babić, Zagreb

UDK 621.31.001

U članku je sažeto prikazan razvitak problematike stabilnosti elektroenergetskih sistema od vremena kada je postala praktičan problem pa do danas. Posebice je upozoreno na nove pojave nestabilnosti u elektroenergetskim sistemima, a u vezi s tim i na neka praktična pitanja koja danas traže odgovor, te na neriješen problem terminologije.

Ključne riječi: **Stabilnost**
Elektroenergetski sistem
Terminologija

Prethodno saopćenje

Uvod

Potrošači koji električnu mrežu dobivaju iz elektroenergetskog sistema traže da im ona bude stalno na raspolaganju. Nije to doduše jedini njihov uvjet. U »pouzdanosti opskrbe« je sadržan, naime, i pojam »kvalitete električne energije«. Unatoč tomu, dakle, što pouzdanost opskrbe znači mnogo više nego sama raspoloživost električne energije, ipak se smatra da je neprekidnost opskrbe osnovni preduvjet zadovoljavajućeg rada elektroenergetskog sistema.

Neosporno je da do prekida opskrbe pojedinih potrošača, odnosno manje ili veće skupine potrošača, najčešće dolazi zbog kvara na opremi u samom potrošačkom području. S uklanjanjem kvara, a često i mnogo prije, s pomoću određenih prespajanja u mreži, opet se uspostavi redovita opskrba.

Ovo o čemu ćemo govoriti odnosi se na poremećaje u sistemu mnogo teže naravi. Oni su posljedica jedne njegove neugodne osobine: elektroenergetski sistem može, naime, naglo prestati funkcionirati u cijelosti ili djelomično. To ima neusporedivo teže posljedice za opskrbu potrošača od lokalnih kvarova jer neko vrijeme bez električne energije ostane velik broj potrošača, veliki su gubici narodne privrede, a javljaju se i druge nedaće. Može se dogoditi da se nepoželjne posljedice mogu izjednačiti s posljedicama od elementarnih katastrofa. Zanimljivo je da sve to ne mora čak biti izazvano nekim kvarom u sistemu. A ako i jeste tako, posljedice će u svakom slučaju biti mnogo neugodnije od kvara od kojeg je poremećaj u sistemu proistekao. Često će mnogo više vremena trebati za obnovu normalnog rada cijelog sistema nego za uklanjanje smetnje koja je izazvala poremećaj. Zbivanja u sistemu o kojima govorimo poznata su i široj javnosti kao »raspad« elektroenergetskog sistema. Raspad sistema je posljedica njegove nestabilnosti u nekom trenu.

Općenito je poznato da se proces gubljenja stabilnosti odvija u elektroenergetskom sistemu tako da pojedini generatori postupno gube sinhronizam, a pojedini se prijenosni vodovi redom djelovanjem zaštite isključuju iz mreže. Poremećaj bi se dalje lančano proširio na čitav sistem, u kojem bi konačno sasvim zavladalo mrtvilo ako se ne bi pravodobno odvojio dio sistema odakle se poremećaj počeo širiti od preostalog dijela sistema. Posljedica je, dakle, takvog tijeka zbivanja da elektroenergetski sistem prestane u cijelosti funkcionirati ako se pravodobno to ne spriječi, ili pak ostane u pogonu samo djelomično, ali je tada obično pogon poremećen i u dijelu koji i dalje radi. Takvo stanje, s potpunim prekidom opskrbe potrošača u jednom dijelu sistema i s nezadovoljavajućom kvalitetom električne energije u preostalom dijelu često potraje više sati, pa i više desetaka sati.

Nije nepoznato kako se u načelu može spriječiti sama pojava ili pak kako se mogu ublažiti posljedice ovakvih neželjenih zbivanja u elektroenergetskom sistemu, ako se ne mirimo s nepopularnim redukcijama potrošnje, što je po ekonomskim posljedicama slično raspadu sistema. Prisjetimo se: povoljnije ćemo stanje u tom pogledu imati onda kada je prijenosna mreža što izdašnije dimenzionirana i sa što više zamki (povoljno djeluje što više paralelnih prijenosnih veza, ali je s tim u vezi ograničavajući faktor povećanje jakosti struja kratkog spoja u sistemu), ako je kvaliteta elektroenergetske opreme što bolja (naročito njezine električne izolacije, jer će tada biti manje kratkih spojeva), ako je ugrađena odgovarajuća i kvalitetna zaštita od smetnji i kratkih spojeva, što se odnosi i na regulacijske naprave u sistemu, te ako, naravno, uvijek raspolažemo s dovoljno energije i snage u elektranama s obzirom na zahtjeve potrošnje.

Sve u svemu: uz manju štednju prigodom gradnje, pravodobnu modernizaciju i uz savjesno održavanje elemenata elektroenergetskog sistema moći će-

mo računati i s pouzdanijim radom sistema. Da se ipak ne bismo razbacivali novčanim ulaganjima, ima dakle razumno planiranje sistema prvorazredno značenje. Unatoč svemu tome, slijed nepovoljnih događaja što mogu izazvati raspad sistema neće se ni u buduće moći uvijek predvidjeti. Loša iskustva baš u posljednje doba u nekim velikim elektroenergetskim sistemima to nam, na žalost, potvrđuju. Ne preostaje nam drugo, nego da gradnju sistema planiramo tako da pouzdanost njegova rada bude barem provjerena za neka pomno odabrana pogonska stanja i događaje, kako bi bila što manja vjerojatnost da ćemo se kasnije morati u pogonu boriti s navedenim opasnostima.

S obzirom na sve veću iscrpljenost energetskih izvora, daljnji će porast potrošnje električne energije vjerojatno zaoštriti u budućnosti problem pouzdanosti pogona elektroenergetskog sistema o kojem ovdje govorimo. Pouzdanost pogona o kojoj je ovdje riječ ispituje se s pomoću teorije stabilnosti elektroenergetskog sistema. To je samo po sebi teorijski vrlo zamršeno područje kojim se bavi relativno malen broj elektroinženjera. Nije ni nužno da teoriju dublje poznaje širi krug elektroprivrednih stručnjaka, no obaviještenost o suvremenim dostignućima i problemima teorije i prakse može samo koristiti.

Počeci pojava nestabilosti u elektroenergetskim sistemima i njihovi uzroci

Prošlo je dosta vremena od tada kad su u mreži prvi sinhroni strojevi počeli paralelno raditi, dotad kad su češće pojave nestabilnosti u elektroenergetskim sistemima nagovijestile da se s njima treba ozbiljno pozabaviti. Činjenica da se od jednog sinhronog stroja može drugom prenositi samo ograničena snaga, jer u protivnom oni izgube sinhronizam, uočena je još u prošlom stoljeću, dakle još u samom početku razvitka elektrotehnike. Ozbiljnije pojave nestabilnosti u elektroenergetskim sistemima počele su se javljati tek četvrt stoljeća kasnije, početkom dvadesetih godina ovog stoljeća. Poteškoće su se najprije osjetile u nekim najvećim elekroenergetskim sistemima u Sjedinjenim Američkim Državama i u Njemačkoj, koji su već zauzimali prilična prostranstva i u kojima su najviši prijenosni naponi bili već reda 100, 150 pa i 200 kV. Ono što je za problem bitno i što valja naglasiti jest to da su najveće prijenosne udaljenosti dosegle tada već više stotina kilometara.

Razlog što su elektroenergetski sistemi u prva dva desetljeća našeg stoljeća bili uglavnom pošteđeni od neprilika s nestabilnošću bio je ponajprije taj što su se prvobitno elektroenergetski sistemi gradili tako da se pogon mogao voditi znatno ispod granice stabilnosti. Drugim riječima, granica stabilnosti bila je u pogonu razmjerno visoka. Dok se još nisu šire primjenjivali uređaji za regulaciju napona u elektroenergetskom sistemu, vladala je općenita težnja za malim reaktancijama dalekovoda i strojeva, jer su se na taj način mogli lakše održavati naponi u sistemu pri različitim opterećenjima u prihvatljivim granicama. To je ujedno povisivalo granicu stabilnosti.

Kasnije, kad su se u elektroenergetskim sistemima počeli sve više upotrebljavati uređaji za automatsku regulaciju napona, nije više trebalo da sam sistem ima svojstvo regulacije napona. Nije stoga trebalo više ni težiti što manjim reaktancijama elemenata u sistemu. Dapače, s povećanjem reaktancija generatora mogla se postići ekonomičnija konstrukcija. Tendenciju povećanju reaktancija podupiralo je i to, što su u velikim sistemima tada već bile znatno narasle struje kratkog spoja. Razumljivo je što je sad nastupilo razdoblje u kojem su reaktancije generatora, pa i dalekovoda postale relativno veće nego prije. To je zajedno s uporabom prigušnica za ograničenje struja kratkog spoja djelovalo u smislu smanjenja tih struja. No to je ujedno moralo smanjiti samom sistemu svojstvenu stabilnost. Prilike su se pogoršale nakon svršetka prvoga svjetskog rata, kad je naglo porasla potražnja za električnom energijom. To je uvjetovalo izgradnju velikih hidroelektrana daleko od potrošačkih središta. S duljinama prijenosnih vodova, koje su znatno narasle, povećala se i njihova ukupna impedancija. S velikim duljinama vodova primjetno su narasle i nabojne struje vodova zbog povećanog ukupnog kapaciteta vodova. Bitniji je, međutim, bio utjecaj na stabilnost težnje da se poveća opterećenje dalekovoda u odnosu na njihovu prijenosnu moć. Naime, velika su se sredstva uložena u gradnju velikih hidroelektrana i dugih prijenosnih vodova nastojala vratiti s većim iskorištenjem vodova. To je pak značilo rad bliže granici stabilnosti.

Težnja sve većim prijenosnim duljinama nastavljena je tijekom godina između dva svjetska rata. Prijenosni je napon 220 kV uveden tada u više zemalja, a u SAD je potkraj tog razdoblja učinjen daljnji naponski skok s uvođenjem napona 287 kV. No pokazalo se da težnju sve duljim prijenosima treba obuzdati. Prijenosna udaljenost od otprilike 400 kilometara pokazala se granicom koju tadašnja tehnika prijenosa električne energije izmjeničnom strujom nije bila u stanju prijeći, a ograničavajući faktor je bio baš problem održanja stabilnosti elektroenergetskog sistema. Dakle, četrdesetih je godina nastupilo krizno razdoblje u povijesti prijenosa električne energije, kada je problem stabilnog rada elektroenergetskog sistema postajao sve više općim problemom.

U vezi s ovim sjetimo se riječi veoma uglednog ljubljanskog profesora Milana Vidmara. Mlađima, koji manje poznaju njegov plodni rad i djelo, kažimo da je pokojni dr Milan Vidmar bio na ljubljanskom sveučilištu najistaknutiji učitelj mnogih gneracija slovenskih elektroinženjera. Bio je znanstvenik i inženjer praktičar najvišeg svjetskog glasa, a ujedno i pisac brojnih djela i publikacija (ne samo iz područja elektrotehnike!), koji su kao udžbenici služili dugo godina studentima i inženjerima u svijetu i u nas. Kolika je šteta za našu tehničku kulturu što barem njegova najistaknutija

djela nisu danas pristupačna širem krugu čitatelja neka ilustrira ovaj odlomak iz knjige »Problemi prenašanja električne energije« što je tiskana u Ljubljani 1947. godine. U vezi s ulogom generatora u elektroenergetskom sistemu ovako stoji na jednom mjestu:

»Dolgo je molčal. Uslužno je potiskal energijo v daljše in daljše proge. Voljno je očistil svoju napetost vseh tujefrekvenčnih dodatkov. Vestno je nadziral obratno frekvenco. Skromen je bil ves čas: energijske izgube v njem so postajale sorazmerno manjše, ko mu je rasla moč. Nazadnje pa je le spregovoril: preveč smo zahtevali, ko smo mu naprtili predolgo progo. V gneratorju se je vzbudil stabilnostni problem! Generator postane nestabilen, ne pa proga! Ker mu pa predolga proga vzame stabilnost, je stabilnostni problem vendarle problem prenosne elektrotehnike.«

»Klasična« ili »tradicionalna« teorija stabilnosti

Početkom dvadesetih godina ovog stoljeća počelo je, kako rekosmo, razdoblje sve češćih pojava nestabilnosti u elektroenergetskim sistemima. Praktična elektrotehnika nije dakle više mogla olako prelaziti preko onog što su dotad bile samo teorijske mogućnosti. Istraživači problema stabilnosti našli su se stoga pred zadaćom da stvore odgovarajuću teoriju koja će graditeljima elektroenergetskog sistema pomoći pri traženju praktičnih rješenja prigodom planiranja i gradnje sistema. Nije proteklo mnogo vremena a već su se sredinom i u drugoj polovici dvadesetih godina javili u SAD prvi radovi (1—14) koji su bili temelj teoriji na kojoj se zatim dugi niz godina osnivala inženjerska metodologija proračuna stabilnosti elektroenergetskog sistema. Nešto kasnije, tijekom tridesetih godina, objelodanjeni su i u sovjetskoj literaturi zapaženi radovi na tom polju (15—20).

Radove mnogih istraživača zajedno s vlastitim značajnim prilozima uobličili su u zaokruženu teoriju stabilnosti elektroenergetskog sistema S. B. Crary i E. W. Kimbark u SAD i P. S. Ždanov u SSSR-u, u svojim danas klasičnim knjigama (21—26). O toj se teoriji danas govori kao o »klasičnoj« ili »tradicionalnoj«.

Teorija stabilnosti što je dana u spomenutim knjigama u osnovi je poznata mnogim elektroenergetičarima jer je dugo bila oslonac praksi, a dobrim dijelom je to još i danas. Ona se temeljila na promatranju dvaju mogućih nestabilnih stanja. Da bi se ,naime, olakšalo istraživanje nestabilnog vladanja elektroenergetskog sistema, izvršena je umjetna podjela na »stabilnost ustaljenog stanja« (anglosaksonska terminologija: steady-state stability) ili statička stabilnost (evropska terminologija: statische Stabilität, stabilité statique, statičeskaja ustojčivost) i na prijelaznu stabilnost (anglosaksonski naziv: transient stability) ili dinamička stabilnost (evropski naziv: dinamische Stabilität, stabilité dynamique, dinamičeskaja ustrojčivost). O samoj terminologiji bit će još govora. Ovdje se samo prisjetimo da se stabilnost ustaljenog stanja ili statička stabilnost odnosila na istraživanje nestabilnosti nekog ustaljenog pogonskog stanja uvažavajući postojanje malih promjena opterećenja što se neprekidno događaju tijekom rada sistema. Pri tome se mogućnost pojave nestabilnosti utvrđivala s pomoću krivulja snaga — kut, a kriterij za stabilnost je bio kutni pomak među polovima rotora susjednih sinhronih strojeva (u idealiziranom sistemu sa dva stroja je kriterij za granicu stabilnosti kut od 90 el. stupnjeva). Drugi tip stabilnosti, prijelazna stabilnost ili dinamička stabilnost odnosio se na istraživanje vladanja sistema u kratkotrajnom razdoblju početka elektromehaničke prijelazne pojave (za vrijeme prvog njihaja rotora sinhronih strojeva) što je izazovu nagle i velike promjene pogonskog stanja u sistemu, odnosno nagle i velike preraspodjele tokova snaga u prijenosnoj mreži. Ustvrđivanje stabilnosti vršilo se na temelju »kriterija jednakih površina« ili, točnije, s numeričkim rješavanjem diferencijalnih »jednadžbi njihanja« s pomoću metode »korak po korak«, pri čemu se za određivanje električnih prilika u svakom vremenskom koraku upotrebljavao izmjenični mrežni analizator, a samo kod vrlo malih elektroenergetskih sistema (ili većih sistema svedenih na male »ekvivalentne« sisteme) priručna pomagala za obavljanje računskih operacija.

Primjena klasične teorije stabilnosti u praksi je bila tijesno vezana s ondašnjim mogućnostima numeričkog računanja, koje su bile neusporedivo skromnije nego danas. Stoga nas ne čudi što se velika pažnja poklanjala razvoju računski jednostavnijih metoda, koje su, naravno, bile izvedene uz više pretpostavki i zanemarenja nego što je inače, s teorijskog gledišta, bilo nužno. No ne znači to da klasična teorija stabilnosti nije svojedobno obavila svoju zadaću barem isto toliko zadovoljavajuće kao i ostali proračuni što se vrše pri planiranju elektroenergetskih sistema (tokovi snaga, kratki spoj). Čak, štoviše, može se tvrditi da je bila sasvim primjerena stupnju razvitka elektroenergetskih sistema do početka šezdesetih godina. Danas nam, međutim, ona može dati samo djelomično zadovoljavajuće odgovore.

Pojave nestabilnosti većih razmjera u posljednje doba

Kad u vezi s problematikom stabilnost elektroenergetskih sistema upotrebljavamo pojam »posljednje doba«, mislimo na prilično određeno razdoblje — od početka šezdesetih godina. Otprilike od tog vremena sve je češće bilo razloga da se preispita da li je dotadašnja inženjerska metodologija ispitivanja stabilnosti elektroenergetskih sistema sasvim primjerena novom stupnju razvitka elektroenergetskih sistema.

Postajalo je sve očitije da sve veće tegobe s nestabilnošću proistječu u osnovi iz već odviše velike rasprostranjenosti i složene konfiguracije elektroenergetskih sistema, sad već često i povezanih s

drugim, sličnim elektroenergetskim sistemima (tvoreći tzv. intersisteme ili interkonekcije), a uz to im je i rad u dobroj mjeri automatiziran. Dakle, upravo ono što se inače poduzimalo da se omogući pouzdanija i kvalitetnija opskrba potrošača uz što ekonomičniju gradnju sistema pokazalo je sada svoje naličje. Stibilno vladanje suvremenih velikih elektroenergetskih sistema postalo je, naime, teško predvidjeti.

Izvor poteškoća je upravo u veličini sitsema. Veliki su sistemi podložni velikoj raznolikosti pogonskih stanja, ovisno o veličini opterećenja i raspoloživosti opreme, a i velikoj raznovrsnosti poremećaja, uključivši kratke spojeve, ispade generatora, prijenosnih postrojenja i tereta, te njihove razne kombinacije. Kad će preraspodjela tokova snaga u sistemu zbog ovih i sličnih pogonskih događaja dovesti do prekoračenja propusne moći prijenosnih vodova, što će izazvati njihovo isključenje i daljnju preraspodjelu tokova snaga, a naročito kako će se sistem vladati u toku prijelazne pojave — sve je teže predvidjeti. No nije više jednostavno uočiti ni koja će od brojnih mogućih pogonskih stanja biti na rubu stabilnog pogona.

Ono što su pak mogle biti samo slutnje postalo je izvjesno kad se u jesen 1965. godine raspao sistem CANUSE (Canada — United States Eastern — Interconection) u svjeveroistočnom dijelu SAD i u jugoistočnom dijelu Kanade, što nam je još svima u svježem sjećanju. Bio je to dotad, a možda i do danas najveći raspad elektroenergetskog sistema u povijesti. Zanimljivo je da je svemu bila povod jedna »sitnica«. Jedan je tehničar pogrešno udesio zaštitni relej jednog voda na iznos snage znatno manji od dozvoljene maksimalne vrijednosti. Kad je opterećenje u tom vodu doseglo udešenu vrijednost, relej je djelovao i vod je isključen. Zatim je uslijedila nagla preraspodjela opterećenja na ostale dalekovode. To je imalo posljedicu daljnje ispade vodova zbog preopterećenja i daljnje promjene u tokovima snaga, pa ispade agregata u elektranama i konačno raspad sistema. Područje što je bilo zahvaćeno poremećajem nešto je manje od Jugoslavije (200 000 km^2), ali je gušće naseljeno (onda 30 milijuna stanovnika). Ukupna snaga što je ispala iz pogona iznosila je 44 000 MW. Dok se ponovno uspostavio normalan pogon, trebalo je više od 13 sati. Za to vrijeme bio je bez električne energije i grad New York.

Ovaj je događaj veoma odjeknuo u stručnim elektrotehničkim krugovima u SAD, a i u ostalom svijetu. Tim je povodom u SAD osnovan Nacionalni savjet za pouzdanost, koji je, među ostalim, sastavio preporuke što treba činiti da do sličnih događaja ne dođe, a ako poremećaj ipak nastane, kako da mu se domašaj ograniči i kako da se u što kraćem roku uspostavi normalan rad sistema. Unatoč tome slični su se događaji ponovili.

Poremećaj sličnih razmjera dogodio se dvanaest godina kasnije, sredinom srpnja 1977. godine također u New Yorku. Nedugo zatim, 19. prosinca 1978, raspao se cjelokupni elektroenergetski sistem Francuske. Sredinom siječnja 1979. godine isto je zadesilo, prvi put u povijesti, i elektroenergetski sistem Švedske, itd.

Ni naš elektroenergetski sistem nije bio pošteđen od sličnih tegoba.

S pojavom nestabilnog vladanja sistema suočili smo se u našoj zemlji još tada, kad je 110 kV bio najviši prijenosni napon, a mreže tog napona još su bile razdvojene, a svaka se rasprostirala na relativno maloj površini. Prema navodima u članku (27) profesora Mihajla Golubovića: »Pre vezivanja sistema Srbije i Bosne nije moglo da se govori o nekim mrežama 110 kV; taj period je bio osetno teži od perioda posle vezivanja. Razdvojeni sistemi su bili i suviše mali s relativno već velikim generatorskim jedinicama, tako da je ispad neke veće jedinice redovno značio potpuni raspad sistema.« Ništa bolja, ako ne i lošija situacija, vladala je tada (dakle u drugoj polovici pedesetih godina) u sistemu Slovenije i sjeverozapadne Hrvatske.

Ni s izgradnjom prijenosnih vodova napona 220 kV i s njihovim spajanjem u jedinstvenu superponiranu prijenosnu mrežu Jugoslavije nisu nestale pojave nestabilnosti. Štoviše, koncem šezdesetih godina i početkom sedamdesetih godina vladalo je takvo stanje, da se je u godišnjim razdobljima s većom potrošnjom održavao pogon sistema vrlo teško, pa se moralo pribjegavati i većim redukcijama potrošnje. Naročito je tada probleme izazivalo zaostajanje u gradnji prijenosne mreže, što je moralo izazivati i poteškoće sa stabilnošću, jer se u takvim prilikama pogon uvijek vrši preblizu granici stabilnosti. Naročito je brige tada, a i kasnije, zadavala malena ukupna prijenosna moć dalekovoda što su spajali zapadni i istočni podsistem. Nešto kasnije to se osvetilo prigodom pokusnih spajanja našeg sistema s elektroenergetskim sistemima Austrije i Italije, jer su pojave elektromehaničkih oscilacija u našem sistemu prigodom tih pokusa odgodile za prilično vrijeme paralelan rad našeg sistema sa sistemom U.C.P.T.E.

Navedene je teškoće trebala znatno ublažiti razgranata prijenosna mreža napona 400 kV. Činjenica je da se to i ostvarilo. No postoji i naličje problema. Nenadani ispadi vodova velike propusne moći mogu u nepovoljnim okolnostima izazvati poremećaj sinhronizma koji će se naglo raširiti velikim dijelom sistema. Upravo se to i zbilo u toku pisanja ovog članka: 8. prosinca 1980. godine dogodio se možda najveća raspad u povijesti elektroenergetskog sistema Jugoslavije.

Suvremena praksa i prilagođenje teorije stabilnosti e. e. s. novim uvjetima

Bilo bi možda najuputnije da se sada, kad govorimo o suvremenoj problematici stabilnosti, najprije zadržimo na novoj pojmovnoj podjeli stabilnosti. To bi nam jamačno olakšalo naše daljnje izlaganje. Učinili bismo tako kad bismo raspolagali općenito prihvaćenom terminologijom. Kako to, međutim, nije slučaj, čitaocu, što je navikao na već

uvriježenu »klasičnu« podjelu stabilnosti to bi možda zamaglilo sliku. Zato ćemo na problem terminologije upozoriti kasnije, u posebnom odjeljku. Ovdje ćemo pak pokušati suvremenu problematiku izraziti »starim« rječnikom.

Praktični problemi što se danas povremeno javljaju u pogonu velikih automatiziranih elektroenergetskih sistema, a koji se očituju u njihovu nestabilnom vladanju, morali su se odraziti i u traženju novih teorijskih putova. No teorijska rješenja ostaju samo takvima dok se ne iskristalizira inženjerska metodologija rješavanja. Kakvo je u tom pogledu stanje kad je riječ o našem problemu?

U prošlosti nije dugo vremena bilo ovakvih dvojbi. Zarana je općenito prihvaćena klasifikacija stabilnosti na koju je sustavno nadovezana teorija, a iz nje je izlučena inženjerska metoda procjenjivanja stabilnosti elektroenergetskih sistema u ustaljenom i prijelaznom stanju. Danas je pak stanje takvo da još ne možemo reći da je problematika stabilnosti elektroenergetskih sistema sasvim inženjerski riješena unatoč što danas raspolažemo s neusporedivo moćnijim alatom za provedbu numeričkog računanja, što bi inače mogla biti presudna okolnost.

Osvrnimo se najprije na problem stabilnosti ustaljenog pogona.

U tradicionalnim se studijama na stabilnost ustaljenog stanja najčešće zaključuje na temelju tzv. kriterija koeficijenata sinhronizirajućih snaga kojemu je općeniti matematički oblik $(\partial P_i/\partial \delta_i) > 0$, a zatim i na osnovi kriterija $(\partial Q_i/\partial U_i) < 0$.

Odatle slijedi ona općenito znana tvrdnja da će se u najjednostavnijem hipotetičkom sistemu s dva stroja gubitak sinhronizma zbiti ako se pokuša raditi s kutnim pomakom među rotorima strojeva većim od 90 el. stupnjeva. No u suvremenim elektroenergetskim sistemima s mnogo sinhronih strojeva ne mogu se — kad se promatra stvarno, a ne idealizirano stanje — formulirati granice stabilnosti ustaljenog stanja s pomoću kutnih razlika. Zna se doduše da velike kutne razlike teže nestabilnosti ustaljenog stanja, ali kolike su njihove granične vrijednosti, općenito je neodređeno. Tako, primjerice, mogu u velikim sistemima s veoma razmaknutim sinhronim strojevima kutne razlike prilično prijeći 90° a da se pri tome još ne ugrozi stabilnost ustaljenog stanja, dok se u nekim slučajevima, ovisno o karakteristikama i smještaju tereta u sistemu, može nestabilnost ustaljenog stanja pojaviti pri kutnim razlikama manjim od 90°.

Što je s pojavom ovog tipa nestabilnosti u velikim suvremenim elektroenergetskim sistemima? Teorijski je ona, naravno, moguća. U praksi se, međutim, ne smatra danas vjerojatnom. Kad bi se kutovi slučajno i približili graničnim vrijednostima, dispečeri bi mogli primijetiti to približavanje na temelju nekih postupnih promjena parametara pogonskog stanja, kao što je opadanje napona na sabirnicama, te bi mogli pravodobno utjecati na pogon tako da se izbjegne nestabilnost.

Znači li ovo da je bojazan od pojava nestabilnosti u ustaljenom stanju gotovo sasvim iščezla? Kad bi tako bilo, to bi danas značilo da studijama stabilnosti ustaljenog stanja ne bi trebalo pridavati naročitu važnost, a svakako ne veću nego nekad, kad su sistemi bili puno manji od današnjih; već se i tada u tradicionalnim studijama stabilnosti mnogo veća pažnja posvećivala stabilnosti prijelaznog stanja, a stabilnost ustaljenog stanja većinom se analizirala samo u sklopu studija prijelazne stabilnosti (Obično je redoslijed računa bio takav da se najprije analizirala za određeni poremećaj stabilnost prijelaznog stanja, zatim se za novo pogonsko stanje određivala nova raspodjela snaga u sistemu, pa se tek na kraju provjeravalo je li moguć ustaljen pogon tog dobivenog pogonskog stanja.)

Odgovoriti na naše pitanje na početku prethodnog odlomka ne možemo ni potvrdno ni odrečno! Kad bi se danas problem stabilnosti ustaljenog stanja svodio samo na pitanja da li neko pogonsko stanje može uopće opstati s obzirom na veličine prijenosnih snaga, odnosno kolike se najveće snage mogu prenositi dalekovodima a da se ne prekorači granica stabilnosti ustaljenog stanja — tad se problem stabilnosti ustaljenog pogona ne bi ni danas oštrije postavljalo nego u nekadašnjim sistemima. No u suvremenim elektroenergetskim sistemima često traži odgovor još jedno pitanje koje se također odnosi na stacionarni pogon: *Trebamo li se bojati da će slučajne malene promjene pogonskog stanja, kakve se inače stalno dešavaju u toku rada sistema, prouzročiti takve poremećaje u sinhronizmu strojeva koji bi mogli izazvati nestabilnost?*

U praksi nekih elektroenergetskih sistema ova se bojazan pokazuje u posljednje doba opravdanom. Neki pak nemaju takvih problema. Kao ilustracija neka nam posluže mišljenja sudionika u anketi međunarodne CIGRÉ koja je ne baš davno (1975) objavljena u časopisu ELECTRA (28). Mnogi su tada predviđali da će se problem stabilnosti ustaljenog pogona ubuduće zaoštriti (od ukupno 40 bilo je 20 takvih odgovora). U kratkom razdoblju što je proteklo do danas, ta su se predviđanja obistinila. U to će nas uvjeriti podaci iz jedne kasnije ankete, koje ćemo malo dalje iznijeti. Da u praksi neki osjećaju više, a neki manje ovaj problem, potvrđuje još jedan odgovor iz 1975. godine. Na pitanje o načinu na koji će se vršiti studije stabilnosti u budućnosti, većina je anketiranih elektroprivrednih poduzeća (23) odgovorila da će u sklopu tih studija trebati izvršiti i analizu stabilnosti ustaljenog pogona prigodom planiranja sistema, dok ih je manje (15) smatralo da stabilnost ustaljenog pogona ne utječe, a neće ni u budućnosti utjecati na rezultate planiranja. Sve ovo traži pobliže objašnjenje.

Svaka neuravnoteženost između proizvedene snage u elektranama i opterećenja potiče pojavu mehaničkih i električnih prijelaznih pojava u elektroenergetskom sistemu. Ta se neravnoteža najprije očituje u »njihanju« rotora sinhronih strojeva, a

daljnja je posljedica pojava oscilacija (njihanja, kolebanja, fluktuacija) snaga u vodovima prijenosne mreže. Ovdje je riječ o oscilacijama što su izazvane malenim promjenama pogonskog stanja. Dok najčešće malene promjene pogonskog stanja neće ugroziti stabilnost elektroenergetskog sistema, one ipak mogu u *nekim sistemima* i u određenim okolnostima prouzročiti pojavu nestabilnog stanja. U većini će se slučajeva, dakle, oscilacije u sistemu nakon male promjene pogonskog stanja vrlo naglo prigušiti. No ima elektroenergetskih sistema koji podliježu stvaranju *spontanih oscilacija*. Riječ je o slučajevima kad se oscilacije što su počele s malim poremećajima *trajno održavaju*. Potonje se očituje ili u pojavi slabo prigušenih oscilacija ili čak neprigušenih oscilacija koje se s vremenom mogu i raspirivati.

Jedan je karakterističan slučaj kada oscilira jedan ili skupina generatora s obzirom na preotali dio sistema koji možemo smatrati krutom mrežom. Ove se oscilacije mogu primijetiti na osnovi promjenjivosti kuta opterećenja generatora ili npr. njegove promjenjive brzine ili pak izlazne snage. Pobliže se tada govori o *oscilacijama pojedinog generatora* (Single generator oscillations) ili o lokaliziranim oscilacijama.

Mnogo su tipičnije oscilacije snaga koje se javljaju u posebnim tipovima prijenosnih vodova što ih nazivamo interkonekcijskim. Poznato je da se tako nazivaju prijenosni vodovi što međusobno spajaju pojedine veće skupine sinhronih generatora na međusobno razdvojenim površinama, kao što je primjerice slučaj kada su s visokonaponskim vodovima spojeni razni elektroenergetski sistemi ili pak dijelovi istog sistema, a prijenosna je moć tih vodova razmjerno malena prema snagama pojedinih sistema ili podsistema koje oni spajaju. U takvim slučajevima ne samo što generatori pojedine skupine strojeva osciliraju jedan u odnosu na drugi, već kao cjelina oscilira jedna skupina strojeva prema drugoj skupini. To se nadalje odražava i u oscilacijama tokova snaga u samim interkonekcijskim vodovima. Za to se upotrebljavaju posebni nazivi: »oscilacije interkonekcijskog voda« ili katkad »stabilnost interkonekcijskog voda«. Potonji naziv potječe otuda što ove oscilacije mogu dovesti do pojave nestabilnosti u sistemima. Kako se jamačno one mogu tolerirati samo do neke granice s obzirom na njihovu amplitudu, to može nakon ispada interkonekcijske veze doći u pitanje i stabilnost zajedničkog rada sinhronih generatora unutar samih pojedinih podsistema. Sličan se problem javlja i u sistemima s tzv. longitudinalnom konfiguracijom. U oba ova slučaja se govori o *oscilacijama više strojeva* (Multimachine oscillations).

Uvjeti za pojavu oscilacija među velikim podsistemima ovise o mnoštvu raznih faktora. Uzroke je, međutim, često teško predvidjeti. Oni se kriju u opterećenjima generatora, veličini tereta, ispadima u sistemu itd. U svakom slučaju ovakve su pojave ozbiljna prijetnja pouzdanom radu sistema. U određenom broju elektroenergetskih sistema to se — pogotovo u posljednje doba — i obistinilo.

Čini se da su se najprije i u priličnoj mjeri suočili s pogonskim smetnjama zbog pojave spontanih oscilacija ili pak onih što su proistekle nakon malih poremećaja, u Sjevernoj Americi, napose na zapadu Sjedinjenih Američkih Država i na njihovu srednjem zapadu, te u nekim dijelovima Kanade. U anketi međunarodne CIGRÉ iz 1975. godine, što smo ju već spominjali, može se već primijetiti prilično zanimanje za ove pojave. Na to zaključujemo iz podataka da se većina anketiranih (23) suglasila da se i u budućnosti može u elektroenergetskim sistemima očekivati pojava slabo prigušenih ili raspirujućih oscilacija. U 14 odgovora izraženo oprečno mišljenje.

No mnogo su određeniji podaci o pojavama o kojima je riječ pribilježeni samo četiri godine kasnije, također u čosapisu Electra (29), a na temelju jedne daljnje ankete međunarodne CIGRÉ. Tu nalazimo da se s neugodnostima što su proistekle pojavom oscilacija u elektroenergetskom sistemu nisu suočile samo zemlje velikog prostranstva, poput SAD, Kanade, Brazilije ili Australije (SSSR je bio donekle pošteđen tih pojava). Gdje su, naime velika prostranstva, jamačno je veća vjerojatnost da se u elektroenergetskom sistemu nađu longitudinalne konfiguracije ili pak zbijene skupine elektrana međusobno spojene slabim prijenosnim vezama, što, kako rekosmo, napose pogoduje pojavi pretjeranih njihanja snage u prijenosnim vodovima. No izazvan istim razlozima ovaj je tip oscilacija (»oscilacije više strojeva«) primijećen i u nekim srednjim i manjim državama, te u prijenosnim vezama među njihovim sistemima. Prema navodima iz ankete dogodilo se to u Rumunjskoj, Italiji, Poljskoj, Finskoj, Japanu, te u Jugoslaviji prigodom pokusnih spajanja na mrežu U.C.P.T.E., a također i u spojnim vodovima između Danske i Švedske, Danske i Njemačke, Grčke i Jugoslavije, Švedske i Norveške, Švedske i Finske. Drugi tip oscilacija, tzv. oscilacije jednog stroja, također je primijećen u nekim od ovih ,ali i u nekim drugim sistemima (uključivši i SSSR). Sve u svemu, među ukupno 35 elektroprivrednih organizacija iz 19 zemalja što su bile zastupljene u anketi, čak su u elektroenergetskim sistemima njih 29 primijećene oscilacije jednom ili više puta.

Nije prigoda da se u više od nekoliko riječi ovdje upustimo u razmatranje raznih mogućnosti eliminiranja spontanih oscilacija u elektroenergetskim sistemima, odnosno u njihovo svođenje u veoma prigušene. Vladaju razna gledišta o tome što je najprobitačnije uraditi u tom cilju, što jamačno ovisi o specifičnostima pojedinog slučaja. No u posljednje se doba potvrdilo u prilično širokim razmjerima da je razmjerno jeftin, a veoma djelotvoran put k pretvaranju slabo prigušenih i raspirujućih oscilacija snage u izrazito prigušene uvođenje dodatne povratne veze u regulatore napona nekih sinhronih generatora u sistemu. S uvođenjem dopunskih regulacijskih signala u regulator napona

sinhronog generatora na umjetan se način mogu stvoriti prigušni momenti koji elimininiraju ili prigušuju oscilacije među sistemima i među strojevima, što se već pokazalo uspješnim u više navrata. Među ostalim, ovo je učinjeno nakon pojave oscilacije u našem sistemu u generatorima HE Đerdap. Od ostalih mogućnosti za eliminiranje spomenutih poteškoća dolazi prvenstveno u obzir pojačanje spojnih veza unutar sistema ili među sistemima, što je svakako skuplje, ali i temeljitije rješenje. Neki vide izlaz i u gradnji novih istosmjernih veza (SAD, Kanada, Japan), čiji je povoljan utjecaj na stabilnost pogona izmjeničnih sistema poznat, itd.

Stara istina: »Teorija bez prakse, kotač bez osovine. Praksa bez teorije, slijepac na putu«, ne može se ni ovdje mimoići. No teorija što bi elektroinženjerima trebala pomoći u razjašnjavanju novih pojava nestabilnog vladanja elektroenergetskih sistema, o kojima sad govorimo, ipak još nije sasvim zaokružena, prema su se praktičari, kao što rekosmo, već dobro snašli u eliminiranju tih pojava. Nemojmo pomisliti da je to zato što se teorija počela nedavno razvijati. Baš suprotno: temelji te teorije već su odavno ugrađeni u teoriju stabilnosti elektroenergetskih sistema. Koliko mi znamo, teoriju na kojoj se osniva suvremena analiza ustaljenog pogona elektroenergetskih sistema kad se razmatra pojava oscilacija u sistemu već su opisali Crary (21), a još potpunije i bliže današnjim pogledima Ždanov (26) još prije tri i pol desetljeća. Sam pak kamen temeljac te teorijske građevine je Ljapunovljeva teorija stabilnosti iz prošlog stoljeća (1892). Izvor poteškoća teorijske naravi danas je prvenstveno složenost suvremenih automatiziranih elektroenergetskih sistema, što otežava računsko predviđanje oscilacija u sistemu, kao i rekonstrukciju zbivanja u sistemu kad se oscilacije pojave. Otežavajuća okolnost za analizu jest njihova relativna dugotrajnost. Zato je i shvatljivo da se zadaća inženjerskih istraživanja danas više svodi na usavršavanje postojećih i razvijanje novih modela za razne komponente sistema, te na poboljšanje postojećih i razvijanje novih numeričkih tehnika rješavanja, nego na razvijanje osnovne teorije.

Što je, ukratko, osnova teorije koja nam odgovara na pitanje: kako će odgovoriti elektroenergetski sistem na malu promjenu pogonskog stanja? Pokušat ćemo to objasniti ne koristeći pomoć matematičkog izražavanja.

Poput velikih poremećaja i mali će poremećaji u elektroenergetskom sistemu izazvati promjenu brzine vrtnje sinhronih generatora s odgovarajućom promjenom u kutnim pomacima među njihovim rotorima i uz promjenu opterećenja generatora. U ovom se slučaju, također, vladanje sistema može matematički opisati istim nelinearnim diferencijalnim jednadžbama kao i nakon velikog poremećaja u sistemu. Karakteristično je, međutim, da ćemo sada dobiti dovoljno točan odgovor o naravi odziva sistema na poremećaj ako jednadžbe *linearizirамо*. To proizlazi iz činjenice da se pri malim promjenama pogonskog stanja ne mijenjaju bitno varijable pogonskog stanja i parametri sistema, to više što se često pretpostavlja da uzrok promjeni odmah zatim iščezava. Matematički, dakle, rečeno, temelj metode je u tome da se sustav nelinearnih diferencijalnih jednadžbi svodi na sustav linearnih diferencijalnih jednadžbi. Postavlja se pitanje: Kako ćemo na temelju ovog matematičkog modela utvrditi da li je sistem stabilan ili nije?

Gubitak stabilnosti može se općenito desiti na dva načina. Prvo: moguć je aperiodički ispad iz sinhronizma, što pobliže znači da je povećanje kuta rotora s vremenom aperiodičko u toku gubitka stabilnosti. No katkad se isti proces zbiva i oscilatorno uz s vremenom rastuće amplitude oscilacija rotora sinhronih generatora. U potonjem je, dakle, slučaju riječ o raspirujućim (rastućim) oscilacijama u sistemu. Ako se pak nakon poremećaja u sistemu sinhronizam održi, svi će se kutovi rotora sinhronih generatora također približavati novom ravnotežnom položaju ili aperiodički ili uz oscilaciju. Razlučuju se zato pojmovi aperiodička i oscilirajuća nestabilnost, odnosno aperiodička i oscilirajuća stabilnost. Za oba načina prigušenja elektromehaničke prijelazne pojave se upotrebljavaju i zajednički naziv »asimptotička stabilnost«. Prvobitna definicija stabilnosti odnosila se na asimptotičku stabilnost, a nije uključivala slabo prigušene ili neprigušene oscilacije, koje su doduše stabilne u matematičkom smislu, ali nepoželjne sa stajališta rada sistema. Nadalje, ono što također katkad želimo danas znati, a što je ovaj čas naš uži interes, to je pojava raspirujućih oscilacija, odnosno oscilirajuće nestabilnosti. Ona se određuje metodom koju neki zovu »metoda malih oscilacija«. No idimo redom:

Da se bitno smanji broj pogonskih stanja, što će se zatim analizirati metodom malih oscilacija, najprije je u praksi korisno ispitati aperiodičku stabilnost sistema (30). To je razmjerno lako učiniti na temelju predznaka slobodnog člana karakteristične jednadžbe sustava lineariziranih jednadžbi. Uvjet za stabilnost je da mu je predznak pozitivan ako je koeficijent člana s najvišom potencijom također pozitivan. Budući da slobodnom članu karakteristične jednadžbe odgovara vrijednost determinante D sustava lineariziranih jednadžbi, to se procijena aperiodičke stabilnosti svodi na izračunavanje vrijednosti ove determinante. Uz $D > 0$ sistem će biti aperiodički stabilan.

Za utvrđivanje asimptotičke stabilnosti vrlo malih elektroenergetskih sistema mogu poslužiti tzv. algebarski i frekvencijski kriteriji za stabilnost, koji se inače koriste i pri analizi stabilnosti regulacijskih krugova električkih strojeva. Algebarski kriteriji zahtjevaju određivanje svih koeficijenata karakteristične jednadžbe sustava, što nije povoljno kad je sistem velik. Upotreba Nyquistova kriterija, koji pripada frekvencijskim kriterijima, s te je strane povoljnija, jer ne traži formuliranje karakteristične jednadžbe. Spomenimo da je primjerice Routhov kriterij, koji je algebarski kriterij, iskorišten pri analizi stabilnosti opisanoj u (31), a Nyquistov u (32, 33). A. M. Laughton je 1966. go-

dine objavio tzv. matričnu metodu za analizu stabilnosti ustaljenog stanja sistema s većim brojem strojeva (34), kojoj je također značajka da ne traži određivanje karakteristične jednadžbe.

Želimo li saznati kakva je narav odziva velikih automatiziranih elektroenergetskih sistema na mali poremećaj, ne možemo ipak izbjeći daljnji mukotrpni korak u analizi, a to je određivanje korijena karakteristične jednadžbe. No tako možemo utvrditi i oscilirajući odziv sistema. Oscilirajućem procesu gubljenja stabilnosti sistema odgovara postojanje konjugirano kompleksnih korijena s pozitivnim realnim dijelom.

Kako je stupanj karakteristične jednadžbe visok kod većih elektroenergetskih sistema, to je računsko određivanje korijena karakteristične jednadžbe problem za sebe. Danas prevladava stajalište (29) da su programi za određivanje svojstvenih vrijednosti matrica najpogodniji u tom pogledu, no da će ih trebati i nadalje usavršavati.

Za razliku od današnjih studija stabilnosti ustaljenog stanja, koje su često drukčije od tradicionalnih, istraživanje vladanja elektroenergetskih sistema nakon velikih poremećaja, što čini sadržaj studija prijelazne stabilnosti, uglavnom se i danas svodi na tradicionalni postupak određivanja stabilnosti u prvom njihaju. U srži se, dakle, studije vrše kao u prošlosti, simultanim rješavanjem sustava algebarskih jednadžbi s kojima opisujemo električne prilike u mreži, te rješavanjem niza diferencijalnih jednadžbi kojima opisujemo dinamičko vladanje sinhronih strojeva i njihovih regulacijskih naprava. Zahvaljujući doduše suvremenim dostignućima računarske tehnike, lako možemo uključiti u račun utjecaj na tok prijelazne pojave većeg broja faktora nego prije, npr. primjenom točnijih modela elemenata elektroenergetskog sistema ako je njihov utjecaj primjetan, no suštinu postupka to ne mijenja, već samo broj jednadžbi koje trebamo simultano rješavati. Pri tome je broj algebarskih jednadžbi uglavnom ovisan o veličini elektroenergetskog sistema, dok je broj diferencijalnih jednadžbi s jedne strane funkcija veličine sistema, a s druge — što je bitnije — pojedinosti što su obuhvaćene pri modeliranju elemenata sistema. S točnijim modeliranjem raste naravno broj diferencijalnih jednadžbi što ih trebamo riješiti.

Što je veći i složeniji elektroenergetski sistem i što ima više sinhronih generatora s kojima moramo računati, to će naglo rasti i vrijeme računanja (u literaturi se navodi $n^{2,5}$ gdje je n broj sinhronih strojeva). S time naglo rastu i troškovi za računanje. Zato su studije prijelazne stabilnosti elektroenergetskih sistema i dugotrajne i skupe. Da se jedno i drugo smanji, nije stoga neobično što se danas poklanja velika pažnja pronalaženju numeričkih postupaka za rješavanje diferencijalnih jednadžbi koji će uz kraće vrijeme računanja zadržati odgovarajuću točnost, a koje će ujedno imati visok stupanj numeričke stabilnosti.

Zadaća se, dakle, danas prvenstveno svodi na usavršavanje postojećih i razvijanje novih matematičkih modela za pojedine komponente elektroenergetskog sistema, te na poboljšanje postojećih i razvijanje novih postupaka numeričkog računanja. No unatoč tome što nam suvremena računala omogućuju detaljnije modeliranje i točnije računanje, ostaje tvrdnja da je elektroenergetski sistem »stabilan« i nadalje prilično neodređena kod primjene ove metode. Jedan je od osnovnih nedostataka tog postupka što nije općenit, već rezultati vrijede za određen tip poremećaja na određenom mjestu u sistemu.

Bitno različit prilaz procjenjivanju prijelazne stabilnosti elektroenergetskog sistema izvodi se iz Ljapunovljeve teorije stabilnosti. O tome su u posljednje doba objavljeni brojni radovi (35—42). Za ovu je metodu karakteristično da se stabilno ili nestabilno pogonsko stanje sistema određuje bez rješavanja diferencijalnih jednadžbi. Problem čini, međutim, potreba za nalaženjem tzv. Ljapunovljevih funkcija za elektroenergetski sistem. Kako ovaj problem nije još do danas općenito riješen, to ovaj postupak još ne daje željene efekte, jer nije primjenjiv na elektroenergetske sisteme s više od nekoliko sinhronih generatora.

Bilo je i drukčijih pokušaja: da se prijelazna stabilnost analitički ispituje, a ne numeričkim integriranjem, no zasad još bez praktične koristi.

Nakon svega što smo izložili mogao bi se steći dojam da su ipak danas pretežno riješena sva suštinska pitanja što bi ih teoriji stabilnosti mogla postaviti elektroenergetska praksa. U osnovi bi se odgovori sveli na slijedeće: Želimo li točnije rezultate, treba upotrijebit detaljnije modele i točnije tehnike računanja — i suprotno. No praktičar će na to nadovezati još niz pitanja koja su s inženjerskog gledišta i te kako bitna.

Što više pojedinosti obuhvaća matematički model i što je računanje egzaktnije, to je trajanje računanja nerazmjerno dulje, pa su nerazmjerno veći i troškovi studije stabilnosti. Kad se primjerice radi o analizi elektromehaničkih oscilacija u sistemu, koje su razmjerno dugotrajne pojave, tada redovno ne zadovoljava klasičan model sinhronog stroja s konstantnim naponom iza nutarnje reaktancije stroja. Uzmemo li u obzir utjecaj promjenjivih magnetskih polja u strojevima i učinke prigušnih namota, detaljniji matematički modeli sinhronih generatora sadržavat će od par pa do više od pola tuceta diferencijalnih jednadžbi. Pridodamo li tim diferencijalne jednadžbe što opisuju vladanje uzbudnog sustava stroja i utjecaj regulacije brzine vrtnje, jasno je da će uz neizostavne diferencijalne jednadžbe njihanja biti matematički model toliko složen da će analiza velikih elektroenergetskih sistema zahtijevati elektroničko računalo najvećih mogućnosti. Samo po sebi se zato nameće pitanje: Kolika nam točnost modela pojedinih komponenata treba s obzirom na cilj naše studije? To pak ovisi o tome da li nam račun služi za potrebe dugoročnog ili pak kratkoročnog planiranja, za nadzor nad pogonom u realnom vremenu ili pak za analizu slijeda zbivanja nakon nekog

većeg raspada sistema kako bismo izvukli pouke za budućnost. Odmah nam se nameću i druga pitanja: Da li nam se željena točnost matematičkog modela isplati s obzirom na raspoloživost potrebnih podataka? Kolika se s obzirom na to isplati i sama točnost postupka računanja? U kojoj su mjeri raspoloživi podaci uopće vjerodostojni? Kako iz podataka što nam ih daju proizvođači opreme izvući parametre potrebne za proračun? (Valja napomenuti da su neke objavljene analize potvrdile da je općenito mnogo važnije raspolagati u studijama stabilnosti točnim podacima o elementima sistema, a prvenstveno o sinhronim generatorima nego što nam koristi upotreba savršenijih modela.) Posebice je ozbiljno pitanje i modeliranje tereta. Najčešće modeliranje tereta s konstantnom impedancijom često je pregruba pretpostavka koja može u velikoj mjeri nepovoljno utjecati na rezultat. Zatim su i pitanja: Da li veoma detaljno modelirati samo neke (i koje?) sinhrone generatore (npr. one što su bliže mjestu poremećaja), a ostale s približnim (npr. klasičnim) modelom — ili sve jednako? Na temelju kojeg tipa poremećaja vršiti analizu i da li je taj tip dovoljno »tipičan« s obzirom na vjerojatnost pojave takvog poremećaja? I još jedno još praktičnije pitanje: Da li su uopće mogućnosti našeg računskog stroja takve da možemo osvariti naš naum?

Ima, dakle, još uvijek mnogo pitanja koja traže odgovor!

Nove su pojave nestabilonsti dovele do neusklađenosti terminologije

Na problem terminologije samo ćemo upozoriti, premda zaslužuje mnogo više pozornosti. To je problem koji umnogome otežava da se suvremena teorija stabilnosti sustavno uobliči, a čini poteškoće i u praktičnom sporazumijevanju.

Ovdje ćemo se zadržati samo na terminologiji koja se odnosi na klasifikaciju stabilnosti. Prvo, naime, što će se uočiti jest to da je s novim pojavama nestabilnog vladanja što su opažene u nekim elektroenergetskim sistemima, a što su posljedica pojave elektromehaničkih oscilacija u sistemu, uveden u Sjedinjenim Američkim Državama novi pojam »dinamička stabilnost«. Praktični su Amerikanci, dakle, s pojavom novih tipova nestabilnog vladanja, koji zahtijevaju i specifičan teorijski prilaz, uveli i nov naziv. Prema tome, oni sad razlučuju tri tipa nestabilnog vladanja nazvana: nestabilnost ustaljenog stanja (»steady-state instability«), dinamička nestabilnost (»dynamic instability«) i prijelazna nestabilnost (»transient instability«). Treba reći da još nema općenito prihvaćenih točnih definicija ove terminologije. Čak na pojam »dinamička nestabilonst« nismo uopće naišli u novom IEEE-ovom Rječniku standardnih pojmova.

Pođemo li tragom naziva »dinamička stabilnost«, ustanovit ćemo doduše da ga već Kimbark upotrebljava u svojoj knjizi Power System Stability kao sinonim za stabilnost ustaljenog stanja pri upotrebi automatskih regulatora napona. (»Stabilan rad s automatskim regulatorima napona pri veličinama snage iznad granice stabilnosti koja se postiže s ručnom regulacijom uzbude se naziva dinamička stabilnost«. . . . »Granica dinamičke stabilnosti je granica stabilnosti ustaljenog stanja pri uporabi automatskih naprava«.) Da li naziv »dinamička stabilnost« u današnjem smislu potječe otuda, ne znamo, ali je bez obzira na to sasvim neprilično izabran, jer je već odavno isti naziv uvrijeđen u terminologiji evropskih zemalja, gdje ima drukčiji smisao.

Shvatljivo je zato da evropska praksa ne može prihvatiti naziv »dinamička stabilnost« s »američkim« značenjem ako kani i nadalje zadržati svoj istoimeni tradicionalni naziv. Izgleda da tako i jest, pa se u evropskoj teorijskoj terminologiji ubraja novi tip nestabilnosti u »statičku nestabilnost«, što ima svoje opravdanje, jer se radi o nestabilnosti ustaljenog pogona. Čini se da se evropska praksa ipak katkad želi prilagoditi američkoj praksi. Tako se primjerice u anketi međunarodne CIGRÉ (28) razlučuju tri načina vladanja elektroenergetskog sistema: statička stabilnost ili stabilnost ustaljenog stanja (prema francuskoj, odnosno engleskoj terminologiji), dinamička ili prijelazna stabilnost, te dinamičke oscilacije. Čini se da je to pokušaj da se ostvari kompromis s američkom praksom, koji je već u anketi iz 1980. godine (29) napušten. Za ilustraciju nesređenom stanju u pogledu terminologije stabilnosti neka nam posluži slijedeći navod u (28): Pojam »dinamičke oscilacije« je uveden radi potreba ankete, a sudionici u anketi su ga »interpretirali na različite načine«. U komentaru rezultata ankete nadalje stoji: »Primjedbe što se odonse na terminologiju očito su tijesno vezane s mišljenjima što vladaju o predloženoj klasifikaciji. . . . Stavljene su brojne primjedbe, a dosta često je bila preporučena drukčija klasifikacija.« Konačno navedimo i ovo: »Razlike u mišljenjima u pogledu klasifikacije i terminologije postale su opći problem. Preispitivanje tih pitanja nužno je djelomično radi poboljšanja metoda za studij stabilnosti, a također i radi prilagođenja problema stabilnosti obilježjima budućih sistema i vladanju regulacijskih naprava«.

Naravno, ove se i ostale nedoumice u pogledu terminologije odražavaju i u našoj ionako raznorodnoj terminologiji. Dok se problem ne razbistri u međunarodnim okvirima, možda bi najuputnije bilo da pri klasifikaciji stabilnosti upotrebljavamo nazive »statička stabilnost« (uključivši u to pojave nestabilnosti što ih izazivaju male oscilacije) i »prijelazna stabilnost«, a da naziv »dinamička stabilnost« izbjegavamo.

Literatura:

1. P. H. Thomas: "Superpower transmission — Economics and limitations of the transmission system of extraordinary length", Transactions of the AIEE, Vol. XLIII, 1924, str. 1—15.

2. C. L. Fortescue, C. F. Wagner: "Some theoretical considerations of power transmission", Ibid., str. 16—23.
3. R. D. Evans, H. K. Sels: "Power limitations of transmission systems«, Ibid., str. 26—38.
4. R. D. Evans, R. C. Bergvall: "Experimental analysis of stability and power limitations", Ibid., str. 39—58.
5. E. B. Shand: "The limitations of output of a power system involving long transmission lines«, Ibid., str. 59—70.
6. V. Bush, R. D. Booth: "Power system transients«, Trans. of the AIEE, Vol. XLIV, 1925, str. 80—103.
7. J. P. Jollyman: "Stored mechanical energy in transmission systems«, Ibid., str. 935—937.
8. R. E. Doherty, H. H. Dewey: "Fundamental considerations of power limits of transmission systems", Ibid., str. 972—984.
9. C. L. Fortescue: "Transmission stability: Analitical discussions of some factors entering into the problem", Ibid., str. 984—1003
10. C. A. Nickle, F. L. Lawton: "An investigation of transmission system power limits", Trans. of the AIEE, Vol. XLV, 1926, str. 1—21.
11. Edith Clarke: "Steady-state stability in transmission systems", Ibid., str.. 22—41.
12. R. Wilkins: "Practical aspects of system stability", Ibid., str. 41—50.
13. R. D. Evans, C. F. Wagner: "Studies of transmission stability", Ibid., str. 51—80.
14. R. E. Doherty, C. A. Nickle: "Synchronous machines — III. Torque-angle characteristics under transient conditions", Trans. of the AIEE, Vol. XLVI, 1927, str. 1—17.
15. P. S. Ždanov: »Ustojčivost paraleljnoj raboti stancij pitajuščih sinhronuju nagruzku«, Električestvo, 1931, br. 14
16. P. S. Ždanov: »Ustojčivost pri pjeredače baljših moščnostjej«, Električestvo, 1.931, br. 23, 24.
17. P. S. Ždanov: »Zazemljenije nejtrali i problema ustojčivosti«, Električestvo, 1932, br. 13
18. S A. Lebedjev, P. S. Ždanov: »Ustojčivost paraleljnoj raboti električeskih sistem«, Gosenergoizdat, 1933.
19. P. S. Ždanov: »Statičeskaja ustojčivost protjaženih sistem elektropjeredači«, Električestvo, 1937, br. 11
20. P. S. Ždanov: »Asinhronij režim v električeskoj sisteme«, Električestvo, 1936, br. 21
21. S. B. Crary: "Power system stability — Vol. I: Steady-state stability", New York: Wiley; London: Chapman and Hall, 1945.
22. S. B. Crary: "Power system stability — Vol. II: Transient stability", New York: Wiley; London: Chapman and Hall, 1947.
23. E. W. Kimbark: "Power system stability — Vol. I: Elements of stability calculations", Ibid., 1948.
24. E. W. Kimbark: "Power system stability — Vol. II: Power circuit breakers and protective relays", Ibid., 1950.
25. E W. Kimbark: "Power system stability — Vol. III: Synchronous machines", Ibid, 1956.
26. P. S. Ždanov: »Ustojčivost električeskih sistem«, Gosenergoizdat, Moskva, 1948.
27. M. Golubović: »Iskustva sa paralelnog rada sistema 110 kV Bosne i Srbije pre paralelnog vezivanja zapadnog i centralnog sistema«, Elektroprivreda, 1958, br. 9—10
28. F. P. Jenkin, P. L Noferi: "Results of the investigation on security standards and methods of evaluation in network planning", ELECTRA, 1975, br. 40
29. C. Barbier, E. Ferrari, K. E. Johanson: »Questionnaire on electromechanical damping in power systems. Report on the answers", ELECTRA, 1979, br. 64
30. V. I. Idelchick i ostali: "Steady-state aperiodic stability analysis of complex power systems with the help of digital computers", CIGRÉ, 1972, Ref. 32—10
31. Y. N. Yu, K. Vongsuriya: "Steady-state stability limits of a regulated synchronous machine connected to a infinity system", IEEE Trans., Vol. PAS-85, br. 7, str. 759.
32. A. S. Aldred, G. Shackshaft: "The effect of the voltage regulator on a steady state and transient stability of a synchronous generator", Proc. IEE, pt. A, Vol. 105, 1958.
33. D. N. Ewart, F. P. De Mello: "A digital computer program for the automatic determination of dynamic stability limits", IEEE Trans., Vol. PAS-86, br. 7, 1967, str. 867.
34. M. A. Laughton: "Matrix analysis of dynamic stability in synchronous multimachine systems", Proc. IEEE, Vol. 113, 1966, str. 325.
35. G. E. Gless: "Direct method of Liapunov applied to transient power system stability", IEEE Trans., vol. PAS-85, 1966, str. 159.
36. A. H. El-Abiad, K. Nagappan: "Transient stability regions of multimachine power systems", IEEE Trans., vol. PAS-85, 1966, str. 169.
37. J. M. Undrill: "Power system stability studies by the method of Liapunov. Part I. State space approach to synchronous machine modelling", IEEE Trans, vol. PAS-86, 1967, str. 443.
38. J. M. Undrill: "Power system stability studies by the method of Liapunov. Part. II. The interconnection of hydrogenerating sets", IEEE Trans., vol. PAS-86, 1967, str. 791.
39. R. D. Teichgraeber, F. W. Harris, G. L. Johnson: "New stability measure for multimachine power systems", IEEE Trans., vol. PAS-89, 1970, str. 233.
40. J. L. Willems, J. C. Willems: "The application of Lyapunov methods to the computation of transient stability regions for multimachine power systems", IEEE Trans., vol. PAS-89, 1970, str. 795.
41. G. Lüders: "Transient stability of multimachine power systems via direct method of Liapunov", IEEE Trans., vol. PAS-90, 1971, str. 23
42. F. Williams, S. A. Louie, G. W. Bills: "Fasibility of Liapunov functions for the stability analysis of electric power systems having up to 60 generators", IEEE Trans., vol. PAS-91, 1972, str. 1145.

KEY WORDS:

STABILITY
POWER SISTEM
TEMINOLOGY

DEVELOPMENT OF ELECTRICAL SYSTEM STABILITY PROBLEMS

In the article is shortly presented development of electrical system stability problems, from time of practical signification till nowadays. New phenomenons of unstability are discussed as well as unsolved problem of terminology.

ENTWICKLUNG DES STABILITÄTSPROBLEMS IN EINEM VERBUNDSYSTEM

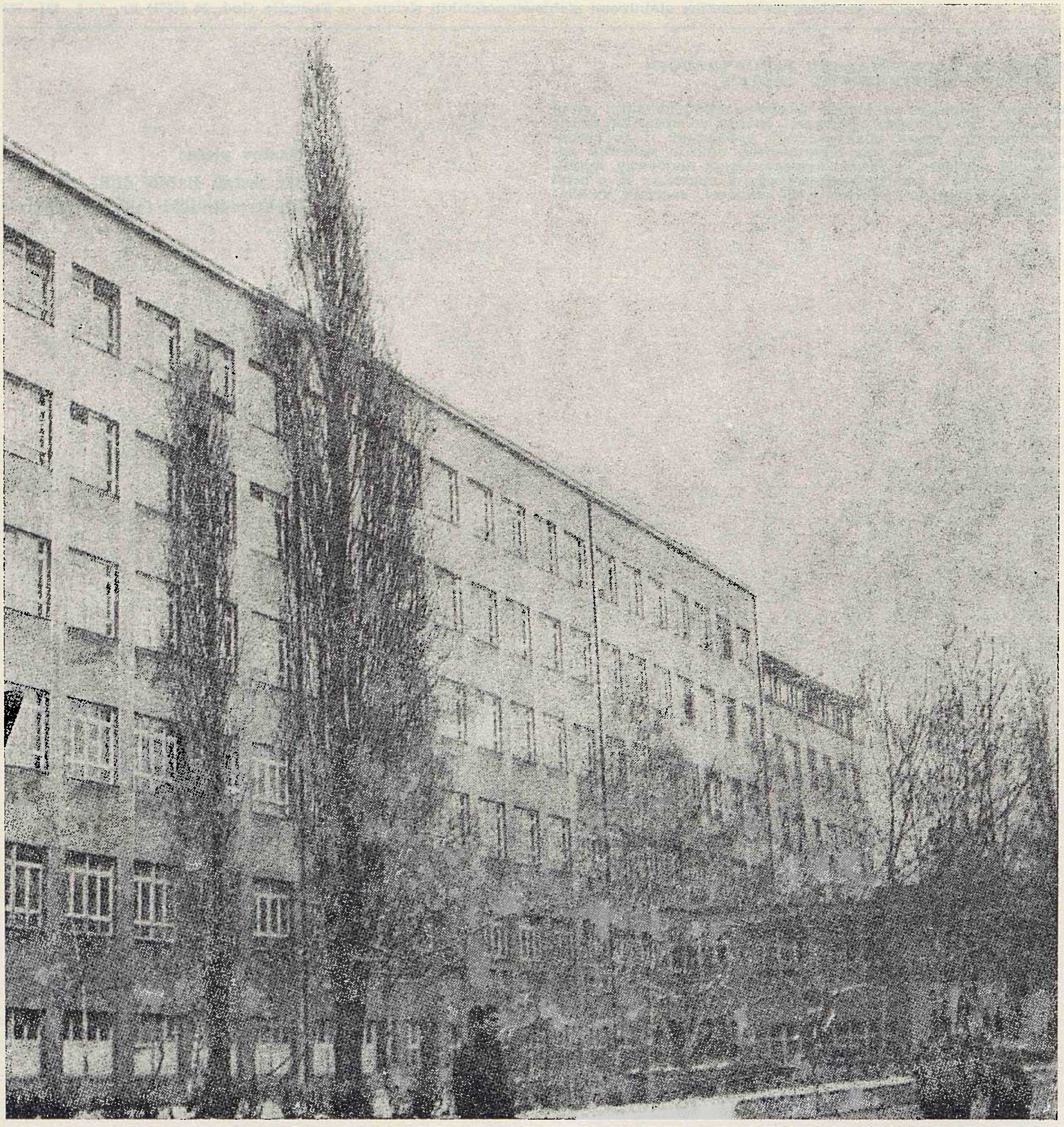
Die Arbeit bringt in einer gedrängten Form die Entwicklungsfragen der Stabilität in Verbundsystemen von Zeitpunkt des praktischen Auftretens dieser Probleme bis heute. Besonders wird hingewiesen auf Unstabilitätserscheinungen in Verbundsystemen und auf verschiedene, damit in Verbindung stehende praktische Fragen, die derzeit noch offen sind, wobei auch eine Vereinheitlichung der Terminologie nicht unbeachtet bleiben darf.

РАЗВИТИЕ ПРОБЛЕМАТИКИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье вкратце изложено разтитие проблематики устойчивости электроэнергетических систем со времени, когда устойчивость стала практической проблемой и до сегоднешнего для. Особо подчеркиваются ношые явления неющиеся в ответе, а также невыясненная проблему термиустойчивости в электроэнергетических системах и, в этой связи, некоторые практические вопросы, сегодня нужданологии.

Naslov pisca:

Mr Srđan Babić, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet, Zagreb



Zgrada Kačićeva ul. 26 Tehnički fakultet dovršen 1940. godine. U njemu su bili smješteni Zavod za matematiku od 1940. do 1963. godine, Zavod za fiziku od osnivanja do 1963. godine, Zavod za visokofrekventnu tehniku, Zavod za elektroakustiku i Zavod za regulacionu tehniku od osnivanja do 1959. god.

Energija God. 30 (1981) br. 7—8, 303—312

DODIRNI NAPONI I RASPODJELA POTENCIJALA UZEMLJIVAČA U ENERGETSKIM SUSTAVIMA

Zijad Haznadar, Sead Berberović, Dušan Vujević, Dragutin Markovinović,
Nikola Žanić, Zoran Žic, Zagreb

UDK 621.316.99

U članku je dan opći matematički model za analizu međusobno spojenih uzemljivačkih sustava u dvoslojnom tlu. Razvijen je program za digitalno računalo s pomoću kojeg se proračunava otpor rasprostiranja i potencijal zemlje. Praktični primjer ilustrira primjenu programa i daje način rješavanja praktičnih problema. Opisan je utjecaj metalnih dijelova u zemlji na karakteristike uzemljivača u energetskim sustavima.

Ključne riječi: Dodirni napon
Uzemljivači
Otpor uzemljenja

1. UVOD

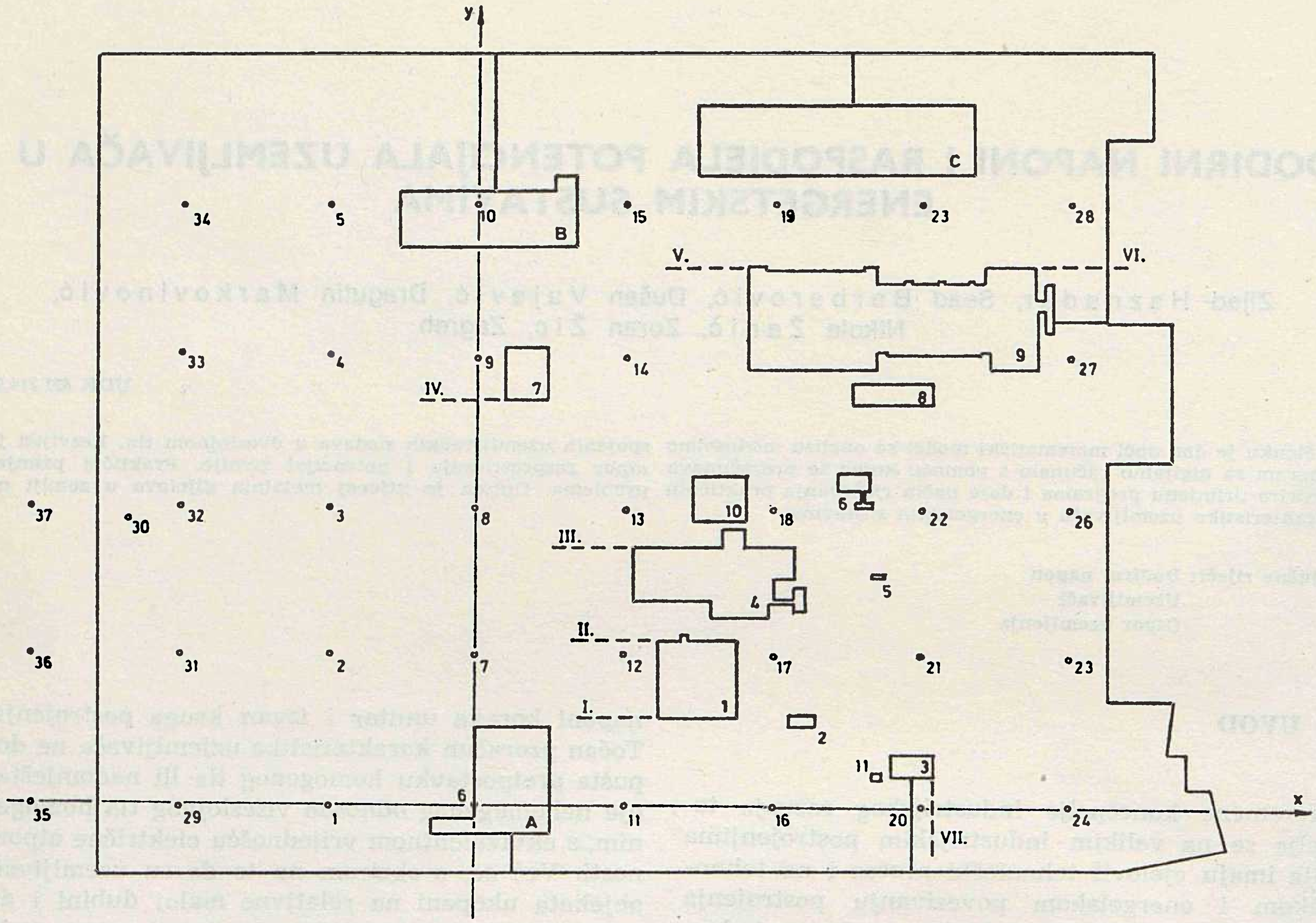
Suvremene koncepcije industrijskog razvoja temelje se na velikim industrijskim postrojenjima koja imaju cjelovit tehnološki proces i na tehnološkom i energetskom povezivanju postrojenja smještenih u neposrednoj blizini u okviru industrijske zone. Za siguran i pouzdan pogon takvih industrijskih kompleksa potreban je i točan proračun karakteristika sustava uzemljivača. Unutar širokog kruga postrojenja u većini slučajeva nalaze se objekti različite namjene, od kojih su mnogi uzemljeni. Karakteristično je za te prostore da su prekriveni mrežama cjevovoda koji mogu biti položeni djelomično pod zemlju, a djelomično nad zemlju, te željezničkim kolosijecima, ogradom i drugim metalnim dijelovima. Pojedinačni uzemljivači objekata obično se povezuju u sustav uzemljivača iz dva razloga: da se smanji otpor rasprostiranja i radi izjednačavanja potencijalnog nivoa na cijelom prostoru unutar i izvan zone postrojenja. U trenutku nastanka kratkog spoja sustav uzemljivača poprimi potencijal određen strujom kratkog spoja i otporom rasprostiranja, pri čemu se na pasivnim vodičima pojavi tzv. plivajući potencijal. Poželjno je da raspodjela potencijala sustava uzemljivača bude takva da unutar i izvan kruga industrijskog postrojenja dodirni naponi i naponi koraka budu unutar dopuštenih granica.

U kompleksnim uzemljivačkim sustavima kakvi se susreću u industriji posebnu pažnju treba posvetiti mogućnostima iznošenja visokih potencijala izvan kruga postrojenja putem željezničkih kolosijeka, cjevovoda ili ograde spojenih na zajednički uzemljivač te unošenja nultog potencijala u krug postrojenja preko željezničkih kolosijeka i cjevovoda koji nisu spojeni na zajednički uzemljivač U oba slučaja mogu se pojaviti visoki dodirni naponi i naponi koraka unutar i izvan kruga postrojenja. Točan proračun karakteristika uzjemljivača ne dopušta pretpostavku homogenog tla ili nadomještanje nehomogenog odnosno višeslojnog tla homogenim, s ekvivalentnom vrijednošću električne otpornosti. Već se, s obzirom na to da su uzemljivači objekata ukopani na relativno maloj dubini i da udaljeni slojevi tla različite otpornosti veoma malo utječu na karakteristike uzemljivača, dobri rezultati dobiju ako se višeslojno tlo nadomjesti dvoslojnim tlom.

Upotreba digitalnih računala omogućila je dovoljno točan numerički pristup ovoj problematici. Moguće je matematički opisati svojstva uzemljivača najrazličitijih oblika i sustav uzemljivača. U Zavodu za osnove elektrotehnike i električna mjerenja Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu već se više godina obavljaju istraživanja na ovom području i vrše proračuni sustava uzemljivača velikih industrijskih kompleksa, kao što su oni u Urinju, Sisku i drugdje (lit. [2], [3], [4], [5] i [6]). Istraživanja su dijelom bila uključena i u projekt 8, SIZ-a SR Hrvatske.

2. OPIS SUSTAVA UZEMJIVAČA ŽELJEZARE U SISKU

Tipičan primjer kompleksnog sustava uzemljivača velikog industrijskog postrojenja jest sistem uzemljivača Željezare u Sisku (prema planu izgradnje do 1985. godine). Na sl. 1. prikazani su uzemljeni objekti unutar kruga Željezare. Oznakama od 1 do 10 označeni su uzemljivači postojećih objekata, a sa A, B i C uzemljivači objekata koji će biti etapno izgrađeni do 1985. godine. Preko cijelog područja kruga Željezare isprepletena je gusta mreža industrijskih kolosijeka te cjevovoda, koji



Sl. 1. Model sistema uzemljivača za varijantu II — Mjerilo 1 : 10000

su spojeni na zajednički uzemljivač. Osim toga, željeznički kolosijeci i cjevovodi izlaze na više mjesta izvan kruga Željezare, a cjevovodi dolaze i u neke objekte koji nemaju vlastiti uzemljivač. Uzemljivači pojedinih objekata, željeznički kolosijeci i cjevovodi su međusobno povezani u jedinstven uzemljivački sustav. Veze su izvedene djelomično kabelima a djelomično uzemljivačkim trakama. Ograda kruga Željezare je na nekim mjestima metalna. Radi preglednosti nisu ucrtani željeznički kolosijeci, cjevovodi i spojne veze.

3. TEORIJSKA PODLOGA I MATEMATIČKI MODEL

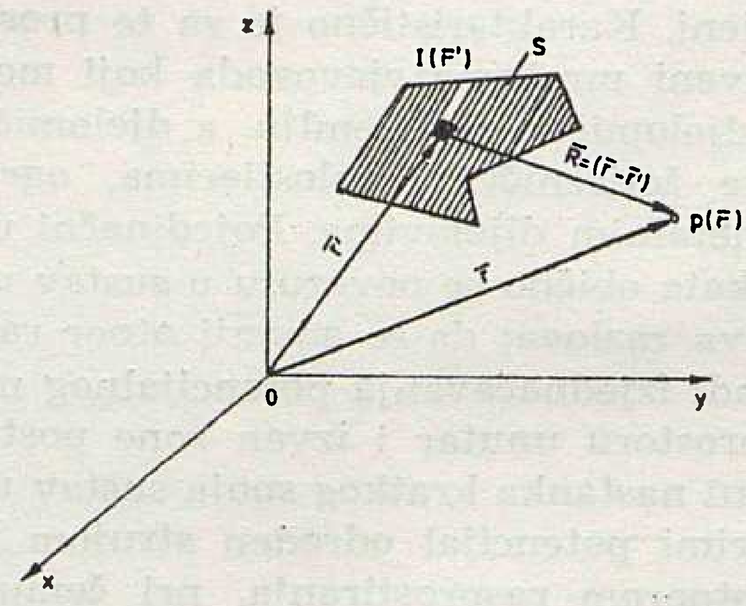
Kvazistatičko strujno električko polje u zemlji koje stvara sistem uzemljivača napajan strujom kratkog spoja rješava se na osnovi analogije s elektrostatičkim poljem kao odgovarajući elektrostatski problem (lit. [1]). Naime, za strujno električno polje kao i za elektrostatično polje vrijede matematički istovjetne jednadžbe uz slijedeće analogije:

$$\sigma(\mathrm{As/m^2}) \equiv J\ (\mathrm{A/m^2})$$

$$Q\ (\mathrm{As}) \equiv I\ (\mathrm{A}) \qquad (3.1)$$

$$\varepsilon(\mathrm{As/Vm}) \equiv \chi(\mathrm{A/Vm}).$$

Promotrimo elementarni model uzemljivača u obliku pune ravne plohe prikazan na sl. 2.



Sl. 2. Elementarni model uzemljivača

Pretpostavimo da ukupna struja I teče iz uzemljivača u zemlju. Gustoća raspodjele struje J po površini uzemljivača jest nepoznata veličina, a povezana je s ukupnom strujom koja teče iz uzemljivača relacijom:

$$I = \int_S J(\bar{r}')\, dS, \qquad (3.2)$$

gdje je S površina uzemljivača.

Potencijal u točki P u zemlji određuje se integracijom elementarnih doprinosa uzemljivača:

$$\Phi_p = \frac{1}{4\pi\varkappa}\int_S \frac{J(\bar{r}')\,dS}{|\bar{r}-\bar{r}'|}. \qquad (3.3)$$

Nepoznata funkcija raspodjele struje $J(\bar{r}')$ ne može se odrediti analitički, već se pristupa numeričkoj integraciji preko dijelova površine uzemljivača. Dakle analitički pristup ovoj zadaći je neprimjenjiv jer već kod relativno jednostavne konfiguracije uzemljivača dolazi se do analitički teško rješivih integralnih jednadžbi. Jedina mogućnost je diskretizacija primjenom metode konačnih dijelova i, s obzirom na trodimenzionalnost zadaće, primjena integralnih jednadžbi polja.

Stvarni uzemljivači su načinjeni od užadi isprepletenih u obliku mreže. Rješavanje strujnog električnog polja s uzimanjem u obzir stvarnih uzemljivača bilo bi nemoguće zbog velikog broja nepoznanica. Zbog toga se u matematičkim modelima, kojima se predstavljaju stvarni sustavi uzemljivača, uzemljivači pojedinih objekata nadomještaju punim vodljivim plohama, horizontalno postavljenim na istoj dubini. Geometrija ploha pri tome odgovara geometriji rubnih užadi stvarnih uzemljivača.

Za objekte čija je duljina relativno velika u odnosu na druge dvije dimenzije (cjevovodi, metalni dijelovi ograde, spojne trake između uzemljivača, željeznički kolosijeci) matematički modeli su ravni linijski vodiči.

3.1. Numerički proračun otpora rasprostiranja i potencijala uzemljivača

Sustav uzemljivača se diskretizira u određeni broj N konačnih dijelova kvadratnog oblika, od kojih se svakom pripiše jednolika razdioba gustoće struje po površini ΔS_n, tako da je raspodjela gustoće struje po uzemljivaču određena sa:

$$J \sim \sum_{n=1}^{N} f_n J_n, \qquad (3.4)$$

gdje je funkcija f_n definirana kao:

$$f_n = \begin{cases} 1 \text{ za kvadratni element } \Delta S_n \\ 0 \text{ za sve ostale elemente } \Delta S_m \end{cases} \qquad (3.4.a)$$

Te je ukupna struja kroz uzemljivač:

$$I \sim \sum_{n=1}^{N} J_n \Delta S_n, \qquad (3.5)$$

što predstavlja numeričku interpretaciju integralnog izraza (3.2).

Potencijal svakog n-tog dionog elementa jednak je potencijalu uzemljivača i razmjeran je doprinosima svakog m-tog dionog elementa (lit. [1]):

$$\Phi_i = \Phi = \sum_{j=1}^{N} p_{ij} I_j \quad i=1,\cdots,N. \qquad (3.6)$$

Koeficijenti p_{ij} nazivaju se potencijalnim koeficijentima, a izračunavaju se prema izrazu (3.3) kao:

$$p_{ij} = \frac{1}{4\pi\varkappa S_j}\int_{S_j} \frac{dS}{R_{ij}}, \qquad (3.7)$$

gdje je:

p_{ij} — potencijalni koeficijent koji određuje doprinos j-tog dionog elementa potencijalu u središtu i-tog dionog elementa

R_{ij} — udaljenost između središta i-tog dionog elementa i dijelova površine j-tog dionog elementa.

U numeričkom pristupu, gdje u skladu s (3.4) i (3.4.a) usvajamo jediničnu težinsku funkciju f_n odnosno struju dionog elementa koncentriramo u njegovo središte, može se pisati da je:

$$p_{ij} = \frac{1}{4\pi\varkappa R_{ij}}, \qquad (3.7.a)$$

gdje je: R_{ij} — udaljenost između središta i-tog i j-tog dionog elementa.

Međutim, za međusobno relativno bliske dione elemente, podintegralna funkcija u izrazu (3.7) se unutar granica integracije relativno dosta mijenja, tako da numerička interpretacija s jediničnom težinskom funkcijom prema (3.7.a) unosi znatne pogreške. Da se to izbjegne, pristupa se numeričkoj integraciji, tj. uvodi se dodatna diskretizacija promatranog dionog elementa.

Također, prema (3.7) nije definiran doprinos potencijalu dionog elementa od samog sebe, jer je $R_{ii} = 0$, pa na tom mjestu imamo singularitet. Integral (3.7) je za vlastiti potencijalni koeficijent lako rješiv, pa se dobije za dioni element u obliku kvadrata stranice 2b:

$$p_{ii} = \frac{1}{2b\pi\varkappa}\ln(1+\sqrt{2}). \qquad (3.7.b)$$

Sustav jednadžbi (3.6) može se napisati u matričnom obilku:

$$[\Phi] = [p_{ij}]\,[I_j], \qquad (3.8)$$

gdje je: Φ — poznati potencijal uzemljivača definiran strujom kratkog spoja i otporom rasprostiranja (pogodno je uzeti ga kao 100%)

$[p_{ij}]$ — matrica potencijalnih koeficijenata koji se izračunavaju po relacijama (3.7.a) i (3.7.b)

$[I_j]$ — vektor nepoznatih struja po dionim elementima.

Najjednostavnije je zadani sustav od N jednadžbi s N nepoznatih struja dionih elemenata riješiti standardnim programima na računalu. Iz toga slijedi otpor rasprostiranja uzemljivača:

$$R = \frac{\Phi}{\sum_{j=1}^{N} I_j} \qquad (3.9)$$

Iz tako izračunatog otpora rasprostiranja i poznatog iznosa struje kratkog spoja dobije se stvarni potencijal uzemljivača:

$$\Phi = R\, I_{ks}, \tag{3.10}$$

gdje je: I_{ks} — struja kratkog spoja.
Potencijal u bilo kojoj k-toj točki u zemlji dobije se onda prema (3.6) kao:

$$\Phi_k = \sum_{j=1}^{N} p_{kj}\, I_j \tag{3.11}$$

Literatura [7] navodi i druge mogućnosti proračuna otpora rasprostiranja i potencijala kao što su multistep-metoda i iterativna metoda. U odnosu na prije opisanu metodu, ove dvije metode ne daju bitne prednosti. Naime, trajanje proračuna određeno je popunjavanjem matrice potencijalnih koeficijenata, te i ta činjenica ograničava odabrani broj nepoznanica, a ne samo zauzeće centralne memorije računala. Kod obje druge metode također se izračunavaju potencijalni koeficijenti, te je bitna razlika između ovih triju metoda jedino u načinu rješavanja sustava jednadžbi (3.8) ili sličnih sustava jednadžbi. Prednost multistep-metode može biti u smanjenju zauzeća centralne memorije računala, ali je, s druge strane, veličina matrice potencijalnih koeficijenata ionako ograničena potrebnim vremenom za popunjavanje. Jednostavnost direktnog rješavanja sustava jednadžbi daje ipak prednost opisanom pristupu.

3.2. Numerički proračun otpora rasprostiranja i potencijala skupine uzemljivača

Općenito, u sustavu uzemljivača postoje pojedinačni uzemljivači objekata, koji mogu biti međusobno galvanski povezani ili odvojeni, a mogu biti prisutna i vodljiva tijela kao pasivne elektrode. Radi pojednostavnjenja promotrit ćemo prvo slučaj dvaju uzemljivača. Podijelimo uzemljivač (1) u N dijelova, a uzemljivač (2) u M dijelova. Ukupni broj dionih elemenata je N + M.

3.2.1. Uzemljivači (1) i (2) su galvanski povezani

U tom slučaju oba uzemljivača su na istom potencijalu Φ. Sustav jednadžbi (3.6) glasi:

$$\Phi_i = \Phi_1 = \Phi = \sum_{j=1}^{N} p_{ij}\, I_j + \sum_{j=N+1}^{N+M} p_{ij}\, I_j \qquad i = 1, \cdots, N \tag{3.12}$$

$$\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi = \sum_{j=1}^{N} p_{ij}\, I_j + \sum_{j=N+1}^{N+M} p_{ij}\, I_j \qquad i = N+1, \ldots, N+M$$

odnosno

$$\Phi = \sum_{j=1}^{N+M} p_{ij}\, I_j \qquad i = 1, \cdots, N+M. \tag{3.12.a}$$

Otpor rasprostiranja je:

$$R = \frac{\Phi}{\sum_{j=1}^{N+M} I_j}, \tag{3.13}$$

a potencijal u k-toj točki:

$$\Phi_k = \sum_{j=1}^{N+M} p_{kj}\, I_j. \tag{3.14}$$

3.2.2. Uzemljivač (1) je na potencijalu Φ; uzemljivač (2) je pasivan

U slučaju da je jedan uzemljivač pasivan, pojavljuje se jedna nepoznanica više, a to je potencijal pasivnog uzemljivača. Sustav jednadžbi (3.6) se proširuje dodatnom jednadžbom (3.15), koja slijedi iz jednadžbe kontinuiteta za pasivni vodič:

$$\sum_{j=N+1}^{N+M} I_j = 0. \tag{3.15}$$

Odavde slijedi veličina struje jednog, npr. N + M-tog dionog elementa:

$$I_{N+M} = -\sum_{j=N+1}^{N+M-1} I_j. \tag{3.15.a}$$

Sustav jednadžbi (3.6) tada glasi:

$$\Phi_1 = \Phi = \sum_{j=1}^{N} p_{ij}\, I_j + \sum_{\substack{j=N+1 \\ i=1,\ldots,N}}^{N+M-1} (p_{ij} - p_{i,\,N+M})\, I_j \tag{3.16}$$

$$0 = \sum_{j=1}^{N} p_{ij}\, I_j + \sum_{\substack{j=N+1 \\ i=N+1,\ldots,N+M}}^{N+M-1} (p_{ij} - p_{i,\,N+M})\, I_j - \Phi_2$$

Dakle, u sustavu jednadžbi imamo N + M jednadžbi s N + M nepoznanica. Od toga je N + M — 1 nepoznatih strujnih razdioba (struja N + M-tog dionog elementa je određena relacijom (3,15.a)), a jedna nepoznanica jest potencijal pasivne elektrode Φ_2. Otpor rasprostiranja dobije se iz:

$$R = \frac{\Phi}{\sum_{j=1}^{N} I_j}, \tag{3.17}$$

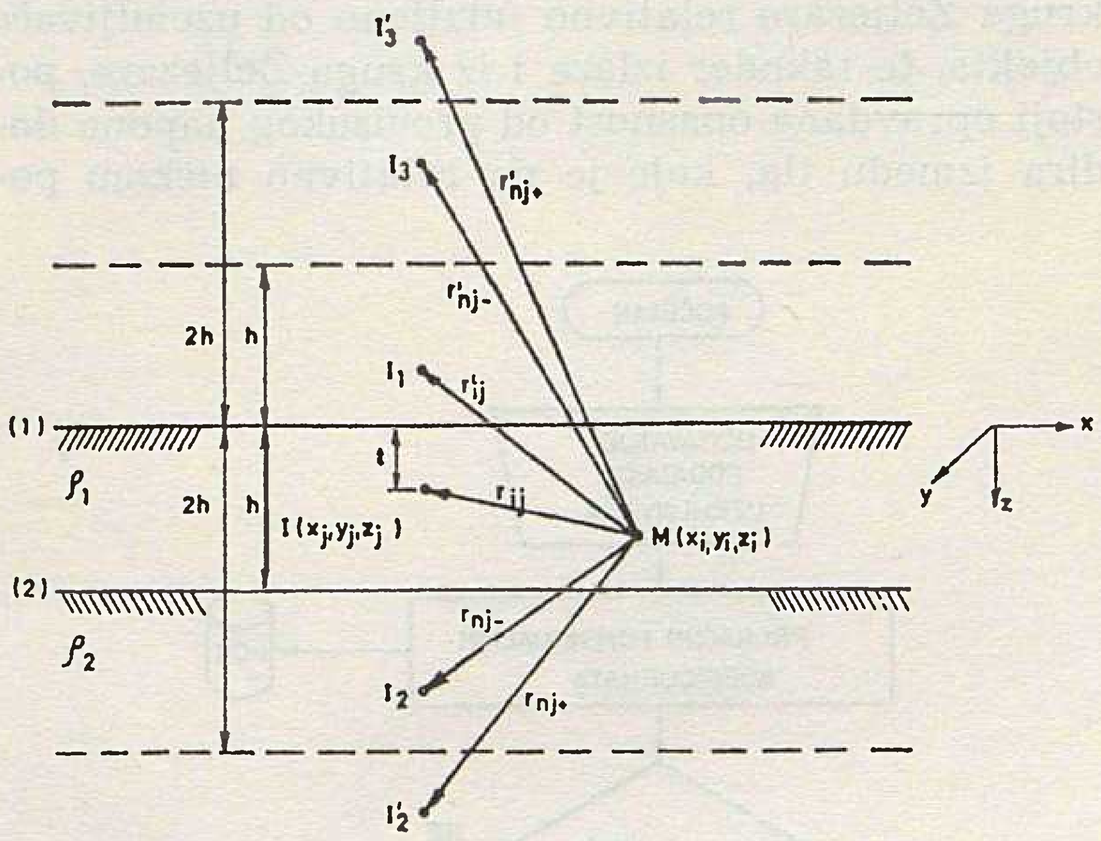
a potencijal k-te točke prema relaciji (3.14).

3.3. Potencijalni koeficijenti

Matematički modeli stvarnih uzemljivača jesu pune ravne plohe i ravni linijski vodiči. Ako je stvarni mrežasti uzemljivač ispravno projektiran, tako da daje napone koraka i napone dodira unutar određenih granica, numerički proračuni i istraživanja na Zavodu za osnove elektrotehnike i električna mjerenja pokazala su da se on može nadomjestiti punom vodljivom plohom, s tim da se tako dobiveni otpor rasprostiranja korigira za oko + 30%. Tim pojednostavnjenjem može se bitno smanjiti ukupan broj nepoznanica u proračunu. Također, dobri rezultati se dobiju ako se višeslojno tlo nadomjesti dvoslojnim tlom.

3.3.1. Potencijalni koeficijenti za točkasti izvor struje

Ako uzemljivač aproksimiramo punom vodljivom plohom, uzimamo dione elemente u obliku kvadrata. Unutar svakog dionog elementa pretpostavljamo jednoliku razdiobu struje, a struju pri određivanju potencijalnih koeficijenata (prema (3.7.a)) koncentriramo u središte kvadrata. Problem se svodi na određivanje potencijala u i-toj točki od jediničnog točkastog strujnog izvora u j-toj točki, u dvoslojnom tlu (sl. 3).



Sl. 3. Odslikavanje točkastog strujnog izvora u dvoslojnom tlu

Granice sredstava različite vodljivosti (granica 1: prvi sloj otpornosti ρ_1 — zrak, te granica 2: prvi sloj otpornosti ρ_1 — drugi sloj otpornosti ρ_2) eliminiramo primjenom metode odslikavanja. Tada se cijeli prostor smatra homogenim, jednake električne otpornosti ρ_1, a zadovoljenje stvarnih graničnih uvjeta (jednakost normalnih komponenti gustoća struja i tangencijalnih komponenti jakosti električnog polja) postiže se uvođenjem ekvivalentnih strujnih izvora:

granica 1:

$$I_1 = I\frac{\varkappa_1 - \varkappa_{zr}}{\varkappa_1 + \varkappa_{zr}} = I \quad (\varkappa_{zr} = 0) \quad (3.18.\,a)$$

granica 2:

$$I_2 = I'_2 = I\frac{\varkappa_1 - \varkappa_2}{\varkappa_1 + \varkappa_2} = I\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2} = kI \quad (3.18.\,b)$$

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2} \text{ — faktor refleksije} \quad (3.18.\,c)$$

granica 1:

$$I_3 = I'_3 = kI\frac{\varkappa_1 - \varkappa_{zr}}{\varkappa_1 + \varkappa_{zr}} = kI \quad (3.18.\,d)$$

itd., ponavljamo postupak, te se traženi potencijal u točki M dobiva u obliku:

$$V_i = \frac{\rho_1 I_j}{4\pi}\left[\frac{1}{r_{ij}} + \frac{1}{r'_{ij}} + \sum_{n=1}^{\infty} k^n\left(\frac{1}{r_{nj-}} + \frac{1}{r'_{nj-}} + \frac{1}{r_{nj+}} + \frac{1}{r'_{nj+}}\right)\right] \quad (3.19)$$

gdje su:

$$r_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2]^{1/2} \quad (3.19.\,a)$$

$$r'_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i + z_j)^2]^{1/2} \quad (3.19.\,b)$$

$$r_{nj+} = [x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (2nh + (z_j - z_i))^2]^{1/2} \quad (3.19.\,c)$$

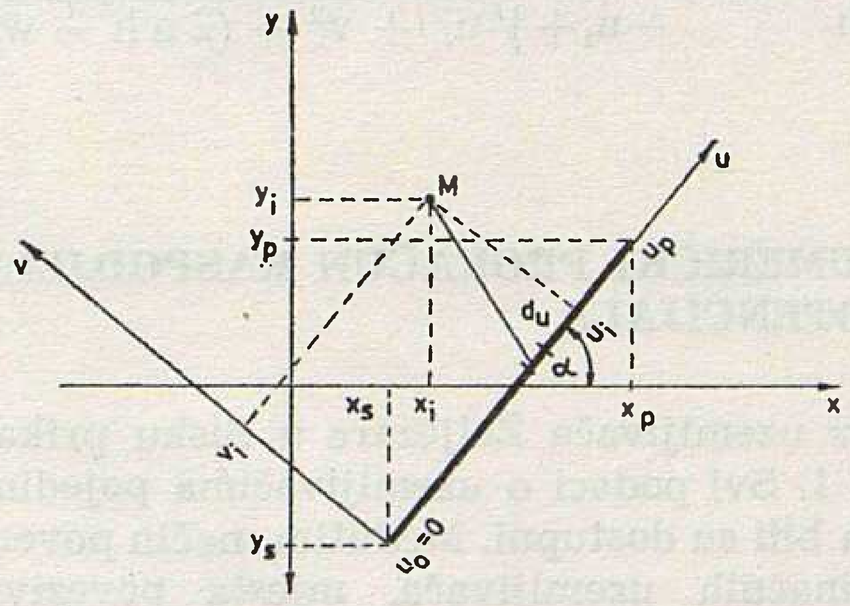
$$r'_{nj+} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j) + (2nh + (z_j + z_i))^2]^{1/2} \quad (3.19.\,d)$$

$$r_{nj-} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j) + (2nh - (z_j + z_i))^2]^{1/2} \quad (3.19.\,e)$$

$$r'_{nj} = [(x_i - x_j) + (y_i - y_j)^2 + (2nh - (z_j - z_i))^2]^{1/2} \quad (3.19.\,f)$$

3.3.2. Potencijalni koeficijenti za ravni linijski vodič

Uzemljivač u obliku ravnog linijskog vodiča, ukopan u gornjem sloju električne otpornosti ρ_1 na dubini t, općenito može imati u (x, y, z) koordinatnom sustavu bilo koji položaj. Zbog toga se koristimo pomoćnim (u, v, w) koordinatnim sustavom, tako da je vodič uvijek postavljen u ishodište i duž u-osi (prema lit. [8]), sl. 4:



Sl. 4. Pretvorba x, y, z koordinatnog sustava u u, v, w koordinatni sustav

Pretvorba koordinata iz jednog u drugi koordinatni sustav obavlja se pomoću relacija:

$$u_p = (x_p - x_s)\cos\alpha + (y_p - y_s)\sin\alpha$$

$$u_i = (x_i - x_s)\cos\alpha + (y_i - ys)\sin\alpha$$

$$v_i = (y_i - y_s)\cos\alpha - (x_i - x_s)\sin\alpha \quad (3.20)$$

$$w_o = z_i - t$$

$$w_1 = z_i + t.$$

Potencijalni koeficijent dobije se iz izraza (3.19) ako se struja I_j zamijeni s elementarnim iznosom $\frac{I_j}{L}du$ (L — duljina vodiča):

$$dV_i = \frac{\rho_1 I_j du}{4\pi L}\left[\frac{1}{r_{ij}} + \frac{1}{r'_{ij}} + \sum_{n=1}^{\infty} k^n \left(\frac{1}{r_{nj-}} + \frac{1}{r'_{nj-}} + \frac{1}{r_{nj+}} + \frac{1}{r'_{nj+}}\right)\right] \quad (3.21)$$

pri tome su:

$$r_{ij} = [(u - u_i)^2 + v_i^2 + w_0^2]^{1/2} \quad (3.22.\text{a})$$

$$r'_{ij} = [(u - u_i)^2 + v_i^2 + w_1^2]^{1/2} \quad (3.22.\text{b})$$

$$r_{nj+} = [(u - u_i)^2 + v_i^2 + (2nh + w_0)^2]^{1/2} \quad (3.22.\text{c})$$

$$r'_{nj+} = [(u - u_i)^2 + v_i^2 + (2nh + w_1)^2]^{1/2} \quad (3.22.\text{d})$$

$$r_{nj-} = [(u - u_i)^2 + v_i^2 + (2nh - w_1)^2]^{1/2} \quad (3.22.\text{e})$$

$$r'_{nj-} = [(u - u_i)^2 + v_i^2 + (2nh - w_0)^2]^{1/2}. \quad (3.22.\text{f})$$

Integracija od $u_o = 0$ do u_p daje:

$$V_i = \frac{\rho_1 I_j}{4\pi L}[\psi(u_p, u_i, v_i, w_0) + \psi(u_p, u_i, v_i, w_1)], \quad (3.23)$$

gdje je:

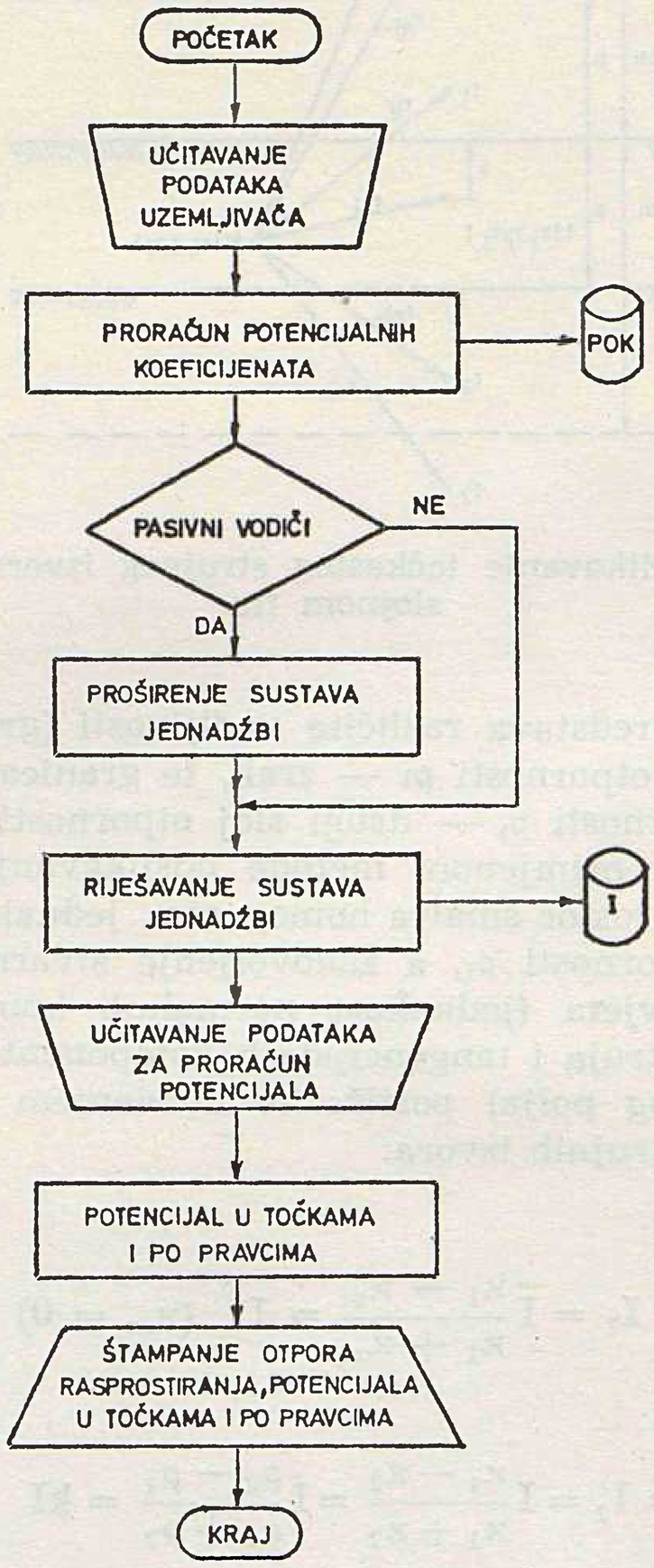
$$\psi = \ln\frac{u_p - u_i + \sqrt{(u_p - u_i)^2 + v_i^2 + w^2}}{-u_i + \sqrt{u_i^2 + v_i^2 + w^2}} + \sum_{n=1}^{\infty} k^n \ln\frac{u_p - u_i + \sqrt{(u_p - u_i)^2 + v_i^2 + (2nh + w)^2}}{-u_i + \sqrt{u_i^2 + v_i^2 + (2nh + w)^2}} + \sum_{n=1}^{\infty} k^n \ln\frac{u_p - u_i + \sqrt{(u_p - u_i)^2 + v_i^2 + (2nh - w)^2}}{-u_i + \sqrt{u_i^2 + v_i^2 + (2nh - w)^2}}. \quad (3.24)$$

4. NUMERIČKI PRORAČUN RASPODJELE POTENCIJALA

Sustav uzemljivača Željezare u Sisku prikazan je na sl. 1. Svi podaci o uzemljivačima pojedinih objekata bili su dostupni. Međutim, način povezivanja pojedinačnih uzemljivača, mjesta povezivanja i trase spojnih veza nisu se mogli točno utvrditi. Mreža željezničkih kolosijeka i cjevovoda, koji nisu ucrtani na sl. 1, također je s nepotpunim podacima o spojevima na glavni uzemljivač. Bilo je nemoguće uzeti u obzir sve metalne i uzemljene objekte u prostoru koji nas zanima zbog nepotpunosti podataka o stvarnom stanju. Međutim, i uz potpune podatke, zbog velikog broja nepoznanica, bilo bi teško izvršiti numerički proračun (dugotrajan proračun, zahtjev za velikom centralnom memorijom, a time i visoka cijena proračuna) bez određenih pojednostavnjenja.

Zbog toga se pristupilo proračunu raspodjele potencijala u dvjema varijantama. U prvoj varijanti uzeti su u obzir samo uzemljivači objekata, a zanemarene su spojne veze između uzemljivača, željeznički kolosijeci, cjevovodi i metalni dijelovi ograde. Izvršen je proračun otpora rasprostiranja, potencijala u 37 točaka i raspodjele potencijala duž 7 karakterističnih pravaca.

Rezultati proračuna su pokazali da se ne može garantirati sigurnost i pouzdanost pogona. Naime, po površini kruga Željezare formiraju se visoki gradijenti potencijala (iznos potencijala vrlo brzo opada s udaljavanjem od pojedinačnih uzemljivača). Budući da su željeznički kolosijeci i cjevovodi spojeni na zajednički uzemljivač, a protežu se unutar kruga Željezare relativno udaljeno od uzemljivača objekta, te također izlaze i iz kruga Željezare, postoji opravdana opasnost od previsokog napona dodira između tla, koje je na relativno niskom potencijalu i željezničkih kolosijeka, odnosno cjevovoda koji su na punom iznosu potencijala uzemljivača, a dobro su izolirani od tla. Osim toga, može se pojaviti i opasan napon dodira između metalnih dijelova ograde i tla izvan kruga Željezare. Zbog brzog opadanja potencijala s udaljavanjem od pojedinačnih uzemljivača može se očekivati i visok



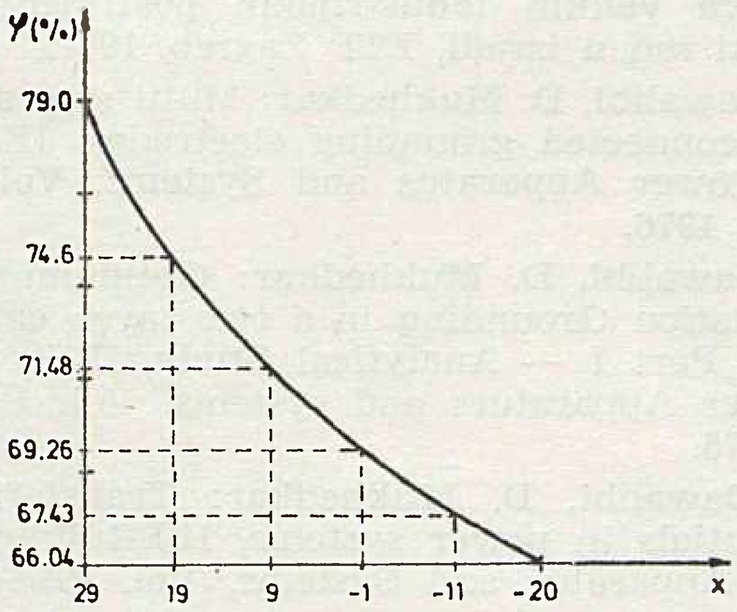
Sl. 5. Blok dijagram

napon koraka na nekim mjestima unutar kruga Željezare.

U drugoj varijanti predviđeno je da se unutar kruga Željezare izvede uzemljivački prsten od uzemljivačkih traka ukopanih na dubinu ukopavanja uzemljivača, na udaljenosti 3—4 m od ograde Željezare. Uzemljivački prsten je spojen na pet mjesta sa zajedničkim uzemljivačem, a te veze su uzimane također kao uzemljivači (prema sl. 1). Proveden je proračun otpora rasprostiranja, potencijala u 37 točaka i raspodjele potencijala duž 7 karakterističnih pravaca.

Proračuni su izvedeni programskim sustavom razvijenim u Zavodu za osnove elektrotehnike i električna mjerenja, u programskom jeziku FORTRAN IV, prilagođeni elektroničkom digitalnom računalu IBM 1130 Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu. Programskim sustavom moguće je rješavati kompleksne uzemljivače koji obuhvaćaju aktivne uzemljivače u obliku ravnih ploha ili ravnih linijskih vodiča, te pasivne vodiče. Programski sustav je podijeljen u više blokova programa, čime je omogućeno lakše izvođenje i praćenje programa, te proračun različitih varijanti uzemljivačkog sustava. Pojednostavljeni blok-dijagram prikazan je na sl. 5.

Za drugu varijantu sustava uzemljivača, u slučaju kada je uključen u uzemljivački sustav samo uzemljivač objekta A, dobiven je otpor rasprostiranja R = 0,0166 oma, što uz iznos struje kratkog spoja od 22,32 kA daje na uzemljivaču napon od



Sl. 6. Raspodjela potencijala duž pravca IV

370,5 V u trenutku nastanka kratkog spoja. Najveći napon koraka je na pravcu IV i iznosi 0,579%, odnosno 2,14 V. Na sl. 6. prikazana je raspodjela potencijala duž pravca IV.

5. MJERENJA U ELEKTROLITSKOJ KADI

Elektrolitska kada Zavoda za osnove elektrotehnike i električna mjerenja Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu dimenzija je 0,8 × 0,8 × 0,5 m. Te dimenzije ograničavaju dimenzije modela na oko 0,2 × 0,2 m. U kadi se nalazi mrežasta metalna polukugla promjera 0,8 m, koja predstavlja neutralnu zemlju. Za modele u mjerilu iznad 1 : 2 500 (kao što je ovdje slučaj) mrežasti model stvarnog uzemljivača nadomještava se modelom od tankog bakrenog lima ili modelom izrađenim u tehnici tiskanih krugova. Model se postavlja na površinu elektrolita u centralnom dijelu kade, što je s obzirom na mjerilo i malu dubinu ukopavanja opravdano.

Električna otpornost elektrolita može se odrediti na tri načina:

a) metodom mjerenja električne otpornosti pomoću sondi,

b) iz otpora rasprostiranja metalne polukugle poznatog promjera,

c) mjerenjem vodljivosti pomoću konduktometra i elektrolitske stanice.

U elektrolitskoj kadi teško je modelirati dvoslojno tlo, pa se mjerenja provode na modelu s jednoslojnim tlom.

Uzimajući u obzir koeficijent razmjernosti, iz izmjerenog otpora rasprostiranja modela u elektrolitskoj kadi, lako se odredi stvarni otpor rasprostiranja:

$$R_o = R_m \, k_R, \qquad (5.1)$$

gdje je: R_o — stvarni otpor rasprostiranja
R_m — otpor rasprostiranja modela
k_R — koeficijent razmjernosti.

Koeficijent razmjernosti se određuje kao:

$$k_R = \frac{\rho_o}{\rho_m} a, \qquad (5.2)$$

gdje je: ρ_o — stvarna otpornost tla
ρ_m — otpornost elektrolita
a — mjerilo.

Analizom usporedbe rezultata mjerenja na modelu u elektrolitskoj kadi s rezultatima numeričkog proračuna i rezultatima mjerenja na stvarnim objektima na više primjera (lit. [2], [3], [4], [5] i [6]) ustanovljeno je dobro slaganje rezultata. Maksimalna odstupanja koja su se pojavila su 21,1%, što je u granicama mjerne nesigurnosti.

6. PROBLEM VISOKIH DODIRNIH NAPONA NA ŽELJEZNIČKOJ PRUZI, CJEVOVODIMA I OGRADI KRUGA ŽELJEZARE

U kompleksnim sustavima uzemljivača poseban problem je pojava visokih dodirnih potencijala na željezničkim prugama i cjevovodima. Lit. [9] i [6] obrađuju posebno ovaj problem. Naime, radi izjednačavanja potencijala unutar kruga Željezare te zbog smanjenja otpora rasprostiranja povoljno je povezati željezničke kolosijeke i cjevovode na zajednički uzemljivač.

Prvi problem koji se pojavljuje jest da se, ako cjevovodi ili kolosijeci izlaze izvan kruga postrojenja, iznosi i visoki potencijal. Budući da je željeznička pruga relativno dobro izolirana od okolnog tla, a također i cjevovod, ako je vođen nadzemno, okolno tlo izvan kruga je na niskom potencijalu, tako da se između tla i pruge, odnosno cjevovoda formira visoki dodirni napon. Rješenje je da se na mjestima izlaska izvan kruga postave na željezničkim prugama i cjevovodima izolacioni umeci.

Drugi problem je da se unutar kruga postrojenja zbog relativno dobre izoliranosti željezničkih kolosijeka od zemlje, odnosno cjevovoda, također mogu pojaviti visoki dodirni naponi na pruzi odnosno cjevovodu. Rješenje je u postavljanju uzemljivačkog prstena spojenog na zajednički uzemljivač ili u spajanju metalnih dijelova ograde na zajednički uzemljivač, čime se postiže podizanje potencijalnog nivoa tla unutar cijelog kruga postrojenja i smanjuje napon dodira. Na kritičnim mjestima mogu se duž cjevovoda ili željezničkih kolosijeka (to su u pravilu mjesta relativno udaljena od zajedničkog uzemljivača) dodatno ukopati tzv. ekvipotencijalne rampe, koje na tim mjestima podižu potencijal zemlje.

Odspajanje željezničkih kolosijeka i cjevovoda od zajedničkog uzemljivača ne samo što povećava otpor rasprostiranja, već ima za posljedicu i unošenje niskog potencijala u području s relativno visokim potencijalom, što povećava napon dodira između tla i željezničkih kolosijeka, odnosno cjevovoda, te se u pravilu ne preporučuje.

Ograda kruga Željezare djelomično je metalna. Ukoliko nije spojena na zajednički uzemljivač, ponaša se kao pasivni vodič koji može poprimiti visok potencijal u odnosu prema okolnom tlu na mjestima udaljenim od zajedničkog uzemljivača. Postavljanjem uzemljivačkog prstena i spajanjem metalnih dijelova ograde na njega i na zajednički uzemljivač izjednačava se potencijal preko cijelog prostora, što uz smanjenje otpora rasprostiranja smanjuje dodirni napon. S druge strane, uzemljivački prsten i ograda spojeni na zajednički uzemljivač smanjuju napone dodira na željezničkim kolosijecima i cjevovodima.

Dodatno rješenje za smanjenje visokog dodirnog napona na ogradi jest postavljanje ekvipotencijalnih rampi na kritičnim mjestima uz ogradu.

7. ZAKLJUČAK

Na temelju analize opisane u članku, s pomoću sustava programa razvijenog u Zavodu za osnove elektrotehnike i električna mjerenja Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu, mogu se izvršiti numerički proračuni na elektroničkom računalu:

— otpora rasprostiranja sustava uzemljivača velikih industrijskih kompleksa
— raspodjele potencijala i napona koraka na mjestima od interesa
— dodirnih napona u krugu i izvan kruga postrojenja
— zaštite od unošenja i iznošenja potencijala
— međusobnog utjecaja više bliskih uzemljivača jednog postrojenja, cjevovoda, željezničkih pruga i drugih metalnih dijelova u zemlji, te međusobnog utjecaja dvaju ili više bliskih industrijskih kompleksa na sve parametre uzemljivača.

Numeričkim proračunom mogu se dovoljno točno odrediti sve karakteristike kompleksnog uzemljivačkog sustava, te na osnovi toga predložiti rješenja u kojima bi se povećala pouzdanost i sigurnost pogona.

LITERATURA

1. Z. Haznadar: Teoretska elektrotehnika, Elektromagnetska teorija i polja, skripta, ETF Zagreb, 1972.
2. Raspodjela potencijala u okolišu TE Urinj — Rijeka, elaborat OEM-E-39/77, ETF Zagreb, 1977.
3. Z. Haznadar, M. Predovan: Numerički proračun međusobnog utjecaja sustava bliskih uzemljivača velikih postrojenja, CIGRÉ, XIV Savjetovanje elektroenegetičara Jugoslavije, Sarajevo, 1979.
4. Studija kompleksa uzemljivača INA Rafinerija, Termoelektrane i željezare u Sisku, elaborat 78--TE-8, ETF Zagreb, 1979.
5. Studija uzemljivača Željezare Sisak, elaborat 79-TE-2, ETF Zagreb, 1980.
6. S. Berberović: Numerički proračun sistema uzemljivača velikih industrijskih postrojenja, magistarski rad u izradi, ETF Zagreb, 1981.
7. F. Dawalibi, D. Mukhedkar: Multi step analysis of interconnected grounding electrodes, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-95, no 1, 1976.
8. F. Dawalibi, D. Mukhedkar: Optimum design of substation Grounding in a two layer earth structure, Part I — Analytical Study, IEEE Trans. on Power Apparaturs and systems, Vol. PAS-94, no 2, 1975.
9. F. Dawalibi, D. Mukhedkar: Transferred earth potentials in power systems, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-97, no 1, 1978.
10. J. Nahman, S. Skuletich: Resistances to ground and mesh voltages of ground grids, Proc. IEE, Vol. 126, No 1, 1979.
11. J. Nahman: Analysis of Interconnected Earthing Systems, Archive für Elektrotechnik, Vol. 63, No 4/5, 1981.

KEY WORDS:

TOUCH VOLTAGE
GROUNDING
GROUNDING RESISTANCZ

POTENTAL DISTRIBUTION AND TOUCH VOLTAGE OF POWER SYSTEM GROUNDS

In this paper a general mathematic model for the analysis of the interconnected earthing system in a two layer earth structure is given. A computer program which calculates the resistance and potential in earth has developed. An example from the practice illustrates the application of the computer

program and gives an idea on the practical problem solutions. The influence of buried mettalic objects on the performance of power system grounds is described.

BERÜHRUNGSSPANNUNGEN UND POTENTIALVERTEILUNG VON ERDERN IN VERBUNDSYSTEMEN

Beschrieben wird ein mathematisches Modell zur Untersuchung untereinander gekuppelter Erdungssysteme in zweischichtigem Erdboden. Erarbeitet wurde ein digitales Rechnungsprogramm zur Berechnung des Ausbreitungswiderstandes und Erdpotentials. An einem praktischen Beispiel wird die Anwendung dieses Programms und das Verfahren zur praktischen Lösung derartiger Probleme dargestellt. Untersucht wird der Einfluss von Metallteilen im Erdboden auf die Kennwerte der Erder in Verbundsystemen.

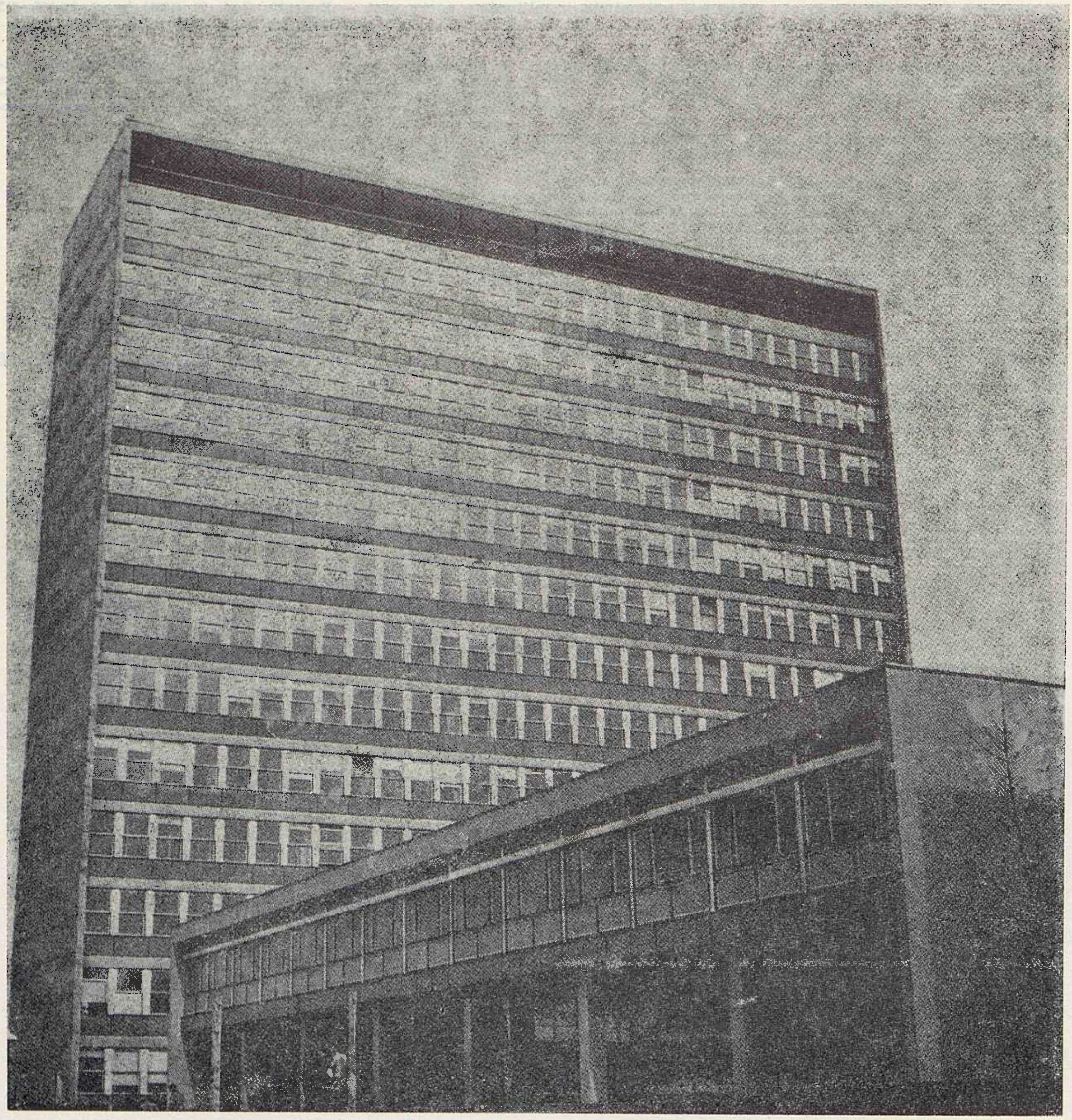
НАПРЯЖЕНИЕ ПРИКОСНОВЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

В статье представлена общая математическая модель для анализа соединенных между собой систем заземлителей в двухслойном грунте. Разработана программа для ЦВМ, при помощи которой изучается сопротивление растеканию и поренциал земли. Практическим примером иллюстрируется применение программы и показывает способ решения практических вопросов. Описано влияние металлических деталей, находящихся в земле, на характеристику заземлителей в энергосистеме.

Naslov pisaca:

Prof. dr Zijad Haznadar, dipl. inž.
Sead Berberović, dipl. inž.
mr Dušan Vujević, dipl. inž.
mr Dragutin Markovinović, dipl. inž.
mr Nikola Žanić, dipl. inž.
Zoran Žic, dipl. inž.

Elektrotehnički fakultet, Zagreb



Na području Trnja (Unska b.b.) sagrađena je 1963. godine zgrada Elektrotehničkog fakulteta, u kojoj su danas dekanat i zavodi

Energija God. 30 (1981) br. 7—8, 313—318

OPĆI MODEL ZA ODREĐIVANJE NEPOZNATIH PARAMETARA VELIKIH KAVEZNIH MOTORA

Berislav Jurković i Drago Ban, Zagreb

UDK 621.313.13

U članku je obrađena metoda za računanje nepoznatih parametara i vjerojatnih karakteristika struja i momenata u toku zaleta kaveznog motora. Predložen je matematički model pomoću kojega se mogu na temelju poznatih samo osnovnih podataka izračunati svi ostali parametri motora pomoću kojih se konkretni motor prikazuje kao promjenljiva impedancija priključena u sistem. Tako modelirani kavezni asinhroni motor omogućava da se s prihvatljivom točnosti računaju padovi napona kao funkcija vremena $\Delta U = f(t)$, prouzrokovani uključivanjem motora u distributivnu mrežu. U referatu su dani i neki od podataka statističke obrade, te usporedba rezultata dobivenih predloženom metodom sa stvarnim rezultatima dobivenim od proizvođača za konkretni motor.

Ključne riječi: **Elektromotori**
Modeliranje
Karakteristike

1. UVOD

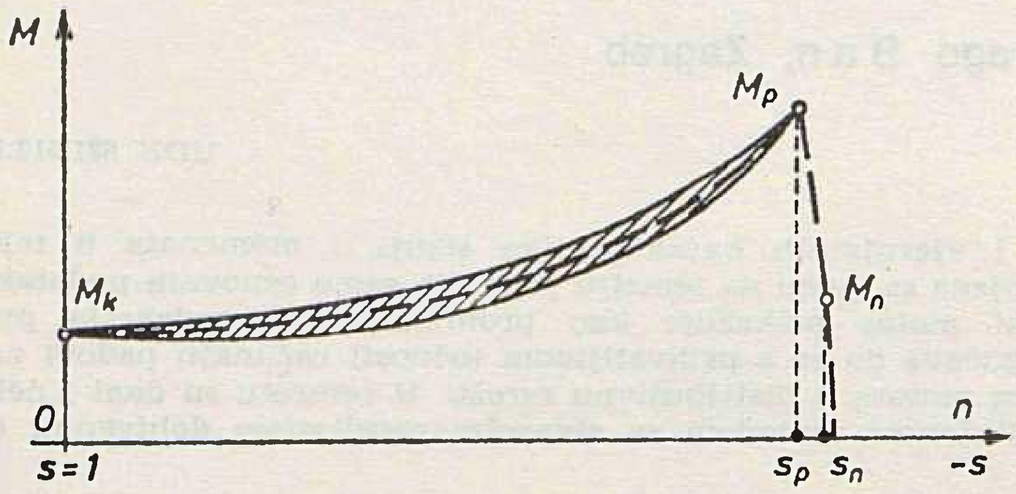
Elektromotorni pogon s asinhronim kaveznim motorom velike snage može izazvati prilikom uključivanja u rad relativno velike perturbacije u distributivnoj mreži. Padovi napona i njihovo trajanje mogu smetati ostalim potrošačima, pa se u principu ograničava i veličina i trajanje smetnje. Nameće se pitanje kako treba priključiti pogon da smetnje ostanu unutar dopuštenih granica. Zbog toga je potrebno već u fazi projektiranja postrojenja s takvim motorima dovoljno pouzdano proračunati buduće perturbacije za razne moguće vrste pokretanja motora. Za takvo proračunavanje potrebni su određeni podaci. Da bi se proračunao pad napona kao funkcija vremena $\Delta U = f(t)$, potrebno je poznavati podatke distributivne mreže, elektromotornog pogona i samog elektromotora. Podaci mreže su uvijek poznati. Moment tereta radnog mehanizma u ovisnosti o brzini vrtnje $M_t(n)$ obično je ili točno poznat ili je poznata njegova gornja vrijednost. Kako stoji s podacima elektromotora? Vrlo rijetko stoje na raspolaganju kompletni potrebni podaci, već se obično raspolaže »kataloškim« podacima ili podacima iz neke ponude, koji su redovno na nivou kataloških podataka. Budući da se ovim radom ne nastoji riješiti cjelokupna problematika koju nameće ovakva situacija, već se ograničuje samo na probleme pogonskog elektromotora, odredimo prethodno što bi od motora trebalo poznavati da se mogu odrediti perturbacije u mreži u prijelaznoj pojavi zaleta pogona. Pretpostavlja se da kratke suptranzijentne pojave nisu posebno zanimljive zbog kratkoće trajanja. Zanima nas zapravo stanje napona na pojnim točkama. Kao dovoljno dobar temelj za razmatranje služi nam ponašanje pogona na osnovi karakteristike pogona i statičke karakteristike motora. Pri tome se ne misli na karakteristike motora uz čvrsti napon, već na one uz napon čija je trenutna vrijednost za stezaljkama motora određena stanjem mreže u perturbaciji. Za što točniji račun valjalo bi, dakle, motor prikazati kao promjenljivu impedanciju priključenu u sistem. A za takav su pristup podaci poznati u fazi projektiranja sasvim nedovoljni. Zadatak se, dakle, ukratko svodi na prikazivanje motora *približnom,* ali što vjerodostojnijom impedancijom koju treba odrediti na temelju poznatih osnovnih podataka o motoru. To određivanje približne, što vjerojatnije impedancije koja nadomješta motor, postavljanje i izračunavanje njenih elemenata osnovni je sadržaj ovog članka.

2. POZNATI OSNOVNI PODACI

Minimalno potrebni podaci na osnovi kojih se može pristupiti ovom zadatku jesu:

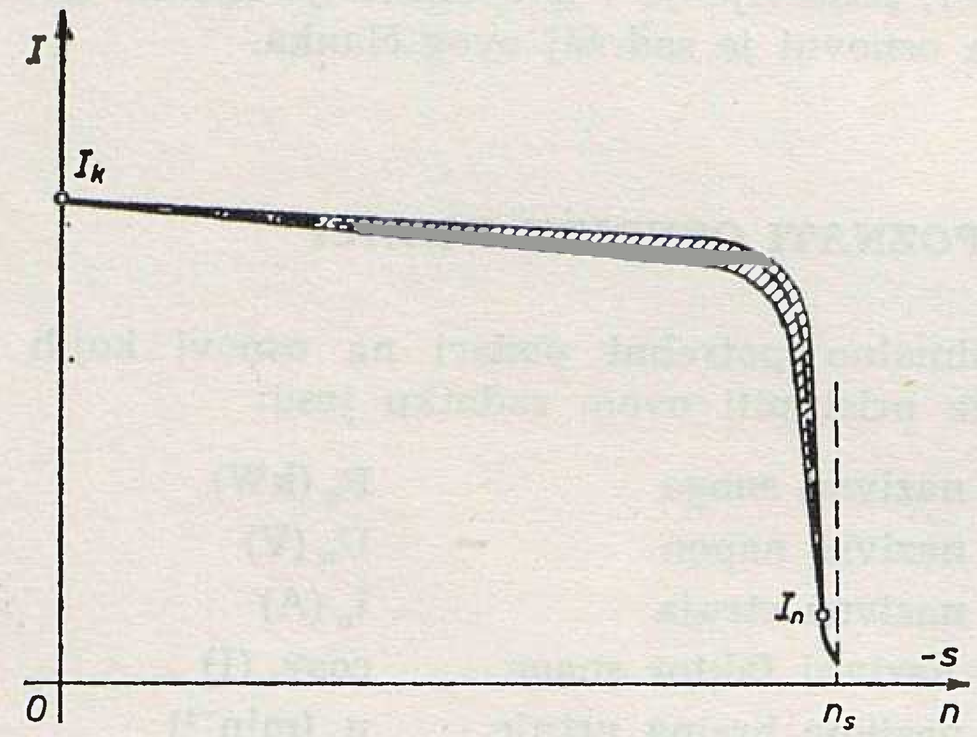
1.	nazivna snaga	P_n (kW)
2.	nazivni napon	U_n (V)
3.	nazivna struja	I_n (A)
4.	nazivni faktor snage	$\cos\varphi_n$ (1)
5.	nazivna brzina vrtnje	n_n (min^{-1})
6.	prekretni moment	M_p (Nm)
7.	potezni moment	M_k (Nm)
8.	frekvencija	f (s^{-1})
9.	struja kratkog spoja	I_k (A)
10.	korisnost	η (%)
11.	broj pari polova	p (1)
12.	nazivno klizanje	s_n (1)
13.	nazivni moment motora	M_n (Nm).

U fazi projektiranja postrojenja navedeni podaci redovno su poznati iz ponude, ako postoji, ili iz kataloga. No za motore vrlo velikih snaga obično nema kataloga. U svakom slučaju ne može se u fazi kad se u praksi pojavi potreba analize perturbacija mreže očekivati više podataka nego što je ovdje navedeno.



Sl. 1. Karakteristične točke (poznate) i vjerojatni tokovi vanjske karakteristike $M_n(n)$

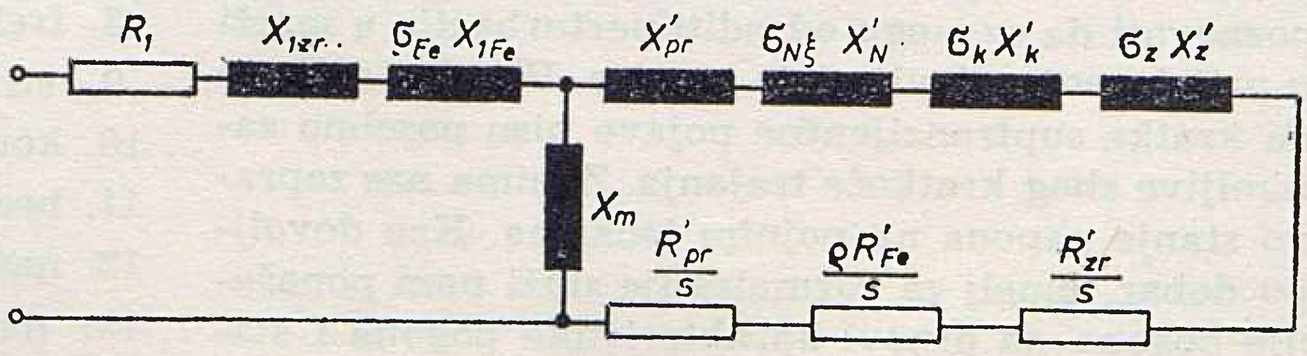
Na slici 1. prikazane su tri poznate točke vanjske karakteristike $M_m = M_m(n)$ i njeni vjerojatni tokovi, a na slici 2. dvije poznate točke strujne ovisnosti $I = I(n)$ i njeni vjerojatni tokovi, dakako uz čvrst nazivni napon. Nadomjesnu shemu motora koja predstavlja složenu impedanciju valja sada odrediti tako da i vanjska karakteristika $M_m(n)$ i strujna karakteristika I(n) prolaze poznatim točkama a u svim ostalim točkama budu što vjerojatnije, tj. što bliže stvarnim (nepoznatim) vrijednostima $M_m(n)$ i I(n). Vjerojatno je da će stvarne karakteristike $M_m(n)$ i I(n) ležati između gornje i donje vrijednosti karakteristike na sl. 1. i 2. ako se nadomjesna impedancija motora odredi tako da prolazi točkama M_k, M_p i M_n na vanjskoj karakteristici (sl. 1) i točkama I_k i I_n na karakteristici struje (sl. 2), te ako se još elementi nadomjesne sheme odrede tako da model što bolje »pogodi« i parcijalne radne otpore i parcijalne induktivne otpore kao i ukupnu impedanciju. Ako to vrijedi za karakteristike s čvrstim naponom, onda će to vrijediti i pri promjenljivom naponu tokom perturbacije u sistemu. Bitno je, dakle, odrediti elemente nadomjesne sheme motora (modela) što bliže stvarnima (nepoznatima), i to tako da momentna i strujna karakteristika prolaze poznatim točkama (sl. 1. i sl. 2). Potpuno »točno« određivanje elemenata u model-shemi je zbog mnogih razloga nemoguće. Neke od elemenata moguće je (pojedinačno ili grupno) odrediti pomoću poznatih činjenica iz teorije asinhronih motora. Neke od elemenata moguće je nadalje odrediti iz statističkih podataka o većem broju izvedenih strojeva. To se u prvom redu odnosi na određivanje parcijalnog udjela pojedinih dijelova nekog npr. induktivnog otpora, kad je iz teorijskih razmatranja vrijednost tog otpora proračunata, a suma elemenata daje u jednom od poznatih pogonskih stanja taj otpor. Tada će se odstupanja vrijednosti pojedinog elementa u zbroju kompenzirati za to promatrano stanje, a u ostalim će izazivati neznatna odstupanja. Nadalje, treba voditi brigu o značenju pojedinih elemenata s obzirom na utjecaj na karakteristike momenta i struje. Elemente koji bitno utječu na te karakteristike valjat će odrediti što točnije, a za ostale se može dopustiti i nešto veća netočnost. Budući da je u takvom pristupu neminovna česta primjena metode pokušavanja, bit će jedino racionalno rješenje obrade na računskom stroju. Tim je putem riješen taj problem i napravljen program za računanje.



Sl. 2. Karakteristične točke (poznate) i vjerojatni tokovi struje $I = I(n)$ u račun zasićenje i potiskivanje

3. IZBOR MODELA — NADOMJESNA SHEMA

Trofazni asinhroni motor može se pokazati u svakom pogonskom stanju i nadomjesnom shemom jedne faze prema slici 3, tj. ova nam je osnovna shema najprikladnija za pristup. Na njoj nedostaje element koji nadomješta gubitke u željezu, jer oni gotovo nimalo ne utječu na rezultate, a nemoguće ih je u danim uvjetima uzeti u obzir. Na toj shemi je s X_m označen induktivni otpor koji predstavlja glavno magnetsko polje. Budući da je po iznosu mnogostruko veći od ostalih elemenata, nije posebno važno da se izuzetno točno odredi. Sa R_1 označen je radni otpor faze statora. Kako



Sl. 3. Nadomjesna shema asinhronog motora

je poznato i njegov je utjecaj na rezultate neznatan, pa je za naš cilj dovoljno njegovo i približno određivanje. No svi ostali elementi su izuzetno važni za naše rezultate pa će ih valjati odrediti na najbolji mogući način. Nabrojimo ih:

$$X_{1zr} + \sigma_{Fe} X_{1Fe} = X_1$$

X_1 = primarni rasipni induktivni otpor čiji jedan dio X_{1zr} ne ovisi o zasićenju željeza (rasipanje u glavama i zračnim kanalima), tj. ne ovisi o veličini struje, a drugi dio X_{1Fe} ovisi o zasićenju (rasipanje u željezu), tj. o struji.

$$X'_{pr} + \sigma_N \xi X'_N + \sigma_k X'_k + \sigma_z X'_z = X'_2$$

X'_2 = sekundarni rasipni induktivni otpor reduciran na primarnu stranu. Njega valja podijeliti na više dijelova. Dio X'_{pr} koji je posljedica rasipanja prstena i štapova u zraku a ne ovisi ni o zasićenju ni o frekvenciji rotora. Dio X'_k koji je posljedica rasipanja u glavama zubi i i, konačno, dio X'_N koji je posljedica rasipanja, ovisi o zasićenju željeza, dakle o struji i, konačno, dio X_N koji je posljedica rasipanja u utoru na području gdje je namot, i koji ovisi i o zasićenju u željezu i o frekvenciji struje rotora (potiskivanju struje).

$$R'_{pr} + R'_{zr} + \rho R'_{Fe} = R'_2$$

R'_2 = sekundarni radni otpor reduciran na primarnu stranu. I njega valja podijeliti na više dijelova. Dio R'_{pr}, tj. reducirani otpor prstena, i dio R'_{zr}, tj. dio štapa u zraku, koji ne ovisi o frekvenciji rotora (nema potiskivanja struje). Za dio štapa u željezu R'_{Fe} bitan je utjecaj potiskivanja struje, tj. frekvencije struje rotora. Utjecaj zasićenja i potiskivanja struje uvodi se u nadomjesnu shemu tako da se odgovarajući element množi koeficijentima koji odgovaraju realnom stanju u trenutku promatranja (pri određenom naponu, odnosno brzini vrtnje i struji).

Značenje je koeficijenata u shemi prema slici 3: ρ koeficijent povećanja radnog otpora zbog potiskivanja, ξ koeficijent smanjenje induktivnog otpora zbog potiskivanja, a σ_{Fe}, σ_N, σ_k i σ_z koeficijenti utjecaja zasićenja na element induktivnog otpora s jednakim indeksom (za svaki element drugačije zasićenje). Na žalost, tu je shemu nemoguće primijeniti na naše razmatranje. Budući da o motoru ne postoje drugi podaci osim onih navedenih u uvodu, nemoguće je naći sistem po kome bi se koeficijenti zasićenja odredili i klasificirali. Zato je nužna pretpostavka da su svi ti koeficijenti u svakom trenutku rada motora međusobno jednaki, tj. uvodi se »jedinstveni« koeficijent zasićenja:

$$\sigma = \sigma_{Fe} = \sigma_N = \sigma_k = \sigma_z. \qquad (1)$$

Pretpostavka jednakosti utjecaja zasićenja u svim dijelovima stroja nije realna. No odrede li se elementi koje ti koeficijenti množe tako da ukupni induktivni otpori budu jednaki stvarnima (ili se neznatno razlikuju), bit će i tokovi funkcija M(n) i I(n) dovoljno točni za naše razmatranje. U daljnjem toku vršimo razmatranja prema shemi na slici 3, s time da se uzima u obzir (1). U tom je obliku shema prikladna da se na njoj odrede potrebni elementi. U pogonskim stanjima u kojima praktički nema utjecaja potiskivanja struje, pa ni zasićenja (nazivni teret i slično), postaju svi korekcioni koeficijenti bliski iznosu jedan. Uz relativno male iznose struje i niske frekvencije u rotoru dakle vrijedi:

$$\rho = \xi = \sigma \cong 1. \qquad (2)$$

Slijedi logičan zaključak da određivanje elemenata valja provesti u dvije etape. U prvoj određivanje samih elemenata bez korekcionih faktora iz podataka o stanjima gdje je zadovoljena jednadžba (2) i u drugoj određivanje korekcionih koeficijenata iz podatka o pogonskim stanjima gdje je moguće izračunati te koeficijente. Nakon toga valja odrediti i funkcionalnu ovisnost koeficijenata ρ i ξ o brzini vrtnje motora, kao i ovisnost koeficijenta σ o veličini struje.

4. ODREĐIVANJE ELEMENATA NADOMJESNE SHEME

Elementi nadomjesne sheme; ukupni radni otpori R_1 i R'_2, ukupni primarni rasipni induktivitet X_1, ukupni sekundarni rasipni induktivitet X'_2, induktivitet glavnog magnetskog toka X_m kao i njihovi elementi prema shemi na sl. 3. računati su iz poznatih fizikalnih zakona, iskustva i statističke obrade velikog broja podataka za konkretne jednokavezne motore. Određivanje elemenata provodi se po etapama kako je u prethodnoj točki navedeno. Pri ovom su računanju potrebne neke pretpostavke koje se mogu dokazati na temelju iskustva u gradnji strojeva prema zakonima sličnosti ili statistici. Tako je npr. pretpostavljeno da je omski otpor faze primara jednak onom faze sekundara kada nema utjecaja potiskivanja struja u rotoru

$$R_1 = R'_{2=} \qquad (3)$$

Sekundarni induktivni otpor X'_2 određuje se iz točke prekretnog klizanja.

$$X'_2 = R'_2 \sqrt{\frac{1}{s_p^2} - 1} - X_1 \qquad (4)$$

$$s_p = \frac{\frac{M_p}{M_n} + \sqrt{\left(\frac{M_p}{M_n}\right)^2 - 1 - 2 s_n \left(1 - \frac{M_p}{M_n}\right)}}{\frac{1}{s_n} + 2\left(1 - \frac{M_p}{M_n}\right)} \qquad (5)$$

Tu je po prirodi opravdana pretpostavka da nema utjecaja potiskivanja ($\rho = \xi = 1$) jer je za velike motore prekretno klizanje praktički uvijek manje od 5%, a frekvencija rotorskih struja manja od 2,5 Hz. Kako je struja u prekretnoj točki još uvi-

jek relativno velika, postoji mogućnost da u nekom konkretnom slučaju bude utjecaja zasićenja ($\sigma < 1$). To u rezultatu za X'_2 unosi neku pogrešku koja ne može bitno utjecati na rezultat. Na konkretnim primjerima koji slijede bit će vidljiv utjecaj takve pogreške (vidi sl. 8. i 9).

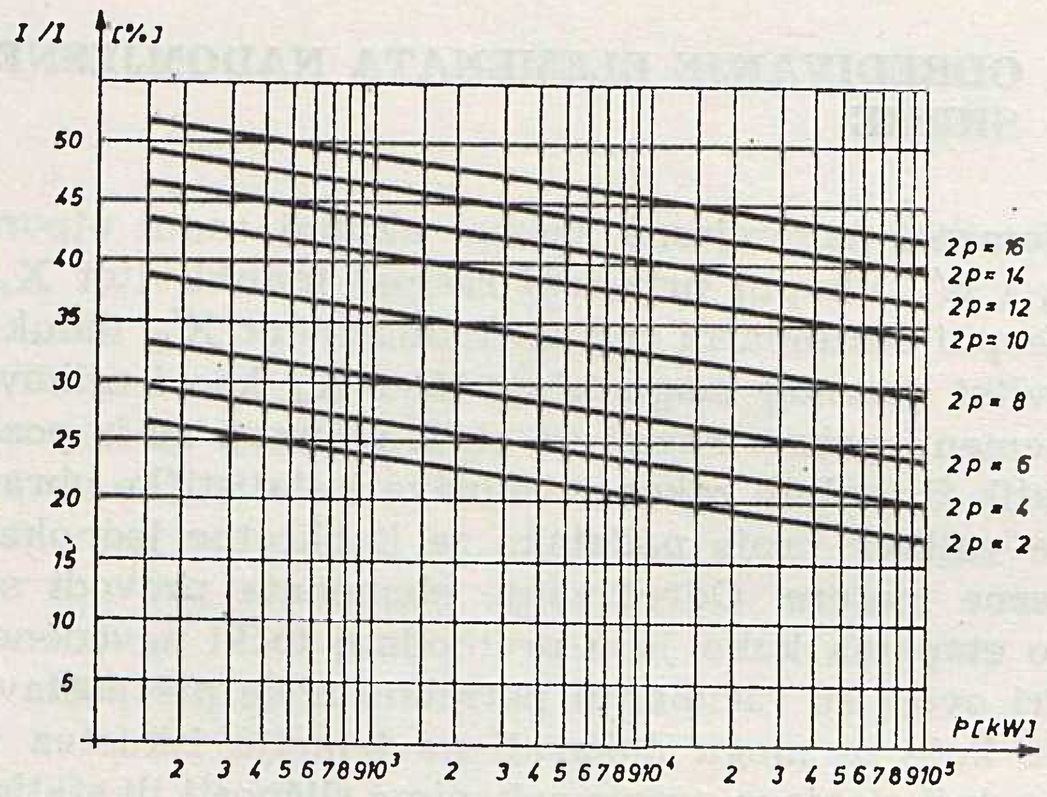
Induktivni otpor X_m može se dovoljno točno odrediti pomoću formule

$$X_m = \frac{\sqrt{U_f^2 - (I_o R_1)^2}}{I_o} - X_1 \qquad (6)$$

ako je poznata struja praznog hoda. Od više mogućih načina da se približno odredi I_0 odabran je statistički postupak, kojim je ustanovljeno da se omjer struje magnetiziranja prema nazivnoj može prikazati izrazom

$$\frac{I_o}{I_N} = -1{,}4525 \ln P_n + g(2p)\,(\%). \qquad (7)$$

Porodica krivulja I_0/I_n u ovisnosti o nazivnoj snagi P_n(kW) i broju pari polova prikazana je grafički na sl. 4, a g(2p) tabelarno na slici 5.



Sl. 4. Statistički ustanovljeni odnosi struje praznog hoda i primarne nazivne struje

2p	2	4	6	8	10	12	14	16	i više
g(2p)	33,8	36,7	40,4	46	50,8	53,8	56,5	58,8	(%)

Sl. 5. Tablica koeficijenta g(p)

Za određivanje elemenata primarnog rasipnog otpora, dio koji se odnosi na željezo (utor) X_{1Fe} i dio koji se odnosi na zrak X_{1zr} (glave namota) korištena je statistička metoda. Takvim je istraživanjem izračunat omjer rasipnog otpora u zraku prema ukupnom rasipanju X_1, a prosječni statistički koeficijent u ovisnosti o broju polova motora unesen u proračun na kompjutoru.

Elementi sekundarnog radnog otpora R'_{pr}, R'_{2r} i R_{Fe} određuju se pomoću izračunatog ukupnog $R'_{2=}$ i statistički određenih omjera veličina između pojedinih dijelova otpora. Postupak je slijedeći:

$$R'_{2=} = R'_{pr} + R'_{Fe} + R'_{zr} \qquad (8)$$

iz čega se može pisati:

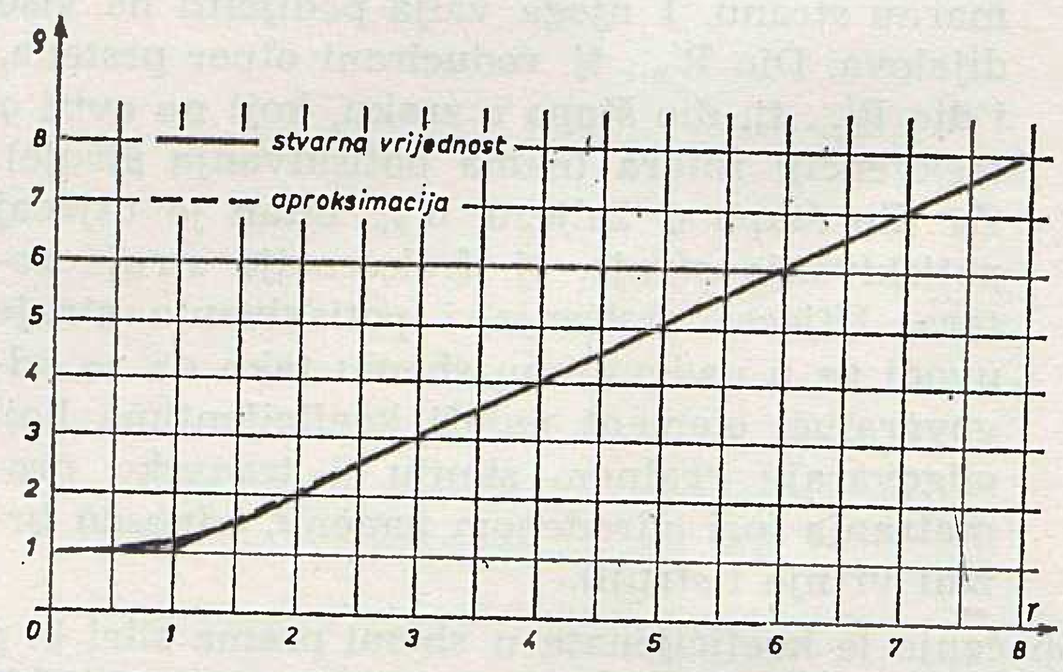
$$\begin{aligned} R'_{pr} &= a_7 R'_{2=} \\ R'_{zr} &= a_8 R'_{2=} (1 - a_7) \\ R'_{Fe} &= (1 - a_8)(1 - a_7) R'_{2=} \end{aligned} \qquad (9)$$

Na osnovi obrade statističkih podataka, osnovne fizikalne slike, zakona sličnosti te iskustva u građenju takvih strojeva određeni su prosječni koeficijenti a_7 i a_8 i uneseni u program.

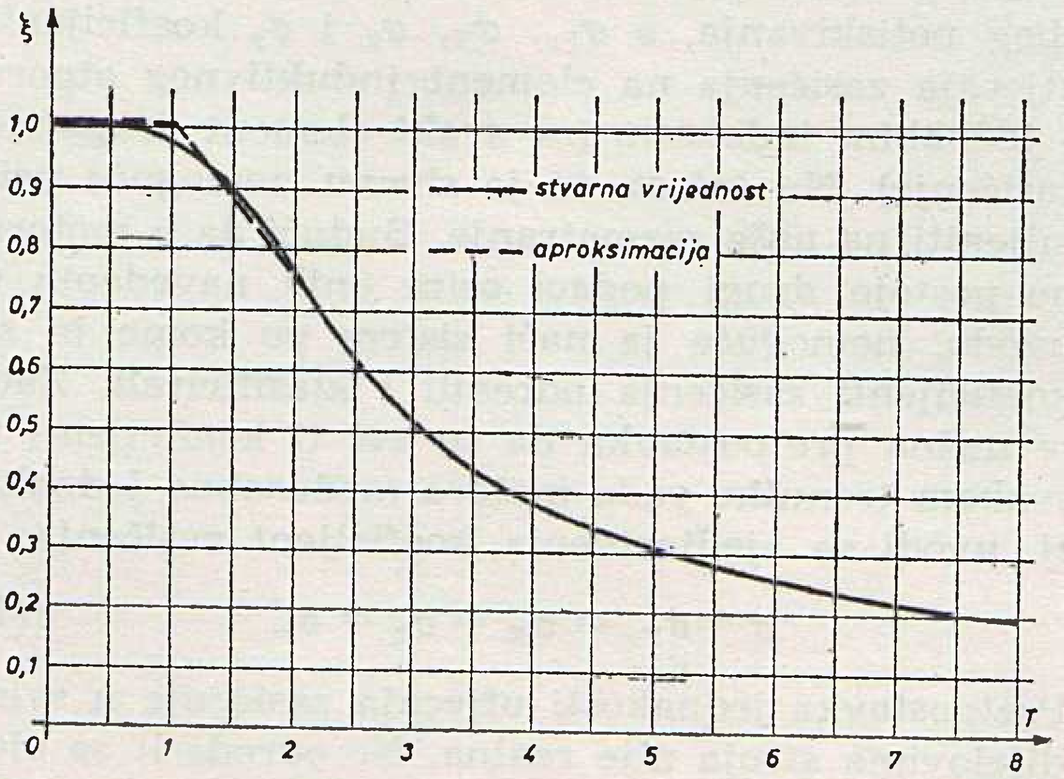
Elementi sekundarnog induktivnog otpora određuje se postupkom sličnom onom za elemente radnog otpora. Izračunati konstantni omjer pojedinih dijelova otpora te omjer rasipanja prstena prema ukupnom otporu X'_{2pr}/X'_2 u ovisnosti o broju polova unose se u program.

5. ODREĐIVANJE FAKTORA ρ, ξ i σ

Faktori ρ, ξ i σ mogu se odrediti iz poznatih podataka kratkog spoja kao ρ_k, ξ_k i σ_k (k — indeks kratkog spoja), dakako uz neke pretpostavke. Kod drugih pogonskih stanja (brzina vrtnje) mogu se ti faktori računati korištenjem njihovih iznosa u kratkom spoju, uvođenjem dopustivih pojednostavljenja i pretpostavki da se radi o jednokaveznom motoru. Ako se i ne radi o jednokaveznom motoru, opravdana je pretpostavka da nema bitne razlike i da se po potrebi može uvesti dodatna korekcija.



Sl. 6. Ovisnost faktora povećanog radnog otpora ρ o brojnoj visini štapa T



Sl. 7. Ovisnost faktora smanjenja induktivnog otpora ξ o brojnoj visini štapa T

Faktori ρ i ξ uzimaju se iz dijagrama prikazanih na sl. 6 i 7 prema (L. 2). Ovdje su uzeta pojednostavljenja prikazana crtkano. Određivanje faktora zasićenja σ nešto je kompliciranije. Sa sl. 2 je vidljivo da struja tokom zaleta neznatno opada s porastom brzine i tek se u blizini prekretnog klizanja počinje naglo smanjivati. Time je opravdana pretpostavka da se do brzine vrtnje koja odgovara prekretnom klizanju s_p može računati s faktorom zasićenja jednakim onome u kratkom spoju. U smislu prije navedenih pretpostavki i konzistentnosti cijelog računa faktor zasićenja računa se s dovoljnom približnošću prema:

za $|s| \geq 2\,s_p$ $\quad \sigma = \sigma_k$

za $s_p < |s| < 2\,s_p$ $\quad \sigma = \dfrac{1-\sigma_k}{s_p}(2\,s_p - s) + \sigma_k$

za $|s| \leq s_p$ $\quad \sigma = 1$

Kod određivanja faktora ρ, ξ i σ treba zeti u obzir da, po prirodi stvari, ne može biti $\rho < 1$, a σ i $\xi > 1$. Da se ne bi zbog eventualnih netočnosti i nedostataka nekih ulaznih podataka dogodile fizikalno apsurdne situacije, na primjer $\rho < 1$ ili ξ i σ veći od jedan, u kompjutorskom je programu predviđen sistem kompenzacije pogrešaka, kao i mogućnost eventualne korekcije ulaznih podataka.

Ako su npr. ulazni podaci netočni, može opisanim proračunom i korekcijom izaći da su i σ_k i ξ_k veći od 1. To može nastati kad je ulazni podatak M_k veći od stvarnog ili I_k manji od stvarnog ili oboje. Polazeći od pretpostavke da će proizvođač motora teško dati netočan (prevelik) podatak o poteznom momentu M_k, budući da to u sebi krije opasnost da motor uopće ne može pokrenuti radni mehanizam, opravdanije je posumnjati da je podatak o struji kratkog spoja premalen. Iz više razloga ta je pogreška vjerojatna budući da podatak podliježe i relativno velikoj toleranciji prema postojećim propisima, a i ostavlja naoko »bolju sliku« o motoru, a stvarnu vrijednost je u slučaju zaleta velikog motora i teško ispitivanjem ustanoviti. Zbog te situacije odlučili smo se da u programu kad se pojavi $\sigma_k \xi_k > 1$ korigiramo ulazni podatak I_k, tako da se on povećava sve dok $\sigma_k \cdot \xi_k < 1$. To nam se čini ispravnim i s gledišta krajnje namjene programa, tj. ustanovljena perturbacija koje motor izaziva u nekom sistemu distributivne mreže.

Od ostalih ulaznih podataka posebno je još osjetljiv podatak o nazivnoj brzini vrtnje. On se je rado zaokružio na »okrugli« cijeli broj, na primjer umjesto 741 na 740. To unosi relativno veliku pogrešku u račun osnovnih vrijednosti radnih otpora, tj. nije dovoljno dobro definirana nazivna radna točka, a to ima znatne posljedice na vjerojatnost čitavog postupka. Zbog toga je nužno tu vrijednost što točnije ustanoviti (zatražiti od proizvođača). Današnji katolozi modernih strojeva (L. 6.) dobrim dijelom ne zaokružuju taj podatak pa tog problema nema.

6. RAČUNANJE KARAKTERISTIKA M(s) i I(s)

Nakon određenih svih elemenata nadomjesne sheme motora računaju se za svaku brzinu vrtnje odnosno svako pripadno klizanje iznosi struja i momenta, točku po točku kao

$$I = \frac{U_f}{Z(s)} \tag{10}$$

$$M = \frac{3\,I_2'^{\,2}(s)\,R_2'(s)}{s \cdot \omega_s} \tag{11}$$

Opisani numerički proračun može se dalje uključiti kao potprogram sistematskog programa za računanje perturbacija u konkretnoj mreži, tj. dodavši elemente nadomjesne sheme motora kao kompleksne otpore u mreži sistemskih otpora i nakon proračuna napona na sabirnicama motora i struja kroz motor odrediti prema (11) moment i sve podatke sistema za koje se vrši proračun.

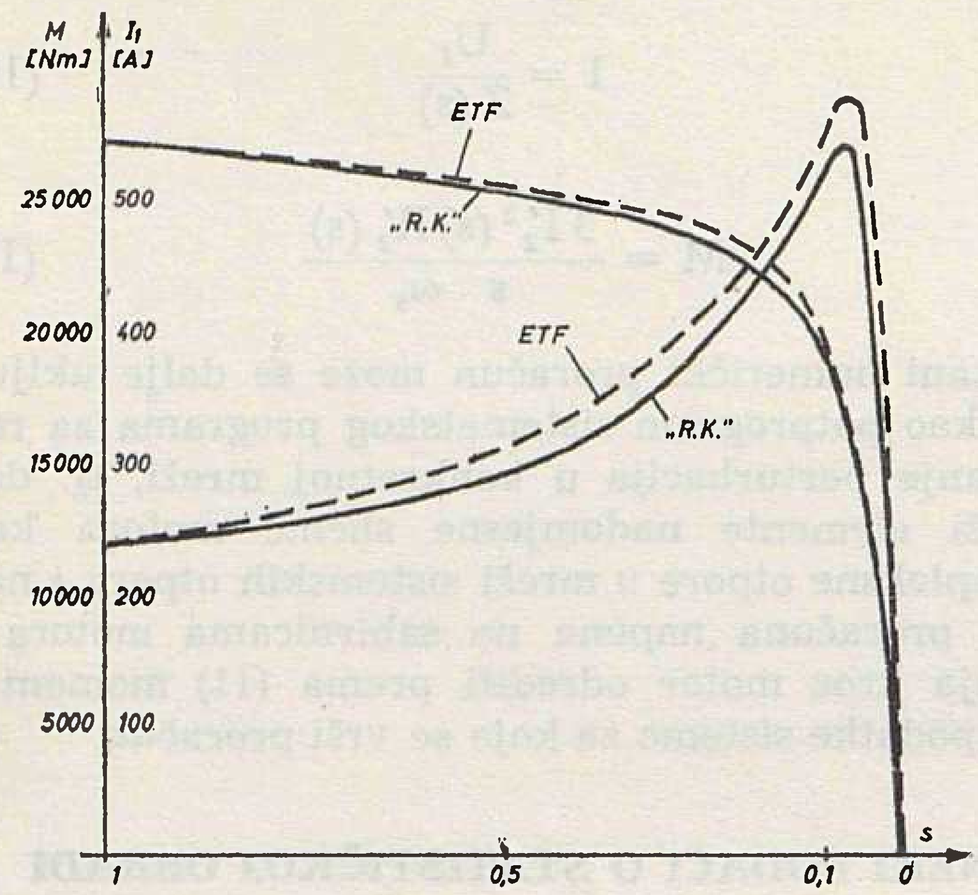
7. NEKI PODACI O STATISTIČKOJ OBRADI

Za vjerodostojnost podataka dobivenih statističkom obradom potreban je što veći broj podataka. Za istraživanje vrijednosti omjera između elemenata radnih i induktivnih otpora ekvivalentne sheme potrebno je imati ili kompletne projekte strojeva ili *sve* podatke o izvedbi stroja sa svim dimenzijama, na temelju čega se mogu izračunati vrijednosti elemenata. Do tih je podataka, očito, teško doći, posebno uzme li se u obzir da su podaci starijih strojeva (davno izvedenih) dosta neprikladni, jer je u međuvremenu razvoj tehnike dao nova rješenja i nešto izmijenio podatke koji nas zanimaju. Mi smo raspolagali što na prvi, što na drugi način kompletnim podacima o pedeset velikih strojeva s dosta povoljnom distribucijom po polaritetima. Na temelju podataka o tih 50 strojeva određene su vrijednosti koeficijenata u prethodnim razmatranjima. Na temelju uspoređivanja sa strojevima starije izvedbe može se zaključiti da su podaci primjenljivi i za te strojeve. Spomenute vrijednosti koeficijenata izračunate su kao statističke srednje vrijednosti pojedinačnih elemenata. Standardne devijacije kretale su se unutar granica 4—10% srednje vrijednosti. Iznimno, za statistički podatak g (p) potrebno je poznavati samo struju praznog hoda i nazivnu. Kako je jednostavniji problem doći do tih podataka, to je g (p) u tablici na slici 5. određen iz mnogo većeg broja podataka nego ostali koeficijenti.

8. USPOREDBA REZULTATA DOBIVENIH PREDLOŽENIM MODELOM S REZULTATIMA ORIGINALNIH PROJEKTANTSKIH PRORAČUNA

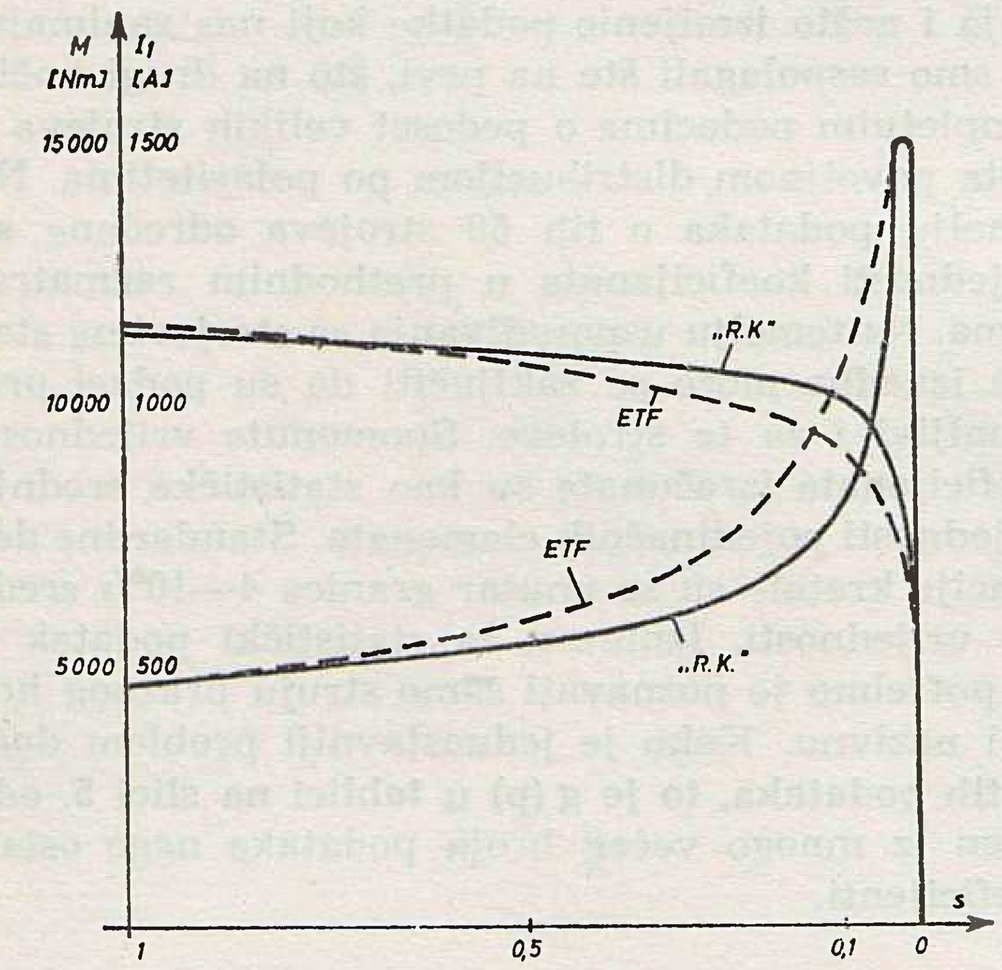
Da bi se provjerila ispravnost zadanih ulaznih veličina, daje se u svojstvu primjera usporedba za samo 2 proračuna, odabrana tako da se mogu i

komentirati neke pretpostavke i nedostaci. Na sl. 8 i 9. »R. K.« predstavlja karakteristika originalnih proračuna tvornice »R. Končar« a »ETF« karakteristike dobivene kompjutorskim proračunom prema ovom radu. Na slici 8. je razlika u maksi-



Sl. 8. Karakteristika struje i momenta trofaznog asinhronog motora 630 kW, 6 kV, 2p = 8
»*RK*« — podaci od proizvođača (»R. Končar«)
»*ETP*« — prema modelu ovog referata s minimalnim brojem ulaznih podataka

malnom momentu, proizašla pretežno iz različitog iznosa faktora zasićenja σ. Na sl. 9. su dobro »pogođene« karakteristične točke a odstupanja u toku karakteristika su proizašle iz razlike u faktorima ρ i ξ.



Sl. 9. Karakteristike M(s) i I (s) trofaznog jednokaveznog motora 1900 kW, 2p = 2, 6 kW

Razlike u karakteristikama na dva navedena tipična primjera, kao i u praktički svim ostalim uspoređivanim karakteristikama nalaze se unutar granica dozvoljenih tolerancijama za asinhrone motore.

LITERATURA

1. B. Jurković: »Elektromotorni pogoni«, Školska knjiga, Zagreb, 1978.
2. W. Nürnberg: »Die Asynchronmaschine«, Springer-Verlag, Berlin, 1952.
3. B. Jurković, I. Gajski: »Veliki motori u distributivnoj mreži«, »Energija«, br. 11—12, 1979.
4. R. Wolf, D. Ban: »Ispitivanje velikih asinhronih motora u kratkom spoju«, CIGRÉ, XIV. Savjetovanje, Referat broj 11.14, Sarajevo 1979.
5. M. Zečević: »Kritična analiza jednoznačnosti dopuštenog vremena zaleta kao kriterijuma za težinu zaleta kaveznog motora« CIGRÉ, XIV. Savjetovanje, Referat broj 11.16, Sarajevo, 1979.
6. Katalozi: Siemens: Drehstrommotoren für Hochspannung Nachdruch, Marz 1979.
   ASEA: Cage Induction Motors 1000—30 000 kW, 1973.
   »R. Končar«: High Voltage Cage Rotor induction motors 160—5 000 kW, Zagreb, 1978.

KEY WORDS:

ELEKTROMOTORS
MODELING
CHARACTERISTICS

A GENERAL MODEL FOR DETERMINATION OF UNKNOWN PARAMETERS FOR LARGE SQUIRREL CAGE MOTORS

In the article is presented a method for calculation unknown parameters and probable caracteristics of currents and moments during start of squirrel cage motor. Suggested is mathematical model by which can be callculated, on the base of known data, all other motors parameters which represent motor as a variable impendance connected on a system.

EIN ALLGEMEINES MODEL ZUR BESTIMMUNG UNBEKANNTER KENNWERTE VON GROSSEN KÄFIGANKERMOTOREN

Beschrieben wird eine Methode zur Berechnung unbekannter Parameter und wahrscheinlicher Stromcharakteristiken und Anlaufmomente eines Käfigankermotors. Erstellt wurde ein mathematisches Model wodurch die Möglichkeit besteht, anhand bekannter Grunddaten sämtliche restliche Kennwerte eines Motors zu berechnen, wobei ein bestimmter Motor als eine veränderliche Impedanz, die an ein System angeschlossen ist, dargestellt werden kann.

ОБЩАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕИЗВЕСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КРУПНЫХ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В статье обработан способ расчета неизвестных параметров и вероятных характеристик токов и моментов втечение разгона короткозамкнутого двигателя. Предложена математическая модель, при помощи которой могут быть на основании известных только основных данных расчитаны все остальные параметры двигателя, а определенный двигатель представляется в виде переменного импеданца, подключенного к системе.

Naslov pisaca:

Prof. dr Berislav Jurković, dipl. inž.
mr Drago Ban, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet, Zagreb

Energija God. 30 (1981) br. 7—8, 319—328

USPOREDBA TRANZISTORSKIH I TIRISTORSKIH PRETVARAČA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Nedžat P a š a l i ć, Zagreb

UDK 621.382.3:621.314.6

U članku se govori o razvoju poluvodičkih komponenata snage: bipolarnih i unipolarnih tranzistora, te konvencionalnih, asimetričnih i GTO tiristora. Dan je komparativni pregled aplikativnih svojstava tih komponenata i odgovarajućih statičkih pretvarača električne energije.

Ključne riječi: Pretvarači
Tranzistori
Tiristori
Poluvodiči

1. UVOD

U suvremenim izvedbama statičkih pretvarača električne energije uloga beskontaktne sklopke namijenjena je prije svega konvencionalnim tiristorima (SCR — silicon controlled rectifier). Od prvog upotrebljivog tiristora izrađenog 1955. godine, preko perioda intenzivnog razvoja 1962—1967. godine, kovencionalni tiristori su danas dostigli svoju »tehničku zrelost«. S obzirom na svoja svojstva [1,2,3,4,] i dostignute strujno-naponske karakteristike, u području velikih snaga tiristori ostaju i dalje bez konkurencije.

Nešto stariji član obitelji poluvodiča, bipolarni tranzistor, »rođen« 1948. godine, ostaje dugo u području vrlo malih snaga i prvenstveno linearnih režima rada. Energetski aspekti kod tranzistora donekle su zanemarivani u odnosu na informacione aspekte njegove primjene. Međutim, tehnološki napredak, ostvaren u toku proteklih nekoliko godina, učinio je i tranzistor elementom veze između informacione elektronike i komponenata elektrotehnike snage. U području snaga do nekoliko desetaka kilovata tranzistor snage postaje ozbiljan konkurent tiristoru. Pri tome, s obzirom na potrošnju snage i stupanj djelovanja, postaje interesantan isključivo rad u režimu sklopke (u klasi D). S poboljšanjem strujnih i naponskih karakteristika počinju dolaziti do izražaja neke prednosti tranzistora snage u odnosu na tiristore. Neke od tih prednosti posebno su značajne. Mogućnost brzog zapiranja preko upravljačke elektrode (baze), u svakom trenutku i pri opterećenju, čini preduvjet efikasnih aktivnih prekostrujnih zaštita. U koncepciji aktivne zaštite tranzistor štiti cijeli energetski krug štiteći sam sebe. Kod tiristora je u takvim situacijama nužno upotrijebiti dodatne sklopove za prisilnu komutaciju, a vrijeme isključenja je znatno duže (za red veličine i više). Velika brzina komutacije tranzistora snage omogućava povišene radne frekvencije praktički bez ikakvih posljedica s gledišta »zagađivanja« mreže. Povišene radne frekvencije rezultiraju značajnim uštedama u volumenu i težini nekih komponenata pretvarača (transformatora, filtra, itd.).

Cijena koja se plaća za prednosti tranzistorskih pretvarača energije odnosi se prije svega na složenost upravljačkih krugova i snagu upravljačkih signala u krugu baze tranzistora. Javljaju se i neki drugi problemi, specifični za tehnologiju tranzistorskih pretvarača.

Tranzistori snage počinju osvajati značajno mjesto i u sistemima upravljanja električnim strojevima, gdje se pojavljuju i u energetskim krugovima. Raniji pokušaji bili su ograničeni na vrlo skromne snage, do nekoliko desetaka ili stotina vata [5,6]. Godine 1971. tranzistori snage ($U_{CEO} = 140$ V, $I_C = 30$ A) su upotrijebljeni u sistemu regulacije brzine vrtnje istosmjernog valjačkog motora snage 2760 kW [7,8], i to u uzbudnom krugu uzbudnika glavnih generatora Ilgner-grupe.

S poboljšanjem strujnih, naponskih i dinamičkih karakteristika bipolarnih tranzistora snage počinje i intenzivniji rad na njihovoj upotrebi u energetskim krugovima električnih strojeva, o čemu svjedoči niz radova objavljenih 1974. godine. Radi se o serijskim i nezavisno uzbuđenim istosmjernim motorima, te o asinhronim motorima upravljanim frekvencijom.

Konkurencija tranzistora snage tiristorima naročito je oštra tamo gdje se nameće potreba za prisilnom komutacijom tiristora, tj. kod čopera i pretvarača frekvencije. Za daljnju ilustraciju neka posluži primjer reverzibilnog pogona s istosmjernim nezavisno uzbuđenim motorom i mrežnim napajanjem. Tiristorski pretvarač za takav pogon sadrži 12 tiristora (dva trofazna punoupravljiva mosta) s impulsnim uređajima, krugovima za sin-

hronizaciju impulsa, odgovarajućom logičkom jedinicom itd. Za elektromotorni pogon manje snage takva struktura je komplicirana i skupa. Pogon s tranzistorskim pretvaračem, koji sadrži ispravljač i četiri tranzistora u mosnom spoju, tehnički i ekonomski je prihvatljiviji. Odgovarajući mosni spoj s tiristorima zahtijeva elemente za prisilnu komutaciju.

Osim bipolarnih, svoje mjesto u pretvaračima električne energije zauzimaju i tranzistori snage s efektom polja (unipolarni, MOSFET-metal-oxide-semiconductor field-effect transistor, MOS). Razvijaju se i asimetrični tiristori (tiristori-diode) i tiristori s isključivanjem na upravljačkoj elektrodi (GTO--gate turn-off thyristor).

Razvoj poluvodičkih komponenata snage otvara nove mogućnosti u pretvorbi električne energije. U vezi s tim postavlja se i pitanje izbora, prednosti i nedostataka pojedinih pretvarača električne energije [9—14].

2. USPOREDBA BIPOLARNIH TRANZISTORA SNAGE I TIRISTORA

2.1. Prividna snaga

Prividna snaga sklopke definira se produktom maksimalno dozvoljenog napona u isključenom stanju i maksimalno dozvoljene struje u uključenom stanju. Ta snaga za brže tiristore iznosi oko 500 kW, a za tiristore najvećih snaga do nekoliko megavata. Konvencionalni tiristori su dostigli blokirane napone do 4 kV, a struje do 3,5 kA.

Prividna snaga bipolarnih tranzistora dostiže danas i sto kilovata. Razvijeni su dovoljno kvalitetni tranzistori za direktno (bez mrežnog transformatora) napajanje pretvarača naponom mreže 220 V ($U_{CEO} \geq 400$ V). Pojavljuju se i tranzistori zadovoljavajućih strujnih i dinamičkih karakteristika za direktni priključak na ispravljeni napon mreže 380 V ($U_{CEO} \geq 700$ V), kao i za čopere za napajanje istosmjernim naponom 750 V u električnoj vuči ($U_{CEO} = 1\,000$ V). Dostignute karakteristike bipolarnih tranzistora snage ilustrirane su tablicom 1. Vremena komutacije, za koja inače treba precizno definirati uvjete, dana su orijentaciono.

Tablica 1.
Naponsko-strujne i dinamičke karakteristike bipolarnih tranzistora snage

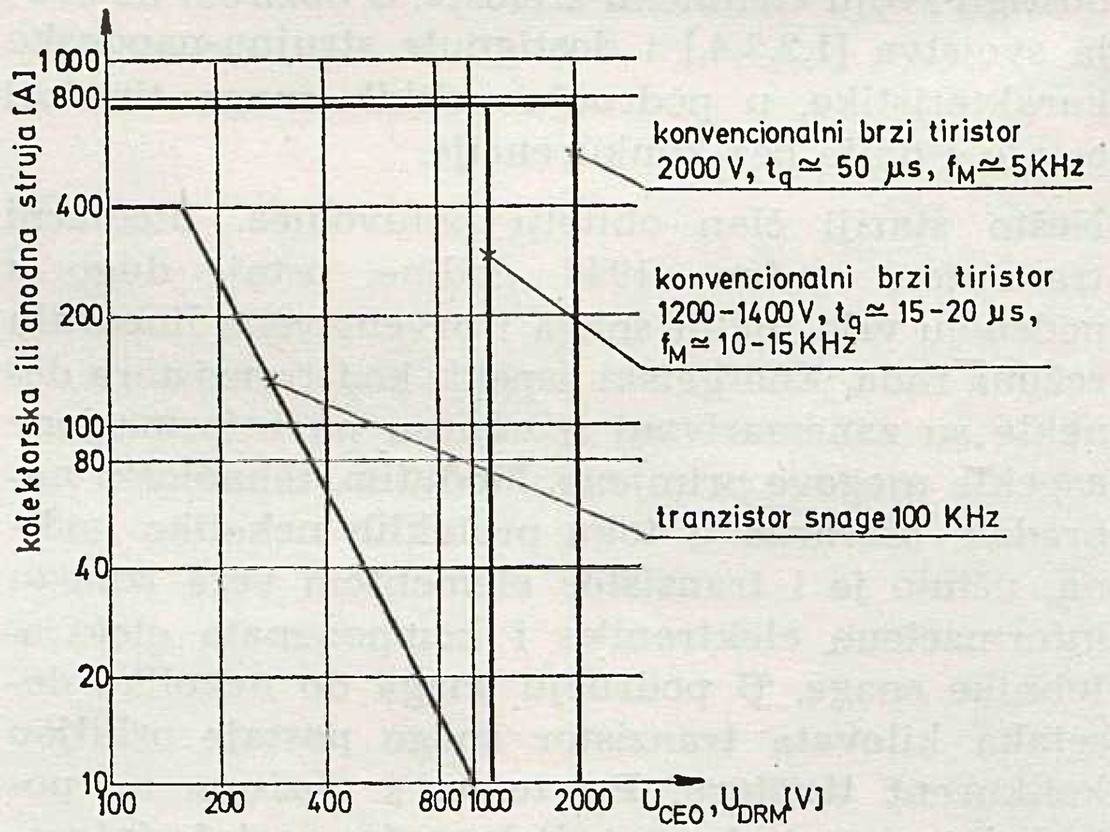
Tipska oznaka	Proizvođač	U_{CEO}	I_C	t_{isk}
ESM4014	Thomson-CSF	400 V	90 A	$t_f = 1$ μs
ZN6590	RCA	450 V	10 A	0,5 μs
D60T-506010	Westinghouse	500 V	60 A	0,5 μs
WT 5700	Westcode	500 V	200 A	1,5 μs
ESM 4016	Thomson-CSF	600 V	40 A	$t_f = 2$ μs
ESM 4017	Thomson-CSF	700 V	35 A	$t_f = 2$ μs
D60T-801510	Westinghouse	800 V	15 A	0,5 μs

2.2. Brzina komutacije

Tiristori su sporiji od tranzistora. Kod vrlo brzih tiristora, kojima probojni naponi iznose do oko 600 V, vrijeme oporavljanja iznosi oko 10 μs. Kod srednje brzine tiristora, s dozvoljenim naponima do oko 1 200 V, vrijeme oporavljanja iznosi oko 20 μs. Vrijeme oporavljanja standardnih industrijskih tipova iznosi oko 100 μs, a najsnažnijim tiristorima do oko 500 μs. Radna frekvencija tiristorskih pretvarača ograničena je ne samo vremenom oporavljanja, nego i vremenom potrebnim za nabijanje kondenzatora u sklopu za prisilnu komutaciju. Radne frekvencije tiristorskih pretvarača iznose obično od nekoliko stotina herca do nekoliko kiloherca. U pretvaračima za indukciono grijanje radne frekvencije iznose 1-10 kHz [13].

Vremena komutacije bipolarnih tranzistora snage iznose oko 1 μs. Ispravnim upravljačkim signalima vremena komutacije mogu se smanjiti i nekoliko puta (npr. vrijeme zadržavanja t_s pomoću antisaturacionih metoda). Na veličinu maksimalne radne frekvencije tranzistorskih pretvarača utječu i vremenske konstante sklopova za poboljšanje uvjeta komutacije. Radne frekvencije tranzistorskih pretvarača iznose do nekoliko desetaka (i do sto) kiloherca.

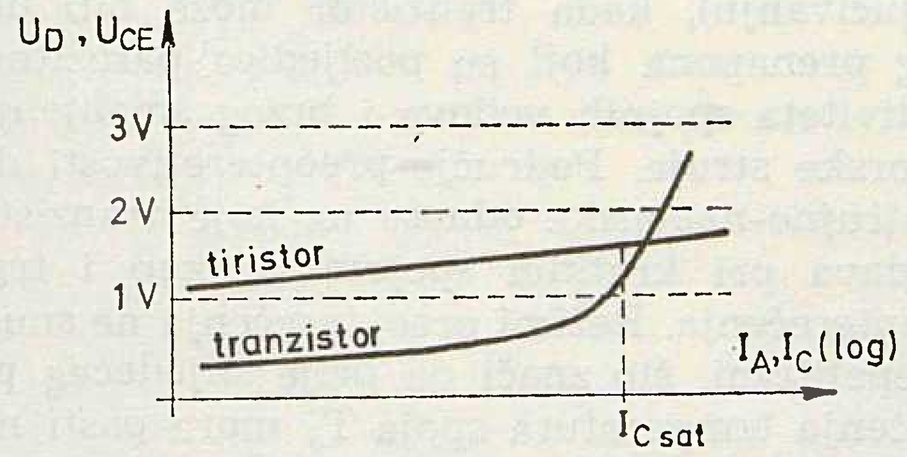
Neke dinamičke karakteristike bipolarnih tranzistora snage unesene su u tablicu 1. Na slici 1. [15] ilustrirane su naponsko-strujne i dinamičke karakteristike tranzistora snage i brzih tiristora.



Sl. 1. Ilustracija dostignutih naponsko-strujnih i dinamičkih karakteristika brzih konvencionalnih tiristora i tranzistora snage

2.3. Pad napona u stanju vođenja

Padovi napona u uključenom stanju kvalitativno su predočeni na slici 2. Pad napona na tiristoru ne ovisi mnogo o nivou struje i mijenja se po zakonu slično kao kod dioda: $U_D \cong 1{,}1$ V + R′I. Pri nominalnoj struji je R′I ≅ 0,5 V. Kod tranzistora (s jednakom nominalnom vrijednosti struje), pri odgovarajućoj struji baze, napon U_{CE} je pri malim vrijednostima kolektorske struje niži (praktički

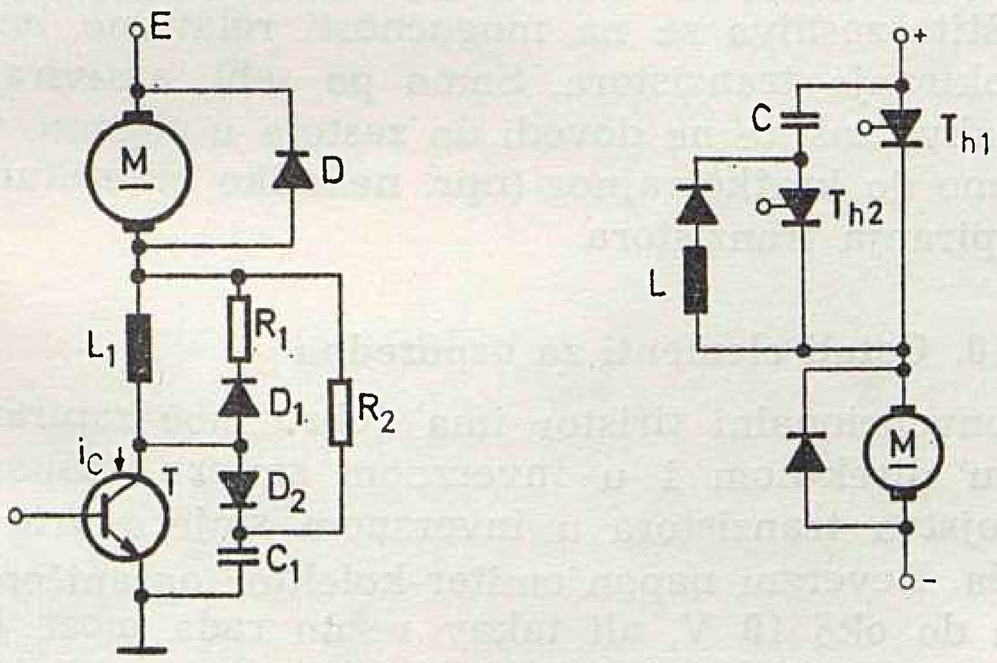


Sl. 2. Kvalitativni prikaz padova napona na tiristoru i tranzistoru u uključenom stanju

minimum oko 0,4 V). Pri nominalnim strujama padovi napona približno su jednaki. S porastom struje iznad nominalne pad napona na tranzistoru brzo raste i veći je nego na tiristoru. Inače, napon zasićenja na tranzistoru povećava se s povećanjem probojnog napona tranzistora.

2.4. **Utrošak snage uslijed komutacije**

Na slici 3.a dana je shema tranzistorske sklopke s jednim od uobičajenih sklopova za poboljšanje uvjeta komutacije. Prednosti koje se postižu upotrebom takvih sklopova su višestruke [16—25].



Sl. 3. Shema tranzistorske (a) i tiristorske istosmjerne (b) sklopke

Jedna od ključnih je smanjenje vršne i srednje snage utrošene zbog komutacije tranzistorske sklopke. Velik dio gubitaka komutacije prenosi se na dodatne pasivne elemente, a ukupni gubici komutacije mogu biti manji nego u slučaju tranzistorske sklopke bez dodatnog sklopa. Za različite primjene razrađene su različite varijante sklopova za poboljšanje uvjeta komutacije.

Na slici 3.b dana je shema tiristorske sklopke s jednim od uobičajenih sklopova za prisilnu komutaciju (s pomoćnim tiristorom T_{h2} i titrajnim LC krugom). Dimenzije pasivnih komponenti sklopa za prisilnu komutaciju proporcionalne su vremenu oporavljanja tiristora i maksimalnoj struji opterećenja [2]. Sklopovi za prisilnu komutaciju utječu na povećanje cijene, volumena i težine pretvarača. Gubici energije pri komutaciji su značajni. U [11] se navodi primjer istosmjernog pretvarača (čopera) 100 A, 72 V, f = 2 kHz. Ako je izveden s tranzistorskom sklopkom, gubici zbog komutacije iznose 10 W, dok u slučaju tiritorske sklopke ti gubici iznose 200 W.

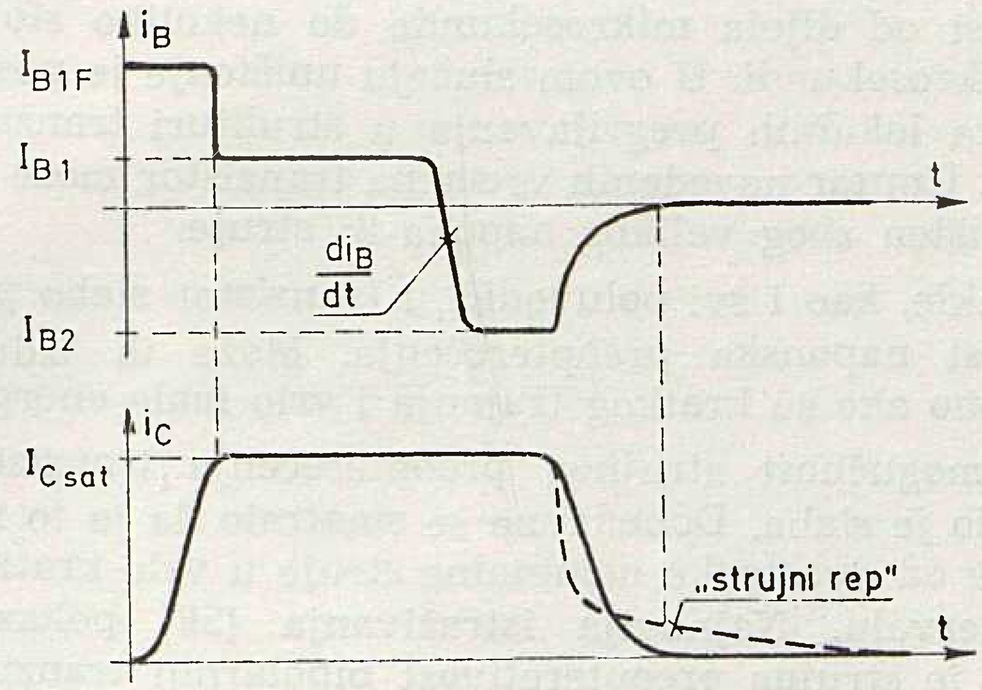
2.5. **Snaga upravljačkih signala**

Uključivanje tiristora postiže se signalom zanemarivo male snage. Uključenom tranzistoru treba osigurati trajnu struju baze, koja može iznositi čak jednu petinu kolektorske struje, pa snaga utrošena na upravljanje iznosi 0,1—0,2% prividne snage.

2.6. **Upravljački krugovi**

Upravljački impulsi kod tiristora su jednostavniji. Za uključenje tiristora dovoljno je na upravljačku elektrodu dovesti kratkotrajni impuls male snage.

Osim ovisnosti $i_B = f(i_C,\beta)$, kojom se kod tranzistora postiže ispravno zasićenje u uključenom stanju, potrebno je pri uključivanju i isključivanju osigurati pravilno forsiranje strujom baze, kao i odgovarajuću nepropusnu polarizaciju baze isključenog tranzistora. Strujni valni oblici pri ispravnom upravljanju tranzistorskom sklopkom ilustrirani su na slici 4. Brzina promjene di_B/dt struje baze pri



Sl. 4. Oblici struje baze i kolektorske struje pri ispravnom upravljanju tranzistorskom sklopkom

isključivanju tranzistora treba biti ograničena. Ako se to ne osigura, može se produžiti tok kolektorske struje (»strujni rep«) i uzrokovati značajno zagrijavanje tranzistora [10, 16, 22, 26]. Ispravnost upravljačkih signala vrlo je važna za pouzdan rad tranzistora. Bez obzira na svoju složenost, upravljački krugovi ne utječu znatnije na cijenu pretvarača, jer se radi o komponentama male snage.

2.7. **Osjetljivost na smetnje**

S obzirom na trajnu struju baze uključenih tranzistora i nepropusnu polarizaciju baze isključenih tranzistora, tiristori su izloženi većem riziku od incidentnih uključenja zbog parazitnih impulsa. Gradijenti du_{CE}/dt, koji se iskazuju zbog djelovanja energetskog na upravljački krug preko parazitnog kapaciteta C_{bc}, praktički ne utječu na pona-

šanje tranzistora. Uvjet je ispravno upravljanje tranzistora i prisutnost sklopova za poboljšanje uvjeta komutacije [12, 26, 27, 28]. Prebrz porast napona kod tiristora uzrokuje njihovo neželjeno uključivanje.

S druge strane, treba imati u vidu da s povećanjem radne frekvencije sve više dolaze do izražaja parazitni efekti komponenata i vodova. U tom se smislu, te zbog brzih promjena napona i struja, naglašava problem elektromagnetskih smetnji kod tranzistorskih pretvarača.

2.8. **Osjetljivost na preopterećenja**

Tiristor ne podnosi nikakve prenapone (blokirnog napona), jer prekoračenje napona prekretanja uzrokuje uključivanje tiristora. Mogućnost kratkotrajnog strujnog preopterećenja, definirana udarnom strujnom preopteretivošću tiristora, relativno je velika (npr. i do 20-erostruke nominalne struje).

Tranzistor je »nježnija« komponenta od tiristora. Izlazak radne točke tranzistora izvan područja sigurnog rada dovodi do kvarenja karakteristika ili uništenja tranzistora. Ovisno o tipu tranzistora, nivou struje i napona, eventualnim defektima u strukturi i sl., vrijeme unutar kojeg dolazi do uništenja tranzistora zbog sekundarnog proboja iznosi od dijela mikrosekunde do nekoliko stotina mikrosekundi. U ovom slučaju uništenje je posljedica lokalnih pregrijavanja u strukturi tranzistora. Unutar navedenih vremena tranzistor može biti uništen zbog velikog napona ili struje.

Dakle, kao i svi poluvodiči, i tranzistor slabo podnosi naponska preopterećenja. Može ih izdržati samo ako su kratkog trajanja i vrlo male energije.

I mogućnost strujnog preopterećenja tranzistora vrlo je slaba. Donedavno se smatralo da je to manje od dvostruke nominalne struje u vrlo kratkom intervalu. Najnovija istraživanja [29] pokazuju da je strujna preopteretivost bipolarnih tranzistora ipak nešto veća. Uz područje sigurnog rada, prema rezultatima tih istraživanja, treba uvesti i koncepciju »područja preopteretivosti« (l'aire de surcharge accidentelle).

Struja kratkog spoja raste brzinom određenom naponom napajanja i parazitnim induktivitetima spojnih vodova (te prigušnicom L_1, slika 3.a). Stacionarna vrijednost struje kratkog spoja određena je strujom baze i faktorom β (podatke o tom faktoru u ovim uvjetima proizvođači tranzistora ne daju u katalоškim podacima). Pri tome je napon U_{CE} jednak naponu napajanja E, pa se na tranzistoru troši velika snaga. Prema [29], tranzistor ovakve režime može izdržati i nekoliko desetaka mikrosekundi, što je i te kako dovoljno za aktiviranje elektroničke (aktivne) prekostrujne zaštite i blokadu tranzistora. Ispitivanja su izvršena [29] s tranzistorom BUX48 (firme Thomson-CSF, $U_{CEO} = 400$ V, $I_C = 15$ A, $I_{CM} = 30$ A). Pokazalo se da ga je moguće kratkotrajno opteretiti strujom i do 50 A. Opasna je faza prekida struje kratkog spoja (pri isključivanju), kada tranzistor može biti uništen zbog prenapona koji su posljedica parazitnih induktiviteta spojnih vodova i brzog smanjenja kolektorske struje. Područje preopteretivosti definira strujno-naponske odnose uz koje tranzistor ne stradava pri kratkim spojevima, kao i trajanje preopterećenja. Režimi preopterećenja ne smiju biti repetitivni, što znači da prije slijedećeg preopterećenja temperatura spoja T_J mora pasti na početnu vrijednost (npr. ispod 125 °C). Nadalje, treba voditi brigu o termičkom zamoru, tj. o ukupnom broju ciklusa preopterećenja [30, 31]. U konkretnom slučaju, s tranzistorom BUX48, taj broj ne smije biti veći od 3 000 [29].

2.9. **Zaštita od strujnih preopterećenja**

Ograničenje strujnih preopterećenja i struja kratkog spoja kod tiristora postiže se vanjskim elementima (brzim osiguračima), pa u takvim slučajevima tiristor ispada iz pogona.

Velika je prednost tranzistora u činjenici da je uvijek aktivan. Detektiranje strujnog preopterećenja efikasno se postiže mjerenjem napona u_{CE} i detekcijom prelaza radne točke tranzistora iz područja bliskog granici zasićenja u aktivno područje [12, 18, 32]. Koncepcija aktivne prekostrujne zaštite zasniva se na mogućnosti relativno brzog blokiranja tranzistora. Samo po sebi, aktiviranje ovakve zaštite ne dovodi do zastoja u pogonu, već samo do kratkotrajnog (npr. nekoliko milisekundi) zapiranja tranzistora.

2.10. **Ostali elementi za usporedbu**

Konvencionalni tiristor ima dobru moć zapiranja i u direktnom i u inverznom smjeru. Zaporna svojstva tranzistora u inverznom smjeru vrlo su loša. Reverzni napon emiter-kolektor ograničen je na do oko 10 V, ali takav režim rada može biti opasan za tranzistore.

U stanju zapiranja potrošnja snage zanemarivo je mala i na tiristoru i na tranzistoru.

U sredinama s ionizirajućim zračenjima stanovitu prednost ima tranzistor [11].

Dok strujnu preopteretivost tiristora proizvođači definiraju, takvih podataka za tranzistore nema. Maksimalna trajno dozvoljena struja tranzistora veća je od maksimalne struje zasićenja I_{csat}, za koju se garantiraju maksimalni napon zasićenja U_{CEsat} pri danoj struji baze, kao i vremena komutacije. Za pouzdan rad tranzistora tu maksimalnu struju I_{Csat} treba shvatiti kao »nominalnu«, koja se smije prekoračiti samo kratkotrajnim strujnim šiljcima pri uključivanju (i tada treba osigurati uvjet $i_C < I_{CM}$). Prekoračenje »nominalne« kolektorske struje općenito vodi na prevelike struje baze s obzirom na smanjenje faktora β. S druge strane, nije opravdan nikakav faktor sigurnosti u odnosu na »nominalnu« struju.

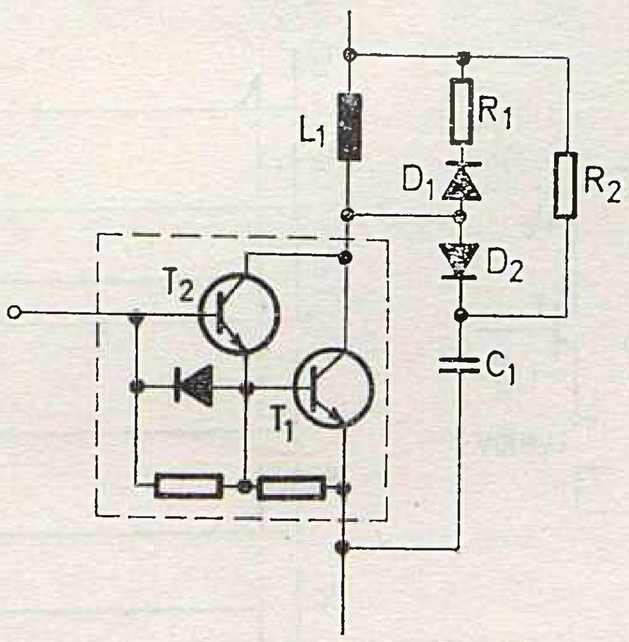
S povišenjem naponske klase tranzistora smanjuje se faktor β, a osim cijene povećavaju se i vreme-

na komutacije. Prema tome, povećanje faktora sigurnosti s obzirom na napon plaća se nemalom cijenom. Prema [19, 33, 34], taj faktor sigurnosti ne treba biti veći od 1,3. Zaštita od prenapona s mrežne strane, kod pretvarača priključenih neposredno na mrežu, postiže se pomoću sklopova za poboljšanje uvjeta komutacije, eventualno kombiniranih s aktivnom zaštitom (ostvarenom npr. pomoću tiristora).

Korisnici prigovaraju da su, osim izuzetaka u novije vrijeme, kataloški podaci proizvođača tranzistora snage »frizirani« i neprilagođeni potrebama korisnika. Tako se npr. niz garantiranih podataka specificira za temperaturu kućišta od 25 °C, što je sasvim nerealna radna temperatura. Karakteristike ovisnosti parametara o temperaturi odnose se na tipične vrijednosti, a poznato je veliko rasipanje tranzistorskih parametara. Faktor strujnog pojačanja β često se definira uz napon $U_{CE} = 5$ V. S obzirom na veliku utrošenu snagu takav se napon na uključenoj tranzistorskoj sklopki ne može dopustiti. Maksimalna vremena komutacije garantiraju se uz temperaturu kućišta od 25 °C i radno opterećenje, što nisu realni radni uvjeti. Već je rečeno da se ne daju potrebne specifikacije uz maksimalnu trajnu kolektorsku struju, a pogotovo ne za režime preopterećenja.

3. NEKE SPECIFIČNOSTI DARLINGTONA SNAGE

Na slici 5. dana je shema sklopke s monolitnim Darlingtonom snage i dodatnim sklopom za poboljšanje uvjeta komutacije. Pri *uključivanju*, najprije proradi pomoćni tranzistor T_2, a tek nakon toga moguće je uključivanje glavnog tranzistora T_1. Prema tome, sva struja opterećenja u početku poteče kroz pomoćni tranzistor T_2, što za njega



Sl. 5. Primjer sklopke s monolitnim Darlingtonom snage

može predstavljati preveliko strujno opterećenje. I ovdje dolazi do izražaja vrlo povoljno djelovanje dodatne zavojnice L_1, koja ograničava brzinu porasta kolektorske struje i tako ublažava strujno opterećenje pomoćnog tranzistora.

Kod Darlingtona, prema slici 5, nemoguće je postići uvjet granice područja zasićenja $U_{CB} = 0$ glavnog tranzistora jer je taj napon jednak naponu U_{CE} pomoćnog tranzistora. Prema tome, napon U_{CEsat} veći je kod Darlingtona nego kod običnih tranzistora snage, pa je veća i snaga P_{sat}. Približenje uvjetu $U_{CB} = 0$ moguće je dubokim zasićenjem tranzistora T_2, ali se na taj način produžava vrijeme zadržavanja t_s. Budući da glavni tranzistor T_1 nije nikada u zasićenju, ukupno vrijeme zadržavanja određeno je prvenstveno vremenom zadržavanja pomoćnog tranzistora.

Isključivanje tranzistora T_2 odvija se pri vrlo malom naponu, jer je tada još uključen tranzistor T_1, pa su gubici isključivanja na pomoćnom tranzistoru vrlo maleni. Nakon isključivanja tranzistora T_2 cijela kolektorska struja teče kroz glavni tranzistor, sve dok i on ne bude isključen. Dodatno strujno opterećenje glavnog tranzistora to veće je što je pomoćni tranzistor bio dublje u zasićenju. Dioda spojena između baze i emitera tranzistora T_2 ne eliminira dodatno strujno opterećenje glavnog tranzistora pri isključivanju, jer sve dok je tranzistor T_2 u zasićenju, njegov napon baza-emiter je pozitivan i dioda nepreopusno polarizirana.

Za razliku od uključivanja, kada tranzistor T_2 pojačava struju I_{B1}, pri isključivanju nema nikakvog pojačanja negativne struje baze struje I_{B2} (v. sliku 4).

S obzirom na dva P—N spoja baza-emiter u seriji, napon U_{BEsat} veći je kod Darlingtona nego kod običnih tranzistora snage.

Zbog relativno velikog faktora β, efekt du_{CE}/dt naglašeniji je kod Darlingtona nego kod običnih tranzistora. Zato je kod Darlingtona još veće značenje zaporne polarizacije baze u isključenom stanju, kao i ograničenje brzine porasta kolektorske struje dodatnom zavojnicom L_1.

U tablici 2. dani su neki podaci koji ilustriraju dostignute karakteristike monolitnih Darlingtona snage.

Iz prethodnih napomena proizlazi da se dobici u faktoru strujnog pojačanja i kompaktnosti uređaja, postignuti Darlingtonima snage, plaćaju određenim nedostacima u statičkim i dinamičkim karakteristikama sklopki [35, 36, 37, 38]. Postoje i nešto modificirane izvedbe Darlingtona, kod kojih su neki od navedenih nedostataka ublaženi.

Tablica 2.

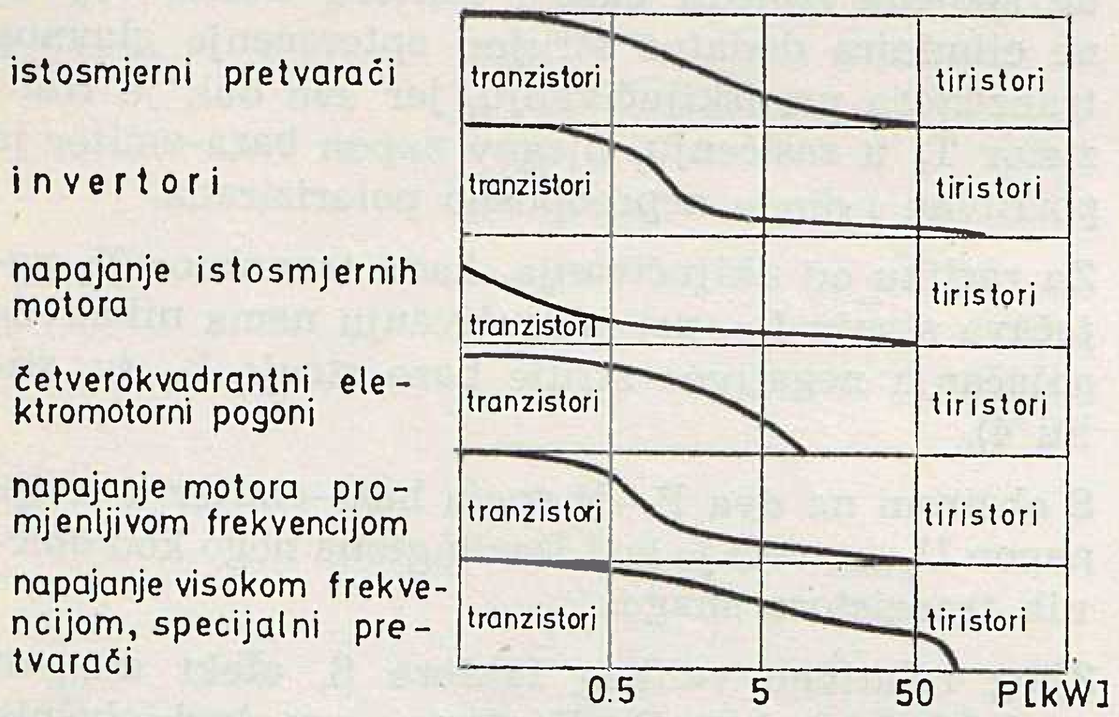
Karakteristike monolitnih Darlingtona snage

Tipska oznaka	Proizvođač	U_{CEO}	I_C	β	t_{isk}
25 D 698	Toshiba	200 V	600 A		3 μs
D 67 DE	General Electric	450 V	100 A	(I_C = 100 A) > 75	3 μs
25 D 548	Toshiba	450 V	120 A		5 μs
PTC 7003	PTC	500 V	50 A		1 μs
BUT 35	Motorola	700 V	24 A		1,2 μs
ET 109	FUJI	1 000 V	50 A	> 50 (I_C = 50 A)	2 μs

4. TRANZISTORSKI I TIRISTORSKI PRETVARAČI ELEKTRIČNE ENERGIJE

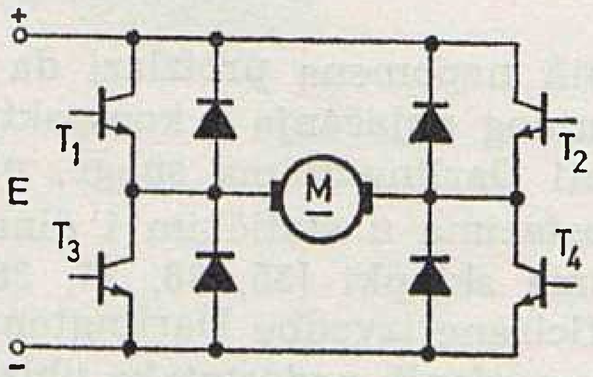
Iz prethodnih razmatranja proizlazi da tiristor ima znatne prednosti u stanju vođenja: jednostavne upravljačke signale, nema potrošnje energije u upravljačkom krugu, podnosi velika strujna preopterećenja, a cijena mu je umjerena. Jedina prednost tranzistora u stanju vođenja jest niži pad napona. S druge strane, osim u slučajevima prirodne komutacije, tranzistor ima velike prednosti s obzirom na funkciju isključivanja: brzinu, mogućnost aktivne prekostrujne zaštite i male gubitke komutacije.

Značaj pojedinih svojstava tiristori i tranzistora u konkretnim slučajevima određuje i strukturu pretvarača električne energije. Današnje stanje primjene pojedinih pretvarača u karakterističnim područjima ilustrirano je slikom 6 [14].



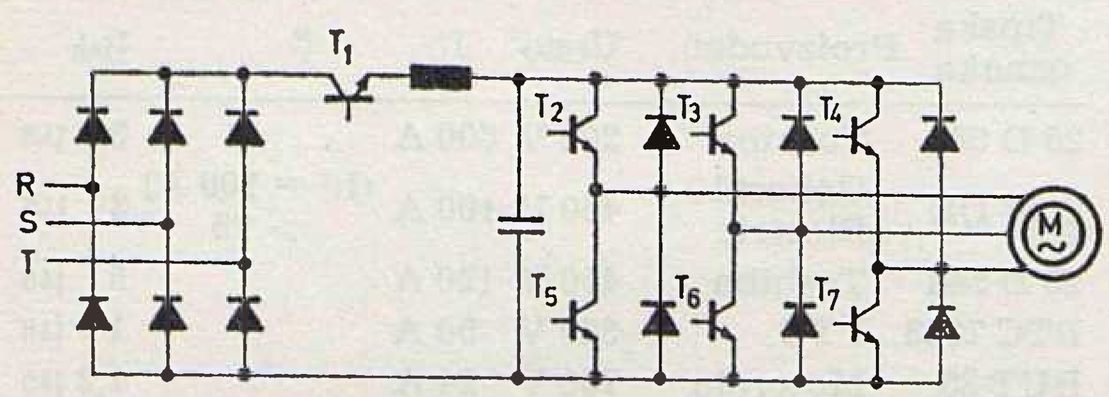
Sl. 6. Ilustracija područja primjene i snaga tranzistorskih i tiristorskih pretvarača

Za ilustraciju je na slici 7. dana shema reverzibilnog istosmjernog elektromotornog pogona. Simultano se upravljaju parovi tranzistora T_1-T_4 i T_2-T_3, a odnosi vremena vođenja i zapiranja određuju smjer vrtnje.



Sl. 7. Shema reverzibilnog istosmjernog elektromotornog pogona

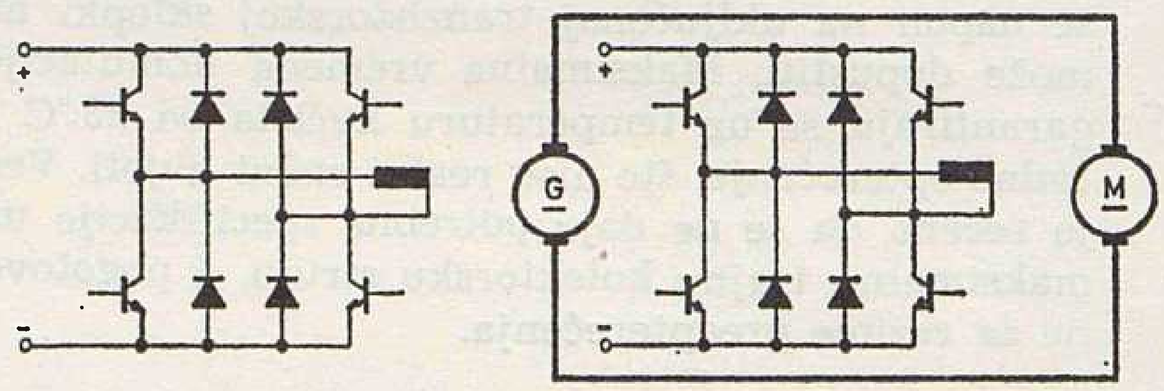
Na slici 8. dana je shema izmjeničnog elektromotornog pogona s trofaznim asinhronim kaveznim motorom upravljanim frekvencijom. Izvor istosmjernog napona napajanja jest mrežni ispravljač ili baterija. Amplituda trofaznog izmjeničnog napona podešava se pomoću tranzistora T_1, koji radi kao čoper s povišenom radnom frekvencijom (do nekoliko kiloherca). Tranzistori T_2-T_7 čine izmjenjivač (invertor), pomoću kojeg se formira trofazni napon i podešava frekvencija napona napajanja asinhronog motora.



Sl. 8. Shema izmjeničnog elektromotornog pogona s asinhronim motorom upravljanim frekvencijom

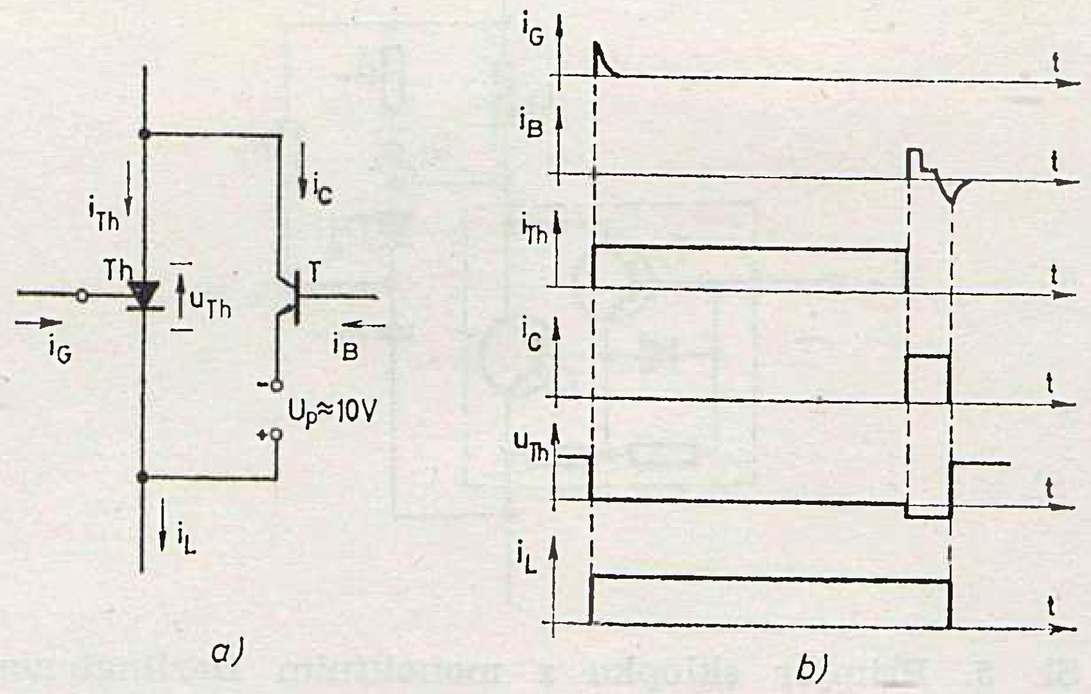
U pogonima prema slikama 7. i 8. mogu se umjesto tranzistorskih koristiti i tiristorski pretvarači.

Princip rješenja kombiniranog upravljanja četverokvadratnog pogona s istosmjernim motorom u Ward-Leonardovoj grupi ilustriran je na slici 9 [39]. Promjena smjera brzine vrtnje postiže se naponom armature. Mosnim spojem tranzistora u uzbudnom krugu motora omogućavaju se forsirane promjene uzbudne struje motora, tj. ubrzanje prijelaznih procesa.

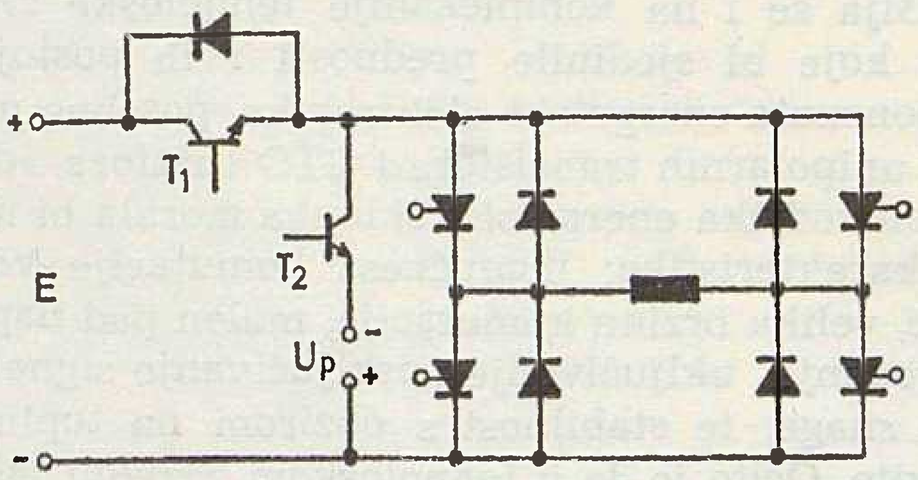


Sl. 9. Shema kombiniranog upravljanja četverokvadratnog pogona s istosmjernim motorom u Ward-Leonardovoj grupi

U novije vrijeme uočavaju se nastojanja da se u statičkim pretvaračima sjedine prednosti tiristorske sklopke pri vođenju i tranzistorske sklopke pri isključivanju, tj. da se grade hibridni pretvarači električne energije [14]. Primjer izvedbe hibridne sklopke dan je na slici 10.a, a princip njezina rada ilustriran je na slici 10.b. Prisilna komutacija tiristora postiže se pomoću tranzistora. Prednosti ovakvog rješenja dolaze do izražaja ne toliko kod pojedinačne sklopke koliko u složenijim pretvaračima. Primjer takvog pretvarača je jednofazni invertor, čija je shema dana na slici 11. Tranzistor T_1 ima funkciju čopera (s regulacijom) i zaštite.

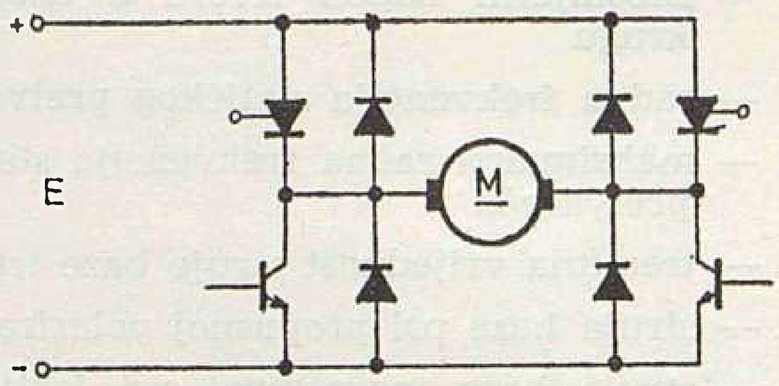


Sl. 10. Shema hibridne sklopke (a) i ilustracija principa rada (b)



Sl. 11. Shema jednofaznog hibridnog invertora

Tranzistor T_2 omogućava isključenje sva četiri tiristora, pa nisu potrebni dodatni sklopovi za prisilnu komutaciju. Hibridni pretvarač za reverzibilni istosmjerni pogon prema slici 12, u kojem



Sl. 12. Shema hibridnog pretvarača za reverzibilni istosmjerni elektromotorni pogon

nisu potrebni dodatni sklopovi za prisilnu komutaciju tiristora, ekonomičnije je rješenje od pretvarača prema slici 7.

5. ASIMETRIČNI I GTO TIRISTORI

Asimetričnom strukturom tiristora, uz smanjene zaporne napone (na oko 10—20 V), postižu se bolje dinamičke karakteristike i manji gubici komutacije uz relativno velike blokirne napone. Zbog smanjenih gubitaka komutacije i s njima vezanih termičkih naprezanja moguće je postići znatno više radne frekvencije. Prikladno područje primjene asimetričnih tiristora jesu čoperi i invertori, u kojima su efektivni radni zaporni naponi ograničeni antiparalelno spojenim diodama (v. npr. slike 7. i 8). Daljnje poboljšanje dinamičkih svojstava asimetričnih tiristora postiže se poboljšanim upravljačkim signalima, tj. negativnim naponom upravljačke elektrode u fazi isključivanja tiristora (GATT — gate assisted turn-off thyristor) [15].

Dostignute karakteristike asimetričnih tiristora mogu se ilustrirati dvama primjerima. Firma Thomson-CSF proizvodi asimetrični tiristor TIA 028 za rad na frekvencijama i iznad 20 kHz, s $U_{DRM} = 1\,200$ V. Vršna vrijednost struje pri sinusnom poluvalu frekvencije 20 kHz iznosi 250 A, a vrijeme oporavljanja 7 μs. Asimetrični GATT tiristor CA 386 PD firme General Electric ima maksimalni blokirni napon 1 400 V, maksimalni repetitivni zaporni napon 10 V, dozvoljenu vršnu vrijednost struje (uz uvjete kao i u prethodnom primjeru) 200 A, a vrijeme isključivanja 10 μs.

Razvoj GTO tiristora odvijao se sporije nego što se to u jednoj fazi očekivalo. Uključivanje GTO tiristora postiže se jednostavno, kao i u slučaju konvencionalnog tiristora. Pri isključivanju treba osigurati odgovarajuću negativnu struju upravljačke elektrode [40]. Mogućnost strujne preopterećivosti mnogo je veća nego kod bipolarnih tranzistora.

Za ilustraciju dostignutih karakteristika mogu se navesti dva tipa GTO tiristora firme Hitachi. Tip GFP450A8, s $U_{DRM} = 800$ V i $I_{TCM} = 450$ A, ima vrijeme uključenja 3 μs i vrijeme isključenja 5 μs. Tip GFF90B12, s $U_{DRM} = 1\,200$ V i $I_{TCM} = 90$ A, ima vrijeme uključenja 4 μs. i vrijeme isključenja 4,5 μs.

6. TRANZISTORI SNAGE S EFEKTOM POLJA

Kao što je poznato, za rad bipolarnih tranzistora bitni su i manjinski i većinski nosioci struje, dok se struja kroz kanal tranzistora s efektom polja sastoji praktički isključivo od većinskih nosilaca [1, 41]. Zato se, za razliku od bipolarnih, tranzistori s efektom polja zovu i unipolarni tranzistori. Upravo zbog prisutnosti manjinskih nosilaca vrijeme zadržavanja t_s bipolarnih tranzistora uvijek je konačno. Budući da je to vrijeme veće od drugih vremena prijelaznog procesa (od mrtvog vremena, vremena porasta i vremena pada), ono ima najveći utjecaj na brzinu komutacije, odnosno na maksimalnu radnu frekvenciju sklopke s bipolarnim tranzistorom.

Proizvodnja MOS tranzistora snage počela je u periodu 1975—1976. Ovisno o izvedbi i proizvođaču danas se susrećemo razne komercijalne oznake: VMOS, HEXFET, SIPMOS, VFET, TMOS, DMOS, ZMOS i JFET, [42, 43].

Orijentaciono se može reći da je vrijeme komutacije MOS tranzistora za red veličine manje od vremena komutacije bipolarnih tranzistora. Radne frekvencije pretvarača s MOS tranzistorima snage iznose i do nekoliko stotina kiloherca [44, 45].

Osim veće brzine komutacije, MOS tranzistori imaju i drugih prednosti u odnosu na bipolarne tranzistore [46]. Brzina komutacije povezana je i s odsutnošću efekta vremena zadržavanja. MOS tranzistori se mogu tretirati kao naponski upravljane komponente, dok su bipolarni tranzistori strujno upravljane komponente. S tim je u vezi i velika ulazna impedancija MOS tranzistora, odnosno veliki faktor pojačanja snage. Snaga ulaznog signala vrlo je malena. MOS tranzistori nemaju efekta sekundarnog proboja. Jednostavniji su zahtjevi na upravljačke signale. Jednostavnije se postiže paralelni rad. Ulaz im je kompatibilan s TTL i MOS logičkim sklopovima.

Najveći nedostatak MOS tranzistora snage u odnosu na bipolarne jest velik otpor između uvoda (source) i odvoda (drain) u uključenom stanju $R_{DS(on)}$, pa je i potrošnja snage pri vođenju velika. Po naponsko-strujnim karakteristikama MOS tranzistori nisu dostigli bipolarne. Dok današnje svjet-

sko tržište nudi bogat izbor bipolarnih tranzistora po snazi, naponu, struji, brzini komutacije itd., ponuda MOS tranzistora snage mnogo je skromnija. Nadalje, MOS tranzistori mnogo su skuplji od bipolarnih: otprilike tri do deset puta za jednaku nominalnu snagu.

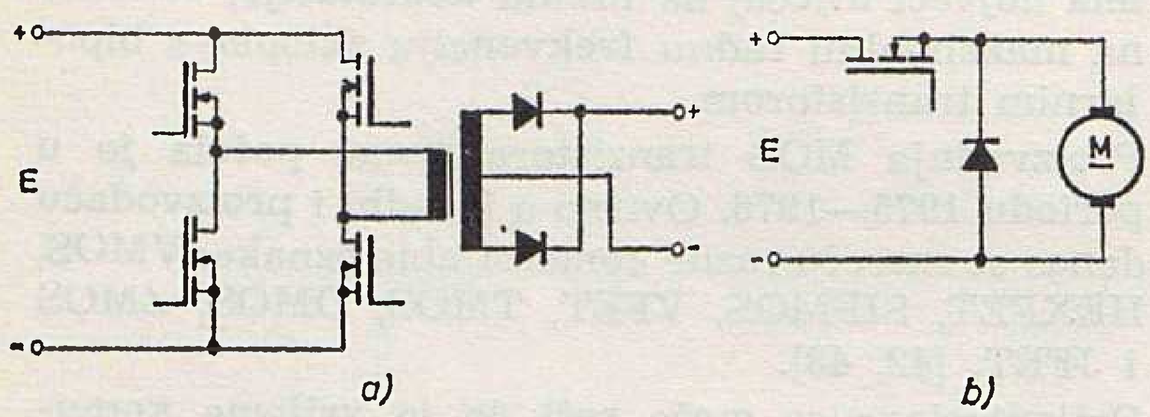
Dostignuća u karakteristikama unipolarnih tranzistora ilustriraju podaci dani u tablici 3. Dok proizvođači bipolarnih tranzistora snage najavljuju tipove s kraćim vremenima komutacije, proizvođači MOS tranzistora snage najavljuju povišenje probojnih napona i sniženje cijene, te veliku ofenzivu tih tranzistora.

Tablica 3.

Karakteristike MOS tranzistora snage

Tipska oznaka	Proizvođač	U_{DS}	I_D	$R_{DS(on)}$	t_{isk}
BUZ 15	Siemens	50 V	30 A	0,3 Ω	
VN 4 000 A	Siliconix	400 V	8 A	1 Ω	< 100 ns
2 SK 278	NEC	400 V	10 A		10 ns
VN 0450	Supertex	500 V	12 A	0,6 — 0,9 Ω	250 ns
BUZ 54	Siemens	1 000 V	5 A	2 Ω	

Danas se s MOS tranzistorima snage grade pretvarači do nekoliko kilovata, prvenstveno do 1 kW. Primjeri takvih pretvarača ilustrirani su na slici 13.



Sl. 13. Shema istosmjernog pretvarača (a) i istosmjernog elektromotornog pogona (b) s MOS tranzistorima snage

7. ZAKLJUČAK

Velik napredak u proizvodnji poluvodičkih komponenata snage pruža nove mogućnosti u pretvorbi električne energije. Svaki od poluvodičkih ventila ima svoje prednosti i nedostatke.

Što se tiče konkurencije konvencionalnih tiristora i bipolarnih tranzistora snage, ne može se općenito dati prednost ni jednoj vrsti pretvarača. Određene prednosti tranzistora u području snaga do nekoliko desetaka kilovata mogu se u konkretnim slučajevima izgubiti. Odluka o izboru rješenja ovisi o konkretnim zahtjevima i ograničenjima, pouzdanosti, cijeni, dimenzijama, težini uređaja, potrebi vraćanja energije u mrežu itd.

Hibridni pretvarači električne energije put su prema komplementiranju, a ne konfrontaciji dobrih svojstava tiristora i tranzistora. U takvim pretvaračima koriste se prednosti tiristora u funkciji vođenja i prednosti tranzistora u funkciji isključivanja.

Pomišlja se i na kompleksnije tehnološke strukture, koje bi sjedinile prednosti svih postojećih komponenata energetske elektronike, posebno prednosti unipolarnih tranzistora i GTO tiristora. Idealna poluvodička energetska sklopka morala bi imati ove karakteristike: mogućnost komutacije velike snage, veliku brzinu komutacije, malen pad napona pri vođenju, uključivanje i isključivanje signalima male snage, te stabilnost s obzirom na toplinu i parazite. Očito je da u tehnološkom razvoju takvih prekidača ostaje još mnogo posla.

POPIS OZNAKA

C_{bc}	— kapacitet P-N spoja baza-kolektor tranzistora
E	— istosmjerni napon izvora u energetskom krugu
f	— radna frekvencija statičkog pretvarača
f_M	— maksimalna radna frekvencija statističkog pretvarača
i_B	— trenutna vrijednost struje baze tranzistora
I_{B1}	— struja baze pri propusnoj polarizaciji
I_{B2}	— struja baze (negativna) pri isključivanju tranzistora
i_C	— trenutna vrijednost kolektorske struje zistora
I_C	— statička vrijednost kolektorske struje; maksimalna trajno dozvoljena kolektorska struja tranzistora
I_{Csat}	— kolektorska struja zasićenja
I_{CM}	— maksimalna dozvoljena kolektorska struja tranzistora
I_D	— maksimalno trajno dozvoljena struja odvoda unipolarnog tranzistora
L_1	— dodatni induktivitet za poboljšanje uvjeta uključenja tranzistora
P_{sat}	— srednja snaga utrošena uslijed stanja zasićenja tranzistora
$R_{DS(on)}$	— otpor između uvoda i odvoda unipolarnog tranzistora u stanju vođenja
t_f	— vrijeme pada tranzistora
t_{isk}	— vrijeme isključenja tranzistora
t_s	— vrijeme zadržavanja tranzistora
t_q	— vrijeme oporavljanja tiristora
U_{BEsat}	— napon baza-emiter tranzistora u zasićenju
U_{CB}	— statička vrijednost napona kolektor-baza
u_{CE}	— trenutna vrijednost napona kolektor-emiter
U_{CE}	— statička vrijednost napona kolektor-emiter
U_{CEO}	— probojni napon kolektor-emiter uz odspojen priključak baze
U_{CEsat}	— napon zasićenja kolektor-emiter
U_D	— napon anoda-katoda uključenog tiristora
U_{DRM}	— maksimalni repetitivni blokirni napon tiristora
U_{DS}	— maksimalni dozvoljeni napon uvod-odvod MOS tranzistora
β	— faktor strujnog pojačanja tranzistora

LITERATURA

1. Juzbašić B.: Elektronički elementi, Tehnička knjiga, Zagreb, 1972.
2. Ramshaw R. S.: Power Electronics-Thyristor Controlled power for electric motors, Chapman and Hall, London, 1973.
3. Csàki F., Ganszky K., Ipsitz I., Marti S.: Power Electronics, Akademiai Kiado, Budapesti, 1975.
4. Benčić Z., Plenković Z.: Energetska elektronika, I dio, Školska knjiga, Zagreb, 1978.
5. Bergtold F.: Umsteuerschaltungen mit Transistoren, Automatik, Juni 1972, str. 176—178.
6. Веденеев Г. М.: Полупроводниковые регуляторы и стабилизаторы в импульсном режиме, Электричество, Но. 9, стр. 47—50, 1964.
7. Pašalić N., Ilić I.: Elektronički regulatori valjaonice Ilgner I Željezare Zenica, ETF-ZES, Zagreb, 1971.
8. Pašalić N.: Galvansko odvajanje signala u sistemima automatske regulacije i mogućnost primjene optoelemenata, Automatika, № 6, str. 399—405, 1971.
9. Stamberger A.: Thyristoren oder Transistoren für Kleinantriebe mit Drehstrommotoren, Elektronik, № 9, str. 61—64, 1976.
10. Grossman M.: Focus on Power Transistors and Thyristors, Electronic Design, № 26, str. 142—145, 1977.
11. Peter J. M.: La compétition transistors-thyristors, EAI, № 232, str. 15—22, 1977.
12. Pašalić N.: Analiza režima rada i sinteza reguliranih istosmjernih elektromotornih pogona s tranzistorima snage u energetskom krugu, doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet Zagreb, 1979.
13. Лабунцов В. А.: Научно-мехнические проблемы преобразовательной техники, Электричество, Но. 5, стр. 5—9, 1980.
14. Peter J. M., Coulthard N.: Transistor ou thyristor pour la conversion d'énergie?, Electronique Industrielle, № 13, str. 38—43, 1981.
15. Bacuvier P., Pezzani R., Salbreux J. C., Senes A.: Thyristors asimétriques: puissance et rapidité pour de nouvelles applications, Electronique Industrielle, № 11, str. 23—28, 1981.
16. Arches J. P.: Le transistor de puissance en commutation, Thèse de Docteur-Ingénieur, Université Paul Sabatier, LEEI, Toulouse, 1976.
17. Calkin E. T., Hamilton B. H.: Circuit Techniques for Improving the Switching Loci of Transistor Switches in Switching Regulators, IEEE Trans., Vol. IA-12, № 4, str. 364—369, 1976.
18. Foch H., Marty P.: Réalisation d'une commande réversible de moteur à courant continu, EAI, № 244, tr. 13—17, 1977.
19. Foch H., Roux J.: Réalisation d'un hacheur a courant continu pour réseau 380 V alternatif redressés, EAI, № 245, str. 15—20, 1977.
20. Knöll H.: High-current transistor choppers, 2-end IFAC Symposium »Control in Power Electronics and Electrical Drives«, Düsseldorf, 1977.
21. Pašalić N.: Disipacija snage tranzistorske sklopke i smanjenje gubitaka komutacije, Automatika, № 5—6, str. 154—166, 1977.
22. Rischmüller K.: Basisansteuerung von Hochvolttransistoren, Elektronik, № 11, str. 55—58, 1977.
23. Pašalić N.: Regulirani istosmjerni elektromotorni pogoni s tranzistorima snage u energetskom krugu, Automatika, № 1—2, str. 7—12, 1978.
24. Arches J. P., Foch H.: Evolution des circuits d'aide à la commutation des transistors de puissance, EAI, № 276, str. 63—69, 1979.
25. Verbeek C.: Les composants actifs en commutation, Dunod, Paris, 1980.
26. Peter J. M.: Déjouez les pièges des montages à transistors de puissance, et accrossez leur fiabilité, EAI, № 257, str. 17—22, 1978.
27. Redoutey J.: Le courant inverse est-il dangereux pour les transistors de puissance, EAI, № 233, str. 13—16, 1977.
28. Redoutey J.: Le phénomène de dV/dt: tenez en compte dans les transistors de puissance aussi, EAI, № 234, str. 27—33, 1977.
29. Peter J. M.: La protection des transistors contre les courts-circuits, EAI, № 281, str. 19—23, 1980.
30. Gibbons L. H., Williams W. D.: Méthode d'évaluation des cycles thermiques pour transistors de puissance au silicium, EMI, № 156, str. 35—39, 1972.
31. Pašalić N.: Neki aspekti primjene tranzistora snage u upravljanju elektromotornih pogona, Automatika, № 1—2, str. 25—30, 1976.
32. Pašalić N.: Paralelni spoj tranzistora snage, Automatika, № 3—4, str. 151—157, 1979.
33. Olla R. S.: Switching regulators: The efficient way to power electronics, Electronics, Vol. 46, № 17, str. 91—95, 1973.
34. Перельман Б. Л., Брежнева К. М.: Высокочастотные транзисторы и их применение, Энергия, Москва, 1977.
35. Evans P. D., Hill-Cottingham R. J.: Some aspects of power transistor inverter design, Electric Power Applications, Vol. 2, № 3, str. 73—80, 1979.
36. Smith M. W.: Application of High Power Darlington Transistors, Power Conversion International, Vol. 5, № 5, str. 32—40, 1979.
37. Schwarz R.: Gleichstrommotor-Drehzahlsteuerung mit Hochvolt-Darlingtontransistor, Elektronik, № 13, str. 63—66, 1979.
38. Aloisi P.: Darlingtons pour triphasé 380—420 V, Electronique Industrielle, № 9, str. 21—23, 1981.
39. Pašalić N.: Koncepcija sistema regulacije glavnog pogona teške valjačke pruge, III Jugoslavensko savjetovanje »Automatizacija u crnoj metalurgiji«, Sarajevo 1981.
40. Ohka K. P., Lucas J.: Gate-turn-off SCRs, Electronic Design, № 26, str. 60—63, 1976.
41. Kroczek K. D.: Bessere Schaltnetzteile durch VMOS-Leistungstransistoren, Elektronik, № 4, str. 108—111, 1978.
42. Heftman G.: Focus on power transistors: MOS and bipolars advances fit growing application areas, Electronic Design, № 23, str. 107—111, 1979.
43. Montaigne J.: Le transistor de puissance: pour les applications à la commutation, EAI, № 267, str. 15—21, 1979.
44. Ohr S.: Power components meld the strengths of MOS, bipolar, Elecronic Design, № 14, str. 65—71, 1980.
45. Severns R.: Moving from 20-kHz to over 200-kHz operation puts more punch in switcher performance, Electronic Design, № 2, str. 74—78, 1980.
46. Severns R.: Component selection weighs heavily in high-frequency switching supplies, Electronic Design, № 3, str. 85—88, 1980.

KEY WORDS:

INVENTORS
TRANSISTORS
TIRISTORS
SEMICONDUSTORS

COMPARISON OF TRANSISTORS AND TIRISTOR INVERTORS OF ELECTRICAL ENERGY

In the article is presented development of semiconducting power components, bipolar and unipolar transistors, and conventional, asimetric and GTO tiristors. Comparison is presented for characteristics of this components as well as related statical electrical energy invertors.

VERGLEICH VON TRANSISTOR - UND TRANSISTORISIERTEN ELEKTRISCHEN ENERGIEUMFORMERN

Behandelt wird die Entwicklung von Leistungs-Halbleiterteilen: bipolarer und unipolarer Transistoren und konventioneller, asymmetrischer und GTO-Transistoren. Die Arbeit bringt einen Überblick von Anwendungsdaten solcher Teile und der entsprechenden statischen Energieumformer.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ТРАНЗИСТОРСКИХ И ТИРИСТОРСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В статье указывается на развитие полупроводниковых составляющих мощности: биполярных и униполярных транзисторов, а также традиционных асимметричных ГТО тиристеров. Дан сравнительный обзор свойств применения указанных составляющих и соответствующих статических преобразователей электроэнергии.

Naslov pisca:

Prof. dr Nedžat Pašalić, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet, Zagreb

Energija God. 30 (1981) br. 7—8, 329—338

POUZDANOST I RASPOLOŽIVOST PRIJENOSNOG, RAZDJELNOG I RASKLOPNOG PODSUSTAVA ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Vladimir Mikuličić, Zagreb

UDK 621.315.:621.316

U članku su predstavljene analitičke metode, temeljene na teoriji vjerojatnosti, koje omogućuju određivanje nekoliko važnijih pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti u elektroenergetskom sustavu, a koje polaze od osnovnih parametara komponenata i uzimaju u obzir promjenljivost okoline. Razvijeni su pri tom programi za elektroničko računalo, kojima se određuju različiti pokazatelji pouzdanosti i raspoloživosti električnih mreža i rasklopnih postrojenja.

Ključne riječi: **Pouzdanost**
Raspoloživost
Prijenos energije
Rasklopna postrojenja

1. UVODNA RAZMATRANJA

Temeljna je djelatnost elektroenergetskog sustava (EES) da zadovolji sustav potrošača toliko ekonomično koliko je to moguće unutar razumske granice neprekidnosti i kvalitete. Pobliže ta se djelatnost opisuje zadatkom opskrbe električnom energijom, dakle, i pretvorbom primarne energije u električnu i raspodjelom do konačnog potrošača, te je u principu određena s četiri zahtjeva: dovoljnom količinom, jeftinoćom, pouzdanošću i čuvanjem ljudske okolice. Pri tome je svaki od zahtjeva ovisan o drugome. Na primjer, pouzdanost je i raspoloživost opskrbe električnom energijom ovisna o zalihosti i rezervi u sustavu, o troškovima primijenjene tehnologije za pretvorbu i prijenos energije, i u rastućoj mjeri o zahtjevima društva. Tako se, primjerice, u posljednje vrijeme kao temeljni kriteriji za izbor konfiguracije prijenosne i razdjelne mreže, te izbor shema glavnih strujnih krugova rasklopnog postrojenja sve više ustaljuju kriteriji koji se zbog preglednosti i uočavanja svrstavaju u četiri grupe: tehnički, srodni, ekonomski i pouzdanost, odnosno raspoloživost kao novi kriterij. Uloga je posljednjeg kriterija, pouzdanosti, da pomoću računskih metoda omogući usporedbu alternativnih izvedaba sustava i na taj način ustanovi da li je nađena najekonomičnija ravnoteža između troškova i pogodnosti izvedbe budući da preostali kriteriji mogu biti jedanput u tolikoj mjeri međusobno zavisni da ih je nemoguće strogo odvojiti, a drugi put, pak, zadovoljenje nekog od kriterija sasvim eliminira ostale. Do sada je, međutim, uloga pouzdanosti još uvijek u fazi istraživanja. Naime, procjenjujemo li pouzdanost odnosno raspoloživosti EES, utvrdit ćemo da je to vrlo pouzdan sustav, tj. da su prekidi i smetnje opskrbe potrošača malobrojni. Usprkos tome, zbog dinamike razvoja, dobit će istraživanje pouzdanosti i raspoloživosti opskrbe električnom energijom sve veće značenje. U prilog tome govori niz razloga:

— S općom potrebom za energijom potreba za električnom energijom raste natprosječno, te će opskrba električnom energijom u idućim desetljećima dobiti središnje značenje, to više što i uporaba elektriciteta kao nosioca informacija raste na sličan način.

— Jedinična se snaga postrojenja za proizvodnju, prijenos i razdiobu električne energije povećava eksponencijalno. Izgradnja postrojenja postaje sve složenijom a time se povećava mogućnost pojave kvara.

— Zbog sve većih opterećenja u sustavu se koriste novi, viši naponi i time konstrukcije čija pouzdanost nije dobro poznata.

— Stupanj automatiziranosti pogona elektrana i mreža postoje veći zbog sve veće primjene procesnih računala. Veći stupanj automatiziranosti nekog sustava zahtijeva i veću pouzdanost.

— Zbog kvarova u postrojenjima (npr. u nuklearnim elektranama) mogu biti ugroženi i ljudi. Zato je potrebno da se unaprijed izračuna vjerojatnost kvara.

— Brz razvoj tehnologije i znanosti ne ostavlja mogućnost analize pogrešaka i učenja na kvarovima prijašnjih konstrukcija prilikom konstruiranja nove opreme ili sustava novih svojstava; intuitivni će se i iskustveni pristup konstituiranju morati zamijeniti kvantitativnim tehnikama procjene pouzdanosti.

Nadalje, mora se voditi briga i o dvjema gospodarski utjecajnim veličinama koje su i do sada prožimale planiranje, razvoj i izgradnju EES:

— Stupanj iskorištenja postrojenja za pretvorbu energije i prijenos električne energije mora se iz gospodarskih razloga što više povećati. Sma-

njenje pouzdanosti i raspoloživosti, a time i smanjenje korištenja postojenja, znatno povećava specifične troškove proizvodnje.

— Budući da se jedinične snage postrojenja za proizvodnju i potrošnju električne energije povećavaju, postaje kvar sve značajniji zbog direktnih ili indirektnih troškova koji se pri tome javljaju.

Dakle, problem se opskrbe električnom energijom ne sastoji u tome da je ona sada pouzdana, već da, uzimajući u obzir spomenute utjecajne veličine, i ostane pouzdana.

EES sadrži prema konstrukciji, mnoge zalihne i rezervne komponente striktno s razlogom povećanja pouzdanosti neprekidnosti rada i kvalitetne opskrbe energijom. Zalihost, odnosno rezerva, osigurana je kroz mnoge oblike poput rotirajuće ili hladne rezerve, veza sa susjednim EES-ima, dodatnim prijenosnim i distributivnim komponentama, te jednostavnim ili složenim rezervnim uređajima koji stvarno postoje jer konstrukcija odnosno izvedba sustava prihvaća mogućnosti kvara opreme i nužnost odnosno potrebu izdvajanja opreme iz rada zbog preventivnog održavanja. Taj se sveukupni vid planiranja, konstrukcije, izvedbe i rada EES često neodređeno označuje kao »pouzdanost«. Riječ se u raznolikosti načina koristi da bi se označilo nešto što se tiče sposobnosti sustava da ispuni nakanjenu mu ulogu. Koristi se u diskusijama i člancima svih nivoa vezanim uz rad EES, ali, na žalost, sa suviše širokim područjem označenja; na području proizvodnje, prijenosa i distribucije riječ se »pouzdanost« koristi mnogo više u svom kvalitativnom umjesto kvantitativnom značenju. Osnovni je uzrok takvom pristupu u pomanjkanju upotrebljivih dosljednih podataka, neraspolaganju s prikladnim računskim tehnikama i u, možda najvažnijem razlogu, mišljenju da analiza pouzdanosti nije ni potrebna. Problemi se prikupljanja podataka i računske tehnike proračuna pouzdanosti razmatraju u mnogim slučajevima sa stajališta prioriteta. Jasno je, tehnike računanja ne mogu se primijeniti bez podataka, a opet teško je suditi o prikladnosti prikupljenih podataka bez mogućnosti izlaganja korisnosti dobavljenih obavijesti. Stoga je jedna od osnovnih poteškoća korištenja analitičkih tehnika za točna predviđanja pouzdanosti i raspoloživosti u točkama priključka potrošača u sustavu pomanjkanje podataka o kvarovima komponenata prikupljenim uz zadovoljenje načelnih definicija. Teorija pouzdanosti, koja se danas već razvija kao samostalna znanstvena disciplina temeljena na teoriji vjerojatnosti i matematičkoj statistici, razjašnjava mnoge od dilema. Baveći se postupcima planiranja, konstruiranja, proizvodnje odnosno izvedbe sustava i uređaja, problemima pripremanja, transportiranja, prihvaćanja i uporabe proizvoda ili sustava radi osiguranja maksimalne djelotvornosti pri tome, kao i razvojem općenitih metoda procjenjivanja pouzdanosti i raspoloživosti sustava, te metoda povećanja pouzdanosti i raspoloživost proizvoda za vrijeme konstruiranja i proizvodnje, skladištenja i uporabe — teorija pouzdanosti utvrđuje pravilnosti zbivanja kvarova komponenata i sustava i metode predviđanja kvarova, u proizvodnju i eksploataciju sustava uvodi jedno od kvantitativnih obilježja kvalitete proizvoda, no obilježje dinamičkog karaktera koje je određeno tek nakon nekog tijeka vremena — pouzdanosti i ustanovljuje da li je nađena najekonomičnija ravnoteža između troškova i pogodnosti početne izvedbe, razvoja i proizvodnje. Pri tom su dio istraživanja teorije pouzdanosti tzv. slučajni kvarovi, tj. kvarovi koje ni najbolja tehnika proizvodnje i kontrole kvalitete, kao ni najbolje održavanje ne mogu eliminirati; ti se kvarovi uglavnom javljaju u trenucima kada neposredna naprezanja uzrokovana okolinom uređaja premašuju čvrstoću komponenata uređaja određenu konstrukcijom i izvedbom. Slučajni se kvarovi zbivaju u slučajnim intervalima, nepravilno i neočekivano. Ne može se predvidjeti kad će se dogoditi slučajni kvar. Međutim, njihovo je odvijanje podvrgnuto ipak nekim pravilima zajedničkog ponašanja, tako da je frekvencija njihova javljanja kroz dovoljno dugačko razdoblje približno konstantna. Normalno se pojava slučajnih kvarova vrlo teško sprečava. Međutim, razvijaju se metode i tehnike pouzdanosti što mogu smanjiti vjerojatnost pojave tih kvarova i tako reducirati njihov broj u zadanom intervalu vremena, pa čak i potpuno ukloniti kvarove uređaja što rezultiraju zbog slučajnih kvarova njihovih komponenata.

Područje je primjene teorije pouzdanosti danas u znanosti, tehnici i tehnologiji te i u društvenim znanostima ekstremno široko: teorija je pouzdanosti složena znanstvena disciplina povezana s fizikom, kemijom, elektrotehnikom, strojarstvom, ekonomijom ... Međutim, po svojoj prirodi, velik broj problema teorije pouzdanosti ima posve matematički karakter i zahtijeva kroz svoja rješenja korištenje kako poznatog aparata matematike, tako i razvijanje novoga. Proučavanje i rješavanje mnogih problema traži uporabu teorije vjerojatnosti i matematičke statistike budući da su, bez obzira koliko se trudili održavati nepromijenjene postupke tehnologije ili uvjete rada u okolišu, slučajni procesi od velikog značaja. Primjerice, podaci su izvedbe električne mreže teški za interpretiranje jer će mreža biti izgrađena u nestalnoj okolini s obzirom na meteorološka zbivanja, izložena, pored toga, katkada i rizicima bilo slučajnog ili čak i hotimičnog oštećenja. Nadalje, mnoge kontrole kvalitete uključuju postupke neprekidne statističke provjere kvalitete; potrebno je stoga razviti metode testiranja i odabiranja uzoraka i odrediti učestalost ispitivanja. Da bi se pouzdanost mogla jamčiti, bit će nužno utvrditi periode održavanja i zamjene, pravila istraživanja ostarjelosti itd., i, dakako, procjena će se pouzdanosti morati vršiti u pripremnim fazama kako bi se iskoristila temeljna značajka teorije pouzdanosti, predviđanje, dakle pojam teorije vjerojatnosti. Zbog toga se pos-

ljednjih nekoliko godina uočava sve više potreba temeljenja studija pouzdanosti i raspoloživosti u EES na jasno definiranim matematičkim osnovama. To dalje zahtijeva precizne definicije pojmova i razvitak specijaliziranog matematičkog aparata, teorije pouzdanosti, naročito prilikom razmatranja raspoloživosti sustava što uključuje zalihost, rezervu i mogućnost popravka odnosno zamjene komponenata. Istraživanja se u okviru teorije pouzdanosti odvijaju u tri faze: prva je faza modeliranje, tj. prijelaz od fizikalnog problema na matematički, druga je faza uporaba zakona teorije pouzdanosti odnosno vjerojatnosti i treća tumačenje matematičkih rezultata pomoću fizikalnih, odnosno inženjerskih načela. Osnovno je, dakle, i zajedničko traženje — razvitak prikladnog matematičkog modela kojim će biti opisan sustav. Takav model može pri tom biti relativno jednostavan ili krajnje složen, no mora uvijek biti podoban za numeričko obrađivanje; konačno će opravdanje kvantitativnog pristupa procjeni pouzdanosti i raspoloživosti uvijek ovisiti o istinitosti predviđanja.

Modeliranje i analiza pouzdanosti i raspoloživosti tek su, dakako, dio teorije pouzdanosti u primjeni na tehničke sustave; ostali aspekti, poput na primjer prikupljanje i analiza podataka o kvarovima komponenata ili procjena troškova i doprinosa pouzdanosti i raspoloživosti, sigurno su jednako važni; no, zbog ograničenja opsežnosti razmatranja moraju biti izostavljeni.

Međutim, s obzirom na dosad spomenuta traženja, proizlazi da teorija pouzdanosti ima velikim dijelom i inženjerski karakter, što postavlja kao nužan uvjet temeljito poznavanje područja na koje se primjenjuje. Očito je, naime, da se ne može ni procijeniti, a kamoli poboljšati pouzdanost sustava ne znamo li temeljito kako funkcionira svaka komponenta sustava i kako to utječe na rad sustava. Na žalost, kao što to obično biva u razvoju bilo kojeg novog pojma ili pojma s više mogućih značenja, iako su ciljevi teorije pouzdanosti razumski jasni, ne postoji još uvijek slaganje u načinima postizavanja cilja; danas se rabi velik broj metoda koje se primjenjuju pri razrješavanju pouzdanosti i raspoloživosti sustava. Stoga je jedan od ciljeva članka pokazati kako se određivanje i poboljšanje pouzdanosti i raspoloživosti može sustavno obrađivati i razvijati u okvirima teorije vjerojatnosti, odnosno pouzdanosti.

Koncepcijski, razmatranje je podijeljeno u tri dijela. Prvi se dio bavi formiranjem modela pouzdanosti i raspoloživosti komponente, uključujući i kraću analizu podataka o radu komponenata i određujući tako najprikladniju funkciju pouzdanosti i raspoloživosti komponente primjenjivu na zbivanja u prijenosnom dijelu EES, kao i najprikladnije pokazatelje pouzdanosti i raspoloživosti te tako i predstavljanje pouzdanosti i raspoloživosti sustava uvažavanjem njegove strukture. U drugom se dijelu razvijaju metode proračuna različitih pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti sustava, [L. 3, 4, 7], polazeći od poznate građe sustava i poznatih pouzdanosti i raspoloživosti komponenata. Naime, prilikom konstruiranja novih uređaja, prihvaćanja novih rješenja i izvedaba sustava potrebno je, u pravilu, razmotriti veći broj varijanata i između njih, zadovoljavajući i ostale kriterije, odabrati onu za koju je odnos pouzdanosti i troškova optimalan. Pri tom bi se, dakako, raspolagalo najtočnijim vrijednostima za pouzdanost i raspoloživost sustava kad bi se pouzdanost i raspoloživost odredila ispitivanjem svakog od sustava; to, međutim, najčešće ne dolazi u obzir jer su takva ispitivanja redovito vrlo dugotrajna i skupa. Postupa se stoga tako da se pouzdanost i raspoloživost sustava izračuna iz pouzdanosti i raspoloživosti njegovih sastavnih dijelova, komponenata. Dakako, tako izračunati parametri pouzdanosti i raspoloživosti znatno su manje točni negoli bi bili oni eksperimentalno određeni, jer su izračunati uz pretpostavke koje nisu uvijek ostvarene ni ostvarljive, ali su redovito dovoljno točni za uspoređivanje različitih varijanata i donošenje odluka za povećanje pouzdanosti i raspoloživosti. I, konačno, u trećem se dijelu razlikuju sustavi s tzv. »neovisnim komponentama« od sustava s »ovisnim komponentama« i sustava s »popravljivim komponentama«, te sustavi izloženi utjecajima promjena atmosferskih prilika u okolini, kao i sustavi u kojima se ne mogu zanemariti preopterećenja izazvana kvarovima komponenata u sustavu. Kažimo na kraju još da je prilikom analiziranja pouzdanosti i raspoloživosti u EES-u promatran samo njegov prijenosni dio, jer do sada nisu još uvijek razvijene tehnike proračuna koje bi obuhvatile cjelovito EES, dakle i njegov proizvodni dio.

2. MATEMATIČKI MODEL POUZDANOSTI I RASPOLOŽIVOSTI KOMPONENTE

Pouzdanost se i raspoloživost dijelova EES najdjelotvornije razmatra preko dva nivoa: komponente i sustava, uzimajući u obzir njihova svojstva. Pri tom komponenta može biti osnovna jedinica kao otpor, kondenzator, vod, dio opreme, ali i grupa jedinica koja se može uzimati kao cjelina prigodom uočavanja, izvještavanja, analiziranja i predviđanja kvarova. Sustav je tada skup komponenata povezanih tako da se osigura tok energije, informacija, obavijesti ili signala od jedne točke ili točaka do druge točke ili točaka u označenom smjeru. Teorija pouzdanosti razlikuje pri tom dvije bitno različite izvedbe sustava: »sustav s neovisnim komponentama« i »sustav s ovisnim komponentama«, dok u oba slučaja pod pojmom »sustav« podrazumijeva skup komponenata poznatih pouzdanosti ili raspoloživosti. Pojam »neovisne komponente« uključuje međusobnu neovisnost komponenata, što znači da rad ili kvar bilo koje od komponenata ne utječe na pouzdanost ostalih. Drugim riječima, svi kvarovi što se zbivaju, ili će se zbiti u sustavu, međusobno su neovisni i ne utječu na rad i pouzdanost komponenata. Pouzdanost će sustava biti tada određena izrazom čiji su čla-

novi pouzdanosti pojedinih komponenata. Kako se u pretežnom broju slučajeva radi o sustavima kod kojih kvar jedne, dvije ili čak više komponenata ne predstavlja i kvar sustava, šutke se pretpostavlja da se komponente u kvaru trenutno izdvajaju, nije li drugačije naglašeno, ne ometajući rad preostalih komponenata koje preuzimaju njihovu ulogu, kao i da im se usprkos tome pouzdanost ne mijenja. Dakako, to strogo ograničenje, neovisnost, u mnogim slučajevima nije zadovoljeno; kvarovi nekih komponenata mogu znatno utjecati na pouzdanost ostalih, mijenjajući parametre koji određuju pouzdanost komponente. Najočitiji su primjeri kada kvar pojedinih komponenata uzrokuje porast opterećenja preostalih i time smanjenje njihove pouzdanosti, slučajevi kada rad pojedine komponente doprinosi znatno promjeni temperature, tlaka, vlažnosti itd. okoline, pa zatim primjeri »sustava s rezervom«, [L. 11], kada ulogu komponente u kvaru preuzima rezervna komponenta, te, konačno, i slučajevi rada sustava s uključenim popravcima, [L. 3]. U svim se takvim slučajevima radi o »sustavu s ovisnim komponentama«; određivanje pouzdanosti tih sustava unekoliko se razlikuje od određivanja pouzdanosti »sustava s neovisnim komponentama«. Međutim, kako se i u jednom i u drugom slučaju pouzdanost sustava određuje preko poznavanja pouzdanosti komponente, kažimo nešto o tom pojmu. Pod pojmom pouzdanosti komponente podrazumijevat ćemo sposobnost komponente da održi svoju kvalitetu nepromijenjenu pod određenim uvjetima uporabe. Dakle, pouzdanost je osobina koja se proteže kroz vrijeme i koja je određena kvalitetom i radnim uvjetima. Prihvatimo stoga ovu definiciju pouzdanosti koja je ujedno i u skladu s težnjom da se koristi kvantitativna ocjena pouzdanosti: pouzdanost neke komponente (ili sustava) matematička je vjerojatnost zadovoljavajućeg rada u tijeku predviđenog vremenskog razdoblja uz definirane radne uvjete. Analitički izraz za pouzdanost komponente odredit ćemo, prihvaćajući da su uzroci kvara komponenata slučajni događaji čiji trenutak zbivanja ne znamo, na temelju rezultata dobivenih ispitivanjem svake komponente u statističkoj masi istovrsnih komponenata služeći se pojmovima teorije vjerojatnosti, [L. 1],: slučajna veličina, funkcija razdiobe, funkcija gustoće vjerojatnosti, matematičko očekivanje slučajne veličine, uvjetna vjerojatnost [L. 2]:

$$R(t_1, t_2) = e^{-\int_{t_1}^{t_2} z(\xi)\,d\xi}. \qquad (1)$$

Ovdje je $R(t_1, t_2)$ pouzdanost komponente, tj. vjerojatnost da će promatrana komponenta raditi bez kvara za vrijeme intervala (t_1, t_2), a z(t) funkcija je učestalosti kvara i predstavlja vjerojatnost, množena s prirastom vremena Δt, da će se komponenta koja je ispravno radila do trenutka t pokvariti unutar intervala $(t, t+\Delta t)$ ako je taj interval dovoljno malen [L. 2]. Funkcija z(t) određuje se na temelju zabilježenih kvarova [L. 2]:

$$z(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{n(t) - n(t+\Delta t)}{n(t)\,\Delta t} \qquad (2)$$

gdje je n(t) broj komponenata koje ispravno rade u trenutku t, a $n(t+\Delta t)$ broj komponenata koje ispravno rade u trenutku $t+\Delta t$. Razlika $n(t)-n(t+\Delta t)$ predstavlja, dakle, broj kvarova što su se zbili u vremenskom intervalu Δt. Potvrđuje se, međutim, [L. 2], budući da se električna oprema temeljito ispituje za vrijeme proizvodnje, periodički provjerava, održava i zamjenjuje prije negoli se istroši, da se može prihvatiti pretpostavka da je uzrok kvarovima električne opreme u prvom redu slučajni događaj te da je zbog toga učestalost kvara komponente za vrijeme njena radnog vijeka konstantna, neovisna o vremenu: $z(t) = \lambda = \text{konst}$. Ta pretpostavka omogućuje dalje primjenu Markovljevih procesa [L. 1, 7], funkcija s dvije slučajne veličine: stanje sustava, određeno brojem kvarova u sustavu, i vrijeme promatranja, stohastičkog procesa koji omogućava proračune pouzdanosti u »sustavima s ovisnim komponentama« kao i analizu sustava u kojima su dopušteni i omogućeni popravci. U takvim se slučajevima, naime, rabi dodatna funkcija vjerojatnosti, nazvana »raspoloživost«, kao dopuna funkciji pouzdanosti za sustave koji se popravljaju ili obnavljaju. Opisujući popravljive sustave, zajedno s pouzdanosti, razmatraju se svojstva koja određuju stupanj korisnosti popravka u sustavu i koja su karakteristična za sve sustave kod kojih se dopušta da kvar traje neko vrijeme. Uz »srednje vrijeme između kvarova«, »trajanje popravka«, »broj kvarova u intervalu vremena«, »vrijeme trajanja rada«, najvažnije je svojstvo sustava funkcija sustava nazvana »raspoloživost«. Funkcija raspoloživosti A(t) definira se kao matematička vjerojatnost da će komponenta (sustav) raditi u vrijeme t. (Nasuprot, funkcija pouzdanosti vjerojatnost je da će sustav (komponenta) raditi kroz vremenski interval od 0 do t.) Npr., A(500 h) = 0,90 znači da će, ako je predviđeno da 100 identičnih sustava radi 500 h, prosječno 90 raditi kada se dostigne 500. sat, a 10 će biti podvrgnuto različitim fazama popravka. Pri tom funkcija raspoloživosti ne pruža obavijesti da li se, ukoliko se i uopće zbio događaj kvar — popravak prije 500-og sata i, također, nebitno je u kojoj se fazi prvog, drugog, možda trećeg itd. popravka nalaze pokvareni sustavi. Primjena Markovljevih procesa vodi do linearnih diferencijalnih jednadžbi prvog reda čija rješenja određuju vjerojatnosti zbivanja kvarova u sustavu s ovisnim komponentama. Za raspoloživost komponente dobivamo tako funkciju [L. 4]:

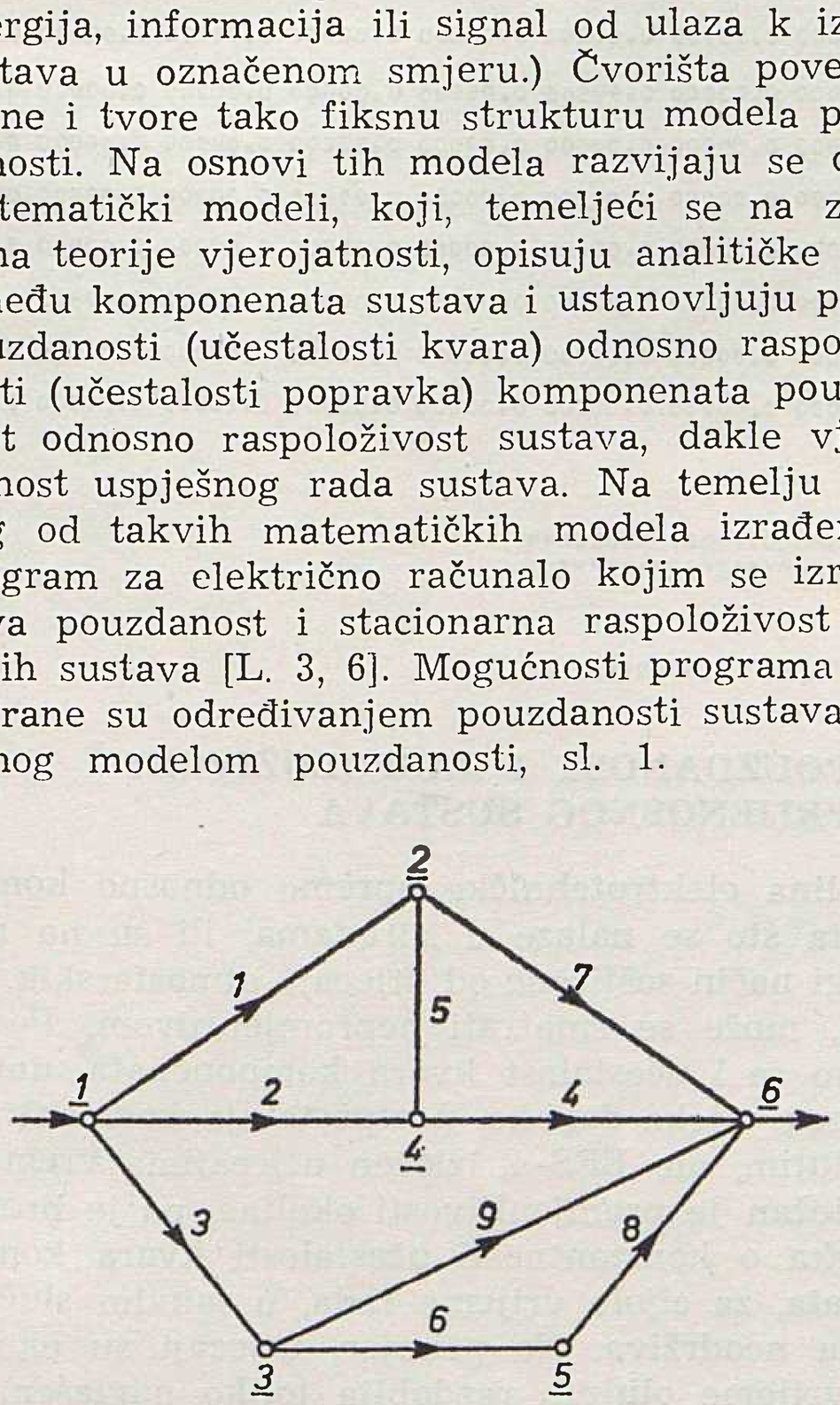
$$A(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t} \qquad (3)$$

gdje je μ funkcija učestalosti popravka. Ta je funkcija konstantna, što je nužan uvjet korištenja Markovljevih procesa, a produktom $\mu\Delta t$ određena je vjerojatnost da će komponenta biti popravljena u vremenu Δt. U slučajevima sustava složenijih gra-

đa određivanje vremenskih funkcija raspoloživosti vrlo je težak zadatak, pa se stoga zadovoljavamo poznavanjem raspoloživosti stacionarnog stanja ($t \to \infty$), to više što je u većini praktičnih slučajeva prijelazni dio funkcije raspoloživosti zanemariv jer je omjer λ/μ komponenta dovoljno malen.

3. MATEMATIČKI MODELI PRORAČUNA POUZDANOSTI I RASPOLOŽIVOSTI SLOŽENIH SUSTAVA

Analizirajući pouzdanost i raspoloživost složenijeg sustava, gotovo da je nemoguće obuhvatiti sustav u njegovoj cjelovitosti. Logičan je pristup rastaviti sustav u funkcionalne dijelove izgrađene od podsustava ili komponenata. Pri tom je nužan preduvjet poznavanje povezanosti različitih komponenata koje izgrađuju sustav. U tu se svrhu konstruiraju modeli pouzdanosti sustava. Dok će modeli sustava opisivati fizičke odnose između elemenata, modeli pouzdanosti će pokazivati funkcionalnu ovisnost i naznačivati koja komponenta mora uspješno raditi da bi sustav izvršio namijenjenu mu ulogu. Modeli pouzdanosti sastojat će se od skupa orijentiranih grana koje predstavljaju komponente. Bit će najmanje toliko grana u modelu koliko ima komponenata, no može ih biti i više ukoliko se neka grana ponavlja u nekoj drugoj stazi ili u nekim drugim stazama. (Stazom nazivamo skup grana odnosno komponenata kojima se prenosi bilo energija, informacija ili signal od ulaza k izlazu sustava u označenom smjeru.) Čvorišta povezuju grane i tvore tako fiksnu strukturu modela pouzdanosti. Na osnovi tih modela razvijaju se dalje matematički modeli, koji, temeljeći se na zakonima teorije vjerojatnosti, opisuju analitičke veze između komponenata sustava i ustanovljuju preko pouzdanosti (učestalosti kvara) odnosno raspoloživosti (učestalosti popravka) komponenata pouzdanost odnosno raspoloživost sustava, dakle vjerojatnost uspješnog rada sustava. Na temelju jednog od takvih matematičkih modela izrađen je program za električno računalo kojim se izračunava pouzdanost i stacionarna raspoloživost složenih sustava [L. 3, 6]. Mogućnosti programa ilustrirane su određivanjem pouzdanosti sustava zadanog modelom pouzdanosti, sl. 1.



Sl. 1. Model pouzdanosti sustava s označenim čvorištima

U primjeru je pretpostavljeno da su komponente identične, čime je olakšana kontrola rezultata. Vrijeme je promatranja 100 vremenskih jedinica, a učestalost kvara komponente 0,001 0536, odnosno, pouzdanost komponente u promatranom vremenskom razdoblju 0,9. Ulazni su podaci i dobiveni rezultati dani u tabl. 1.

Tabl. 1. Ulazni podaci i rezultati dobiveni obradom na elektroničkom računalu

```
**MATRICA KOMPONENATA S1**

  0   12   13   14    0    0
  0    0    0   24    0   26
  0    0    0    0   35   36
  0    0    0    0    0   46
  0    0    0    0    0   56
  0    0    0    0    0    0

**MATRICA POUZDANOSTI KOMPONENATA IZMEDJU CVOROVA (I,J)**

 0.900000  0.900000  0.900000  0.900000  0.000000  0.000000
 0.000000  0.000000  0.000000  0.900000  0.000000  0.900000
 0.000000  0.000000  0.000000  0.000000  0.900000  0.900000
 0.000000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000  0.900000
 0.000000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000  0.900000
 0.000000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000

**MATRICA GRANA IZMEDJU CVOROVA (I,J)**

  0   1   3   2   0   0
  0   0   0   5   0   7
  0   0   0   0   6   9
  0   0   0   0   0   4
  0   0   0   0   0   8
  0   0   0   0   0   0

I Z L A Z N I   R E Z U L T A T I

**USPJESNE STAZE**

 1.PARALELNA USPJESNA STAZA JE IZMEDJU CVOROVA          126
 2.PARALELNA USPJESNA STAZA JE IZMEDJU CVOROVA          136
 3.PARALELNA USPJESNA STAZA JE IZMEDJU CVOROVA          146
 4.PARALELNA USPJESNA STAZA JE IZMEDJU CVOROVA         1246
 5.PARALELNA USPJESNA STAZA JE IZMEDJU CVOROVA         1356

MODEL IMA  5  USPJESNIH STAZA

**POUZDANOST MODELA**
**********

R ( 100.000001) =  0.9966263E 00
```

4. POUZDANOST I RASPOLOŽIVOST RASKLOPNIH POSTROJENJA

Rasklopno je postrojenje primjer »sustava s ovisnim komponentama«. Komponente u sustavu pri

tom su prekidači, rastavljači, sabirnice itd. Pouzdanost je i raspoloživost rasklopnog postrojenja određena djelovanjem komponenata sustava, djelovanjem komponenata u sustavu, te učestalošću kvara i popravaka komponenata, a rad sustava jednopolnom shemom rasklopnog postrojenja. Određivanje je pouzdanosti i raspoloživosti rasklopnog postrojenja, i kasnije prijenosnog i razdjelnog sustava, provedeno na temelju ovih pretpostavki:

— Kvarovi su slučajne veličine (slučajni događaji).
— Vremenska je raspodjela učestalosti kvara i popravka komponenata vremenska konstanta, tj. $\lambda(t) = \text{konst.}$ i $\mu(t) = \text{konst.}$
— Uvjeti su rada usklađeni s uvjetima rada u kojima su definirane i pronađene učestalosti kvara i popravaka.
— Svaka od komponenata poprima samo jedno od ovih stanja: ili je ispravna ili je u kvaru.
— Sustav tako dugo ispravno radi dok postoji ma i jedna uspješna staza (staza čija niti jedna komponenta nije u kvaru); ta je nategnuta pretpostavka u slučaju prijenosnog i razdjelnog sustava zamijenjena utjecajem kvarova zbog preopterećenja.
— Statistički su podaci o učestalosti kvara i učestalosti popravaka komponenata izmišljeni. Naime, očito je da podaci za proračun pouzdanosti i raspoloživosti moraju biti pažljivo izabrani kako bi dobiveni rezultati bili realni. Period koji pokrivaju podaci ne smije biti odviše dug jer rezultati dobiveni na osnovi praćenja kvarova starije izvedbe opreme neće biti primjenjivi za buduću opremu. Uz to se, dakako, procesi konstrukcije, rada i održavanja opreme brzo mijenjaju, pa će se morati poboljšati i proces prikupljanja podataka. Budući da pojava kvarova ne ovisi samo o kvaliteti i konstrukciji ugrađenih komponenata nego i o rukovanju i održavanju, to će analize kvarova trebati temeljiti na iskustvima mreže u kojoj će raditi promatrano postrojenje. Međutim, sigurno je da se početne analize ispitivanja pouzdanosti i raspoloživosti mogu provesti i sa zamišljenim podacima. Proračun pouzdanosti i raspoloživosti rasklopnih postrojenja vršen je pomoću električnog računala [L. 4, 6, 10]. Kao primjer odabrana je jednostavnija shema rasklopnog postrojenja zbog lakšeg testiranja programa. Na sl. 2. dana je shema rasklopnog postrojenja i model pouzdanosti postrojenja, a u tabl. 2. izlazni rezultati za raspoloživost postrojenja dobiveni obradom na elektroničkom računalu.

Tabl. 2. Ulazni podaci i proračunska vrijednost raspoloživosti postrojenja

```
**MATRICA KOMPONENTA S1**

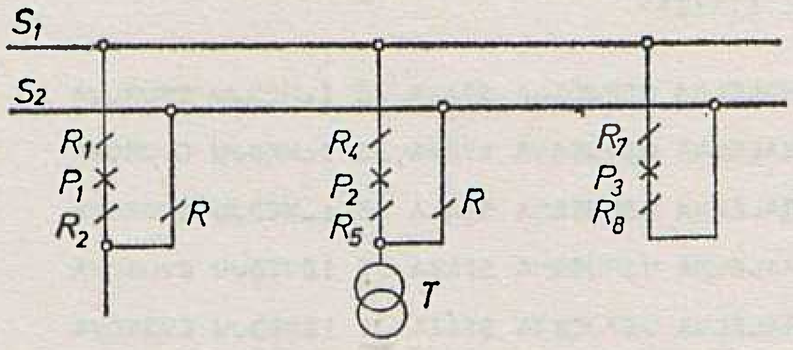
 0   12   0   0   0   16   0   0
 0    0  23  24   0    0   0   0
 0    0   0   0   0    0   0  38
 0    0   0   0  45    0   0   0
 0    0   0   0   0    0   0  58
 0    0   0   0   0    0  67  68
 0    0   0   0   0    0   0  78
 0    0   0   0   0    0   0   0

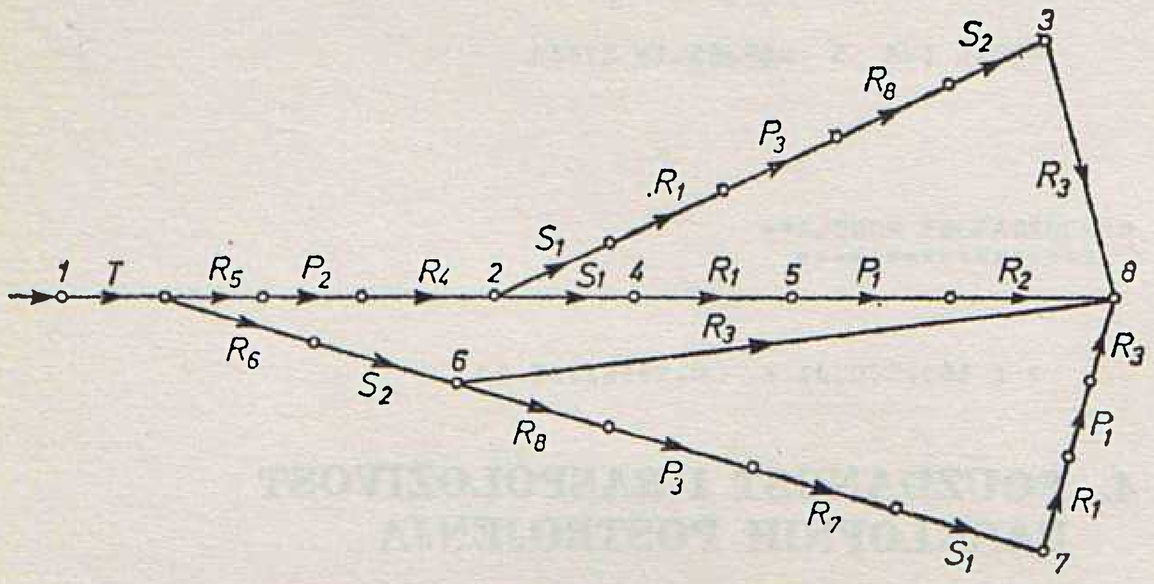
**MATRICA RASPOLOZIVOSTI KOMPONENATA IZMEDJU CVOROVA (I,J)**

0.00000 0.99935 0.00000 0.00000 0.00000 0.99916 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.99868 0.99966 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.99992
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.99985 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.99950
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.99901 0.99992
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.99935
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000

**RASPOLOZIVOST MODELA**
**********

A =  0.9999994E 00
```

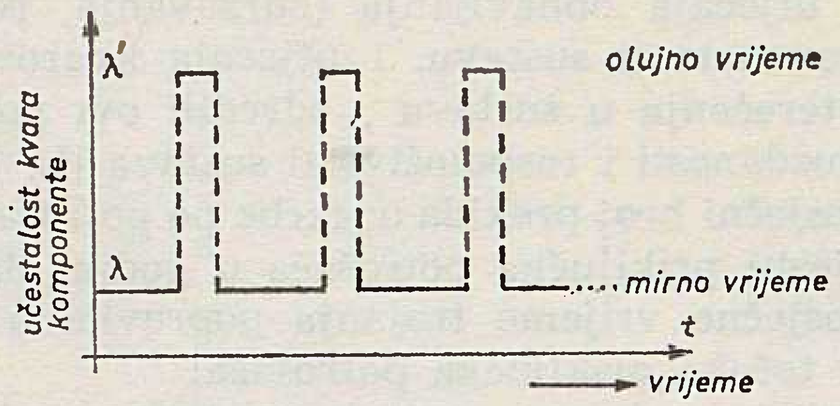




Sl. 2. Jednopolna shema postrojenja i model pouzdanosti sustava

5. POUZDANOST I RASPOLOŽIVOST PRIJENOSNOG SUSTAVA

Okolina elektrotehničke opreme odnosno komponenta što se nalaze u zgradama, ili su na neki drugi način zaštićene od utjecaja atmosferskih prilika, može se smatrati nepromjenljivom. Posljedično se i učestalost kvara komponenata, unutar radnog vijeka dakako, pretpostavlja konstantnom. Međutim, dio EES-a, izložen utjecajima vremena, podložan je promjenljivosti okoline, pa je pretpostavka o konstantnosti učestalosti kvara komponenata, za cijelo vrijeme rada, u takvim slučajevima neodrživa. Na primjer, utjecaji su okoline za vrijeme olujnih razdoblja toliko naglašeni da je učestalost kvara opreme i vodova znatno ve-

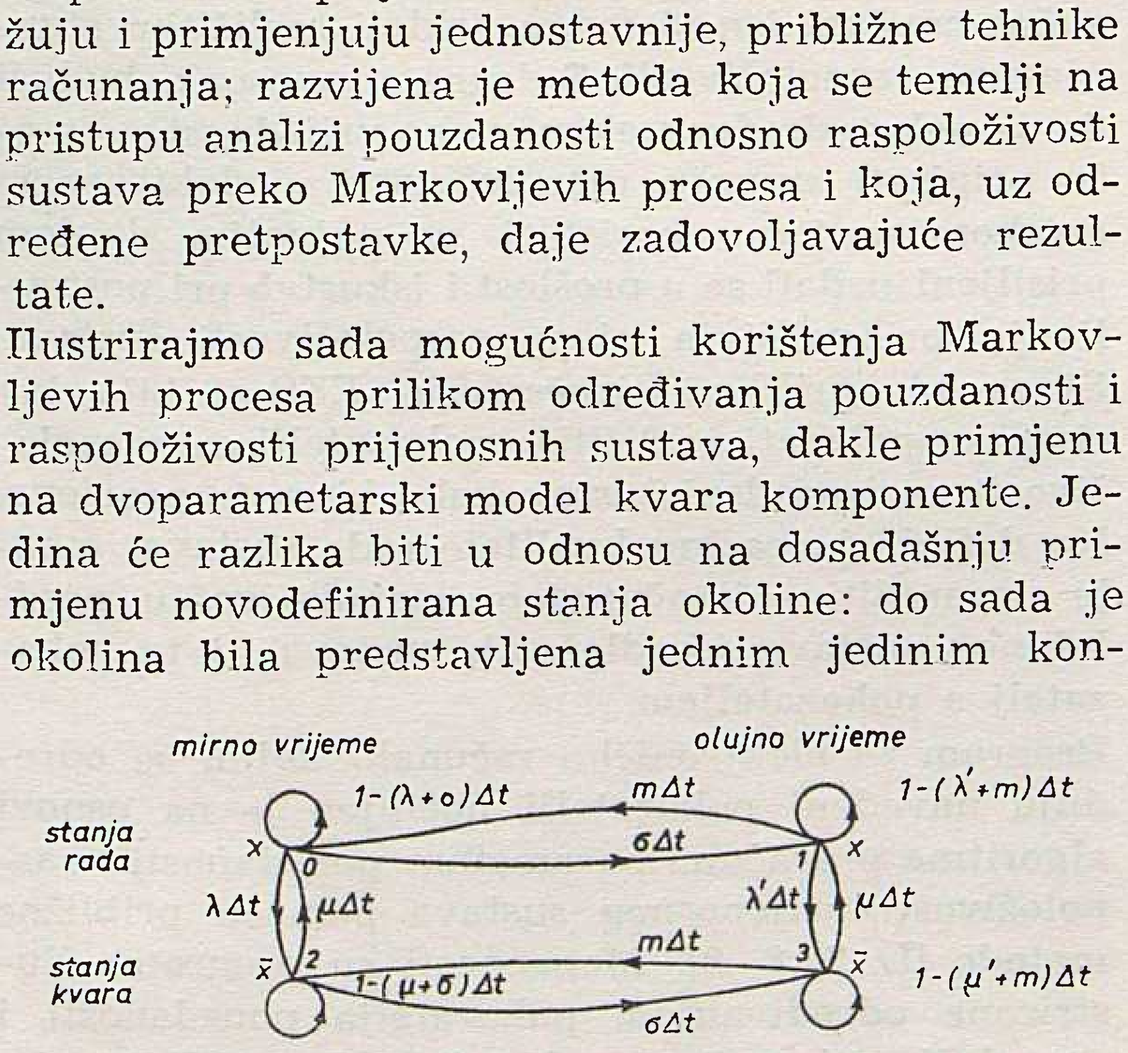


Sl. 3. Dvoparametarski model kvara komponente

ća od učestalosti kvara za vrijeme razdoblja mirnog vremena. Stoga već i najjednostavniji model kvara sl. 3., kojim se pretpostavlja da se prilike u okolini mijenjaju poprimajući samo dva odjelita stanja: »normalno« ili »pooštreno« stanje, koja odgovaraju razdobljima mirnog i olujnog vremena, znatno pridonosi točnosti određivanja pouzdanosti i raspoloživosti sustava.

Trajanja su mirnih i olujnih vremenskih perioda pri tom dakako slučajne veličine čije se razdiobe mnogo ne razlikuju od eksponencijalne razdiobe, omogućujući tako primjenu Markovljevih procesa da bi se odredila učestalost kvara sustava kao i vjerojatnost kvara. Naime, Markovljevi procesi predstavljaju najopćenitiji pristup i, kako se općenito smatra, najtočniji matematički model za procjenu pouzdanosti i raspoloživosti sustava. Primjena te računske tehnike postaje, međutim, neprovediva za veće sustave. Sustav koji sadrži, naime, n komponenata, od kojih svaka neka poprima samo dva stanja — stanje ispravnog rada ili stanje kvara — bit će opisan sa 2^n mogućih stanja, odnosno sa 2^{n+1} stanja uključe li se u promatranja i uvjeti okoliša predstavljenog modelom vremena s dva stanja; dakle, bit će opisan sa 2^{n+1} diferencijalnih jednadžbi, pa će primjena Markovljevih procesa biti ograničena memorijom računala, vremenom rješavanja i pogreškama zaokruživanja u rješenju. Stoga se za određivanje pouzdanosti i raspoloživosti prijenosnih i razdjelnih mreža istražuju i primjenjuju jednostavnije, približne tehnike računanja; razvijena je metoda koja se temelji na pristupu analizi pouzdanosti odnosno raspoloživosti sustava preko Markovljevih procesa i koja, uz određene pretpostavke, daje zadovoljavajuće rezultate.

Ilustrirajmo sada mogućnosti korištenja Markovljevih procesa prilikom određivanja pouzdanosti i raspoloživosti prijenosnih sustava, dakle primjenu na dvoparametarski model kvara komponente. Jedina će razlika biti u odnosu na dosadašnju primjenu novodefinirana stanja okoline: do sada je okolina bila predstavljena jednim jedinim konstantnim stanjem a dalje će okolinu predstavljati stanje mirnog vremena i stanje olujnog vremena. Dodatni je uvjet pri tom eksponencijalna razdioba spomenutih stanja okoline. Dobivamo tako graf Markovljeva procesa za sustav s jednom komponentom, sl. 4.



Sl. 4. Markovljev graf dvoparametarskog modela kvara komponente

Korištene oznake znače:

λ' — učestalost kvara za mirnog vremena
λ — učestalost kvara za olujnog vremena
μ — učestalost popravka za mirnog vremena
μ' — učestalost popravaka za olujnog vremena

$m = 1/0$ — 0 je očekivano trajanje olujnog vremenskog razdoblja;
$m\Delta t$ vjerojatnost je prijelaza olujnog u mirno vrijeme

$o = 1/M$ — M je očekivano trajanje mirnog vremenskog razdoblja;
$o\Delta t$ vjerojatnost je prijelaza mirnog u olujno vrijeme.

Na temelju Markovljeva grafa dobivamo sustav diferencijalnih jednadžbi (4), koje, zajedno s početnim uvjetima, opisuju zbivanja u sustavu, tj. određuju vjerojatnosti zbivanja kvarova u sustavu. Međutim, premda se radi o linearnim diferencijalnim jednadžbama s konstantnim koeficijentima, broj diferencijalnih jednadžbi što raste eksponencijalno u odnosu na broj komponenata u sustavu, ubrzo onemogućava određivanje prijelazne faze raspoloživosti sustava i tako prisiljava da se zadovoljimo određivanjem stacionarne vrijednosti raspoloživosti sustava.

$$\begin{aligned} P_0'(t) &= -(\lambda + o)P_0(t) + mP_1(t) + \mu_2 P_2(t) \\ P_1'(t) &= oP_0(t) - (m + \lambda')P_1(t) + \mu' P_3(t) \\ P_2'(t) &= \lambda P_0(t) - (\mu + o)P_2(t) + mP_3(t) \\ P_3(t) &= \lambda' P_1(t) + oP_2(t) - (\mu' + m)P_3(t) \end{aligned} \qquad (4)$$

U tom se slučaju u sustav jednadžbi (4) uvrste jednakosti:

$$P_1'(t) = P_0'(t) = P_2'(t) = P_3'(t) = 0$$

te rješenje, sada algebarskog sustava jednadžbi, daje vrijednosti stacionarne raspoloživosti odnosno neraspoloživosti sustava:

$$A(\infty) = P_0(\infty) + P_1(\infty) = \frac{\mu}{m+o} \cdot \frac{(m+o)^2 + m(\mu+\lambda') + o(\mu+\lambda)}{(\mu+\lambda)(\mu+\lambda') + m(\mu+\lambda) + o(\mu+\lambda')} \qquad (5)$$

$$N(\infty) = P_2(\infty) + P_3(\infty) = \frac{1}{m+o} \cdot \frac{o\lambda'(o+\mu) + m\lambda(m+\mu) + om(\lambda'+\lambda) + \lambda\lambda'(m+o)}{(\mu+\lambda)(\mu+\lambda') + m(\mu+\lambda) + o(\mu+\lambda')} \qquad (6)$$

Pri tom smo usvojili jednakost $\mu = \mu'$, tj. pretpostavku da je funkcija učestalosti popravka neovisna o okolini.

Izvedene izraze kontrolirat ćemo pretpostavljajući slučaj samo mirnog vremena. Tada je $\lambda' = 0$, $m = 1$, $o = 0$ (jer je $o\Delta t$ vjerojatnost prijelaza iz

mirnog vremena u olujno; ta je vjerojatnost prema pretpostavci jednaka nuli.) Dobivamo:

$$A(\infty) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad \text{i} \quad N(\infty) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$$

dakle poznate izraze za stacionarnu vrijednost funkcije raspoloživosti odnosno funkcije neraspoloživosti komponente [L. 12]. Odredimo sada izraz za učestalost kvara komponente što će vrijediti i za mirno i za olujno vremensko razdoblje. U tu ćemo svrhu morati odrediti srednje vrijeme do kvara komponente. Budući da stanja 2 i 3 predstavljaju stanja kvara sustava, ta su stanja apsorbirajuća, pa na temelju matrice prijelaznih vjerojatnosti dobivamo novu matricu [Q] ispuštajući stanja kvara [L. 1, 7]:

$$[Q] = \begin{bmatrix} 1-(\lambda+o) & o \\ m & 1-(\lambda'+m) \end{bmatrix} \qquad (7)$$

Dalje je matrica [N]

$$[N] = [I - Q]^{-1} = \frac{1}{\lambda'\lambda + \lambda m + \lambda' o} \begin{bmatrix} m+\lambda & o \\ m & \lambda + o \end{bmatrix} \qquad (8)$$

odnosno srednje vrijeme do kvara:

$$T_o = \frac{m + \lambda' + o}{\lambda\lambda' + \lambda m + \lambda' o} \qquad (9)$$

I opet kontrolu možemo provesti pretpostavljajući samo mirno vrijeme: $\lambda' = 0$, $m = 1$, $o = 0$. Dobivamo: $T_o = 1/\lambda$, kao što mora biti za slučaj sustava sa samo jednom komponentom [L. 2].

Zanemarimo li vrlo kratko vrijeme trajanja popravka komponente u usporedbi s trajanjem srednjeg vremena do kvara komponente, bit će:

$$\lambda_{fi} = \frac{1}{T_o} = \frac{\lambda\lambda' + \lambda m + \lambda' o}{\lambda' + m + o}, \text{ gdje je} \qquad (10)$$

λ_{fi} oznaka tražene učestalosti kvara za i-tu komponentu. Usvojimo li dalje da vrijede nejednakosti

$$\lambda\lambda' \ll \lambda m + \lambda' o \quad \text{i} \quad \lambda' \ll m + o,$$

možemo pisati:

$$\lambda_{fi} = \frac{\lambda_i M}{O + M} + \frac{\lambda_i' O}{O + M}. \qquad (11)$$

Dobivenu aproksimaciju upotrebljavat ćemo nadalje u svim praktičnim proračunima.

Izraz (5), što određuje vrijednost stacionirne raspoloživosti pojedine komponente u uvjetima promjenljive okoline, moguće je dalje upotrijebiti u metodi za određivanje pouzdanosti složenog sustava (3), i tako odrediti stacionarnu raspoloživost sustava. U većini slučajeva, međutim, uz »raspoloživost sustava« zanimat će nas određivanje i nekih drugih pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti sustava. U tom se slučaju polazi od izraza (10), pojmova »obnovljeni proces«, »ekvivalentna serijska komponenta«, »ekvivalentna učestalost kvara i ekvivalentno vrijeme trajanja popravka sustava sa serijskim spojem komponenata«, istih pojmova i za paralelni sustav, da bi se, uz uzimanje u obzir i utjecaja obnavljanja (održavanja, remonta) komponenata u sustavu, i utjecaja kvarova zbog preopterećenja u sustavu , odredili ovi pokazatelji pouzdanosti i raspoloživosti sustava [L. 7]:

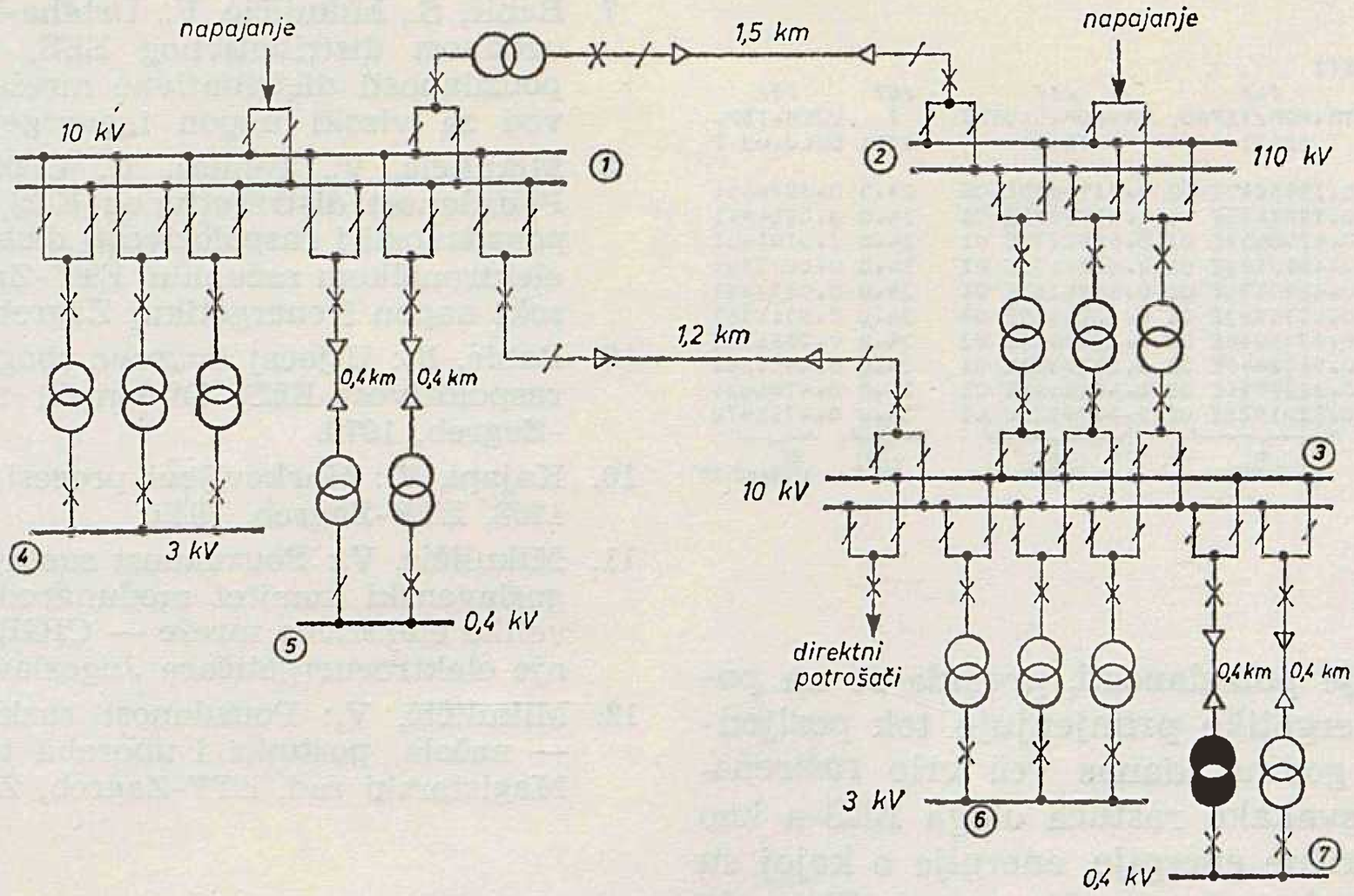
a) prosječni broj prekida opskrbe po potrošaču odn. mjestu priključka potrošača u godini dana;
b) prosječno vrijeme trajanja popravka u svakoj od točaka priključka potrošača;
c) prosječno ukupno vrijeme trajanja prekida po mjestu priključka potrošača u godini dana;
d) maksimalni očekivani broj prekida u godini što će zadesiti neko od mjesta priključka potrošača;
e) maksimalno očekivano vrijeme trajanja popravka za neko od mjesta priključka potrošača;
f) vjerojatnost da će neko od mjesta priključka biti bez električne energije dulje od specificiranog vremena.

Prva tri pokazatelja ukazuju na prosječnu raspoloživost opskrbe u točkama priključka potrošača, a preostala tri na najnižu raspoloživost u tim točkama. Pokazatelj f), npr., interesantan je želi li se projektiranjem sustava osigurati, s nekom vjerojatnošću, da potrošač ne bude bez električne energije dulje od nekog zahtijevanog vremena.

Veličine se a), b), c), d) i e) mogu procijeniti za promatrani sustav ako su bilježena vremena trajanja svakog kvara i broj potrošača (mjesta, točaka priključaka) koji zbog kvarova nisu bili opskrbljivani električnom energijom.

»Zadovoljavajući će rad« odnosno »prosječni stupanj zadovoljenja potrošača« biti u tom slučaju funkcija veličina a), b) i c) kao i prodana električna energija te zarada. Na žalost, međutim, zadovoljenje potrošača i prodana električna energija ne mogu se zasad odrediti na osnovi različitih pokazatelja raspoloživosti; nedovoljno razumijevanje postojećih odnosa onemogućuje danas iznalaženje željenog analitičkog izraza. U nekim industrijskim sustavima, međutim, relacije između raspoloživosti i izlaznog produkta formulirane su tako da se konačni novčani iznosi mogu pridati različitim stupnjevima raspoloživosti. S druge strane pak, budući da se neka određena ekonomska vrijednost ne može pripisati stupnju raspoloživosti u elektroenergetskom sustavu, korisnici su najvećim dijelom prisiljeni uzdati se u prošlost i iskustvo pri postavljanju prihvatljivih nivoa raspoloživosti sustava. Stoga bi, prilikom izučavanja EES-a, bilo korisno raspolagati različitim pokazateljima raspoloživosti za izgrađeni sustav kako bi se te procjene, što definiraju razinu kvalitete rada sustava, mogle usporediti s izračunatom raspoloživošću predloženog sustava (predloženih sustava), i to pokazatelj s pokazateljem.

Program za elektroničko računalo kojim se određuju navedeni pokazatelji načinjen je na osnovi algoritma proračuna parametara pouzdanosti i raspoloživosti prijenosnog sustava pomoću približne metode [L. 7, 8, 9]. Mogućnosti su programa ilustrirane određivanjem pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti sustava zadanog sl. 5; rezultati proračuna dani su u tabl. 3.



Sl. 5. Konfiguracija mreže za test primjer

Tabl. 3. Podaci o komponentama mreže i pokazatelji pouzdanosti i raspoloživosti mreže

RADIM-PROGRAM ZA PRORACUN RASPOLOZIVOSTI DISTRIBUTIVNE MREZE

TEST PRIMJER (B)

TRAJANJE PERIODA MIRNOG VREMENA 0.1910000E 03 SATI
TRAJANJE PERIODA OLUJNOG VREMENA 0.1250000E 01 SATI
UKUPNI BROJ CVOROVA MREZE 7 CVOROVA

PODACI O KOMPONENTAMA MREZE

/1/ TIP	/2/ CVR BR.	/3/ CVR BR.	/4/ GRN BR.	/5/ (KM)	/6/ ISPAD/ G.M.V.	/7/ ISPAD/ G.O.V.	/8/ ISPAD/ GOD	/9/ TR.POP (SAT)	/10/ ODRZAV (SAT)	/11/ SNAGA (MVA)
K	1	3	1	1.2	0.0075	0.0000	0.000	10.	0.	95.00
R	1	3	1		0.0100	0.0000	0.200	10.	2.	750.00
R	1	3	1		0.0100	0.0000	0.200	10.	2.	750.00
R	1	3	1		0.0100	0.0000	0.200	10.	2.	750.00
R	1	3	1		0.0100	0.0000	0.200	10.	2.	750.00
P	1	3	1		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	750.00
P	1	3	1		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	750.00
S	1	3	1		0.0024	0.0000	0.000	2.	0.	750.00
T	1	4	1		0.0150	0.0000	0.250	50.	6.	10.00
P	1	4	1		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	500.00
P	1	4	1		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	500.00
R	1	4	1		0.0100	0.0000	0.200	10.	2.	500.00
S	1	4	1		0.0024	0.0000	0.000	2.	0.	350.00
T	1	4	2		0.0150	0.0000	0.250	50.	6.	10.00
P	1	4	2		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	500.00
P	1	4	2		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	500.00
R	1	4	2		0.0100	0.0000	0.200	10.	2.	560.00
S	1	4	2		0.0024	0.0000	0.000	2.	0.	350.00
K	1	5	1	0.4	0.0075	0.0000	0.000	10.	0.	7.20
P	1	5	1		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	250.00
P	1	5	1		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	250.00
R	1	5	1		0.0100	0.0000	0.200	10.	2.	250.00
T	1	5	1		0.0150	0.0000	0.250	50.	6.	1.60
S	1	5	1		0.0024	0.0000	0.000	2.	0.	350.00
K	1	5	2	0.4	0.0075	0.0000	0.000	10.	0.	7.20
P	1	5	2		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	250.00
P	1	5	2		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	250.00
R	1	5	2		0.0100	0.0000	0.200	10.	2.	250.00
T	1	5	2		0.0150	0.0000	0.250	50.	6.	1.60
S	1	5	2		0.0024	0.0000	0.000	2.	0.	350.00
T	2	3	1		0.0250	0.0000	0.500	168.	48.	25.00
R	2	3	1		0.0200	0.0000	0.250	12.	4.	750.00
P	2	3	1		0.0300	0.0000	0.500	70.	20.	750.00
P	2	3	1		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	750.00
R	2	3	1		0.0100	0.0000	0.200	10.	2.	750.00
S	2	3	1		0.0070	0.0000	0.000	3.	0.	750.00
S	2	3	1		0.0024	0.0000	0.000	2.	0.	520.00
T	2	3	2		0.0250	0.0000	0.500	168.	48.	25.00
R	2	3	2		0.0200	0.0000	0.250	12.	4.	750.00
P	2	3	2		0.0300	0.0000	0.500	70.	20.	750.00
P	2	3	2		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	750.00
R	2	3	2		0.0100	0.0000	0.200	10.	2.	750.00
S	2	3	2		0.0070	0.0000	0.000	3.	0.	750.00
S	2	3	2		0.0024	0.0000	0.000	2.	0.	520.00
T	3	6	1		0.0150	0.0000	0.250	50.	6.	6.00
R	3	6	1		0.0100	0.0000	0.200	10.	2.	250.00
P	3	6	1		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	250.00
P	3	6	1		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	250.00
S	3	6	1		0.0024	0.0000	0.000	2.	0.	250.00
T	3	6	2		0.0150	0.0000	0.250	50.	6.	6.00
R	3	6	2		0.0100	0.0000	0.200	10.	2.	250.00
P	3	6	2		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	250.00
P	3	6	2		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	250.00
S	3	6	2		0.0024	0.0000	0.000	2.	0.	250.00
K	3	7	1	0.4	0.0075	0.0000	0.000	10.	0.	6.20
T	3	7	1		0.0150	0.0000	0.250	50.	6.	1.25
P	3	7	1		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	150.00
P	3	7	1		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	150.00
R	3	7	1		0.0100	0.0000	0.200	10.	2.	150.00
S	3	7	1		0.0024	0.0000	0.000	2.	0.	150.00
K	3	7	2	0.4	0.0075	0.0000	0.000	10.	0.	6.20
T	3	7	2		0.0150	0.0000	0.250	50.	6.	1.25
P	3	7	2		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	150.00
P	3	7	2		0.0120	0.0000	0.250	50.	5.	150.00
R	3	7	2		0.0100	0.0000	0.200	10.	2.	150.00
S	3	7	2		0.0024	0.0000	0.000	2.	0.	250.00
					λ	λ'	λ''	p	p''	P_n

MAKSIMALNA OPTEREĆENJA POJEDINIH GRANA MREŽE

G	1	3	1	34.00 MVA
G	1	4	1	15.53 MVA
G	1	4	2	15.53 MVA
G	1	5	1	1.36 MVA
G	1	5	2	1.36 MVA
G	2	3	1	29.17 MVA
G	2	3	2	29.17 MVA
G	3	6	1	7.97 MVA
G	3	6	2	7.97 MVA
G	3	7	1	0.80 MVA
G	3	7	2	0.80 MVA

NAZIVNE (minimalne) SNAGE POJEDINIH GRANA MREŽE

G	1	3	1	95.00 MVA
G	1	4	1	10.00 MVA
G	1	4	2	10.00 MVA
G	1	5	1	1.60 MVA
G	1	5	2	1.60 MVA
G	2	3	1	25.00 MVA
G	2	3	2	25.00 MVA
G	3	6	1	6.00 MVA
G	3	6	2	6.00 MVA
G	3	7	1	1.25 MVA
G	3	7	2	1.25 MVA

OSNOVNI SLUČAJ

POKAZATELJI RASPOLOZIVOSTI

/1/ CVR OD	/2/ CVR DO	/3/ UKUPNO ISPADA/ KAL.GOD	/4/ TR.POP/ISPAD (SAT)	/5/ TR.POP.UKUPNO (SAT)	/6/ T (SAT)	/7/ VJER.ISP. DULJ.OD T
1	4	0.4605396E-01	0.1996849E 02	0.9196280E 00	24.0	0.3006454
1	5	0.8037334E-04	0.7707651E 01	0.6194895E-03	24.0	0.0914941
1	3	0.1374909E 01	0.4206658E 01	0.5733773E 01	24.0	0.0191991
1	6	0.1412348E 01	0.4690186E 01	0.6624176E 01	24.0	0.0277598
1	7	0.1412353E 01	0.4690176E 01	0.6624183E 01	24.0	0.0277897
2	4	0.1528309E 01	0.6036983E 01	0.9226375E 01	24.0	0.0516367
2	5	0.1593348E 01	0.6709044E 01	0.1068984E 02	24.0	0.0635778
2	3	0.1579964E 00	0.3402845E 02	0.5376373E 01	24.0	0.4931267
2	6	0.1303999E 00	0.3229756E 02	0.4211598E 01	24.0	0.4746436
2	7	0.9306205E-01	0.3201928E 02	0.2979779E 01	24.0	0.4711972
		$\tau\lambda_{sac}$	τP_{sac}	τW_{sac}	t[h]	$\tau P_{(ispad>t)}$

6. ZAKLJUČAK

Uporaba je teorije pouzdanosti, premda se na području elektroenergetike primjenjuje tek posljednjih petnaestak godina, danas već vrlo raširena. Razlog je tome svakako rastuća uloga EES-a kao dobavljača električne energije, energije o kojoj su potrošači svakim danom sve više ovisni. Stoga je svrha provedenog razmatranja da se upozori i ukaže na važnost i mogućnosti teorije pouzdanosti. Zbog višestruke se uloge EES-a prikaz iznesenih metoda određivanja pouzdanosti i raspoloživosti morao ograničiti samo na neka područja. Rasklopno je postrojenje odabrano zbog toga jer se istraživanju pouzdanosti i raspoloživosti tih sustava, u odnosu na ostale dijelove EES, posvećuju neopravdano mala pažnja s obzirom na to da je pouzdanost i raspoloživost rasklopnog postrojenja, kao podsustava EES-a, odnosno kao veze između proizvođača i potrošača električne energije, odlučujuća za pouzdanost opskrbe kvalitetnom električnom energijom. Prijenosni je pak podsustav odabran zbog mogućnosti analize utjecaja promjenljivosti okoline na pouzdanost i raspoloživost električnih mreža.

I da zaključimo: Bez obzira na brojne poteškoće što prate razvitak različitih metoda teorije pouzdanosti na širokim područjima primjene, istaknimo da će rezultati proračuna pouzdanosti i raspoloživosti te njihovih pokazatelja, kao novijih kriterija, olakšati, planiranje, konstrukciju, izvedbu, vođenje i održavanje EES-a.

LITERATURA

1. Feller, W.: An Introduction to Probability Theory and Its Applications. Volume I, A Wiley International Edition, 1968.
2. Mikuličić, V.: Matematički model pouzdanosti komponente, »Elektrotehnika«, br. 1, 1981.
3. Mikuličić, V.: Matematički modeli proračuna pouzdanosti i raspoloživosti složenih sustava, »Elektrotehnika«, br. 3, 1981.
4. Mikuličić, V.: Pouzdanost i raspoloživost rasklopnih postrojenja, »Elektrotehnika«, br. 3, 1981.
5. Mikuličić, V., Tomiša, T.: Pouzdanost i raspoloživost distributivnih mreža, »Elektrotehnika«, br. 3, 1981.
6. Keko, M.: Algoritam za određivanje pouzdanosti složenih sustava pomoću elektroničkog računala, Diplomski rad br. 1174, ETF-Zagreb, 1978.
7. Babić, S., Mikuličić, V., Urbiha-Feuerbach, M.: Pouzdanost distributivnog EES, III. dio: Proračun pouzdanosti distributivne mreže, ETF-Zagreb, Zavod za visoki napon i energetiku, Zagreb, 1977.
8. Mikuličić, V., Tomiša, T., Urbiha-Feuerbach, M.: Pouzdanost distributivnog EES, IV. dio: Proračun pouzdanosti i raspoloživosti distributivne mreže na elektroničkom računalu, ETF-Zagreb, Zavod za visoki napon i energetiku, Zagreb, 1979.
9. Babić, R.: Utjecaj kvarova zbog preopterećenja na raspoloživost EES, Diplomski rad br. 1226, ETF-Zagreb, 1979.
10. Kajapi, V.: Markovljevi procesi, Diplomski rad br. 1258, ETF-Zagreb, 1979.
11. Mikuličić, V.: Pouzdanost sustava s rezervom, Jugoslavenski komitet međunarodne konferencije za velike električne mreže — CIGRÉ, XIV. savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, 1979.
12. Mikuličić, V.: Pouzdanost rasklopnog postrojenja — načela, postupci i uporaba teorije pouzdanosti, Magistarski rad, ETF-Zagreb, Zagreb, 1975.

KEY WORDS:

AVAILABILITY
RELIABILITY
ENERGY TRANSMISION
SWITCHING STATION

RELIABILITY AND AVAILABILITY OF TRANSMITING, DISTRIBUTING AND SWITCHING SUBSYSTEM IN ELECTRICAL SYSTEM

In the article are presented analitical methods, based on probability theory, which are necessary for determination of few important factors for reliability and availability in electrical system, and that are determined from basic parameters of components and characteristics of circumstances. Computer programs for calculations of reliability and availability factors of electrical nets and switching stations are also developed.

ZUVERLÄSSIGKEIT UND VERFÜGBARKEIT EINES ÜBERTRAGUNGS-UND VERTEILUNGS-SCHALT BEZIRKES IN EINEM VERBUNDSYSTEM

Aufgrund der Wahrscheinlichkeitstheorie werden analytische Methoden entwikkelt, die zur Bestimmung einiger wichtiger Kennwerte der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit in einem Verbundsystem wesentliche Bedeutung haben. Diese Kennwerte werden aus grundlegenden Parametern verschiedener Komponenten abgeleitet und berücksichtigen dabei auch Umweltveränderungen. Aufgestellt werden dabei auch Programme zur Verwendung in EDV-Anlagen, die zur Bestimmung verschiedener Kennwerte über die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Verbundsystemen und elektrischen Schalt-bzw. Umspannanlagen dienen.

НАДЕЖНОСТЬ И РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ПОДСИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ОТДЕЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

В статье изложены аналитические методы, основывающиеся на теории вероятности, которые позволяют определить несколько важных показателей надежности и резервирования в электроэнергетической системе, исходящих из основных параметров составляющих и учитывают изменяемость окружающей среды. Разработаны соответствующие прогрсммы для ЭВМ, определяющие различные показатели надежности и резервирования электрических сетей и спределительных устройств.

Naslov pisca:

mr Vladimir Mikuličić, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet, Zagreb

Energija God. 30 (1981) br. 7—8, 339—342

NAPAJANJE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM NA NOVOJ PRUZI RIJEKA — ZAGREB

Prof. dr Mario Padelin, mr Nikola Čavlina i Ivo Uglešić, Zagreb

UDK 621.331

U članku su prikazana idejna rješenja napajanja nove pruge Rijeka — Zagreb električnom energijom, određene su instalirane snage EVP-a i njihove međusobne udaljenosti. Također je razmatrano priključivanje EVP-a na elektroprivrednu mrežu, kontaktna mreža i daljinsko upravljanje.

Ključne riječi: Električna željeznica
Kontaktna mreža
Daljinsko upravljanje

UVOD

Zavod za visoki napon i energetiku radio je na sistemskim rješenjima elektrifikacije nove pruge Rijeka—Zagreb, pa je na tom specifičnom zadatku bilo angažirano desetak stručnjaka. U ovom članku se ukratko prikazuju osnovni podaci o novoj pruzi, kao i osnovne metode rješavanja ovog problema. Za izvršenje ovog zadatka korištena su brojna iskustva naših stručnjaka i upotrijebljena suvremena literatura koja je bila dostupna.

Potreba za podmirenjem transportnih usluga privrede riječke regije i gravitacijskog područja transportnog tržišta riječke luke dovela je do zamisli o izgradnji nove ravničarske, dvokolosječne, elektrificirane pruge Rijeka—Zagreb.

Ova bi pruga trebala udovoljiti svim zahtjevima modernog željezničkog putničkog i teretnog prometa. Njezina trasa, čija je ukupna duljina 120 km, prolazila bi većim dijelom doline Kupe, a njen nagib nije ni na jednom mjestu veći od 8‰. Posebne poteškoće u pogledu tehničkih rješenja predstavlja izgradnja nekoliko većih tunela, od kojih je najduži onaj kroz Risnjak (duži od 26 km). Nizinska pruga velike propusne moći predviđena je u 2 000. godini za ove glavne vrste vlakova:

— super brzi vlak $v_{max} = 200$ km/h, prosječne mase 350 BRTt
— brzi i putnički vlak $v_{max} = 160$ km/h, prosječne mase 700 BRTt
— brzi teretni vlak $v_{max} = 120$ km/h, prosječne mase 1 200 BRTt
— direktni teretni vlak $v_{max} = 100$ km/h, prosječne mase 1 900 BRTt.

Budući da u izgradnji pruga na kojima vlakovi voze brzinama do 200 km/h ne postoje kod nas nikakva iskustva, to je u studiji idejnog rješenja posebnu pažnju trebalo posvetiti problemima napajanja električnom energijom i problemu kontaktne mreže.

U članku su najprije opisani osnovni problemi napajanja električnom energijom. Početne studije pri određivanju instalirane snage EVP-a provedene su Kotherovom metodom, koja je za tu svrhu vrlo pogodna i pruža zadovoljavajuće rezultate, a osim toga je jednostavna. Proračunom tokova snaga u kontaktnoj mreži provedenom na električnom računalu dobijen je detaljniji uvid u strujne i naponske prilike za slučajeve velikog prometa na pruzi. Proračun padova napona veoma je važan pri projektiranju kontaktne mreže, pa je pad napona izračunat na nekoliko načina. Govori se i o priključku EVP-a na elektroprivrednu mrežu.

U nastavku članka opisani su neki problemi vezani za izgradnju kontaktne mreže i daljinskog upravljanja.

1. OSNOVNI PROBLEMI NAPAJANJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

Elektrificirana željeznička pruga najsuvremenije tehnologije velik je potrošač električne energije. Ona služi ponajprije kao pogonska energija za vuču vlakova, ali se koristi i za napajanje postrojenja opće potrošnje (rasvjete, signalno-sigurnosno telekomunikacijskih uređaja, objekata za smještaj uređaja i ljudi potrebnih za održavanje i organizaciju prometa). Najveći dio utrošene električne energije otpada na pogonsku energiju za vuču vlakova.

Pri rješavanju problema napajanja jedan je od osnovnih zadataka određivanje lokacije EVP-a duž pruge i njihovih instaliranih snaga. Pri tome treba imati na umu dva faktora:

— svaki EVP treba biti otprilike podjednako opterećen
— područje napajanja EVP-a treba biti toliko da padovi napona u kontaktnoj mreži ne prijeđu dozvoljenu granicu.

Određivanje instalirane snage EVP-a — Kotherova metoda

Do potrebne instalirane snage EVP-a došlo se je uz pomoć Kotherove metode, koja računa instaliranu snagu iz srednje ukupne godišnje energije:

$$P_i \sim A_g.$$

Godišnja srednja snaga P_g je

$$P_g = A_g/8760.$$

Iz navedenih izraza slijedi:

$$P_i = k\,P_g.$$

Faktor k mora biti veći od 1 zato što opterećenja tokom vremena variraju. Što točnije određivanje ovog faktora, najveći je problem u određivanju instalirane snage EVP-a. Faktor k definiran uz pomoć Kotherovih koeficijenata jest

$$k = c_d\,c_v/c_p,$$

gdje je

$$c_d = P_{dmax}/P_g$$

c_d .... dnevni faktor definiran kao omjer najvećeg dnevnog opterećenja u jednoj godini P_{dmax} i srednjeg opterećenja P_g

$$c_v = P_{max}/P_{dmax}$$

c_v .... vršni faktor definiran kao omjer maksimalne snage EVP-a P_{max} i najveće dnevne srednje snage EVP-a u godini P_{dmax}

$$c_p = P_{max}/P_i$$

c_p .... faktor preopterećenja je omjer između maksimalne snage EVP-a P_{max} i njegove instalirane snage P_i.

Brojčane vrijednosti koeficijenata c_d, c_v, c_p u ovisnosti o P_g (srednjoj godišnjoj snazi) dobivene su iz statistike pogona.

Pruga je svojom dužinom podijeljena na podjednake dionice i na svakoj od njih je određena potrebna godišnja energija. Za svaku dionicu je onda prema Kotheru određena instalirana snaga EVP-a.

Određivanje strujnih i naponskih prilika u kontaktnoj mreži

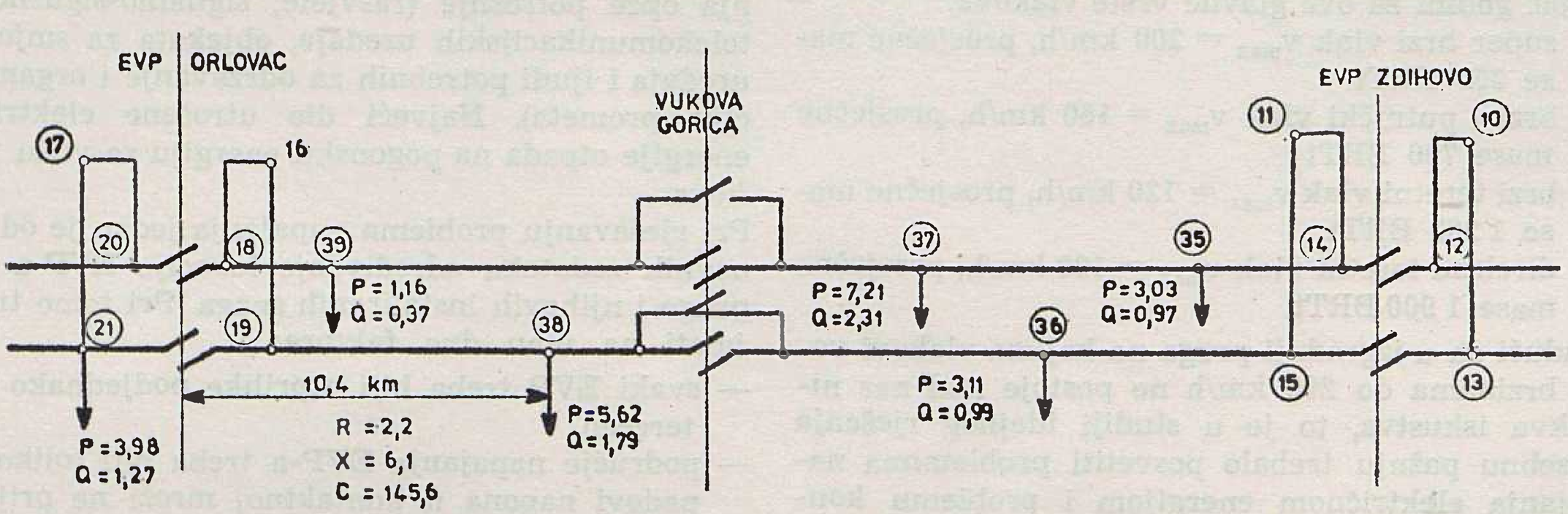
Po Kotherovom postupku provedeni su početni proračuni iz kojih se moglo zaključiti o potrebnoj instaliranoj snazi EVP-a i o njihovim međusobnim udaljenostima. Zatim je napravljeno nekoliko varijanti kontaktne mreže, pa je za njih proveden proračun strujnih i naponskih prilika u nekom trenutku. Na taj način izračunate su sve zanimljive električne veličine: struje u kontaktnim vodovima, jalove snage, padovi napona cosφ EVP-a i sl. za pojedine trenutke.

U proračunu su svi EVP-i prikazani kao izvori, a električne željeznice na pruzi kao potrošači. Problem pri ovakvom pristupu stvara promjenjivost broja vlakova u raznim trenucima, kao i neprestano variranje snage koju uzima električna lokomotiva iz kontaktne mreže. Ako bi se pokušale snimiti neke situacije iz voznog reda, dobivale bi se prevelike disperzije, a najnepovoljniji slučaj je teško utvrditi iz voznog reda. Zato je uzet jedan od mogućih najnepovoljnijih slučajeva koji se u praksi mogu dogoditi. Kako bi se eleminirala promjenjivost broja vlakova, promatrao se slučaj u kojem je broj vlakova stalan. Pretpostavljeno je da se na pruzi nalaze samo teški teretni vlakovi s maksimalnom brzinom $v_{max} = 100$ km/h. Početnu stanicu Hrvatski Leskovac odnosno Krasica napuštaju u razmaku od 8 minuta, pa je uz te uvjete dobiven maksimalan broj vlakova na pruzi koji iznosi 22; 11 u jednom i 11 u drugom smjeru. Pretpostavljeno je nadalje da su svi vlakovi iz smjera Hrvatskog Leskovca teretni vlakovi $Q = 1\,900$ t i $v_{max} = 100$ km/h. Za vlakove iz smjera Krasica pretpostavljeno je da su mase $Q = 2\,000$ t i $v_{max} = 100$ km/h i to 9 do 11 vlakova, dok su 2 vlaka mase $Q = 3\,800$ t i $v_{max} = 100$ km/h. Do trenutnih snaga električnih lokomotiva došlo se uz pomoć podataka o utrošenoj energiji do nekog vremena pri kretanju pojedinih vrsti vlakova. Uz pomoć pretpostavljenog cosφ električne lokomotive određena je i njezina pripadna jalova snaga.

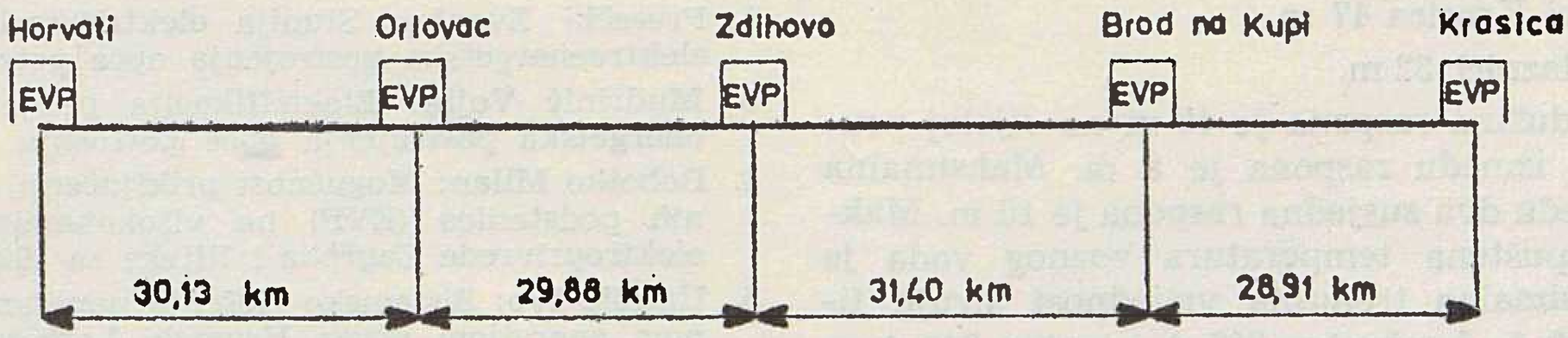
Slika 1. prikazuje detalj pruge sa 22 vlaka. Prikazana je samo niskonaponska strana EVP-a.

Za kontaktnu mrežu proveden je proračun tokova snaga. Korišten je program LAFLU na elektroničkom računalu IBM 1 130. Dobivene su snage, naponi i struje u pojedinim vodovima i čvorištima. Osim osnovnog slučaja kada su svi EVP-i u pogonu ispitani su i slučajevi ispada pojedinih EVP-a. Za ispad svakog pojedinog EVP-a proračun je ponovljen.

Na osnovi početnih studija provedenih Kotherovom metodom, kao i analizom rezultata kompjutor-



Slika 1. Detalj kontaktne mreže između Orlovca i Zdihova



Slika 2. Lokacija EVP-a i njihove međusobne udaljenosti

skih simulacija došlo se do izbora tipskog EVP-a sa 2×15 MVA instalirane snage. Međusobne udaljenosti pojedinih EVP-a trebale bi biti oko 30 km. Slika 2. prikazuje smještaj pojedinih EVP-a i njihove udaljenosti.

Proračun padova napona

Za ovaj proračun koristila se metoda neravnomjernog rasporeda vlakova s jednakim opterećenjem uz jednostrano napajanje EVP-a. Padove napona dali su i egzaktniji proračuni strujnih i naponskih prilika u kontaktnoj mreži. Za jednofazni sistem električne vuče 25 kV, 50 Hz su prema UIC međunarodnim propisima kod pruga s prometom vlakova čija brzina prelazi 140 km/h dopuštene vrijednosti minimalnog trajnog napona 21 kV. Maksimalni pad napona za normalni pogon, kada su svi EVP-i u pogonu, ne smiju biti veći od 27,5—21 = = 6,5 kV. Samo u izuzetnim uvjetima pogona, kada neki EVP ispadne iz pogona, dopušten je maksimalni pad napona od 8,5 kV.

Rezultati proračuna padova napona dali su zadovoljavajuće rezultate za normalni pogon (ispod 6,5 kV) i za izvanredni pogon (ispod 8,5 kv).

Priključak na elektroprivrednu mrežu

Sa stanovišta elektroprivredne mreže priključak postrojenja električne vuče trebalo je razmotriti s nekoliko aspekata. Priključivanje više EVP-a (njih ukupno 5) instaliranih snaga 30 MVA može utjecati na strujne i naponske prilike u 110 kV mreži elektroprivrede Zagreba i Rijeke. Provedena ispitivanja pokazuju da kod normalnog pogona elektroenergetskog sistema postoji mogućnost priključivanja EVP-a na elektroprivrednu mrežu 110 kV. Neke poteškoće, u obliku prevelikih padova napona na mjestima gdje se predviđaju priključivanja EVP-a, mogu se javiti pri ispadima pojedinih vodova, iako su takvi slučajevi u praksi malo vjerojatni. Ako bi se to htjelo izbjeći, trebalo bi pojačati povezanost 110 kV mreže Zagreba i Rijeke (npr. TS Meline 110 kV — TS Delnice). Potrebno je voditi brigu i o snazi transformacije u TS Zagreb, koja je u nekim ispitivanim slučajevima bila vrlo opterećena. To znači da će biti potrebno izgraditi još jednu stanicu 400/110 kV ili postojeću trafostanicu proširiti na snagu transformacije 2×400 MVA i rezervu.

Priključivanjem EVP-a kao jednofaznih potrošača na 110 kV mrežu javlja se problem naponske nesimetrije. Nesimetrija napona može se odrediti iz izraza

$$n_u = S_e/S_{k(3)},$$

gdje je

S_e — snaga jednofaznog potrošača

$S_{k(3)}$ — snaga početnog tropolnog kratkog spoja u čvorištu u kojem je priključen jednofazni potrošač.

Uz relativno jaku 110 kV mrežu potrebna snaga početnog tropolnog kratkog spoja postigla bi se u svakom čvorištu 110 kV mreže na koje su EVP-i priključeni, pa jednofazni priključak EVP-a ne bi predstavljao problem.

2. RJEŠENJA KONTAKTNE MREŽE

Kao osnova za izradu rješenja kontaktne mreže za brzine do 200 km/h poslužila su rješenja kontaktne mreže 25 kV, 50 Hz za brzine do 160 km/h koja su primjenjena na mrežu JŽ. Ovdje će se ukratko samo navesti neka osnovna rješenja.

Pri projektiranju kontaktne mreže treba obratiti pažnju na klimatske prilike. Njihove su osobine duž trase nove pruge:

— promjene temperature okolnog zraka od —30 °C +40 °C

— maksimalne brzine vjetra na dionici Zagreb—Brod na Kupi 30 m/s, a na stanici Krasica 47 m/s

— pojave leda i inja moguće je na cijeloj dionici, ali s različitom učestalošću i intenzitetom.

Došlo je do slijedećih karakterističnih presjeka kontaktne mreže:

— visina kontaktnog vodiča od gornjeg ruba tračnice je konstantna duž čitave pruge i iznosi 5 500 mm

— udaljenost unutarnjeg ruba nosive konstrukcije od osi kolosijeka može biti maksimalno 3 500 mm.

Vozni vod sastoji se od kontaktnog vodiča (Ri 100), a izrađen je od tvrdovučenog bakra presjeka 100 mm. Nosivo uže je od bronce presjeka 65 mm, a »Y« uže od bakra presjeka 16 mm.

Maksimalne dužine raspona su:

— za dionicu Zagreb — Brod na Kupi 60 m

— u tunelima 55 m

— na stanici Krasica 47 m

— na prijelaznici 32 m.

Minimalna dužina raspona je 40 m na cijeloj pruzi, a korak između raspona je 5 m. Maksimalna razlika između dva susjedna raspona je 10 m. Maksimalna dopuštena temperatura voznog voda je 70 °C. Maksimalna trenutna vrijednost struje fidera je 2 000 A, 5-minutna 800 A i trajna 640 A za novi vodič, odnosno 1 600 A trenutno 560 A trajno za kontaktni vodič koji je istrošen 20%.

3. DALJINSKO UPRAVLJANJE

Sistem daljinskog upravljanja na pruzi Hrvatski Leskovac — Krasica mora omogućiti kontrolu napajanja kontaktne mreže i opće potrošnje, odnosno djelovanje na ta postrojenja, da bi ostvario siguran rad cijele mreže i pouzdano napajanje električnom energijom. Sistem daljinskog upravljanja sastoji se od centra daljinskog upravljanja, prijenosnih veza i 18 upravljanih mjesta duž pruge. Ukupan broj informacija koje će se izmjenjivati između CDU i svih upravljanih mjesta, bitan za dimenzioniranje sistema daljinskog upravljanja iznosi:

— komandi: 1 070

— signalizacija: 1 634

— mjerenja (analogna i digitalna): 110.

Veza između CDU i upravljanih mjesta na pruzi mora biti u tzv. linijskom rasporedu. Način komuniciranja CDU — upravljana mjesta mora zadovoljiti u pogledu vremena osvježavanja informacija. U upravljanim mjestima kao tehničko rješenje predložen je mikroprocesorski sistem za upravljanje električnim postrojenjima. Za prezentiranje i obradu informacija u CDU predloženo je da se koristi procesno računalo s odgovarajućim perifernim jedinicama uključujući i sinoptičku ploču.

LITERATURA

1. Muždalo Milan: Sistemsko rješenje konkaktne mreže 25 kV, 50 Hz za brzine vlakova do 200 km/h na novoj pruzi Zagreb—Rijeka
2. Presečki Zvonko: Studija elektrifikacije pruge i elektroenergetska postrojenja opće potrošnje
3. Mudrinić Vojin: Elektrifikacija pruge i elektroenergetska postrojenja opće potrošnje
4. Bobetko Milan: Mogućnost priključenja elektrovučnih podstanica (EVP) na visokonaponsku mrežu elektroprivrede Zagreba i Rijeke za 1985. god.
5. Uglešić Ivo: Sistemsko rješenje napajanja električnom energijom pruge Hrvatski Leskovac—Krasica
6. Čavlina Nikola, Kauf Bernard: Sistemsko rješenje daljinskog upravljanja postrojenjima na pruzi Hrvatski Leskovac—Krasica
7. Čavlina Čedomir: Upute i dokumentacija

KEY WORDS:

ELECTRICAL RAILWAY
CONTACT NET
REMOTE CONTROL

ELECTRICAL ENERGY FEED ON NEW RAILWAY RIJEKA—ZAGREB

In the article are presented some solutions of electrical energy feed on a new railway Rijeka—Zagreb, instaled powers of electrical transformer stations with distances between each of them. Also, conection of electrical transformer stations on net, contact net and remote control are discused.

ÜBER DIE STROMVERSORGUNG DER NEUEN EISENBAHNLINIE RIJEKA—ZAGREB

Beschrieben wird ein Vorschlag zur Lösung der elektr. Stromversorgung einer neuen Eisenbahnlinie Rijeka—Zagreb. Dabei wurden die erforderlichen installierten Leistungen der Bahnunterwerke und deren Abstände ermittelt wie Möglichkeiten des Anschlusses an das Verbundnetz für die stromversorgung und einer Fernsteuerung untersucht.

ПИТАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ НОВОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ РИЕКА—ЗАГРЕБ

В статье изложено идейное решение питания новой электроэнергией железнодорожной линии Риека—Загреб, определены устаовленные мощности тяговых подстанций и расстояния между ними. Также рассмотрено присоединение тяговых подстанций на сеть электроэнергетической системы СФРЮ, контактная сеть и дистантное управление.

Naslov pisaca:

Prof. dr Mario Padelin, dipl. ing.
mr Nikola Čavlina, dipl. inž.
Ivo Uglešić, dipl. ing.

Elektrotehnički fakultet, Zagreb

Energija God. 30 (1981) br. 7—8, 343—350

NUMERIČKA ANALIZA VISOKONAPONSKIH IZOLACIONIH SISTEMA

Zijad Haznadar, Zagreb i Salih Sadović, Sarajevo

UDK 621.315.6:081.3

U ovom radu se izlažu numerički postupci za analizu visokonaponskih izolacionih sistema. Koristi se metoda konačnih elemenata. Za diskretizaciju se upotrebljavaju makroelementi koji odgovaraju dijelovima područja. Formiranje makroelemenata vrši se primjenom izoparametarskih trougaonih konačnih elemenata. Upotreba makroelemenata značajno reducira ukupan broj nepoznatih, obim ulaznih podataka i vrijeme rada računara. Prisustvo otpornog stranog sloja, koje vodi raspodjeli kompleksnih potencijala uzima se u obzir razbijanjem problema na dva dijela.

Ključne riječi: **Visoki napon**
Izolacija
Električni potencijal

1. UVOD

Projektovanje izolacionih sistema uz pomoć digitalnih računara, korištenjem prikladnih numeričkih metoda dovelo je do sasvim novog pristupa problematici projektovanja i optimizacije geometrije izolacionih sistema. Razvijen je niz veoma moćnih univerzalnih programskih sistema prikladnih za analize velikog broja problema u različitim tehničkim disciplinama. Napredak na području tehnologije digitalnih računara, kao i usavršavanje uređaja računarske grafike bili su razlog da se danas intenzivno radi na usavršavanju sistema za interaktivno projektovanje.

Izolacioni sistemi kakvi se sreću u tehnici visokih i vrlo visokih napona imaju niz specifičnosti koje otežavaju primjenu univerzalnih programskih sistema. Konfiguracije visokonaponskih izolacionih sistema redovno su veoma kompleksnih geometrija, tako da je otežana diskretizacija primjenom konačnih elemenata sa pravolinijskim stranicama. Često je potrebno analizirati izolatore ili izolatorske lance za vrlo visoke napone, koji su visoki i po nekoliko metara, odnosno sastavljeni od 30—40 izolatorskih članaka. Jasno je da bez preduzimanja posebnih postupaka nije moguće vršiti proračune ovako velikih problema. Prisustvo otpornog stranog sloja na površini izolacionih sistema, analize sa prisustvom elektroda koje su na plivajućim potencijalima, višestruke naknadne analize potrebne za optimiranje geometrije, veoma kompleksne geometrije, jako veliki problemi i sl., koje nije moguće obuhvatiti ranije pomenutim univerzalnim programskim sistemima, bili su razlog razvijanju posebnog programskog sistema koji je posebno prilagođen za analize i projektovanje visokonaponskih izolacionih sistema.

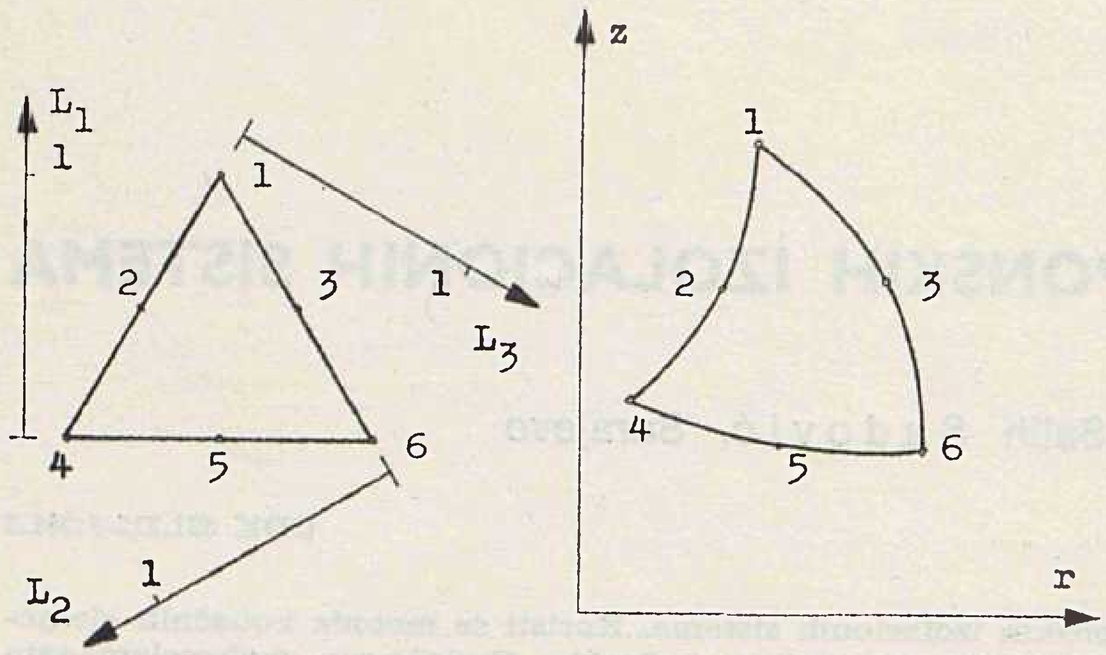
U ovom radu se prikazuju modeli, odnosno postupci koji su bili osnov za razvijanje veoma moćnog programskog sistema. Rezultati prikazani u okviru ovog rada rezultat su višegodišnje suradnje na ovom području između Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu i Elektrotehničkog fakulteta u Sarajevu.

Prvi dio rada posvećen je upotrebi izoparametarskih konačnih elemenata sa zakrivljenim stranicama, koji su pogodni za diskretizaciju konfiguracija kakve se sreću u visokonaponskoj tehnici. U drugom dijelu izlaže se upotreba tzv. makroelemenata u metodi konačnih elemenata. Makroelementi odgovaraju dijelovima područja kod kojih je, nakon diskretizacije na izoparametarske konačne elemente, eliminisan određen broj nepoznatih. Treći dio rada posvećen je analizi ponašanja izolacionih sistema u uvjetima atmosferske zagađenosti. Na kraju rada prikazuju se rezultati proračuna na jednom konkretnom primjeru.

2. IZOPARAMETARSKI KONAČNI ELEMENTI

Izoparametarski konačni elementi su konačni elementi višeg reda sa zakrivljenim stranicama, kod kojih se za promjenu tražene potencijalne funkcije kao i za preslikavanje geometrije upotrebljavaju iste interpolacijske funkcije. Na slici 1. prikazan je izoparametarski trougaoni konačni element (drugog reda) u »lokalnom« i »globalnom« koordinantnom sistemu. Lokalni koordinantni sistem za trougaoni konačni element predstavlja sistem površinskih koordinata [L. 1], dok globalni koordinantni sistem odgovara čitavom području rješavanja. Na osnovu standardne procedure po metodi konačnih elemenata traženu potencijalnu funkciju zadajemo u obliku:

$$\varphi = \sum_{i=1}^{M} \alpha_i \cdot \varphi_i \qquad (1)$$



Sl. 1. Izoparametarski trougaoni konačni element u lokalnom i globalnom koordinantnom sistemu

gdje je

α_i — interpolacijske funkcije

φ_i — vrijednosti potencijalne funkcije u odgovarajućim tačkama na elementu.

Funkcional koji odgovara rotaciono-simetričnom problemu (r, z koordinantni sistem), koji je povezan sa Laplaceovom parcijalnom diferencijalnom jednačinom (uz rubne uvjete Dirichletova i homogenog Neumannova tipa) ima oblik:

$$F(\varphi) = \pi \int \varepsilon r \varphi^t B^t B \varphi \, d r \, d z \qquad (2)$$

ε — dielektrična konstanta

t — označava transpoziciju matrice

$B = [B_1 \; B_2 \cdots B_M]$ — matrica izvoda interpolacijskih funkcija u pravcima koordinantnih osa, pri čemu je

$$B_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial \alpha_i}{\partial r} \\ \frac{\partial \alpha_i}{\partial \mathscr{L}} \end{bmatrix}$$

M — ukupan broj tačaka na elementu.

Uvjet stacionarnosti funkcionala $\left(\frac{\partial F}{\partial \varphi_i} = 0\right)$ daje matričnu jednačinu koja odgovara pojedinim elementima i koja ima oblik

$$S_E \varphi = 0, \qquad (3)$$

pri čemu se matrica koeficijenata S_E određuje preko izraza

$$S_E = 2\pi \int \varepsilon r B^t B \, d r \, d z, \qquad (4)$$

Ako interpolacijske funkcije zadamo u lokalnom koordinatnom sistemu (postupak direktnog određivanja interpolacijskih funkcija je dat u [L.2, L.3]) tj.

$$\alpha = \alpha(L_1, L_2, L_3),$$

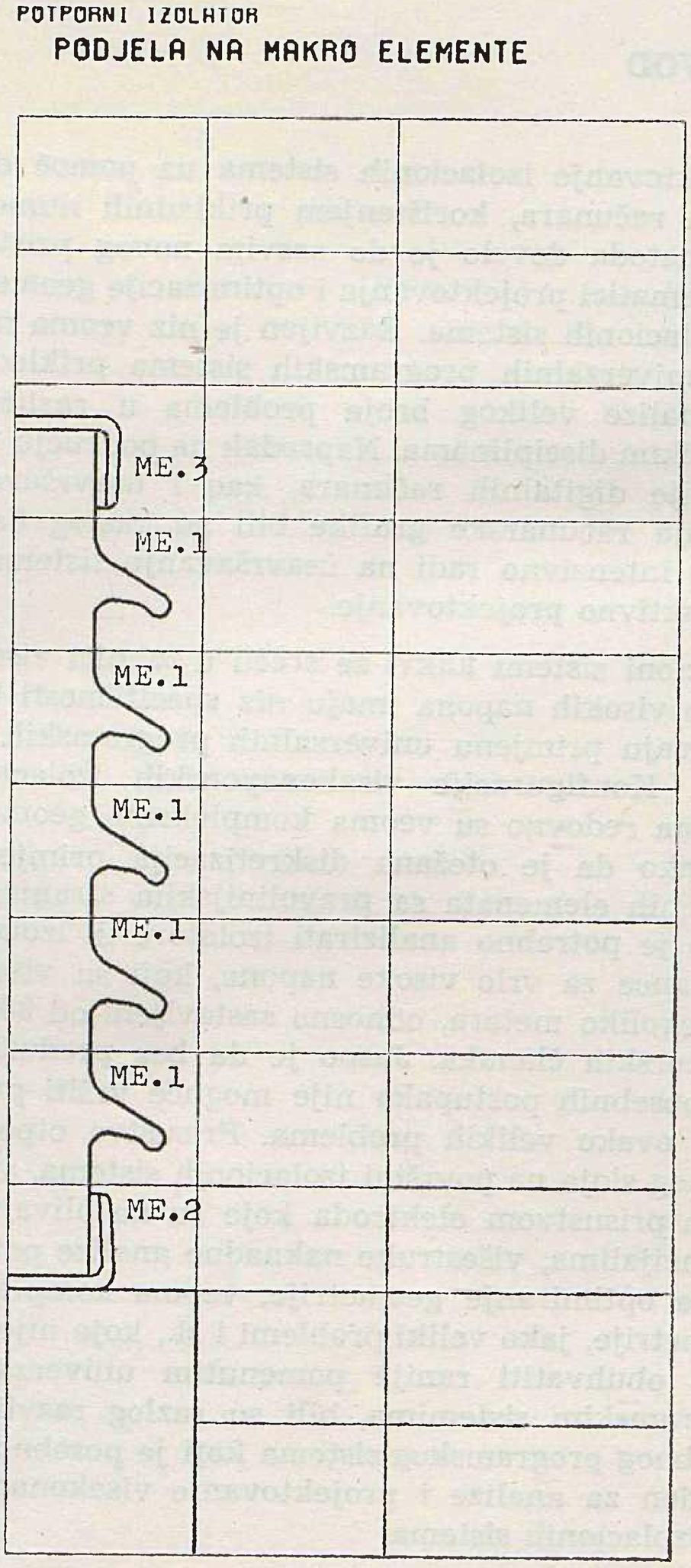
onda položaj proizvoljne tačke na elementu u globalnom koordinatnom sistemu možemo izraditi u obliku

$$r = \sum_{i=1}^{M} \alpha_i \cdot r_i \qquad (5)$$

$$\mathscr{L} = \sum_{i=1}^{M} \alpha_i \cdot \mathscr{L}_i$$

r_i, z_i — su poznate koordinate tačaka na elementu u globalnom koordinatnom sistemu.

Matrica koeficijenata S_E definirana je preko integralnih izraza datih u globalnom koordinatnom sistemu. Da bi se odredili matrični doprinosi pojedinih elemenata, potrebno je izvršiti odgovarajuće transformacije. Interpolacijske funkcije zadane su u lokalnom koordinatnom sistemu, pa je potrebno izraziti izvode ovih funkcija po globalnim koordinatnim osama preko odgovarajućih izvoda po lokalnim koordinatama. Sa druge strane, potrebno je izraziti odgovarajući element površine u globalnom koordinatnom sistemu preko elementa površine u lokalnom koordinantnom sistemu. Postupak određivanja matričnih doprinosa izoparametarskih elemenata, pri kojem je potrebno koristiti numeričko integrisanje, dat je u [L.4].



Sl. 2. Podjela područja na makro elemente

3. MAKROELEMENTI

Numerički proračun visokonaponskih izolacionih sistema primjenom metode konačnih elemenata redovno je povezan sa velikim brojem nepoznatih i sa velikim obimom ulaznih podataka. Iako primjenom izoparametarskih elemenata možemo u izvjesnoj mjeri reducirati broj nepoznatih i obim ulaznih podataka, još uvijek je kod modeliranja kompleksnih sistema potrebno upotrijebiti i do nekoliko hiljada nepoznatih. Da bi reducirali ukupan broj nepoznatih, obim ulaznih podataka, kao i vrijeme rada računara upotrijebljen je pristup uz korištenje »makroelemenata« [L.4, L.5, L.6]. Makroelementi su kompleksni elementi koji odgovaraju dijelovima područja kod kojih je nakon diskretizacije eliminisan određen broj nepoznatih. Formiranje makroelemenata izvodi se primjenom izoparametarskih elemenata.

Izolatorom prikazanim na slici 2. koristimo se da izložimo osnovne principe upotrebe makroelemenata (ME u daljem tekstu). Tankim linijama smo izvršili podjelu područja na dijelove koji će kasnije odgovarati ME.

Primijetimo da se dijelovi područja označeni sa ME.1, kao i niz onih neoznačenih ponavljaju. Ako izdvojimo bilo koji dio područja i izvršimo njegovu diskretizaciju na konačne elemente u lokal-

[illegible]inantnom **sistemu** (sistemu koji

samo tom dijelu područja), dobijemo sistem linearnih algebarskih jednačina u slijedećem obliku:

$$S\varphi = 0 \qquad (6$$

S — matrica koeficijenata dobijena diskretizacijom izdvojenog dijela područja na konačne elemente

φ — vektor potencijala tačaka.

Sistem jednačina (6) možemo izraziti u slijedećem obliku:

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{bmatrix} = 0 \qquad (7)$$

Vektor φ_1 u jednačini (7) odnosi se na potencijale tačaka koje definišu razmatrani ME. To su tačke potrebne za povezivanje razmatranog ME sa ostalim ME, kao i određen broj tačaka koje ne želimo eliminisati. Vektor φ_2 u jednačini (7) odnosi se na potencijale svih ostalih tačaka (tačaka koje eliminišemo). Jednačinu (7) možemo transformirati na ove oblike:

$$(S_{11} - S_{12} S_{22}^{-1} S_{21}) \varphi_1 = S^* \varphi_1 = 0 \qquad (8)$$

$$\varphi_2 = -(S_{22}^{-1} S_{21}) \varphi_1. \qquad (9)$$

Matrica koeficijenata označena sa S^* u jednačini (8) odnosi se na tačke koje nismo eliminisali i predstavlja matricu koeficijenata ME. Primijetimo da njen red može biti znatno niži od reda izvorne matrice koeficijenata iz jednačine (6), što ovisi o broju tačaka koje želimo eliminisati.

Formiranje matrice koeficijenata ME, odnosno matrične operacije naznačene u jednačini (8) lako se provode i predstavljaju dobro poznatu »Kron-redukciju matrice«. Kada je poznat vektor φ_1, jednačina (9) nam služi da odredimo potencijale tačaka koje smo ranije eliminisali.

Sve matrice u jednačinama (8) i (9) su iste za svih pet makroelemenata ME. 1 (kao i za niz neoznačenih ME sa slike 2), pa su jasne prednosti koje pruža korištenje ME.

Kada su poznate sve matrice S^* koje odgovaraju pojedinim vrstama ME, formira se rezultirajući sistem jednačina koji odgovara čitavom području rješavanja, koji glasi

$$S_G \varphi_G = b \qquad (10$$

S_G — matrica koeficijenta koja odgovara čitavom) području rješavanja

φ_G — vektor nepoznatih potencijala

b — vektor nastao uvrštavanjem rubnih uvjeta.

Rješavanjem sistema jednačina (10) dobiju se potencijali tačaka u globalnom koordinantnom sistemu, odnosno potencijali φ_1 svih ME. Nakon toga se korištenjem jednačine (9) mogu dobiti potencijali svih ranije eliminisanih tačaka.

Kod rješavanja problema neograničenih polja koristimo određen broj ME, koji su formirani za različite opsege radijalne koordinate i spremljeni na disk za kasnije korištenje. S obzirom na to da su ovi elementi pravougaone geometrije i odnose se na prazan prostor (nazivamo ih vanjskim), za njihovo formiranje je dovoljno upotrijebiti dva do četiri elementa četvrtog reda. Kombinacijom ovih ME u ME višeg nivoa (ME formirani korištenjem ranije formiranih ME) moguće je obuhvatiti veliki dio prostora, a da se pri tome ne povećava ukupan broj nepoznatih. Ovaj pristup je po broju nepoznatih u potpunosti ekvivalentan uvođenju integralne metode za kompenzaciju neograničenog prostora (L. 7, L. 8). Osim toga korištenje ME pri rješavanju problema neograničenih polja ima i određene prednosti, od kojih navodimo samo neke:

- nema potrebe za izračunavanjem singularnih intervala
- u prostoru izvan vještačke konture na kojoj »vršimo« kombinaciju diferencijalne i integralne metode mogu biti prisutne nehomogenosti
- sistem linearnih algebarskih jednačina je daleko stabilniji i rješava se direktnom metodom
- često je pogodno ostaviti elemente koje upotrebljavamo za vanjsko područje na prvom nivou (ne kombinujući ih u elemente višeg nivoa), tako da uz korištenje tehnike rijetko popunjenih matrica možemo uštedjeti u iznosu potrebne centralne memorije računara
- izračunavanje raspodjele potencijala izvan vještačke konture se provodi mnogo brže kod pristupa preko ME.

Iako je određen broj prednosti upotrebe ME već spomenut kroz konkretan primjer proračuna uka-

zujemo na glavne prednosti koje nam pruža njihova upotreba. Vršen je proračun raspodjele potencijala za izolator prikazan na slici 2. (potporni izolator za el. željeznice). Na slici 5.a data je raspodjela potencijala na razmatranom izolatoru. Kao što se sa slike 2. vidi upotrijebljen je ukupno 31 ME, s tim da je bilo 8 različitih vrsta ME. Kada bi se problem rješavao na standardan način (bez upotrebe ME), onda bi za postizanje iste tačnosti kao kod upotrebe ME bilo potrebno koristiti 782 trougaona elementa drugog reda, što bi rezultiralo sistemom jednačina od 1732 nepoznate. Međutim, pristup preko ME zahtijevao je 258 trougaonih elemenata za formiranje ME, a ukupan broj nepoznatih u globalnom koordinantnom sistemu iznosio je 442. Kod formiranja ME ostavljene su tačke na površini izolatora (nakon ovog proračuna vršena je analiza sa površinskim stranim slojem). U slučaju da smo eliminisali i tačke na površini izolatora, ukupan bi broj nepoznatih u globalnom koordinantnom sistemu iznosio 331. Osim toga, svi vanjski ME bili su prvog nivoa, jer uz korištenje tehnike rijetko popunjenih matrica nije bilo problema sa potrebnim iznosom centralne memorije računara. Međutim, kada bi se svi vanjski elementi formirali u jedan ME višeg nivoa, onda bi ukupan broj nepoznatih u globalnom koordinantnom sistemu iznosio 138. Kombinacijom pet ME. 1 prvog nivoa u jedan ME drugog nivoa mogli bi još više reducirati ukupan broj nepoznatih.

Prethodna diskusija, koja se odnosi na smanjenje broja nepoznatih primjenom ME, ukazuje na to da praktično nema ograničenja na veličinu problema koji se mogu na ovaj način rješavati. Ovakav pristup biti će od posebnog značenja pri proračunu trodimenzionalnih problema.

Poznato je da priprema i kontrola ulaznih podataka kod metode konačnih elemenata odnosi najviše vremena u ukupnom vremenu potrebnom za analizu. Zbog toga troškovi istraživača na pripremi i kontroli ulaznih podataka višestruko premašuju cijenu rada računara. Navedeno poređenje o broju potrebnih trougaonih konačnih elemenata za proračun sa upotrebom i bez upotrebe ME ukazuje da smo broj trouglova kod upotrebe ME smanjili za oko tri puta. Ovome treba dodati i činjenicu da je daleko lakše vršiti diskretizaciju u lokalnim koordinantnim sistemima nego u globalnom koordinantnom sistemu. Analizirani izolator je imao pet rebara istog oblika. Međutim, kod analize izolatora sa trideset i više rebara istog oblika (odnosno izolatorskih lanaca sa tridesetak istih članaka) smanjenje broja potrebnih trouglova, odnosno obima ulaznih podataka, može biti i do tridesetak puta u odnosu na diskretizaciju u globalnom koordinantnom sistemu. Primjena ME ima posebno značenje kod optimizacije geometrije izolacionih sistema, pri čemu je potrebno vršiti višestruke analize.

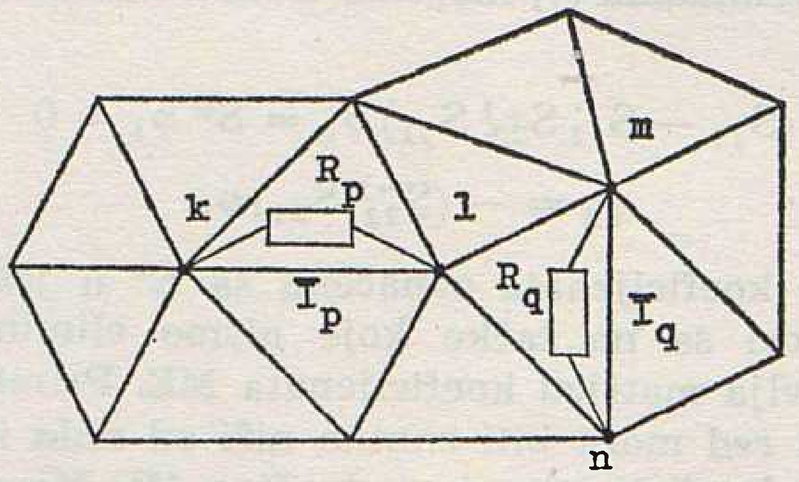
Karakteristične veličine pojedinih ME se drže na disku u datotekama sa direktnim pristupom. Nakon završenih analiza, koje se odnose na jedan problem, sadržaji datoteka se kopiraju na magnetske trake, čime se formira biblioteka ME. Ovo predstavlja posebnu pogodnost kod analize različitih problema sa istim vrstama ME. Tako su npr. izolatorski članci od kojih su sastavljeni izolatorski lanci standardnog oblika, pa za svaki različiti tip izolatorskog članka može biti određen odgovarajući ME i spremljen na traku (sa odgovarajućim vanjskim elementima). Kako su izolatorski lanci za različite naponske nivoe komponovani iz različitog broja izolatorskih članaka istog oblika, to se jednom određen ME, koji odgovara razmatranom članku, može upotrijebiti za analizu izolatorskih lanaca za proizvoljne naponske nivoe. Isto vrijedi i za rebra potpornih izolatora.

4. RASPODJELA POTENCIJALA KOD ZAPRLJANIH IZOLACIONIH SISTEMA

Jednačina (10) odnosi se na izolacioni sistem bez otpornog stranog sloja i povezana je sa kapacitivnom raspodjelom potencijala. Ovaj sistem u daljem tekstu zovemo baznim sistemom.

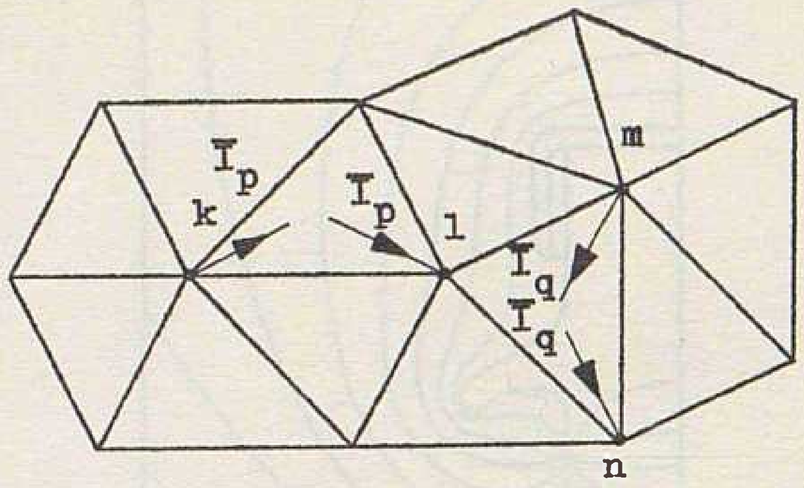
Kada se u području rješavanja nalazi otporni strani sloj, kapacitivna raspodjela potencijala se remeti, tako da dolazimo do raspodjele kompleksnih potencijala. Raspodjela kompleksnih potencijala povezana je sa matricom koeficijenata koja ima kompleksne članove. Spremanje kompleksnih matrica kod proračuna na digitalnom računaru zahtijeva dvostruko veći iznos memorije računara. Osim toga, broj tačaka u diskretiziranom problemu između kojih se nalazi otporni strani sloj (tačke na površini izolacionog sistema) kudikamo je manji od ukupnog broja tačaka dobijenih diskretizacijom na konačne elemente. Da bismo izbjegli rad sa velikim kompleksnim matricama, utjecaj otpornog stranog sloja na raspodjelu potencijala uzimamo preko modifikacije baznog sistema. Aktivne otpore pojedinih segmenata stranog sloja na površini izolacionog sistema ne uključujemo u matricu koeficijenata (jer bi u tom slučaju ona postala kompleksna), nego ih tretiramo kao ekvivalentne strujne priključke u tačkama u kojima se nalazi priključen otpor stranog sloja (L. 10).

Slika 3. prikazuje dio područja koje je diskretizirano na konačne elemente, kod kojeg se između pojedinih tačaka nalaze aktivni otpori R_i, koji predstavljaju uticaj otpornog stranog sloja.



Sl. 3. Otpori stranog sloja između pojedinih tačaka mreže konačnih elemenata

Ako želimo uzeti u obzir prisustvo otpora R_i ne mijenjajući matricu koeficijenata koja opisuje kapacitivnu raspodjelu potencijala, potrebno je ekvivalentirati ove otpore odgovarajućim strujnim izvorima (slika 4).



Sl. 4. Predstavljanje otpora stranog sloja preko ekvivalentnih strujnih izvora

Matrična jednačina koja odgovara novonastaloj situaciji glasi:

$$j\omega S\bar{\varphi} = j\omega b - C\bar{I}$$

φ — vektor kompleksnih potencijala

$\bar{I}$ — vektor kompleksnih struja kroz pojedine segmente stranog sloja

C — povezna matrica koja opisuje priključak pojedinih segmenata stranog sloja.

Povezna matrica je reda NX x NC, pri čemu je NX ukupan broj nepoznatih a NC ukupan broj segmenata stranog sloja. Ova matrica ima za članove brojeve 0, +1 i —1. Za segment stranog sloja R_p (sa slike 3), p-ta kolona matrice C ima sve nule, osim k-tog člana koji je ravan +1 i l-tog člana koji je ravan —1. Ako je otporni segment spojen između tačaka sa nepoznatim potencijalom i tačke sa poznatim potencijalom, onda je samo član odgovarajuće kolone matrice C, koji se odnosi na tačku sa nepoznatim potencijalom različit od nule i iznosi +1.

Desna strana jednačine (11) nije u potpunosti zadana, pa je jednačini (11) potrebno pridružiti još jednu matričnu jednačinu. Do ove jednačine dolazimo preko veze između struja kroz pojedine segmente stranog sloja i razliku potencijala tačaka između kojih su priključeni ovi segmenti:

$$C^t\bar{\varphi} - R\bar{I} = -E \qquad (12)$$

R — dijagonalna matrica otpora pojedinih segmenata stranog sloja

E — vektor čiji su članovi ravni nuli, izuzev u slučaju kada je jedan kraj otpornog segmenta vezan sa elektrodom sa poznatim potencijalom. U tom slučaju je odgovarajući član vektora E ravan potencijalu razmatrane elektrode.

Rješavanjem matričnog sistema jednačina datog jednačinama (11) i (12) dobijemo struju kroz segmente stranog sloja i vektor koji opisuje raspodjelu kompleksnih potencijala:

$$\bar{I} = (R - j\frac{1}{\omega} C^t S^{-1} C)^{-1} (C^t S^{-1} b + E) \qquad (13)$$

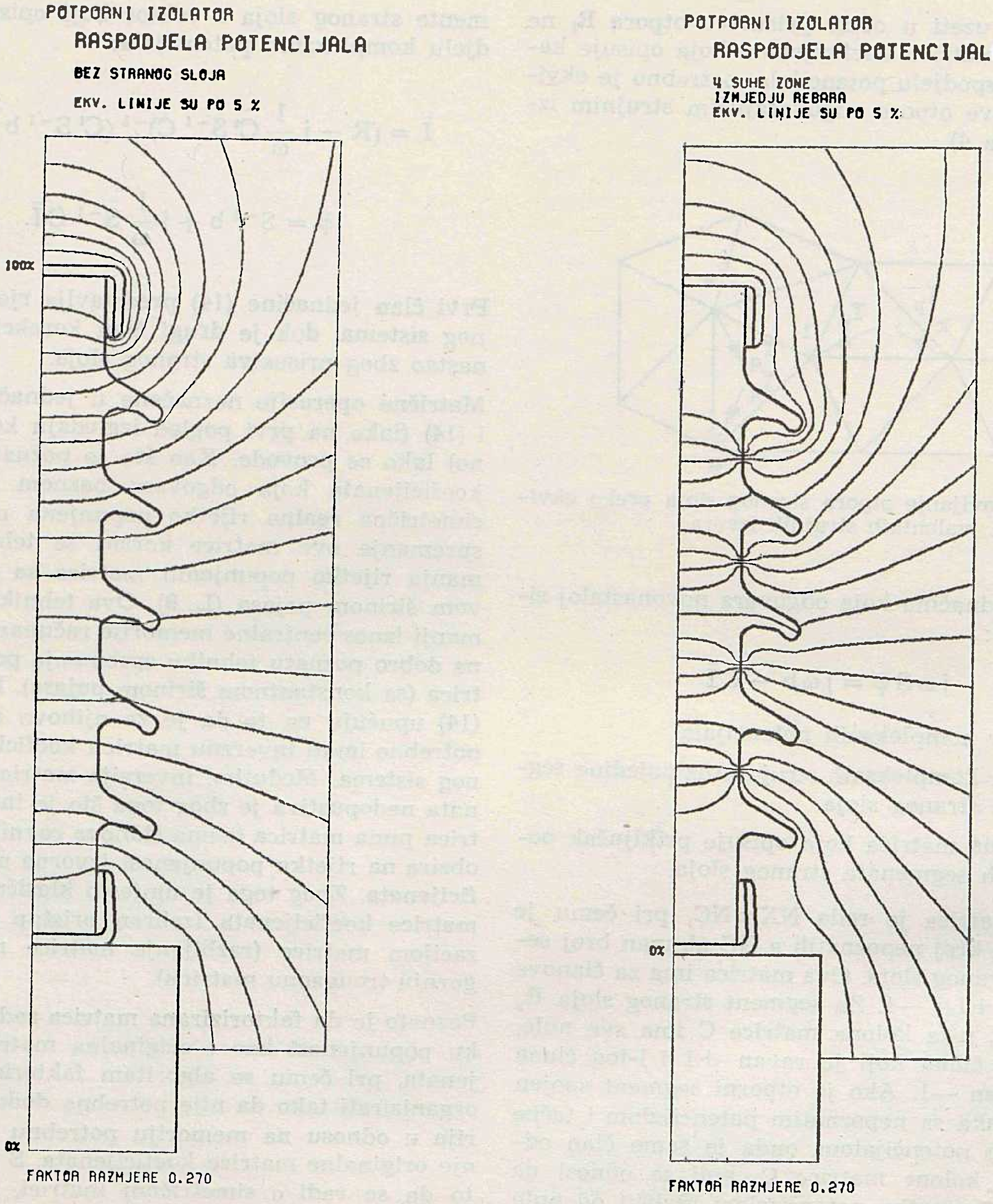
$$\bar{\varphi} = S^{-1} b + j\frac{1}{\omega} S^{-1} C\bar{I}. \qquad (14)$$

Prvi član jednačine (14) predstavlja rješenje baznog sistema, dok je drugi član korekcioni faktor nastao zbog prisustva stranog sloja.

Matrične operacije naznačene u jednačinama (13) i (14) (iako na prvi pogled izgledaju komplikovano) lako se provode. Kao što je poznato, matrica koeficijenata koja odgovara baznom sistemu je simetrična realna rijetko popunjena matrica. Za spremanje ove matrice koristi se tehnika spremanja rijetko popunjenih matrica sa promjenljivom širinom pojasa (L. 9). Ova tehnika zahtijeva manji iznos centralne memorije računara u odnosu na dobro poznatu tehniku spremanja pojasnih matrica (sa konstantnom širinom pojasa). Izrazi (13) i (14) upućuju na to da je za njihovo određivanje potrebno imati inverznu matricu koeficijenata baznog sistema. Međutim, inverzija matrice koeficijenata nedopustiva je zbog toga što je inverzna matrica puna matrica (nema članova ravnih nuli), bez obzira na rijetku popunjenost izvorne matrice koeficijenata. Zbog toga je umjesto klasične inverzije matrice koeficijenata izabran pristup sa faktorizacijom matrice (razbijanje matrice na donju i gornju trougaonu matricu).

Poznato je da faktorizirana matrica zadržava rijetku popunjenost kao i originalna matrica koeficijenata, pri čemu se algoritam faktorizacije može organizirati tako da nije potrebna dodatna memorija u odnosu na memoriju potrebnu za spremanje originalne matrice koeficijenata. S obzirom na to da se radi o simetričnoj matrici, dovoljno je imati samo jednu trougaonu matricu. Kada je izvršena faktorizacija matrice koeficijenata, onda se rješenja sistema jednačina, za različite vektore »desne strane jednačine« b, dobiju veoma brzo postupkom povratnog uvrštavanja. Osim toga, sve potrebne informacije o inverznoj matrici mogu se dobiti na osnovu faktorizirane matrice. Tako npr. za dobijanje jedne kolone inverzne matrice je potrebno izvršiti povratno uvrštavanje sa vektorom čiji su članovi ravni nuli, osim članova koji odgovara traženoj koloni inverzne matrice, koji ima vrijednost +1.

Već je pomenuto da je povezna matrica C u potpunosti određena na osnovu podataka o brojevima tačaka između kojih su priključeni pojedini segmenti stranog sloja. Zbog toga u memoriji računara nije potrebno imati matrice C i C^t. Dovoljno je spremiti samo brojeve tačaka između kojih su priključeni pojedini segmenti stranog sloja. To radimo tako da u jedan vektor unosimo brojeve



Sl. 5. Raspodjela potencijala na čistom i zaprljanom izolatoru

početaka, a u drugi vektor brojeve krajeva segmenata stranog sloja.

Da bismo ilustrovali primjenu izloženog modela, izvršen je proračun izolatora sa slike 2, uz prisustvo stranog sloja na njegovoj površini. Kod formiranja makroelemenata ostavljene su tačke na površini izolatora (117 tačaka). Izvršeno je simuliranje prisustva četiriju suhih zona između rebara izolatora. Specifični otpor stranog sloja je iznosio 1 500 kom/cm. Usvojeno je da je strani sloj debljine 1 mm, a suhe zone su modelirane tako da je na mjestima gdje se one nalaze usvojena debljina stranog sloja od 0,01 mm. Raspodjela potencijala je prikazana na slici 5.b. Slika 5.a i 5.b date su jedna pored druge kako bi se uočile deformacije koje nam stvara strani sloj. Koncentracija ekvipotencijalnih linija ukazuje na položaj suhih zona.

5. ZAKLJUČAK

Upotreba izoparametarskih konačnih elemenata omogućava znatno smanjenje obima ulaznih podataka kod modeliranja visokonaponskih izolacionih sistema. Posebne pogodnosti upotrebe izoparametarskih elemenata očekuju se kod analize trodimenzionalnih problema. Kombinacijom različitih vrsta ovih elemenata u trodimenzionalnom prostoru moguće je sa relativno malim brojem ovih elemenata diskretizirati područja koja smo do sada nerado analizirali metodom konačnih elemenata. Uvođenje makroelemenata u metodu konačnih elemenata značajan je napredak na ovom području. Kod analize problema kod kojih se određen broj makroelemenata ponavlja, postižu se značaj-

ne redukcije u obimu ulaznih podataka, broju nepoznatih i u ukupnom vremenu rada računara. Proširenje upotrebe makroelemenata za analizu problema neograničenih polja dovelo je do niza prednosti u odnosu na korištenje diferencijalno-integralne formulacije. Kod optimizacije geometrije izolacionih sistema obično se mijenja samo dio područja. Moguće je ovaj dio područja formirati u vidu posebnog makroelementa i za sve naknadne analize mijenjati karakteristike samo tog elementa. Ovo je posebno značajno kod razvoja programskih sistema za interaktivno projektovanje. Često je u analizi nelinearnih problema moguće razdvojiti područje na linearno i nelinearno. Linearno područje se može formulisati preko makroelemenata a nelinearni dio ostaviti na nivou diskretizacije na izoparametarske elemente. Prednosti upotrebe makroelemenata doći će posebno do izražaja kod proračuna trodimenzionalnih problema.

Proračun raspodjele potencijala izolacionih sistema sa površinskim stranim slojem primjenom metode konačnih elemenata omogućio je analizu velikog broja pojava karakterističnih za ovu problematiku. Razbijanjem problema na dva dijela postižu se značajne uštede u pogledu vremena rada i potrebne memorije računara. Pristup uveden u okviru ovog rada dopušta višestruke analize sa različitim karakteristikama i položajem stranog sloja. Modifikacijom baznog sistema moguće je simulirati i određen broj posebnih problema. Tako se npr. plivajući potencijali mogu predstaviti stranim slojem otpornosti ravne nuli ili velikom debljinom stranog sloja. Isto tako moguće je vršiti promjenu geometrije u određenom dijelu područja razmatrajući doprinose nastale promjenom geometrije kao strane slojeve koji imaju »kapacitivni karakter«.

LITERATURA

1. Zienkiewicz O. C.: »The finite element method«, McGraw-Hill 1977.
2. Silvester P.: »High-order polynomial triangular finite elements for potential problems« Int. J. Num. Meth. Engng., No. 7, pp. 849—861, 1969.
3. Sadović S.: »Primjena metode konačnih elemenata za rješavanje potencijalnih polja« Magistarski rad, ETF Zagreb 1977.
4. Sadović S.: »Numerička analiza korakteristika izolacionih sistema u uvjetima atmosferske zagađenosti« Doktorska disertacija, ETF Zagreb 1981.
5. Haznadar Z., Sadović S.: »Primjena makro elemenata kod numeričke analize visokonaponskih izolacionih sistema« V BiH Simpozij informatike, Jahorina 1981.
6. Haznadar Z., Sadović S.: »Macro elements in the finite element method« COMPUMAG 81, Chicago, USA 1981.
7. Silvester P., Hsieh M. S.: »Finite element solution of two-dimensional exterior field problems« Proc. IEE, No. 2, pp. 1743—1747, 1971.
8. McDonald B. H., Wexler A.: »Mutually constrained differential and integral equations field formulations« u »FE in El. and Mag. field problems«, Wiley 1980.
9. Felippa C. A.: »Solution of linear equations with sky-line stored symmetric matrix« Int. J. Comp. Struct., No. 5, pp. 13—30, 1975.
10. Sadović S.: »Numerical considerations of the effect of resistive coatings and surface pollution on the potential distribution of highvoltage insulating systems« III Int. Symp. High Voltage Engng., Milan, Italy, 1979.

KEY WORDS:

HIGH VOLTAGE
ISOLATION
ELECTRICAL POTENTIAL

NUMERICAL TREATMENTS FOR ANALYSIS OF HIGHVOLTAGE INSULATING SYSTEMS

This paper gives the numerical treatments for analysis of highvoltage insulating systems. The finite element method is used. Macro elementes, which correspond to the parts of the region are used for discretization. Macro elements are formed using the triangular isoparametric finite elements. The use of macro elements greatly reduce the total number of unknowns, the amount of input data and the computation time. The presence of resistive films, which leads to the distribution of complex potentials is taken into account by decoupling the problem in two parts.

NUMMERISCHE UNTERSUCHUNG VON HOCHSPANNUNGS--ISOLATIONSSYSTEMEN

Die Arbeit benhandelt ein zahlenmässiges Verfahren zur Analyse von Vochspannungs-Isolationssystemen, wobei die Methode endlicher Elemente angewendet wird. Zur Quantisierung werden zu den Teilbereichen entsprechende Makroelemente verwendet. Die Zusammenstellung der Makroelemente erfolgt unter Anwendung isoparametrischer endlicher Dreieckselemente. Die Anwesenheit einer Fremdschicht, die zu einer Aufteilung komplexer Potentiale führt, wird durch die Aufteilung des Problems in zwei Teile berücksichtigt.

ЧИСЛОВОЙ АНАЛИЗ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

В настоящей статье излагаются, атематические способы анализа высоковольтных изоляционнюх систем. Применениметод конечных элементов. Для дискретизации применяются макроэлементы, в соответствии с частями района. Формирование макроэлементнов производится применением изопараметрических трехугольных конечных элементов. Присутстви постороннего слоя сопротивления, ведущего к делению комплексных потенциалов, учитывается разделением задачи на две части.

Naslov pisaca:

Prof. dr Zijad Haznadar, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet, Zagreb

mr Salih Sadović, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet, Sarajevo



Ulaz u Elektrotehnički fakultet

Energija God. 30 (1981) br. 7—8, 351—356

MOGUĆNOSTI DOBIVANJA TOPLE VODE POMOĆU SUNČEVE ENERGIJE

Petar Kulišić, Zagreb

UDK 697.7:64

Iz meteoroloških podataka o Sunčevu zračenju na horizontalnu plohu u Zagrebu i Splitu proračunat je godišnji hod mjesečnog prosjeka dnevne iradijacije plohe kolektora nagnute pod kutom 45° prema horizontali. Pri tom je izvedena empirička relacija između postotka difuznog zračenja i indeksa prozračnosti koja odgovara klimatskim prilikama u našoj zemlji i upotrijebljena u proračunima za područje Splita. Proračunat je rad solarnog sistema za grijanje vode u domaćinstvima u Zagrebu i Splitu. Razmatrana je upotreba solarne energije u industrijskim procesima i proračunate uštede energije i drugih (konvencionalnih) izvora koje bi se mogle postići upotrebom solarnog sistema za grijanje vode u tehnološkom procesu Tvornice ulja u Zagrebu. Razmatrane su eventualne prednosti upotrebe selektivnih apsorbera u solarnim sistemima u promatranim područjima.

Ključne riječi: **Sunčeva energija**
Grijanje
Radijacija Sunca

UVOD

Jedna od najjednostavnijih primjena Sunčeve energije jest dobivanje tople vode koja se može upotrebiti bilo za zagrijavanje prostora, kao sanitarna topla voda za domaćinstva, hotele, bolnice i sl., ili za potrebe raznih industrijskih procesa. U tom su području do sada postignuti zapaženi rezultati. Na svjetskom tržištu može se nabaviti niz solarnih sistema za dobivanje tople vode te i u našoj zemlji treba upravo tu očekivati prve primjene solarne energije. Neke naše tvornice već nude prve solarne kolektore, a tu i tamo pojavljuju se po koji solarni uređaj. U zadnjih nekoliko godina pojavili su se u našoj literaturi prvi proračuni i procjene za primjenu Sunčeve energije za dobivanje tople vode [1—4], ali kvantitativni rezultati i analize još su uvijek dosta oskudni.

Do sada je malo pažnje posvećivano proučavanju upotrebe Sunčeve energije u industrijskim procesima. Sunčeva energija mogla bi se, naime, primijetiti za predgrijavanje vode potrebne za određen tehnološki proces, a zatim bi se ta voda na konvencionalan način zagrijala do potrebne temperature. Velike količine topline, koje bi se skupile za vrijeme ljetnih mjeseci, mogle bi se u industriji, za razliku od domaćinstva, potpuno iskoristiti. Posebno bi se ta primjena mogla ostvariti u prehrambenoj industriji, gdje su potrebne velike količine vode relativno niske temperature (do 100°C) tako da bi se pomoću ravnih solarnih kolektora mogle ostvariti odgovarajuće uštede energije konvencionalnih izvora.

U ovom radu, koji je nastavak proračuna rađenih na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu i Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu rezimirani su dosadašnji rezultati i izneseni novi proračuni i procjene posebno za područje Zagreba. Razmotrene su mogućnosti primjene Sunčeve energije za dobivanje tople vode kako za potrebe domaćinstva, tako i za potrebe industrijskih procesa i procijenjene uštede energije iz drugih (konvencionalnih) izvora koje bi se postigle upotrebom solarnih sistema.

U radu su također razmatrane karakteristike našeg klimatskog područja s obzirom na Sunčevo zračenje i izneseni proračuni Sunčevog zračenja na plohu kolektora nagnutog pod kutom 45° prema horizontali. Pri tome je korištena relacija koja povezuje difuzno i globalno zračenje izvedena za klimatske uvjete koji vladaju u našoj zemlji.

PRORAČUN SUNČEVA ZRAČENJA NA PLOHU KOLEKTORA

Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu mjeri se u 18 stanica na teritoriju naše zemlje, na nekim od njih već kroz duži niz godina, tako da se iz tih mjerenja mogu dobiti pouzdane vrijednosti za globalnu iradijaciju horizontalne plohe za neka od naših mjesta (npr. za Zagreb, Split, Beograd, Bar i dr.). Budući da je za proračun Sunčeva zračenja na plohu kolektora potrebno uz globalno poznavati i difuzno zračenje na horizontalnu plohu, to su mjerenja difuznog zračenja vrlo korisna za primjenu solarne energije. Međutim, na žalost, još uvijek je malo aktinometrijskih stanica (Bar, Beograd i Zagreb) na kojima se, uz globalno, mjeri i difuzno zračenje.

Liu i Jordan [8] razradili su metodu kojom se iz globalnog zračenja na horizontalnu plohu i ekstraterestričkog zračenja može izračunati difuzno zračenje. Opaženo je, naime, da je postotak difuznog

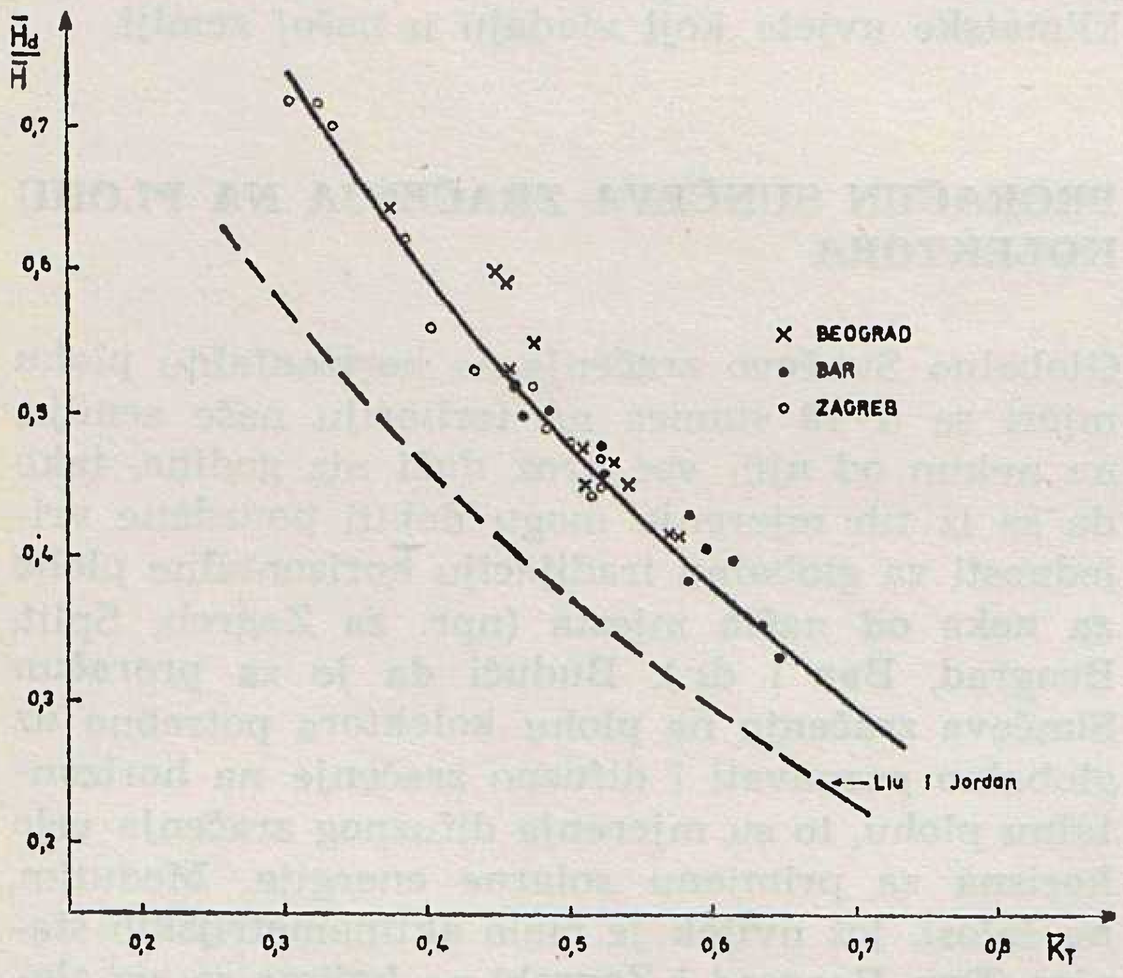
zračenja u globalnom H_d/H funkcija tzv. indeksa prozračnosti $\overline{K}_T = \overline{H}/\overline{H}_e$, gdje je $\overline{H}$ srednja dnevna globalna iradijacija na horizontalnu plohu, $\overline{H}_d$ srednja dnevna difuzna iradijacija, a $\overline{H}_e$ srednja dnevna ekstraterestrička iradijacija na istoj geografskoj širini. Srednje vrijednosti su pri tom dobivene usrednjavanjem po čitavom mjesecu. Vrijednost $\overline{H}_e$ mogu se lako izračunati, te se tako za svako mjesto za koje postoje mjereni podaci za $\overline{H}$ može odrediti indeks prozračnosti za pojedini mjesec.

Vezu između indeksa prozračnosti i udjela difuznog zračenja odredili su Liu i Jordan [8] upotrebljavajući mjerene podatke za globalnu i difuznu iradijaciju za razna mjesta u Sjevernoj Americi i dobili empiričku relaciju

$$\frac{\overline{H}}{\overline{H}_d} = a - b\overline{K}_T + c\overline{K}_T^2 - d\overline{K}_T^3, \qquad (1)$$

gdje je $a = 1{,}39$, $b = 4{,}03$, $c = 5{,}53$ i $d = 3{,}11$. Većina autora upotrebljavajući ovu relaciju pretpostavlja da ona ne ovisi o geografskoj širini i klimatskim prilikama pojedinog područja, tj. da vrijedi općenito, bez obzira na to gdje se promatrano mjesto nalazilo.

Međutim, opaženo je da se navedena relacija ne može bez odgovarajućih korekcija primijeniti na naše područje [9]. Uspoređujući podatke za naše i američko područje za istu geografsku širinu, opaža se da je kod nas udio difuznog zračenja u globalnom veći. Dok je tipični udio difuznog zračenja u američkom području oko 25—40%, kod nas je taj postotak 30—60%, tako da je za klimu Jugoslavije karakterističan upravo velik postotak difuznog zračenja u globalnom.



Crtež 1. Veza između postotka difuzne iradijacije i indeksa prozračnosti za naše klimatsko područje

Na crt. 1. prikazana je ovisnost između difuzne iradijacije i indeksa prozračnosti za Bar, Beograd i Zagreb. Očito je da se Liu-Jordanova relacija ne može (bez korekcije) primijeniti na naše područje. Pod pretpostavkom da je veza između $\overline{H}_d/\overline{H}$ i $\overline{K}_T$ dana relacijom (1), koeficijenti za naše područje trebaju biti a = 1,6 b = 4,17, c = 5,29 i d = = 2,86, te relacija poprima oblik

$$\frac{\overline{H}}{\overline{H}_d} = 1{,}6 - 4{,}17\overline{K}_T + 5{,}29\overline{K}_T^2 - 2{,}86\overline{K}_T^3, \qquad (2)$$

Te vrijednosti za koeficijente a, b, c i d dobiju se, naime, ako se kroz eksperimentalne točke za Bar, Beograd i Zagreb provuče krivulja u obliku polinoma trećeg stupnja, o čemu je detaljnije pisano u ref. [9].

Mjesečni prosjek dnevne iradijacije kose plohe $\overline{H}_T$ može se izraziti kao

$$\overline{H}_T = \overline{R}\,\overline{H}, \qquad (3)$$

gdje je $\overline{H}$ mjesečni prosjek dnevne iradijacije horizontalne plohe i $\overline{R}$ omjer srednje dnevne iradijacije nagnute plohe i iradijacije horizontalne plohe za pojedini mjesec [11].

Direktna komponenta Sunčeve iradijacije nagnute plohe $\overline{H}_{BT}$ računa se iz direktne komponente globalne iradijacije pomoću izraza:

$$\overline{H}_{BT} = \overline{H}_{BO}\,\overline{R}_B, \qquad (4)$$

gdje je R_B omjer srednje dnevne direktne komponente na nagnutu plohu i na horizontalnu plohu za pojedini mjesec. $\overline{R}_B$ je složena funkcija geografske širine, nagiba kolektora, Sunčeve deklinacije i za površine orijentirane prema jugu može se izračunati prema izrazima navedenim u ref. [11]. Difuzna komponenta na nagnutu plohu računa se pomoću izraza

$$\overline{H}_{DT} = \overline{H}_{DO}\frac{1+\cos\alpha}{2}, \qquad (5)$$

gdje je α kut nagiba kolektora prema horizontali. Na kolektor upada i dio Sunčeva zračenja reflektiranog od okolnih površina:

$$\overline{H}_{RT} = \overline{H}_{GO}\,\rho\frac{1-\cos\alpha}{2}, \qquad (6)$$

gdje je ρ koeficijent refleksije.

Iz (3), (4), (5) i (6) dobivamo da je srednja iradijacija nagnute plohe

$$\overline{H}_T = (\overline{H} - \overline{H}_D)\,\overline{R}_B + \overline{H}_D\frac{1+\cos\alpha}{2} + H\rho\frac{1-\cos\alpha}{2}, \qquad (7)$$

gdje je $\overline{H}_D$ difuzna komponenta srednje dnevne iradijacije, a $\overline{H}$ srednja dnevna globalna iradijacija.

Mjereni podaci za $\overline{H}_d$ poznati su za Zagreb [6]; međutim, za Split ne postoje mjerenja difuznog

zračenja te se $\overline{H}_d$ mora procijeniti iz srednjeg dnevnog globalnog zračenja. Tablica 1. prikazuje godišnji hod srednje dnevne globalne iradijacije horizontalne plohe [6, 7] i izračunate vrijednosti za srednje dnevne sume na kosu plohu ($\overline{H}_T$) nagnutu pod 45° prema horizontali i okrenutu prema jugu za područje Zagreba i Splita. U proračunima za Split upotrijebljena je i empirička relacija (2) za proračun difuznog zračenja, dok su za Zagreb korištene mjerene vrijednosti difuznog zračenja [6].

Tablica 2. Prosječne dnevne iradijacije u Zagrebu i Splitu

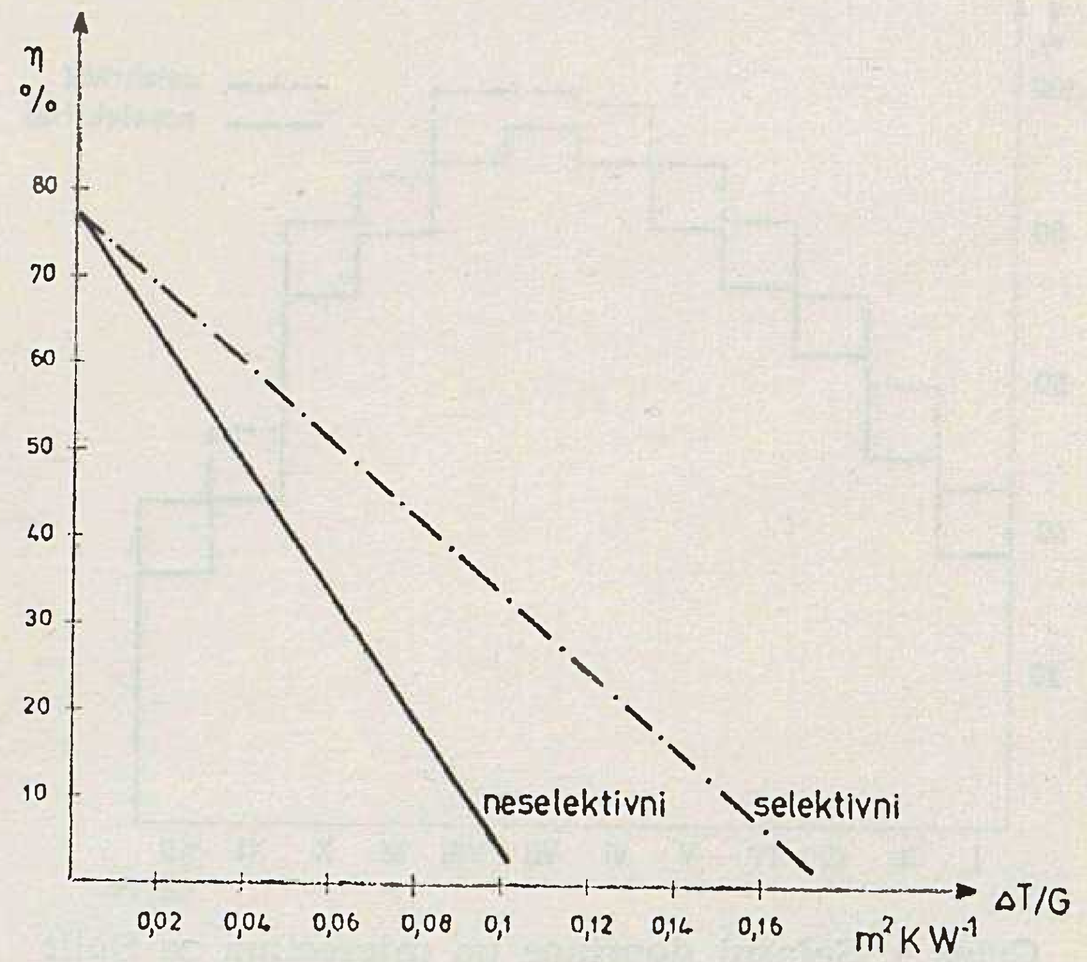
Mjesec	Split $\overline{H}$ MJ m^{-2} dan^{-1}	Split $\overline{H}_T$ MJ m^{-2} dan^{-1}	Zagreb $\overline{H}$ MJ m^{-2} dan^{-1}	Zagreb $\overline{H}_T$ MJ m^{-2} dan^{-1}
I	6,5	11,6	3,8	5,6
II	9,8	14,7	6,5	8,8
III	14,3	17,6	10,6	12,9
IV	18,6	19,2	15,3	15,6
V	23,3	21,2	18,6	16,9
VI	25,9	22,3	20,3	17,5
VII	25,4	22,4	20,8	18,2
VIII	22,4	21,9	18,2	17,6
IX	17,4	20,2	13,9	16,3
X	12,7	18,4	7,6	10,4
XI	7,4	12,7	3,9	5,7
XII	5,7	10,9	3,2	5,5

Uspoređujući podatke za Zagreb s podacima za Split, opaža se da u zagrebačkom klimatskom području nagnuta ploha kolektora primi u prosjeku oko 40% manje Sunčeve energije u toku jedne godine. Posebno je ta razlika velika u zimskim mjesecima (XI—III) kada je globalna iradijacija na kolektorsku plohu u Splitu gotovo dva puta veća nego u Zagrebu. Razlog tome je, osim geografskog položaja, i zagađenost atmosfere i dosta maglovitih dana u Zagrebu u zimskom i jesenskom razdoblju.

Podaci iz tablice 1. upotrijebljeni su za proračun solarnog uređaja za dobivanje tople vode za domaćinstva i industrijske pogone.

PROCJENA SOLARNOG DOPRINOSA

Za prosječni dan u svakom mjesecu, primjenom podataka o iradijaciji plohe kolektora i srednjim temperaturama, izračunate su efikasnost kolektora, energija koju kolektor daje spremniku, dnevni hod temperature vode u spremniku te solarni doprinos potrebnoj energiji. Solarni doprinos je proračunat integracijom po satima i pomoću metode tzv. »f-krivulja« opisane u [11] i na oba načina dobiveni su približno isti rezultati. Proračun je izvršen za kolektor s neselektivnom crnom bojom

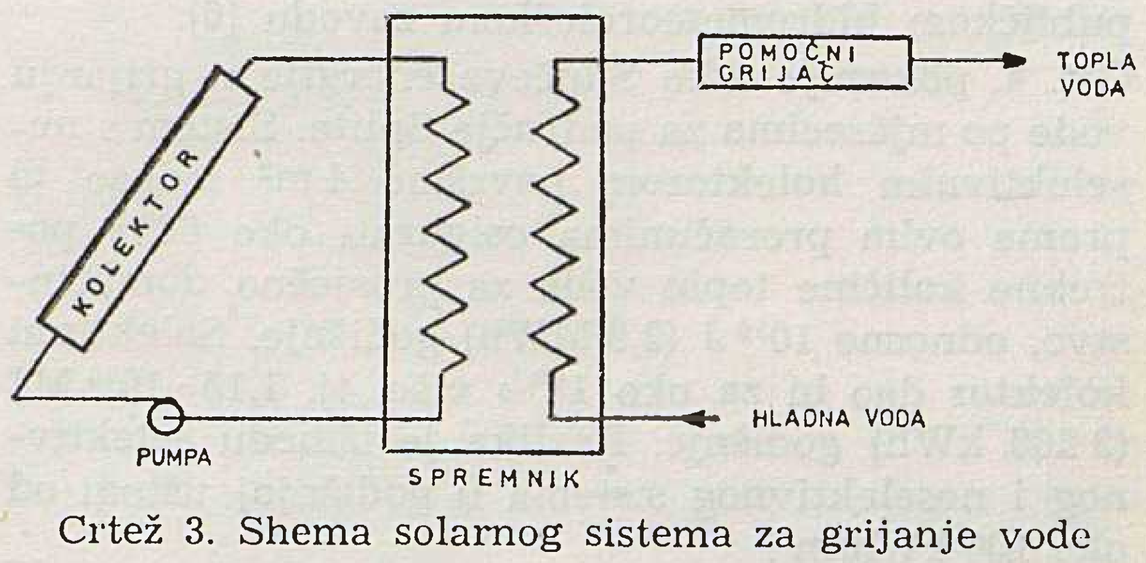


Crtež 2. Krivulje efiksnosti kolektora

i jednim staklom i za kolektor sa selektivnim apsorberom (npr. crnim kromom [12]) i jednim staklom. Krivulje efikasnosti kolektora koji su korišteni u proračunu prikazani su na crt. 2.

Pri proračunu dobivanja tople vode za potrebe domaćinstva pretpostavljeno je da je prosječna dnevna potrošnja 300 litara vode temperature od 45 °C i da je temperatura vode iz vodovoda 12 °C, što predstavlja dnevne potrebe od 41,5 MJ (11,5 kWh) odnosno godišnje od $1{,}5 \cdot 10^{10}$ J (4 200 kWh).

Pojednostavljena shema solarnog sistema za grijanje vode prikazana je na crt. 3. U proračunima za Split uzeto je 4 m² kolektora, a za Zagreb proračunat je rad sistema za tri površine kolektora: 4 m², 6 m² i 8 m². Volumen spremnika je odabran prema površini kolektora, tako da sadrži oko 75 litara vode po m² površine kolektora.

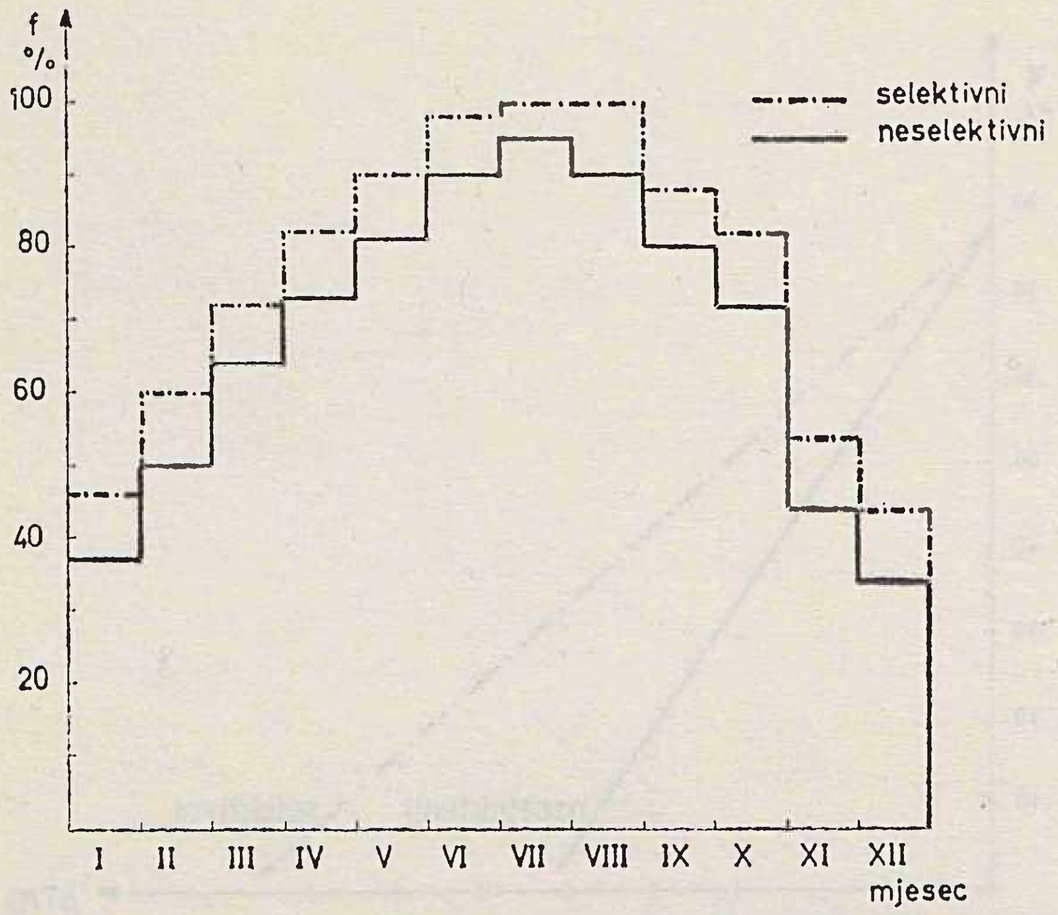


Crtež 3. Shema solarnog sistema za grijanje vode

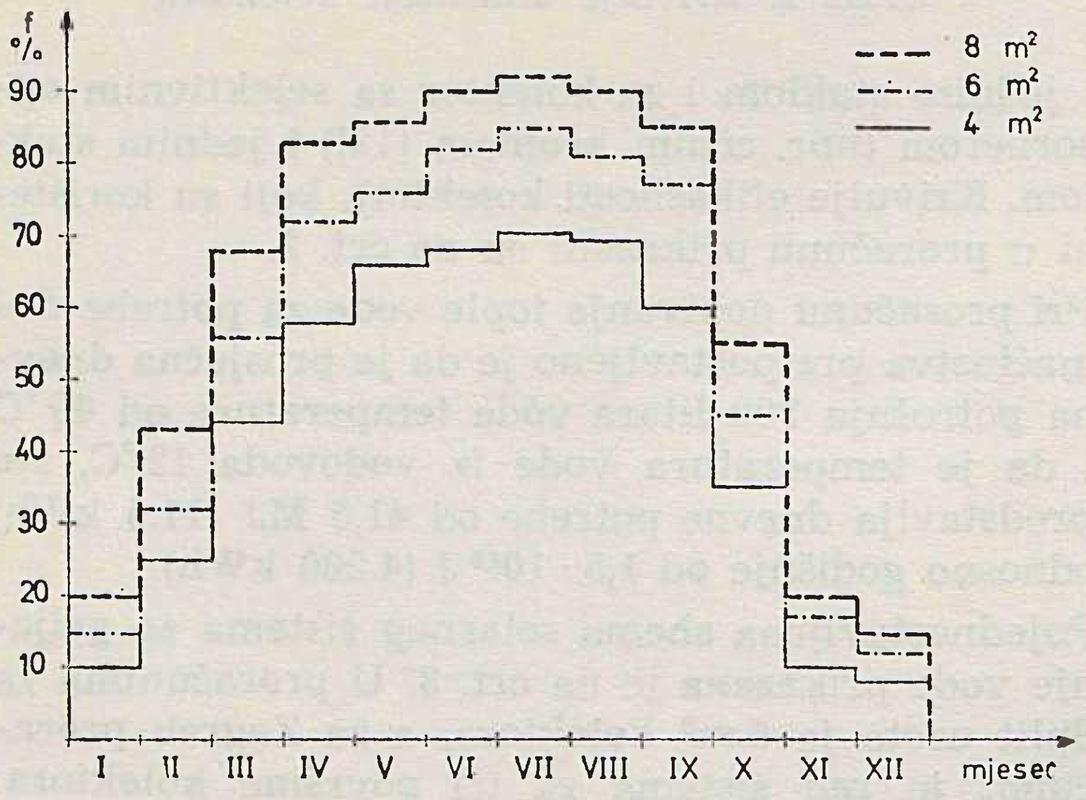
Proračun je izveden za selektivni i neselektivni kolektor primjenom poznate relacije za efikasnost kolektora [10]

$$\eta = F_R \left(K_\Theta \tau \alpha - k \frac{T_u - T_z}{\overline{H}_T} \right),$$

gdje je $F_R = 0{,}86$, $K_\Theta = 0{,}96$, $\alpha = 0{,}95$, $\tau = 0{,}9$, koeficijent toplinskih gubitaka $k = 8\ \mathrm{Wm^{-2}\,K^{-1}}$ za neselektivni i $k = 4{,}9\ \mathrm{Wm^{-2}\,K^{-1}}$ za selektivni apsorber (v. crt. 2), T_u temperatura vode na ulazu u kolektor i T_z temperatura zraka. Podaci za $\overline{H}_T$



Crtež 4. Solarni doprinos po mjesecima za Split

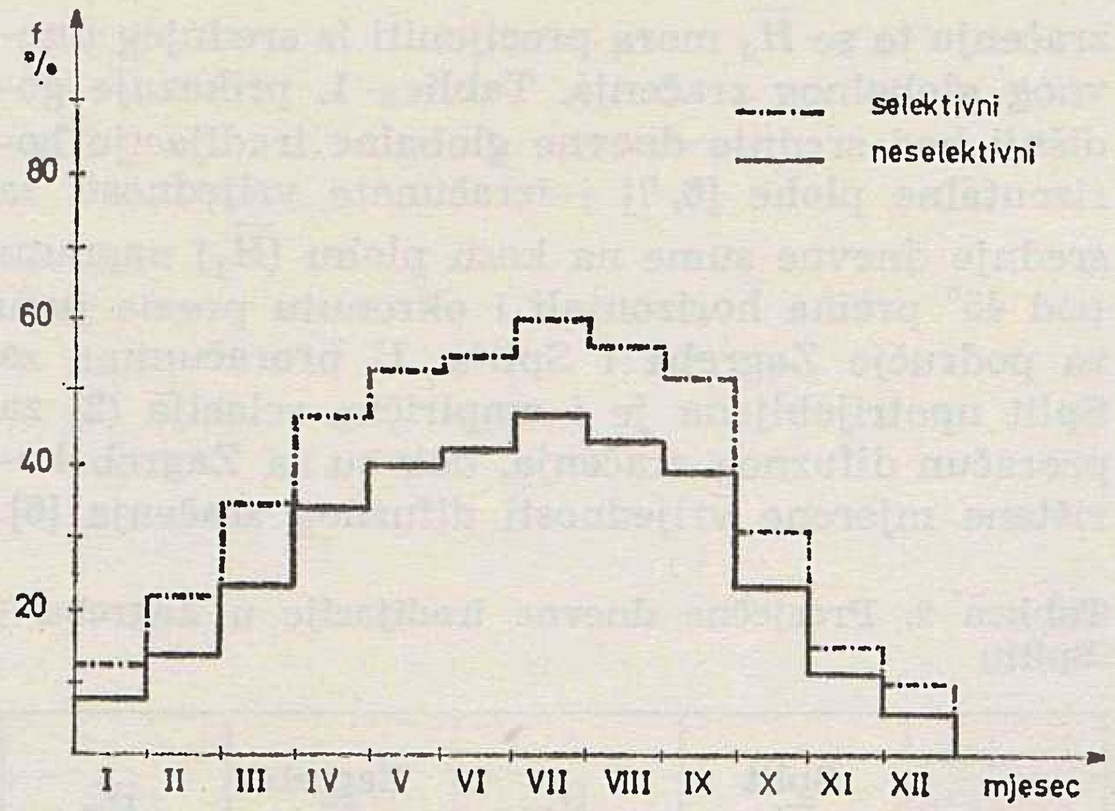


Crtež 5. Solarni doprinos za razne površine kolektora u području Zagreba

su iz tablice 1, a podatke T_z dobili smo u Republičkom hidrometeorološkom zavodu [6].

Crt. 4. pokazuje udio Sunčeve energije u grijanju vode po mjesecima za područje Splita. Sistem s neselektivnim kolektorom površine 4 m² mogao bi prema ovim proračunima osigurati oko 68% potrebne količine tople vode za prosječno domaćinstvo, odnosno 10^{10} J (2,9 MWh) godišnje. Selektivni kolektor dao bi za oko 13% više, tj. $1{,}15 \cdot 10^{10}$ MJ (3 200 kWh) godišnje. Razlika je između selektivnog i neselektivnog sistema u godišnjoj uštedi od oko 100 kWh/m².

Na crt. 5. prikazani su rezultati proračuna za Zagreb, i to za neselektivni kolektor površine 4 m², 6 m² i 8 m². Sistem s neselektivnim kolektorom površine 4 m² mogao bi, prema ovim proračunima, osigurati 43% potrebne količine tople vode za prosječno domaćinstvo, dok za površinu 6 m² taj postotak iznosi oko 54%, a za 8 m² 62%. Uspoređujemo li rezultate za Zagreb i Split, vidimo da se s kolektorom površine 4 m² u Splitu može osigurati oko 50% više energije nego u Zagrebu. Posebno je u zimskim mjesecima solarni doprinos u Zagrebu (u usporedbi sa Splitom) malen. Upotrijebimo

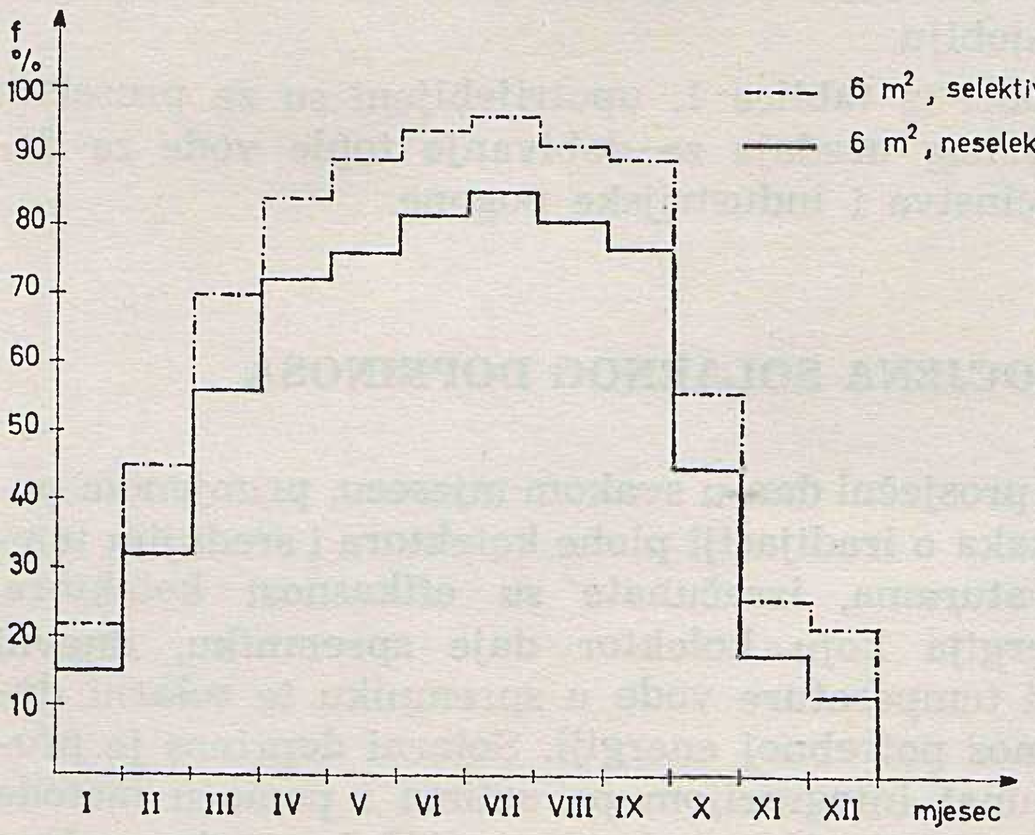


Crtež 6. Usporedba solarnog doprinosa za selektivni i neselektivni apsorber u Zagrebu

li selektivni kolektor, npr. površine 6 m², solarni doprinos je 66% (10^{10} J godišnje) umjesto 54% ($8{,}2 \cdot 10^9$ J), dakle 22% veći (crtež 6.). Solarni doprinos selektivnog kolektora u Zagrebu bio bi godišnje za oko 80 kWh/m² veći od doprinosa neselektivnog kolektora.

Tvornica ulja u Zagrebu za potrebe tehnološkog procesa potroši na dan oko 100 000 litara vode temperature 100 °C koja se od početne temperature (15 °C) zagrijava plinskim grijačima [14]. Ako bi se ugradio solarni sistem za zagrijavanje vode, početna temperatura vode na ulazu u konvencionalni grijač ne bi više bila 15 °C, nego viša, tako da bi se moglo uštedjeti konvencionalno gorivo (plin). Pod pretpostavkom da se solarni sistem sastoji od 3 000 m² kolektora i spremnika od 50 000 litara, proračunat je rad sistema za svaki sat u prosječnom danu u svakom mjesecu. Pri proračunu se također pretpostavilo da je potrošnja vode kontinuirana, po 4 000 litara svakog sata, i da tvornica radi bez prekida, 24 sata dnevno, svaki dan.

Rezultati proračuna doprinosa solarnog uređaja u zadovoljavanju toplinskih potreba tvornice prikazani su na crt. 7. Krivulje izvučene punom lini-



Crtež 7. Godišnji dijagram postotka pokrivanja toplinskih potreba za pripremu tople vode u tvornici ulja pomoću Sunčeve energije

jom su za neselektivni, a crtkanom linijom za selektivni kolektor. Potrebe tvornice su oko $3{,}4 \cdot 10^{10}$ J dnevno, odnosno $1{,}25 \cdot 10^{13}$ J godišnje [14]. Neselektivnim kolektorom površine 3 000 m² moglo bi se osigurati oko $3{,}4 \cdot 10^{12}$ J (940 MWh), odnosno 27%, a selektivnim kolektorom oko $4{,}6 \cdot 10^{12}$ J (1 300 MWh) odnosno 37%. Ovaj solarni doprinos čini se, na prvi pogled, relativno malen. Međutim, treba imati na umu da tvornica radi 24 sata na dan i da troši vodu relativno visoke temperature. Pri proračunu nisu pretpostavljene nikakve promjene na već postojećim uređajima i procesima, a vjerojatno bi se još veće uštede mogle dobiti kada bi se čitav tehnološki proces projektirao za upotrebu solarne tople vode. Pri proračunu također nije pretpostavljen optimalan volumen spremnika (50—70 litara/m²), već znatno manji (17 litara/m²) tako da je propačunati solarni doprinos za oko 10% manji od maksimalnog mogućeg. I u ovoj primjeni uštede bi, naravno, bile znatno veće u jadranskom području. Tako bi sličan solarni uređaj s neselektivnim kolektorom u Splitu osigurao oko $6{,}5 \cdot 10^{12}$ MJ godišnje.

ZAKLJUČAK

Iz aktinometrijskih podataka za Sunčevo zračenje koje u Zagrebu i Splitu upada na horizontalnu plohu izračunate su srednje dnevne iradijacije plohe kolektora okrenute prema jugu i nagnute pod kutom 45° prema horizontali. Pri tom su za Zagreb korišteni mjereni podaci za globalno i difuzno zračenje, a za Split podaci za globalno, dok su podaci za difuzno zračenje izračunati. Empirička relacija između difuznog i globalnog zračenja prilagođena našem klimatskom području, koja je razmatrana u ovom radu i upotrijebljena za područje Splita, može se primijeniti i za ostala područja u našoj zemlji gdje ne postoje mjereni podaci.

Dok bi se u Splitu u solarnom uređaju za dobivanje tople vode za domaćinstvo prema ovim proračunima moglo dobiti godišnje oko 700 kWh/m² s neselektivnim i 800 kWh/m² sa selektivnim kolektorom (površine 4 m²) i spremnikom od 75 litara/m², solarni doprinos u Zagrebu je dosta manji: 380 kWh/m² s neselektivnim (površine 6 m²) i 460 kWh/m² sa selektivnim kolektorom.

Osim proračuna solarnog sistema za zagrijavanje vode u domaćinstvima u radu je procijenjena i ušteda konvencionalnih izvora energije korištenjem solarnog sistema za grijanje vode u tvornici ulja u Zagrebu. Solarni sistem sa 3 000 m² neselektivnih kolektora mogao bi godišnje osigurati oko 950 MWh, odnosno 320 kWh po kvadratnom metru kolektora. Upotreba selektivnih apsorbera povećala bi efikasnost sistema, posebno u ljetnim mjesecima i omogućila povećanje uštede za u prosjeku oko 35%. To bi rezultiralo u godišnjoj uštedi od oko 130 kWh/m². Solarni doprinos bi bio, naravno, znatno veći, u jadranskom području.

Konačno, što se tiče ekonomičnosti upotrebe solarnih sistema, potrebno je, uz opisane proračune, poznavati cijenu solarnog sistema, vijek njegova trajanja i predvidjeti porast cijena energije u budućnosti. Proračuni izneseni u ovom radu mogu, dakle, poslužiti kao orijentaciona podloga pri određivanju rentabilnosti primjene solarnih sistema u Zagrebu i Splitu.

LITERATURA

[1] P. Kulišić et al., Prosjena uštede energije iz konvencionalnih izvora korištenjem solarnog sistema za grijanje vode, Zbornik radova savjetovanja »Primjena Sunčeve energije u turističkim objektima«, Trogir, 1979.

[2] U. Desnica i N. Galešić, Efikasnost rada solarnog uređaja za dobivanje tople vode na Jadranu, Zbornik radova savjetovanja »Primjena Sunčeve energije u turističkim objektima«, Trogir, 1979.

[3] P. Kulišić et al., Usporedba efikasnosti rada solarnog uređaja za dobivanje tople vode sa neselektivnim i selektivnim apsorberom u području Splita, SEAK, Zrenjanin, 1979.

[4] U. Desnica i B. Pivac, Mogućnosti zagrijavanja zgrada Sunčevom energijom u Zagrebu, Sunčeva energija 3 (1980) 25.

[5] F. Gamser, Raspodela komponenata Sunčevog zračenja u Jugoslaviji prema merenjima u mreži stanica, Savetovanje »Sunčeva energija u Jugoslaviji«, Beograd, 1977.

[6] A. Bratanić, Republički hidrometeorološki zavod, Zagreb, privatno saopćenje

[7] I. Penzar i A. Bratanić, Proračun dnevnog hoda Sunčevog zračenja na južnu kosu plohu«, Zbornik radova savjetovanja »Primjena sunčeve energije u turističkim objektima«, Trogir, 1979.

[8] B. Y. H. Liu and R. C. Jordan, The Interrelations-hip and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation, Solar Energy 4 (1960) 1.

[9] P. Kulišić, Proračun godišnjeg hoda srednje dnevne sume globalnog zračenja na južnu kosu plohu, Solar 80, Beograd.

[10] J. A. Duffie and W. A. Beckman, Solar Thermal Processes, John Wiley and Sons, New York, 1974.

[11] W. A. Beckman et al., Solar Heating Design, J. Wiley and Sons, New York, 1977.

[12] J. Vuletin et al., Selektivni slojevi za konverziju Sunčeve energije, Energija 11—12 (1977) 425.

[13] F. Bureta, Solar Therminal Energy in Industrial Process, Fourth Course on Solar Energy Conversion, Trieste, 1977.

[14] F. Marasović, Solarni sistem za dobivanje tople vode, Diplomski rad, Elektrotehnički fakultet, Zagreb.

KEY WORDS:

SOLAR ENERGY
HEATING
INSOLATION

POSSIBILITIES FOR THE HOT WATER PRODUCTION BY SOLAR ENERGY

On the base of insolation meteorological data on a horizontal plate i Zagreb and Split, calculated is yearly change of monthly average of insolation on plate of collector placed with 45° angle to the horizon. For this case, empiric relation for percentage of diffusive radiation and the transpiration

index which is applicable for our region has been derived. Operation of solar sistem for water heating in housholds in Zagreb and Split is calculated. Use of solar energy in industrial process is discussed.

MÖGLICHKEITEN DER WARMWASSERBEREITUNG DURCH SONNENENERGIE

Aus meteorologischen Daten der Sonneneinstrahlung auf eine horizontale Fläche für Zagreb und Split wurde der jährliche Monatsdurchschnitt der täglichen Flächenbestrahlung von Sonnenkollektoren für eine Neigung von 45° zur Horizontalen ermittelt. Dabei wurde ein empirisches Verhältnis zwischen der diffusen Strahlung und dem Kennwert der Strahlendurchlässigkeit, die den klimatischen Bedingungen in Jugoslawien und den errechneten Werten für die Gebiete Zagreb und Split entspricht, ermittelt. Errechnet wurde die erforderliche Leistung eines Solarsystems zur Erwärmung des Wasserbedarfs für Haushaltszwecke in Zagreb und Split. Ausserdem wurde die Verwendung der Sonnenenergie für industrielle Zwecke untersucht.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОЙ ВОДЫ ПРИ ПОМОЩИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Основываясь на метеорологических данных о солнечном излучении на горизонтальную плоскость в городах Загреб и Сплит, высчитан годовой ход месечных среднесуточных облучений плоскости коллектора, наклоненной под 45° к горизонту. При этом оыло выведено эмпирическое соотношение процента дифузного излучения и индекса прозрачности, соответствующее климатическим условиям нашей страны, а затем было приемнено в расчетах для района г. Сплит. Вычислена работа солнечной системы нагрева воды для домашних хозяйств в г. Загреб и г. Сплит.

Naslov pisca:

Prof. dr Petar Kulišić, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet, Zagreb

Energija God. 30 (1981) br. 7—8, 357—364

NEDESTRUKTIVNO ODREĐIVANJE ODGORA REAKTORSKOG GORIVA GAMA — SPEKTROMETRIJSKOM ANALIZOM AKTIVNOSTI MONITORA FISIJA

Tomislav Petković, Zagreb

UDK 621.039.54

Nedestruktivno se odgor određuje γ-spektrometrijskim mjerenjem aktivnosti odgovarajućih fisionih produkata nakupljenih fisijama u gorivom elementu. Najprikladniji monitori fisija (odgora) su: ^{137}Cs, $^{134}Cs/^{137}Cs$, $^{144}Ce/Pr$, $^{106}Ru/Rh$, $^{95}Zr/Nb$. Eksperimentalno određivanje odgora esencijalnog je značenja kao verifikacija fundamentalnih proračuna reaktora i kao putokaz u odabiranju optimalnih rješenja dobivenih proračunom. U radu se analiziraju mogućnosti i ograničenja određivanja odgora γ-spektrometrijskim mjerenjem navedenih monitora. U taj kontekst smještaju se i vlastiti rezultati u problematici apsolutne kalibracije koaksijalnog Ge(Li) detektora s rasprostranjenim izvorom γ-zračenja.

Ključne riječi: **Nuklearno gorivo**
Reaktor
Fisija

1. UVOD

Fizičke promjene — kojima se obuhvaća mnogostruko vremensko mijenjanje izotopskog sastava goriva zbog trajnog neutronskog ozračivanja u toku rada reaktora što se označava terminom »burnup« (hrv. odgor; izgaranje), sa svim utjecajima na kritičnost reaktora, raspodjelu snage, sigurnost, izvedbenost gorivih elemenata, izmjenu (gospodarenje) goriva itd. — predmet su reaktorske fizike odgora. [1] Točno poznavanje odgora goriva ima fundamentalno značenje i jedan je od karakterističnih problema u projektiranju reaktora (nuklearno-energetskih postrojenja).

Izravna određivanja odgora u reaktorskom gorivu, ili drugim riječima određivanja ukupnog broja fisija, zasnivaju se na mjerenju koncentracije ili aktivnosti izabranog primjerenog izotopa (fisionog produkta) koji se nakuplja u gorivom elementu za vrijeme rada reaktora. Promjene u izotopskom sastavu goriva u termalnom reaktoru opisane su diferencijalnim jednadžbama prvog reda. Općenito, jednadžba nagomilavanja određenog izotopa u reaktoru, uračunavajući sve procese, jest:

$$\frac{dN_i}{dt} = \sum_j \int Y_j^i N_j \sigma_{f,j} \Phi \, dE + \lambda_K N_N + \\ + N_{i-1} \int \sigma_{c,i-1} \Phi \, dE - \lambda_i N_i - Ni \int \sigma_{a,i} \Phi \, dE \qquad (1)$$

Pozitivnim članovima na desnoj strani predstavljeni su izvori izotopa *i*. Primarni izvor je proces fisije gdje se oznaka (sumacija) *j* odnosi na sve fisione izotope U ili Pu, dok Y predstavlja fisioni prinos izotopa i za pojedinačni fisioni izotop U ili Pu. Drugi izvor izotopa *i* je radioaktivni raspad ($\lambda_K N_K$), a treći uhvat neutrona (gdje se σ_c odnosi na udarni presjek za radioaktivni uhvat neutrona). Negativnim članovima na desnoj strani jednadžbe predstavljena je destrukcija izotopa i procesom vlastitog radioaktivnog raspada ($\lambda_i N_i$) i apsorpcijom neutrona (gdje se σ_a odnosi na udarni presjek za apsorpciju neutrona).

Za eksperimentalno određivanje odgora ili ukupnog broja fisija I,

$$I = \int_E \int_t \sum_j N_i \, \sigma_{f,j} \Phi \, dE \, dt \qquad (2)$$

idealnim izotopom-monitorom fisija smatramo onog koji bi zadovoljavao ove uvjete. [2]

1. fisioni prinos monitora mora biti približno jednak za sve karakteristične fisione izotope U ili Pu; također je poželjno da fisioni prinosi ne variraju s energijom neutrona;
2. monitor, kao i izotopi — njegove preteče, u jednadžbi (1) moraju biti karakterizirani što manjim udarnim presjecima za uhvat neutrona;
3. u izvjesnoj mjeri izotop-monitor mora biti »stabilan«, odnosno imati poluživot što veći spram vremena ozračivanja;

U matematičkoj interpretaciji navedeni uvjeti određuju jednadžbu za koncentraciju N_i idealnog izotopa-monitora fisija:

$$N_i = N_i(O) + YI + \text{korekcioni članovi}, \qquad (3)$$

gdje I označava ukupni broj fisija prema (2), a Y fisioni prinos izotopa.

Jednadžba (3) upućuje kojim se daljnjim poželjnim karakteristikama treba odlikovati izotop-monitor N_i:

4. izotop-monitor mora imati dobro definirane (poznate) nuklearne podatke kako bi se korek-

cije mogle adekvatno uračunati bilo da je riječ o korekcijama koje se odnose na reaktorski život (incore) izotopa ili poslije reaktorsko (out-of-core) hlađenje;

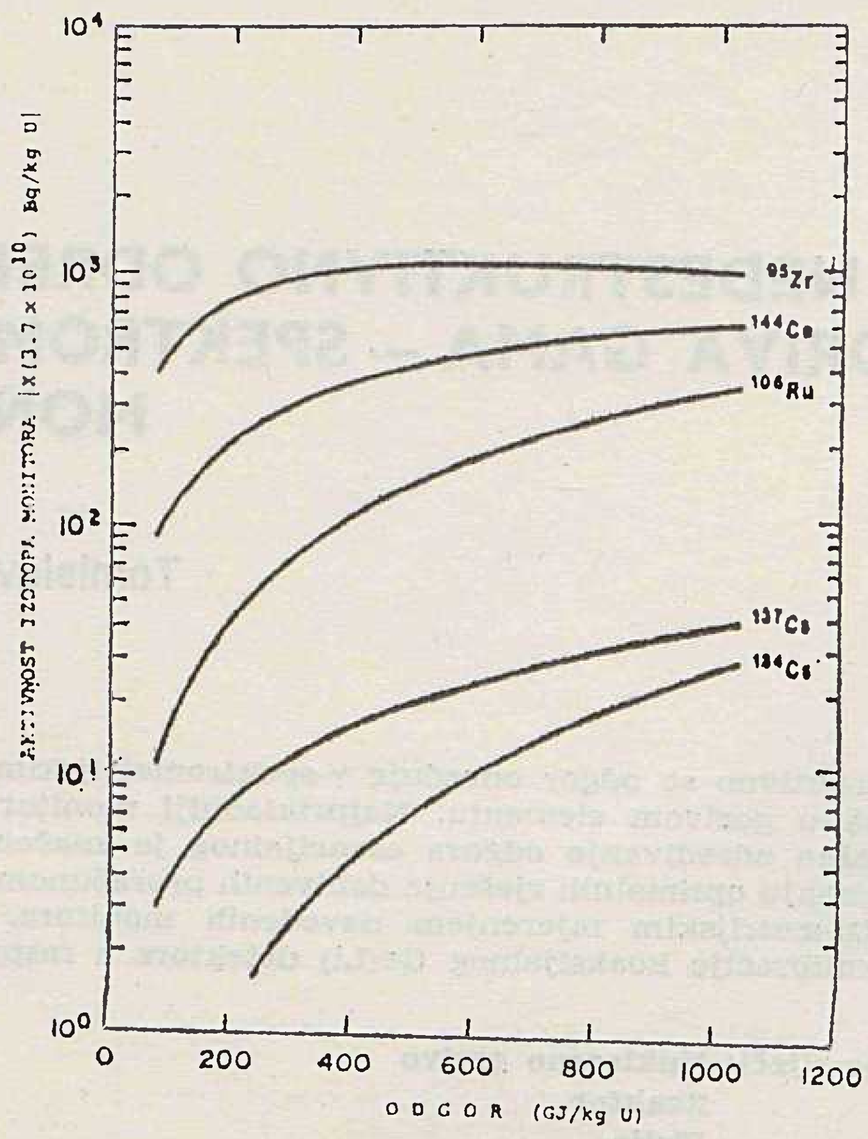
5. točno poznavanje fisionih prinosa;
6. eksperimentalna mjerenja monitora u gorivom elementu moraju davati izglede za relativno veliku točnost, preciznost i osjetljivost.

2. IZOTOPI-MONITORI FISIJA ZA NEDESTRUKTIVNO ODREĐIVANJE ODGORA γ-SPEKTROMETRIJSKOM METODOM

γ-spektrometrijska metoda određivanja odgora zasniva se na mjerenju karakteristične γ-aktivnosti onih izotopa — fisionih produkata, koji svojim nuklearnim karakteristikama zadovoljavaju kriterije nabrojene u uvodu. Navedenim kriterijima u potpunosti se ne odaziva niti jedan izotop, što jednostavno govoreći znači da nema idealnog monitora. Optimalan odziv, međutim, između svih produkata fisije, pokazuju samo 4 izotopa (izotopska para): ^{137}Cs, odnosno omjer $^{134}Cs/^{137}Cs$, $^{144}Ce/Pr$, $^{106}Ru/Rh$, $^{95}Zr/Nb$. Izotopi su navedeni tako da je naznačen samo maseni broj roditelja, dok prominentne γ-energije, kao što je poznato, dolaze iz izotopa potomka u paru.

Slikom 1. prikazan je porast aktivnosti (koncentracije) svih izotopa-monitora fisija u gorivu u funkciji odgora u slučaju neprekinutog ozračivanja. Slika se odnosi na produkciju monitora u gorivu teškovodnog kanadskog reaktora (Pickering CANDU* reaktor veličine 514 MWe) pri stalnom neutronskom toku od $5.29 \times 10^{17}\ nm^{-2}\ s^{-1}$. [3] Krivulje na slici dobivene su teorijskim proračunom putem računarskih kodova LATREP i ISOGEN. LATREP [4] kodom, kojim se proračunava elementarna ćelija reaktorske rešetke, na osnovi ulaznih podataka (dostupnih iz projektne dokumentacije) za geometriju gorivog elementa i obogaćenje, temperaturu hladioca i moderatora i neutronskog toka, računa se koncentracija (izotopski sastav) u zavisnosti od odgora. Zatim se ISOGEN kodom, koji podatke za neutronski tok, spektar i udarne presjeke, koristi iz LATREPA, izračunaju aktivnosti ^{137}Cs, ^{134}Cs i ostalih na sl. 1.

Privlačnost γ-spektrometrijske metode, naravno, počiva u činjenici njezine nedestruktivnosti i tome da se može izravno i brzo primijeniti na gorive elemente nakon što su izvađeni iz reaktora. Međutim, prije samog mjerenja u pravilu je potrebno hlađenje gorivog elementa kako bi utrnuli spektralni energijski vrhovi kratkoživućih izotopa. Upravo radi eksperimentalne brzine (kratkotrajnih mjerenja), γ-spektrometrijska metoda je izuzetno prikladna za određivanje aksijalnog ili radijalnog profila monitora (aksijalne i radijalne raspodjele odgora u pojedinačnom gorivom štapu). Za rela-



Slika 1. Porast aktivnosti izotopa-monitora fisija u gorivu u funkciji odgora (krivulje se odnose na »Pickering« UO_2 gorivo)

tivna mjerenja odgora koriste se posebni pokretni uređaji kojima se γ-zračenje u pravilu kolimira na putu prema detektoru, dok se analizator koristi kao jednokanalni uređaj. Također, gorivi štap rotira za vrijeme mjerenja kako bi se efektivno »izgladila« moguća asimetrična raspodjela monitora i time dobila srednja vrijednost γ-aktivnosti po cijelom presjeku onog dijela gorivog štapa koji je zahvaćen otvorom kolimatora.

Pored kriterija koji su determinirali izbor izotopa-monitora za nedestruktivno γ-spektrometrijsko određivanje odgora, i sama γ-spektrometrijska metoda mora zadovoljavati određene kriterije, čime opravdava svoju svrhovitost, naročito spram ostalih eksperimentalnih tehnika za određivanje odgora (destruktivnih kemijskih npr.). Spomenut ćemo ovdje tri osnovna kriterija: [3], [5]

1. nezavisnost γ-spektrometrijske metode od ostalih eksperimentalnih metoda za određivanje odgora, osim u pogledu kalibracije spektrometrijskog uređaja;
2. metoda treba biti primjenljiva (i manifestirati adekvatnu točnost i preciznost) za eksperimentalnu verifikaciju mnogobrojnih teorijskih predviđanja odgora. Praktički se u pogledu točnosti i preciznosti ustalio zahtjev da točnost eksperimentalnih rezultata bude 95% ili bolja, i preciznost (2σ) od $\pm$ 10% ili još povoljnija;
3. metoda mora biti primjenljiva na bilo koje gorivo izdvojeno iz reaktora zadanog i poznatog dizajna, bez upotrebe svih detaljnih različitih podataka upotrebljenih u proračunu reaktora. Ovim kriterijem smjera se određenom stupnju nezavisnosti γ-spektromerijske metode u eksperimentalnoj evaluaciji odgora od terijskih proračuna, jer se

* CANada Deuterium Uranium

eksperimentalne vrijednosti odgora najčešće koriste u koncepciji provjere proračuna reaktora. Međutim, valja istaknuti da ovakva željena nezavisnost bitno zavisi od karakteristika izotopa — monitora preko kojeg se vrši γ-spektrometrijsko određivanje odgora. Jedino ^{137}Cs kao gotovo idealan monitor omogućava određenu nezavisnost (samostojnost) metode. Naime, migrabilnost (hlapljivost) ^{137}Cs u matrici UO_2 relativno je manji nedostatak u usporedbi s prednosti koje ima ^{137}Cs prema ostalim monitorima (najveće vrijeme poluraspada, prominentna γ-energija, itd.).

3. ANALIZA MOGUČNOSTI I OGRANIČENJA ODREĐIVANJA ODGORA GAMA-SPEKTROMETRIJSKIM MJERENJEM AKTIVNOSTI MONITORA

Mogućnosti i ograničenja određivanja odgora goriva preko izotopa ^{137}Cs, $^{134}Cs/^{137}Cs$, $^{144}Ce/Pr$, $^{106}Ru/Rh$, $^{95}Zr/Nb$ velikim dijelom izlaze na vidjelo iz zajedničkog pregleda i usporedbe njihovih nuklearnih podataka koji su karakteristika svakog izotopa. U tablici 1. sistematizirani su podaci za prinose termičkom fisijom, za neutronske udarne presjeke i za vremena ozračivanja i hlađenja. Podaci u tablici 1. dobiveni su inventurom literature [6], [7], [8], [9]. Podaci za $T_{1/2}$ u uglastim zagradama predstavljaju evaluirane vrijednosti [6] koje se preporučuju za primjenu u različitim proračunima. Podaci za vremena poluraspada iznad onih u uglastim zagradama dani su prema literaturi [9] koja predstavlja najsvježiju opsežnu kompilaciju nuklearnih podataka.

3.1. Eksperimentalno γ-spektrometrijsko određivanje odgora preko ^{137}Cs i omjera $^{134}Cs/^{137}Cs$

Izotop — monitor ^{137}Cs nastaje u termalnom reaktoru iz primarnog fisionog produkta ^{137}Te, sekvencijom β^- raspada. To znači da se u procesu nastanka ^{137}Cs događa samo jedna neutronska reakcija (ona fisiona kojom nastaje ^{137}Te). Prema tome, formiranje monitora ^{137}Cs u gorivu u toku rada reaktora izravno ovisi o neutronskom toku Φ i vremenu ozračivanja t. Umnošku Φt (integriranom neutronskom toku) je dakle proporcionalno nakupljanje ^{137}Cs u reaktoru, a kako je tome proporcionalan i odgor, onda je očevidno zašto mjerenjem γ-aktivnosti ^{137}Cs možemo odrediti odgor goriva. U nastanku ^{134}Cs događaju se dva uhvata neutrona, jer ^{134}Cs nastaje iz stabilnog fisionog produkta ^{133}Cs radijativnim uhvatom neutrona. To znači da akumuliranje ^{134}Cs u gorivu ovisi o $(\Phi t)^2$, čime se taj izotop, posmatran zasebno, ne izdvaja kao dobar monitor. Međutim, omjer $^{134}Cs/^{137}Cs$ zato linearno ovisi o (Φt), što ga nadasve čini relevantnim za eksperimentalno određivanje odgora.

^{137}Cs odziva se svojim nuklearnim karakteristikama gotovo svim kriterijima koji se zahtijevaju za monitore odgora. Ono po čemu je ^{137}Cs najbolji monitor jest njegov dug poluživot, znatno dulji od bilo kojeg vremena ozračivanja. Druga njegova prednost najbolje se otkriva iz tablice 1: fisioni prinos ^{137}Cs je praktički jednak za termičku fisiju svih

TABELA 1

Karakteristični nuklearni podaci najprikladnijih fisionih produkata za γ-spektrometrijsko odredjivanje odgora

Izotop-monitor	Fisioni prinos monitora termičkom fisijom teških nuklida u reaktoru (u %)				Neutronski udarni presjeci ($\times 10^{-28} m^2$)				Optimalno vrijeme ozračivanja goriva	Vrijeme hladjenja gorivog elementa
	^{233}U	^{235}U	^{239}Pu	^{241}Pu	Termičke neutrone (2200 m/s)	Maksvelijan ($g\sigma_0$)(1)	Rezonantni integral, R(2)	Udar. presj. za termičke neutrone reaktor. spektra		
$^{144}Ce/Pr$	4.52	5.39	3.80	4.17		1.0±0.1	2.2±0.3		Do 400 dana	Do 500 dana
^{137}Cs	6.12	6.27	6.48	6.60				0.11	Do 1800 dana	Do 4000 dana
^{134}Cs	Neizravno iz ^{133}Cs reakcijom uhvata (n,γ)				133(3)			140±12		
$^{106}Ru/Rh$	0.262	0.39	4.34	5.50	0.12	0.15±0.05	2.0±0.6		Do 500 dana	Do 600 dana
$^{95}Zr/Nb$	6.27	6.45	4.90	5.03	^{95}Zr 0.48(3) / ^{95}Nb 1.43(3)			1(4) / < 7	Do 100 dana	Do 150 dana
^{133}Cs	5.88	6.72	6.76	6.80		29.5±2.0	450±20			

(1) Ukupni udarni presjek $\hat{\sigma}$ se navodi kao $\hat{\sigma} = g_0 + r(T_0 s)$, gdje je prvi član maksvelijanska komponenta opisana neutronskom temperaturom T. Drugim je članom predstavljen epitermalni doprinos.
(2) Redicirane vrijednosti evaluirane na osnovu mjerenja za beskonačno razrijedjen izvor, iznad 1/v područja udarnog presjeka.
(3) Vrijednosti su dobivene interpolacijom.
(4) Gruba procjena dobivena na osnovu usporedbe s 2200 m/s udarnim presjekom elementa sličnog masenog broja i naboja

Podaci u Tabeli su uglavnom navedeni prema evaluacijama koje su napravili Grouch [7], Eder i Lammer [6], ili prema najopširnijoj kompilaciji nuklearnih podataka od Lederera i Shirley-a [9]. Neki od podataka za fisione prinose, koji su novijeg porijekla, navedeni su prema [5], [3] literaturi.

fisibilnih izotopa. Zatim, udarni presjeci za termičke i brze neutrone su za ^{137}Cs vrlo maleni, tako da je gubitak cezija u gorivu uhvatom neutrona praktički zanemariv. ^{137}Cs se odlikuje intenzivnom visokoenergetskom γ-linijom od 0.6616 MeV koja omogućava da se iz kolimacijskih γ-spektrometrijskih mjerenja na gorivim elementima dobije informacija o raspodjeli monitora po dubini gorivog elementa, a ne samo po vrlo maloj površinskoj debljini što omogućuju niskoenergetske γ-linije. U tablici 2, dane su vrijednosti za efektivnu dubinu $L_{0.99}$ koja je potrebna da iz kolimiranog izvora (goriva) dospije na čelo detektora 99% γ-fotona od fotonskog toka kojeg bi dao beskonačni izvor (goriva). Izvor i detektor su dakako kolimirani, i kolimator je takav da »osigurava« paralelan upad γ-fotona prema detektoru. U takvom sustavu detektora i izvora, gdje je izvor definiran cilindričnim otvorom kolimatora, i u kojem postoji samoapsorpcija (μ_S), jednostavno se evaluira debljina L potrebna da apsorbira dio F γ-fotona koje emitira izvor:

$$L = \frac{1}{\mu_S} \ln (1 - F) \qquad (4)$$

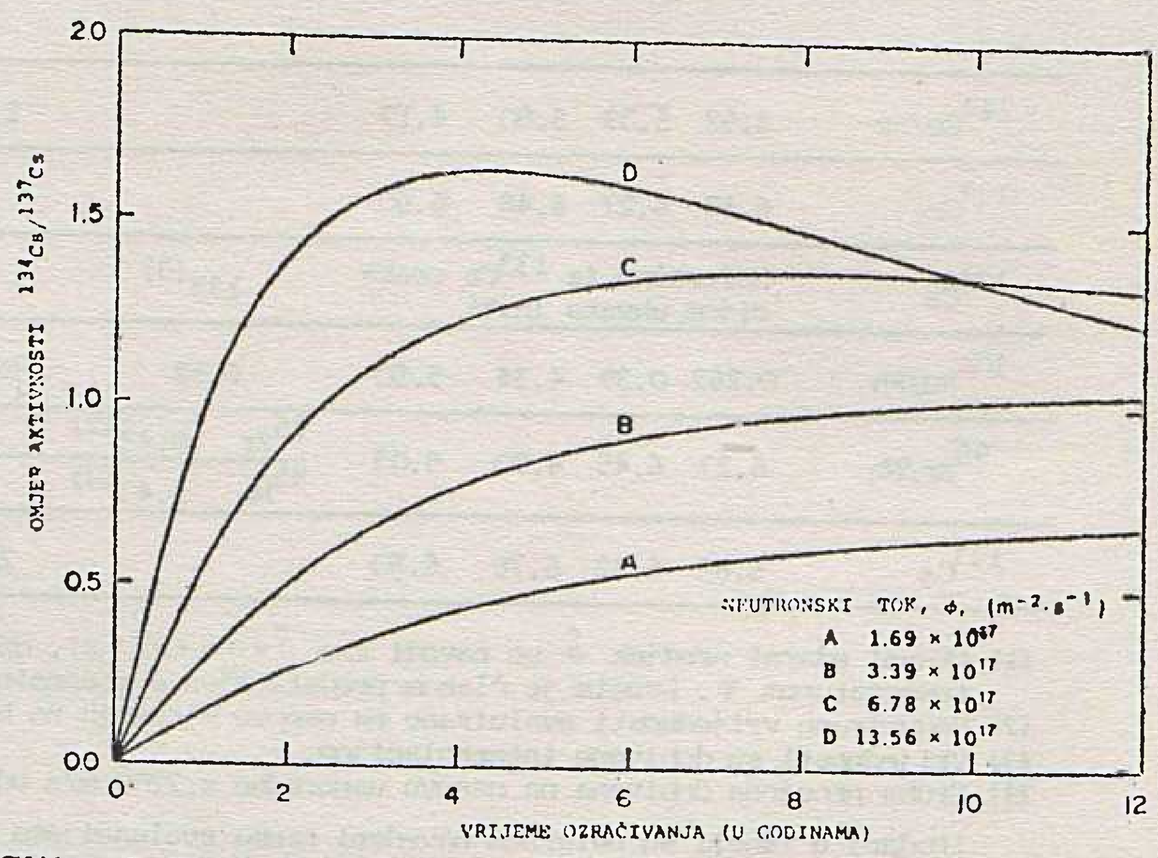
Tablica 2. sadrži vrijednosti za $L_{0.99}$ za neke od karakterističnih γ-energija izotopa monitora, za različite gorive matrice.

TABLICA 2.
Efektivna dubina (debljina goriva za $L_{0.99}$ za neke od karakterističnih γ-energije monitora za matrice U i UO_2

Izotop-monitor	γ-energija za analizu (MeV)	Goriva matrica	Gustoća (g/cm^3)	μ_s (cm^{-1})	$L_{0.99}$ (cm)
^{144}Ce	0.13354	UO_2	10.6	31.8	0.145
		U	18.95	64.1	0.027
^{137}Cs	0.6616	UO_2		1.24	3.71
		U		2.32	2.0
^{95}Zr	0.72418	UO_2		1.11	4.15
		U		2.06	2.2
^{144}Pr	2.18570	UO_2		0.482	9.55
		U		0.870	5.3

Vrijednosti za $L_{0.99}$ se postižu uvrštavanjem F = 0.99 u izraz (4).

^{137}Cs je po nabrojenim karakteristikama gotovo idealan monitor za nedestruktivno određivanje odgora. Postoji, međutim, jedan nedostatak uočen zarana u razvoju γ-spektrometrijske metode: to je migrabilnost ^{137}Cs u vrućim gorivim štapovima prema hladnijim dijelovima (periferiji štapa). Veličina migracije ovisi o vrsti goriva, njegovoj temperaturi i temperaturnom gradijentu unutar štapa. Migrabilnost je bila predmetom brojnih istraživanja, u kojima se mjerila radijalna migracija (profil) ^{137}Cs za različite gorive matrice i operativne temperature. Najpoznatiji su rezultati od Forsytha i suradnika [10]: najveći omjer periferijske koncentracije ^{137}Cs prema koncentraciji u centru štapa, koji su oni dobili, iznosio je 10 : 1, za gorivu matricu UO_2. Znatno veći omjer od 1 000:1, za istu gorivu matricu, dobio je Bates [11]. U mnogim praktičnim slučajevima, pogreške u određivanju odgora zbog migrabilnosti mogu se umanjiti do iznosa ostalih pogrešaka, tako da za većinu autora [1] ^{137}Cs i dalje ostaje najpogodniji monitor. Rezultati nedestruktivnog određivanja odgora mjerenjem apsolutne γ-aktivnosti ^{137}Cs (E_γ = 0.6616 MeV, I_γ = = 85.0%) [9] normaliziraju se na osnovi rezultata destruktivnih kemijskih mjerenja. Komparacija s destruktivnom analizom daje slaganje do ±5% [1] ili još povoljnija. Ako se primjenjuje kalibracija Ge(Li) spektrometra vanjskim standardnim uzorkom, najmanja pogreška koja se može postići iznosi ± 10%. Reproducibilnost mjerenja u apsolutnom određivanju odgora preko ^{137}Cs daje standardnu devijaciju u području od ±1% do ±4% [1]. Određivanjem odgora preko relativnog omjera aktivnosti $^{134}Cs/^{137}Cs$ uklanja se potencijalna pogreška zbog migrabilnosti ^{137}Cs. Naime, prednost ne dolazi samo iz prirode relativnog mjerenja gdje su korekcije inherentno jednostavnije, nego i iz pretpostavke da će migrabilnost ^{134}Cs biti približno istog stupnja kao i ^{137}Cs. Diferencijalnu migrabilnost ovih dvaju izotopa teško je utvrditi jer je konačna raspodjela ^{134}Cs posljedica migrabilnosti dvaju njegovih prethodnika ^{133}I i ^{133}Xe, odnosno ^{133}Cs. Phillips i suradnici [12], koji su istraživali raspodjelu ^{134}Cs i ^{137}Cs u gorivim matricama plutonijevog i uranovog oksida, nisu utvrdili diferencijalnu migrabilnost ovih dvaju izotopa za CANDU gorivo. Svojstva ^{137}Cs koja ga čine dobrim mo-



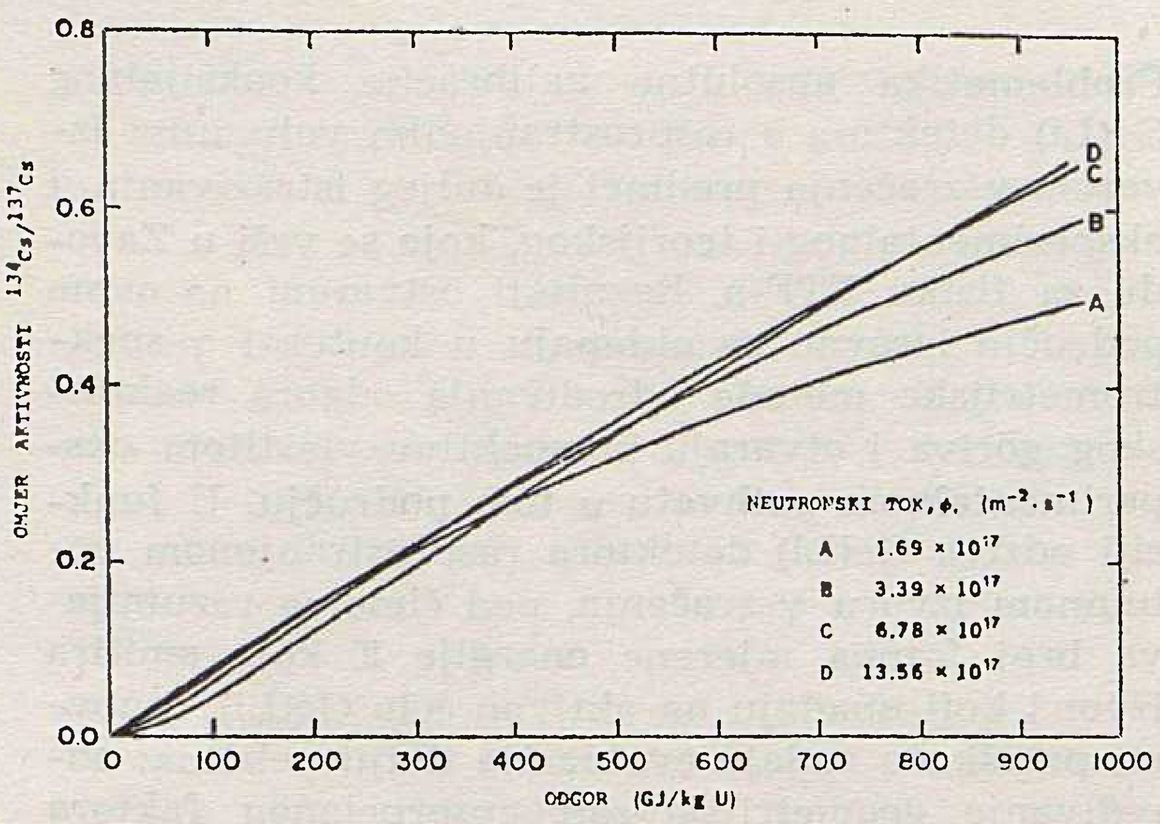
Slika 2. Ovisnost omjera $^{134}Cs/^{137}Cs$ o vremenu ozračivanja za »Pickering« gorivo

nitorom već su istaknuta. ^{134}Cs, međutim, ima poluživot koji nije baš dug spram vremena ozračivanja, a i udarni presjek za uhvat neutrona je također signifikantan (tablica 1). Prednost ^{134}Cs je primarno u njegovu γ-spektru, u kojem se ističu dvije prominentne linije (0.60468 i 0.79578 MeV) [9]. Veliki broj istraživača je pokazao vrlo dobru korelaciju aktivnosti omjera $^{134}Cs/^{137}Cs$ s odgorom goriva za različite gorive elemente termalnih reaktora. [1. 2 ,5] Također, određivanje odgora preko ovog omjera slaže se s destruktivnim U-Pu analizama $\pm$ 1%. Ističemo da su istraživanja u ovom pravcu u progresu. [6], [13]

Evaluacija odgora iz omjera aktivnosti $^{134}Cs/^{137}Cs$, a i sam omjer, povezani su s različitim reaktorskim parametrima koji, zavisno od toga da li su detaljno poznati ili nisu, mogu biti izvor pogrešaka. Ovdje ukratko izlažemo utjecaj neutronskog toka, koristeći se podacima i proračunima za »Pickering« reaktore.

3.1.1. Utjecaj neutronskog toka i vremena označivanja na omjer $^{134}Cs/^{137}Cs$

Na slici 2. prikazana je zavisnost omjera aktivnosti cezijevih izotopa o vremenu ozračivanja za 4 različita nivoa toka. Krivulje su dobivene proračunom pomoću LATREP/ISOGEN kodova za vrijeme ozračivanja do 12 godina. Prema slici 2. otkriva se da pri niskim neutronskim tokovima ($\sim$ 1.7 i 3.4 $\times$ 10^{17} $nm^{-2}s^{-1}$) omjer aktivnosti nastavlja postupno rasti i nakon 12 godina, dok pri većim vrijednostima toka ($\sim$ 6.8 i 14 $\times$ 10^{17} $nm^{-2}s^{-1}$) omjer postiže maksimum poslije otprilike 8 i 4.5 godina. Na temelju slike 2. može se zaključiti da omjer aktivnosti $^{134}Cs/^{137}Cs$ pokazuje odgovarajuću linearnost i osjetljivost za normalne operativne promjene neutronskog toka u »Pickering« reaktoru jedino (najviše) do 3 godine vremena ozračivanja. To se također uočava i na slici 3, gdje su krivulje približno linearne za sve četiri vrijednosti toka jedino do maksimalne predviđene vrijednosti odgora (690 GJ/kg U). Krivulje se sijeku za područje od 300 do 500 GJ/kg U jer na niskim vrijednostima odgora veći neutronski tok daje manje prinose ^{134}Cs, dok na višim vrijednostima odgora omjer normalno slijedi porast toka. Na temelju slika 2. i 3. možemo zaključiti da bismo pri pokušaju postavljanja korelacije između aktivnosti omjera $^{134}Cs/^{137}Cs$ i odgora goriva, bez egzaktnog poznavanja operativnog neutronskog toka reaktora načinili pogrešku u evaluaciji odgora od $\pm$ 12% do 14% (toliko otprilike iznosi neodređenost u aktivnosti omjera pri maksimalnom odgoru).



Slika 3. Ovisnost omjera $^{134}Cs/^{137}Cs$ o stupnju odgora za »Pickering« gorivo za različite nivoe neutronskog toka

3.2. Eksperimentalno γ-spektrometrijsko određivanje odgora preko $^{144}Ce/Pr$

Izotopski par $^{144}Ce/Pr$ nakuplja se u termalnom reaktoru izravno fisijom, iz fisionog produkta ^{144}Xe nizom β^- raspada. Na slici 1. vidi se da krivulja aktivnosti ^{144}Ce ne dolazi u zasićenje za predviđene vrijednosti odgora »Pickering« goriva, i da je položena znatno više od krivulja aktivnosti cezijevih izotopa. Međutim, ona nije linearna kao kod ^{137}Cs, već znatno odstupa od linearnosti. Odstupanje počinje za vrijednosti odgora veće od $\sim$ 540 GJ/kg U. [3] Osjetljivost ^{144}Ce kao monitora odgora opada iznad tog nivoa koji predstavlja otprilike 80% predviđene vrijednosti odgora za »Pickering« gorivo (690 GJ/kg U). To je jedini nedostatak ^{144}Ce kao monitora koji zapravo dolazi od njegovog kratkog poluživota. $^{144}Ce/Pr$ međutim ima brojne odlike dobrog monitora (tablica 1): praktički zanemarive udarne presjeke za termičke i brze neutrone, zatim visokoenergetsku γ-liniju od 2.1857 MeV za koju je samoapsorpcija u UO_2 matrici minimalna (tablica 2). Ono po čemu se $^{144}Ce/Pr$ izdvaja i ima prednost spram ^{137}Cs kao gotovo idealnog monitora jest činjenica da ne migrira u ozračenim UO_2 elementima [10]. Fisioni prinosi $^{144}Ce/Pr$ nisu ravnomjerni za sve fisibilne izotope poput ^{137}Cs, već postoji određena razlika za prinos fisijom ^{235}U i ^{239}Pu što utječe na točnost evaluacije odgora preko γ-spektrometrijskog mjerenja $^{144}Ce/Pr$.

U monitorskom paru $^{144}Ce/Pr$, poluživot roditelja ^{144}Ce je relativno kratak tako da je nužno izmjerenu γ-aktivnost korigirati uračunavanjem raspada u reaktorskom i poslijereaktorskom životu goriva. Korekciju za raspad u fazi hlađenja je vrlo jednostavno odrediti, dok je uračunavanje raspada u toku ozračavanja složenije. Valjano određivanje korekcija pretpostavlja poznavanje reaktora i gorivog elementa, odnosno određene rezultate iz fundamentalnih proračuna elementarne ćelije reaktora. To γ-spektrometrijsku metodu čini, naravno, zavisnom od proračuna. Kratak poluživot limitira i vrijeme ozračivanja do otpimalnih 350 dana. Minimalna pogreška inherentna γ-spektrometrijskom mjerenju aktivnosti $^{144}Ce/Pr$ (2.1857 MeV) iznosi $\pm$ 5%, a potječe od kalibracije γ-spektrometra i kalibracije nezavisnom destruktivnom radiokemijskom analizom (koja ima vlastitu točnost) radi normalizacije rezultata mjerenja. Po-

greške zbog nelinearnosti su znatno veće (—10% do +20%) [3]. Prema tome, kombinacijom pogrešaka koje su eksperimentalnog porijekla i onih koje činimo računajući potrebne korekcije za $^{144}Ce/Pr$, u uvjetima nedefiniranog ali trajnog ozračivanja neutronskim tokom u vremenu do ~ 500 dana, dobivamo ukupnu pogrešku u području +30 do —13%. [3]

3.3. Određivanje odgora preko ostalih monitora

$^{106}Ru/Rh$ pokazuje vrlo velike varijacije u fisionom prinosu za uran i plutonij: prinos fisijama plutonija je mnogo veći (11.13). Prema tome, pogodan je za mjerenja na gorivim elementima s visokom koncentracijom ^{235}U ili plutonijevom gorivu. Međutim, moguće je ^{106}Ru primijeniti i za određivanje relativnog broja fisija ^{235}U i ^{239}Pu u gorivim elementima s niskim obogaćenjem. [14]

$^{95}Zr/Nb$ je pogodan za evaluaciju odgora onog goriva koje je kratko bilo u reaktoru. [3] Zbog kratkog poluživota ($T_{1/2}$ = 63.98 d) [9] potrebno je u evaluaciji rezultata mjerenja detaljno poznavanje operativne historije ozračivanja, što kompromitira proklamiranu nezavisnost γ-spektrometrijske metode.

4. TOČNOST GAMA-SPEKTROMETRIJSKIH MJERENJA AKTIVNOSTI MONITORA

Pogreške u eksperimentalnom određivanju odgora koje potječu od reaktorskih uvjeta (varijacije neutronskog toka, isprekidano ozračivanje, varijacije u fisionim prinosima) nećemo ovdje razmatrati. Ističemo samo pogreške eksperimentalnog porijekla, neizbježne pogreške koje dolaze iz eksperimentalnih uvjeta i karaktera mjerne instrumentacije. One su prikazane tablicom 3.

Aktivnost (A) izotopa-monitora u trenutku mjerenja određuje se iz snimljenog γ-spektra gorivog štapa prema izrazu:

$$A = P_č \frac{1 + DK}{I_\gamma \varepsilon(E) \delta(E) t} \qquad (5)$$

gdje je

$P_č$ = površina spektralnog vrha s odračunatom pozadinom,

DK = korekcija zbog mrtvog vremena (za velike aktivnosti),

I_γ = apsolutni intenzitet mjerene γ-energije,

$\varepsilon(E)$ = efikasnost detektora za mjerenu energiju E za položaj definiran eksperimentalnim uvjetima,

$\delta(E)$ = energetski zavisan faktor apsorpcije γ-zračenja u gorivom štapu: uključuje i faktor geometrije nametnut oblikom izvora i čela detektora.

TABLICA 3.

IZVOR POGREŠKE	MINIMUM POGREŠKE	SRED. VRIJED.
Kalibracija detektora (određivanje asp. efikas. detektora standardnim izvorima	< 1 %	(1— 5 %)
Energetska zavisnost efikasnosti*	< 1 %	< (1— 2 %)
Faktor geometrije	0	(0— 2 %)
Korekcija mrtvog vremena	0	~ (0— 5 %)
Samoapsorpcija γ-zračenja u gorivu	< 1 %	(1—20 %)
Određivanje površine spekt. vrha u spektru*	~ 0.1 %	~ (1— 3 %)
UKUPNA POGREŠKA		
U apsolutnom mjerenju aktivnosti	< 1 %	(3—25 %)
U mjerenju omjera aktivnosti*	< 1 %	< (2— 5 %)

* Naznačuje pogreške koje dolaze samo u mjerenjima omjera aktivnosti.

U relaciji (5) dolaze nuklearni podaci čija je točnost neobično važna, što i otvara potrebu za neprestanim mjerenjima i evaluacijom tih podataka. Naime, temeljan je zahtjev spram nuklearnih podataka da njihova neodređenost ne premašuje one neuklonjive pogreške koje pridolaze eksperimentalnim uvjetima. U tablici 3. istaknuti su minimumi eksperimentalnih pogrešaka prema prezentnoj literaturi [6], [1], dok stanje u ovom području najbolje odražavaju tipične srednje pogreške.

5. VLASTITI REZULTATI U PROBLEMATICI KALIBRACIJE POTPUNO KOAKSIJALNOG Ge(Li) DETEKTORA RASPROSTRANJENOM IZVORU GAMA-ZRAČENJA

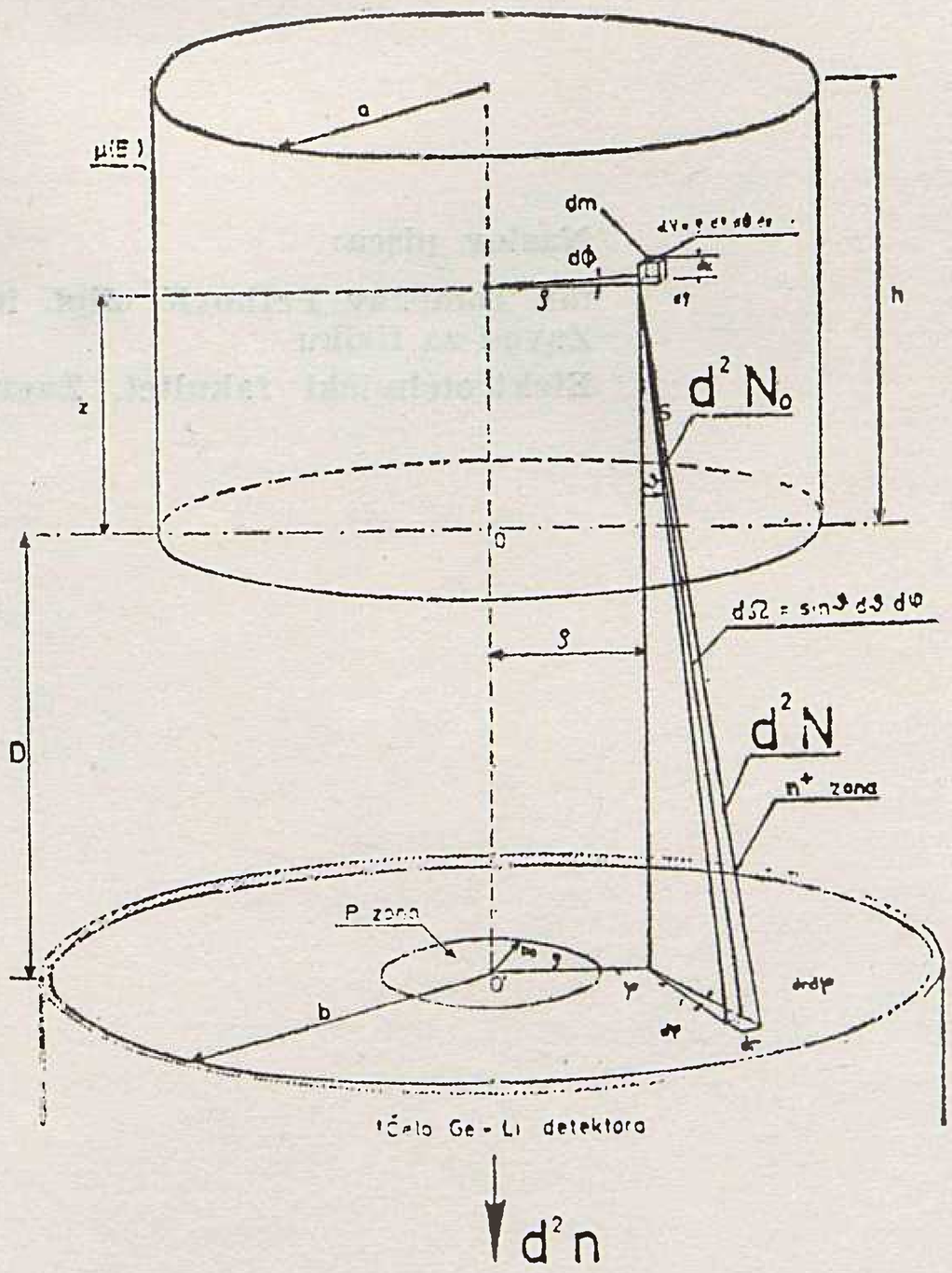
Problematika apsolutne kalibracije koaksijalnog Ge(Li) detektora s rasprostranjenim volumnim izvorom γ-zračenja predmet je duljeg istraživanja, i eksperimentalnog i teorijskog, koje se vrši u Zavodu za fiziku ETF-a. Rezultati ostvareni na ovom području izravno se uklapaju u kontekst γ-spektrometrijske metode određivanja odgora reaktorskog goriva i otvaraju perspektivu vlastitom eksperimentalnom pothvatu u tom području. U funkciji odziva Ge(Li) detektora rasprostranjenom volumnom izvoru γ-zračenja, pod čime se razumijeva broj fotona mjerene energije E koje emitira izvor i koji upadaju na aktivno čelo Ge(Li), osnovnu poteškoću zadaje evaluacija dviju veličina: određivanje geometrijsko-samoapsorpcionog faktora $\delta(E)$, i određivanje efikasnosti $\varepsilon(E)$ detektora odgovarajuće rasprostranjenom izvoru. U radovima [15], [16], $\bar{\varepsilon}(E)$ je evaluirana postupkom simulacije

rasprostranjenog izvora standardnim kalibracionim izvorima. Naime, radijalnim pomacima kalibracionih izvora simuliran je rasprostranjeni izvor: srednja efikasnost se određuje kao $\bar{\varepsilon} = f(a_i, d, \varepsilon_i, E)$, kao funkcija diskretnog radijalnog pomaka (a_i) od aksijalnog položaja, aksijalne udaljenosti (d), pojedinačne efikasnosti (ε_i) pripadajuće svakom radijalnom pomaku, i energije (E). U istim radovima je, također, aproksimativno izvrijednjen geometrijsko-apsorpcijski faktor $\delta(E)$. Dobiveni rezultati su bili prihvatljivi za brzu i nedestruktivnu prospekciju radioaktivnih elemenata u izvoru (npr. urana u mineralima), ili općenito za mjerenje apsolutne radioaktivnosti volumnih izvora.

U radu [17] je egzaktno izvedena funkcija odziva Ge(Li) volumnom izvoru γ-zračenja smještenom paralelno i koaksijalno čelu Ge(Li) detektora (slika 4). Broj fotona (fotonski tok) energije E emitiranih iz elemenata mase izvora dm koji upadaju na element aktivne površine čela unutar elementa prostornog kuta $d\Omega$ u jedinici vremena određen je izrazom:

$$d^2N = e^{-\mu(E)s}\, d^2N_o, \qquad (6)$$

pri čemu dN_o označava broj fotona koje u sekundi emitira element mase dm u cijeli prostor (4π sr), a $d(dN_o) = d^2N_o$ dio fotona emitiranih samo u prostorni kut $d\Omega$.



Slika 4. Ge(Li) detektor s rasprostranjenim izvorom γ-zračenja

Polazeći od relacije (6), dobiva se funkcija odziva u elegantnom obliku [17], [18]:

$$n = \frac{N_o}{4\pi V}\,\bar{\varepsilon}\,\delta, \qquad (7)$$

gdje je n brzina brojenja (u jedinici vremena) za mjerenu spektralnu γ-liniju, dok su $\bar{\varepsilon}$ i δ definirane kao:

$$\delta = \int_V \int_\Omega e^{-\mu(E)s}\, d\Omega\, dV \qquad (8)$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\int_V \int_\Omega e^{-\mu(E)s}\, \varepsilon(\vec{r}, \vec{\Omega})\, dV\, d\Omega}{\int_V \int_\Omega e^{-\mu(E)s}\, dV\, d\Omega} \qquad (9)$$

U radu [17] provedena je maksimalno moguća analitička redukcija integrala fastora δ (8), i numerički je δ izvrijednjen za 52.8 cm^3 koaksijalni Ge(Li) detektor i rasprostranjeni cilindrični izvor. U radu [18] opisan je računsko-eksperimentalni postupak za određivanje $\bar{\varepsilon}$, i postupak za nedestruktivno određivanje linearnog koeficijenta apsorpcije μ izvora, koji dolazi kao parametar u proračunu δ i evaluaciji $\bar{\varepsilon}$. Time je problematika zatvorena, a zahtjev za nedestruktivnošću metode univerzalno ispunjen.

6. ZAKLJUČAK

Protraživanjem mogućnosti i ograničenja određivanja odgora nedestruktivnim γ-spektrometrijskim mjerenjem radioaktivnosti odgovarajućih fisionih produkata, nakupljenih fisijama u gorivom elementu tokom rada reaktora, otkrivamo sljedeće: između nabrojenih monitora, najpogodniji je omjer $^{134}Cs/^{137}Cs$. Prednost omjera ne izvire samo iz inherentne jednostavnosti relativnih mjerenja spram apsolutnih, već i nepostojanja diferencijalne migrabilnosti između cezijevih izotopa. Monitorska idealnost ^{137}Cs narušena je njegovom migrabilnošću u vrućim gorivim štapovima. Vlastiti rezultati na liniji kalibracije Ge(Li) spektrometra za apsolutna γ-spektrometrijska mjerenja, otvaraju realnu perspektivu vlastitom nedestruktivnom određivanju odgora reaktorskog goriva. Prikladnim kolimatorom (u odgovarajućem eksperimentalnom aranžmanu) može se zahvatiti dio gorivog štapa tako da imamo identičan (ili sličan) slučaj opisan u radovima [15,16,17,18].

LITERATURA

[1] Reactor burn-up phisics, Proc. of a Panel, Viena 1971, IAEA 1973.

[2] J. G. Tyror, Reactor burn-up physics, IAEA Report, No. 143 (1973)

[3] J. D. Chen et al., AECL Report — 5236 (1976).

[4] I. H. Gibson, The Physics of LATREP, AECL Report — 2548 (1966).

[5] J. D. Chen et al., AECL Report — 6192 (1978)

[6] O. J. Eder, M. Lammer, Influence of Uncertainties in Fission-Product Nuclear Data on the Interpretation of Gamma-spectrometric Measurements on Burt Euel elements, IAEA Report, SM-170-12 (1973)

[7] E. A. C. Crouch, IAEA Report, SM-170/94 (1973)

[8] Atomic Data and Nuclear Data Tables, Vol. 13 Nos. 2—3 (1974)

[9] Lederer C. M. and Shirley V. S., Table of Isotopes-VII Edition, N. York: J. Wiley, 1978.

[10] R. S. Forsyth et al., Fission Product Migration Studies, AE-272, Aktiebolaget Atomenergi (Sweden), 1967.

[11] J. L. Bates, Fission Product Distribution in Irradiated UO_2, BNWL-58, USAEC, 1965.

[12] J. R. Phillips et al., J. of Inorg. N. Chemistry, 36 17 (1974)

[13] D. G. Boase and J. D. Chen, AECL Report-6316 (1979)

[14] R. S. Forsyth and Blackadder W. H., Saf. Techn. 133/4 Vol. I, IAEA 1970.

[15] T. Petković, Nuklearno-spektroskopska analiza materija, mag. rad, ETF Zagreb, Zagreb 1977.

[16] T. Petković, Zbornik radova JUREMA 25 (1980), 2. svezak

[17] E. Coffou, V. Knapp, T. Petković, Zbornik radova ETAN-a, 24 (1980), 4. svezak

[18] E. Coffou. V. Knapp, T. Petković, Funkcija odziva koaksijalnog Ge(Li) detektora volumnom izvoru gama-zračenja — evaluacija efikasnosti i linearnog koeficijenta apsorpcije, referirano na XXV Jug. Konf. ETAN-a, Mostar, 8—12. 06. 1981.

[19] A. A. Pasanen, Fundam. of CANDU Reactor N. Design, A Lect S.. on Course on Operational of Power Reactors, ICTP Trieste, IAEA, 1980.

KEY WORDS:

NUCLEAR FUEL
REACTOR
FISSION

NONDESTRUCTIV DETERMINATION OF THE REACTOR FUEL RESPONSE BY THE WAY OF GAMMA SPECTROMETRIC ANALYSIS OF FISSION MONITOR ACTIVITY

Nondestructiv determination of response is done by gamma spectrometric analysis of fission products in fuel elements. In the article are analysed possibilitions and restrictions for determination of the response by the way of gamma-spectrometric meausurement of stated monitors. In the context are presented own results of absolut calibration of coaxial Ge(Li) detector with spreaded gamma source.

ZERSTÖRUNGSFREIE BESTIMMUNG DES ABBRANDES EINES REAKTORBRENNSTOFFS DURCH GAMMA-SPEKTROGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN DER ARBEIT DES ÜBERWACHUNGSGERÄTES (MONITORS) EINES SPALTPROZESSES

Der Abbrand wird durch spektrometrische γ-Messungen der Aktivität der entsprechenden Spaltprodukte, die in den angesammelten Spaltprodukten der Brennstoffelemente entstehen, gemessen. Die Arbeit behandelt Möglichkeiten und Begrenzungen der Abbrandermittlung durch γ-spektrographische Messung der angegebenen bzw. vorhandenen Anzeigeeinrichtungen. In diesem Zusammenhang werden auch die eigenen Ergebnisse der Problematik der absoluten Kalibrierung des koaxiaken Ge(Li) Detektors mit der Quellenausbreitung der γ-Strahlung einbezogen.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА РЕАКТОРА БЕЗ РАЗРУШЕНИЯ ПУТЕМ ГАММА-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВИДЕОКОНТРОЛЬНОГО УСТРОЙСТВА РАЩЕПЛЕНИЯ

Сгорание определяется без разрушения путем гамма--спектрометрических измерений деятельности соответствующих продуктов расщепления, накопившихся в твэлех в результате расщепления. В работе анализируются возможности и ограничения сгорания путем гамма- спектрометрических измерений упмянутых мониторов. В этот контекст включаются и собственные результатыи в области проблематики абсолютной калибровки коаксиального Ge (Li) детектора с расширенным источни ком гамма-излучения.

Naslov pisca:

mr Tomislav Petković, dipl. inž.
Zavod za fiziku
Elektrotehnički fakultet, Zagreb

Energija God. 30 (1981) br. 7—8, 365—368

MJERENJE NEHARMONIČKIH IZOBLIČENJA U AUDIO POJAČALIMA

Ivan Jelenčić, Zagreb

UDK 621.375

Rezultati mjerenja intermodulacijskih izobličenja imaju izuzetnu važnost za procjenu kvalitete audiouređaja. Ta se mjerenja izvode na nekoliko načina, odnosno kako je koja norma kod mjerenja primijenjena.

U ovom su članku opisani mjerni postupci mjerenja neharmo ničkih izobličenja u audiopojačalima prema najvažnijim normativima DIN-a, SMPTE-a i CCIF-a.

Ključne riječi: **Audiopojačala**
Izobličenja
Intermodulacija

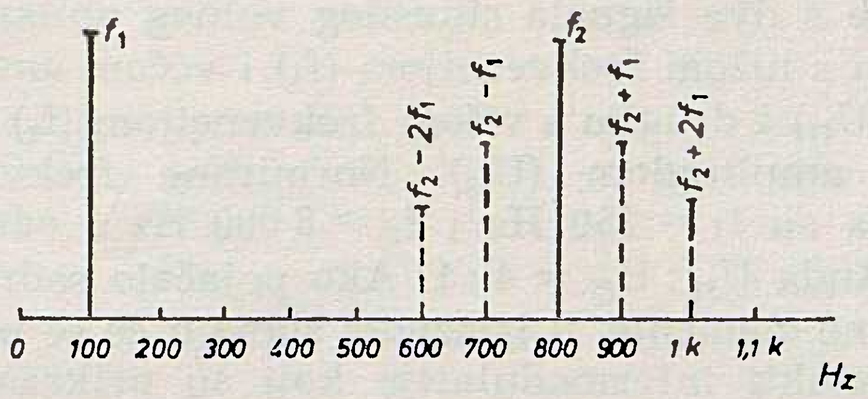
Nelinearna izobličenja nastaju kada se nelinearni sistem pobuđuje s dva izmjenična signala ili više.

Ako se kao pobudni napon uzme $U_{ul} = U_1 \cos \omega_1 t + U_2 \cos \omega_2 t$, može se vidjeti da se u izlazu uz osnovne valove pojavljuju komponente koje imaju frekvencije $2\omega_1$, $2\omega_2$, $(\omega_1 \pm \omega_2)$, $(\omega_1 \pm 2\omega_2)$, $(2\omega_1 \pm \omega_2)$, $2(\omega_1 \pm \omega_2)$ itd. Kako se u ovom slučaju u izlaznom valnom obliku pojavljuju osim harmoničnih komponenata i neharmonične komponente frekvencija kombinacija, to se takva izobličenja zovu **neharmonička nelinearna izobličenja.**

Neharmoničke komponente, nastale nelinearnošću sistema, pokazuju da kod neharmoničkog izobličenja dolazi do amplitudne i frekvencijske modulacije komponenata više frekvencije od komponenata niže frekvencije, odnosno da se u izlaznom signalu pojavljuju, uz ostale, i komponente koje su produkti miješanja ili intermodulacije dvaju signala (donji i gornji bočni pojasevi).

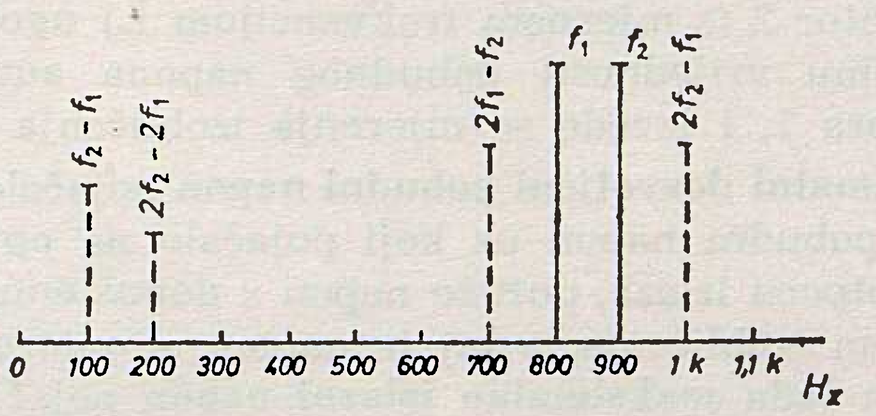
To izobličenje, čiji su reprezentantni produkti intermodulacije, zove se **intermodulacijsko izobličenje.** Ako je ovo izobličenje izazvano signalima sinusnih valnih oblika, govorimo o **statičkom intermodulacijskom izobličenju** (u praksi se upotrebljava samo naziv: intermodulacijsko izobličenje — IM). Ako je ovo izobličenje izazvano signalima i sinusnog i pravokutnog valnog oblika, govorimo o **dinamičkom intermodulacijskom izobličenju** (DIM). Intermodulacijsko izobličenje prikazuje slika 1. gdje se vide produkti intermodulacije nastali pobudom nelinearnog sistema, s dva sinusna signala frekvencija $f_1 = 100$ Hz i $f_2 = 800$ Hz.

U praksi se još posebno razmatra i jedan slučaj intermodulacijskog izobličenja, tzv. **izobličenje razlika-frekvencija** (DFIM). Kao što sam naziv kaže, ovdje se promatraju samo komponente intermodulacijskog izobličenja koje imaju frekvencije razlika između komponenata osnovnog vala i njihovih harmonika (dok IM razmatra i sumu i razliku).



Sl. 1.

Ovo se izobličenje mjeri s dva signala vrlo blizih frekvencija, pa se u izlazu promatraju samo one komponente koje su razlika osnovnih valova i njihovih harmonika. To je prikazano na slici 2, gdje je izobličenje razlika frekvencija nastalo pobudom nelinearnog elementa s dva sinusna signala frekvencija $f_1 = 800$ Hz i $f_2 = 900$ Hz.
Vrijednost mjerenja ovih izobličenja jest u tome što se ispituju izobličenja na gornjoj granici frekvencijskog opsega sistema, jer su komponente izobličenja još uvijek unutar prenošenog područja.



Sl. 2.

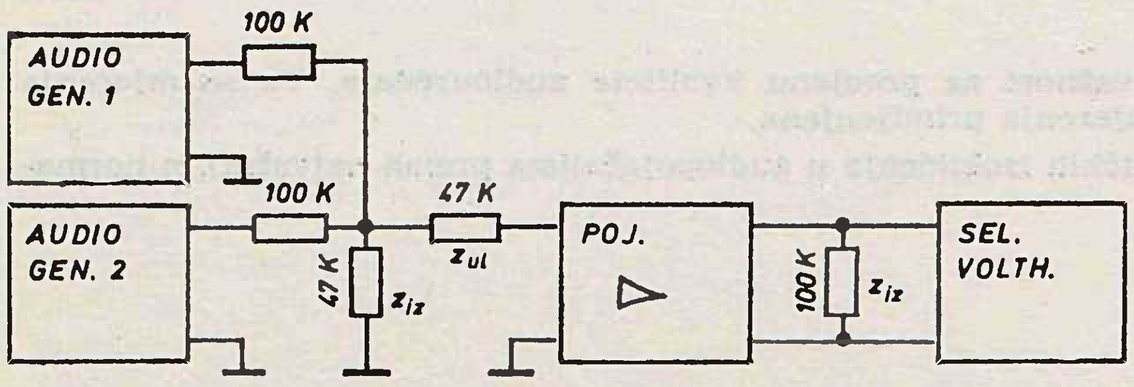
Kao kod harmoničkog, tako se i kod intermodulacijskog izobličenja može izraziti **red izobličenja.** Za harmoničko izobličenje je red izobličenja jednak broju harmonika (na primjer drugi harmonik), za IM se on može jednostavno izračunati. Komponente intermodulacijskog izobličenja i izobličenja razlika frekvencija su uvijek oblika:

$$A \sin (n\omega \pm m\omega_2),$$

gdje je A amplituda, n i m cijeli brojevi a ω_1 i ω_2 frekvencije mjernih signala. Red izobličenja je

tada n + m, a znakovi (+) i (—) označavaju da li je to suma ili razlika komponenata izobličenja. Tako je, na primjer, signal A sin $(\omega_1 + \omega_2)$ trećeg reda intermodulacijskog izobličenja.

Blok-shemu mjerenja intermodulacijskog izobličenja pojačala (po DIN-u) prikazuje slika 3. Impendancije Z_{ul} i Z_{iz} iste su kao i kod mjerenja frekvencijske karakteristike pojačala. Audiogeneratori imaju serijski vezane zaštitne otpornike zbog paralelnog rada.



Sl. 3.

Kao što je vidljivo iz blok-sheme, pojačalo se pobuđuje s dva signala sinusnog valnog oblika, i to jednim s nižom frekvencijom (f_1) i većom amplitudom (U_{f1}) i drugim s višom frekvencijom (f_2) i manjom amplitudom (U_{f2}). Normirane frekvencije signala su $f_1 = 250$ Hz i $f_2 = 8\,000$ Hz s odnosom amplituda $U_{f1} : U_{f2} = 4 : 1$. Ako pojačalo sadrži nelinearne elemente, u izlaznom signalu će se pojaviti produkti intermodulacije koji su prikazani na slici 4.

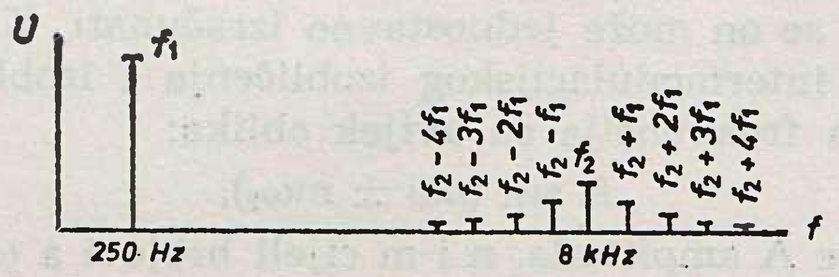
Pobudni naponi iz audiogeneratora moraju imati točno određene vrijednosti da ne dođe do preuzbuđenja pojačala. Ako je U_p vršna vrijednost maksimalnog dozvoljenog pobudnog napona pojačala, onda vršne vrijednosti napona pobude U_{pf1} i U_{pf2} moraju biti ovih odnosa:

$$U_p = U_{pf1} + U_{pf2}$$
$$U_{pf1} = 4\,U_{pf2}$$

Dakle, audiogenerator 1 (s mjernom frekvencijom f_1) se tako ugodi da pojačalo postigne 80% svog maksimalnog izlaznog napona. Tada se audiogenerator 2 (s mjernom frekvencijom f_2) ugodi na četvrtinu vrijednosti pobudnog napona audiogeneratora 1, i izvede se mjerenje izobličenja.

Maksimalni dozvoljeni pobudni napon pojačala jest onaj pobudni napon uz koji pojačalo na opteretnom otporu izlaza, postiže napon s dopuštenim postotkom izobličenja, a taj je napon na opteretnom otporu tada **maksimalan izlazni napon** pojačala.

Selektivnim voltmetrom očitaju se naponi osnovnog vala više frekvencije (U_{f2}) i produkta miješanja ($U_{f2\pm f1}$ itd.). Dovoljna točnost postiže se ako se izmjere produkti intermodulacije do četvrtog ili petog reda.



Sl. 4.

Pomoću napona izmjerenih selektivnim voltmetrom opisanom se metodom može izraziti **stupanj intermodulacije** (faktor intermodulacije) m (u postocima), kako slijedi:

$$m = \frac{\sqrt{(U_{f2+f1} + U_{f2-f1})^2 + (U_{f2+2f1} + U_{f2-2f1})^2 + (U_{f2+3f1} + U_{f2-3f1})^2 + \dots}}{U_{f2}}$$

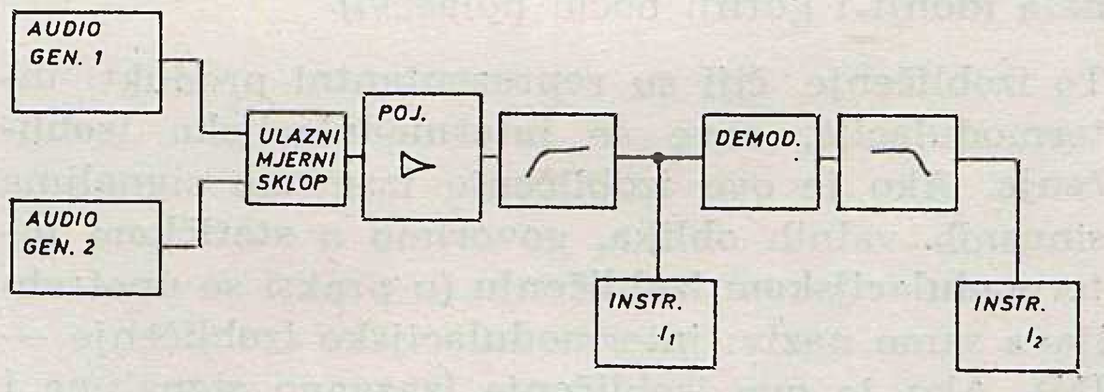
Ako se faktor m želi izraziti u postocima, gornja izračunata veličina mora se pomnožiti sa 100.

Za visoko kvalitetno pojačalo ovaj faktor intermodulacije ne smije biti veći od 3%. I u ovom slučaju, kao i kod harmoničkih izobličenja, teško je utvrditi veličine intermodulacijskih izobličenja koje su prihvatljive a koje su loše. Intermodulacijska izobličenja ne stoje u harmoničkim odnosima s osnovnim valovima i općenito su neugodna i vrlo zamjetljiva za ljudsko uho. Posebna je poteškoća u standardizaciji ispitnih frekvencija i amplituda mjernih signala.

Osim ove metode mjerenja intermodulacijskih izobličenja po DIN-u (koje vrijede uglavnom za Evropu — uz metodu mjerenja po CCIF-u) postoji još nekoliko metoda, kao što su **SMPTE** (Society of Motion Picture and Television Engineers) i **CCIF** (Internativnal Telephonic Consultative Commtiee) metoda.

Metoda SMPTE mnogo se upotrebljava i vrijedi uglavnom za SAD i Englesku. Mjerenje intermodulacijskih izobličenja nije, po toj metodi, jednoznačno standardizirano i mjerenja se uglavnom izvode na dva načina,

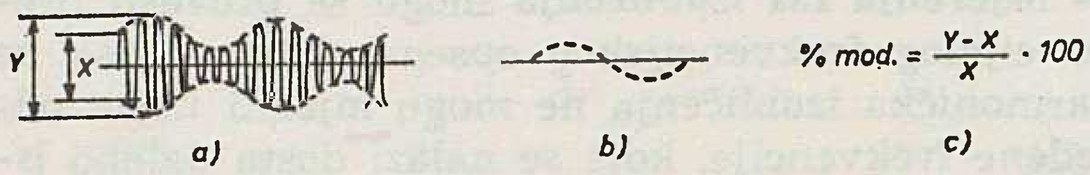
Jedan način mjerenja, po ovoj metodi, potpuno je jednak mjernoj metodi po DIN-u. Frekvencije pobudnih signala su $f_1 = 60$ Hz i $f_2 = 7$ kHz, uz omjer amplituda $U_{f1} : U_{f2} = 4 : 1$. Mjerenja se izvode selektivnim voltmetrom i iz izmjerenih napona osnovnog vala U_{f2} i produkta intermodulacije izračuna se faktor intermodulacije (u postocima).



Sl. 5.

Drugi način mjerenja intermodulacijskog izobličenja pojačala, po metodi SMPTE, prikazan je na blok-shemi slike 5. Frekvencije pobudnih signala su $f_1 = 1$ kHz i $f_2 = 10$ kHz, s odnosom amplituda $U_{f1} : U_{f2} = 4 : 1$ (uz pretpostavku da su oba signala i produkti intermodulacije unutar frekvencijskog opsega pojačala).

U mjernom se procesu osnovni val niže frekvencije (U_{f1}) odstrani upotrebom visoko propusnog (ili pojasnog) filtra, pa ostaje samo amplitudno modulirani val nosilac više frekvencije (U_{f2}), čiju osciloskopsku sliku prikazuje slika 6a. To je ujedno i



Sl. 6.

signal na instrumentu I_1, koji pokazuje srednju vrijednost tog moduliranog vala, odnosno sam val nosilac.

Dalje slijedi demodulator, koji odstranjuje val nosilac i ostavlja samo modulaciju (izmjenični signal), kako to prikazuje slika 6.b. Veličina amplitude tog signala ovisi o dubini modulacije osnovnog vala (U_{f2}). Tu veličinu demoduliranog signala pokazuje instrument I_2.

Uključen je i niskopropusni filtar, koji služi za dodatno filtriranje, kako bi instrument I_2 mjerio samo intermodulacijske produkte.

S obzirom na mjerne rezultate instrumenata I_1 i I_2, intermodulacijsko izobličenje je:

$$m_a = \frac{\text{produkti intermodulacije } (I_2)}{\text{nosioc } (I_1)} \cdot 100\ (\%),$$

što je ujedno izraz za **dubinu (postotak) modulacije** koja je definirana odnosom maksimalne amplitude modulirajućeg signala prema amplitudi vala nosioca (na slici 6.c).

Na ovaj način mjeri intermodulaciona izobličenja i poznati svjetski proizvođač elektroakustičke opreme i instrumenata Brüel & Kjaer (Danska).

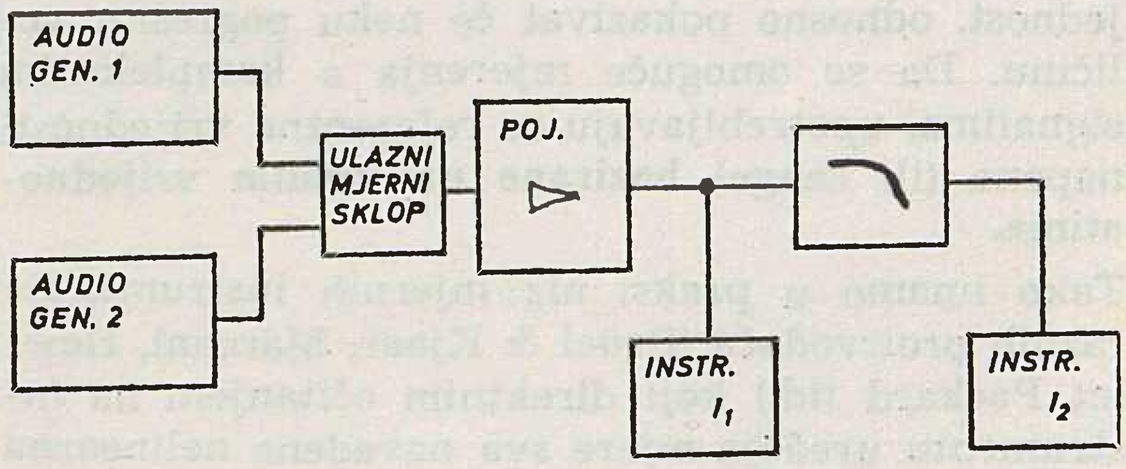
Za visokokvalitetna pojačala faktor intermodulacionog izobličenja, mjeren po metodi SMPTE, mora biti 2 do 4%.

Mjerenje intermodulacijskog izobličenja, tzv. izobličenja razlika frekvencija (DFIM) izvodi se **metodom po CCIF-u.** I u ovom slučaju mjerenje nije jednoznačno standardizirano, već se izvodi na dva načina ili mjerenjem diskretnih napona pojedinih produkata intermodulacije ili mjerenjem napona ukupnih produkata intermodulacije. U ovim se mjerenjima promatraju samo komponente IMa koje imaju frekvencije razlika komponenata osnovnog vala i njihovih harmonika.

Prvi način mjerenja, po metodi CCIF, prikazan je na blok-shemi slike 3. Selektivnim voltmetrom mjere se uz osnovne valove i pojedine komponente intermodulacije, prema slici 2, i to: $a = (U_{f2} - U_{f1})$, $b = (2U_{f1} - U_{f2})$, $c = 2(U_{f2} - U_{f1})$, $d = (3U_{f1} - U_{f2})$, itd., dakle samo prema nižim frekvencijama od frekvencije osnovnih valova f_1 i f_2. Sada je:

$$\text{IM izobličenje} = \frac{a + b + c + d + \ldots}{U_{f1} + U_{f2}} \cdot 100\ (\%).$$

Drugi način mjerenja izobličenja razlika-frekvencija, po metodi CCIF, prikazan je na blok-shemi slike 7.



Sl. 7.

Ispitni signal sastoji se od dva sinusna signala iste amplitude, s frekvencijama f_1 i f_2, koje su vrlo blizu jedna drugoj (frekvencijska razlika je između 10% i 20%).

Na izlazu mjerenog pojačala je instrument I_1, koji mjeri vršnu vrijednost ukupnog izlaznog napona (aproksimativno jednakog $U_{f1} + U_{f2}$). Dalje slijedi niskopropusni filtar, koji odstranjuje U_{f1} i U_{f2} (i sve komponente iznad tih frekvencija). Filtar je tako ugođen da instrument I_2 mjeri samo produkte intermodulacije parnog reda, tj. one koje imaju frekvencije $(f_2 - f_1)$, $2(f_2 - f_1)$, $3(f_2 - f_1)$, . . ., kako je to već prikazano na slici 2. Vrlo osjetljivi instrument I_2 pokazuje tako vršni napon tih intermodulacijskih produkata.

S obzirom na mjerne rezultate I_1 i I_2, intermodulacijsko izobličenje je dano izrazom:

$$\text{IM izobličenja} = \frac{\text{produkti intermodulacije } (I_2)}{U_{f1} + U_{f2}\ (I_1)} \cdot 100\ (\%).$$

Ova metoda mjerenja vrlo je korisna za procjenu linearnosti na gornjem kraju frekvencijske karakteristike pojačala, gdje obična harmonička analiza ne daje rezultate.

Frekvencije f_1 i f_2 se ne smiju uzeti preblizu da frekvencija njihove razlike $(f_2 - f_1)$ ne padne ispod donje granične frekvencije pojačala.

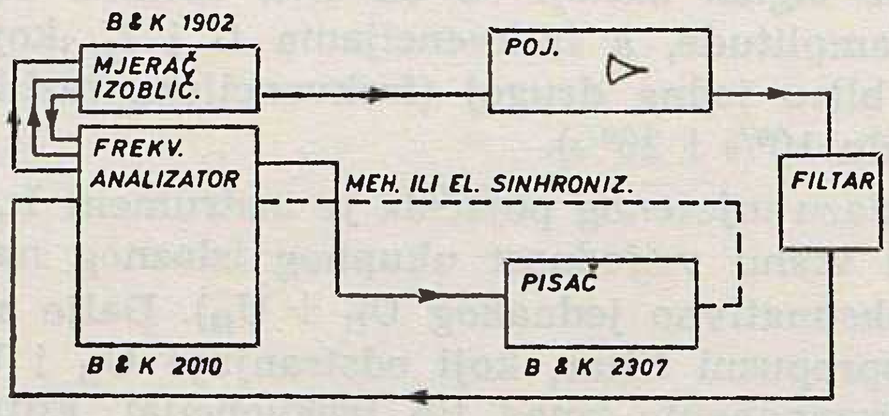
Linearni dio prijenosne karakteristike nelinearnog elementa nije nužno konstantan na svim frekvencijama, pa intermodulacijska izobličenja nisu u principu proporcionalna harmoničkim izobličenjima. No dosta je logički zaključiti da ako su harmonička izobličenja mala, i intermodulacijska će vjerojatno biti mala, i obratno. Ipak se u praksi mjere oba tipa izobličenja.

Do danas nema jednostavnog načina korelacije rezultata koji su postignuti mjerenjima po metodama DIN-a, SMPTE-a ili CCIF-a a niti njihove korelacije s rezultatima mjerenja harmoničkih izobličenja.

Signali dvije frekvencije, koji se upotrebljavaju za IM mjerenja, mijenjaju općenito prihvaćene odnose između efektivnih, srednjih i vršnih vrijednosti sinusnog napona. U slučaju jednog sinusnog mjernog signala instrument će u toku mjerenja pokazivati efektivnu vrijednost napona. U slučaju kompleksnog valnog oblika (dva sinusna signala) instrument će odgovarati na neku prosječnu vri-

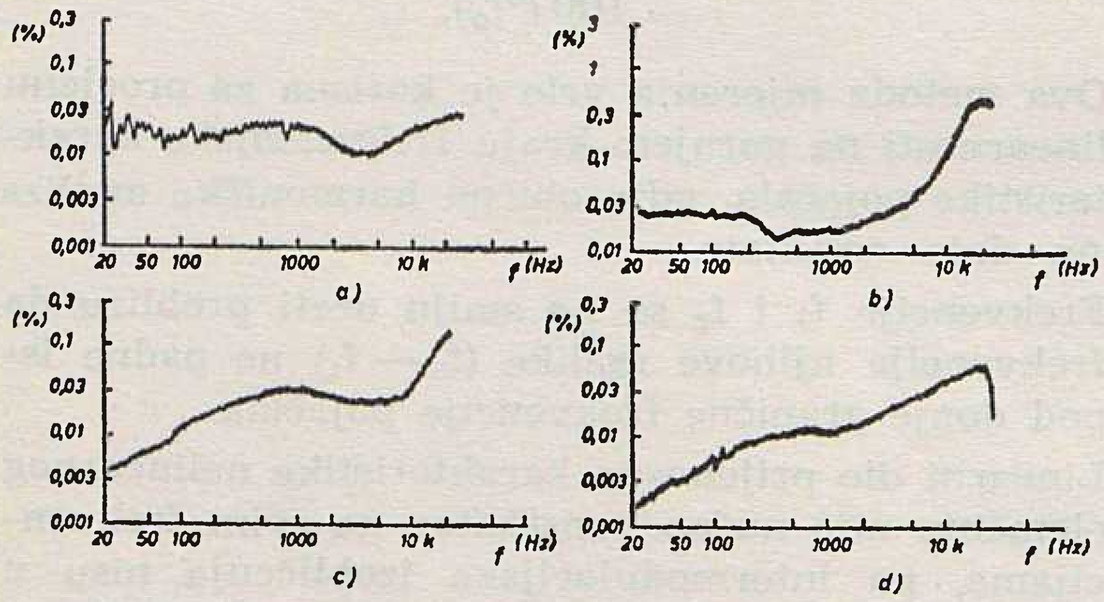
jednost, odnosno pokazivat će neku pogrešnu veličinu. Da se omoguće mjerenja s kompleksnim signalima, upotrebljavaju se referentne vrijednosti napona (ili snage) **bazirane na vršnim vrijednostima.**

Tako imamo u praksi niz mjernih instrumenata raznih proizvođača (Brüel & Kjaer, Marconi, Hewlet Packard itd.) koji direktnim očitanjem na instrumentu uređaja mjere sva navedena nelinearna izobličenja.



Sl. 8.

Slika 8. prikazuje **blok-shemu mjerenja izobličenja** firme Brüel & Kjaer, sa zapisom na kalibriranom papiru pisača. Slika 9. prikazuje tako postignute **mjerne rezultate mjerenja** trećeg harmonika harmoničkog izobličenja (9a), izobličenja razlika-frekvencija trećeg reda (9b), intermodulacijskih izobličenja: IM produkta drugog reda (9c) i IM produkata trećeg reda (9d), nekog pojačala.



Sl. 9.

Kao što je to kod mjerenja harmoničkih izobličenja, i kod mjerenja intermodulacijskih izobličenja često se snima **dijagram ovisnosti faktora intermodulacije i snage** mjerenog pojačala.

Navedimo najvažnije razloge mjerenja intermodulacijskih izobličenja, kako bi se vidjela izvanredna važnost tih mjerenja za audiosistem.

— **Govor i glazba** imaju kompleksni valni oblik i sastoje se od kompliciranih kombinacija više sinusnih valova. Samo ispitivanje nelinearnosti sistema s dva signala može pokazati međusobna djelovanja među frekvencijskim komponentama.

— **Intermodulacijska izobličenja** su čujno mnogo neugodnija od harmoničkih izobličenja.

— **Mjerenja IM izobličenja** mogu se provesti preko cijelog frekvencijskog opsega sistema, dok se harmonička izobličenja ne mogu mjeriti iznad određene frekvencije, koja se nalazi dosta daleko ispod gornje granične frekvencije (zbog nagiba frekvencijske karakteristike pojačala).

— **Amplitude IM komponenata** obično su veće od amplituda harmoničkih komponenata, pa mjerenja IM izobličenja bolje ispituju nelinearnost sistema.

— **U principu,** uz danu nelinearnost sistema stvara se više IM od harmoničkih komponenata.

— **Čini se da su** IM izobličenja na višim frekvencijama (DFIM) (izobličenja razlika-frekvencija) vezana (i dobro koreliraju) za tranzijentna intermodulacijska izobličenja pojačala.

LITERATURA

1. HI-FI Messtechnik bei Verstärkern und Tonbandgeräten. Funk-Technik 1972, Nr. 15
2. Correlation of audio distortion specifications. AES, (56) Paris 1977.
3. Distortion measurement in audio-amplifiers. Marconi instrumentation, decembar 1963.
4. Measurements of distortion. Electroacoustic measurements. Brüel & Kjaer application notes
5. Testing HI-FI equipment. Electronics world, december 1970.

KEY WORDS:

AUDIO-AMPLIFIER
DISTORSIONS
INTERMODULATION

MEASUREMENTS OF NONHARMONIC DISTORSIONS IN AUDIO AMPLIFIERS

Results of measurements of intermodular distorsions are of great importance for the estimation of quality of audio-set. This measurements are performed in several ways, in dependance of applicable criteria. In the article are described some ways for measuring nonharmonic distortions in audio amplifiers in accordance with DIN, SMPTE and CCIF standards.

MESSUNG NICHTHARMONISCHER VERZERRUNGEN IN AUDIO-VERSTÄRKERN

Die Messergebnisse von übermodularen Verzerrungen sind ausserordentlich wichtig zur Bewertung der Qualität einer Audioanlage. Die Messungen werden verschiedenartig durchgeführt bzw. sind davon abhängig, nach welcher Norm diese erfolgen. Im Bericht werden Messverfahren für nichtharmonische Verzerrungen an Audioverstärkern nach den wichtigsten Normen DIN SMPTE und CCIF bzw. entsprechenden Vorschriften beschrieben.

ИЗМЕРЕНИЕ НЕГОРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ ЗВУКОВЫХ УСИЛИТЕЛЕ

Результаты измерений интермодуляционных искожений имеют исключительное значение при оценке качества аудио-устройств. Такие измерения призводятся несколькими способами, в зависимости от применяемой при измерениях нормы. В настоящей статье описаны способы измерения негармонических искажений звуковых усилителей, согласно наиболее известным нормативам: германскому промышленному стандарту, СМПТЕ и Мьждународноми консультативному комитету по телефонии.

Naslov pisca:

doc. dr Ivan Jelenčić, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet, Zagreb

Energija God. 30 (1981) br. 7—8, 369—374

STABILIZACIJA FREKVENCIJE OSCILATORA SUBHARMONIČNOM POBUDOM

Ivan Modlic, Zagreb

UDK 621.3.029:621.316.72

Sinkronizacija oscilatora sa subharmoničnom pobudom može se upotrijebiti za stabilizaciju frekvencije titranja nekih vrsta mikrovalnih oscilatora. Uz pomoć harmonijske nadomjesne sheme određena je amplitudna i fazna jednadžba izravne sinkronizacije oscilatora. Uz pretpostavku konstantnosti amplitude titraja oscilatora u području sinkronizacije, što odgovara realnom rješenju za malu pobudu, određena je širina područja sinkronizacije samo iz fazne jednadžbe. Dobiveni rezultat pokazuje izravnu vezu širine područja sinkronizacije s osobinama nelinearna elementa. Mogu se izvesti i zaključci potrebni za projektiranje sustava, kao potrebna obilježja aktivnog dvopola, najveći odnos frekvencija oscilatora i pobude te potrebna istosmjerna stabilnost izvora napajanja.

Ključne riječi: **Stabilizacija frekvencije**
Oscilator
Sinkronizacija

1. UVOD

Privedemo li harmonijskom oscilatoru s frekcencijom titranja ω_0 signal pobude $e = E\cos\omega t$, tad ćemo primijetiti da se naponu oscilatora periodički mijenja amplituda s frekvencijom $|\omega_1 - \omega_0|$. Treptajno titranje nastaje uz uvjet male razlike između frekvencije pobude i oscilatora. Smanjuje li se razlika između njihovih frekvencija, tad u izlaznom signalu oscilatora iščeznu treptaji pri određenoj razlici $|\omega_1 - \omega_0|$ i ostaju samo sinusni titraji. U frekvencijskom području širine $2\Delta\omega$, u kojem se pobudna frekvencija ω_1 malo razlikuje od svojstvene frekvencije oscilatora ω_0, frekvencija titranja oscilatora ω »zahvaćena« je pobudnom frekvencijom i prati svaku njezinu promjenu. Izvan tog područja vanjski signal »modulira« titraje oscilatora mijenjajući im periodički amplitudu i fazu. Širina područja sinkronizacije $2\Delta\omega$ ovisi o odnosu amplituda pobude i oscilatora. Pojava »praćenja« frekvencije oscilatora pod djelovanjem vanjske pobude zove se *izravna sinkronizacija.*

Do pojave izravne sinkronizacije dolazi i ako se oscilatoru privede subharmonična pobuda. Pojava izravne sinkronizacije oscilatora uz pomoć subharmonične pobude može se iskoristiti za stabilizaciju frekvencije oscilatora, ako je stabilnost frekvencije pobude veća od stabilnosti frekvencije oscilatora. Stabilizacija frekvencije oscilatora ostvariva je ako je područje promjene frekvencije oscilatora manje od područja sinkronizacije. Budući da je snaga potrebna za sinkronizaciju manja od snage oscilatora, to taj cjelokupni sustav stabilizacije frekvencije ima pojačanje snage. Osim toga je primijećeno da sinkronizirani sustav potiskuje šum, što još više povećava njegovu upotrebljivost.

2. SUBHARMONIČNA POBUDA OSCILATORA

Za analizu vladanja sinkroniziranog oscilatora kojemu je frekvencija titranja usklađena na viši harmonik frekvencije pobudnog izvora odabrat ćemo sustav predočen kao zajednica aktivnog i pasivnog dvopola. Za aktivni elemenat odabrali smo nelinearni element dinatronske vrste, kojemu je strujno-naponska karakteristika $i_n = f(u)$ aproksimirana algebarskim polinomom. Radna točka smještena je na karakteristici, kao i ishodište koordinatnog sustava. Prednost je upotrebe algebarskog polinoma u tome što se brzo izračunava, a njime se može dovoljno točno predočiti strujno-naponska karakteristika nelinearnog elementa, ako mu se odabere dovoljno visok stupanj.

Pasivni dvopol je paralelni titrajni krug koji sadrži induktivitet L, kapacitet C i vodljivost G (uz obuhvaćene gubitke kruga i vodljivost trošila). Uzimajući u obzir promjenljive komponente struje i napona, moguće je sastaviti nadomjesnu shemu sinkroniziranog oscilatora.

Privedeni pobudni napon *e* dodan je u seriju s nelinearnim elementom, a njegov otpor može se pridodati otporu nelinearna elementa.

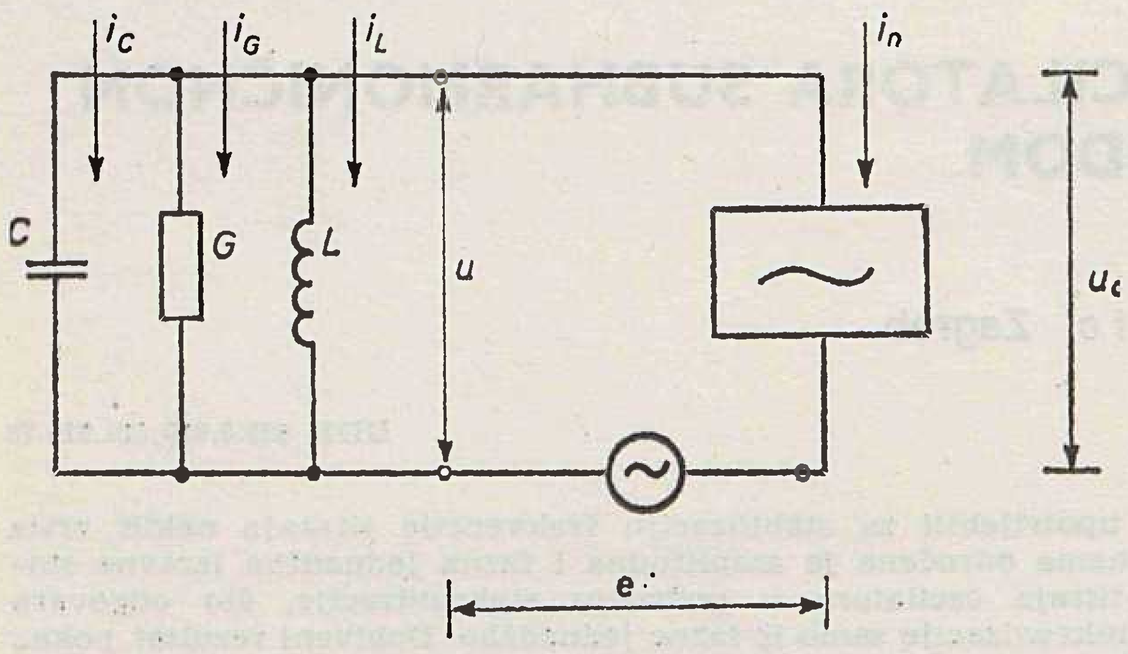
Započnimo razmatranje pretpostavkom da oscilator bez prisutnosti vanjske pobude titra u stacionarnom stanju frekvencijom $\omega \approx \omega_0$, gdje je ω_0 rezonantna frekvencija paralelnoga titrajnog kruga. Na paralelnom titrajnom krugu je, dakle, napon:

$$u = U_0\cos\omega t, \qquad (1)$$

gdje je $\omega^2_0 = 1/LC$.

Amplitudu stacionarnog titranja dinatronskog oscilatora moguće je odrediti uz pomoć harmonijske

linearizacije nelinearne strujno-naponske karakteristike aktivnog elementa uključenog u dinamičku nadomjesnu shemu oscilatora prema slici 1.



Sl. 1. Nadomjesna shema sklopa oscilatora sa subharmoničnom vanjskom pobudom

Pri harmonijskoj linearizaciji nelinearna strujno-naponska karakteristika nelinearna elementa $i_n = i_n(u)$ zamjenjuje se pravcem koji prolazi kroz radnu točku na karakteristici. Nagib aproksimacijskog pravca određuje amplitudu sinusne struje, koja se podudara s amplitudom prvog harmonika struje što teče kroz nelinearni element pri sinusnoj pobudi. Budući da amplituda osnovnog harmonika struje kroz nelinearni element ovisi o veličini upotrebljenog dijela strujno-naponske karakteristike, to se za svaku vrijednost amplitude sinusnoga pobudnog napona dobiva druga vrijednost amplitude osnovnog harmonika struje. Pri harmonijskoj linearizaciji nelinearna se karakteristika, dakle, ne zamjenjuje jednim pravcem, već cijelim snopom pravaca koji svi prolaze kroz radnu točku. Nagib svakog pravca ovisi o amplitudi pobudnoga sinusnog napona.

Kad amplituda sinusnoga pobudnog napona teži prema nuli, tad se nagib aproksimacijskog pravca približava nagibu tangente na karakteristiku u radnoj točki. U tom slučaju harmonijska linearizacija nelinearne karakteristike prelazi u pravu linearizaciju.

U nadomjesnoj shemi uz dovoljno veliku dobrotu Q titrajnog kruga ispunjen je uvjet harmonijske linearizacije za sinusnu pobudu nelinearna elementa. Prihvaćajući postupak harmonijske linearizacije, smatramo da kroz nelinearni element u nadomjesnoj shemi na slici 1. teče samo osnovni harmonik struje kojem amplituda ovisi o amplitudi sinusnog napona na njegovim priključnicama. Dakle, uz sinusni napon $u = U_0\cos\omega_0 t$ kroz sve grane nadomjesne sheme teku sinusne struje. Nadomjesna shema na slici 1. odgovara, dakle, stacionarnom stanju oscilatora i uz te uvjete postaje harmonijska nadomjesna shema oscilatora. Pomoću harmonijske nadomjesne sheme određuje se amplituda stacionarnog stanja ascilatora.

Privođenjem pobudnog napona kojem je frekvencija približno subharmonik frekvencije titranja slobodnog oscilatora:

$$e = E\cos\omega_2 t = E\cos\frac{1}{z}(\omega t + \varphi), \qquad (2)$$

nastaje sinkronizacija oscilatora, pa je napon na priključnicama titrajnog kruga LCG:

$$u = U\cos\omega t, \qquad (3)$$

gdje se frekvencija sinkroniziranog oscilatora nije mnogo promijenila, pa se može napisati da je $\omega \approx \omega_0$.

Frekvencija ω titranja oscilatora je z puta veća od pobudne frekvencije ω_2, pa sinkronizacija nastaje na z-tom harmoniku pobude [1]. Prema nadomjesnoj shemi sinkroniziranog oscilatora (sl. 1) na priključnicama nelinearna elementa djeluje napon:

$$u_d = u + e, \qquad (4)$$

pa struja kroz nelinearni element zbog nelinearne karakteristike $i_n = i_n(u_d) = i_n(u + e)$ nije sinusna. Osim toga, pobuda nelinearnog elementa nije više harmonijska već biharmonijska:

$$u_d = u + e = U\cos\omega t + E\cos\frac{1}{z}(\omega t + \varphi). \qquad (5)$$

Može se očekivati da struja kroz nelinearni element sadrži uz istosmjernu komponentu osnovni i više harmonike frekvencije oscilatora, tj. $n\omega$, $n = 1.2.3\ldots$, te osnovni i više harmonike pobudne frekvencije tj. $p(1/z)\omega$, $p = 1,2,3,\ldots$, kao i kombinacije komponenata $n \pm p(1/z)\omega$.

Ako se nelinearni dvopol u sklopu sinkroniziranog oscilatora treba zamijeniti s nadomjesnim linearnim dvopolom kojem je amplituda sinusne struje jednaka amplitudi osnovnog harmonika struje kroz nelinearni dvopol tad moramo naći vrijednosti te struje uz biharmonijsku pobudu elementa prema jednadžbi (5). To znači, valja zamijeniti nelinearni izraz za struju dvopola:

$$i_n = i_n(u_d) = i_n\left[U\cos\omega t + E\cos\frac{1}{z}(\omega t + \varphi)\right],$$

s nadomjesnim linearnim izrazom:

$$i_n = I_{1c}\cos\omega t + I_{1s}\sin\omega t,$$

gdje su I_{1c} i I_{1s} amplitude cosinus i sinus komponenata struje i_n kroz nelinearni dvopol za frekvenciju ω. Amplitude tih komponenata su funkcije amplituda napona oscilatora U i pobude E. Uz pretpostavku da je strujno-naponska karakteristika nelinearnog elementa aproksimirana polinomom s konačnim brojem članova:

$$i_n = \sum_{k=1}^{M} g_k u_d^k = \sum_{k=1}^{M} g_k (u + e)^k, \qquad (6)$$

gdje je zbog potrebnog dinatronskog karaktera karakteristike,

$$M = 2m + 1,$$
$$m = 1,2,3\ldots,$$
$$g_1 < o \text{ i } g_M > o,$$

tad je za biharmonijsku pobudu sinusna struja frekvencije ω kroz nelinearni element [2]:

$$i_n = I_{1o}\cos\omega t + I_{oz}\cos(\omega t + \varphi), \qquad (7)$$

gdje je I_{1o} osnovni harmonik struje frekvencije ω zbog napona oscilatora:

$$I_{1o} = 2 \sum_{\rho=0}^{\frac{1}{2}(M-1)} \sum_{\nu=0}^{\frac{1}{2}(M-1)-\rho} \frac{(1+2\rho+2\nu)!}{\rho!\,\nu!\,(1+\nu)!} \cdot g_{1+2\rho+2\nu} \cdot \left(\frac{U}{2}\right)^{1+2\nu} \left(\frac{E}{2}\right)^{2\rho}, \qquad (8)$$

$$I_{1o} = f(g_{1+2\rho+2\nu}; U; E), \qquad (8\,a)$$

a I_{oz} je z-ti harmonik struje zbog pobudnog napona frekvencije $z(1/z)\omega = \omega$, pa je:

$$I_{oz} = 2 \sum_{\rho=0}^{\frac{1}{2}(M-1)} \sum_{\nu=0}^{\frac{1}{2}(M-1)-\rho} \frac{(z+2\rho+2\nu)!}{\rho!\,\nu!\,(z+\rho)!} \cdot g_{z+2\rho+2\nu} \cdot \left(\frac{U}{2}\right)^{2\nu} \left(\frac{E}{2}\right)^{2\rho} \qquad (9)$$

$$I_{oz} = f(g_{z+2\rho+2\nu}; U; E). \qquad (9a)$$

3. SINKRONIZACIJA OSCILATORA SUBHARMONIČNOM POBUDOM

Analizu sinkroniziranog oscilatora na višim harmonicima pobude provest ćemo uz pomoć kvazilinearnog postupka harmonijske linearizacije [3]. U postupku harmonijske linearizacije pretpostavlja se da uz sinusne napone na sklopu oscilatora, prikkazanog nadomjesnom shemom na slici 1, kroz grane nadomjesne sheme teku sinusne struje. To znači da ćemo zanemariti sve više harmonike koji nastaju zbog nužne prisutnosti nelinearnosti u sklopu oscilatora. Nadomjesna shema oscilatora s vanjskom subarmoničnom pobudom prema slici 1. prelazi u harmonijsku nadomjesnu shemu koja karakterizira stacionarno stanje sinkroniziranog oscilatora.

Primjenom Kirchoffova pravila na gornji čvor harmonijske nadomjesne sheme prema slici 1. vrijedi da je zbroj svih sinusnih struja u tom čvoru jednak nuli:

$$i_L + i_C + I_G = -i_n. \qquad (10)$$

Uz napone na sklopu definirane jednadžbama (2), (3) i (5) struje koje teku kroz grane G, L i C titrajnog kruga su sinusne:

$$\begin{aligned} i_L &= U\sin\omega t/\omega L, \\ i_C &= -\omega CU\sin\omega t, \\ i_G &= GU\cos\omega t, \\ i_n &= I_{1o}\cos\omega t + I_{oz}\cos(\omega t + \varphi). \end{aligned} \qquad (11)$$

Poznavajući sada amplitude svih sinusnih struja u harmonijskoj nadomjesnoj shemi sinkroniziranog oscilatora, uvrštavanjem jednadžbi (11) u jednadžbu (10) slijedi:

$$\frac{U}{\omega L}\sin\omega t - \omega CU\sin\omega t + GU\cos\omega t + I_{oz}\cos\omega t\cos\varphi - I_{oz}\sin\omega t\sin\varphi = 0.$$

Izjednačenjem koeficijenta od $\cos\omega t$ s nulom dobiva se jednadžba koja određuje amplitudu sinkroniziranog oscilatora u području sinkronizacije. Uvjet stacionarnog stanja sinkroniziranog oscilatora ili amplitudni uvjet sinkronizacije glasi:

$$UG + I_{1o} + I_{oz}\cos\varphi = 0 \qquad (12)$$

Izjednačenjem koeficijenta od $\sin\omega t$ s nulom slijedi fazni uvjet sinkronizacije:

$$\frac{U}{\omega L} - \omega CU = I_{oz}\sin\varphi,$$

ili nakon podjele sa UC:

$$\frac{\omega_0^2}{\omega} - \omega = \frac{I_{oz}}{UC}\sin\varphi.$$

Ako frekvencija sinkroniziranog oscilatora malo odstupa od frekvencije slobodnog oscilatora $\omega \approx \omega_0$, tad približno vrijedi:

$$\frac{\omega_0^2}{\omega} - \omega \approx 2(\omega_0 - \omega) = 2\Delta\omega,$$

pa je konačno fazna jednadžba sinkronizacije kojom je određena promjena faze u području sinkronizacije:

$$2\Delta\omega - \frac{I_{oz}}{UC}\sin\varphi = 0. \qquad (13)$$

Područje sinkronizacije dobiva se iz fazne jednadžbe (13) sinkroniziranog oscilatora uz $|\sin\varphi| = 1$:

$$2\Delta\omega_{maks} = \frac{I_{oz}}{UC}.$$

Amplitudu titraja u području sinkronizacije možemo naći uz pomoć obiju jednadžbi (12) i (13). No, ako se amplituda malo mijenja u području sinkronizacije, što odgovara realnom stanju uz vrlo malu pobudu $E \ll U$, dovoljno je razmatrati samo faznu jednadžbu, što je znatno jednostavnije. Uz pretpostavku stalne amplitude sinkroniziranog oscilatora može poslužiti jednadžba (12) za određivanje amplitude sinkroniziranog oscilatora:

$$U_1 G + I_{1o}(U_1, E) = 0. \qquad (14)$$

Za struju I_{1o} pretpostavit ćemo da sadrži dvije komponente, i to: $i(U_1)$ koja upućuje na stacionarno stanje oscilatora uz zadani nelinearitet i $i(U_1, E)$ koja pokazuje utjecaj vanjske pobude na vladanje oscilatora. Uz malu pobudu u praktičkoj realizaciji sinkroniziranog oscilatora amplituda oscilatora odgovara približno amplitudi slobodnog oscilatora. Amplitudu slobodnog oscilatora dobivamo iz jednadžbe (14) uz $E = 0$:

$$U_0G + i(U_0) = U_0G + I_{1m}(U_0) = 0. \quad (15)$$

Jednadžba (15) odgovara poznatom rezultatu za stacionarno stanje oscilatora.

Za općenito zadani nelinearitet predočen redom potencija od M članova širina područja sinkronizacije uz subharmoničnu pobudu oscilatora ovisi o elementima titrajnog kruga, položaju radne točke na strujno-naponskoj karakteristici te amplitudi napona oscilatora i pobude. Uvrštavanjem vrijednosti struje z-tog harmonika pobude prema jednadžbi (9) ili (9a) dobiva se širina područja za općenito zadani nelinearitet:

$$2\Delta\omega_{maks} = f(g_{z+2\rho+2\nu}; U_0; E)/U_0C \quad (16)$$
$$\rho = 0, 1, 2, 3 \ldots \qquad \nu = 0, 1, 2, 3 \ldots$$

Iz gornjeg izraza slijedi da širina područja sinkronizacije ovisi o odnosu frekvencija oscilatora i pobude. Za parni odnos frekvencija z ulaze u izraz za širinu područja sinkronizacije oscilatora sa subharmoničnom pobudom samo parni članovi, a za neparni z samo neparni članovi reda potencija kojim je opisan zadani nelinearitet.

Koeficijent člana algebarskog polinoma s najmanjom potencijom koji ulazi u izraz za širinu područja sinkronizacije jest g_z. Za nelinearni element s poznatim aproksimacijskim polinomom valja voditi računa o ograničenju izbora odnosa frekvencija Praktičnu vrijednost ima nalaženje izraza za širinu područja sinkronizacije oscilatora za odnos frekvencije oscilatora i pobude $z = M$ i $z = (M - 1)$. Izraz za širinu područja sinkronizacije za taj poseban slučaj glasi:

$$2\Delta\omega_{maks} = \frac{1}{2^{z-1}C} g_z \frac{E^z}{U_0} \quad (17)$$

Ovisnost širine područja sinkronizacije oscilatora o osobinama nelinearnog dvopola određena je za ovaj specifičan primjer koeficijentog g_z člana reda potencija koji odgovara odnosu frekvencija z. Utjecaj pobudnog napona izražen je z-tom potencijom.

U analizi nelinearnih oscilatora čest je primjer da se strujno-naponska karakteristika aktivnog elementa u sklopu oscilatora aproksimira kubnom funkcijom. Nelinearni element s kubnom karakteristikom može se, dakle, iskoristiti za stabilizaciju frekvencije oscilatora sa subharmoničnom pobudom ako im je odnos frekvencija $z = 2$ ili $z = 3$.

Neka je karakteristika nelinearnog dvopola u sklopu sinkroniziranog oscilatora definirana redom potencija od tri člana:

$$i_n = \sum_{k=1}^{3} g_k u_g^k = \sum_{k=1}^{3} g_k (u + e)^k,$$

gdje su koeficijenti članova reda potencija

$$g_1 < 0 \qquad g_2 \gtrless 0 \qquad g_3 > 0$$

a naponi u i e prema slici 1. određeni su jednadžbama (2) i (3). Odaberemo li pobudnu frekvenciju tri puta manju od frekvencije oscilatora, tada je širina područja sinkronizacije:

$$2\Delta\omega_{maxs} = \frac{g_3}{4C} \frac{E^3}{U_0} \quad (18)$$

S istim aktivnim dvopolom moguće je ostvariti stabilizaciju frekvencije oscilatora ako je odnos frekvencija oscilatora i pobude $z = 2$. Tada je širina područja sinkronizacije oscilatora:

$$2\Delta\omega_{maks} = \frac{g_2}{2C} \frac{E^2}{U_0} \quad (19)$$

Oscilatoru kojem su elementi sklopa odabrani tako da u stacionarnom stanju generira kvazisinusne titraje frekvencije ω_0 može se stabilizirati frekvencija ako mu se privede napon frekvencije $\omega_2 \approx \omega_0/3$ ili $\omega_2 \approx \omega_0/2$. Uz uvjet male amplitude napona pobude širina područja sinkronizacije stabiliziranog oscilatora odgovara izrazima jednadžbe (18) i (19), dobivenih i od drugih autora [4]. Prema jednadžbi (19) za stabilizaciju frekvencije oscilatora s odnosom frekvencije $z = 2$ ne može se iskoristiti nelinearni element s centralno simetričnom nelinearnom karakteristikom, već valja tad pomaknuti radnu točku iz točke infleksije kubne karakteristike. Širina područja sinkronizacije određuje dopustivu nestabilnost frekvencije oscilatora, a ona pak ovisi i o istosmjernoj stabilnosti položaja radne točke na nelinearnoj karakteristici i o stabilnosti privedenog napona.

4. ZAKLJUČAK

Sinkronizacija oscilatora subharmoničnom pobudom prikladan je postupak za stabilizacjiu frekvencije, posebno nekih vrsta mikrovalnih oscilatora. Područje sinkronizacije oscilatora određuje dopustivu nestabilnost frekvencije oscilatora. Stoga valja misliti na odnos frekvencije oscilatora i pobude, na osobine nelinearitеta aktivnog dvopola, stabilnost napona pobude i istosmjernu stabilnost položaja radne točke na karakteristici.

Želeći ispitati utjecaj osobina nelinearitеta u sklopu oscilatora na vladanje sinkroniziranog oscilatora, poslužili smo se harmonijskom nadomjesnom shemom. U primjeru subharmonične pobude morale su se prvo odrediti amplitude sinusnih struja frekvencije $\omega \approx \omega_0$ koje teku kroz pojedine grane harmonijske nadomjesne sheme uz biharmonijsku pobudu aktivnog dvopola. Uz pretpostavku male pobude i približne stalnosti amplitude titraja u cijelom području sinkronizacije za određivanje širine područja sinkronizacije iskoristili smo samo faznu jednadžbu sinkroniziranog oscilatora. Dobiveni rezultat pokazuje izravnu vezu širine područja sinkronizacije s osobinama nelinearitеta u sklopu oscilatora. Za parni odnos frekvencija oscilatora i pobude širini područja pridonose samo parni članovi aproksimacijskog polinoma, dok neparni čla-

novi reda preuzimaju tu ulogu za neparni odnos frekvencija.

Za poseban primjer nelinearitеta danog redom potencija od tri člana izvedeni su izrazi iz općeg polinoma. Položaj radne točke na strujno naponskoj karakteristici aktivnog dvopola određuje osobine nelinearitеta pa time utječe na širinu područja sinkronizacije, a time i područja stabilizacije frekvencije oscilatora. Također, mogu se izvesti zaključci o stabilizaciji frekvencije oscilatora vezani za odnos frekvencija oscilatora i pobude i položaja radne točke ili stabilnosti položaja radne točke.

LITERATURA

1. J. Feldman: Determination of the Locking Range from Reactive Power Balance of the Oscillator, N T Z vol. 25. (1972), 6, 287—290. N T Z vol. 26. (1973), 3, 135—136. N T Z vol. 26. (1973), 4, 184—187.
2. I. Modlic: Analiza harmoničkih komponenata struje nelinearnog elementa kod biharmonijske pobude za mjerenje spektralnih značajki signala, Zbornik radova JUREMA, sv. 6., Dubrovnik 1979.
3. A. N. Brujevič, S. I. Jevtjanov: Aproksimacija nelinejnih karakteristik i spektri pri harmoničeskom vozdjestviji, Sovjetskoje radio, Moskva 1965.
4. T. A. Gajlit, I. I. Minakova: Sinhronizacija lampovo generatora sinusoidaljnjih kolebanij drobno-kratkoj garmoničeskoj siloj, Radiotehnika, Moskva vol. 11 (1956), 7, 50—56.

OSCILATOR FREQUENCY STABILISATION BY SUBHARMONIC DRIVING FREQUENCY

Oscillator injection-locking amplitude and phase equations can be used for microwave oscillator frequency stabilization. Oscillator injection-locking amplitude and phase equations are determined on the basis of the harmonic equivalent circuit. The locking range is calculated from the phase equation supposing practically constant oscillations amplitude in this range. The results show dependance on nonlinearity characteristics and driving and generated signal amplitudes. The analysis gives some answers necessary for system design like maximal oscillator and driving frequency ratio for chosen nonlinearity and DC power supply stability.

FREQUENZSTABILISIERUNG VON OSZILLATOREN DURCH UNTERHARMONISCHE (SUBHARMONISCHE) ERREGUNG

Die Synchronisieurng von Oszillatoren mit subharmonischer Erregung kann für Frequenzstabilisierung von Schwingungen einiger Arten von Mikrowellenoszillatoren angewendet werden. Durch Verwendung eines harmonischen Ersatz schlatbildes wird die Amplitude und Phasengleichung der Synchronisierung des Oszillators bestimmt. Bei vorausgesetzer konstanter Amplitude der Oszillatorschwingungen im Bereich der Synchronisierung, was einer realen Lösung bei kleiner Erregung entspricht, wird der Umfang der Synchronisierung allein aus der Phasengleichung bestimmt.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ ОСЦИЛЯТОРА СУБГАРМОНИЧЕСКИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Синхронизация осцилятора с субгармоническим возбуждением может быть применена длр стабилизации частоты колеваний видов микроволновых осциляторов. При помощи гармонической схемы замещения были определены амплитудное и фазное уравнения непосредственной синхронизации осцилятора. Предполагая постоянство амплитуды колебаний осцилятора в области синхронизации, что соответствует реальному решению при малом возбуждении, была определена ширина области синхронизации только из фазного уравнения.

KEY WORDS:

STABILISATION OF
FREQUENCY
OSCILATOR
SINHRONISATION

Naslov pisca:

prof. dr Ivan Modlic, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet, Zagreb



Elektroničko računalo IBM 1130

Energija God. 30 (1981) br. 7—8, 375—380

MIKRORAČUNARSKI LABORATORIJ

Mario Žagar, Zagreb

UDK 681.3.01

U ovom članku prikazana je organizacija i razvoj mikroraču narskog laboratorija koji omogućava praktično upoznavanje digitalnih računala (mikroračunala) i njihovog povezivanja s vanjskim svijetom.

Ključne riječi: **Mikroračunala**
Laboratorij
Organizacija

1. UVOD

Prošlo je 30-tak godina od realizacije prvog komercijalnog digitalnog računala, a samo 10 godina od pojave prvog mikroračunala.

U tom vrlo kratkom vremenskom razdoblju SLI i VLSI poluvodičke komponente (prvenstveno mikroprocesorske komponente) prodrle su u gotovo sva područja čovjekova života i rada.

Izvanredna dinamika razvoja mikroprocesora i popratnih komponenata (memorije, ulazno-izlazne komponente i dr.) utječe na razvoj ne samo digitalnih računala, već i svih ostalih područja koja su na neki način vezana za računala.

»Usko grlo« u razvoju mikroračunala i njihovoj primjeni jest premalen broj ljudi koji poznaju mikroračunala. Poznavanje sklopovske i programske podrške nužne za primjenu mikroračunala, a također snalaženje u izboru ponuđenih komponenata osnovni su preduvjeti za uspješno korištenje mikroračunala. Javlja se sve veća potreba za tzv. »FIRMWARE« stručnjacima koji su u stanju projektirati i realizirati određenu mikroprocesorsku konfiguraciju »po mjeri« za rješavanje konkretnog problema, a isto tako razviti i istestirati odgovarajuću programsku podršku koja će u svojoj konačnoj verziji biti smještena u ROM memoriji mikroprocesorskog sistema i upravljati njegovim radom. Odgovor na potrebe za takvim tipom stručnjaka jest pojava niza organizicija koje se bave tečajevima iz programiranja i korištenja mikroračunala. Međutim, svi su ti tečajevi kratki i površni, vezani za konkretne uređaje, uz to i dosta skupi, a zahtijevaju dosta predznanja od polaznika da bi uopće imali smisla.

Takav pristup ima niz nedostataka i ne može se koristiti u redovnoj nastavi iz područja digitalnih računala (mikroračunala).

Studenti koji su se odlučili za smjerove u kojima se više pažnje posvećuje digitalnim računalima trebaju usvojiti općenita predznanja na temelju kojih će (uz vlastito usavršavanje) moći rješavati konkretne probleme u kasnijem školovanju i praktičnom radu. Prema nekim procjenama (3), za nastavu iz osnovnog područja — poznavanje digitalnih računala potrebno je oko 100 sati nastave (40% rada u labaratoriju), a u drugom dijelu nastave (tzv. nadgradnja — obično za slušaoce prvog dijela) koja je orijentirana prema konkretnim problemima i njihovu rješavanju pomoću mikroračunala potrebno je daljnjih 100 sati (60% rada u laboratoriju).

U tom smislu izgradnja i razvoj MIKRORAČUNARSKOG LABORATORIJA nameće se kao nužna radi poboljšanja praktične nastave iz osnova digitalnih računala (mikroračunala), a isto tako i znanstvenoistraživačkog rada na razvoju i konkretnoj primjeni mikroračunala.

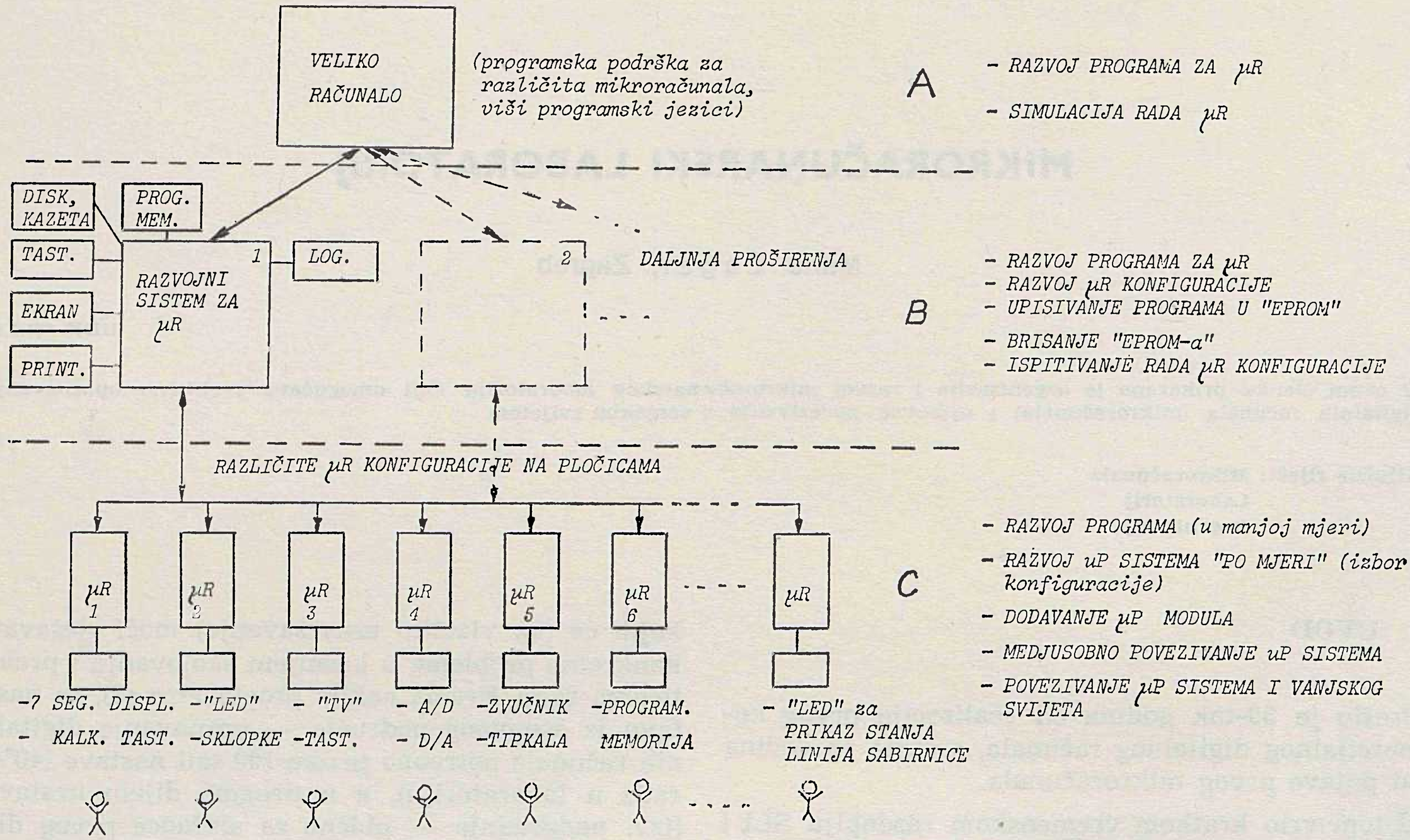
2. IDEJA MIKRORAČUNARSKOG LABORATORIJA*

Između želja i potreba te financijskih sredstava uvijek postoji raskorak. Na slici 1. prikazana je ideja mikroračunarskog laboratorija kojoj bi po mišljenju autora trebalo težiti u konkretnoj realizaciji.

Osnovni zahtjevi koji se postavljaju na mikroračunarski laboratorij jesu:

— modularna izvedba koja omogućava izgradnju i proširivanje laboratorija prema potrebama i financijskim mogućnostima
— korištenje laboratorija za obavljanje nastave iz više predmeta vezanih uz digitalna računala, a isto tako korištenje mikroračunske opreme u znanstvenoistraživačkom radu na razvoju i primjeni mikroračunala.

* Pod pojmom MIKRORAČUNARSKI LABORATORIJ ovdje podrazumijevamo mikroračunarsku opremu potrebnu za praktično upoznavanje osnovnih principa rada digitalnih računala (mikroračunala) i njihovo povezivanje s vanjskim svijetom.



Sl. 1. Ideja mikroračunarskog laboratorija

3. POSTOJEĆA ORGANIZACIJA MIKRORAČUNARSKOG LABORATORIJA

U okviru grupe predmeta »računarski sistemi i procesi« na Zavodu za regulacionu i signalnu tehniku Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu izgrađen je mikroračunarski laboratoriji prema ideji prikazanoj na slici 1.

Zbog nedovoljnih financijskih sredstava trenutno postojeća konfiguracija mikroračunarskog laboratorija nije jednaka »idealnoj«.

Težilo se za time da se u prvoj fazi izgradnje laboratorija zadovolje osnovne potrebe nastave, što je u velikoj mjeri i postignuto.

Postojeća organizacija mikroračunarskog laboratorija prikazana je na slici 2. Sastoji se od 10-tak malih mikroprocesorskih sistema (6 mikroračunala »Intersil IM6100«, s mikroračunala »Fairchild F8« i 2 mikroračunala »Zilog Z80«) uz mogućnost proširenja različitim dodatnim mikroračunarskim konfiguracijama.

Pomoću više istih tipova mikroračunala (μR IM-6100) mogu se objašnjavati osnovni principi rada digitalnog računala većem broju ljudi istovremeno. U drugoj fazi nastave koriste se različite organizacije mikroračunala kako bi studenti uočili bitne elemente koji su zajednički svim digitalnim računalima (μR), a isto tako i specifičnosti po kojima se pojedini tipovi računala (μR) međusobno razlikuju.

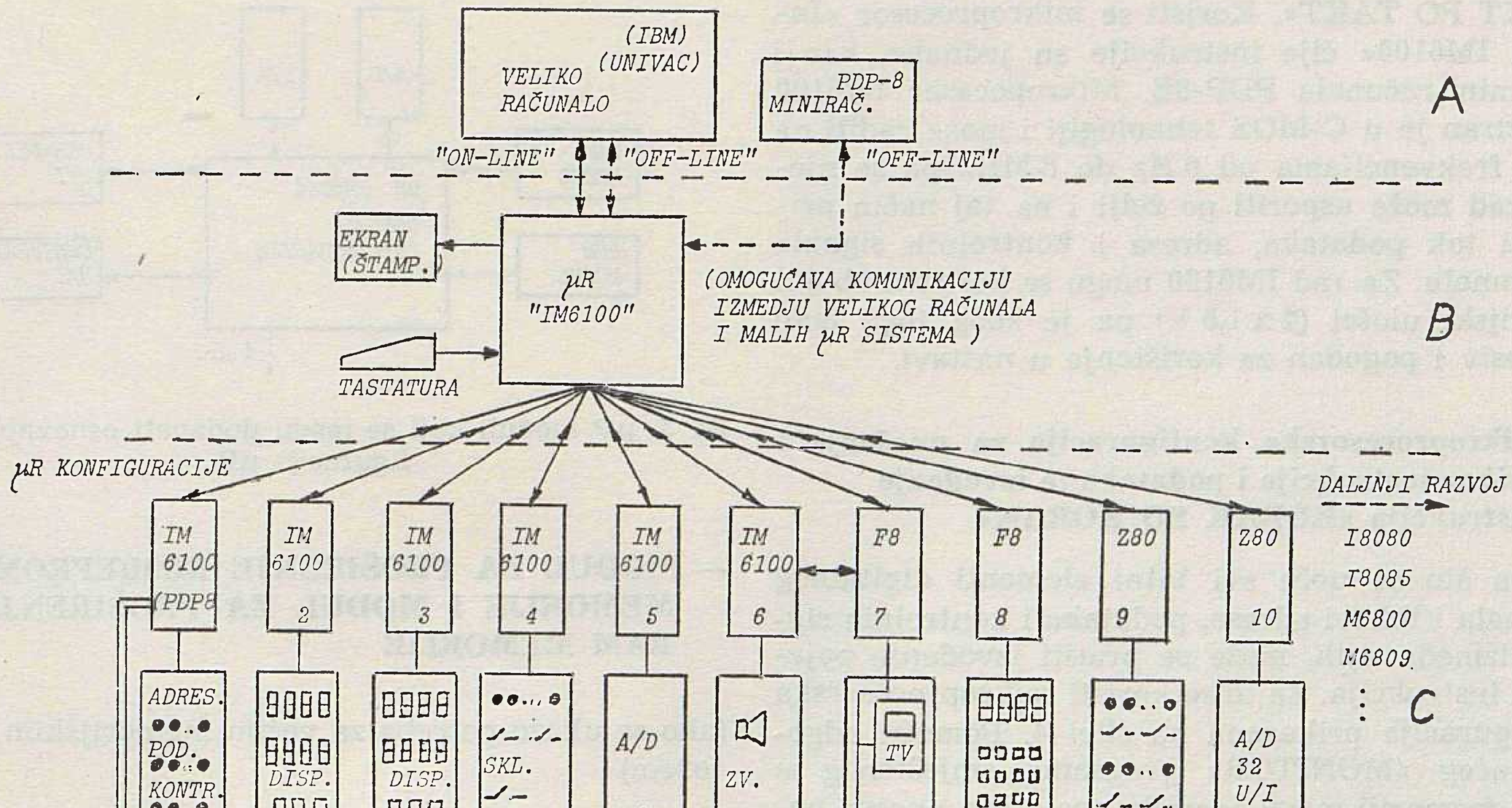
Potrebno je napomenuti da je postojeća konfiguracija mikroračunarskog laboratorija izgrađena uz minimalna financijska sredstva te uz veliko zalaganje studenata (konstrukcioni i diplomski radovi) u suradnji s privredom i radom nastavnog osoblja. Pri tome posebnu zahvalnost treba odati tvornici RIZ OOUR IETA koja nam je omogućila korištenje većeg broja mikroračunala »IM6100«.

4. ORGANIZACIJA PRAKTIČNOG RADA U MIKRORAČUNARSKOM LABORATORIJU

Korištenjem mikroračunarskog laboratorija u nastavi omogućava se praktično provjeravanje osnovnih načela rada digitalnih načunala iznesenih na predavanjima i razrađenih na auditornim vježbama. Rad u laboratoriju možemo podijeliti u nekoliko cjelina:

1. **praktično upoznavanje digitalnih računala (mikroračunala koja se koriste u mikroračunarskom laboratoriju**

(tipovi računala, njihovi bitni dijelovi i karakteristike, upute za rukovanje, opis instrukcija, načini unošenja podataka i programa u računalo, dodatni moduli za proširivanje rač. sistema i izgradnju odgovarajuće mikroračunarske konfiguracije)



Sl. 2. Postojeća organizacija mikroračunarskog laboratorija

2. **analiza rada digitalnog računala pomoću odgovarajućih programskih cjelina**

(unošenje instrukcija i podataka u računalo, izvođenje programa i uočavanje djelovanja pojedinih instrukcija s obzirom na to što rade i na što se odnose, praćenje sadržaja određenih registara i memorijskih lokacija, različiti načini adresiranja memorije, programske cjeline za aritmetičke i logičke operacije, potprogrami i dr.)

3. **načini komuniciranja digitalnog računala i vanjskog svijeta**

(standardne i specifične ulazno-izlazne jedinice te njihovo priključivanje na računalo, načini unošenja i iznošenja podataka iz računala, različiti načini prijenosa podataka — uvjetni i bezuvjetni programirani način prijenosa, zahtjevi za prekid, direktan pristup memoriji (DMA) i dr.)

4. **zadavanje manjih problema i njihovo rješavanje uz pomoć računala**

(samostalno izvođenje svih faza u rješavanju određenog problema od dijagrama toka do ispravnog izvršavanja programa na računalu)

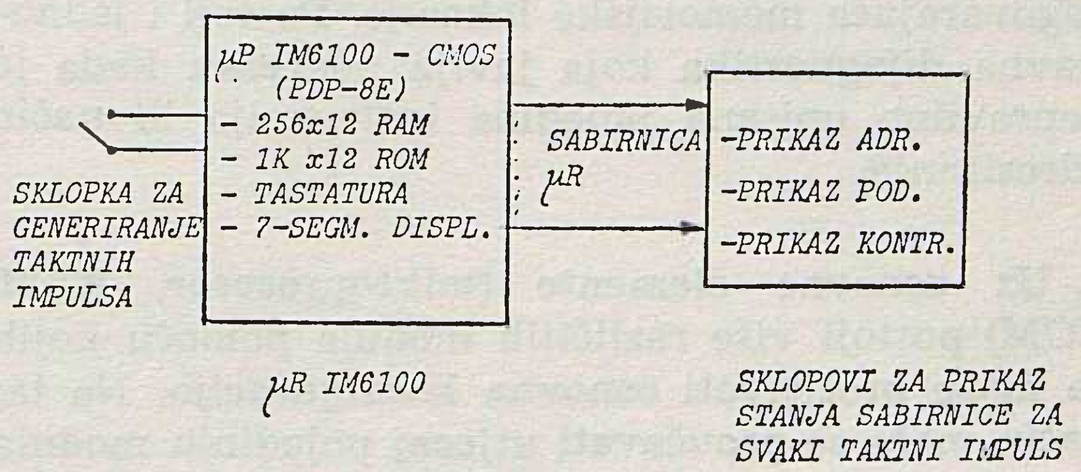
5. **projektiranje i realizacija različitih mikroprocesorskih sistema**

(u okviru seminarskih, konstrukcionih i diplomskih radova studenti samostalno projektiraju i realiziraju različite mikroprocesorske sisteme i rješavaju probleme njihova povezivanja s vanjskim svijetom).

U mikroračunarskom laboratoriju postoji više različitih mikroprocesorskih konfiguracija pomoću kojih se objašnjavaju određeni pojmovi. Nabrojit ćemo samo neke od postojećih konfiguracija:

1. **mikroprocesorska konfiguracija za praćenje podataka na sabirnici mikroračunala**

Pomoću mikroprocesorske konfiguracije na slici 3. moguće je pratiti izvođenje dijelova instrukcije

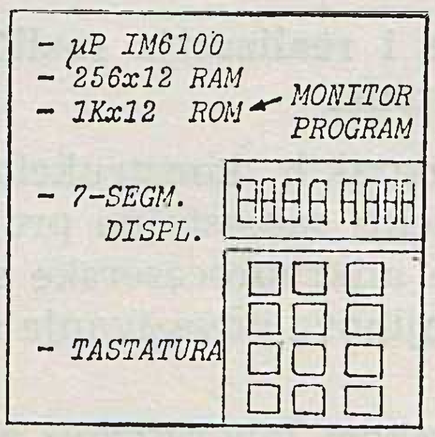


Sl. 3. Mikroprocesorska konfiguracija za praćenje podataka na sabirnici mikroračunala

»TAKT PO TAKT«. Koristi se mikroprocesor »Intersil IM6100« čije instrukcije su jednake, kao i kod mini-računala PDP-8E. Mikropocesor IM6100 realiziran je u C-MOS tehnologiji i može raditi na svim frekvencijama od 0 Hz do 8 MHz pa se njegov rad može usporiti po želji i na taj način prikazati tok podataka, adresa i kontrolnih signala u računalu. Za rad IM6100 mogu se koristiti obični baterijski ulošci (4 x 1,5 V) pa je zbog toga lako prenosiv i pogodan za korištenje u nastavi.

2. mikroprocesorska konfiguracija za unošenje i prikaz instrukcija i podataka te izvođenje instrukcija »KORAK PO KORAK«

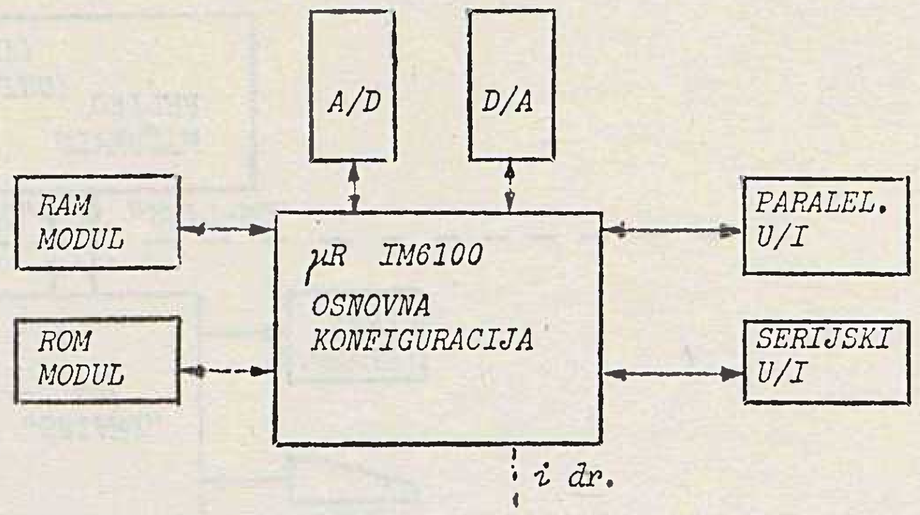
Nakon što se uoče svi bitni elementi digitalnog računala i tokovi adresa, podataka i kontrolnih signala između njih, može se pratiti izvođenje pojedinih instrukcija. Za to se koristi mikroprocesorska konfiguracija prikazana na slici 4. Pomoću odgovarajućeg »MONITOR« programa smještenog u ROM memoriji mogu se preko tastature unositi podaci, instrukcije (u strojnom kodu) u RAM memoriju mikroračunala, može se prikazati sadržaj programskog brojila (mem. adresa) i sadržaj odgovarajuće memorijske lokacije, a također je moguće pomoću odgovarajuće tipke i upravljačkog programa smještenog u ROM memoriji izvoditi »instrukciju po instrukciju« i na displeju pratiti sadržaj programskog brojila, mem. lokacije, akumulatora, linka i dr.



Sl. 4. Mikroprocesorska konfiguracija za unošenje i prikaz instrukcija i podataka

3. Ako se mikroprocesorskoj konfiguraciji prikazanoj na slici 4. doda ROM memorija u koju je upisan »INTERPRETER« komandi, moguće je preko tastature unositi instrukcije u simboličkom obliku koje računalo pretvara u strojni kod i upisuje u odgovarajuće memorijske lokacije. Postoji i jednostavna dijagnostika koja javlja pogrešku kada je nepravilno upisana pojedina instrukcija ili način adresiranja.

4. Uz osnovne elemente (mikroprocesor, RAM, ROM) postoji više različitih modula pomoću kojih se može proširivati osnovna konfiguracija. Na taj način može se proučavati utjecaj pojedinih modula na povećanje moći obrade podataka. Najinteresantniji moduli su (slika 5):



Sl. 5. μP moduli koji se mogu dodavati osnovnoj konfiguraciji μR

— **MODUL ZA PROŠIRENJE ROM(EPROM) MEMORIJE i MODUL ZA PROŠIRENJE RAM MEMORIJE**

(ako se ukaže potreba za većim memorijskim prostorom)

— **MODUL ZA PARALELNU ULAZNO/IZLAZNU KOMUNIKACIJU**

(Sastoji se od sklopova koji omogućavaju priključak na sabirnicu mikroračunala IM6100. Preko tog modula moguće je paralelno unositi 12 ulaznih signala ili paralelno slati 12 izlaznih signala prema vanjskom svijetu. Na samom modulu postoji 12 sklopki za ručno generiranje ulaznih podataka, a isto tako 12 svijetlećih dioda i četiri 7-segmentna displeja za prikaz stanja izlaznih linija. Postoji tipka za generiranje zahtjeva za prekid i SKP tipka za uvjetni način prijenosa podataka. Na istom modulu ugrađen je i zvučnik kao serijska izlazna jedinica.)

— **MODUL ZA SERIJSKU ULAZNO/IZLAZNU KOMUNIKACIJU**

(može se obavljati standardna asinhrona serijska komunikacija s bilo kojom vanjskom jedinicom koja ima priključak za serijsku komunikaciju)

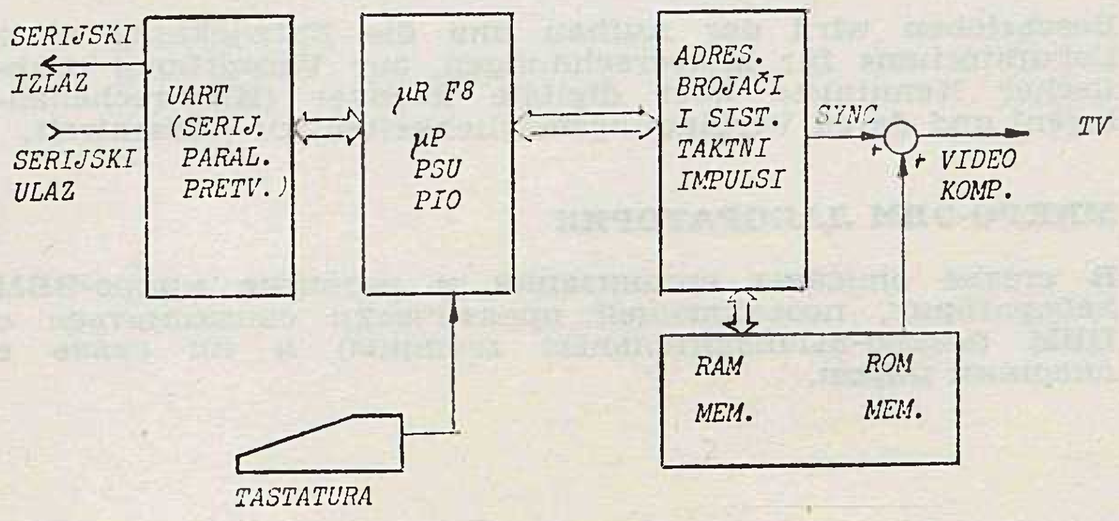
— **MODUL ZA A/D, D/A PRETVORBU**

(mogu se unositi podaci iz analognog svijeta u računalo, a isto tako generirati analogni signali prema vanjskom svijetu)

5. F8-1 mikroprocesorska konfiguracija

Koristi se za unošenje podataka preko tastature u računalo i prikaz podataka na TV ekranu (slika 6). Mogu se uočiti potrebni elementi za priklju-

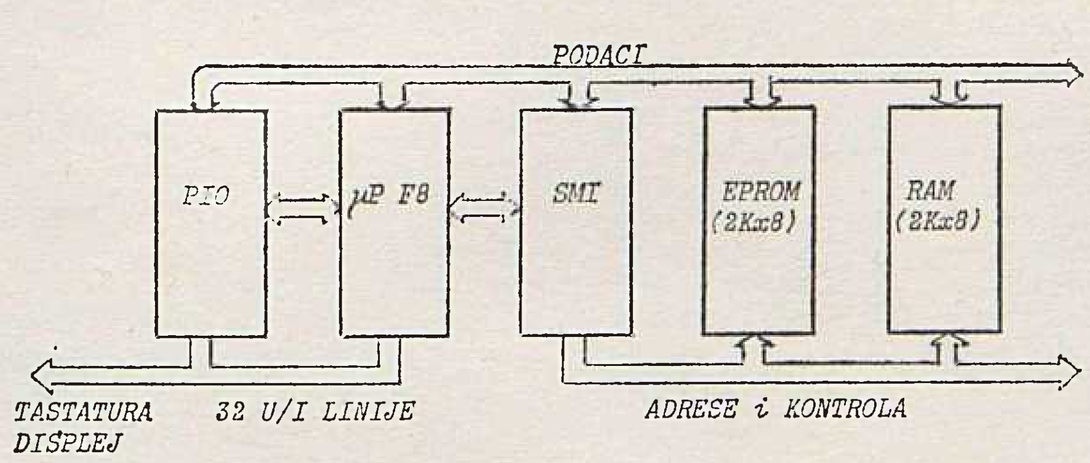
čak ASCII tastature kao ulazne jedinice, serijskog ulaza-izlaza prema računalu i sklopovi za prikaz ASCII znakova na TV ekranu kao izlaznoj jedinici.



Sl. 6. μP konfiguracija za prikaz podataka na TV ekranu

6. F8-2 mikroprocesorska konfiguracija

(mikroprocesor F8, 2K x 8 RAM, 2K x 8 EPROM (4K x 8 EPROM), 32 U/I linije, tastatura, displej) služi za kontrolu programiranja EPROM memorija (uz dodatni modul programatora) i različite mogućnosti povezivanja s vanjskim svijetom preko 32 U/I linije (slika 7).



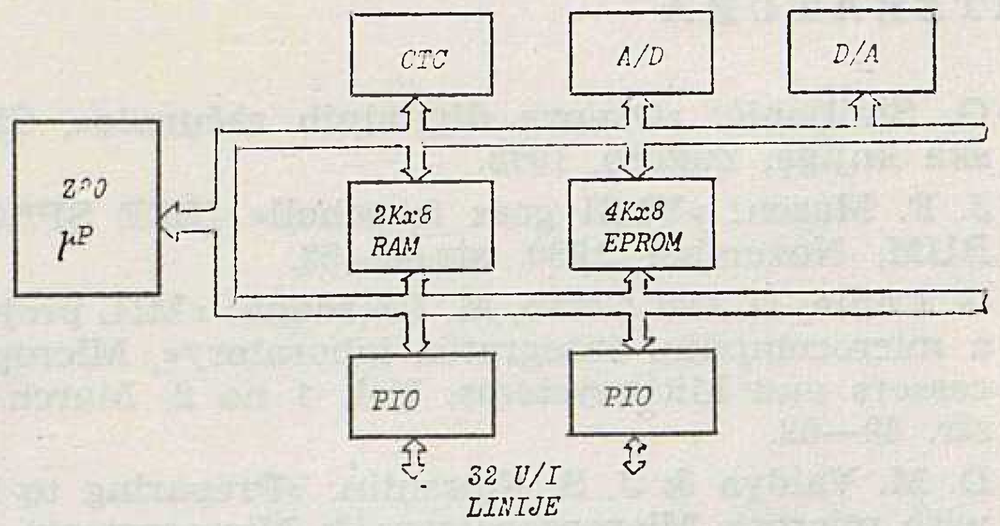
Sl. 7. μP F8, 2K × 8 RAM, 2K × 8 EPROM, 32 U/I linije

7. Z80-1 mikroprocesorska konfiguracija

(mikroprocesor Z80, brojač/generator vrem. impulsa, 2K x 8 RAM, 4K x 8 EPROM, 32 U/I linije, A/D, D/A) ima mogućnost komunikacije preko tastature i 7-segmentnog displeja i može se koristiti za uzimanje analognih i digitalnih podataka iz vanjskog svijeta, njihovu obradu i generiranje odgovarajućih izlaznih signala (analognih i digitalnih). (Slika 8)

8. Z80-2 mikroprocesorska konfiguracija

(mikroprocesor Z80, 1K x 8 RAM, 1K x 8 EPROM, U/I komunikacija preko konzole). Moguća je vanjska kontrola nad sabirnicom sistema i ručni upis



Sl. 8. Mikroprocesorska konfiguracija »Zilog Z80-1«

(čitanje) podataka u (iz) memorije računala. Koristi se za objašnjavanje DMA (direktan pristup memoriji) načina prijenosa podataka između vanjskog svijeta i memorije računala bez posredstva procesora.

5. BUDUĆI RAZVOJ MIKRORAČUNARSKOG LABORATORIJA

U prvoj fazi razvoja organiziran je mikroprocesorski laboratorij sa opremom prikazanom na slici 2, blok C te ostvarena veza s velikim računalom (blok A). Kao razvojni sistemi koriste se miniračunala PDP-8E (s dodatnom opremom), posuđeni sistemi iz suradnje s privredom te odgovarajući programski paketi u velikom računalu (SRCE).

Cilj daljnjeg razvoja mikroračunarskog laboratorija (ovisno o financijskim mogućnostima) jest izgradnja odgovarajućeg razvojnog sistema te njegovo povezivanje s velikim računalom i malim mikroprocesorskim konfiguracijama radi bržeg i efikasnijeg korištenja računarske opreme.

6. ZAKLJUČAK

Nagli razvoj mikroračunala zahtijeva odgovarajuće školovanje stručnih kadrova koji predstavljaju »usko grlo« u razvoju i primjeni modernih LSI (VLSI) komponenata.

Naročitu pažnju treba posvetiti laboratorijskom radu gdje se slušačima osigurava neposredan kontakt s različitim tipovima mikroračunala i njihovim različitim organizacijama.

U ovom radu prikazan je razvoj mikroračunarskog laboratorija koji se koristi u nastavi iz grupe predmeta »računarski sistemi i procesi« na Zavodu za regulacionu i signalnu tehniku Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu.

Mikroračunarski laboratorij je organiziran tako da se u njemu obavlja praktična nastava iz elektroničkih računala« kao osnovnog predmeta te »računala i procesa« i »mikroračunala« kao daljnje nadgradnje osnovnih znanja o digitalnim računalima.

LITERATURA

1. G. Smiljanić: »Osnove digitalnih računala«, Školska knjiga, Zagreb, 1978.
2. J. F. Mason: »VLSI goes to scholl« IEEE SPECTRUM, November 1980, str.48—52.
3. G. Conte, D. Del Corso, M. Giordana: »MIL project: a microcomputer integrated laboratory«, Microprocessors and Microsystems, Vol. 4 no 2, March 80, str. 49—52.
4. D. M. Vaidya & J. S. Florentin: »Preparing to live with micros«, Microprocessors & Microsystems, Vol 4 no 2, March 80, str. 53—55.
5. J. Brignell: »Microprocessor research at the City University, London«, Microprocessors, Vol 1 no 3, February 1977, str. 181—182.
6. M. Žagar: »Osnove digitalnih računala — upute za laboratorijske vježbe«, Liber, Zagreb, 1981.

KEY WORDS:

MICROCOMPUTOR
LABORATORY
ORGANIZATION

MICROCOMPUTER LABORATORY

In the article is presented organization and development of microcomputer laboratory that is used for practical learning about digital computer (microcomputer) and their connection with outside units.

MIKRORECHNERISCHES LABORATORIUM

Beschrieben wird der Aufbau und die Entwicklung eines Laboratoriums für Mikrorechnungen, zur Vermittlung praktischer Kenntnisse über digitale Rechner (Kleinrechenanlagen) und deren Verbindungsmöglichkeiten zur Aussenwelt.

МИКРО-ЭВМ ЛАБОРАТОРИЯ

В статье описаны организация и развитие микро-ЭВМ лаборатории, позволяющей практически ознакомиться с ЦВМ (микро-вычислительные машины) и их связь с внешним миром.

Naslov pisca:

mr Mario Žagar, dipl. inž.

Zavod za regulacionu i signalnu tehniku
Elektrotehnički fakultet, Zagreb
41000 ZAGREB
Unska 3

Energija God 30 (1981) br. 9—10, 399—411

RAZVOJ NUKLEARNE ENERGETIKE UNUTAR OPĆE ENERGETSKE STRATEGIJE, POTREBE KADROVA I NJIHOVA IZOBRAZBA

Drago Dragičević, Zagreb

UDK 621.039.001
PREGLEDNI RAD

U članku je dan prikaz dosadašnjeg i budućeg razvoja nuklearne energetike s osvrtom na potrebu i izobrazbu kadrova.

Ključne riječi:

Nuklearna energija
Elektrane
Kadrovi
Pogonsko osoblje

Potkraj 1980. god. održan je seminar u Bečkom međunarodnom centru, u sjedištu Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA). Na seminaru su obrađivane ove teme:

1. Nuklearna energija unutar opće energetske strategije,
2. Ekonomika i financiranje nuklearne energije,
3. INFCE (Međunarodna ocjena nuklearnog ciklusa goriva),
4. Nuklearna sigurnost i zaštita okoline danas,
5. Potreba kadrova i njihova izobrazba,
6. Potrebna racionalna infrastruktura, razvoj i transfer tehnologije,
7. Prihvaćanje nuklearne energije u javnosti,
8. Status i budućnost nuklearne energije.

Seminar je bio koristan posebice za učesnike iz onih zemalja koje razmatraju pogodnost definiranja nuklearnog programa, no koristan je bio i za druge učesnike, jer su neke teme bile od zajedničkog interesa za sve zemlje bez obzira na stupanj tehnološkog i nuklearnog razvoja.

Ove teme su obrađivane tako da su uvod u diskusiju dali vodeći eksperti iz IAEA i iz razvijenih industrijskih zemalja, nakon čega su postavljena razna pitanja ili iznošena postignuta iskustva iz dosadašnjeg razvoja nuklearne energetike u svijetu.

Navedene teme su prilično opširne, složene i aktualne. Pokušat ću dati prikaz dviju tema koje su međusobno povezane i interesantne, a za nas vrlo aktualne s obzirom na naš nuklearni program koji upravo pokušavamo definirati i usvojiti. Pozabavit ćemo se temama pod rednim brojem 1 i 5.

1. NUKLEARNA ENERGIJA UNUTAR OPĆE ENERGETSKE STRATEGIJE

Energija je postala sastavni dio današnje politike svih država. U raznim prilikama izražava se strah za stvarne rezerve energije na zemlji, jer još uvijek nisu sigurne do sada sve dane procjene o njezinim zalihama. Rezervi ugljena čija je ukupna potrošnja u svijetu već dostigla 25% cjelokupne energije ima još za idućih 100 do 130 godina. Plina ima za slijedećih 46 godina, a nafte, navodno, za svega 28 godina. Iako će ugljen, plin i nafta ostati do kraja 20. stoljeća glavni izvori energije, ostvareni razvoj i programi za iduće razdoblje ističu nužnost nuklearne energetike, koja bi do 2020. godine trebala podmirivati 30% svjetske potrošnje energije.
Energetsku situaciju u zemljama u razvoju i u industrijskim zemljama (sadašnja situacija i predviđanje potreba) karakteriziraju:

— potrošnja energije
— proizvodnja energije
— razvoj nuklearne energetike
— rezerve energije i izvori.

Energetske karakteristike zemalja u razvoju jesu:

— niski nivo potrošnje energije po stanovniku
— znatan udio nekomercijalne energije (drvo, biomase i dr.)
— vrlo čest uvoz energije pa i nafte
— manja urbanizacija nego u industrijskim zemljama.

Pregled sadašnjeg stanja ukupne energetike i najnovijih procjena njezina razvoja bit će ilustriran podacima u tablicama kako slijedi.

U tablici 1. dana je uloga nekomercijalne energije u nekim zemljama u razvoju pokazateljem kcal/stanovnik/dan.

Sadašnja uloga nekomercijalne energije u nekim zemljama u razvoju

Tablica 1

Jedinica: kcal/stanovnik/dan

Zemlja	Drvo	Bio masa	Nekomercij. energija	Komercij. energija	Ukupno	Udio nekomercij. energije %
Turska	2 600	3 300	5 900	12 100	18 000	33
Bangladeš	200	3 000	3 200	500	3 700	86
Indija	2 400	1 500	3 900	4 200	8 100	48
Indonezija	6 500	200	6 700	3 400	10 100	66
Nigerija	7 000	600	7 600	1 700	9 300	82
Brazil	5 800	1 100	6 900	12 800	19 700	35
Kina	1 100	2 000	3 100	8 300	11 400	27
Tajvan	100	200	300	29 200	29 500	1

1 000 kcal/stanovnik/dan = 1,53 GJ/stan./god.

Izvor podataka u tablici br. 1: Energy strategies for the developing world by V. Smil — Energy International December 1979.

Pod nekomercijalnom energijom razumijeva se ona energija koja se dobiva korištenjem drveta i biomase.

Pogledajmo prikaz nivoa potrošnje energije u 1979. god. i prognozu razvoja potrošnje u 2000. god. u industrijskim zemljama, zemljama u razvoju i općenito u svijetu s osvrtom na populaciju čovječanstva do 2000. god.

Podaci navedeni u tablici 2. ilustriraju vrlo nezavidan stupanj potrošnje energije po stanovniku u zemljama u razvoju i najavljuju u 2000. godini još nepovoljnije ostvarenje.

Broj stanovnika u zemljama u razvoju u 1979. godini 2,6 puta je veći nego u industrijskim zemljama, a u 2000. godini bit će još veći — 3,5 puta, pa je potrošnja energije po stanovniku u 1979. godini u zemljama u razvoju svega 1/8 potrošnje u industrijskim zemljama, a u 2000. godini bit će 1/9, što doista uvjerljivo pokazuje koliko zaostaju zemlje u razvoju za industrijskim zemljama i kako je golem problem suvremenog čovječanstva prevladavanje takvog stanja da bi se svijet mogao ravnomjernije razvijati.

U tablici 3. prikazana je potrošnja energije u istom smislu kao i u tablici 2, samo u postocima.

Nakon prikaza ostvarenog nivoa potrošnje energije i prognoze nivoa potrošnje u 2000. godini pogledajmo omjer energetskih rezervi koje su ilustrirane u tablici 4.

Budući da smo do sada upoznali ukupnu energetsku situaciju u svijetu za razmatrano razdoblje — u nastavku ćemo prikazati potrošnju električne energije u svijetu za isto razdoblje u tablici 5.

U tablici 5. ponovno vidimo da su zemlje u razvoju ostvarile u 1979. godini 1/15 potrošnje električne energije po stanovniku od potrošnje u industrijskim zemljama u istoj godini i da će u 2000. godini ostvariti potrošnju 1/12 iznosa, što je za neznatan iznos bolje, ali daleko ispod onoga što bi trebalo uslijediti da bi se svijet u razvoju brže razvijao.

Potrošnja energije

Tablica 2.

Zemlje	Godišnja potrošnja energije (EJ)		Stanovništvo (10^6)		Potrošnja energije po stanovniku (GJ)	
	1979.	2000.	1979.	2000.	1979.	200.
industrijske zemlje	231	375—455	1 200	1 420	193	264—320
zemlje u razvoju	76	145—175	3 062 (x2,6)	4 933 (x3,5)	25 (1/8)	29—35 (1/9)
svijet	307	520—630	4 262	6 353	72	82—99

Korelacije i oznake mjernih jedinica: 1 EJ $\Delta 24\times10^6$ toe; 1 GJ $\triangleq$ 0,024 toe = ton oil equivalent (tona ekvivalentnog tekućeg goriva)

1 toe = 10^{10} cal = 10^7 kcal = 10 000 000 kcal; 1 kg toe = 10 000 kcal E = eksa = 10^{18}.

Potrošnja energije u (%)

Tablica 3.

Zemlje	Godišnja potrošnja energije (%)		Stanovništvo (%)		Potrošnja energije po stan. (omjer)	
	1979.	2000.	1979.	2000.	1979.	2000.
industrijske zemlje	75	72	28	22	1	1
zemlje u razvoju	25	28	72	78	1/8	1/9
svijet	100	100	100	100	/	/

Omjer energetskih rezervi

Tablica 4.

Zemlje	Godišnja potrošnja energije (EJ)		Ukupna potrošnja energije (EJ) 1979—2000.	Ukupne rezerve energije uključ. hidro i uran (EJ)	Omjer: rezerva
	1979.	2000.			zbir. potr.
industrijske zemlje	231	375—455	6 600— 7 700	19 200	2,7
zemlje u razvoju	76	145—175	2 200— 2 500	11 000	4,7
svijet	307	520—630	8 800—10 200	30 200	3,2

Rezerva = iznos tehnički i ekonomski iskoristiv.

Potrošnja električne energije

Tablica 5.

Zemlje	Godišnja potrošnja el. energije (TWh)		Stanovništvo (10^6)		Godišnja potrošnja el energije po st (kWh/god.)	
	1979.	2000.	1979.	2000.	1979.	2000.
industrijske zemlje	6 871	17 100—20 000	1 200	1 420	5 726	12 000—14 000
zemlje u razvoju	1 216	5 00— 6 000	3 062 (×2,6)	4 930 (×3,5)	394 (1/15)	1 014— 1 216 (1/12)
svijet	8 087	22 100—26 000	4 262	6 353	1 879	3 479— 4 093

Procjena različitih omjera porasta (od 1979. do 2000. god.)

Tablica 6.

Zemlje	Stanovništvo (%)	Ukupna energija (%)	Energija po stanovniku	Ukupna el. energija (%)	El. energija po stanovniku (%)
industrijske zemlje	0,8	2,3—3,3	1,5—2,5	4,4—5,2	3,6—4,4
zemlje u razvoju	2,3	3,1—4,1	0,8—1,8	7,0—7,9	4,7—5,6
svijet	1,9	2,5—3,5	0,6—1,6	4,9—5,7	3,0—3,8

Kao što vidimo, zemlje u razvoju nalaze se u posebnom položaju. One ne moraju izdvajati devize samo za naftu, nego i za sve skuplji uvoz iz industrijskih zemalja.

Već dugo se traži razumnija politika cijena proizvoda industrijskih zemalja u razmjeni sa zemljama u razvoju.

Svi izvori energije, bilo da je riječ o ugljenu, bilo sve naglašenijem traženju novih izvora — od nuklearne do Sunčeve i drugih vrsta — traže i dodatne investicije. Zbog toga se svijet sada nalazi pred iskušenjem koliko izdvajati sredstva i u kojem pravcu. Opći je dojam da je potrebno najprije istražiti izvore energije koji su svakoj zemlji najpristupačniji, a onda se koristiti drugim izvorima.

U tablici 7. dani su podaci o proizvodnji električne energije u nuklearnim centralama i njihova instalirana snaga u razmatranom razdoblju.

Pogledajmo još ulogu nuklearne energije u razmatrnom razdoblju prema godišnjoj potrošnji električne energije.

Vidimo da je 1979. godine proizvedeno 8% električne energije u nuklearnim centralama u svijetu, a u 2000. god. nuklearne centrale u svijetu proizvest će od ukupno proizvedene električne energije 26 do 35%.

Razvoj nuklearne energetike

Tablica 7.

Zemlje	Godišnja proizvodnja električne energije (TWh)		Nuklearna energija (TWh)		Kapaciteti nukl. centrala (GWe)	
	1979.	2000.	1979.	2000.	1979.	2000.
industrijske zemlje	6 871	17 100—20 000	634	5 120— 8 140	117,5	925— 1 460
zemlje u razvoju	1 216	5 000— 6 000	16	600— 1 000	2,8	105— 190
svijet	8 087	22 100—26 000	650	5 720—9 140	120,3	1 030— 1 650

Podaci u tablicama 7, i 8. ilustriraju ulogu nuklearne energetike u općoj enrgetskoj strategiji 1979. god. i 2000. god.

U tablici 9. dan je prikaz energetskih reaktora u svijetu (stanje — kraj prosinca 1979. god.).

U navedenom trenutku vidimo da je u pogonu 235 nuklearnih reaktora instalirane snage 120 299 MWe, da je u izgradnji 227 reaktora instalirane snage 205 888 MWe i da su nuklearne elektrane u 1979. godini proizvele 648,63 milijarde kwh, odnosno 10% od ukupno proizvedene električne energije.

U tablici 10. navedeni su odgovarajući podaci o nuklearnim elektranama u zemljama u razvoju (stanje) u siječnju 1980. god.).

Pregled energetske situacije u Jugoslaviji i Hrvatskoj za 1979. i 2000. godinu.

Uloga nuklearne energije

Tablica 8.

Zemlje	Omjer: **Nuklearna energija** Godišnja proizvodnja električne energije (%)		Omjer: **Nuklearna energija** Godišnja potrošnja energije (%)	
	1979.	2000.	1979.	2000.
industrijske zemlje	9	30—41	3,0	15—20
zemlje u razvoju	1,3	12—17	0,2	4,2—6,2
svijet	8	26—35	2,3	12—16

Energetski reaktori u svijetu (kraj prosinca 1979.)

Tablica 9.

Zemlja	U pogonu		U izgradnji		Proizvodnja el. energije u NE u toku 1979. god.	
	Broj jedinica	Ukupno MWe	Broj jedinica	Ukupno MWe	TWh	Udio nuklearne energije u ukupnoj proizvodnji el. energije %
Argentina	1	345	1	600	2,69	7,5
Belgija	3	1 666	4	3 811	11,37	22
Brazil	—	—	3	3 116	—	—
Bugarska	2	816	2	828	6,2	19
Kanada	11	5 495	14	9 751	38,38	11
Kuba	—	—	1	408	—	—
Čehoslovačka	1	381	7	2 940	1,8	2,5
SR Njemačka	15	8 782	10	10 638	40,35	11
Finska	2	1 080	1	420	6,67	19
Francuska	16	8 163	21	20 290	39,92	18
Njemačka DR	4	1 287	5	2 040	9,0*	9
Mađarska	—	—	2	816	—	—
Indija	3	602	5	1 087	2,93	2,5
Italija	3	542	3	1 966	2,63	1,5
Japan	23	14 466	10	8 341	62,00	10
Meksiko	—	—	2	1 308	—	—
Nizozemska	2	499	—	—	3,49	6
Pakistan	1	125	—	—	0,03	0,3
Filipini	—	—	1	621	—	—
Republika Koreja	1	564	6	4 954	3,0*	8
Južna Afrika	—	—	2	1 843	—	—
Španjolska	3	1 073	7	6 302	6,7	6
Švedska	6	3 700	5	4 682	21,04	23
Švicarska	4	1 926	1	942	11,85	26

Energetski reaktori u svijetu (kraj prosinca 1979.)

Tablica 9.

Zemlja	U pogonu		U izgradnji		Proizvodnja el. energije u NE u toku 1979. god.	
	Broj jedinica	Ukupno MWe	Broj jedinica	Ukupno MWe	T W h	% Udio nuklearne energije u ukupnoj proizvodnji el. energije
V. Britanija	33	6 982	6	3 714	38,57	13
S A D	69	49 989	89	97 558	279,71	12
S S S R	30	10 616	16	14 380	54,0*	4
Jugoslavija	—	—	1	632	—	—
Taivan	2	1 200	2	1 900	6,3*	17
U k u p n o	235	120 299	227	205 888	648,63	10

* procjena

BILJEŠKA

— Izvor: Nuklearni reaktori u zemljama članicama IAEA, 1979.
— Izgradnja u Austriji i u Iranu je prekinuta i te nuklearne elektrane nisu obuhvaćene.

Nuklearne elektrane u zemljama u razvoju (siječanj 1980. godine)

Tablica 10.

Zemlja	Ime N E	Tip	Neto snaga	Sadašnji status	Godina stavljanja u pogon
Argentina	Atucha-1	PHWR	345	u pogonu	1974.
	Embalse	PHWR	600	u izgradnji	1981.
	Atucha-2	PHWR	560	u narudžbi	1987.
Brazil	Angra-1	PWR	626	u izgradnji	1980.
	Angra-2	PWR	1 245	u izgradnji	1985.
	Angra-3	PWR	1 245	u izgradnji	1986.
Indija	Tarapur-1	BWR	198	u pogonu	1969.
	Tarapur-2	BWR	198	u pogonu	1969.
	Rajasthan-1	PHWR	206	u pogonu	1973.
	Rajasthan-2	PHWR	207	u izgradnji	1980.
	Kalpakkam-1	PHWR	220	u izgradnji	1981.
	Kalpakkam-2	PHWR	220	u izgradnji	1983.
	Narora-1	PHWR	220	u izgradnji	1984.
	Narora-2	PHWR	220	u izgradnji	1985.
Republika Koreja	Kori-1	PWR	564	u pogonu	1978.
	Kori-2	PWR	605	u izgradnji	1983.
	Wolsung-1	PHWR	629	u izgradnji	1982.
	Korea Nucl. 5	PWR	900	u izgradnji	1984.
	Korea Nucl. 6	PWR	900	u izgradnji	1985.
	Korea Nucl. 7 i 8	PWR	1 539	u izgradnji	1985/86.
Meksiko	Laguna Verde-1	BWR	654	u izgradnji	1982.
	Laguna Verde-2	BWR	654	u izgradnji	1983.
Pakistan	Kanupp	PHWR	125	u pogonu	1972.
Filipini	PNPP-1	PWR	621	u izgradnji	1984.
Tajvan	Chin-san-1	BWR	604	u pogonu	1977.
	Chin-san-2	BWR	604	u pogonu	1978.
	Kuosheng-1	BWR	951	u izgradnji	1981.
	Kuosheng-2	BWR	951	u izgradnji	1982.
	Nuclear No. 5	PWR	907	u izgradnji	1984.
	Nuclear No. 6	PWR	907	u izgradnji	1985.

Kratice

PHWR = reaktor hlađen teškom vodom pod pritiskom
PWR = reaktor hlađen običnom vodom pod pritiskom
BWR = reaktor hlađen ključajućom vodom

Proizvodnja i potrošnja električne energije

Tablica 11.

	Godišnja proizvodnja električne energije TWh		Potrošnja električne energije po stanovniku kwh/god.	
	1979.	2000.	1979.	2000.
SFRJ	54,966	230,470	2 100	8 984
SR Hvatska	8,874	41,380	2 226	8 569

U tablici 11. dana je ostvarena proizvodnja električne energije u 1979. godini za SFRJ i SR Hrvatsku, a proizvodnja električne energije u 2000. godini uzeta je iz dijela studije »Elektroenergetski aspekti razvoja i izgradnje nuklearnih elektrana do 2000. god. s osvrtom na 2010. god.«.

Potrošnja električne energije koju Jugoslavija treba da ostvari u 2000. godini još uvijek je manja od potrošnje po stanovniku koju su ostvarile Norveška, Kanada, Island i SAD u 1974. godini.

Što se tiče nuklearne energetike, treba reći da će prva jugoslavenska nuklearna elektrana Krško instalirane snage 664 MWe biti puštena u komercijalnu proizvodnju krajem 1981. godine.

Uzgred recimo da je u studiji »Elektroenergetski aspekti izgradnje nuklearnih elektrana do 2000. god. s osvrtom na 2010. god.« utvrđeno da bismo počevši od 1988. god. pa do 2000. god. svake godine stavili u pogon nuklearnu elektranu instalirane snage 1 000 MWe. U toj studiji izračunat je udio proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama, koji će iznositi 64 milijarde kWh u 2000. godini, dok bi se ostalih 166 milijardi kWh proizvelo u hidroelektranama i termoelektranama. Najvrerojatnije se može očekivati da bi se do 2000. godine sagradilo 6—7 nuklearnih elektrana u Jugoslaviji, od toga 3—4 u SR Hrvatskoj, koje bi imale instaliranu snagu oko 3 500 MWe. Dakako, da tu prognozu treba shvatiti kao putokaz i neki red veličine potronje električne energije koji će u idućem razdoblju ovisiti o rastu nacionalnog dohotka i životnog standarda.

2. POTREBA KADROVA ZA NUKLEARNU ENERGETIKU I SISTEM IZOBRAZBE

Izgradnja nuklearne elektrane složen je i opsežan posao, koji od prve zamisli do stavljanja u komercijalni pogon traje od 10 do 13 godina.

Izgradnja nuklearne centrale može se podijeliti uglavnom na tri bitne faze rada:

— pripremu projekta
— realizacija projekta i
— iskorištenje i održavanje nuklearne elektrane.

Dakako da se za realizaciju tih faza rada pri izgradnji nuklearne elektrane iziskuju doista golemi materijalni, financijski i kadrovski potencijali. Mi bismo se pozabavili samo uvidom u potrebe kadrova i njihovu izobrazbu. Posjedovanje dovoljnog broja osposobljenih radnika jedan je od bitnijih uvjeta za poželjan trend razvoja nuklearne energetike. Primjerice, francusko iskustvo govori da je u realizaciji izgradnje jedne nuklearne elektrane instalirane snage 1 000 MWe angažirano do 25 000 radnika u vremenu 5 do 6 godina (dakako u svim fazama rada: studije, projektiranje, izrade i isporuke opreme, montaža, ispitivanje, testiranje i drugi poslovi).

Uspješno izvršenje projekta nuklearne elektrane ostvaruje se provedbom niza aktivnosti koje obavlja odgovarajuće osoblje u skladu s odgovarajućim planom. Odgovornost za konačan uspjeh svake aktivnosti dijele investitor i dobavljač, ovisno o formulacijama ugovora. Investitor mora od samog početka izabrati najpogodniju metodu za provedbu projekta, a posebice treba napraviti osnovni izbor: da li prihvatiti sistem »ključ u ruke« ili ne. Dakako, odgovarajući zahtjevi za kadrovima u mnogome će ovisiti o tom izboru.

U tablici 12. navedene su bitne aktivnosti projekta, te naznačena njihova prioritetnost za nacionalno sudjelovanje kad je u pitanju izgradnja prve nuklearne elektrane u zemlji u razvoju.

Naše učešće na izgradnji nuklearne elektrane Krško bilo je, osim na aktivnostima označenima sa »da«, djelomično i na aktivnostima: 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 29 i 30.

Bitne aktivnosti na projektu i podršci programa

Tablica 12.

Aktivnosti	Nacionalno sudjelovanje smatra se bitnim
1. Planiranje i koordinacija nuklearnog programa	d a
2. Planiranje energetskog sistema	d a
3. Razvoj zakonskih i organizacijskih okvira	d a
4. Međunarodni dogovori i sporazumi	d a
5. Planiranje i koordinacija nacionalnog sudjelovanja	d a
6. Planiranje i provedba plana kadrova	d a
7. Studije izvodljivosti	d a
8. Evaluacija lokacije	d a
9. Priprema specifikacije tendera	d a
10. Evaluacija ponuda	d a
11. Ugovaranje	d a
12. Utvrđivanje politike osiguranja kvalitete	d a
13. Informiranje javnosti i odnosi s javnošću	d a
14. Sigurnost i fizička zaštita	d a
15. Upravljanje projektom (investitor)	d a
16 Upravljanje projektom (glavni izvođač)	n e
17. Idejni projekt elektrane	n e
18. Osnovni inženjering projekta	n e
19. Detaljni inženjering projekta	n e
20. Priprema i revizija opreme i specifikacija elektrane	n e

21.	Provedba kontrole kvaliteta i osiguranja kvalitete	n e
22.	Nabava	n e
23.	Analiza sigurnosti	n e
24.	Proizvodnja opreme	n e
25.	Nadzor izgradnje	n e
26.	Priprema lokacije	d a
27.	Podizanje građevina i struktura elektrane	d a
28.	Instalacija opreme i sistema elektrane	d a
29.	Testiranje komponenti i sistema elektrane	n e
30.	Testovi preuzimanja elektrane	n e
31.	Pogon i održavanje elektrane	d a
32.	Planovi za slučaj opasnossti	d a
33.	Radiološka zaštita i praćenje okoline	d a
34.	Nabava goriva	d a
35.	Upravljanje otpadom	d a
36.	Nuklearna regulativa i izdavanje dozvola	d a

Nije teško uočiti da tip ugovora praktički ne utječe na prvih četrnaest aktivnosti na popisu, jer one pripadaju fazi pripreme projekta i ostaju u odgovornosti investitora bez obzira na tip izabranog ugovora.

Dalje slijede aktivnosti koje se obavljaju za vrijeme provedbe projekta.

Ovdje tip ugovora ima utjecaj na potrebu kadrova, Razlika se sastoji uglavnom od popunjavanja službi

Tablica 13.

Aktivnosti	Zahtjevi za kadrovima	
	Ključ u ruke	Bez ključa u ruke
aktivnosti na pripremi projekta	30	30
vođenje projekta	65	100
inženjering projekta	—	370
nabava	—	30
kontrola i osiguranje kvalitete	35	100
izgradnja centrale	2000	2 000
nadzor centrale	—	35
preuzimanje cetrale	45 + pog. osoblje	70 + pog. osoblje
pogon i održavanje centrale	220	220
traženje dozvola i regulativa	50	50

za zajedničko vođenje projekta, inženjeringa projekta, nabave opreme i vođenja izgradnje na lokaciji.

Kao što je prije spomenuto, ukupni zahtjevi za kadrovima ovise o ugovoru, te tablica 13. prikazuje ove zahtjeve za »ključ u ruke« u odnosu na suprotan pristup. Te brojke su prosječne vrijednosti izvedene prema različitim slučajevima u različitim uvjetima te se trebaju prihvatiti samo kao indikativne i općenito primjenjive za zemlje u razvoju.

Definiravši aktivnosti i odgovarajuće kadrove, interesantno je promatrati kako se oni odnose na planirane rokove.

Slika 1. prikazuje tipičan glavni plan aktivnosti od ranog planiranja pa do početka komercijalnog pogona. Vremenski raspon od 13 godina samo je indikativan. Neki projekti su bili završeni u kraće vrijeme, a drugi su trajali duže.

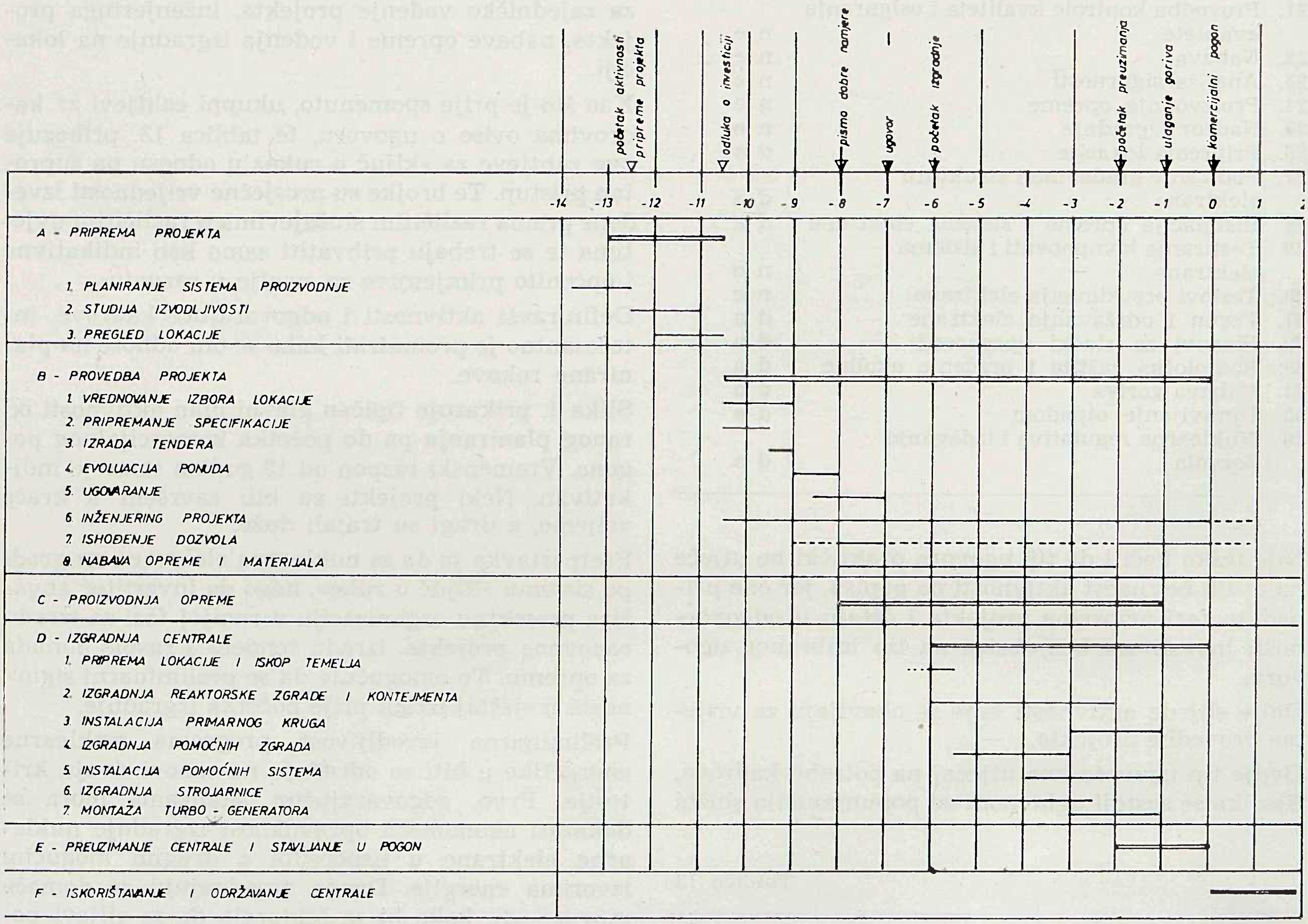
Pretpostavka je da se nuklearna elektrana ne gradi po sistemu »ključ u ruke«, nego da investitor angažira projektnu organizaciju u ranijoj fazi za izradu osnovnog projekta, izradu tendera i raspis ponuda za opremu. To omogućuje da se preliminarni sigurnosni izvještaj izradi prije početka izgradnje.

Preliminarna izvodljivost programa nuklearne energetike u biti se određuje na osnovi dvaju kriterija. Prvo, odgovarajućim analizama mora se dokazati ekonomska opravdanost izgradnje nuklearne elektrane u usporedbi s drugim mogućim izvorima energije. Drugo, procjenjuju se domaće mogućnosti, kako bi se osiguralo da se ciljevi postavljeni za nacionalno sudjelovanje mogu u stvarnosti postići i da u zemlji postoje raspoloživa odgovarajuća industrijska infrastruktura i kadrovi koji će nositi nuklearni program. Ako oba navedena preliminarna istraživanja daju pozitivan odgovor, iniciraju se aktivnosti na pripremi projekta.

Sve dok se ne donese odluka o provedbi projekta, potrebe kadrova za pripremu projekta alimentiraju se kadrovima s dokazanim sposobnostima rukovođenja i sa 10—15 godina iskustva u planiranju i postavljanju važnih industrijskih razvojnih programa i velikih inženjerskih projekata. Njihove kvalifikacije su interdisciplinarnog karaktera. Praktički ne postoje zahtjevi za tehničarima u ovoj fazi rada. Rukovodilac grupe koja radi na pripremi projekta snosi odgovornost za koordinaciju aktivnosti i završetak poslova u roku od 2 do 3 godine.

Odluka o nastavku rada na projektu označava drugi važan događaj, kad se ovi kadrovi zamjenjuju s inžinjerima i tehničarima projekta. *Samo u toj fazi projekt počinje živjeti* i investitor mora definirati grupu za rukovođenje izgradnjom i odrediti rukovodioca. Rukovodilac projekta je odgovoran za njegovu provedbu do uspješnog završetka izgradnje i stavljanja elektrane u pogon.

Kvalifikacija osoblja zaposlenog na provedbi projekta različita je u odnosu prema onoj iz prethodne faze. Zahtijeva se veća specijalizacija na inženjerskim i specifičnim administrativnim poslovima. Koriste se sve više kvalificirani tehničari i kvalifici-



Sl. 1. Vremenski plan projekta nuklearne elektrane

rani radnici, koji čine glavnu komponentu kadrovskih zahtjeva u ovom stupnju projekta. Ovdje treba posebno naglasiti da izgradnja nuklearnih elektrana traži vrlo velik broj iskusnih inženjera raznih struka i mnogo manji broj nuklearnih specijalista.

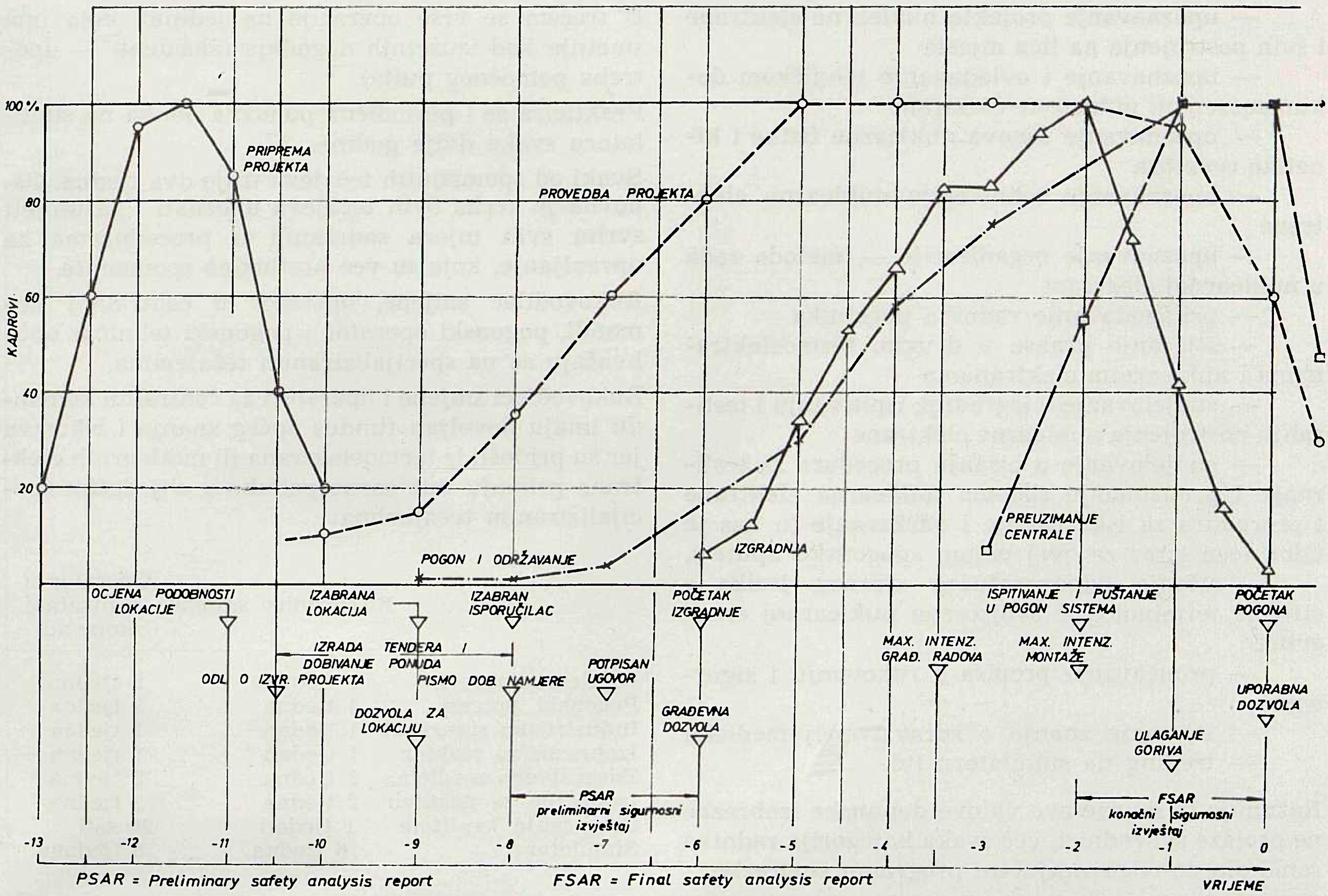
Početak komercijalnog pogona nuklearne centrale označava treći glavni događaj, kad se rukovodilac izgradnje oslobađa svojih odgovornosti, koje zatim preuzima rukovodilac centrale u pogonu. Ponovno dolazi do smjene kadrova. Inženjeri, tehničari i kvalificirani radnici na izgradnji zamjenjuju se pogonskim osobljem i osobljem za održavanje postrojenja elektrane. Interesantno je analizirati krivulju broja radnika prema planu izgradnje.

Slika 2. pokazuje karakterističan smjer razvoja. Glavni događaji u razvoju projekta također su naznačeni i označavaju kako se kadrovski zahtjevi odnose prema aktivnostima izgradnje elektrane i pripreme pogona. Krivulja na slici 2. prikazuje postotak potrebnih kadrova u toku određenog broja godina — realizacije projekta i s obzirom na neke specifične faze izvođenja projekta.

Krivulja slike 2. pokazuje nagli porast potreba kadrova kod izbora lokacije, dobivanja dozvole za lokaciju, kod izrade tendera, evaluacije ponuda, izrade preliminarnog sigurnosnog izvještaja, kod dobivanja dozvole za gradnju i početka izgradnje i kod ispitivanja i puštanja u pogon sistema nuklearne elektrane.

Vidljiv je početak i trend zapošljavanja osoblja za pogon i održavanje. Cijelo pogonsko osoblje nuklearne elektrane mora biti na licu mjesta izgradnje godinu dana prije početka stavljanja elektrane u probni pogon radi obuke i upoznavanja postrojenja. Vršna vrijednost broja radnika na gradilištu nuklearne elektrane može doseći iznos i do 2 000 radnika. Vršna vrijednost ekipe radnika za preuzimanje pojedinih sistema nuklearne elektrane postiže se godinu dana prije početka probnog pogona. Ova ekipa sastoji se od predstavnika glavnog izvođača dobavljača, investitora i pogonske posade.

Prema stupnju razvijenosti pojedine zemlje i njezinim internim mogućnostima neke faze rada realizacije projekta nuklearne centrale povjeravaju se domaćim ili inozemnim specijaliziranim organizacijama. Prepuštanje pojedinih faza rada na realizaciji projekta nužno je i korisno, no ono što se ne može prepustiti drugima jest odgovornost investitora za uspješnu realizaciju projekta, a to je u in-



Sl. 2. Prikaz glavnih aktivnosti projekta i potreba kadrova

teresu zemlje kao cjeline. Analize pokazuju da troškovi izgradnje nuklearne elektrane rastu u omjeru 1 : 1,8 u industrijskim odnosno zemljama u razvoju. Kako sniziti taj omjer u korist zemalja u razvoju, tj. sniziti troškove? To sniženje ovisi o više faktora, među kojima je i veće nacionalno učešće u projektu itd.

Investitor može uspješno obaviti svoj dio posla uspostavljanjem funkcionalne i djelotvorne organizacije nadzora realizacije programa izgradnje i osiguravanjem potrebnog broja stručnih i iskusnih radnika za taj posao.

Općenito je poznata činjenica da kadrovski faktor u svakoj ljudskoj djelatnosti igra vrlo važnu ulogu, a ta tvrdnja ima izuzetno značenje za nuklearnu energetiku.

Obično se pri usvajanju nacionalnog nuklearnog programa donosi i plan potrebnih kadrova, njihova školovanja i korištenja. Broj radnika za iskorištavanje i održavanje nuklearne elektrane ne ovisi o njenoj instaliranoj snazi (broj radnika u nuklearnoj elektrani instalirane snage 600 i 1 000 MWe približno je isti). Dosadašnja iskustva pokazuju da u nuklearnoj elektrani treba imati nešto više radnika nego što je trenutno potrebno jer se fluktuacija kadrova pojavljuje i u oblasti nuklearne energetike. Poznat je slučaj da je jedna zemlja osposobila u inozemstvu 60 operatora, od kojih je 20 ostalo raditi u inozemstvu.

Pri izobrazbi kadrova za iskorištenje i održavanje, naročito pri izgradnji prve nuklearne elektrane, treba se obratiti inozemstvu radi dobivanja općeg znanja iz područja nuklearne energetike i potrebnog iskustva.

2. 1. Stručna izobrazba pogonskog osoblja nuklearne elektrane

Pogonsko osoblje za iskorištenje i održavanje nuklearne elektrane formira se:

— od osoblja koje je radilo u klasičnim termoelektranama ili u sličnim energetskim postrojenjima

— i od početničkog osoblja koje ima potrebne stručne kvalifikacije. Znanje i iskustvo prve grupe radnika treba dopuniti i prilagoditi (adaptirati) osobitostima iskorištenja nuklearne elektrane.

Druga grupa radnika mora se stručno kompletno osposobiti i prilagoditi karakteru posla koji će obavljati.

Vidovi dopunskog stručnog osposobljavanja pogonskog osoblja nuklearne elektrane su mnogobrojni, a spomenuo bih samo neke:

— upoznavanje projekta nuklearne elektrane i svih postrojenja na licu mjesta
— upoznavanje i ovladavanje tehničkom dokumentacijom nuklearne elektrane
— upoznavanje osnova nuklearne fizike i kinetike reaktora
— upoznavanje tehnologije nuklearne elektrane
— upoznavanje organizacije — metode rada u nuklearnoj elektrani
— prilagođavanje radnika početnika
— stjecanje prakse u drugim termoelektranama i nuklearnim elektranama
— sudjelovanje u izgradnji, ispitivanju i testiranju postrojenja nuklearne elektrane
— sudjelovanje u pisanju procedura za testiranje i preuzimanje sistema nuklearne elektrane i procedura za iskorištenje i održavanje (u nas je udomaćen izraz za ovaj pojam »pogonske upute«),
— učenje odgovarajućeg stranog jezika i stručne terminologije svojstvene nuklearnoj energetici
— proučavanje propisa o rukovanju i sigurnosti
— stjecanje znanja o zdravstvenoj medicini
— trening na simulatoru itd.

Razumije se da sve ove vidove dopunske izobrazbe ne prolaze svi radnici, već svaka kategorija radnika samo dio po odgovarajućem programu izobrazbe.

Pokazat ćemo nešto detalnije sadržaj dopunske izobrazbe za najvažnije pogonsko osoblje.

Program za obuku rukovodioca smjene predviđa:

— osnovnu nuklearnu obuku
— radiološku zaštitu prvog i drugog nivoa
— sigurnost
— osiguranje kvalitete prvog, drugog i trećeg nivoa
— proučavanje funkcija
— formiranje ekipe
— prva kurs, rad na simulatoru
— proučavanje procedura
— drugi kurs, rad na simulatoru
— učešće u ispitivanjima
— radiološka zaštita trećeg nivoa i
— treći kurs, rad na simulatoru.

Ukupno izobrazba traje 33 mjeseca, od čega na strukturalnu nastavu otpada otprilike godinu dana.

Smatra se da uspješne izobrazbe tehničkog rukovodioca elektrane, rukovodioca smjene i operatora u centralnoj komandnoj prostoriji nema bez treninga na simulatoru.

Rad na simulatoru izvodi se u toku tri tečaja. U prvom se proučavaju i izvršavaju normalni operativni zahvati jedinice u različitim fazama (normalno upravljanje).

U drugom se vrše operacije na pogonskoj jedinici koja ima smetnje kod normalnih incidenata (incidenti — sigurne operacije).

U trećem se vrše operacije na jedinici koja ima smetnje kod izuzetnih događaja (aksidenti — upotreba pomoćnog pulta).

Prakticira se i periodična ponovna obuka na simulatoru svake dvije godine.

Svaki od spomenutih tečajeva traje dva tjedna. Osnovna je svrha ovih tečajeva upoznati i razumjeti svrhu svih mjera sadržanih u procedurama za upravljanje, koje su već prethodno spomenute.

Rukovodilac smjene, operator u centralnoj komandi, pogonski operator i pogonski tehničar obuhvačaju se na specijaliziranim tečajevima.

Rukovodioci smjene i operatori za centralnu komandu imaju dovoljan fundus općeg znanja i iskustva jer su pridošli iz termoelektrana ili nuklearnih elektrana primaju nuklearne poduke u slijedećim specijaliziranim tečajevima:

	Rukovodioc smjene	Operator u centralnoj komandi
Nuklearne osnove	5 tjedana	2 tjedna
Pogonski procesi	4 tjedna	3 tjedna
Industrijska sigurnost	1 tjedan	1 tjedan
Izobrazba za reaktor	1 tjedan	1 tjedan
Zdravstvena medicina	3 tjedna	2 tjedna
Izobrazba za nastavu	2 tjedna	2 tjedna
Osiguranje kvalitete	1 tjedan	20 sati
Simulator	6 tjedna	6 tjedana

Tehničari i operateri u pogonu mogu biti ili novopridošli ili već s iskustvom u ovim poslovima u drugim postrojenjima. Novopridošli najprije polaze trogodišnju izobrazbu u postrojenju. Za to vrijeme oni pohađaju izmjenično tečajeve i obavljaju praktične stručne poslove. Tečajevi su:

	Pogonski operator	Pogonski tehničar
Konstrukcija opreme	12 tjedana	12 tjedana
Instrumentacija i rad postrojenja	—	6 tjedana
Industrijska sigurnost	1 tjedan	1 tjedan
Opća organizacija	1 tjedan	1 tjedan
Organizacija rada	—	1 tjedan

Pogonski operatori i pogonski tehničari koji imaju dovoljno iskustva mogu se koristiti za stavljanje u pogon novog postrojenja nuklearne elektrane. Ti radnici dolaze na lice mjesta oko 1,5 god. prije uključenja jedinice u elektroenergetski sistem i prolaze ove tečajeve:

	Pogonski operator	Pogonski tehničar
Nuklearne osnove	1 tjedan	1 tjedan
Uvođenje u nuklearne sisteme	3 tjedna	3 tjedna
Zdravstvena medicina	1 tjedan	1 tjedan
Osiguranje kvalitete	1 dan	1 dan

Vodeća ideja kod izobrazbe pogonskog osoblja nije da se dobiju automatski refleksi za postupanje kod nekog pogonskog događaja, nego da se uputi ope-

rater kako razmišljati o fizikalnim, mehaničkim i električnim fenomenima koji prethode, prate i slijede pogonske manevre ili incidente.

Francuski nuklearni program spada među najkompletnije programe u svijetu, pa u nastavku dajemo sasvim kratki prikaz tog programa i francusko iskustvo pripreme kadrova za nuklearni program.

3. FRANCUSKI NUKLEARNI PROGRAM

Program se zasniva na odluci o autonomnosti u toj domeni. Do 1. 1. 1980. godine instalirano je 8 250 MWe.

U 1980. godini bilo je priključeno još 6 300 MWe (7 jedinica po 900 MWe). Do 1985. godine biti će priključeno još 24 300 MWe, i to 17 jedinica po 900 MWe, 6 jedinica po 1 300 MWe (sve PWR) i 1 samooplodni reaktor (Breeder) 1 200 MWe.

Na taj način će se 1980—1981. i 1982—1983. instalirati 10 000 MWe/god. Ukupno 1980—1985. Francuska će imati instaliranu snagu oko 40 000 MWe. Godišnja proizvodnja električne energije u nuklearnim elektranama bit će 1985. god. oko 200 milijardi kWh, odnosno 55% od ukupne proizvodnje električne energije u Francuskoj.

4. POTREBA KADROVA

Realizacija jedne jedinice 1 000 MWe traži oko 25 000 ljudi u vremenu od 5—6 godina, ali u svim poslovima kako je već objašnjeno. Sadašnji francuski program zahtijeva 150 000 ljudi.

4.1. Kadrovi za istraživanje i razvoj

Glavni istraživački centar u Francuskoj C.E.A. (Komisarijat za atomsku energiju) i njegove filijale imaju oko 29 500 ljudi. Ovdje se obuhvaća cjelokupna problematika, od razvoja reaktora do gorivog ciklusa. U svom sastavu imaju Institut za nuklearne znanosti i tehniku.

Francuska elektroprivreda u svojoj Direkciji za studije i istraživanja ima oko 1 000 ljudi za razvoj reaktora.

Kvalifikacija ovog osoblja su: istraživači, inženjeri, tehničari i visokokvalificirani radnici.

4.2. Kadrovi za projekte i izgradnju

Ovdje je obuhvaćeno:

- osoblje elektroprivrede za predstudijske projekte, studije lokacija, proučavanje projekata, nadzor proizvodnje, opreme u tvornicama, montaže, pretpogonska ispitivanja i puštanja u pogon
- osoblje dobavljača opreme, montaže i ostalih uslužnih organizacija
- osoblje administrativnog i inspekcijskog nadzora.

Najviše osoblja bilo je na tim poslovima 1978—1980. god. s maksimalno 90 400 ljudi (5,4% aktivnog stanovništva).

Kvalifikacije stručnjaka:

- 15% fizičara
- 40% strojarskih stručnjaka
- 25% elektrotehničkih stručnjaka
- 20% ostalih.

Kvalifikacije radnika:

- 25% tehničara,
- 60% kvalificiranih radnika,
- 15% ostalih.

Framatom zapošljavanja u filijali Creusot-Loire (50 000 radnika) na nuklearnom programu 4 000 osoba, od toga:

- 700 inženjera i tehničara za projekte reaktora
- 800 inženjera i tehničara za izvedbu reaktora
- a ostatak u fabrikaciji posuda, primarnog kruga i gorivih elemenata.

4.3. Pogonsko osoblje

Između 1980. i 1985. godine treba osposobiti oko 10 000 ljudi na temelju potreba i to:

- 422 osobe za elekrane s 2 jedinice,
- 722 do 799 osoba za elektrane s 4 jedinice.

U gorivom ciklusu radi se i na vojnom programu. Procjenjuje se da za civilne potrebe radi u 1980. godini oko 8 000 (1985. god. 9 000) ljudi.

4.4. Osoblje za izdavanje dozvuola i kontrolu

Za nuklearnu sigurnost:

- Međuresorski komitet
- Centralna služba za sigurnost postrojenja
- Institut za zaštitu i sigurnost (IPSN).

Za zaštitu čovjeka:

- Centralna služba za zaštitu od ionizirajućih zračenja.

Za zaštitu okoline:

- Direkcija za sprečavanje polucije i šteta.

K tome treba pribrojiti još mnoge francuske i internacionalne institucije.

Procjenjuje se da na tom poslu radi 1 000 visokokvalificiranih stručnjaka.

5. PROGRAM FORMACIJE KADROVA

5.1. Osoblje za istraživanje i razvoj

Osim sveučilišta, raznih škola i instituta postoji Nacionalni institut za nuklearne znanosti i tehniku

(INSTN) s organizacijama u Saclayu, Grenoblu i Cadaracheu.

5.2. **Osoblje za izgradnju eektrana**

a) **Osoblje elektroprivrede**

Osoblje EDF-a prolazi dva tipa obuke:

— opća obuka svih namještenika EDF
— specijalna obuka za izgradnju nuklearnih elektrana.

Radi se pedagoškim metodama izobrazbe, koje su aktivne ili poluaktivne, veoma velikim dijelom na principu simulacije.

U direkciji za izgradnju radi se po shemi:

1. faza — adaptacija novog osoblja u sistemu EDF-a,
2. faza — usavršavanje-nove teorije, praktični radovi, metode. Radi se po grupama od 12 ljudi.

b) **Osoblje proizvođača opreme**

Npr. u Framatomu, koji je od postanka 1973. god. povećao svoje osoblje od 1 000 na više od 4 000, uklapanje novih kadrova obavlja se u više faza.

1. kompletiranje ekipa — pribavljanje specijalista
2. usavršavanje u određenim domenama i raspodjela rada po ekipama
3. savjetovanja, posjeti tvornicama, staževi u specijalnim školama.

c) **Izobrazba u domeni sigurnosti**

Izvođači izgradnje (projektanti, konstruktori), kao i pogonsko osoblje treba da prođu određeni program izobrazbe, isto kao i pripadnici vlasti odgovornih za sigurnost.
Izobrazba obuhvaća: ocjenu sigurnosti, nadzor i metode intervencije.

5.3. **Pogonsko osoblje**

Formiranje osoblja za eksploatacije energetskih objekata jedno je od područja kojemu EDF (Electricite de France) posvećuje vrlo veliku pažnju. U 1979. god. tečajevi su obuhvatili 26 000 radnika x tjedana a imali su dva glavna obilježja:

— prilagođavanje početničkog osoblja za eksploataciju, upravljanje, održavanje ili za tehničke kontrole električnih centrala
— pripremanje potrebnog osoblja za nuklearne elektrane.

U 1979. god. pripremni tečajevi (kursevi za adaptaciju) za razne nivoe i razne aktivnosti uključili su 1 950 novih radnika, i to:

— 60 inženjera
— 110 viših tehničara
— 250 tehničara
— 1 350KV i VKV radnika.

Na ovim tečajevima radilo se o:

— dodatnoj adaptaciji za početnike
— ili o prekvalifikaciji osoblja koje je steklo iskustva u klasičnim elektranama.

Osnovna izobrazba tih novih kadrova za rad u nuklearnim elektranama iznosila je 13 000 radnika x tjedana.

Pomoćna sredstva za obuku

Za nuklearne i klasične elektrane postoji oko 500 tipova staža za 6 500 radnika x tjedana. Djelomično su straževima obuhvaćene i privredne škole i laboratoriji EDF-a te javne i privatne organizacije. Uvodni tečajevi za nove namještenike široko su decentrilizirani po raznim pogonima. Tečajevi za nuklearnu tehniku održavaju se u 6 specijaliziranih elektrana. Pomoćna sredstva su:

— 70 tehničkih uputa (štampano npr. 1978. u 30 000 primjeraka),
— skripta za obuku
— videokazete
— makete fizičkih zakona
— specijalni uređaji — simulatori, laboratoriji itd.

U svakoj nuklearnoj elektrani postoji inženjer osposobljen za vođenje obuke.

Specijalni simulator za nuklearni pogon smješten je u centrali Bugey za izobrazbu pogonskog osoblja, te za osoblja održavanja i kontrole.

Laboratoriji za zaštitu od zračenja Direkcije za termičku proizvodnju služe za stažiranje i obuku.
Institut za nuklearnu znanost i tehniku (pripada Komisarijatu za atomsku energiju CEA) ima tečajeve za inženjere u trajanju 6 mjeseci do jedne godine, kao i 8 tipova staža.

Osim ovog programa kompletne izobrazbe postoje i pomoćni programi za dopunske lokalne akcije u centralama s pomoćnim sredstvima:

— videokazete za 35 sati projekcije,
— diapozitivi — oko 6 000 komada
— upute za predavače — 16 tema
— tehničke upute za pogon PWR
(u 1978. god. podijeljeno 12 000 primjeraka).

ZAKLJUČAK

1. U nuklearnim elektranama u svijetu proizvedeno je u 1979. godini (tablica 9) 10% električne energije od ukupno proizvedene električne energije u svijetu. Procjenama razvoja potrošnje i proizvodnje električne energije prognozira se da će nuklearne elektrane u svijetu 2000. godine proizvesti 26 do 35% ukupne proizvodnje električne energije.

Dosadašnje ostvarenje razvoja nuklearne energetike i zacrtani razvoj govore da je uz korištenje ugljena, plina, potencijalne energije vode, tekućih goriva — nuklearna energija nezamjenjiva u uspo-

redbi s ostalim izvorima energije, koji se studiraju i često spominju od nastupa energetske krize, kao što su energija zračenja Sunca, energija vjetra, toplinska energija mora, unutrašnja energija Zemlje itd.

Ukratko, nemoguće je zatvoriti bilancu potreba električne energije čovječanstva bez korištenja nuklearne energije. Ne postavlja se više pitanje hoćemo li razvijati nuklearnu energetiku, već kojim tempom moramo to činiti s obzirom na druge energetske izvore s kojima raspolažemo, na nuklearno gorivo, financijske, tehničke i kadrovske mogućnosti.

2. Jedan od bitnih uvjeta koji osigurava poželjan trend razvoja nuklearne energetike jesu kadrovi potrebni za izgradnju nuklearne energetike i za korištenje i održavanje postrojenja nuklearnih elektrana.

Stoga bismo morali paralelno s donošenjem nacionalnog nuklearnog programa donijeti i plan potrebnih kadrova za nuklearnu enregetiku i program po kojem bi se obrazovali kadrovi od srednjih do najviših škola u zemlji. U tom programu bi elektroprivreda trebala imati svoj pozamašan udio i ulogu u školovanju i izobrazbi kadrova, kao što čine i ostale elektroprivrede u svijetu.

Izrada plana potrebnih kadrova, programa izobrazbe i korištenja kadrova u nuklearnoj energetici nije jednostavan, kratkotrajan, lagan i jeftin posao, već naprotiv, složen, dugotrajan i seriozan, kojim se trebaju sistematski baviti istance i ljudi dorasli tom poslu, koji neće posustati pri nailasku na razne teškoće i prepreke, kojih će, bez sumnje, biti.

LITERATURA

1. Energy electricity and nuclear power estimates — Bulletin No. 2, Volumé 1 — October 1979.
2. F. Calari, IAEA — Activities and time schedules in nuclear power projects and associated manpower requirements
3. J. FAURE, Electricite de France — L'experience francaise de formation du personnel dans le carde d'un grand programme nucleare

KEY WORDS: NUCLEAR POWER PRODUCTION
NUCLEAR POWER PLANTS
STAFF
OPERATORS

DEVELOPMENT OF NUCLEAR POWER PRODUCTION AS A PART OF OVERALL ENERGY STRATEGY, NECESSITY FOR STAFF PEOPLE AND THEIR EDUCATION

In te article is presented development of the nuclear power production as a part of overall energy production strategy till the end of century. Some activities during preparational works and construction of nuclear power plants as well as necessity and ways of education for staff people. As illustration, a franch nuclear program with educational program is presented.

DIE ENTWICKLUNG DER KERNENERGETIK IM RAHMEN DER ALLGEMEINEN ENERGETISCHEN STRATEGIE, DES PERSONALBEDARFS UND DER PERSONALAUSBILDUNG

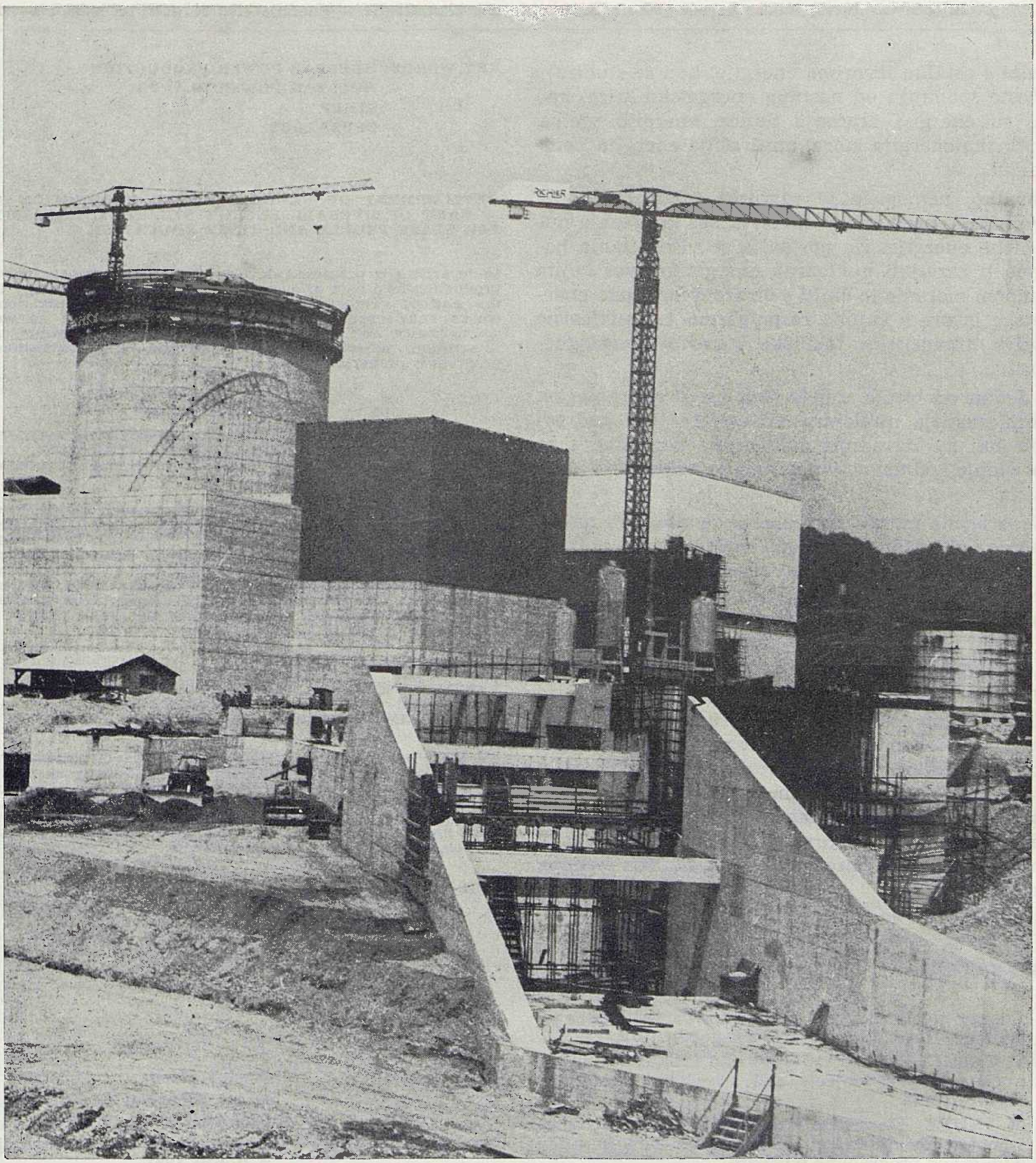
Erörtert wird die Entwicklung der Energieversorgung durch Kernkraftanlagen im Rahmen der energetischen Gesamtstrategie bis Ende dieses Jahrhunderts. Dargestellt werden die Vorbeireitungsarbeiten zu Beginn und die Arbeiten während der Errichtung von Kernkraftwerken, wie auch der Bedarf an Personal und dessen Ausbildung. Abschliessend wird als Beispiel das französische Kernkraftwerksprogramm und die Personalausbildung der erforderlichen Fachkräfte gezeigt.

РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РАМКАХ ВСЕОБЩЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ, НЕОБХОДИМЫЕ КАДРЫ И ИХ ОБУЧЕНИЕ

Сделан обзор развития ядерной энергетики в рамках всеобщем знеригетической стратегии до конца столетия. Показана деятельность при подготовке и втечение сооружениия атомниых злектростаниций, а также необходнимые кадры и их обучеие. В качестве иллюстрации приводится Французская ядерная программа и способ обучения необходимых кадров, согласно указаннои программе.

Naslov pisca:
Drago Dragičević, dipl. ing.
Elektroprivreda, Zagreb

Rukopis primljen u redakciju u lipnju 1981.



hidroelektra

SLOŽENA ORGANIZACIJA UDRUŽENOG RADA

Zagreb, Leskovačka 10

Energija God 30 (1981) br. 9—10, 413—421

UZ IZBOR ZAŠTITE VODOVA S OTCJEPOM

Božidar Filipović-Grčić, Zagreb

UDK 621.316.9
STRUČNI RAD

Prezentiran je pristup izboru zaštite vodova s otcjepom. Analizirane su prilike kod kvarova, prikazane moguće varijante štićenja i predložena zaštita takvih konfiguracija u mreži.

Ključne riječi:

Vodovi
Zaštita
Otcjep

UVOD

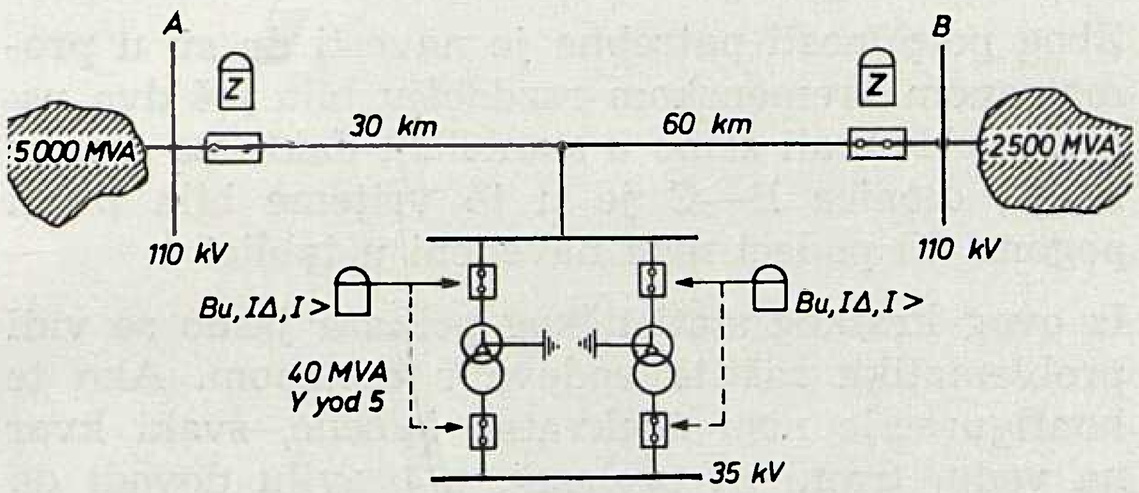
U visokonaponskim mrežama česte su konfiguracije tzv. »T« vodova ili »vodova s otcjepom« do kojih dolazi kod interpolacije novih stanica na postojeći dalekovod. Takav priključak novih stanica je opravdan jer se na taj način može ubrzati i pojeftiniti izgradnja, budući da se tada postrojenje izvodi bez kompletiranja dalekovodnih polja (tj. bez prekidača, mjernih transformatora i zaštite). Posebno su te prednosti očite ako se radi o manje važnim stanicama, provizorijima te, dakako, nedostatku sredstava, pa se i ubuduće može očekivati izgradnja takvih postrojenja kao trajno ili provizorno rješenje.

Na relejnu zaštitu u tim se slučajevima postavljaju dodatni zahtjevi koji se moraju uvažiti jer se te konfiguracije ne mogu više štititi na uobičajeni način. Svrha članka je da analizira električne prilike kod kratkog spoja i definira kriterije za izbor zaštite takvih vodova.

1. ANALIZA RADA ZAŠTITE VODOVA S OTCJEPOM

Prije no što prijeđemo na razmatranja električnih prilaka analizirat ćemo na jednom primjeru iz naše VN mreže statistiku ispada i rad relejne zaštite na vodu s otcjepom čiji su parametri prikazani na sl. 1. Vod je u TS A i B štićen s distantnom zaštitom i opremljen uređajima za brzo tropolno i jednopolno APU. U trafostanici C priključeni su preko otcjepa transformatori 110/35 kV snage 20x40 MVA; transformatorska polja opremljena su prekidačima a transformatori su štićeni standardnim zaštitama (diferencijalna, nadstrujna i Bucholz). U vodnim poljima prema A i B nema prekidača ni zaštite.

Podaci o radu zaštite u TS A i B za razdoblje od 6 mjeseci dani su u tablici 1. Izabran je takav vremenski period u kome je na vodu došlo do većeg broja kvarova da bi se moglo sigurnije zaključivati o pogonskim događajima i ponašanju zaštite.



Sl. 1. Konfiguracija i osnovni podaci voda s otcjepom u mreži 110 kV

Trafostanica	Definitivni ispadi			Uspješno APU
	Prolazne smetnje	Trajni kvar	Raspad sistema	
A	13	2	3	1
B	13	2	3	1

Tablica 1. Rad distantne zaštite u trafostanicama A i B u razdoblju od pola godine

U prvom stupcu u rubrici Definitivni ispadi jest broj prolaznih smetnji izazvanih uglavnom atmosferskim prilikama zbog čega je došlo do definitivnog obostranog ispada dalekovoda. Budući da je nakon ispada vod ponovno ukopčan i ostao normalno u pogonu, možemo sa sigurnošću tvrditi da su ispadi prouzrokovani prolaznim smetnjama. Ovo je važno uočiti zbog toga jer je jedno od najvažnijih svojstava zaštite u kombinaciji s uređenjem za

brzo APU da se gotovo sve prolazne smetnje uspješno eliminiraju unutar beznaponske pauze pa dalekovod ne ispada definitivno iz pogona. Iz podataka u tablici 1. vidi se da su prolazne smetnje u pravilu prouzrokovale definitivne ispade, što navodi na zaključak da je distantna zaštita bila potpuno neefikasna.

U stupcu Trajni kvar dani su podaci o radu zaštite u slučajevima kada je došlo do trajnih kvarova na dalekovodu, aparatima u vodnom polju, odnosno samim relejima. U oba slučaja koja su navedena u tablici radilo se o kidanju zaštitnog vodiča što je, dakako, rezultiralo definitivnim ispadom dalekovoda.

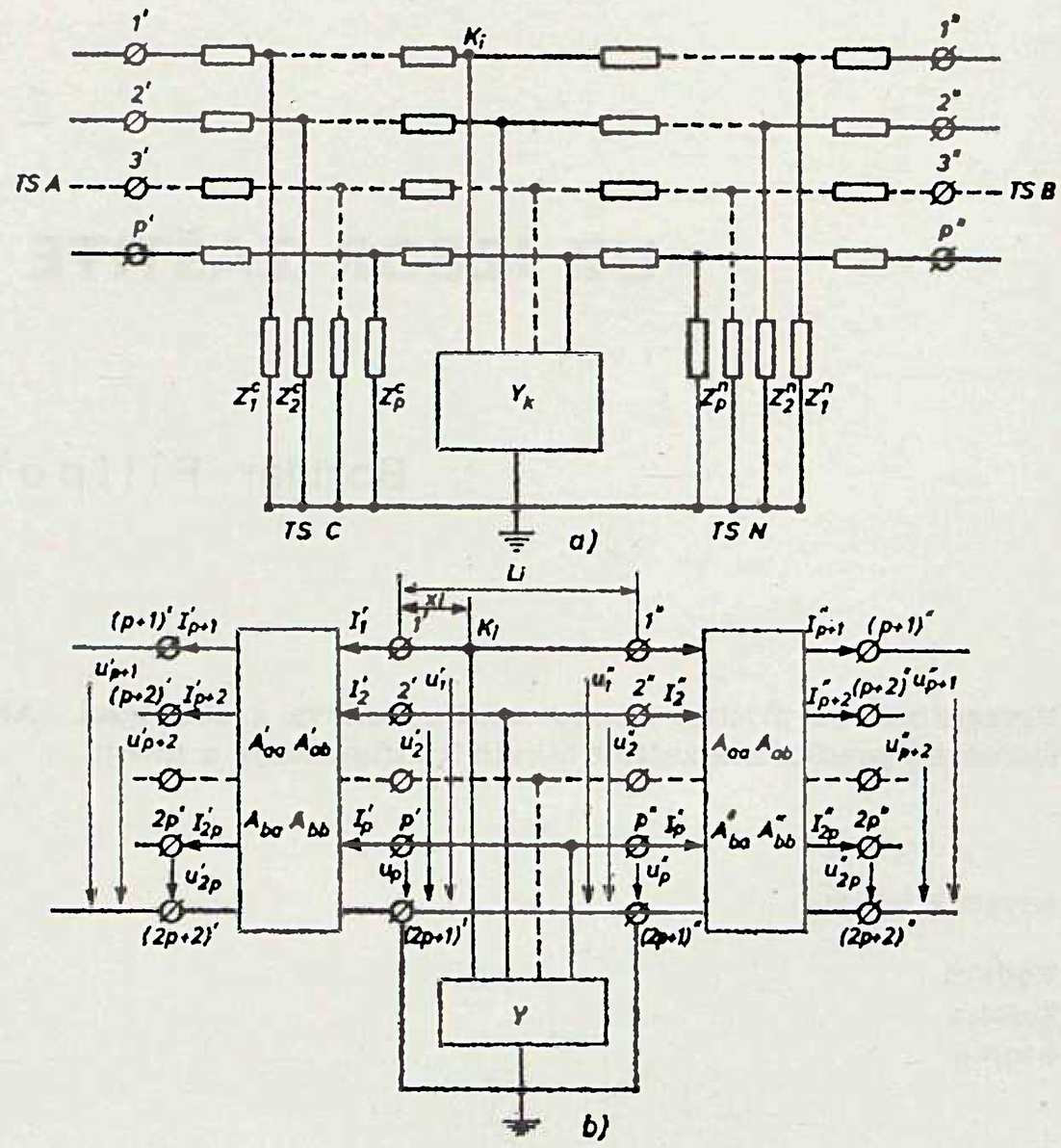
U stupcu Raspad sistema dan je broj prorada zaštite zbog raspada sistema do kojih je došlo u promatranom vremenskom periodu; te ispade naravno tretiramo kao ispravne.

Konačno, u stupcu Uspješno APU dan je broj uspješno izvršenih obostranih APU. Iako imamo samo jedno uspješno APU, podatak je značajan jer pokazuje da APU u principu funkcionira, pa tako otpada mogućnost da su neuspješna APU prouzrokovana neispravnim uređajima, tlakom itd.

Zbog potpunosti potrebno je navesti da su u promatranom vremenskom razdoblju bila još dva uspješna APU, ali samo u stanici A, dakle na dionici A—C; dionica B—C je u to vrijeme bila izvan pogona. Ti podaci nisu navedeni u tablici 1.

Iz ovog kratkog statističkog prikaza jasno se vidi problematika zaštite vodova s otcjepom. Ako te konfiguracije nisu adekvatno štićene, svaki kvar na vodu, trajni ili prolazni, u pravilu dovodi do prekida napajanja u stanici C sa svim nepoželjnim posljedicama koje takav prekid prouzrokuje, a povratak u normalni pogon zahtijeva dosta vremena i izaziva dodatne probleme. Potrebno je, naime, nakon nestanka napona na strani 110 kV iskopčati odvode na niženaponskoj strani transformatora, vratiti regulacionu sklopku u srednji položaj, te, pošto se dobije napon 110 kV, ukopčati jedan po jedan odvod tako da stvarni prekid napajanja traje znatno duže.

Uobičajena koncepcija zaštite u ovom je slučaju neefikasna u tolikoj mjeri da dovodi u pitanje sve prednosti ovakvih konfiguracija u mreži.



Sl. 2. Shema voda s proizvoljno velikim brojem vodiča i otcjepa kod kratkog spoja sa zemljom;

a) nadomjesna shema,

b) ekvivalentna shema prikazana pomoću dvaju pasivnih 2 (p + 1) višepola

kvara možemo nadomjestiti pomoću dva pasivna višepola od kojih svaki ima 2 (p+1) polova, uz uvjet da je za svaku grupu od p polova suma struja jednaka nuli, a naponi polova računaju se prema zemlji kao baznom polu. Odnosi između ulaznih i izlaznih veličina definirani su jednadžbom:

$$\begin{bmatrix} U_I \\ I_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{aa} & A_{ab} \\ A_{ab} & A_{bb} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_{II} \\ I_{II} \end{bmatrix} \qquad (1)$$

gdje su

$$U_I = \begin{bmatrix} U_1 \\ \vdots \\ U_p \end{bmatrix}; \quad I_I = \begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_p \end{bmatrix}; \quad U_{II} = \begin{bmatrix} I_{p+1} \\ \vdots \\ I_{2p} \end{bmatrix};$$

$$I_{II} = \begin{bmatrix} I_{p+1} \\ \vdots \\ I_{2p} \end{bmatrix}; \qquad (2)$$

matrice vektora napona i struja koji se odnose na prvi, odnosno drugi višepol. Pasivni parametri višepola sa 2(p+1) polova, ovisni o njegovoj konfiguraciji, jesu kvadratne matrice oblika:

2. ANALIZA ELEKTRIČNIH PRILIKA NA VODOVIMA S OTCJEPOM

2.1. Opće jednadžbe

Na osnovi opće teorije linearnih sistema bilo kakav vod s jednom ili više paralelnih trojki i po volji odabranim brojem otcjepa s pasivnim parametrima može se nadomjestiti ekvivalentnom shemom na sl. 2. Kod kvara na dionici, L_i predstavljenog pomoću matrice Y_k, mreže s jedne i druge strane

$$A_{aa} = \begin{bmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1p} \\ \vdots & & \vdots \\ A_{p1} & \cdots & A_{pp} \end{bmatrix}; \quad A_{ab} = \begin{bmatrix} A_{1,p+1} & \cdots & A_{1,2p} \\ \vdots & & \vdots \\ A_{p,p+1} & \cdots & A_{p,2p} \end{bmatrix};$$

$$A_{ba} = \begin{bmatrix} A_{p+1,1} & \cdots & A_{p+1,p} \\ \vdots & & \vdots \\ A_{2p,1} & \cdots & A_{2p,p} \end{bmatrix}; \qquad (3)$$

$$A_{bb} = \begin{bmatrix} A_{p+1,p+1} & \cdots & A_{p+1,2p} \\ \vdots & & \vdots \\ A_{2p,p+1} & \cdots & A_{2p,3p} \end{bmatrix};$$

Elementi ovih matrica mogu se prema (L1) izraziti pomoću Z ili Y parametara višepola; između općih parametara i Z parametara vrijedi odnos:

$$A_{aa} = Z_{aa} \cdot Z_{ba}^{-1}; \quad A_{ab} = Z_{ab} - Z_{aa} \cdot Z_{ba}^{-1} \cdot Z_{bb}$$
$$A_{ba} = Z_b^{-1}; \quad A_{bb} = -Z_{ba}^{-1} \cdot Z_{bb}, \qquad (4)$$

gdje su kvadratne matrice $Z_{aa} \ldots Z_{bb}$ definirane kao u (3), ali sada umjesto općih parametara treba uvrstiti odgovarajuće impedancije višepola $Z_{11} \ldots Z_{2p,\,2p}$.

Sličan odnos postoji između općih i Y parametara:

$$A_{aa} = -Y_{ba}^{-1} \cdot Y_{bb}; \quad A_{ab} = Y_{ba}^{-1}$$
$$A_{ba} = Y_{ab} - Y_{aa} \cdot Y_{ba}^{-1} \cdot Y_{bb}; \quad A_{bb} = Y_{aa} \cdot Y_{ba}^{-1} \qquad (5)$$

Iz (4) i (5) možemo odrediti odnose između Z i Y parametara višepola.

Jednadžbu (1) možemo napisati na ovaj način:

$$U_I = A_{aa} U_{II} + A_{ab} I_{II}$$
$$I_I = A_{ba} U_{II} + A_{bb} I_{II} \qquad (6)$$

Parametri A povezani su međusobno ovom jednadžbom:

$$A_{bat} \cdot A_{ab} - A_{aat} \cdot A_{bb} = [1] \qquad (7)$$

gdje je [1] jedinična kvadratna matrica, a indeks t označava transponiranu matricu.

Odnosi između ulaznih i izlaznih veličina mogu se definirati i preko Z odnosno Y parametara višepola; koristeći se npr. Z parametrima dobivamo ove izraze:

$$U_I = Z_{aa} I_I + Z_{ab} I_{II}$$
$$U_{II} = Z_{ba} I_I + Z_{bb} I_{II}. \qquad (8)$$

Sličan par jednadžbi dobiva se s Y parametrima, ali za razliku od (8) na lijevoj strani jednadžbi imamo struje a na desnoj strani napone.

Članovi u matricama impedancija $Z_{aa} \ldots Z_{bb}$ određuju se proračunom ili mjerenjem na modelu, odnosno stvarnoj mreži uz pretpostavku da su polovi otvoreni (u praznom hodu), dakle:

$$Z_{ki} = \frac{U_k}{I_i} (k \neq i); \quad Z_{kk} = \frac{U'_k}{I_k} (k = 1), \qquad (9)$$

gdje su U_k napon između k-tog i referentnog pola a I_i struja u i-tom polu uz pretpostavku da su polovi osim i-tog otvoreni; U_k napon između k-tog i referentnog pola, a I_k struja u k-tom polu uz pretpostavku da su svi polovi otvoreni.

Članovi matrica admitancija $Y_{aa} \ldots Y_{bb}$ određuju se na sličan način, ali sada uz pretpostavku da su svi polovi osim i-tog kratkog spojeni s referentnim polom:

$$Y_{ki} = \frac{I_k}{U_i} (k \neq i); \quad Y_{kk} = \frac{I_i}{U_i} (i = k). \qquad (10)$$

Više o ovome može se naći u (L1) koja razmatra samo četveropole koji su, dakako, specijalan slučaj višepola; izložena teorija može se, međutim, lako poopćiti na sisteme s po volji velikim brojem polova.

Nadomjesna shema na sl. 2. vrijedi uz uvjet da su parametri otcjepa konstantni, što je u pravilu uvijek ispunjeno. Ako su parametri otcjepa promjenjivi, taj slučaj imamo kada su preko otcjepa povezana dva energetska sistema pa se nulta impedancija može mijenjati u ovisnosti o režimu sistema; tada se takav otcjep ne može rješavati korištenjem metode pasivnog višepola s 2(p+1) polova. Taj slučaj razmatran je u (L2).

Kod kratkog spoja na i-tom odsječku, prema sl. 2.b, za tu dionicu vrijede ove matrične jednadžbe:

$$U_{ki} = U'_I + x_i \cdot Z_v \cdot I'_I$$
$$U_{ki} = U''_I + (L_i - x_i) \cdot z_v \cdot I''_I \qquad (11)$$

gdje su x_i udaljenost kratkog spoja od početka dionice L_i, a Z_v kvadratna matrica impedancije voda po jedinici dužine koja je definirana ovako:

$$Z_v = \begin{bmatrix} Z_{11} & \cdots & Z_{1p} \\ \vdots & & \vdots \\ Z_{p1} & \cdots & Z_{pp} \end{bmatrix} \qquad (12)$$

Koristeći jednadžbu (6) i eliminirajući napon na mjestu kratkog spoja U_{ki}, jednadžba (11) prelazi u:

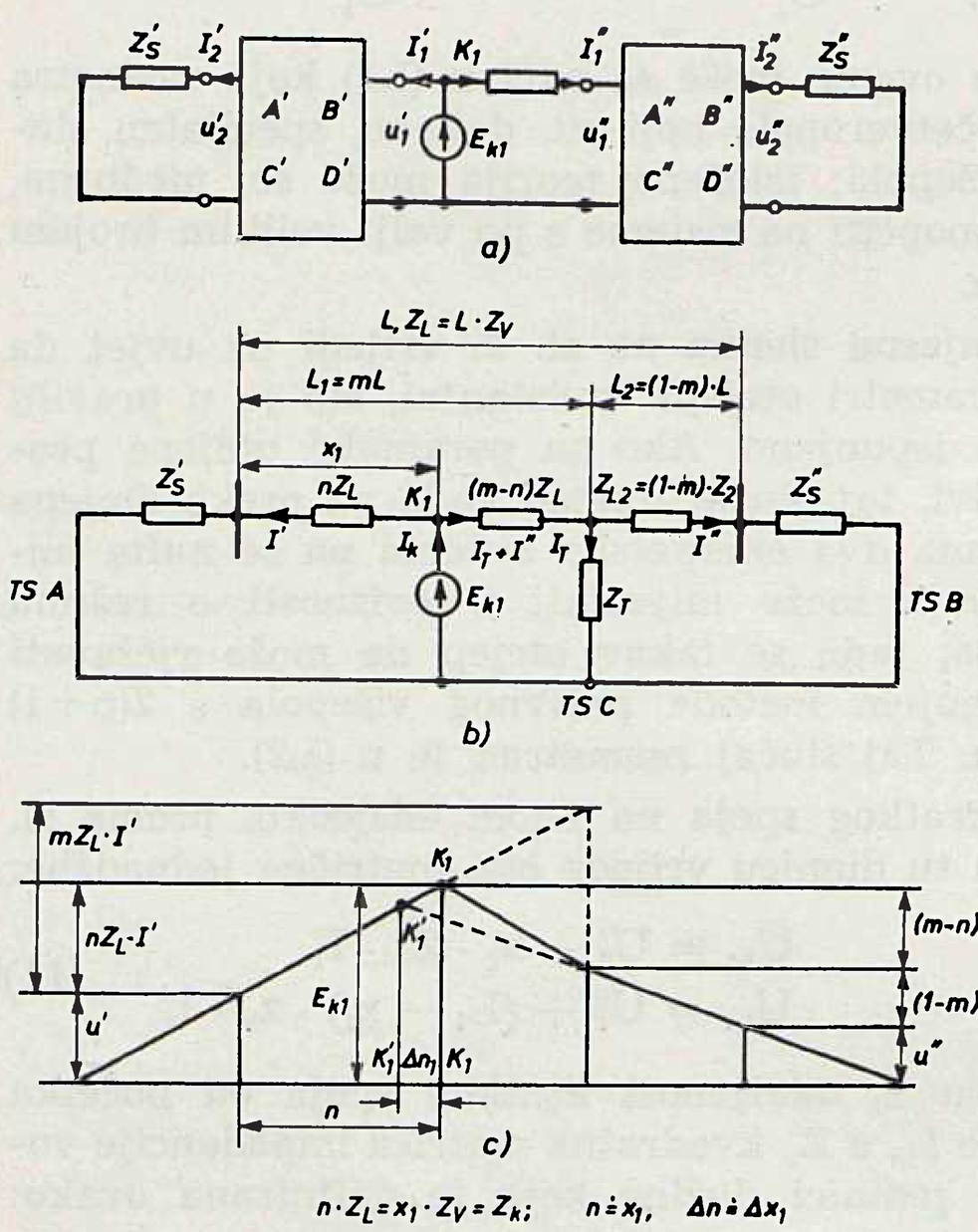
$$x_i \cdot Z_v (A'_{ba} \cdot U'_{II} + A'_{bb} \cdot I'_{II} + A''_{ba} \cdot U''_{II} + A''_{bb} \cdot I''_{II}) =$$
$$= A''_{aa} \cdot U''_{II} + A''_{ab} \cdot I''_{II} - A'_{aa} \cdot U'_{II} - A'_{ab} \cdot I'_{II} +$$
$$+ L_i \cdot Z_v (A''_{ba} \cdot U''_{II} + A''_{bb} \cdot I''_{II}). \qquad (13)$$

Budući su naponi i struje prema (2) stupčaste matrice, a pojavljuju se u svim članovima na lijevoj i desnoj strani jednadžbe (13), moguće je tu matričnu jednadžbu zamijeniti sa p skalarnih jednadžbi, a tražena udaljenost kratkog spoja x_i ili impedancija kvara $Z_K = x_i \cdot Z_v$ može se odrediti iz bilo koje od p skalarnih jednadžbi. Za dalekovod s jednom trojkom (p=1) dovoljna je samo jedna jednadžba. Za DV s dvije trojke (p=2) dovoljna je u slučaju kvara samo na jednoj trojci također

samo jedna jednadžba; ako je kvar na obje trojke, tada su za određivanje udaljenosti potrebne dvije jednadžbe. Dalekovodi s više od dvije trojke susreću se u visokonaponskim mrežama vrlo rijetko.

2.2. Kratki spoj na jednostrukom DV-u s otcjepom

Primjenom općih jednadžbi odredit ćemo mjesto kvara na jednostrukom vodu s otcjepom. Za jednostruki vod je p=1 odnosno 2(p+1)=4, dakle nadomjesna shema nultih komponenti je četveropol prikazan na sl. 3. U tom slučaju možemo umjesto



Sl. 3. Jednopolni kvar u točki K_1 na dalekovodu s jednim otcjepom;

a) ekvivalentna shema prikazana pomoću dva pasivna četveropola,

b) nadomjesna shema nultog sistema,

c) potencijalni dijagram

parametara A_{aa}, A_{ab}, A_{ba} i A_{bb} računati prema (L1) s parametrima A, B, C, D. Budući da je Z_{aa}, Z_{ab}, Z_{ba} i Z_{bb} definirano analogno kao opći parametri u jednadžbi (3), za p=1 dobivamo:

$$Z_{aa} = Z_{11};\ Z_{ab} = Z_{12};\ Z_{ba} = Z_{21};\ Z_{bb} = Z_{22}. \quad (14)$$

Uvažavajući odnose u (4) i činjenicu da za četveropol vrijedi $Z_{21} = -Z_{12}$, dobivamo:

$$A = A_{ab} = \frac{Z_{11}}{Z_{21}};\ B = A_{ab} = -\frac{Z_{21}^2 + Z_{21}\cdot Z_{22}}{Z_{21}}$$

$$C = A_{ba} = \frac{1}{Z_{21}};\ D = A_{bb} = -\frac{Z_{22}}{Z_{21}}. \quad (15)$$

Između parametara četveropola vrijedi relacija:

$$AD - BC = 1. \quad (16)$$

Koristeći se poznatom metodom određivanja parametara četveropola, dobivamo za četveropole lijevo i desno od mjesta kvara ove vrijednosti:

$$A_1' = 1;\ B_1' = 0;\ C_1' = 0;\ D_1' = 0 \quad (17)$$

$$A_1'' = 1;\ B_1'' = Z_{L2};\ C_1'' = \frac{1}{Z_1};\ D = \frac{Z_{22} + Z_T}{Z_T}.$$

Uvrštavajući te vrijednosti u opću jednadžbu (13), dobivamo, u slučaju kvara na prvoj dionici, za udaljenost odnosno impedanciju kvara izraz:

$$Z_k = Z_v x_1 = \frac{(Z_{L1} + Z_T)U_2'' - Z_T \cdot U_2' + [Z_{L2}\cdot Z_T + Z_{L1}(Z_{L2} + Z_T)]I_2''}{U_2'' + Z_T \cdot I_2' + (Z_{L2} + Z_T)I_2''} \quad (18)$$

Pomoću naponskih diagrama na sl. 4. mogu se grafički odrediti prividna i stvarna udaljenost kvara od stanica A i B.

Izraz (18) pogodno je za naša razmatranja napisati na ovaj način:

$$U_2' \cdot Z_T + Z_K \cdot Z_T \cdot I_2' = (Z_{L1} + Z_T - Z_k)U_2'' + [Z_{L2}\cdot Z_T + Z_{L1}(Z_{22} + Z_T) - Z_k(Z_{L2} + Z_T)]I_2''. \quad (19)$$

Iz stanice A »vidimo« ovu impedanciju kvara:

$$Z_k'' = \frac{U_2''}{I_2''} = Z_k, \quad (20)$$

a iz stanice B

$$Z_k'' = \frac{U_2''}{I_2''} = \frac{Z_{L2}\cdot Z_T + Z_{L1}(Z_{L2} + Z_T) - Z_k(Z_{L2} + Z_T)}{Z_{L1} + Z_T - Z_k} \quad (21)$$

ili

$$Z_k'' = Z_{L2} + \frac{Z_T(Z_{L1} - Z_k)}{Z_T + Z_{L1} - Z_k}. \quad (22)$$

Ako na vodu nema otcjepa, tada za $Z_T = \infty$, iz (18) dobivamo:

$$Z_k I_2' + U_2' = U_2'' + I_2''(Z_{L2} + Z_{L1} - Z_k). \quad (23)$$

Iz stanice A sada »vidimo« ovu impedanciju kvara:

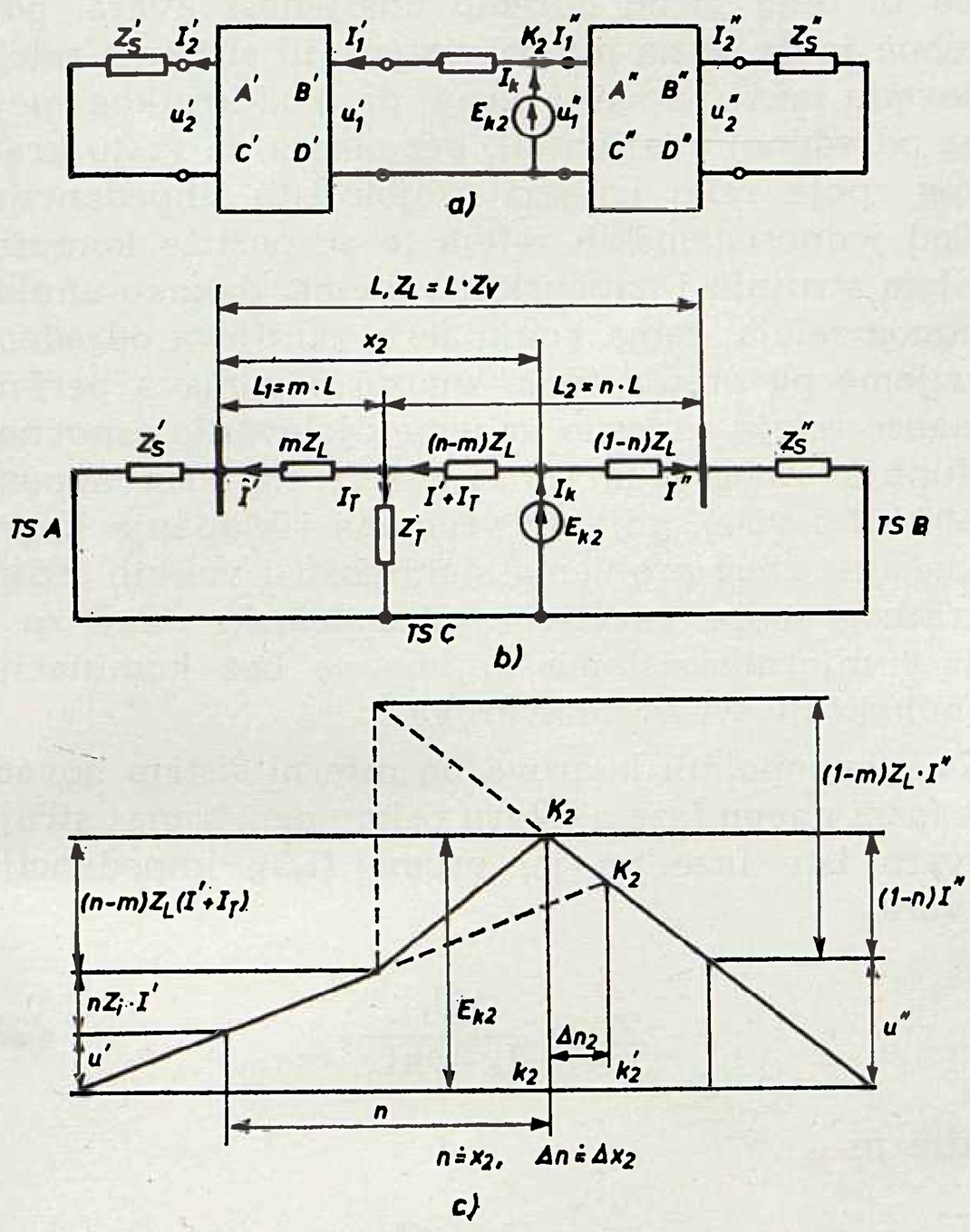
$$Z_k' = \frac{U_2'}{I_2'} = Z_k, \quad (24)$$

a iz stanice B

$$Z_k'' = \frac{U_2''}{I_2''} = Z_{L2} + Z_{L1} - Z_k. \quad (25)$$

Usporedimo li (20) i (24), proizlazi da za slučaj kvara na prvoj dionici otcjep ne utječe na veličinu impedancije koju »vidimo« iz stanice A. Naprotiv,

na impedanciju kvara koju »vidimo« iz stanice B bitan utjecaj ima veličina impedancije otcjepa Z_T (usporedi izraze (21) i (25). Iz jednadžbe (18) proizlazi da se, kod ovakvih konfiguracija, impedancija kvara u općem slučaju ne može odrediti iz napona i struja samo s jednog kraja voda; pogreška koju činimo, ako impedanciju određujemo iz veličina samo s jednog kraja voda, ovisi o parametrima voda i otcjepa te o mjestu kvara. Ta pogreška može, kako je pokazano u točki 4.1, u nekim slučajevima biti vrlo velika.



Sl. 4. Jednopolni kvar u točki K_2 na dalekovodu s jednim otcjepom;

a) ekvivalentna shema prikazana pomoću dva pasivna četveropola,

b) nadomjesna shema nultog sistema,

c) potencijalni dijagram

U slučaju kvara na dionici L_2 prema sl. 4 parametri četveropola lijevo i desno od mjesta kvara jesu:

$$A'_2 = 1;\ B'_2 = Z_{L1};\ C'_2 = \frac{1}{Z_T};\ D'_2 = \frac{Z_{L1} + Z_T}{Z_T}$$

$$A''_2 = 1;\ B''_2 = 0;\ C''_2 = 0;\ D''_2 = 1, \qquad (26)$$

a udaljenost kvara je sada

$$Z_k = Z_v \cdot x_2 = \qquad (27)$$

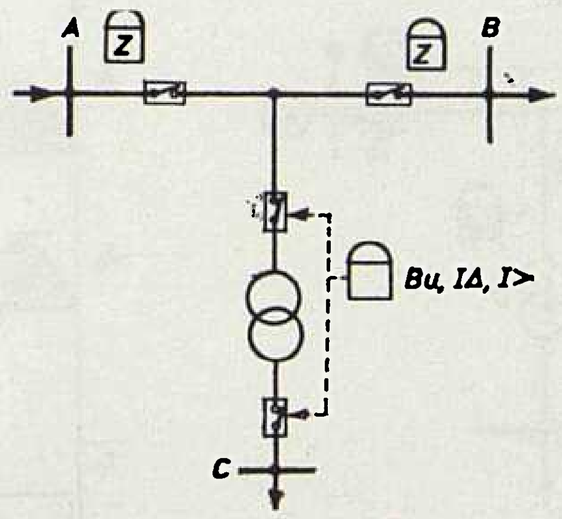
$$= \frac{Z_T(U''_2 - U'_2) - Z_{L1} \cdot Z_T \cdot I'_2 + Z_{L2} \cdot Z_T \cdot I''_2}{U'_2 + (Z_{L1} + Z_T) I'_2 + Z_T \cdot I''_2}.$$

Iz jednadžbe (13) može se lako izvesti opća jednadžba impedancije kvara za jednostruki vod s bilo kojim brojem otcjepa uvrštavajući umjesto općih parametara $A_{aa} \ldots A_{bb}$ parametre četveropola A, B, C, D. Za paralelne vodove s dvije trojke u slučaju kvara na jednoj trojki možemo se također koristiti jednadžbom (13). Za takav vod je $p = 2$, pa je nadomjesna shema šesteropol, a za određivanje kvara u općem slučaju potrebne su dvije jednadžbe.

3. NEKE VARIJANTE ZAŠTITE VODOVA S OTCJEPOM

Postoji više varijanti priključka transformatora u otcjepu i zaštite cijele konfiguracije a neke najčešće dane su na slikama 5—7.

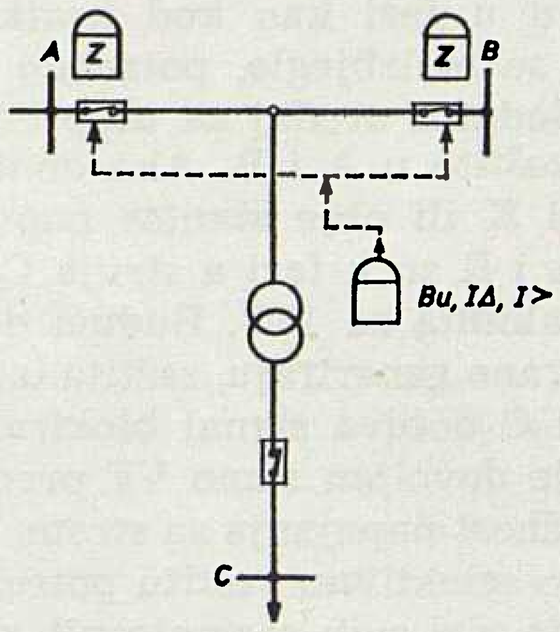
Najviše se koristi priključak prema sl. 5, kod kojeg su transformatori u otcjepu opremljeni vlastitim prekidačima i zaštitom, a vodovi u stanicama A



Sl. 5. Standardna konfiguracija s prekidačem i zaštitom transformatora u otcjepu

i B štićeni su distantnom zaštitom. Vidjeli smo u točki 1. da ovakav priključak ne osigurava ispravan rad zaštite niti garantira pouzdanu opskrbu potrošača u otcjepu.

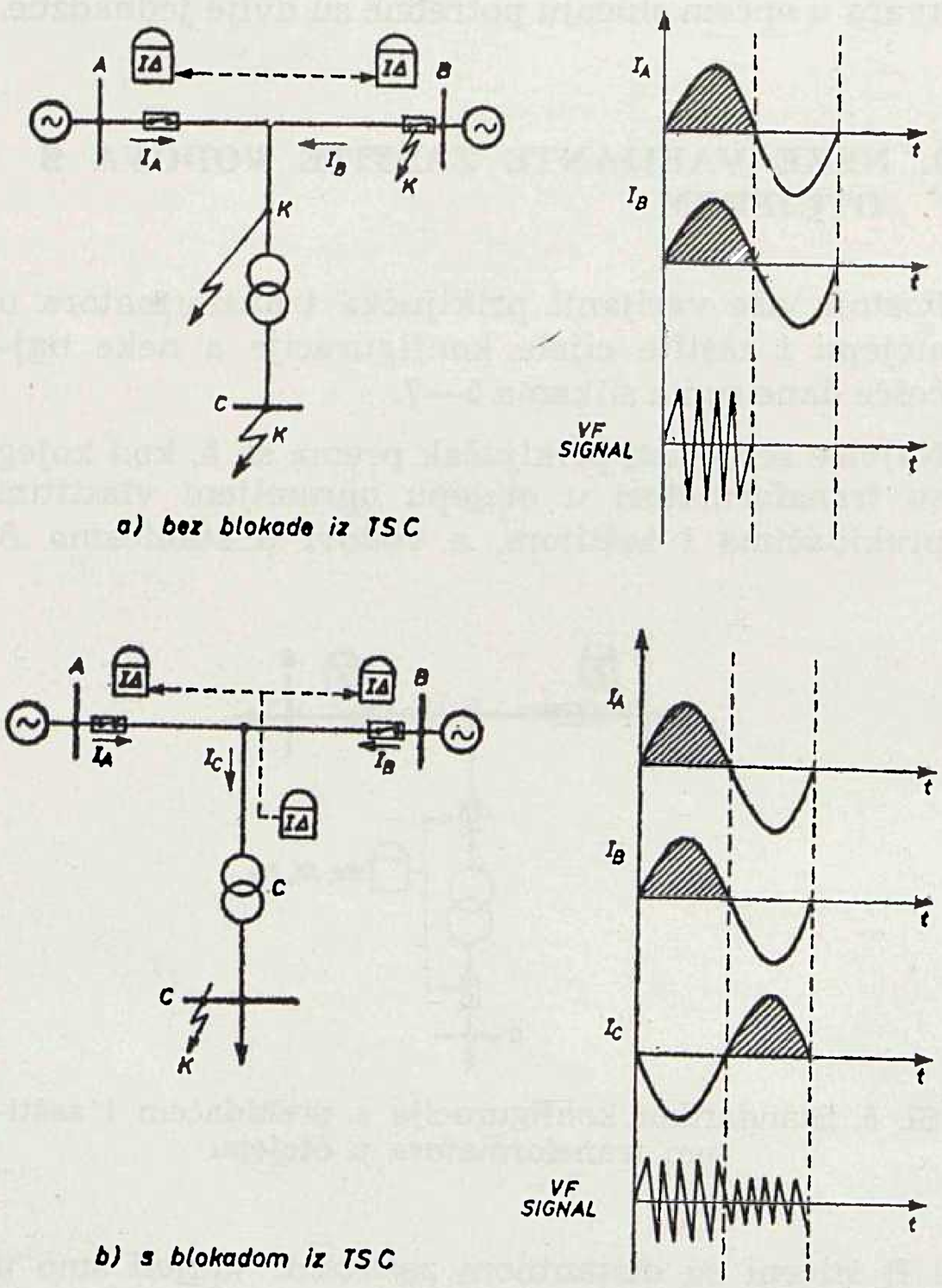
Često se koristi i varijanta na sl. 6. kod koje transformator u TS C nema prekidača na VN strani,



Sl. 6. Standardna konfiguracija bez prekidača i sa zaštitom transformatora u otcjepu

a zaštita transformatora djeluje na isklapanje prekidača u TS A i B, što zahtijeva posebne VF kanale preko kojih se signal isklapanja iz C prenosi u A i B. Vodovi u A i B štićeni su distantnom zaštitom. Ova varijanta je slična prethodnoj pa ni

cna ne osigurava ispravan rad zaštite. Na sl. 7. prikazana je zaštita koja radi na principu usporedbe faza. U slučaju da dođe do kratkog spoja u



Sl. 7. Diferencijalno-fazna zaštita (usporedba faza)

točki K ili je smjer struja u pogonu takav da stanice A i B napajaju stanicu C, može doći do pogrešne prorade jer se u tom slučaju struje u A i B podudaraju u fazi kao kod kratkog spoja na vodu. Da bi se to izbjeglo, potrebno je u stanicu C postaviti dodatni uređaj za usporedbu faza koji blokira rad zaštite u A i B. Ako dođe do kratkog spoja u točki K ili obje stanice napajaju stanicu C, struje u A i B su u fazi a struja C je u odnosu na njih pomaknuta za 180°. Budući da se VF signali kontinuirano generiraju, zaštita u A i B ne proraduje jer iz C dobiva signal blokiranja. U ovom slučaju u C je dovoljan samo VF predajnik, a ako postoji mogućnost napajanja sa strane otcjepa, tada su za potpuno selektivnu zaštitu potrebna tri kompletna uređaja. Od svih razmatranih shema jedino ova omogućuje ispravan rad zaštite jer se kod određivanja kvara koriste električne veličine iz sve tri točke otcjepa.

Isti efekt postiže se zaštitom koja osigurava istodobno isklapanje prekidača u sve tri stanice; to se može realizirati pomoću distantne zaštite u kombinaciji s VF prijenosom signala, tu ćemo varijantu razmotriti posebno.

4. DISTANTNA ZAŠTITA VODOVA S OTCJEPOM

4.1. Pogreške mjerenja udaljenosti kvara

U točki 2. pokazano je da je za točno određivanje mjesta kvara potrebno poznavati električne veličine s oba kraja voda, odnosno iz postrojenja u otcjepu. Kako distantni relej mjeri veličine samo s jednog kraja voda, to je mjerenje u jednoj od stanica A ili B uvijek pogrešno, pa je nužno definirati veličinu pogreške za pojedine vrste kvarova. Da bi relej točno odredio udaljenost kvara, potrebno je da se na mjerni sistem (ili sisteme) releja dovedu takvi naponi i struje da, kod kratkog spoja na određenoj udaljenosti, bez obzira na vrstu kratkog spoja relej izmjeri uvijek istu impedanciju. Kod jednosistemskih releja to se postiže komutacijom strujnih i naponskih veličina, dakako unutar samog releja; sama komutacija zahtijeva određeno vrijeme pa prema tome znatno pogoršava performanse releja odnosno vrijeme djelovanja osnovnog stupnja. Zbog toga su za mreže najviših napona (400 kV i više), gdje su vremena isklapanja kvara značajna zbog problema stabilnosti i velikih struja kratkog spoja, razvijeni višesistemski releji sa 4 ili 6 mjernih sistema kojima se bez komutacije obuhvaćaju sve vrste kvarova.

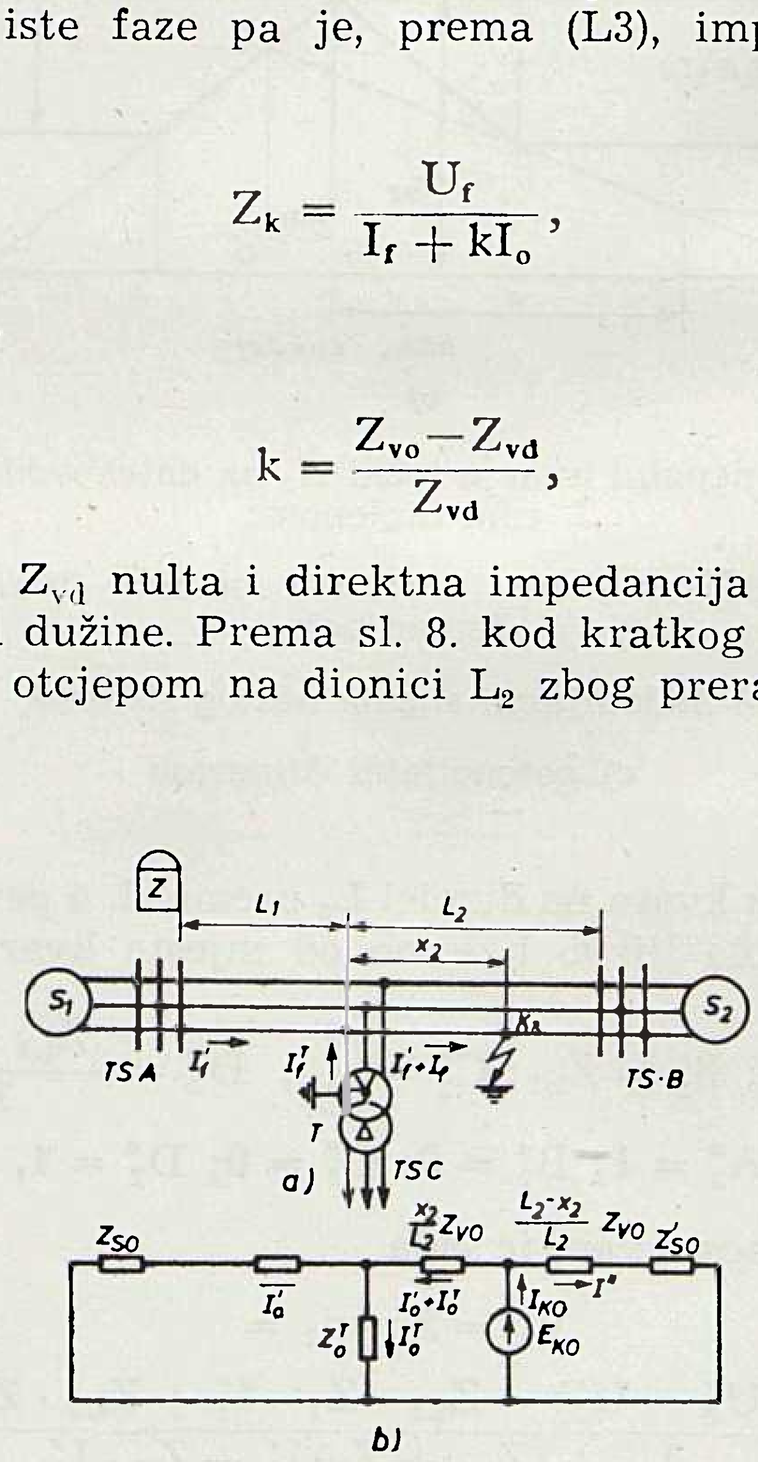
Kod jednopolnih kvarova na mjerni sistem dovodi se fazni napon faze u kvaru i »kompenzirana« struja kvara iste faze pa je, prema (L3), impedancija kvara:

$$Z_k = \frac{U_f}{I_f + kI_o}, \qquad (28)$$

gdje je

$$k = \frac{Z_{vo} - Z_{vd}}{Z_{vd}}, \qquad (29)$$

a Z_{vo} i Z_{vd} nulta i direktna impedancija voda po jedinici dužine. Prema sl. 8. kod kratkog spoja na vodu s otcjepom na dionici L_2 zbog preraspodjele



Sl. 8. Jednopolni kvar na vodu s otcjepom;
a) shema voda s raspodjelom struja,
b) nadomjesna shema nultog sistema

struja kvara relej mjeri manju struju odnosno veću impedanciju od stvarne. Naime, korištenjem simetričnih komponenti, dobivamo za fazni napon:

$$U'_f = U_{kd} + Z_{vd} \cdot L_1 \cdot I'_d + x_2 \cdot Z_{vd}(I'_d + I^T_d) + U_{ki} + Z_{vi} \cdot L_1 \cdot I'_i + x_2 \cdot Z_{vi}(I'_i + I^T_i) + U_{ko} + Z_{vo} \cdot L_1 \cdot I'_o + x_2 \cdot Z_{vo}(I'_o + I^T_o). \quad (30)$$

Uz pretpostavku da je:

$$U_k = U_{kd} + U_{ki} + U_{ko} = 0, \quad (31)$$

tj. da se radi o metalnom kratkom spoju, i da je $Z_{vd} = Z_{vi}$ iz (30) sumirajući odgovarajuće simetrične komponente dobivamo

$$U'_f = (L_1 + x_2)[Z_{vd} \cdot I'_f + (Z_{vo} - Z_{vd}) \cdot I'_o] + x_2 [Z_{vd} \cdot I^T_f + (Z_{vo} - Z_{vd}) I^T_o]. \quad (32)$$

Prema tome, uvažavajući (28), relej mjeri ovu impedanciju kvara:

$$Z_k = Z_{vd}(L_1 + x_2) + Z_{vd} \cdot \frac{Z_{vd} \cdot I^T_f + (Z_{vo} - Z_{vd}) I^T_o}{Z_{vd} \cdot I'_f + (Z_{vo} - Z_{vd}) I'_o}. \quad (33)$$

Očito je da drugi pribrojnik predstavlja pogrešku mjerenja jer stvarna impedancija kvara:

$$Z_k = Z_{vd}(L_1 + x_2). \quad (34)$$

Apsolutnu pogrešku mjerenja izraženu preko dužine x_2 možemo napisati ovako:

$$\Delta x_2 = \frac{I^T_f + k \cdot I^T_o}{I'_f + k \cdot I'_o} \cdot x_2. \quad (35)$$

Pomoću nultih impedancija mreže Z'_{mo}, dionice L_1 (Z^1_{vo}) i otcjepa Z_o gornji izraz možemo transformirati na ovaj naćčin:

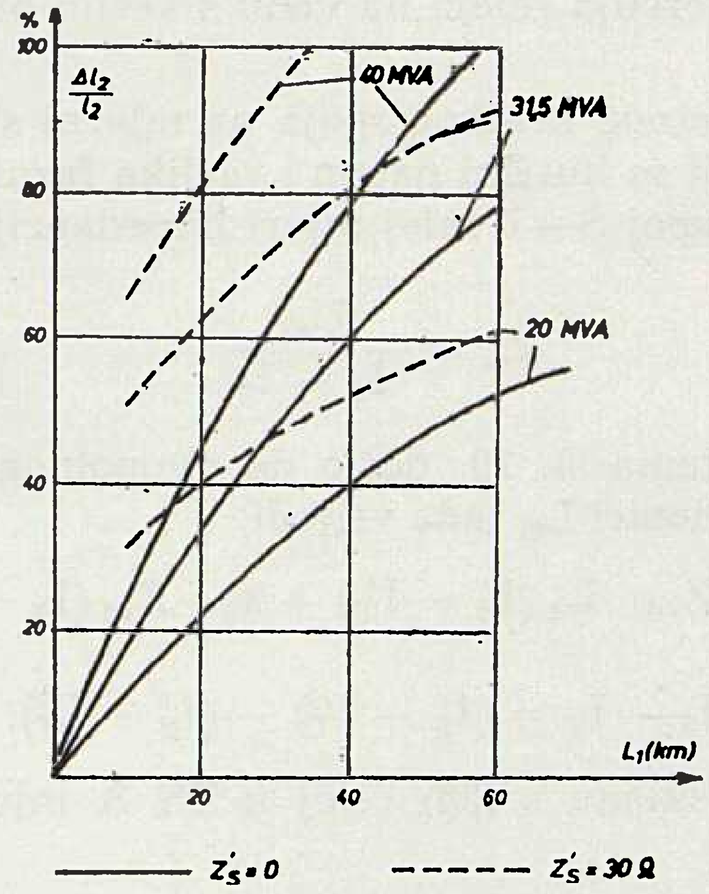
$$\Delta x_2 = \frac{I^T_f + \frac{k(Z'_{mo} + Z^1_{vo}) I'_o}{Z^T_o}}{I'_k + k I'_o} \cdot x_2. \quad (36)$$

Na sl. 9. prikazane su veličine pogreške $\Delta x_2/x_2 = f(L_1)$ u mreži 110 kV za $L_2 = 20$ km, različite snage transformatora u otcjepu i različite snage, odnosno nulte reaktancije mreže u stanici A, iz kojih se vidi da pogreške u nekim slučajevima mogu biti vrlo velike. Ako zvjezdište u otcjepu nije uzemljeno, iz (36) dobivamo:

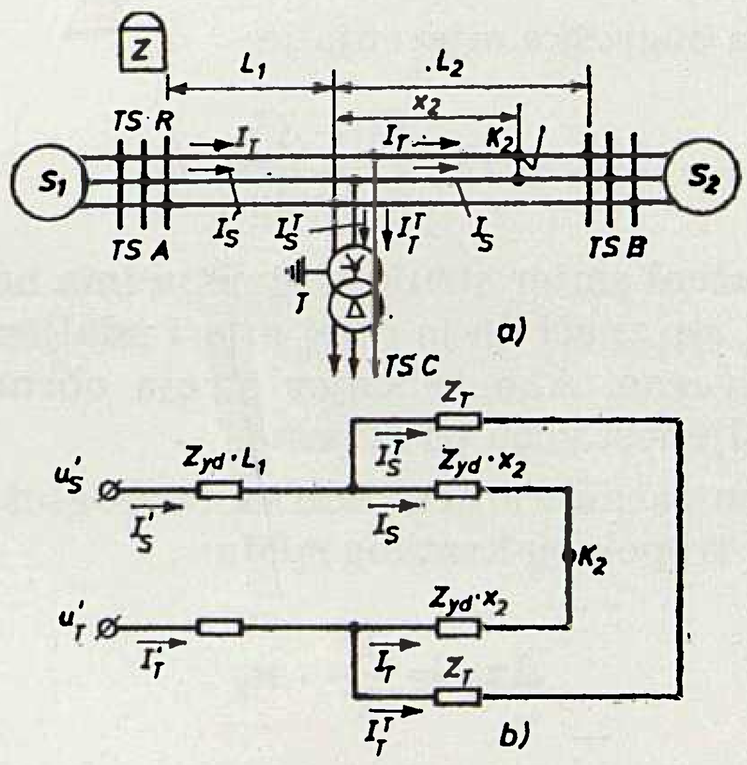
$$\Delta x_2 = \frac{I^T_f}{I'_f + k I'_o} \cdot x_2, \quad (37)$$

odakle se vidi da je u ovom slučaju greška znatno manja. Relej u TS B, dakako, mjeri točnu impedanciju kvara.

Sada možemo točnije obrazložiti rad distantne zaštite u mreži na sl. 1, uvažavajući opće jednadžbe proračuna u točki 2. i činjenicu da releji u našem slučaju mjere veličine samo s jedne strane vode. U slučaju da se jednopolni kvar, a ti kvarovi iznose 80—90% od ukupnih kvarova, dogodio na dionici A—C, relej u TS A je točno izmjerio udaljenost odnosno impedanciju i isklopio kvar u prvom stupnju u vremenu 0,1 sek. Budući da je u mreži



Sl. 9. Veličine pogreške $\Delta x_2/x_2 = f(L_1)$ kod jednopolnog kvara na vodu s jednim otcjepom



Sl. 10. Dvopolni kvar na vodu s otcjepom;

a) shema voda s raspodjelom struja,

b) ekvivalentna shema direktnog sistema

primijenjeno jednopolno i tropolno, prekidač u TS A je nakon beznaponske pauze (0,3 sek) ponovno ukopčan, iz čega možemo zaključiti da je zaštita u TS A ispravno funkcionirala. Relej u TS B, mjereći veličine struja i napona samo u TS B, mjerio je udaljenost veću od stvarne za iznos Δx_2 zbog čega je definitivni isklop uslijedio u drugom ili čak u trećem stupnju, tj. za 0,7 odnosno 1,3 sek, i to dakako bez APU. Zbog nesinhronog isklapanja nije moglo doći do gašenja luka kojeg osim iz TS B podržava i struja iz TS C, pa je nakon APU prekidač u stanici TS A definitivno isključen.

Do slične situacije dolazilo je kod kvara na dionici B—C, ali je sada relej u TS A pogrešno, a relej u TS B točno određivao udaljenost kvara. Krajnji rezultat je uvijek bio obostrani ispad i prekid napajanja u TS C. Zbog toga se distantnom zaštitom

općenito ovakve konfiguracije ne mogu efikasno zaštititi; to je moguće jedino u slučaju da se osigura istodobno isklapanje prekidača u TS A, B i C.

Sličnim razmatranjima možemo lako odrediti pogrešku mjerenja releja na vodu s većim brojem otcjepa.

Kod dvopolnog kratkog spoja na mjerni sistem releja dovodi se linijski napon i razlika faznih struja; za kratki spoj S—T relej mjeri impedanciju kvara:

$$Z_k = \frac{U_{ST}}{I_S - I_T}. \qquad (38)$$

Ako je prema sl. 10. došlo do dvopolnog kratkog spoja na dionici L_2, tada vrijedi:

$$U'_{ST} = Z_{vd} \cdot L_1 (I'_S - I'_T) + x_2 \cdot Z_{vd} (I_S - I_T) \qquad (39)$$

$$I_S - I_T = (I'_S - I'_T) - (I^T_S - I^T_T). \qquad (40)$$

Dakle, u skladu s (38) relej u TS A mjeri impedanciju:

$$Z_k = Z_{vd} (L_1 + x_2) - x_2 \cdot Z_{vd} \frac{I^T_S - I^T_T}{I'_S - I'_T}. \qquad (41)$$

Apsolutna pogreška mjerenja je:

$$\Delta x_2 = Z_{vd} \frac{I^T_S - I^T_T}{I'_S - I'_T} \cdot x_2 \qquad (42)$$

i za naznačeni smjer struja u otcjepu ima negativan predznak, što znači da je relej mjeri udaljenost manju od stvarne. Ako je smjer struja obrnut, relej mjeri udaljenost veću od stvarne.

Analognim razmatranjem dobivamo pogrešku mjerenja kod tropolnog kratkog spoja:

$$\Delta x_2 = \frac{I^T}{I'} \cdot x_2 \qquad (43)$$

Za vodove s većim brojem otcjepa pogreška mjerenja kod dvopolnog i tropolnog kvara dobiva se sličnim razmatranjem.

Dakle, bez obzira na vrstu kvara distantna zaštita u TS A ili B, u ovisnosti da li je kvar na dionici L_2 ili L_1, ne može točno odrediti udaljenost kvara. Pogreška mjerenja je promjenjiva jer ne ovisi samo o parametrima otcjepa, već i o mjestu kvara; maksimalna pogreška nastupa kod kratkih spojeva na kraju dionice.

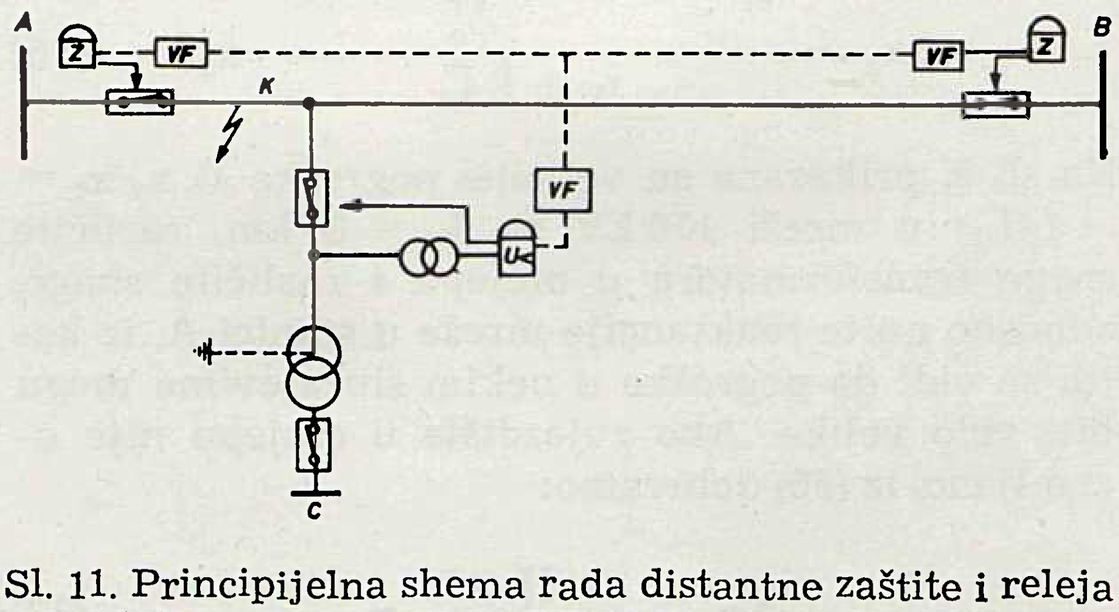
4.2. Distantna zaštita s prijenosom VF signala za isklapanje

Iako se samo s distantnom zaštitom ne mogu efikasno štititi vodovi s otcjepom, ta zaštita ima određenih prednosti u odnosu na zaštitu prikazanu na sl. 7, a te prednosti su slijedeće: otcjep se u pravilu interpolira na postojećem vodu TS A — TS B koji je gotovo uvijek štićen distantnom zaštitom. Budući da je otcjep privremeno rješenje uklapanja stanice C u mrežu, ako zadržimo distantnu zaštitu u TS A i B, konačno rješenje priključka TS C je znatno jednostavnije jer je potrebno ugraditi samo dva distantna releja u TS C. Distantni releji omogućuju jednostavno uzajamno povezivanje pomoću VF uređaja, a s višim stupnjem releja osigurano je rezervno štićenje konfiguracije. U slučaju kvara na prijenosnim putovima ipak je osigurano štićenje, istina neselektivno, voda TS A—B. Kod varijante zaštite prema sl. 7. potrebna je zamjena zaštite u TS A i B, ugradnja nove (skuplje) opreme, a VF povezivanje je također nužno. Daljnji nedostatak je što se mora osigurati rezervna zaštita koja obuhvaća sabirnice u postrojenjima, a također i rezervna zaštita vodova jer kod kvara na VF prijenosu daleko-vod ostaje bez zaštite.

Prema tome distantna zaštita u kombinaciji s prijenosom VF impulsa za isklapanje predstavlja najoptimalnije rješenje. Takva zaštita omogućuje istodobno isklapanje prekidača u TS A, B i C, što je nužno za gašenje luka na mjestu kvara, pa će prolazne smetnje kojih ima najviše sigurno biti eliminirane i vod će, nakon uspješnog APU, ostati u pogonu.

Postoji više mogućnosti povezivanja releja koji su uvjetovane konfiguracijom mreže, logikom prijenosa signala, tipovima zaštitnih i VF signala; za naš problem najpovoljnija je varijanta indirektnog daljinskog isključenja koja osigurava isklapanje kvara na cijeloj dionici istovremeno u prvom vremenskom stupnju. Budući da su postrojenja u VN mrežama međusobno povezana VF vezama, a također postoje uređaji domaće proizvodnje za prijenos VF signala, povezivanje releja ne čini poseban problem.

Rad zaštite može se objasniti prema principijelnoj shemi na sl. 11. U slučaju kvara u točki K prorađuje relej u TS A, daje impuls za isklapanje vlastitog prekidača i istodobno šalje impuls za isklapanje



Sl. 11. Principijelna shema rada distantne zaštite i releja u otcjepu povezanih s VF prijenosom impulsa za isklapanje

u TS B i TS C. Do isklapanja prekidača u TS B dolazi samo ako proradi pobuda releja u toj stanici. Time se postiže dodatna sigurnost, a ujedno se preko pobudnih podimpedantnih članova distantnog releja izvrši selekcija faza, što je nužno za primjenu jednopolnog APU.

U TS C nužna je također selekcija faza koja se osigurava kompaundiranim podnaponskim relejima,

a transformatorsko polje mora biti opremljeno tako da se može izvršiti ciklus APU. Kako se u TS C samo prima signal, dovoljno je ugraditi samo prijemnik.

Ako su transformatori u otcjepu na dionicu A—B priključeni preko posebnog voda i ako u otcjepu postoje izvori, tada i u TS C moramo ugraditi distantnu zaštitu. Kod ovakvih konfiguracija istovremeno isklapanje moguće je postići samo prijenosom signala između sve tri trafostanice.

LITERATURA

1. M. PLOHL: Teorija četveropolnih sistema, ETF, Zagreb, 1970.
2. A. I. AIZENFELJD: Opredelenie mest povreždeni vozdušnjih linii s premennjim pasivnjmi parametrami otvetvelnni, Električestvo, 1973.
3. C. WARRINGTON: Protective Relays, I i II, London, 1971.
4. H. UNGARD: Distantzrelais mit Singalübertragnung als Grund- und Reserveschutz von Leitungen, BBC Mitt. 1971.
5. W. SENN: Fernanslösetechnik für den Leitungsschutz, BBC Mitt. 1971.
6. Distancionaja zaštita linii 35—330 kV, Energija 1966.

KEY WORDS: LINES
PROTECTION
BRANCHES

THE CHOICE OF PROTECTION FOR LINES WITH LIGHTING ARRESTERS

In the article is presented the choice of protection for lines with lighting arresters. Conditions during failures are analysed, possible ways of protection are presented and protection of this configurations in net is suggested.

BEITRAG ZUR WAHL DES LEITUNGSSCHUTZES MIT ABZWEIGUNGEN

Behandelt wird eine mögliche Wahl der Ausführung des Leitungsschutzes mit Abzweigungen. Untersucht werden die auftretenden Umstände bei Störungen und die Möglichkeiten der verschiedenen Schutzvarianten mit nachfolgenden Vorschlägen für Schutzeinrichtungen solcher Netzkonfigurationen.

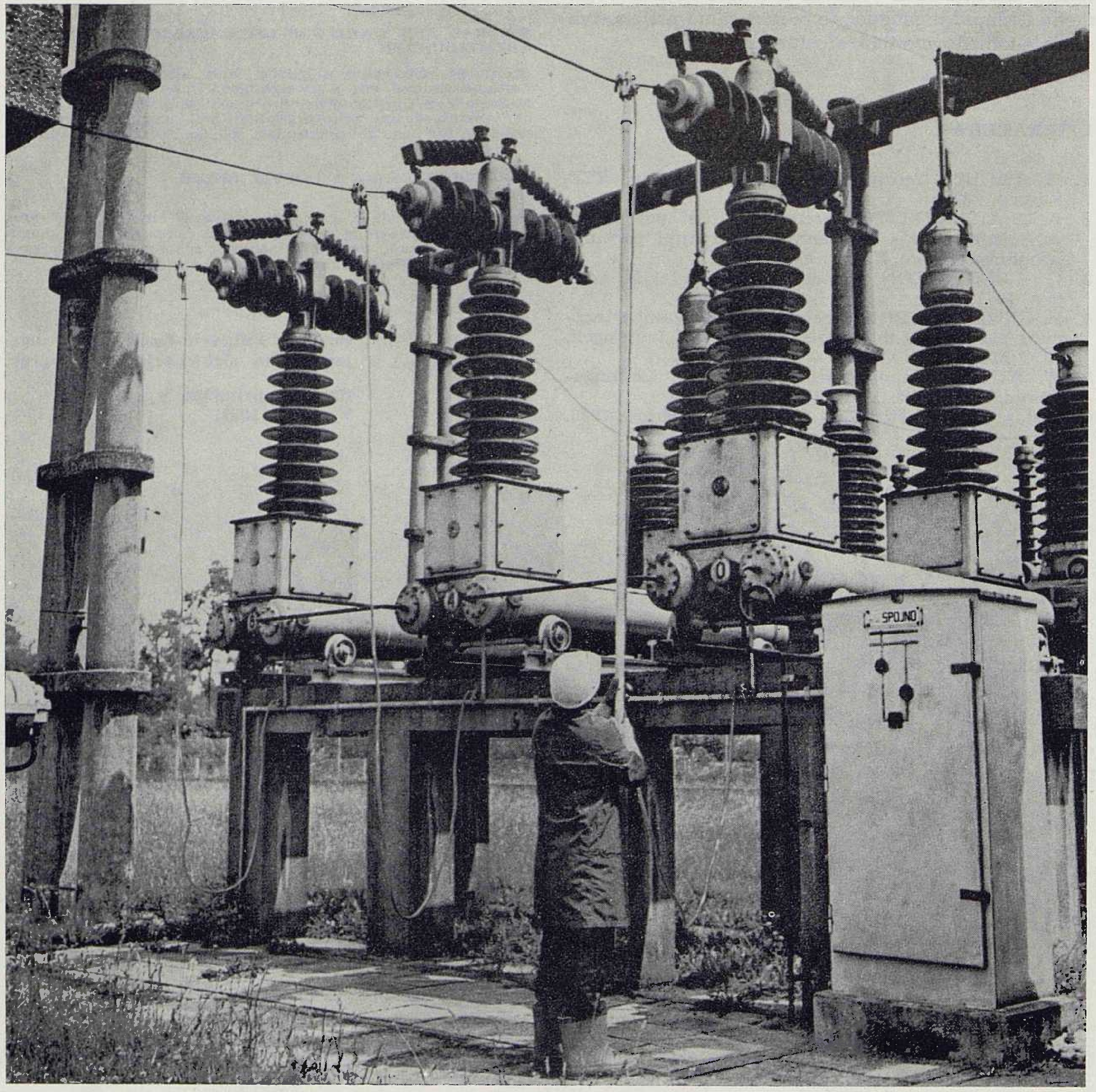
К ВОПРОСУ ВЫБОРА ЗАЩТЫ ЛИНИЙ С ОТВЕТВЛЕНИЕМ

Представлен подход к выбору защиты линий с ответвлением. Анализируется обстанвка при повреждениях, показаны возможные варианты защиты и предложена защита подобных конфигураций в сети.

Naslov pisca:

Božidar Filipović-Grčić, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb.

Rukopis primljen u redakciju
9. srpnja 1981.


SPOLNO

Energija God 30 (1981) br. 9—10, 423—428

ODREĐIVANJE OPTIMALNE NAZIVNE SNAGE GRADSKE TRANSFORMATORSKE STANICE 10/0,4 kV ODNOSNO 20/0,4 kV S ANALIZOM NA MODELU

mr Rihard Schenner, — Rudolf Šimunec, Zagreb

UDK 621.316.1
PREGLEDNI RAD

Razrađen je dinamički model temeljen na varijantnoj metodi. Prilikom rada na modulu nije se koristila gustoća opterećenja kao element analize, nego se ona u stvari raščlanila na ovu grupu elemenata: udaljenost između priključaka, broj stanova spojenih na jedan priključak i vršno opterećenje jednog kućanstva odnosno grupe kućanstava.

Ključne riječi:

Gradska TS 10/0,4 kV
Model
Analiza

1. OPIS MODELA

Budući da se radi o gradskim transformatorskim stanicama, analizirala se kabelska niskonaponska mreža.

Da se analiza pojednostavi, odlučeno je najprije definirati stupnjevanje etapnih nazivnih snaga transformatora. Za ovu analizu određivali su se aktualizirani troškovi transformatora uz razno stupnjevanje nazivnih snaga i uz 2, 3 i 4% trenda porasta opterećenja kućanstva. Rezultati te analize pokazali su potrebu stupnjevanja nazivnih snaga transformatora, ali se predviđa samo jedna etapa nazivna snaga. Etapne i konačne nazivne snage transformatora koje se smatraju najpovoljnijima nalaze se u tabl. 1.

Daljnja ispitivanja podijelila su se na ispitivanja optimuma za individualnu izgradnju i mješovitu odnosno visoku izgradnju.

Etapna nazivna snaga (kVA)	Konačna nazivna snaga
250	400
315	500
400	630
500	800
630	1000
800	1250
1000	1600

Tabl. 1. Etapne i konačne nazivne snage transformatora

Prilikom razrade modela pristupilo se etapnom, a i konačnom planiranju niskonaponske mreže na dva načina:

— moguće je da jedna 10 kV odnosno 20 kV stanica napaja kroz cijeli analizirani period isti broj kućanstava, čiji se broj odredi konačno predviđenim dozvoljenim opterećenjem

— druga je mogućnost da u prvo vrijeme jedna stanica napaja veći broj stanova, a da se porastom opterećenja taj broj smanjuje.

Sheme 0,4 kV mreže nalaze se na sl. 1.

Kontrola opterećenja niskonaponskog izvoda rađena je prema izrazu (1):

$$P_{in} = P_o \cdot r^n (i \cdot m_n \cdot f_\infty + [(1 - f_\infty \cdot \sqrt{i \cdot m_n}) < P_d \quad (1)$$

P_{in} — opterećenje jednog NN izvoda, P_o — vršno opterećenje jednog kućanstva na početku perioda analize, r — trend porasta vršnog opterećenja jednog kućanstva, i — broj stanova u jednom stambenom objektu odnosno na jednom NN priključku, m_n — broj stambenih objekata priključenih na jedan NN izvod u n-toj godini, P_d — dozvoljeno opterećenje.

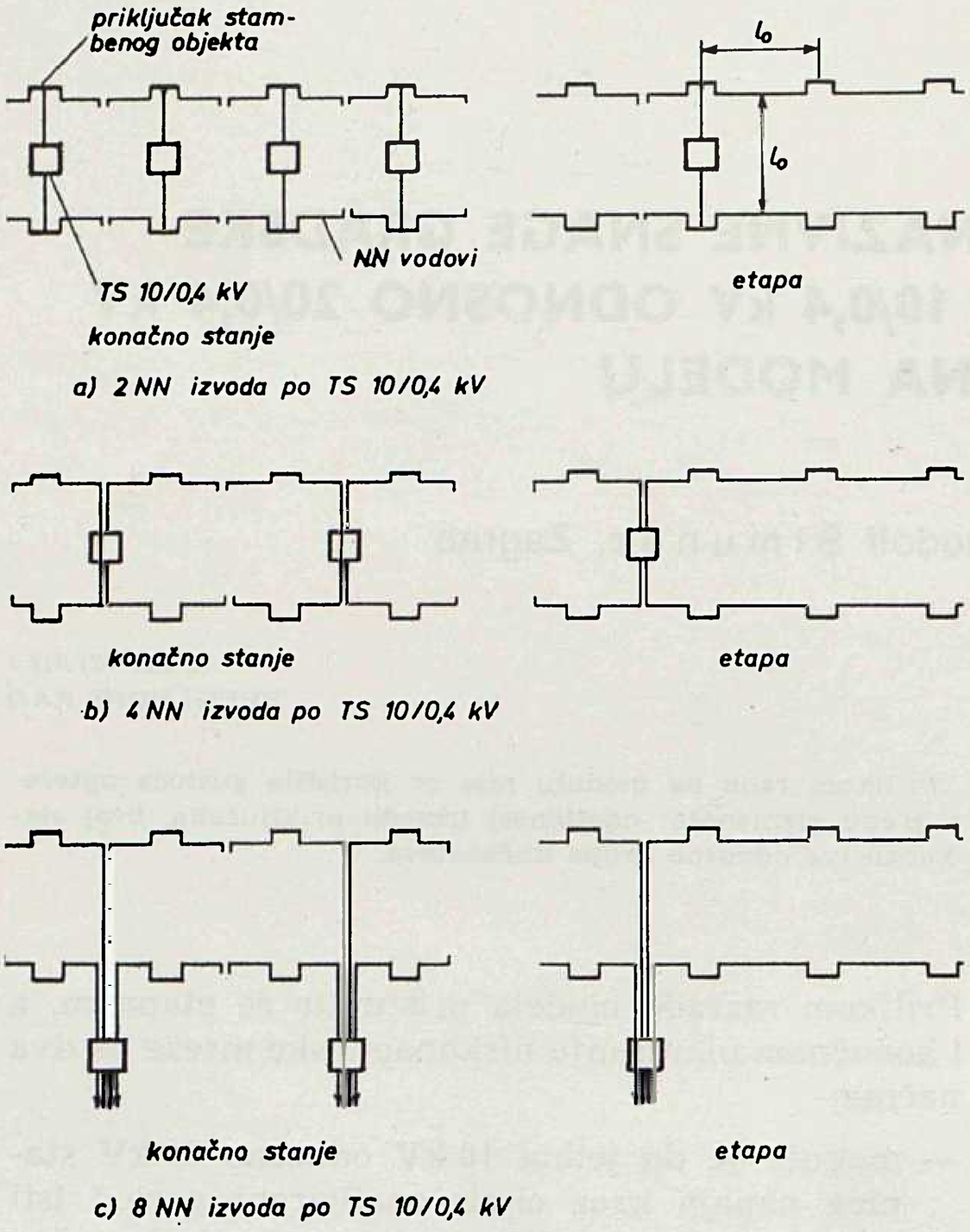
Padovi napona u jednom niskonaponskom izvodu određeni su izrazima (računalo se za najduži izvod):

— broj izvoda 2:

$$\Delta u_n = \frac{1}{10 \cdot U^2} \cdot P_{in} \cdot z_1 \cdot l_o \cdot k_o \left(0{,}5 + \frac{m_n - I}{2}\right) < \Delta u_{doz} \quad (2)$$

— broj izvoda 4:

$$\Delta u_n = \frac{1}{10 \cdot U^2} \cdot P_{in} \cdot Z_1 \cdot l_o \cdot k_o \left(1 + \frac{m_n - I}{2}\right) < \Delta u_{doz} \quad (3)$$



Sl. 1. Shema niskonaponske mreže za različiti broj NN izvoda

— broj izvoda 6 i 8:

$$\Delta u_n = \frac{1}{10 \cdot U^2} \cdot P_{in} \cdot Z_i \cdot l_o \cdot k_o \left(2 + \frac{m_n - 1}{2}\right) \leqslant \Delta u_{doz} \tag{4}$$

Δu_n — pad napona u NN izvodu, Δu_{doz} — dozvoljeni pad napopna, Z_i — karakteristika NN voda, l_o — prosječna udaljenost NN priključaka, k_o — korekcioni faktor.

Kontrola opterećenja transformatora određena je izrazozm:

$$P_{TRn} = P_o \cdot r^n (i \cdot m_n \cdot b_i \cdot f_\infty + (1 - f_\infty) \cdot \cdot \sqrt{i \cdot m_n \cdot b_i}) \leqslant P_{TRd} \tag{5}$$

P_{TRn} — opterećenje transformatora u n-toj godini, b_i — broj NN izvoda, P_{TRd} — dozvoljeno opterećenje transformatora.

Navedene jednadžbe za kontrolu opterećenja i pad napona vrijede u slučaju da se u etapama mijenja broj priključenih objekata na jednoj stanici, tj. mijenja se m_n. U slučaju da se taj broj ne mijenja vrijede isti izrazi, ali se kontrola provodi za konačne vrijednosti, tj. n = N.

U daljnjem tekstu objasnit će se ukratko proračun troškova, i to za varijantu gdje se mijenja broj priključenih objekata na jednoj stanici. Ta varijanta je kompliciranija za račun, pa se zbog toga i navodi.

Cijeli model bazira se na određivanju troškova za napajanje nekog naselja koje se gradi prema određenoj dinamici. Broj stanova naselja određen je izrazom:

$$b_{sn} = n \cdot b_{sl} \leqslant b_{sk} \tag{6}$$

b_{sn} — broj stanova izgrađenih do n-te godine, b_{sl} — broj stanova izgrađenih u jednoj godini, b_{sk} — konačno predviđeni broj stanova. Troškovi su podijeljeni na troškove novih investicija, godišnje troškove investicija i godišnje troškove gubitaka.

1.1. Troškovi novih investicija

a) Transformatorske stanice bez transformatora

Vrijednost 10 kV odnosno 20 kV stanica u n-toj godini:

$$T_{TSn} = b_{TSn} \cdot c_{TS} \tag{7}$$

$$b_{TSn} = \frac{b_{sn}}{b_i \cdot m_n \cdot i} \tag{8}$$

T_{TSn} — vrijednost 10, 20 kV stanica u n-toj godini, c_{TS} — cijena 10, 20 kV stanice.

Izraz za aktualizirane troškove s povratom investicija za period od N godina je slijedeći:

$$T_{apTS} = \sum_{n=1}^{N} (T_{TSn} - T_{TSn-1}) \left(a^{-n} - \frac{n}{N} \cdot a^{-N}\right) \tag{9}$$

T_{apTS} — ukupni aktualizirani troškovi, a — faktor aktualizacije.

b) Transformatori

Vrijednost transformatora u n-toj godini:

$$T_{TRn} = b_{TSn} (c_{TRn} + c_m) \tag{10}$$

T_{TRn} — vrijednost svih transformatora koji su u pogonu u n-toj godini, c_{TRn} — cijena transformatora iz n-te godine, c_m — cijena montaže transformatora iz n-te godine.

Ukupni aktualizirani troškovi jesu:

$$T_{aTR} = \sum_{n=1}^{N} (T_{TRn} - T_{TRn}) \cdot a^{-n} \tag{11}$$

Povrat investicija u transformatore:

$$I_{pTR} = \sum_{n=1}^{N} c_{TRn} (b_{TSn} - b_{TSn-1}) \left(1 - \frac{s_m - n}{N}\right) \cdot a^{-s} m \tag{12}$$

I_{pTR} — povrat investicija u transformatore, s_m — godina kad se više ne koristi transformator određene nazivne snage.

c) 0,4 kV mreža

Vrijednost 0,4 kV mreže u n-toj godini određena je izrazom;

$$T_{Kn} = l_n \cdot c_k \qquad (13)$$

T_{Kn} — vrijednost 0,4 kV mreže u n-toj godini, l_n — dužina 0,4 kV mreže u n-toj godini, c_k — jedinična cijena 0,4 kV mreže.

Dužina 0,4 kV mreže može se rastaviti na dva dijela.

Prvi dio određen jej izrazom:

$$l_{1n} = \frac{b_{sn}}{i} \cdot l_o \cdot k_o \qquad (14)$$

Drugi dio (l_{2n}) ovisi o broju NN izvoda:

Broj izvoda	Dužina l_{2n}
2	$b_{TSn} \cdot l_o \cdot k_o$
4	$b_{TSn} \cdot 2 \cdot l_o \cdot k_o$
6	$b_{TSn} \cdot 5 \cdot l_o \cdot k_o$
8	$b_{TSn} \cdot 8 \cdot l_o \cdot k_o$

(15)

Ukupna dužina NN mreže u n-toj godini:

$$l_n = l_{1n} + l_{2n} \qquad (16)$$

Ukupni aktualizirani troškovi u NN mrežu s povratom investicija:

$$T_{apK} = \sum_{n=1}^{N} (T_{Kn} - T_{Kn-1}) \cdot \left(a^{-n} - \frac{n}{N} \cdot a^{-N}\right) \qquad (17)$$

1.2. **Godišnji troškovi investicija**

Ukupni godišnji troškovi investicija određeni su općenito izrazom:

$$T_{GI} = \sum_{n=1}^{N} (f_{TS} \cdot T_{TSn} + f_{TR} \cdot T_{TRn} + f_K \cdot T_{Kn}) \cdot a^{-n} \qquad (18)$$

T_{GI} — godišnji troškovi investicija: f_{TS}, f_{TR}, f_K — pripadni faktori godišnjih troškova.

1.3. **Godišnji troškovi gubitaka**

a) Transformatori

Ukupni godišnji troškovi gubitaka u transformatorima:

$$T_{GTR} = \sum_{n=1}^{N} b_{TSn} \cdot a^{-n} \cdot /P_{Fen} \cdot (c_{sl} + T_p \cdot c_e) + P_{cun} \cdot \left(\frac{P_{TSn}}{S \cdot \cos\varphi}\right)^2 \cdot (c_{sl} + \vartheta_1 \cdot T_p \cdot c_e)/ \qquad (19)$$

T_{GTR} — ukupni godišnji troškovi gubitaka u transformatorima; P_{Fen}, P_{cun} — gubici u željezu odnosno bakru; c_{sl}, c_e — cijena gubitaka snage odnosno energije, ϑ_1 — faktor gubitaka u bakru, S_{TRn} — nazivna snaga transformatora koji su u pogonu u n-toj godini, T_p — vrijeme pogona transformatora u godini dana.

b) 0,4 kV mreža

Ukupni godišnji troškovi gubitaka u NN mreži:

$$T_{GK} = \sum_{n=1}^{N} \frac{P_{1n}^2}{U^2 \cdot \cos^2\varphi} \cdot \frac{\rho}{A} (c_{s2} + c_e \vartheta_2 \cdot T_p) \cdot (l_{2n} + \varepsilon_m \cdot l_{1n}) \cdot a^{-n} \qquad (20)$$

$$\varepsilon_m = \frac{1}{m_n^3} \sum_{i=1}^{m_n} i^2 \qquad (21)$$

T_{GK} — ukupni godišnji troškovi gubitaka u NN mreži, A — presjek vodiča NN voda, ρ — specifični otpor materijala vodiča, ε — faktor kojim se obuhvaća raspored opterećenja duž voda.

1.4. **Ukupni troškovi**

Ukupni troškovi u cijelom periodu vremena određeni su sumom svih troškova:

$$T = T_{apTS} + T_{aTR} - I_{pTR} + T_{apK} + T_{GI} + T_{GTR} + T_{GK}. \qquad (22)$$

2. **ULAZNI PODACI**

Ovdje će se navesti samo osnovni podaci za račun zbog dosta velikog broja ulaznih podataka, a zbog mogućnosti kritičkog osvrta na rezultate.

Kućanstvo tipa A : P_o = 5,5 kW/kuć., f ∞ 0,250, r = 1,03

Kućanstvo tipa B : P_o = 3,5 kW/kuć., f ∞ 0,275, r = 1,03

Kućanstvo tipa C : P_o = 2,5 kW/kuć., f ∞ 0,300, r = 1,03

Udaljenost između stambenih objekata:

visokogradnja — l_o = 70 m
niskogradnja — l_o = 20 (40) m

Broj stanova u objektu:

visokogradnja — i = 15, 20 . . . 75,80
niskogradnja — 1 = 1 (3)

Faktor aktualizacije : a = 1,08
Faktor godišnjih troškova : f = 0,10

3. **ANALIZA REZULTATA**

Zbog samih rezultata i načina izgradnje niskonaponske mreže posebno će se proanalizirati rezultati za mješovitu odnosno visokogradnju, te niskogradnju.

Detaljnije će se proanalizirati rezultati za varijantu kod koje se mijenja broj priključenih stambenih objekata na jednu transformatorsku stanicu 10, 20/0,4 kV tokom perioda analize, jer su interesantniji i bolje mogu ukazati na momente koji su značajniji. Varijanta kod koje se broj priključenih stambenih objekata na jednu transformatorsku stanicu 10, 20/0,4 kV ne mijenja tokom perioda analize previše ovisi o konačnim veličinama, pa se zbog toga optimum skokovito mijenja. Rezultati te varijante proanalizirat će se samo ukratko.

Nazivna snaga TS kVA	Presjek vodiča NN mreže mm²	Broj kućanstava po stambenom objektu															
		15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
630	95	1,068	1,085	1,101	1,162	1,158	1,173	1,214	1,246	1,263								
	120	1,021	1,039	1,051	1,047	1,091	1,092	1,099	1,125	1,124	1,119	1,130						
	150	1,009	1,009	1,035	1,020	1,028	1,071	1,096	1,102	1,095	1,102	1,095						
	185	**1,000**	**1,000**	**1,000**	1,013	**1,000**	1,031	1,065	1,101	1,101	1,109	1,129						
	240	1,017	1,007	1,017	1,009	1,011	1,059	1,085	1,128	1,127	1,134	1,118						
800	95	1,096	1,114	1,128	1,192	1,187	1,202	1,243	1,264	1,276								
	120	1,043	1,060	1,074	1,072	1,103	1,126	1,134	1,150	1,139	1,207	1,166						
	150	1,027	1,029	1,051	1,047	1,036	1,064	1,102	1,076	1,052	1,058	1,053	1,086	1,119				
	185	1,017	1,013	1,015	1,021	1,003	**1,000**	1,027	1,050	1,039	1,005	1,004	1,018	1,050	1,051	1,050		
	240	1,034	1,019	1,012	**1,000**	1,006	1,004	**1,000**	1,020	1,016	1,014	1,019	1,040	1,063	1,063	1,061		
1 000	95	1,072	1,149	1,165	1,233	1,228	1,244	1,287	1,310	1,320								
	120	1,052	1,091	1,106	1,101	1,133	1,157	1,163	1,180	1,171	1,163	1,008						
	150	1,038	1,055	1,075	1,071	1,063	1,089	1,144	1,114	1,092	1,092	1,179	1,107	1,144				
	185	1,051	1,034	1,036	1,045	1,031	1,024	1,037	1,053	1,041	1,032	1,075	1,015	1,052	1,061	1,051		
	240	1,130	1,038	1,035	1,021	1,015	1,011	1,003	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**
1 250	95	1,178	1,201	1,215	1,293	1,288	1,305	1,352	1,377	1,390								
	185	1,113	1,35	1,152	1,147	1,183	1,209	1,216	1,234	1,225	1,220	1,236						
	240	1,088	1,094	1,116	1,112	1,102	1,129	1,155	1,153	1,129	1,129	1,111	1,145	1,178				
	120	1,070	1,067	1,070	1,081	1,064	1,057	1,073	1,094	1,084	1,070	1,054	1,064	1,097	1,098	1,077		
	150	1,078	1,066	1,063	1,048	1,044	1,043	1,038	1,031	1,021	1,017	1,018	1,028	1,037	1,029	1,018	1,001	1,028

Tabl. 2. Odnos troškova ispitivanih varijanti prema optimalnoj za mješovitu i visokogradnju i kućanstva tipa C (broj NN izvoda = 4)

Nazivna snaga TS kVA	Presjek vodiča NN mreže mm²	Broj kućanstava po stambenom objektu												
		15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
630	95	1,096	1,135	1,180	1,245	1,244	1,297							
	120	1,053	1,045	1,085	1,115	1,113	1,136	1,135						
	150	1,021	1,041	1,027	1,074	1,082	1,107	1,081	1,098					
	185	**1,000**	1,002	**1,000**	1,032	1,070	1,109	1,086	1,102					
	240	1,014	1,006	1,008	1,054	1,088	1,129	1,110	1,124					
800	95	1,126	1,164	1,209	1,232	1,296	1,309							
	120	1,075	1,071	1,103	1,150	1,145	1,152	1,158						
	150	1,041	1,050	1,043	1,076	1,030	1,080	1,054	1,073	1,124				
	185	1,021	1,011	1,015	1,010	1,036	1,050	**1,000**	1,004	1,039	1,028	1,038		
	240	1,027	**1,000**	1,009	**1,000**	1,007	1,014	1,016	1,021	1,052	1,038	1,047		
1 000	95	1,162	1,203	1,252	1,276	1,315	1,355							
	120	1,107	1,100	1,134	1,181	1,175	1,182	1,183						
	150	1,067	1,076	1,070	1,101	1,127	1,119	1,088	1,097	1,148				
	185	1,042	1,033	1,040	1,034	1,047	1,062	1,028	1,008	1,039	1,049	1,056		
	240	1,045	1,023	1,021	1,023	**1,000**	**1,000**	1,011	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**
1 250	95	1,214	1,260	1,314	1,339	1,383	1,427							
	120	1,153	1,146	1,183	1,235	1,228	1,237	1,239						
	150	1,107	1,118	1,111	1,141	1,167	1,157	1,124	1,134	1,184				
	185	1,077	1,067	1,076	1,068	1,082	1,099	1,065	1,054	1,086	1,079	1,083		
	240	1,074	1,051	1,050	1,054	1,035	1,028	1,028	1,019	1,041	1,035	1,020	1,019	1,025

Tabl. 3. Odnos troškova ispitivanih varijanti prema optimalnoj za mješovitu i visokogradnju i kućanstva tipa B (broj NN izvoda = 4)

3.1. **Analiza rezultata za mješovitu i visokogradnju**

Za mješovitu i visokogradnju računalo se s tipom kućanstva B i C. Najprije su vršena probna ispitivanja. Ona su pokazala da su optimalna četiri NN izvoda, pa se sa tim brojem i dalje računalo.

Rezultati daljnjih ispitivanja nalaze se u tabl. 2 i 3. Optimalne nazivne snage su 630, 800 i 1 000 kVA, ovisno o broju stanova u stambenom objektu. Kod kućanstava tipa C (tabl. 2) optimalna je nazivna snaga od 630 kVA do 35 stanova po stambenom objektu, za 40 i 45 stanova po stambenom objektu snaga od 800 kVA, a za veći broj stanova 1 000 kVA. Za kućanstva tipa B (tabl. 3) dobili su se slični rezultati.

Takvi su se rezultati i mogli očekivati. Međutim potrebno je osvrnuti se na ovisnost optimuma o nazivnom presjeku niskonaponskog kabela.

Kao prvo potrebno je reći da se optimumi postižu uz primjenu presjeka koji su veći od onih, koji su danas u primjeni. To znači da je za postizanje optimuma potrebno povećati postojeće presjeke NN kabela. Kod danas uobičajene nazivne snage od 630 kVA to je nešto manji problem. Međutim, ako se želi povećati nazivna snaga na 800 ili 1 000 kVA, potrebno je svakako prekontrolirati presjek NN kabela. Optimalna nazivna snaga od 1 000 kVA postiže se isključivo uz primjenu presjeka od 240 mm² Cu, što je neuobičajeno velik presjek. Uz manje presjeke ta nazivna snaga nije više optimalna. Ova ispitivanja pokazala su da je ograničenje za povećanje nazivnih snaga transformatorskih stanica 10/0,4 kVA na 800 ili 1 000 kVA prijenosna moć NN vodova. Ako se pokuša naći razlika modela i realnih uvjeta, tada se može tvrditi da se realni optimalni broj niskonaponskih izvoda može tražiti između 4 i 6 izvoda i uz nešto manje presjeke niskonaponskih izvoda. Ovdje se nije moglo utvrditi koji su to presjeci, jer je za to potrebna detaljnija analiza urbanističkih podloga i normativa optere ćenja pojedinog područja.

U slučaju drugog načina izgradnje NN mreže optimalne su iste nazivne snage. Međutim, nešto veću prednost ima nazivna snaga od 630 kVA.

Nazivna snaga TS kVA	Presjek vodiča NN mreže mm²	1 kuć / objektu $l_0 = 20$ m			3 kuć / objektu $l_0 = 40$ m		
		Tip C	Tip B	Tip A	Tip C	Tip B	Tip A
1	2	3	4	5	6	7	8
250	50 70 95 120	1,024 1,040 1,089 1,120	1,057 1,068 1,114 1,144				
315	50 70 95 120	1,010 1,008 1,053 1,082	1,019 1,022 1,064 1,092	1,058 1,061 1,099 1,123	1,036 1,058 1,081 1,108		
400	50 70 95 120	1,010 **1,000** 1,033 1,057	1,016 **1,000** 1,032 1,057	1,027 1,013 1,045 1,066	1,027 **1,000** 1,031 1,055	1,039 1,016 1,049 1,071	
500	50 70 95 120	1,016 1,001 1,033 1,051	1,019 1,003 1,024 1,040	1,031 **1,000** 1,017 1,033	1,030 1,0003 1,014 1,027	1,041 **1,000** 1,011 1,026	1,073 1,017 1,032 1,046
630	50 70 95 120 150	1,024 1,009 1,036 1,052 1,101	1,029 1,006 1,025 1,043 1,083	1,039 1,001 1,016 1,022 1,057	1,041 1,004 1,016 1,025 1,062	1,053 1,002 1,009 1,012 1,044	1,079 1,017 1,002 1,003 1,033
800	50 70 95 120 150 185			1,050 1,013 1,018 1,026 1,060	1,054 1,013 1,023 1,028 1,063	1,015 1,012 1,014 1,046	1,023 1,008 **1,000** 1,018 1,045

Tabl. 4. Odnos troškova ispitivanih varijanti prema optimalnoj za niskogradnju (broj NN izvoda = 8)

3.2. **Analiza rezultata za niskogradnju**

Tok ispitivanja za niskogradnju bio je isti kao i za visokogradnju.

Prva ispitivanja dala su rezultate po kojima se sa sigurnošću moglo utvrditi da je optimalan broj od 8 NN izvoda. Zbog toga se i nastavilo ispitivati s tim brojem NN izvoda.

Rezultati daljnjih ispitivanja nalaze se u tabl. 4. Prema tim rezultatima može se zaključiti da su optimalne danas uobičajene snage od 400 i 500 kVA.

Međutim, razlike u troškovima pojedinih varijanti su malene i mogu se prihvatiti kao optimalne, danas uobičajene nazivne snage 400 i 630 kVA. Kod tih nazivnih snaga optimalan je presjek od 70 mm² Cu.

U slučaju drugog načina izgradnje NN mreže praktično su dobiveni isti rezultati.

4. **ZAKLJUČAK**

Najprije je potrebno napomenuti da su provedena ispitivanja čisto teoretska. Međutim, prilikom usporedbe s nekim NN mrežama na primjer (3) nisu primijećene koje bi imale utjecaja na rezultate. Kod niskogradnje potvrdile su se nazivne snage koje su i danas u primjeni, tj. 400 i 630 kVA.

U slučaju visokogradnje rezultati pokazuju da se isplati povećati nazivne snage do maksimalno 1 000 kVA, ovisno o opterećenju kućanstva. Prema današnjim tendencijama u praksi to se i očekivalo. Međutim, na modelu se pokazalo da je to usko vezano uz primjenu NN vodova najvećih prijenosnih moći. Budući da sigurno postoji određena razlika između modela i prakse, vjerojatno neće biti potrebna primjena upravo takvih presjeka, ali se preporuča kontrola postojećih.

Literatura:

(1) S. Rusck: The Simultaneaus Demand in Distribution Network Supplying Domestic Consumers, ASEA Journal 1956.

(2) R. Schenner: Optimalno opterećenje transformatora, Energija 1975, br. 7—8.

(3) ——: Aktivirung und Planung von Netzen für allelektrische Versorgung, VDEW, 1970.

KEY WORDS: URBAN TS 10/04 kV
MODEL
ANALYSIS

DETERMINATION OF OPTIMAL NOMINAL POWER FOR URBAN TRANSFORMER STATION 10/0.4 kV OR 20/0.4 kV WITH MODEL ANALYSIS

Dinamical model, based on variant method is elaborated. As element of analysis for given model, instead of density of load, following elements has been used: distance between connections, number of apartments connected on one peak load of one or several hausholds.

BESTIMMUNG DER OPTIMALEN NENNLEISTUNG VON STÄDTISCHEN UNTERSTATIONEN FÜR 10/0,4 kV bzw. 20/0,4 kV DURCH MODELLUNTERSUCHUNGEN

Beschrieben wird ein auf einer Variantenmethode aufgebautes veründerliches Modell. Bei der Arbeit mit diesem Schaltmodells wurde nicht die Belastungsdichte als Untersuchungselement verwendet, sondern wurde diese Grösse in verschiedene Gruppen von Elementen aufgeteilt: Entfernung der Anschlüsse untereinander, Zahl der an einem Anschluss liegenden Wohnungen und Spitzenbelastung einer Wohnung bzw. einer Wohnungsgruppe.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ГОРОДСКОЙ ПОДСТАНЦИИ 10/0,4 кВ ИЛИ 20/0,4 кВ С АНАЛИЗОМ НА МОДЕЛИ

Заработана динамическая модель, основывьпощаяся на варианнтном методе. При работе на моделе плотность нагрузки не являлась элементом анализа, а была расчленена на следующие элементы: расстояние между вводами, количество квартир, присоединных на один ввод и пиковая нагрузка одного и, соответственно, групиы хозяйств.

Naslov pisaca:

mr Richard Schenner, dipl. ing.
Rudolf Šimunec, tehn.

Institut za elektroprivredu, Zagreb

Rukopis primljen u redakciju
7. srpnja 1981.

Energija God 30 (1981) br. 9—10, 429—435

PRVA ZAGREBAČKA TS 110/20 kV S POSTROJENJEM 110 kV U SF_6 TEHNICI*

Antun F a g a r a z z i, Zagreb

UDK 621.316.1
STRUČNI RAD

Opisana je koncepcija i izvedba moderne gradske TS 110/20 k Zagreb-Sjever koja se sada gradi. Jednopolnu shemu karakterizraju jednostruke sabirnice na strani 110 kV i prstena ste sabirnice na strani 20 kV. Postrojenje 110 kV je tropolno oklopljeno i izolirano plinom SF_6.

Ključne riječi:

Gradska TS
Jednopolna shema
Jednostruke sabirnice
Prstenaste sabirnice
Izolacija sa SF_6

1. UVOD

Do sada su se na području grada Zagreba projektirale i gradile transformatorske stanice 110/30 i 110/10 odnosno 110/20 kV s klasičnim otvorenim postrojenjem 110 kV i nadzemnim priključkom na mrežu 110 kV. Međutim, pri određivanju lokacije TS 110/20 kV Zagreb-Sjever urbanisti su uvjetovali malu površinu zemljišta, smještaj svih postrojenja u zgradi i kabelski priključak 110 kV. Ovaj problem moguće je riješiti primjenom postrojenja 110 kV u SF_6 tehnici. Zahvaljujući dobrim izolacijskim svojstvima plina SF_6, razvijena su oklopljena postrojenja izvanredno malih dimenzija. Osim uštede prostora ostvarene su, u odnosu na klasična postrojenja, mnoge prednosti značajne pri izgradnji i u pogonu. Oklopljena postrojenja 110 kV skuplja su od otvorenih (to im je jedini nedostatak), ali su danas nezamjenjiva u gradskim elektrodistributivnim mrežama.

Najpovoljnije idejno arhitektonsko rješenje dobiveno je natječajem. Unutar objekta strogo je poštovan raspored prostorija definiran funkcijom transformatorske stanice. Vanjskim izgledom objekt se uspješno prilagodio ambijentalnim vrijednostima okoline. Oblikovan je stvaranjem manjih volumena, krovna ploha izvedena je od tamnosmeđeg eternita, a zidovi su od naravne opeke u tonalitetu okoline.

Projektiranje, isporuka i montaža opreme povjerena je, nakon usporedbe ponuda svih domaćih proizvođača, »Radi Končaru«. To praktički znači da je način isporuke električnog dijela TS 110/20 kV Zagreb-Sjever po sistemu ključ u ruke. Metalom oklopljeno postrojenje 110 kV izolirano plinom SF_6 proizvodnje je »Rade Končar« na osnovi licence firme »Siemens«. Za TS 110/20 kV Zagreb-Sjever zanimljiva je i činjenica da je postrojenje 20 kV u izvlačivoj izvedbi. »Rade Končar« već godinama proizvodi limom oklopljene ćelije 10 kV u izvlačivoj izvedbi, da bi sada za potrebe »Elektre« razvio i ćelije 20 kV.

2. POSTROJENJE 110 kV

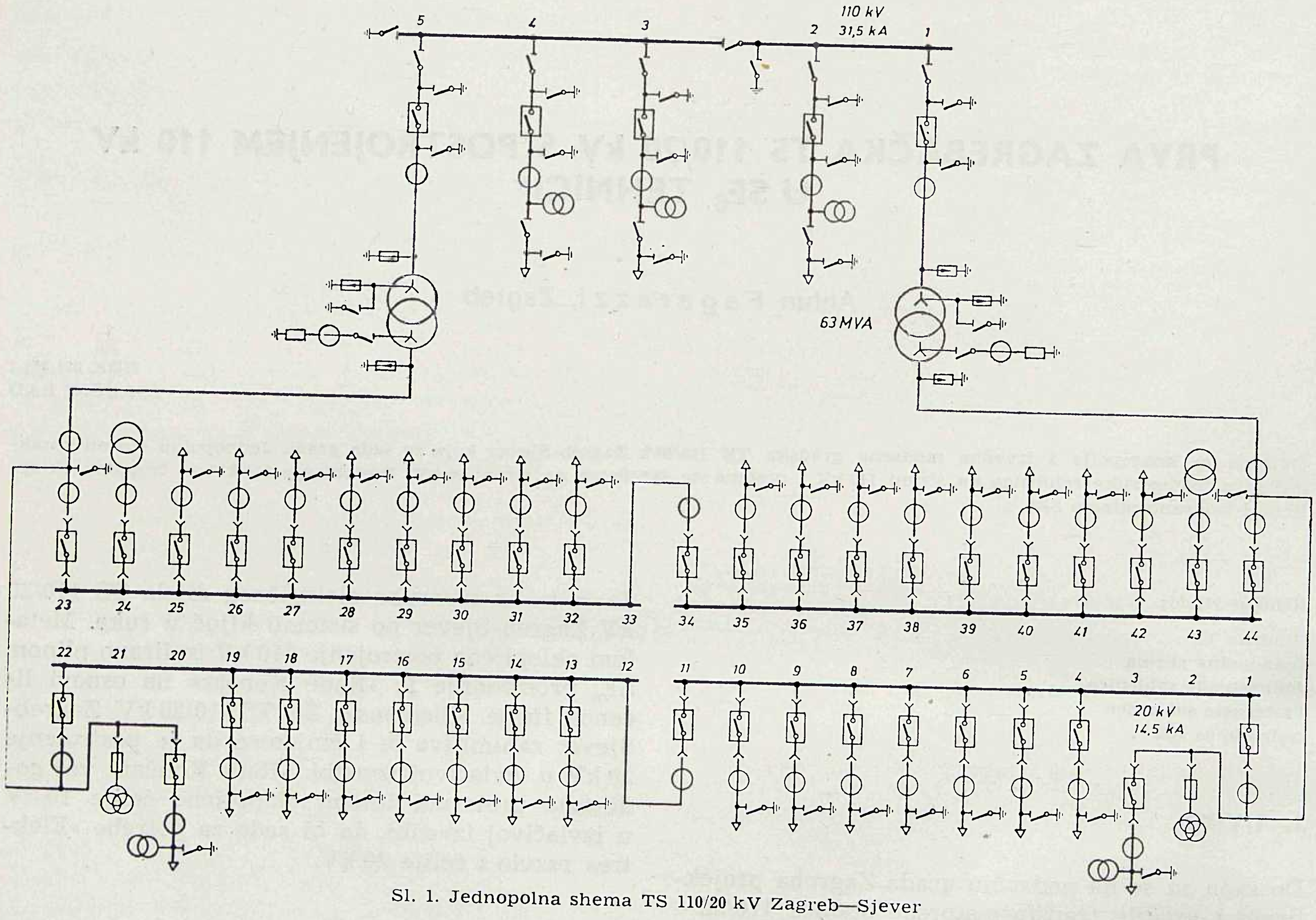
2.1. Koncepcija postrojenja 110 kV u SF_6 tehnici

Priključak TS 110/20 kV Zagreb-Sjever na mrežu 110 kV izvest će se u prvoj etapi s dva kabelska voda dužine po 2,8 km koji se na sjevernom rubu grada nastavljaju na dvostruki nadzemni vod do TS 110/30 kV Resnik. U konačnoj izgradnji položit će se treći kabelski vod 110 kV dužine oko 6 km iz TS 110/30/10 kV EL-TO. Kabeli 110 kV izolirani umreženim polietilenom proizvodnje su »Sieverts-Kabelverk« a tipa FXLJ, $3 \times (1 \times 500/95$ mm² Cu).

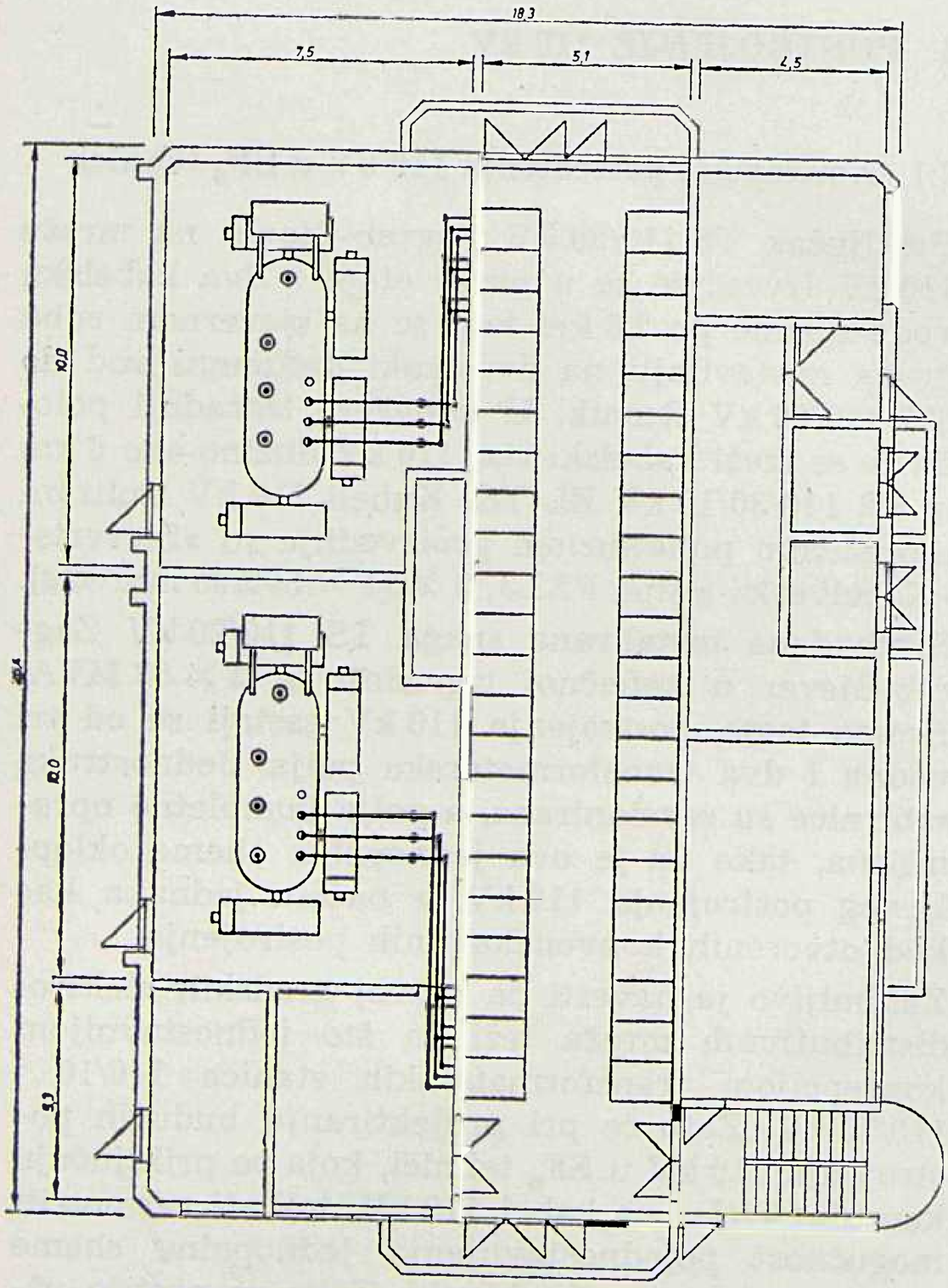
Predviđena instalirana snaga TS 110/20 kV Zagreb-Sjever u konačnoj izgradnji je 2×63 MVA. Prema tome, postrojenje 110 kV sastoji se od tri vodna i dva transformatorska polja. Jednostruke sabirnice su sekcionirane, a polja kompletno opremljena, tako da je ova jednopolna shema oklopljenog postrojenja 110 kV u načelu jednaka kao kod otvorenih konvencionalnih postrojenja.

Zanimljivo je navesti da razvoj gradskih elektrodistributivnih mreža teži za što jednostavnijom koncepcijom transformatorskih stanica 110/10 i 110/20 kV. Zato će pri projektiranju budućih postrojenja 110 kV u SF_6 tehnici, koja se priključuju kao ulaz - izlaz na kabel 110 kV, trebati razmotriti mogućnost pojednostavnjenja jednopolne sheme primjenom rastavnih sklopki. Tako se postiže uš-

* Ovaj članak je referat br. 23.16 s XV savjetovanja elektroenergetičara Jugoslavije — CIGRÉ, Beograd, 1981.



Sl. 1. Jednopolna shema TS 110/20 kV Zagreb—Sjever

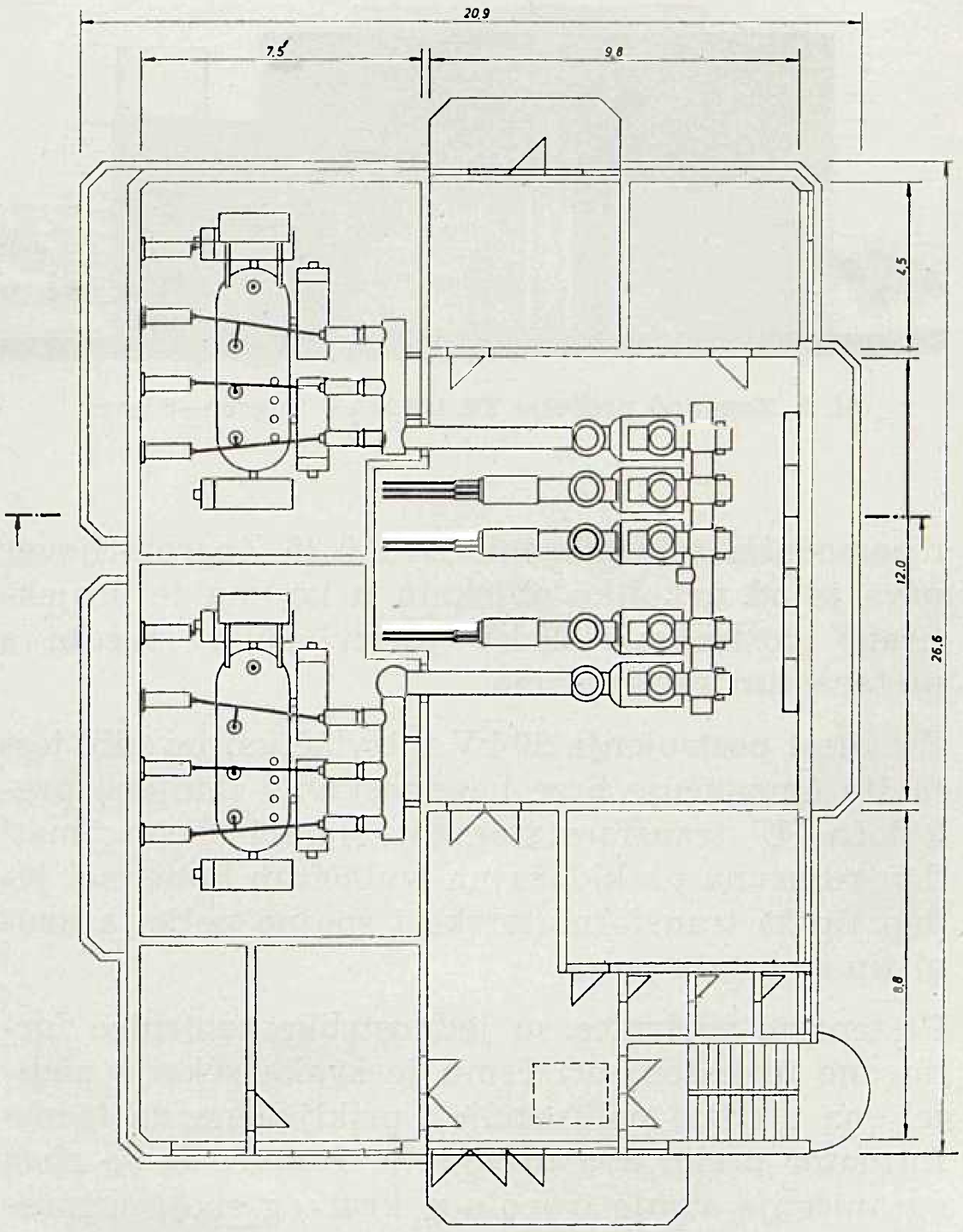


Sl. 2. Tlocrt prizemlja TS 110/20 kV Zagreb—Sjever

teda potrebnog prostora i sniženje investicijskih troškova.

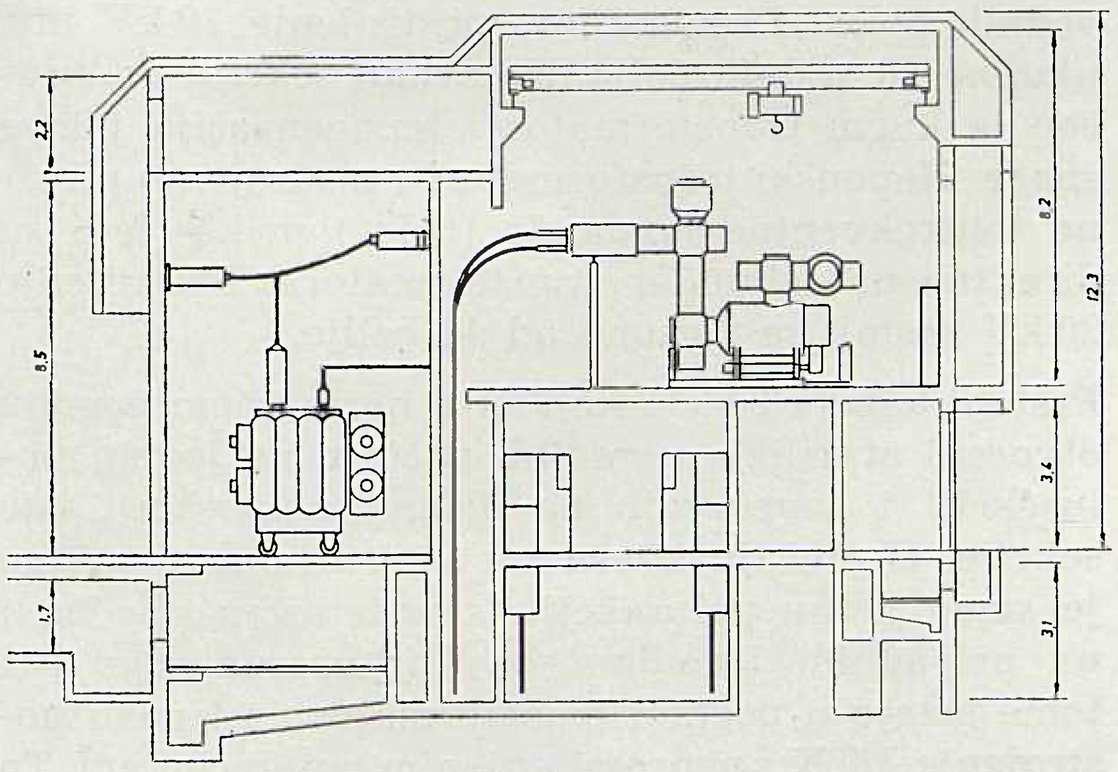
»Siemens« je još 1968. godine počeo proizvoditi postrojenja 110 kV tipa 8D.2 s jednopolno oklopljenim poljima i tropolno oklopljenim sabirnicama. Na osnovi dobrih pogonskih iskustava s ovom tehnikom, konzekventan daljnji razvoj doveo je 1976. godine do druge generacije postrojenja 110 kV tipa 8D.6 s potpunim tropolnim oklapanjem svih elemenata. Elementi su izrađeni na modularnom načelu, što omogućuje prikladnu izvedbu bilo koje sheme postrojenja. Primjenom dodatnih modula moguće je — uz nepromijenjenu širinu (korak) polja koja iznosi samo 1,4 m — varirati visinu i dubinu polja te se tako prilagoditi prostoru već zadanih dimenzija.

Postrojenje 8D.6 ima niz predonsti u odnosu na raniju izvedbu 8D.2. Tropolnim oklapanjem ostvarena je ušteda prostora do 30%. Ukupna dužina brtvi na prirubnim spojevima skraćena je oko 30%, pa je još više smanjen ionako neznatan gubitak plina. Sklopna polja izrađuju se tvornički u većim montažnim cjelinama koje predstavljaju transportne jedinice. Moduli transportnih jedinica u tvornici se kompletno ožičuju, što također pogoduje brzoj montaži postrojenja. Budući da se prekidač kao težište polja nalazi na podu, olakšan je pristup dijelovima prekidača. Kompaktna izvedba s tropolno oklopljenim elementima povoljno utječe na preglednost postrojenja. Elementi sklop-



Sl. 3. Tlocrt kata TS 110/20 kV Zagreb—Sjever

nog postrojenja odgovaraju preporukama IEC i propisima VDE.



Sl. 4. Presjek TS 110/20 kV Zagreb—Sjever

Najvažniji tehnički podaci postrojenja tipa 8D.6 za TS 110/20 kV Zagreb-Sjever:

Nazivni napon	123	kV
Nazivna frekvencija	50	Hz
Nazivni podnosivi izmjenični napon	230	kW
Nazivni podnosivi udarni napon	550	kV
Nazivna struja sabirnica	1600	A
Nazivna struja odvoda	1250	A
Nazivna kratkotrajna struja (1 s)	31,5	kA
Nazivna prekidna moć	31,5	kA
Nazivna udarna struja	80	kA
Nazivna uklopna moć	80	kA
Pretlak plina SF_6 u postrojenju (20° C)	3,4	bar
Pretlak plina SF_6 u prekidaču (20° C)	6,5	bar
Širina polja	1,4	m
Masa polja oko	10	t

2.2. Izvedba tropolno oklopljenog postrojenja 110 kV

Postrojenje 8D.6 ima mehanički vrlo čvrst čelični oklop, koji u slučaju kvara dugo odolijeva termičkom djelovanju električnog luka, tako da tehnički kompliciranu uređaji za brzo isklapanje nisu potrebni. Budući da kućište ne progorijeva, nema opasnosti za ljude u postrojenju.

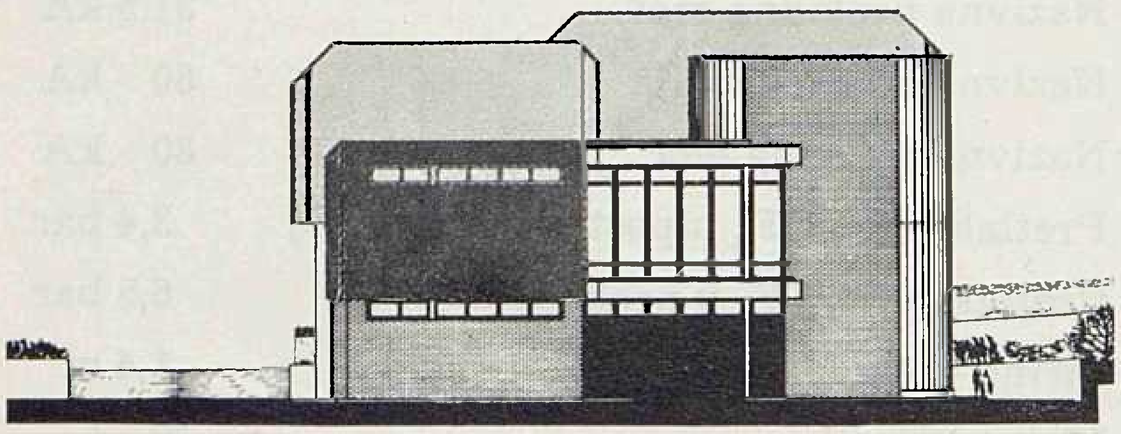
Kvalitetna proizvodnja tlačnih spremnika garantira minimalan gubitak plina SF_6 (manje od 1% godišnje), pa nije potrebno automatsko dopunjavanje plina. Vodno polje je podijeljeno na pet, a transformatorsko polje na četiri plinska prostora pomoću provodnih izolacijskih ploča, koje su nepropusne za plin i otporne na lûk. Svaki plinski prostor ima vlastitu kontrolu tlaka plina pomoću kontaktnih manometara. Osim toga, u svakom plinskom prostoru ugrađena je lomljiva membrana, koja pouzdano sprečava pucanje spremnika u slučaju brzog porasta tlaka pri trajanju unutarnjeg električnog luka. Upotrebom statičkog filtra u plinskim prostorima održava se plin SF_6 suhim u razdoblju od deset godina, tako da je isključeno orošavanje izolatora. Primjenom rebrastih izolatora smanjena je opasnost od preskoka zbog eventualnog onečišćenja pri montaži.

Tropolno oklopljeno postrojenje 110 kV sastoji se od modula. Moduli jednog vodnog polja u TS 110/20 kV Zagreb-Sjever:

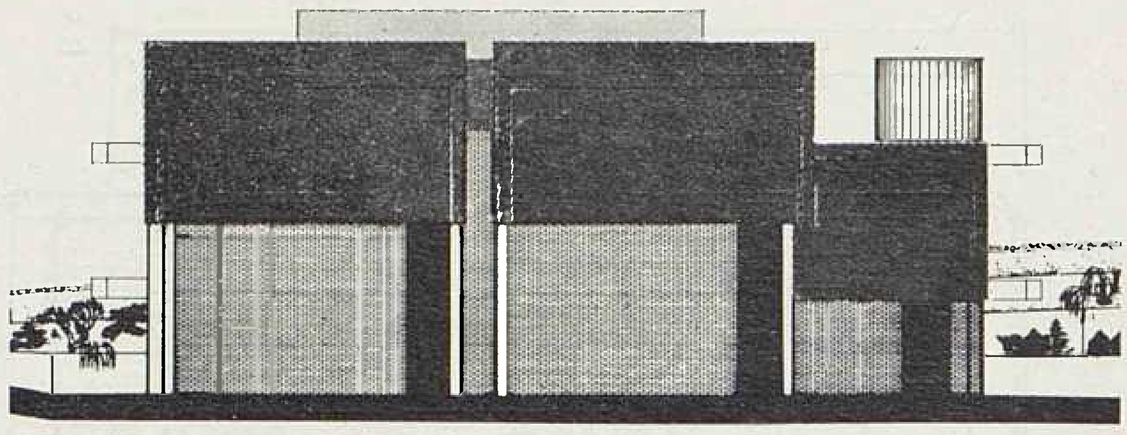
1. Prekidač je postavljen vodoravno i nosi sve ostale module polja. Kontrola kontakata i održavanje prekidnih komora obavlja se jednostavnim izvlačenjem ovog sklopa iz kućišta prekidača. Kao sredstvo za izolaciju i gašenje električnog luka u prekidaču koristi se plin SF_6 pod jednim tlakom. Pogon prekidača je elektrohidraulički. Hidraulički spremnik leži ispod prekidača, a upravljački ormarić smješten je ispred prekidača.

2. Sabirnički rastavljač izveden je kombinacijom kutnog rastavljača i sabirnica, čija dužina odgovara širini polja. Sabirnice su između polja pregrađene provodnim izolacijskim pločama. Pogon rastavljača je elektromotorni. Svi rastavljači imaju mehanički pokazivač položaja koji omogućuje pouzdano utvrđivanje rastavnog razmaka.

3. Izlazni rastavljač je u kutnoj izvedbi, što omogućuje skretanje vodiča pod pravim kutom.



Sl. 5. Južno pročelje TS 110/20 kV Zagreb—Sjever



Sl. 6. Zapadno pročelje TS 110/20 kV Zagreb—Sjever

4. Radni zemljospojnik u kutnoj izvedbi nalazi se ispred i iza prekidača. Pogon zemljospojnika je elektromotorni. Svi zemljospojnici imaju mehanički pokazivač položaja.

5. Brzi zemljospojnik u zvjezdastoj izvedbi nalazi se iza izlaznog rastavljača. Pogon zemljospojnika je elektromotorni s opružnom akumulacijom energije.

6. Strujni transformator sadrži tri jednofazna provodna transformatora s prstenastim jezgrama. Sekundarni vodovi izvedeni su izvan, kroz plinotijesnu provodnu ploču.

7. Naponski transformator je tropolni, a induktivno mjeri napone triju faza prema zemlji.

8. Kabelsko kućište predviđeno je za priključak kabela 110 kV preko odgovarajuće kabelske uvodnice.

U redovnoj proizvodnji provodi se stroga kontrola kvalitete, što garantira besprijekornu funkciju isporučenog postrojenja. Visoka pouzdanost u pogonu rezultat je opsežnih mehaničkih i električnih pojedinačnih ispitivanja svih modula. Sklopni moduli zahtijevaju minimalno održavanje dijelova koji podliježu trošenju i starenju. Trajanje i opseg radova ovisi o broju prekidanja kratkog spoja, učestalosti sklapanja i trajanja pogona. Informativno može se navesti da se rutinska kontrola provodi svakih 5 godina, mala revizija nakon 10 godina a velika revizija nakon 20 godina pogona. Garancija proizvođača za postrojenje jest 12 mjeseci nakon puštanja u pogon ili 18 mjeseci nakon isporuke.

3. POSTROJENJE 20 kV

3.1. Potrojenje 20 kV s prstenastim sabirnicama

Izbor jednopolne sheme postrojenja ovisi o koncepciji mreže i pouzdanosti napajanja. Osim tih kriterija važnu ulogu ima utjecaj sheme i izvedbe na dimenzije postrojenja. Na osnovi sadašnjih spoznaja o koncepciji modernih gradskih TS 110/10 i 110/20 kV moglo bi se kazati da je najpovoljnije srednjonaponsko postrojenje u izvlačivoj izvedbi s prstenastim sabirnicama. Jer, ovo rješenje je jednostavno, a u velikoj mjeri sadrži prednosti dosadašnjih postrojenja u fiksnoj izvedbi s dvostrukim i pomoćnim sabirnicama. TS 110/20 Zagreb-Sjever prva je od nekoliko objekata u kojima je projektirano postrojenje 20 kV u izvlačivoj izvedbi s prstenastim sabirnicama.

Prednost postrojenja 20 kV u izvlačivoj izvedbi jest ta što omogućuje brze i jednostavne zamjene prekidača. U transformatorskoj stanici treba imati dva rezervna prekidača na izvlačitim kolicima, jedan tip za transformatorsko i spojno polje, a drugi tip za ostala polja.

Prstenaste sabirnice su jednostruke sabirnice formirane u prsten, pri čemu je svaka sekcija podijeljena u dvije polusekcije i priključena na transformator preko dva prekidača. Budući da se zbog ograničenja struje tropolnog kratkog spoja u mreži 20 kV na 14,5 kA ne predviđa paralelan rad transformatora, prekidači u spojnom polju su otvoreni u normalnom pogonu. Za svako spojno polje potrebne su dvije ćelije, ćelija s prekidačem i prazna ćelija. Svaka sekcija sabirnica ima 2×7 vodnih polja. Prema tome postrojenje 20 kV ima ukupno 28 vodnih polja. Na svaku sekciju priključen je kućni transformator i kompenzacija jalove snage. Naponski transformatori i postrojenje mrežne tonfrekventne komande (MTK) priključeni su direktno na sekundar transformatora. Postrojenje 20 kV sastoji se ukupno od 44 ćelije.

Prsteni kabela 20 kV, koji su u normalnom pogonu otvoreni otprilike u sredini, počinju na jednoj polusekciji i završavaju na drugoj polusekciji iste sekcije. U slučaju kvara na sabirnicama dovoljno je samo jednu polusekciju staviti izvan pogona i na pripadnim izvodima izvršiti prespajanje. Pri tome ostaje u pogonu transformator i njegovo postrojenje MTK s nepromijenjenim opterećenjem. To je očita prednost u odnosu na danas često primjenjivano rješenje s jednostrukim sabirnicama, kod kojeg kvar na sabirnicama znači stavljanje izvan pogona čitave sekcije i pripadnog transformatora kao i više prespajanja u mreži. Za izvedbu postrojenja s prstenastim sabirnicama potrebne su četiri ćelije više u odnosu na postrojenje s jednostrukim sabirnicama.

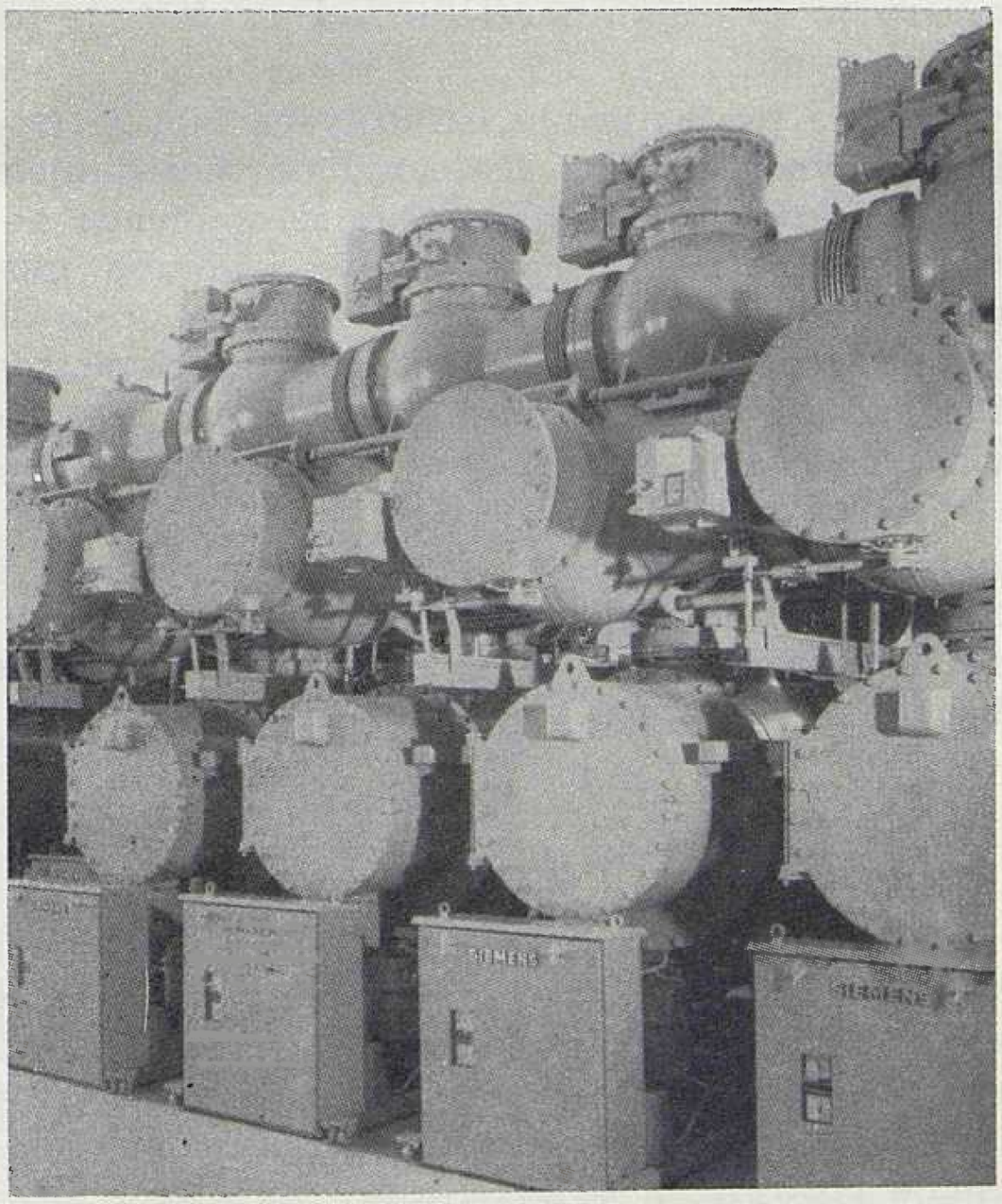
3.2. Izvlačiva izvedba postrojenja 20 kV

Postrojenje 20 kV sastoji se od tvornički gotovih ćelija oklopljenih limom, koje su postavljene uza

zid i imaju pristup samo sprijeda. Ćelije su raspoređene u dva reda onako kako je prikazano na jednopolnoj shemi. Ćelije su širine (koraka) 1 000 m, dubine 1 550 mm i visine 2 250 mm.

Ćelije (sklopni blokovi) sastoje se od nepokretnog dijela i izvlačivih kolica. Na izvlačivim kolicima smješten je malouljni prekidač, a u nepokretnom dijelu ostala srednjonaponska i niskonaponska oprema. Nepokretni dio razdijeljen je pregradama u četiri prostora: prostor izvlačivih kolica, sabirnički prostor, prostor sa strujnim transformatorom i dozemnim rastavljačem te poslužni ormarić. Pregrade sprečavaju širenje eventualno nastalog električnog luka, a ostvarena je i zaštita od približavanja dijelovima pod naponom. Primjenom izoliranih sabirnica postignuta je dodatna zaštita od nastanka odnosno širenja električnog luka. Poslužni ormarić, na kojem je slijepa shema te elementi za upravljanje i indikativno mjerenje, nalazi se iznad vrata. Vodne ćelije, ćelije kućnog transformatora, postrojenja MTK i kompenzacije jalove snage imaju u podrumu kabelski ormarić za smještaj kabelskih glava.

U pogonskom položaju sklopnog bloka prekidač je preko utičnih kontakata povezan sa sabirnicama i



Sl. 7. Tropolno oklopljeno postrojenje 110 kV ima širinu polja samo 1,4 m

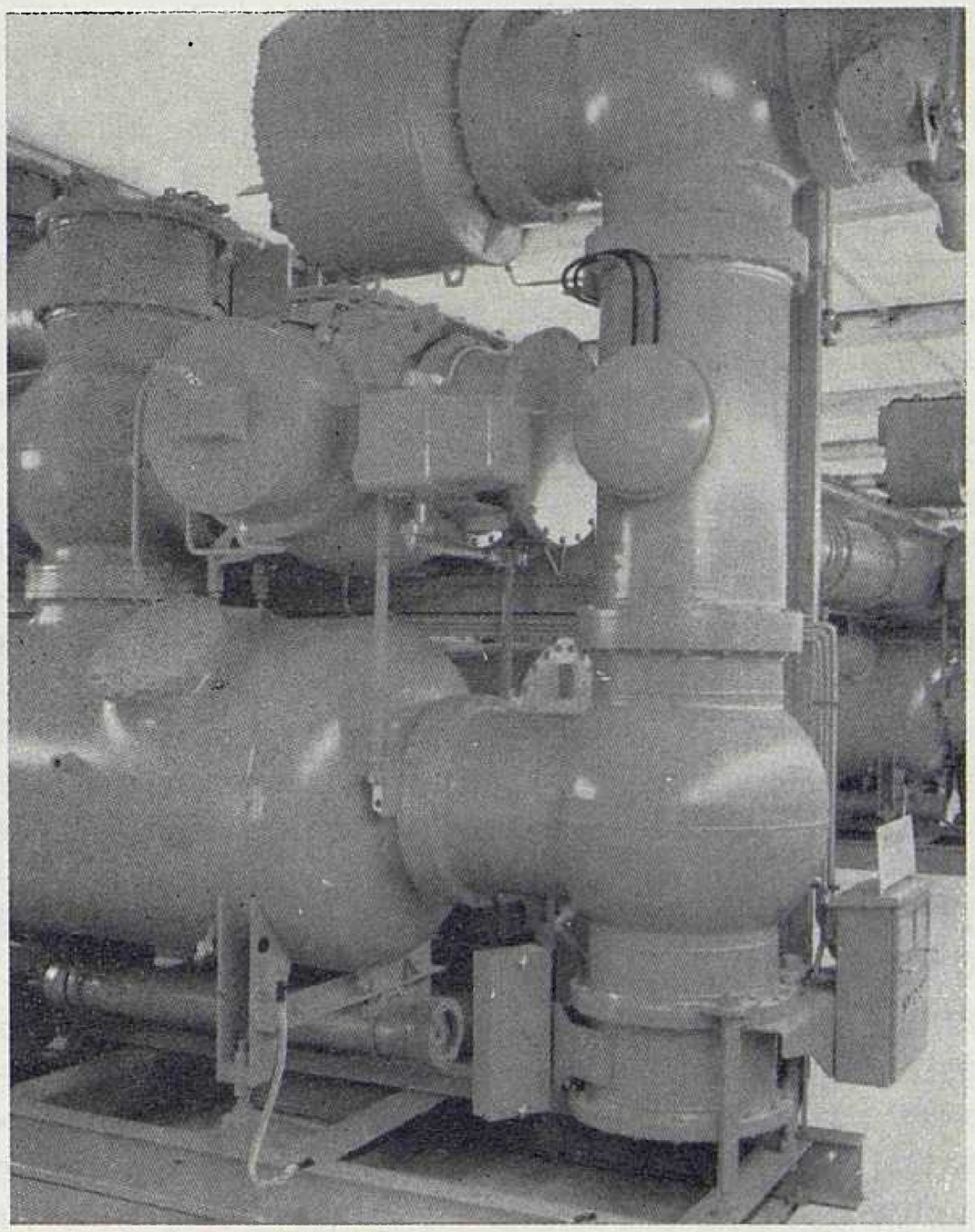
kabelom. Pri tome je blokirano izvlačenje prekidača. U ispitnom položaju prekidač je isklopljen a kolica izvučena tako da su utični kontakti razdvojeni. Pogon prekidača je ručni ili elektromotorni. Sklapanje dozemnog rastavljača moguće je samo kada se kolica izvuku iz ćelije.

Spoj između sekundara transformatora i postrojenja 20 kV izveden je izoliranim sabirnicama. Prikladnim kombiniranjem izoliranih sabirnica i izoliranih elemenata ostvaren je i direktni priključak mjernog polja i polja postrojenja MTK.

4. OSTALI PODACI O OBJEKTU

4.1. Dispozicijsko rješenje zgrade

Postrojenja 110 i 20 kV, transformatori i pomoćni uređaji smješteni su u zgradi dužine 26,60 m, širine 18,35 m i visine (nad zemljom) 12,30 m. U podrumu se nalazi prohodni kabelski prostor i uljne jame ispod transformatora. U prizemlju su smješteni energetski transformatori, otpornik za



Sl. 8. Postrojenje tipa 8D.6 ima mehanički vrlo čvrst čelični oklop

uzemljenje zvjezdišta, uređaj CO_2 za gašenje požara, postrojenje 20 kV, akumulatorska baterija, kućni transformatori, kondenzatori za kompenzaciju i postrojenje MTK. Na katu je smješteno postrojenje 110 kV, zaštita i mjerni slog, informacijski sistem, izmjenični i istosmjerni razvod, sanitarni čvor, radionica i spremište. Dvorana postrojenja 110 kV visoka je 8,20 m, dok su ostale prostorije na katu visoke 4,30 m.

Pri izradi dispozicijskog rješenja TS 110/20 kV Zagreb-Sjever težilo se optimalnom rasporedu pogonskih i pomoćnih prostorija. Smještaj postrojenja 20 kV u prizemlju omogućuje prikladan rasplet kabela 20 kV iz podruma. Budući da se postrojenje 110 kV nalazi na katu, veza s transformatorom je direktna (nije kabelska). Priključak kabela 110 kV normalno se izvodi s okomitim kući-

štem. Međutim, u ovom rješenju predviđen je vodoravni priključak zbog transporta prekidača za treće vodno polje koje se montira u konačnoj izgradnji. Kabeli 110 kV uvode se kroz šaht u transformatorskim komorama, što je povoljno jer ne utječu na prostorije u prizemlju.

Unošenje transportnih jedinica oklopljenog postrojenja 110 kV na kat obavlja se auto-kranom preko balkona uz koji se dogradi platforma. Zatim se oprema specijalnim kolicima vuče do dvorane u kojoj se nalazi kranski most s elektromotornim pogonom nosivosti 3,2 Mp. U podu kod stubišta predviđen je prekriveni otvor dimenzija 2 × 1,6 m koji se primjenjuje za transport pojedinih modula u slučaju popravaka.

4.2. **Energetski transformatori**

Predviđena su dva trofazna regulacijska uljna energetska transformatora 110/20 kV za vanjsku montažu. Transformatori su spojne grupe YyOd5, a tercijar se ne tereti (stabilizacioni namot). U prvoj etapi instaliraju se dvije jedinice snage 20 MVA s prespojivim sekundarnim namotom za napon 10 ili 20 kV i normalnim naponom kratkog spoja od 11%. U drugoj etapi dolaze dva transformatora snage 40 MVA s prespojivim sekundarnim namotom i povišenim naponom kratkog spoja od 20% (minimalni dozvoljeni, to jest bez minus tolerancije 17%). U konačnoj izgradnji predviđena su dva transformatora snage 63 MVA sa sekundarnim naponom 20 kV i naponom kratkog spoja od 15% (minimalni dozvoljeni 13%). Navedene vrijednosti napona kratkog spoja osiguravaju ograničenje struje (snage) tropolnog kratkog spoja na sekundarnoj strani na iznos od 14,5 kA (250 MVA kod 10 kV, 500 MVA kod 20 kV).

Budući da je na ovom području danju dopuštena razina buke, 35dB a noću 25dB, poduzete su mjere za ograničenje buke transformatora. Transformatori su smješteni u komore s vratima zazidanim punom opekom (sa strane se nalaze manipulativna vrata). Prisilna ventilacija komore ostvarena ventilatorima s automatskom regulacijom. Ventilatori su također izvor buke, pa su predviđene prigušne kulise. Zaštita od vibracija transformatora riješena je sekcioniranjem šina ispod kotača i ugradnjom specijalnih opružnih amortizera.

4.3. **Pomoćni uređaji**

Svi zaštitni uređaji smješteni su u relejnim ormarima u posebnoj prostoriji. Zaštita je elektronička izvedena kao modularan montažni sistem. U istoj prostoriji nalazi se kompletan mjerni slog koji je priključen na strani 20 kV. Mjerni slog je opremljen temeljnim i sumarnim brojilima radne i jalove energije te štampačima srednjih vrijednosti snage (maxiprint).

Lokalno upravljanje u postrojenju 110 kV obavlja se s komandnih ormara u poljima, a u postrojenju 20 kV s ćelija. U dispečerski centar prenose se informacije potrebne za daljinsko upravljanje, signalizaciju, mjerenje i alarm. Uređaj daljinskog upravljanja smješten je u odgovarajućoj prostoriji koja je opremljena instalacijom za izmjenično i istosmjerno napajanje. Postrojenje je povezano s uređajem daljinskog upravljanja preko odjelnih ormara.

Predviđena su dva postrojenja mrežne tonfrekventne komande priključena na energetske transformatore, a dimenzionirana za mrežnu snagu po 20 MVA u prvoj etapi (s mogućnošću prespajanja za napon 10 ili 20 kV) odnosno po 63 MVA u konačnoj izgradnji. Rješenjem s tri rastavne sklopke ostvarena je mogućnost fiktivne izmjene postrojenja MTK ako je jedno u kvaru.

U prvoj etapi nije predviđena kompenzacija jalove snage, dok će u konačnoj izgradnji na svakoj sekciji sabirnica 20 kV biti priključena po jedna kondenzatorska baterija. Osigurana je prostorija za dvije kondenzatorske baterije po 12 MVAr.

Kao izvor izmjeničnog napona predviđena su dva kućna transformatora snage po 400 kVA s preklopivim primarnim namotom za 10 ili 20 kV, od čega je jedan rezervni. Izvor istosmjernog napona je zatvorena olovna akumulatorska baterija nazivnog napona 220 V izvedena s dva tiristorska ispravljača u spoju za trajan paralelni rad, od čega je jedan rezervni.

Podloga za projektiranje uzemljivača bila je studija osnovnog uzemljivača izrađena korištenjem elektroničkog računala. Proračun je obuhvatio nekoliko varijanti, na osnovi čega je odabrano optimalno rješenje uzemljivača. Pri tome je uzeto da struja jednopolnog kratkog spoja na sabirnicama 110 kV Zagreb-Sjever iznosi 18 kA. Mreža uzemljivača izvedena je u dvije razine na maloj raspoloživoj površini.

Za zaštitu transformatora od požara instaliran je stabilni protupožarni uređaj s plinom CO_2. U slučaju požara čitava količina ugljičnog dioksida se ubacuje iz baterije u transformatorsku komoru.

5. ZAKLJUČAK

Izgradnja TS 110/20 kV Zagreb-Sjever značajan je korak u razvoju elektrodistributivne mreže Zagreba. Ovaj objekt karakterizira prvo postrojenje 110 kV izvedeno u SF_6 tehnici i potpuno nova koncepcija postrojenja 20 kV. Na taj način je realizirana jedna suvremena gradska transformatorska stanica velike instalirane snage i malih dimenzija.

Literatura:

1. A. Fagarazzi: Izbor sheme modernih gradskih transformatorskih stanica 110/10 i 110/20 kV s obzirom na koncepciju mreže i pouzdanost napajanja, XIV savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije — CIGRÉ, Sarajevo, 1979, Energija 5—6/1979.

2. V. Vujović: Glavni projekt električnog dijela TS 110/20 kV Zagreb-Sjever, Rade Končar, 1980.
3. P. Vovk, M. Turkulin: Glavni projekt građevinskog dijela TS 110/20 kV Zagreb-Sjever, Arhitektonski projektni zavod, 1980.
4 D. Fischer, W. Olsen, J. Palm: Dreipolig metallgekapselte, SF_6-isolierte Schaltanlage 8D. 6 für 123 bis 145 kV Nennspannung. Siemens-Zeitschrift 11/1975.
5. D. Fischer, P. Köpke, C. Pircher: Erweitertes Bausteinsystem der dreipolig metallgekapselten, SF_6-isolierten Hochspannungs-Schaltanlage 8D. 6. Siemens-Energietechnik 10/1979.
6. K. Feneberg, W. Grübel, M. Hunger: Die 123 kV-SF_6-isolierte Schaltanlage in Schweinfurt. Kommunalwirtschaft 2/1978.
7. Metalom oklopljeno sklopno postrojenje s izolacijom SF_6, tip 8D. 6 za 123—145 kV, Pogonske upute, Rade Končar 515012/1980.

KEY WORDS: SITY TRANSFORMING STATION
UNI-POLAR SHEME
SINGULAR COLLECTORS
RING COLLECTORS
INSULATIO WITH SF_6

ПЕРВАЯ ЗАЦРЕБСКАЯ ПОДСТАНЦИЯ 110/20 кВ С РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМ УСТРОЙСТВОМ 110 кВ, ИЗОЛИРОВАННЫМ ЭЛЕГАЗОМ

Описаны конструкция и исполнение сооружаемой современной городской подстанции 110/20 кВ »Загреб-Север«. Для однолинейной схемы характерны одинарные шины 110 кВ и замкнутые в кольцо шины 20 кВ. Распредустройство 110 кВ выполнено в трехполюсных кожухах и изолировано элегазом. Распредустройство 20 кВ бронировано стальным листом с видвижными выключателями. Два трансформатора мощностью до 63 МВА каждый установлены в отдельных камерах.

ZAGREB FIRST TRANSFORMING STATION OF 110/20 kV WITH 110 kV BLOCK USING SF_6 TECHNIQUE

Therein, a concept and the building of modern city transforming unit 110/20 kV Zagreb-north, is described, which is being constructed now. This single-polar layout is characteristic by the singular collectors on the 110 kV side, and ring collectors on the 20 kV side. 110 kV system is tri-polar shielded and insulated using SF_6 gas. 20 kV system is of pull-out tipe and tin-shielded. The two 63 MVA transformer units are installed in chambers.

DIE ERSTE MIT EINER SF_6 ANLAGE AUSGEFÜHRTE 110/20 kV TRANSFORMATORENSTATION IN ZAGREB

Beschrieben wird die Konzeption und Ausführung einer zeitgemässen 110/20 kV Transformatorenstation Zagreb-Nord, die derzeit errichtet wird. Das einpolige Schaltbild zeigt die 110 kV Einfachsammelschienen der Oberspannungsseite und die in Ring geschaltete 20 kV Seite. Die 110 kV Anlage ist dreipolig gepanzert und mit SF_6-Gas isoliert. Die 20 kV Anlage ist blechgekapselt mit ausziehbaren Schalteinheiten. Zwei Transformatoren mit einer Leistung bis 63 MVA sind in Kammern aufgestellt.

Naslov pisca:

Antun Fagarazzi, dipl. ing.
Elektra, Zagreb

Rukopis primljen u redakciju 10. travnja 1981.

TERMOELEKTRANA „RIJEKA 1”

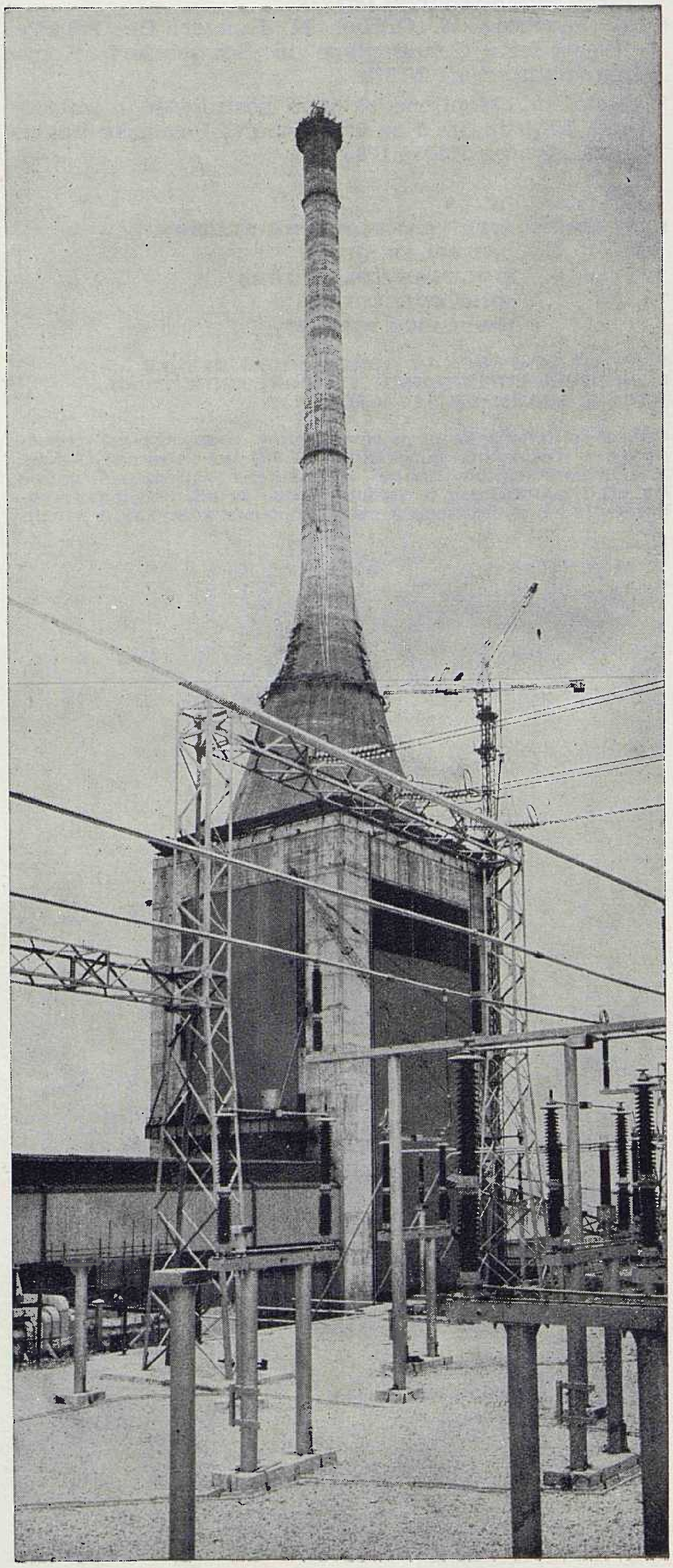
INSTALIRANA SNAGA

1×320 MW

GORIVO

teško loživo ulje
koksni plin

U 1978. GODINI OTPOČELA S PROIZVODNJOM ELEKTRIČNE ENERGIJE



51221 KOSTRENA

telefon: 44–810, 44–533,
telex: 24413 YU INATER

Energija God 30 (1981) br. 9—10, 437—443

MERENJE NEELEKTROTEHNIČKIH VELIČINA U TERMOELEKTRANI

Mr Dragoljub Piperski, Priština

UDK 621.311.22:621.317
PREGLEDNI RAD

U članku se opisuju principi mjerenja termotehničkih veličina koje omogućuje praćenje toka procesa u termoelektranama, te načini izvedbe i ugradnje koji osiguravaju maksimalnu točnost mjerenja.

Ključne riječi:
Termoelektrana
Mjerenja
Termotehničke veličine

UVOD

Merna informacia o toku tehnološkog procesa i stanju postrojenja u termoelektrani sadrži osnovne podatke o termotehničkim veličinama koje se dobijaju pomoću mernih uređaja ili mernih sistema. Tehnološki proces u termoelektrani karakterišu najčešće vrednosti temperatura, pritisaka i protoka a zatim vrednosti nivoa i sastava tečnih i gasnih materija i ređe druge veličine.

Radi dobijanja informacija o procesu primenjuju se različiti uređaji za merenje. Osnovni su merni instrumenti koji stvaraju signal merne veličine u obliku koji je dostupan za neposredno praćenje i koji imaju normirane metrološke osobine.

Merni instrumenti mogu da budu: pokazni, registracioni i indikatorski (za pokazivanje postojanja ili nepostojanja signala). Instrumenti mogu da imaju dopunske uređaje za signalizaciju, regulaciju, daljinski proces pokazivanja itd.

Merna informacija najčešće ulazi u merni pretvarač koji transformiše informacioni signal u oblik koji je pogodan za dalje korišćenje. Izlazni signal pretvarača je najčešće električni ili pneumatski. Električni pretvarački uređaji najčešće imaju standardni izlazni signal od 0÷20 mA ili 4÷20 mA jednosmerne struje.

Sekundarna merna informacija vodi se sa mernih pretvarača na pokazne ili registracione instrumente ili direktno u automatske regulatore i digitalne računske mašine za centralizovanu kontrolu stanja postrojenja.

Prirodni signali termoelektromotorne sile termospregova često se koriste bez mernih pretvarača. Skale svih sekundarnih instrumenata koji se povezuju na merne pretvarače izvode se u potpunom skladu sa skalama analognih primarnih instrumenata.

Unifikacija signala obezbeđuje zamenjivost primarnih i sekundarnih uređaja i omogućuje smanjenje broja sekundarnih i primarnih uređaja i višestruko korišćenje signala jednog primarnog uređaja za različita kola (merenje, regulaciju, upravljanje i dr.).

Kod izbora konkretnog mernog uređaja (ili kompleta uređaja) i ocenjivanja njegovog kvaliteta i osobina koriste se metrološke karakteristike i pokazatelji pouzdanosti mernih uređaja.

Centralizacija upravljanja postrojenjem dovela je do centralizacije kontrole tehnološkog procesa i stanja postrojenja, što nije ostalo bez odraza i na merne uređaje. Drugi uslov koji je izazvao primenu savremenih, tačnih i pouzdanih uređaja je pojava visokih parametara u termoenergetici, pojava agregata velike jedinične snage i pitanje pouzdanosti postrojenja.

Navedeni razlozi doveli su do skoro potpune zamene ranije primenjivanih jednostavnih direktnih mernih uređaja složenim automatskim elektronskim uređajima za daljinski prenos pokazivanja koji odgovaraju novim uslovima rada. Treba takođe da se primeti da se ponekad vrši neopravdana zamena jednostavnih mernih uređaja složenim, što samo dovodi do znatnog poskupljenja uređaja za merenje i automatizaciju. U nizu slučajeva potpuno je celishodno koristiti jednostavne uređaje (manometre, nivometre i dr.).

U uslovima uvođenja velikih energetskih blokova u termoelektrane posebnu važnost dobija pitanje unifikacije usvojenih aparatura i uređaja. Zbog toga se bira ograničena nomenklatura uređaja koji se primenjuju za sva glavna i pomoćna postrojenja. Za tehnička merenja u termoelektranama koriste se industrijski merni uređaji. Izbor potrebne tačnosti mernog uređaja određuje se polazeći od obezbeđenja sigurnog rada postrojenja, ekonomičnosti postrojenja i eksploatacione neophodnosti. Tačnost uređaja se reguliše odgovarajućim propisima, normama ili tehničkim uslovima. Za određivanje tehničko-ekonomskih pokazatelja postrojenja potrebni su primarni i sekundarni merni uređaji povećane tačnosti. Tako, na primer, za izračunavanje utro-

šene količine toplote za proizvedeni kilovatčas električne energije potrebna je srednja vrednost takvih veličina kao što je prtisak i temperatura na osnovu kojh se određuje entalpija, specifična zapremina pare i protok pare. Tačnost rezultata biće utoliko veća ukoliko je veća tačnost pojedinih veličina koje ulaze u računske obrasce.

Kod korišćenja digitalnih računskih mašina za izračunavanje tehničko-ekonomskih pokazatelja, uređaja za merenje pritiska i protoka treba da imaju klasu tačnosti manju od 0,5.

Merenje temperature

Postoje sledeći osnovni oblici termometara za merenje temperature u pogonskim uslovima:

1. Tečni termometri čiji se rad zasniva na korišćenju toplotnog širenja tečnosti. Oni se primenjuju za temperature od —190 do 600 °C.

2. Manometarski termometri čiji se rad zasniva na korišćenju zavisnosti pritiska radnog medijuma od temperature (uz stalnu zapreminu).

3. Termoelektrični termometri čiji se rad zasniva na korišćenju zavisnosti termoelektromotorne sile termosprega (osetljivog elementa termoelektričnog termometra) od temperature. Koriste se za merenja u opsegu od —200 °C do 1600 °C.

4. Otporni termometri čiji se rad zasniva na korišćenju zavisnosti promene električnog otpora od temperature. Koriste se u opsegu od —200 °C d 500 °C.

5. Termometri čiji se rad zasniva na korišćenju toplotnog zračenja zagrejanih tela nazivaju se pirometri. Oni se koriste za merenje visokih temperatura — iznad 700 °C.

Kod merenja temperature kontaktnim metodama temperatura osetljivog instrumenta često se suštinski razlikuje od temperature okolne sredine zbog sistematskih grešaka koje prouzrokuju mnogi uzroci kao što su:

1. razmena toplote zračenjem između osetljivog elementa i površine koja se zagreva ili hladi,

2. odvođenja toplote od osetljivog dela termometra u spoljnu sredinu,

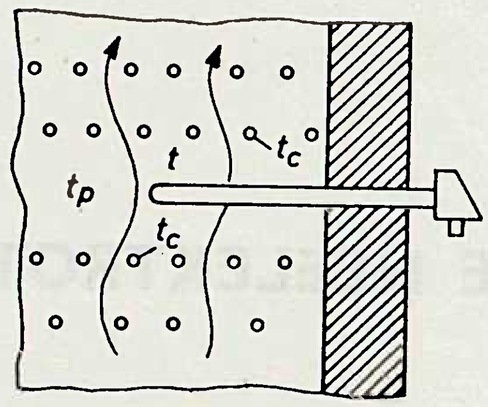
3. delovanja velike brzine strujanja fluida čija se temperatura meri,

4. brze promene temperature merene sredine (dinamičke greške).

Ako se znaju uslovi nastajanja ovih grešaka, mogu se odrediti i putevi za njihovo suštinsko smanjivanje.

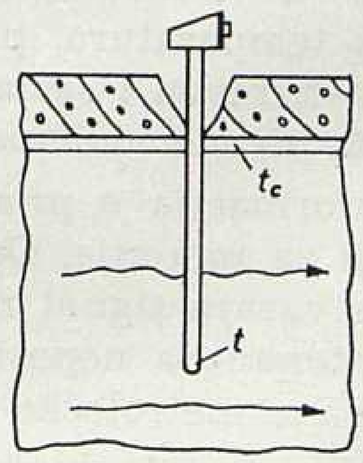
Greška zbog razmene toplote zračenjem nastaje kod merenja temperature struje u zoni intenzivne razmerene toplote kada struja odaje (ili dobija) toplotu površinama zagrevanja (ili hlađenja) čija se temperatura suštinski razlikuje od temperature struje.

Neka je temperatura t_p veća od temperature zidova t_c (sl. 1). U ovakvim uslovima više zagrejani termometar odaje toplotu zračenjem manje zagrejanim zidovima zagrevnih površina. S druge strane, termometar dobija toplotu od struje ako postoji razlika temperatura između struje i termometra (t_p—t). Vrednost temperature koju pokazuje termometar nalazi se između temperature struje i temperature zagrevnih površina: $t_p > t > t_c$. Pri velikim temperaturama sistematska greška može da dostigne stotine stepeni.



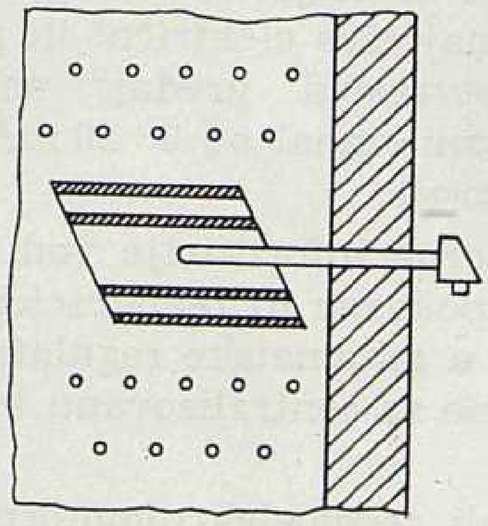
Sl. 1.

Sistematska greška nije stalna. Ona zavisi od brzine struje, temperature struje i zidova, uslova razmene toplote zračenjem (koeficijenta zračenja, zaprljanosti zagrevnih površina). Tačno određivanje vrednosti grešaka je težak zadatak. U praksi se teže smanjenju ove greške do najniže vrednosti. Ako termometar ne »vidi« zagrevnu površinu ili ako je temperatura t_c zidova koji okružuju struju bliska temperaturi t_p struje, tada je greška zbog razmene toplote zračenjem praktično bliska nuli (sl. 2).



Sl. 2.

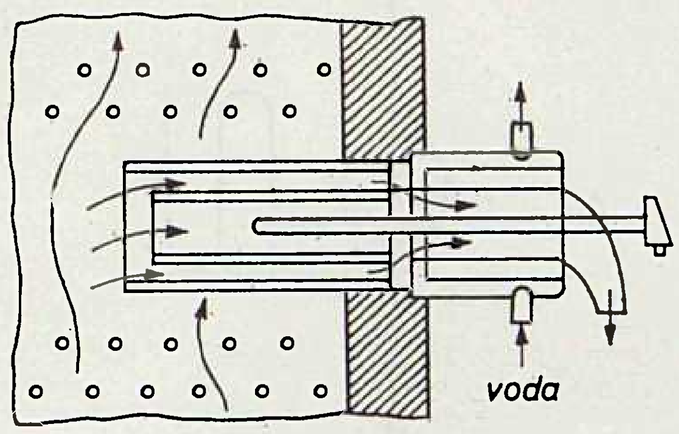
U zonama intenzivne razmene toplote greška se može smanjiti nekoliko puta (ali ne potpuno) putem ekrana (sl. 3). Može da se primeni veći broj ekrana, ali to dovodi do konstruktivnih i eksploatacionih teškoća.



Sl. 3.

Pri merenju temperatura u zonama intenzivne razmene toplote za vreme specijalnih ispitivanja primenjuju se usisni uređaji,

Gasna struja čija se temperatura t_p meri usisava se posebnim ejektorom (sl. 4) koji stvara oko osetljivog dela termometra veliku brzinu struje (reda 100 m/s). U poređenju sa dvoslojnim ili troslojnim

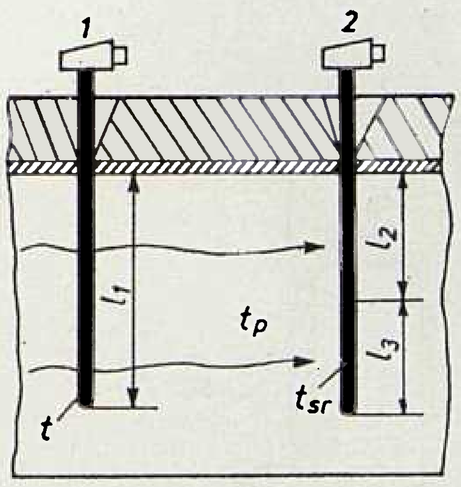


Sl. 4.

ekranima ovo suštinski smanjuje grešku zbog razmene toplote zračenjem. Vodeni hladnjak olakšava uslove transporta odvedene gasne struje.

Nedostatak usisnih uređaja je veliki gubitak energije za usisavanje i mogućnost brzog začepljenja kanala na usisnim uređajima usled nesagorelog goriva ili pepela.

Greške zbog odvođenja toplote sa osetljivog dela termometra u spoljnu sredinu nastaju u slučajevima kada greška zbog razmene toplote zračenjem praktično ne postoji. Ova greška nastaje usled razlike temperature osetljivog dela termometra i spoljnog dela termometra. Odvod toplote se vrši preko zaštitne čahure i drugih konstruktivnih delova termometra.

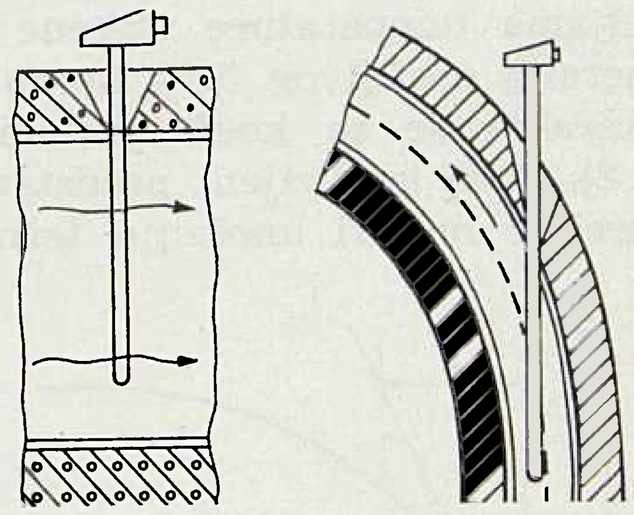


Sl. 5.

Zbog odvoda toplote nastaje razlika temperatura (sl. 5) između merene sredine (t_p) i radnog kraja termoelektričnog termometra (t) koji je označen sa 1 ili srednje temperature t_{sr} osetljivog dela otpornog termometra 2. Kod otpornog termometra osetljivi deo termometra nalazi se na dužini 1_3 (a ne u jednoj tački kao kod termoelektričnog termometra 1).

Greška usled odvođenja toplote u spoljnu sredinu zavisi od mnogih faktora. Ona se smanjuje sa povećanjem koeficijenta odvođenja toplote od merene sredine prema osetljivom delu termometra i pri povećanju brzine struje. Dalje, ona se smanjuje sa smanjivanjem toplotne provodnosti materijala zaštitne čaure i sa smanjivanjem debljine zidova čaure. U uslovima eksploatacije na navedene faktor se obično n može delovati.

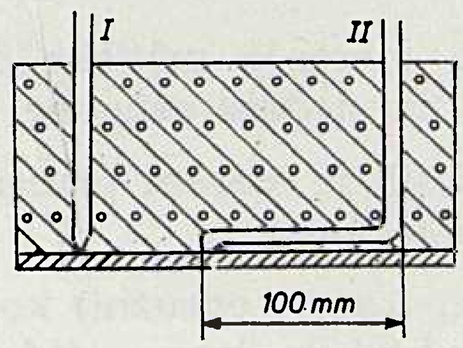
Znatno lakše i jednostavnije se smanjuje greška odvođenja toplote u spoljnu sredinu uvećanjem dubine postavljanja termometra l_1 (ili l_2). Na ovaj način se može smanjiti greška praktično do nule (sl. 5).



Sl. 6.

Obično se ne zahteva postavljanje termometra tako da je osetljivi deo smešten u osi cevovoda. Ako se termometar postavi kako je pokazano na sl. 6, suštinski se smanjuje greška zbog odvođenja toplote u spoljnu sredinu.

Pri postavljanju termometara (termospregova) za merenje temperature površine tvrdih tela može takođe da se pojavi greška zbog odvođenja toplote u spoljnu sredinu kroz provodne delove termometara. Najčešće se vrši merenje temperature metalnih površina ispod sloja toplotne izolacije. Od dve varijante postavljanja termoelektričnih termometara koje su pokazane na sl. 7. ne preporučuje se primena varijante I.



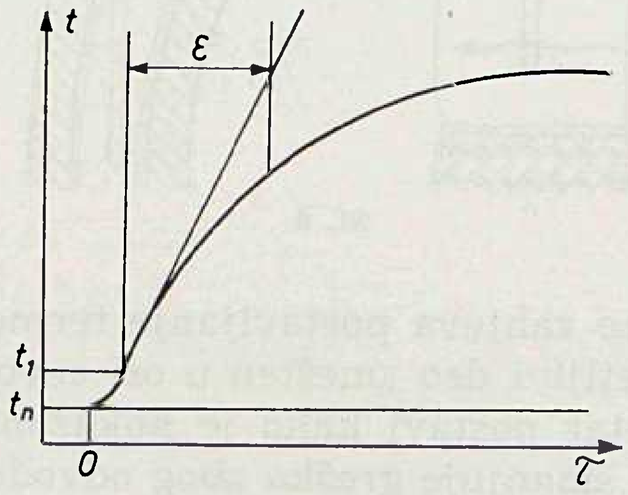
Sl. 7.

Pri postavljanju po varijanti II termoelektrični provodnici na dužini približno 100 mm prolaze kroz zonu temperatura koje su bliske temperaturi površine. U ovom slučaju je deformacija temperaturnih polja kod radnog kraja termometra i greška zbog odvođenja toplote suštinski manja nego pri postavljanju po varijanti I.

Greška zbog velikih brzina strujanja radnog fluida nastaje zbog toga što dolazi do kočenja struje koja na svom putu sreće osetljivi deo termometra. Kinetička energija dela struje koja je zakočena termometrom pretvara se u toplotu i povećava temperaturu ovog dela struje a samim tim i termometra. Zato je temperatura koju meri termometar viša nego ostalog znatno većeg dela struje. Greška zbog velike brzine struje raste proporcionalno kvadratu brzine i postaje praktično značajna kod brzina reda 100 m/s. Greška će biti utoliko manja ukoliko je veći toplotni kapacitet merene sredine. Praktično je uticaj ove greške u termoenergetskim postrojenjima zanemarljiv.

Pri ocenjivanju datih grešaka pretpostavljalo se da je temperatura merene sredine stalna. Varijacije temperature merene sredine ispoljavaju se sa

kašnjenjem na termometar zbog toplotne inercije osetljivog dela termometra. Što je manja toplotna inercija termometra, to će pokazivanje biti približnije varijacijama temperature merene sredine.
Toplotna inercija osetljivog dela kontaktnog termometra karakteriše se koeficijentom toplotne inercije (sl. 8). Ovaj koeficijent predstavlja vreme koje je potrebno da pri unošenju termometra u



Sl. 8.

sredinu sa stalnom temperaturom razlika temperatura sredine i temperature termometra bude 0,37 od vrednosti koju on ima kod regularnog termičkog režima.
Koeficijent toplotne inercije definiše se za odavanje toplote od merene sredine prema termometru ili se uslovi posebno dogovaraju.

Merenje pritiska

Instrumenti za merenje pritiska dele se, prema principu rada, na sledeće osnovne grupe:

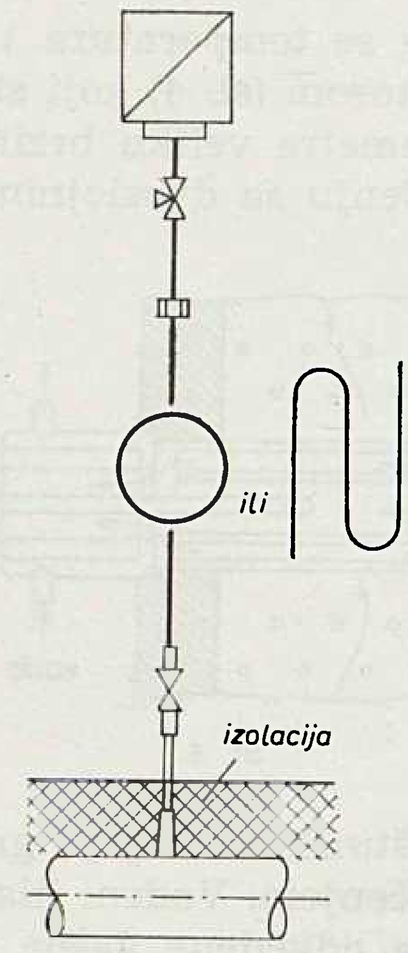
a) tečni, kod kojih je mereni pritisak uravnotežen pritiskom stuba tečnosti,

b) deformacioni (ranije opružni) kod kojih se mereni pritisak određuje prema deformaciji opruge osetljivog elementa ili njime razvijene sile,

c) težinski, kod kojih se mereni pritisak uravnotežava pritiskom koji stvaraju težina klipa i tegovi,

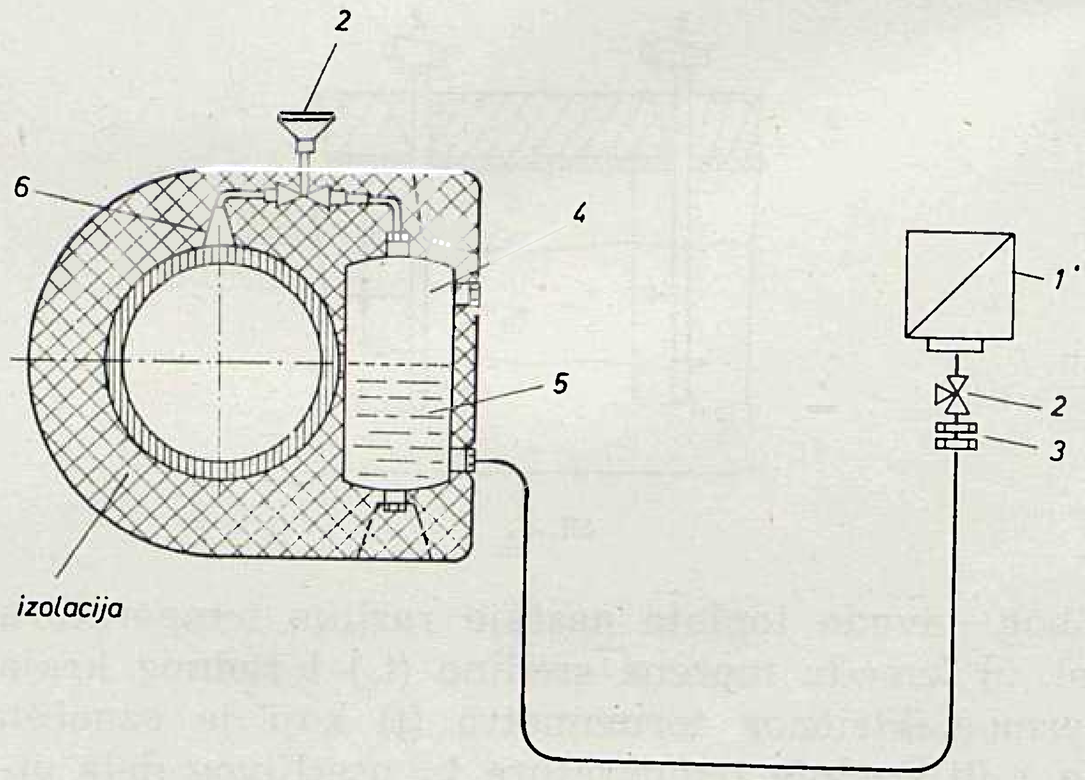
d) električni, koji se zasnivaju na zavisnosti električnih parametara manometarskog pretvarača od merenog pritiska.

Kod instrumenata koji mere pritisak treba da se isključi uticaj merene sredine s visokom temperaturom na osetljivi element manometra. Zbog toga se između mesta merenja pritiska i instrument postavlja spojna linija bez termičke izolacije takve dužine da je temperatura osetljivog elementa praktično jednaka temperaturi okolnog vazduha.
Pri merenju pritiska vodene pare jednostavna cev ne može uvek da zaštiti instrument od velike temperature. Ako je instrument postavljen iznad tačke merenja, tada će para koja se kondenzuje u cev da se sliva u parovod pa će cev i osetljivi deo instrumenta biti ispunjeni parom visoke temperature. U ovakvim slučajevima ispred instrumenta se postavlja kružna cev - sifon u koju se sakuplja kondenzat koji se postupno hladi do temperature okolne sredine i igra ulogu vodenog zatvarača (sl. 9).



Sl. 9.

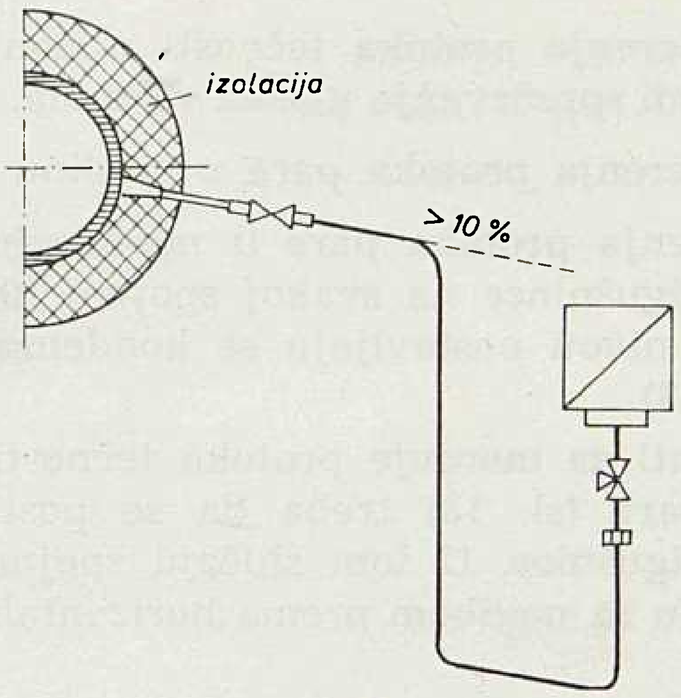
Na početku i kraju linije obično se postavljaju zaporni ventili. Kod male dužine linije i malog pritiska pare koristi se jedan zaporni ventil. Često se ispred instrumenta postavlja trokraki ili posebni zaporni ventil za produvavanje spojne linije.
Kod merenja pritiska agresivnih fluida kao i fluida koji se zgušnjavaju kod običnih temperatura vazduha, na primer za neke vrste mazuta, na mestu merenja postavljaju se specijalne razvodne posude (sl. 10).



Sl. 10.
1 — merni pretvarač; 2 — izolacioni ventil; 3 — spojni komad; 4 — razdvojna tečnost; 5 — glicerin; 6 — oduzimno mesto

Sve spojne linije postavljaju se pod nagibom koji isključuje mogućnost obrazovanja vazdušno-gasnih mehurića u linijama koje su ispunjene tečnošću ili kondenzatom ili obrnuto kondenzata u linijama koje su ispunjene gasom. Zatim treba da bude predviđena mogućnost periodičnog odstranjivanja vazduha - gasa ili kondenzata iz linije - produvavanje (sl. 11).

Dužina linije ne treba da pređe 30 ÷ 50 m. Za veća rastojanja obično se primenjuju uređaji za daljinski prenos pokazivanja.



Sl. 11

Merenje protoka

U pogonskim uslovima merenje protoka se vrši na sledeće načine:

a) prema promenljivom padu pritiska struje fluida na lokalnoj mernoj prigušnici standardnog ili nestandardnog profila,

b) prema stalnom padu pritiska na posebnom pokretnom otporu u struji radnog fluida,

c) na elektromagnetskom (indukcionom) principu, prema elektromotornoj sili koja se indukuje u elektroprovodnoj tečnosti koja preseca magnetno polje,

d) na tahometarskom principu prema učestanosti okretanja rotora ili nekog drugog elementa koji je postavljen u struji radnog fluida.

Brojila količine protoka koriste ova dva principa:

a) tahometarski koji je sličan merenju protoka, ali bez uređaja za očitavanje trenutnog stanja protoka,

b) zapreminski koji određuje količinu radnog fluida prema broju jednako izmerenih zapremina (doza).

Pojedini oblici merača protoka i brojila proteklih količina ne mogu da se primene u svim slučajevima.

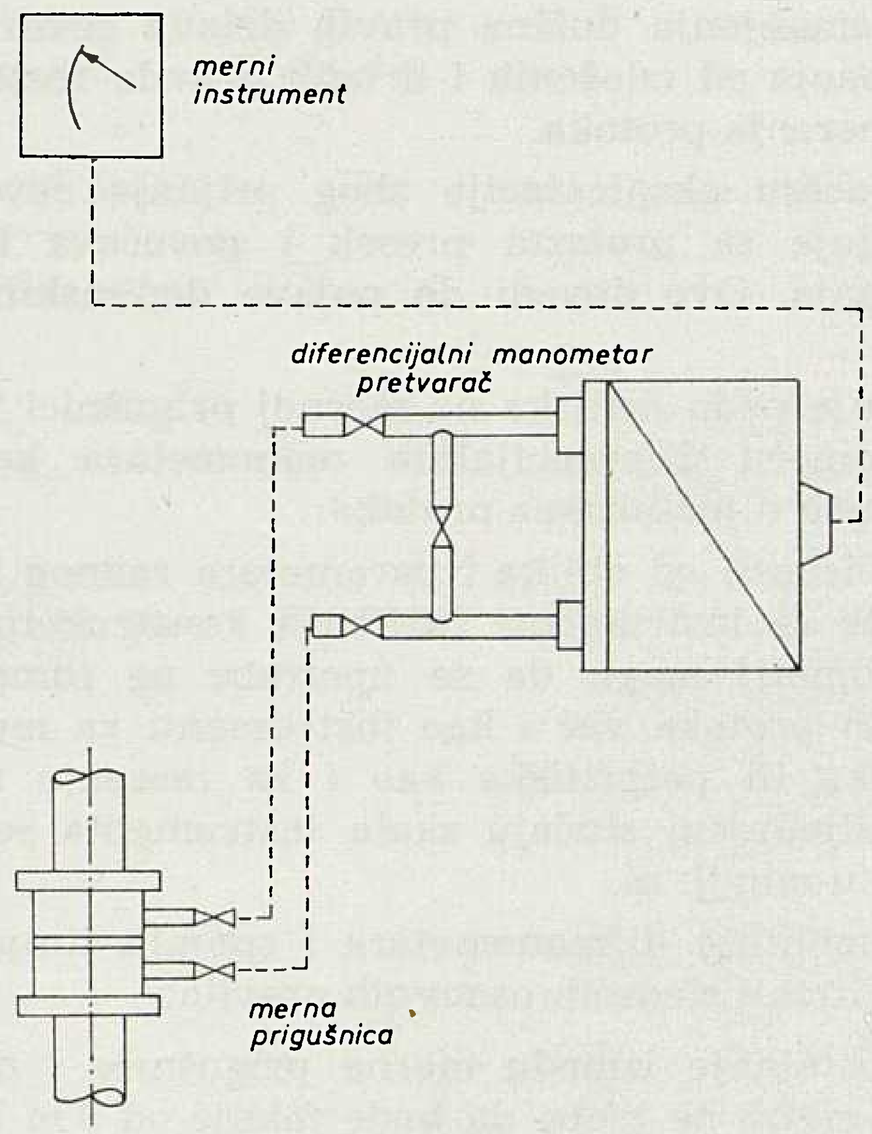
Najuniverzalniji su merači protoka sa promenljivim padom pritiska. Oni su pogodni za tečne, parne i gasne radne fluide praktično svih pritisaka i temperatura kao i za cevovode velikih prečnika.

Kod drugih merača protoka ograničenja su veća i zavise od pritiska i temperature, od prečnika cevovoda i drugih uslova.

Brojila proteklih količina se ređe primenjuju.

Princip merenja protoka prema padu pritiska na merenoj prigušnici zasnovan je na promeni potencijalne energije radnog fluida koji prolazi kroz veštački suženi prolazni presek cevovoda (mernu prigušnicu).

U sklop uređaja za merenje protoka ulazi (sl. 12): merna prigušnica, diferencijalni manometarski pretvarač koji meri pad pritiska i pretvara ga u električni signal i sekundarni instrument koji je graduisan u jedinicama protoka.



Sl. 12

Tačnost merenja protoka pomoću mernih prigušnica nije potpuno zadovoljavajuća, i to je glavni nedostatak ove merne metode, dok je značajna prednost da prigušnica nema pokretnih delova. U toku rada tačnost opada zbog trošenja ivica prigušnice kao posledica erozije i korozije koje nastaju usled delovanja radnog fluida koji protiče kroz nju.

Tačnost merenja zavisi od merne prigušnice i same metode merenja. Zato ukupna greška sadrži u sebi:

— sistematsku grešku

— grešku tehnološke izrade merne prigušnice

— grešku montaže merne prigušnice i ostale opreme.

O izradi i montaži mernih prigušnica postoje pravila koja moraju da budu zadovoljena da bi greška bila što manja. Važe sledeća osnovna pravila:

— Otvor prigušnice treba da bude postavljen strogo koncentrično u odnosu na cevovod i strujanje.

— Unutrašnji prečnik ulazne i izlazne komore treba tačno da se izravna sa unutrašnjim prečnikom cevovoda.

— Cevovod treba da bude očišćen od montažnih ostataka.

Merne prigušnice se mogu postavljati na vertikalnim, horizontalnim i nagnutim delovima cevovoda, ali obavezno treba da postoje pravi delovi cevovoda do prigušnice i iza prigušnice. Dužina pravog dela iza prigušnice treba da bude ne manja od 5D (D je spoljni prečnik cevovoda). Minimalno dopuštena dužina pravog dela do prigušnice zavisi od lokalnih otpora do prigušnice, načina merenja pada pritiska i dr. i daje se u tabelama.

Kod smanjenja dužina pravih delova cevovoda i odsupanja od izloženih i drugih pravila raste greška merenja protoka.

U procesu eksploatacije zbog prljanja cevovoda smanjuje se prolazni presek i povećava brzina strujanja. Ovo dovodi do pojave dopunskih grešaka.

Merenje pada pritiska na mernoj prigušnici izvodi se pomoću diferencijalnih manometara koji se graduišu u jedinicama protoka.

U zavisnosti od oblika i parametara radnog fluida koriste se instrumenti različitih konstrukcija. Difmanometri mogu da se upotrebe ne samo kao merači protoka već i kao instrumenti za merenje pritiska ili potpritiska kao i za merenje nivoa. U posljednjem slučaju skala instrumenta se graduiše u mm ili m.

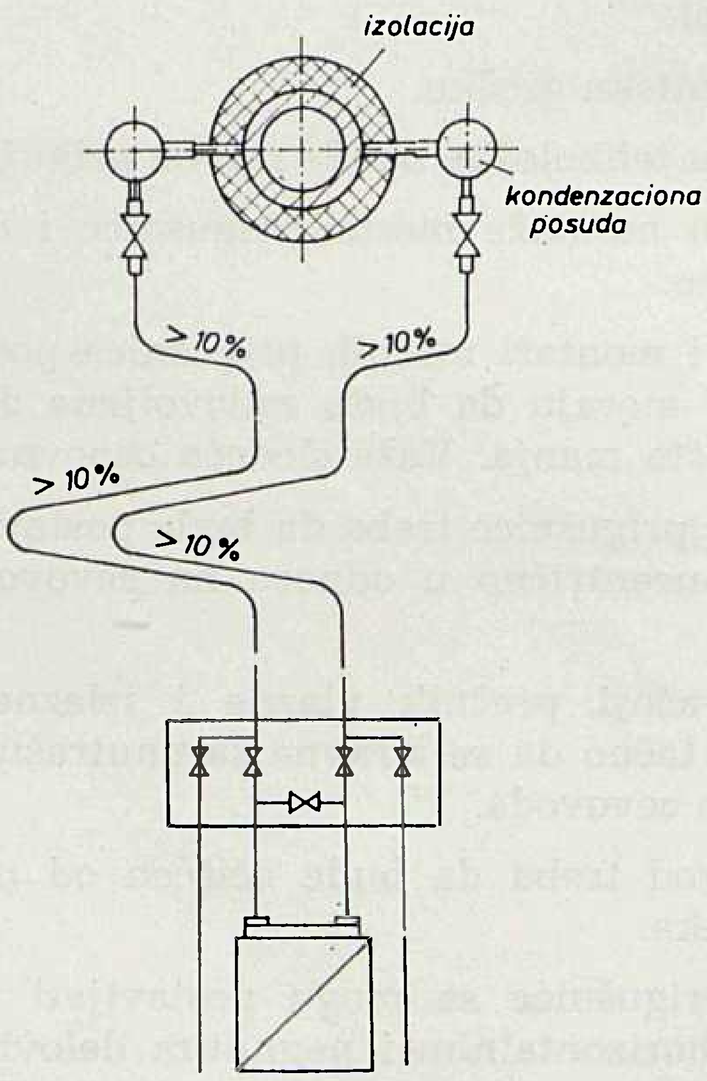
Kod montaže difmanometara i spojnih linija treba se držati sledećih osnovnih pravila:

— Rastojanje između merne prigušnice i difmanometra ne treba da bude manje od 3 m i veće od 50 m.

— Difmanometri se postavljaju strogo vertikalno.

— Spojne linije treba da imaju unutrašnji prečnik ne manji od 8 mm.

Spojne linije se prave od bakarnih cevi a za velike pritiske od čeličnih cevi. Kod merenja protoka vazduha i gasova niskog pritiska spojne linije se prave od gasnih cevi. Na mestu merenja obavezno je postavljanje zapornih ventila.



Za horizontalne i nagnute cevovode priključivanje spojnih linija na mernu prigušnicu izvodi se:

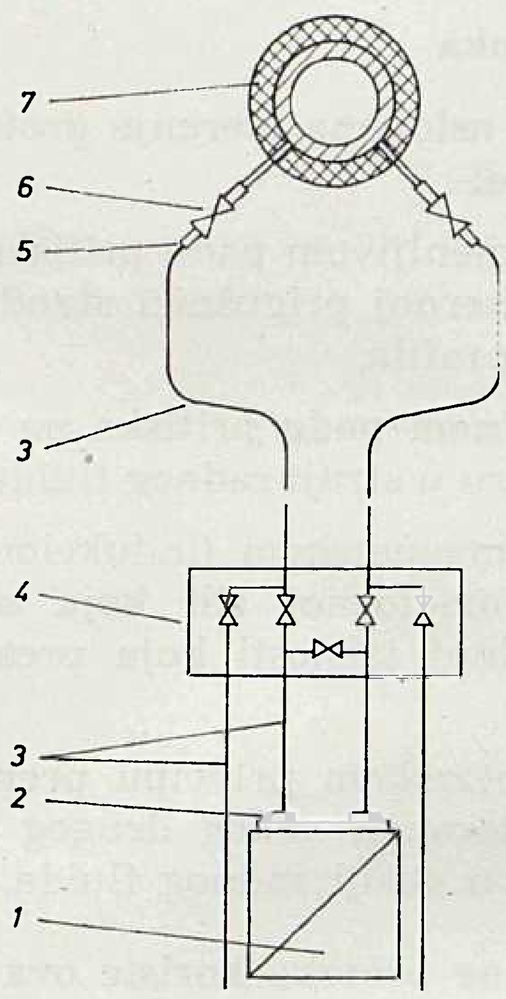
a) kod merenja protoka vazduha i gasova u gornjem delu cevovoda radi sprečavanja ulaska vlage u spojne linije,

b) kod merenja protoka tečnosti u donji deo cevovoda radi sprečavanja ulaska vazduha,

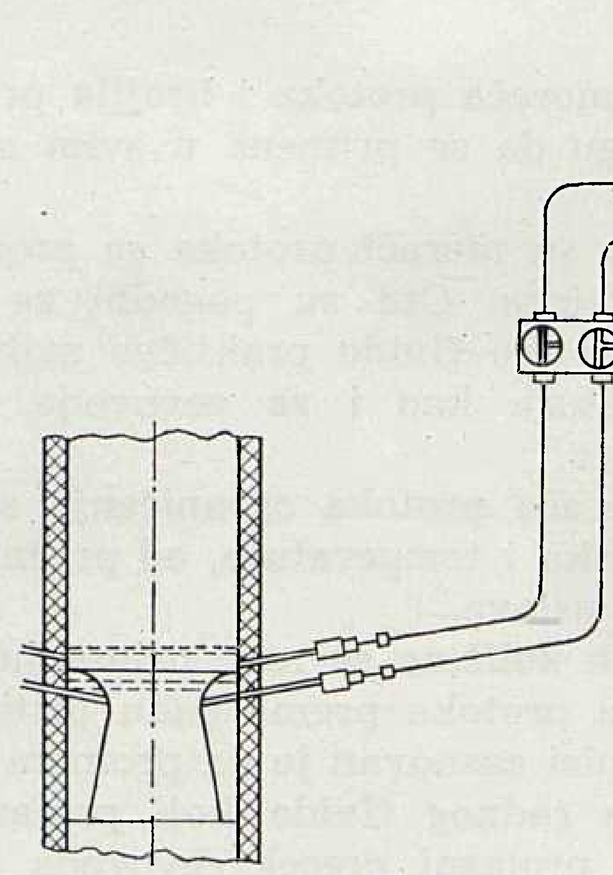
c) kod merenja protoka pare u sredinu cevovoda.

Kod merenja protoka pare u neposrednoj blizini merne prigušnince na svakoj spojnoj liniji strogo na istom nivou postavljaju se kondenzacione posude (sl. 13).

Instrumenti za merenje protoka tečnosti (sl. 14) i vodene pare (sl. 13) treba da se postave ispod merne prigušnice. U tom slučaju spojne linije se postavljaju sa nagibom prema horizontali koji nije

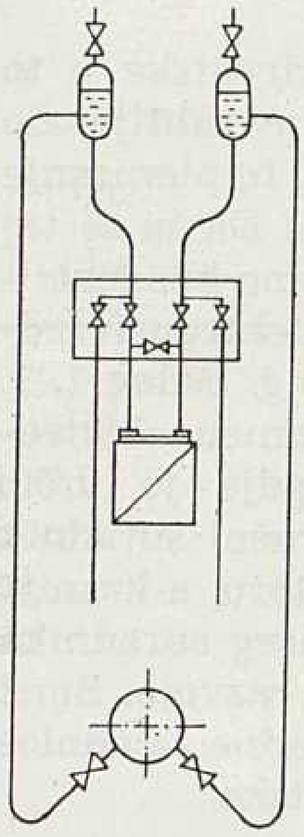


Sl. 14.
1 — merni pretvarač; 2 — priključci; 3 — cjevovod; 4 — petostrani ventil; 5 — prelazni komad; 6 — izolacioni ventil; 7 — merna prigušnica

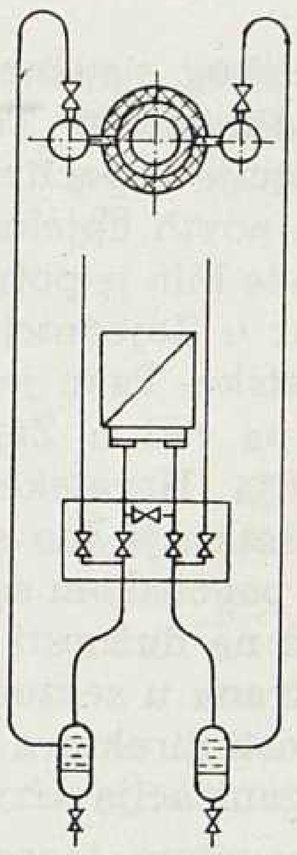


Sl. 15

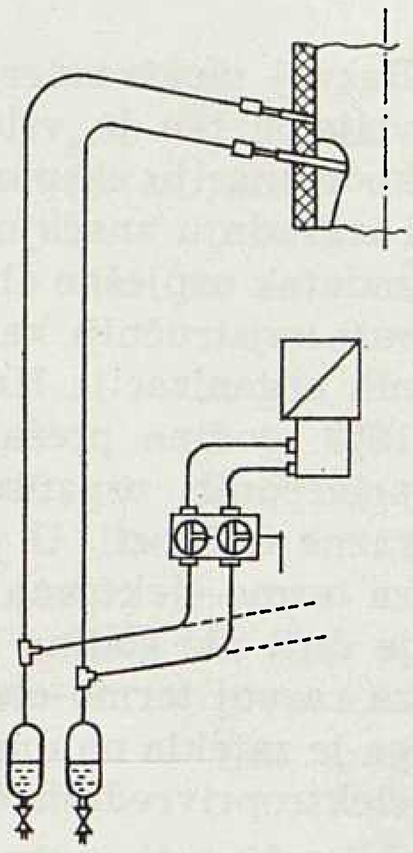
manji od 1 : 10 u smeru instrumenata radi slobodnog udaljavanja vazduha koji se izdvaja iz spojnih linija i cevovoda.



Sl. 16.



Sl. 17.



Sl. 18.

Instrumente za merenje protoka vazduha i gasova preporučljivo je postavljati iznad mernih prigušnica. U ovom slučaju spojne linije se postavljaju sa nagibom koji nije manji od 1 : 10 u smeru merne prigušnice radi slobodnog oticanja kondenzata koji se obrazuje u spojnim linijama (sl. 15). Ako se kod merenja protoka tečnosti (sl. 16) ili vodene pare (sl. 17) difmanometar postavi iznad merne prigušnice, tada za udaljavanje vazduha iz spojnih linija treba predvideti specijalne posude (gasne rezervoare) koji se postavljaju u najvišoj tački linije. Nagibi linija treba da obezbede slobodan odvod vazduha iz ovih posuda.

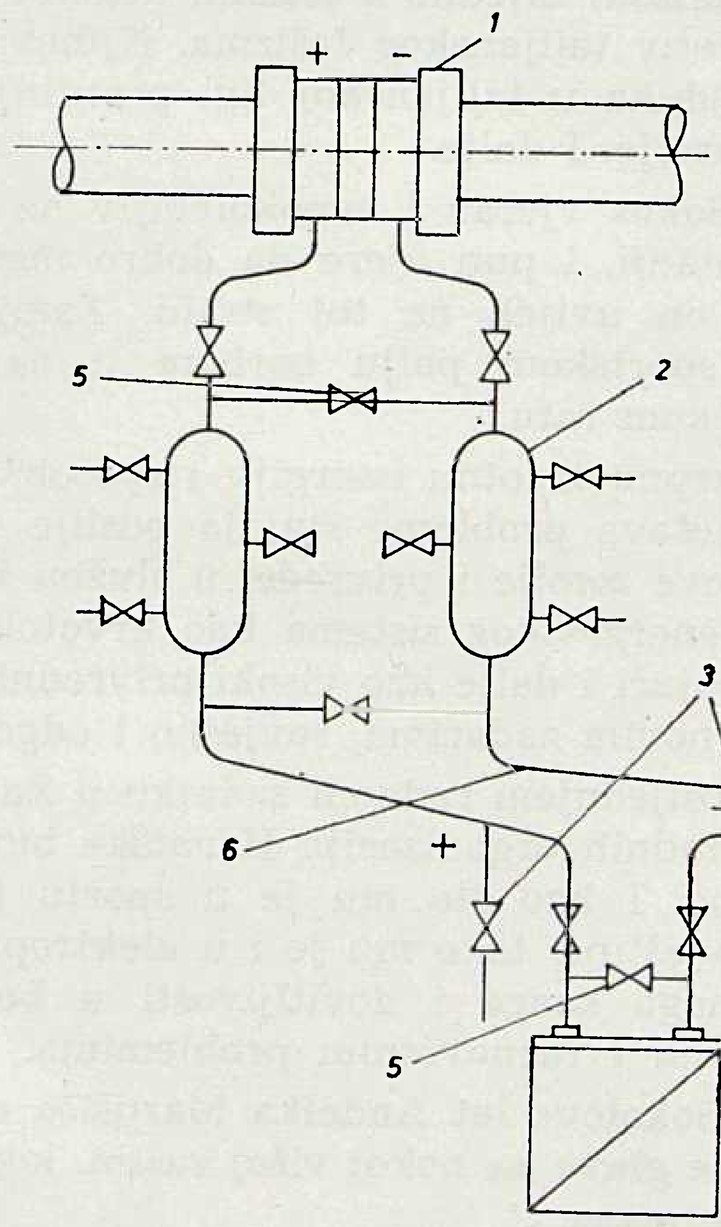
Ako se kod merenja protoka vazduha ili gasa difmanometar postavi ispod merne prigušnice, tada se za odstranjivanje kondenzata iz spojnih linija postavljaju specijalne posude na najnižoj tački linije. Nagibi linija treba da obezbede slobodno slivanje kondenzata prema ovim posudama (sl. 18).

Kod merenja protoka prašnjavog gasa ili vazduha priključivanje spojnih linija vrši se preko specijalnih priključnica koje sprečavaju začepljivanje linija.

Kod merenja protoka agresivnih tečnosti postavljaju se razdvojne posude koje odvajaju mernu prigušnicu od difmanometra. Ako je gustina merene tečnosti manja od gustine razdvojne tečnosti, tada se razdvojne posude postavljaju kao što je dato na sl. 19. U slučaju kada je merena tečnost teža od razdvojne, spojne linije ka difmanometru treba da idu iz gornjeg dela posude, a cevi na mernoj prigušnici odozgo. U gornjem delu spojnih linija tada se postavljaju posude za vazduh sa ventilima za produvavanje.

Razdvojna tečnost ne sme hemijski da deluje na merenu i uravnotežavajuću tečnost u difmanometru, ni da se meša sa njom, ni da daje taloge, ni da deluje na baterije spojnih linija, razdvojnih posuda i unutrašnjih površina difmanometra.

Kod merenja protoka agresivnih goriva takođe treba da se postave razdvojne posude.



Sl. 19.

1 — merna prigušnica; 2 — razvojna posuda; 3 — ventil za produvavanje; 4 — diferencijalni manometar; 5 — ventil za uravnoteženje; 6 — nagib cevovoda

KEY WORDS: THERMAL POWER PLANT
MEASUREMENT
PROCESS VALVES

MEASUREMENT OF ELECTRICAL VALUES IN THERMAL POWER PLANTS

In the article are presented some principles for thermotechnical values measurements in TPP, which are necessary for process monitoring as well as ways of construction and instalation due to higher accurancy of measurements.

MESSUNG NICHTELEKTRISCHER GRÖSSEN IN WÄRMEKRAFTWERKEN

Beschrieben werden Grundsätze wärmetechnischer Messungen zur Führung wärmetechnischer Vorgänge in Wärmekraftwerken sowie die Ausführung und der Einbau der zugehörigen Geräte um eine höchstmögliche Messgenauigkeit zu erreichen.

ИЗМЕРЕНИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН НА ТЕПЛОВОИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

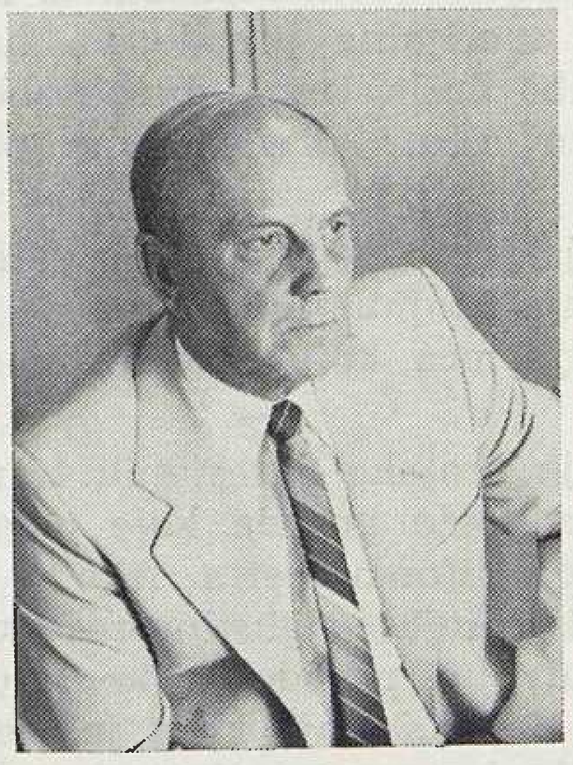
В статье описываются принципы измерения теполтехнических величин, позволяющих наблюдать за происходящим процессом на тепловых электростансиях, способы выполнения и установки, обеспечивающие максимальную точность измерений.

Naslov pisca:

mr Dragoljub Piperski, dipl. ing.
Elektroprivreda Kosovo, Priština

Rukopis primljen u redakciju 7. travnja 1981.

IN MEMORIAM



Zvonimir Balog

Dana 9. 9. 81. iznenada je preminuo Zvonimir Balog, dipl. ing. strojarstva, rukovodilac Radne zajednice eletroprivrednih organizacija Hrvatske. Zvonimir Balog rođen je 1920 u Valpovu, U Slavoniji. Diplomirao je 1952. godine (?) na strojarskom odsjeku Tehničkog fakulteta u Zagrebu.

Prvo zaposlenje po završenom školovanju bilo je u termo-elektrani Zagreb na dužnosti pogonskog inžinjera odgovornog za strojarnicu i kotlovnicu elektrane. Zahvaljujući dobrom teoretskom znanju stečenom za vrijeme školovanja savjesnom odnosu prema zadacima, te uspješnom rješavanju mnogih tehničkih problema u pogonu termo-elektrane ubrzo je postao upravitelj pogona.

Razvoj elektroenergetskog sistema Hrvatske u to vrijeme bio je vrlo dinamičan. To je zahtijevalo koordinaciju eksploatacije kapaciteta, te planiranje i izgradnju značajnih novih objekata. Da bi se taj zadatak uspješno obavio bilo je potrebno koncentrirati najstručniji kadar u Zajednici elektroprivrednih organizacija Hrvatske. Tako je ing. Balog 1. 1. 1959. godine prešao na rad u Zajednicu elektroprivrednih organizacija Hrvatske gdje je vršio razne dužnosti. U početku je bio stručni suradnik za termo-elektrane u pogonskom sektoru, a kasnije je duži niz godina bio na dužnosti višeg suradnika za razvoj termo-elektrana u sektoru razvoja. Smrt ga je zatekla na dužnosti direktora Radne zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske.

Zahvaljujući svom bogatom teoretskom znanju i dugogodišnjem praktičnom iskustvu bio je priznat i uvažen stručnjak ne samo u elektroprivredi Hrvatske nego i u cijeloj zemlji. Sudjelovao je u svim bitnim odlukama o razvoju termo-elektrana u Hrvatskoj. Bio je rado viđen na svakom objektu. Ono što je posebno krasilo ing. Baloga bio je staložen, topao i nadasve ljudski odnos prema svima sa kojima je surađivao. Radi toga je bio cijenjen i voljen u svim sredinama u kojima je radio.

U razvoj i rad elektroprivrede Hrvatske utkano je veliko znanje i dugogodišnji rad ing. Baloga. Za sve što je radio neka mu je velika HVALA.

prijepis: 16. 10. 81. I. B.
IB/vj



Anđelko Marušić

Srce Anđelka Marušića prestalo je kucati. Srce izvanredne ličnosti radnika, sportaša, borca narodno-oslobodilačkog rata i privrednog rukovodioca.

Borio se Anđelko Marušić sa siromaštvom od najranije mladosti prisiljen da svoju koricu kruha zarađuje u teškim i nehumanim uvjetima Tvornice karbida. Borio se i izdržao.

Vukao je »Ferata« u half-liniji i Hajduka i državne reprezentacije borbeno i hrabro, znalački i vješto. Teško je bilo kojeg halfa kasnijih generacija staviti uz rame »Ferate«.

Borio se »Soko« (to je drugi nadimak izvanserijskog nogometaša) zajedno s ostalim nogometašima Hajduka protiv talijanskog fašizma. Njihovo »ne« igranju Hajduka u talijanskoj ligi protutnjalo je širom Dalmacije. I dalje.

Ostao je »Soko« vjeran i nepokolebljiv na svojoj životnoj putanji, i pun vjere da dobro mora pobijediti, a on uvijek na toj strani. Zamjenjuje borbu na sportskom polju borbom u narodno-oslobodilačkom ratu.

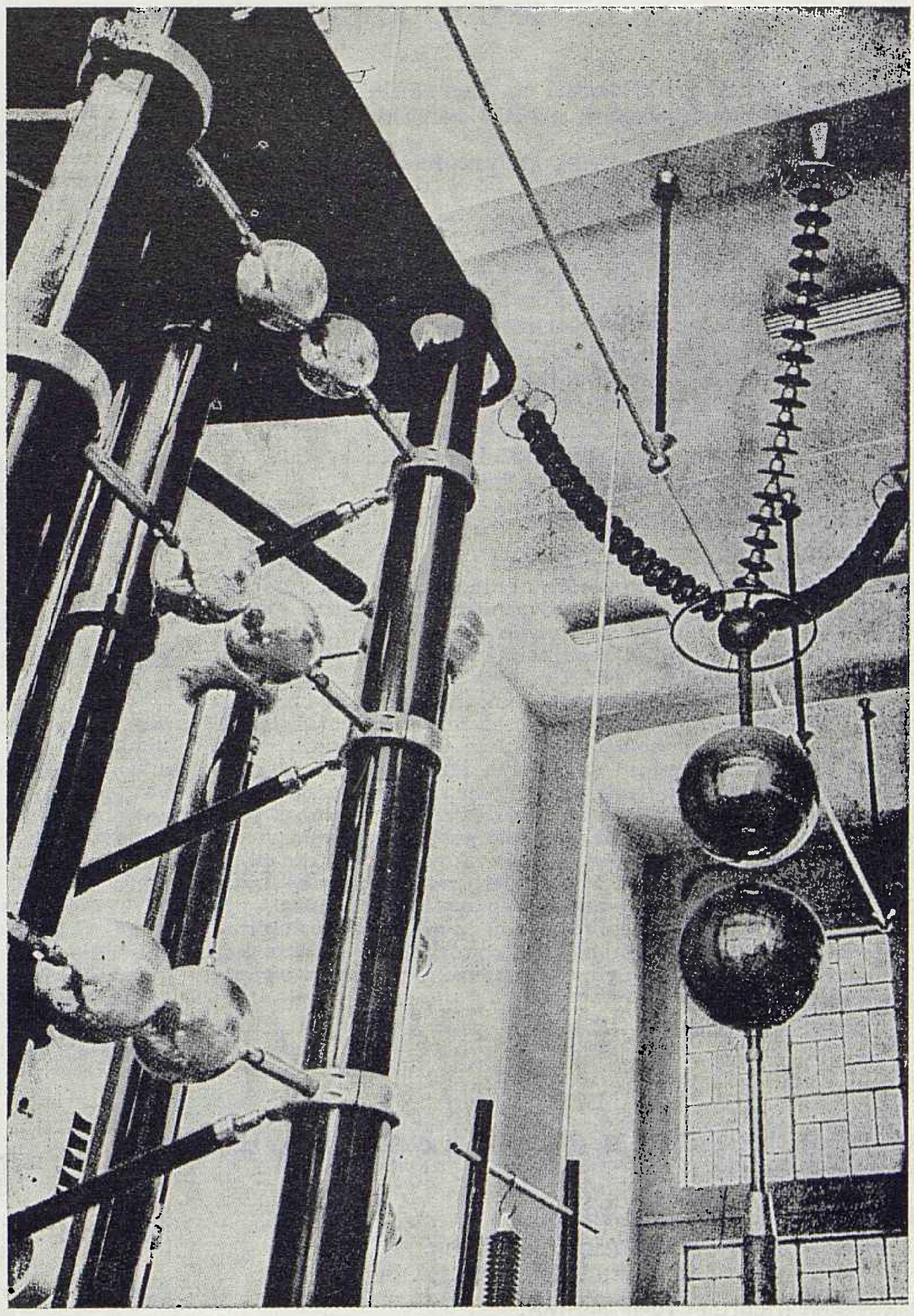
Svoju neiscrpnu životnu energiju i sposobnost da uspješno rješava probleme stavlja poslije rata u službu obnove zemlje i privrede, u službu izgradnje elektroenergetskog sistema kao krvotoka privrede izgarajući i dalje kao visoki privredni rukovodilac na novim zadacima, savjesno i odgovorno.

Na svom posljednjem radnom zadatku u Zajednici elektroprivrednih organizacija Hrvatske bio je od 1949. godine. I kao što mu je u sportu trebalo energije i vještine, tako mu je i u elektroprivredi trebalo mnogo snage i dovitljivosti u borbi sa svakodnevnim i raznovrsnim problemima.

Ukratko, »Sokolov« let Anđelka Marušića odvijao se uzdignute glave na nekoj višoj razini, koja nam treba biti uzorom.

»Ferata«, »Sokole« i druže-borče hvala Ti i slava.

Nikola Bilčar, dipl. ing.



RAD INSTITUTA ZA ELEKROPRIVREDU U 1980. 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 dvadeset i sedam 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 Inistituta, među kojima je i nekoliko istaknutih sveučilišnh 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 dalnjem tekstu su prikazani važniji radovi iz djelovanja ovih grupa u 1980. godini.

STUDIJ ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA

Osnove programa aktivnosti za izgradnju 3 500 MWE u nuklearnim elektranama u SRH do 2000. godine

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: Kosta Bojić, dipl. ing.
Ivo Božin, dipl. iig.
dr Duško Čorak, dipl. ing.
prof. dr Danilo Feretić, dipl. ing.
mr Jadranko Karuza, dipl. ing.
dr Josip Lakota, dipl. ing.
mr Niko Malbaša, dipl. ing.
Zvonko Milonja, dipl. oec.
Emil Olujić, dipl. pravnik
Vinko Štambuk, dipl. ing.
Slavko Tomić, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1980. godine.

Materijal je rezultat rada većeg broja ljudi iz elektroprivrede SRH, uz ograničeno učešće i onih iz industrije. Cilj materijala bio je identifikacija najvažnijih i vremenski najbitnijih aktivnosti s kojima bi trebalo što prije započeti kako bi se osigurala uspješnija realizacija predvidivih 3 500 MWe u nuklearnim elektranama u SRH do 2000. god.

Materijal prezentira nužne aktivnosti vezane za opravdanje na tip reaktora, dugoročnije osiguranje goriva i gorivni ciklus, stvaranje neophodne regulative; osiguranje što većeg domaćeg udjela, izgradnju nuklearnih elektrana, skladištenje ozračenog goriva te obradu i odlaganje radioaktivnih materijala. Posebno su obrađene aktivnosti radi ostvarivanja preduvjeta za realizaciju nuklearnog energetskog programa. Dan je grub terminski plan pojedinih aktivnosti onako kako bi se one trebale odvijati ako se žele održati predviđeni rokovi puštanja u pogon. Izdvojeni su zasebno neposredni zadaci.

Materijal je namijenjen rukovodnim organima u elektroprivredi te odgovarajućim republičkim tijelima i organima, kao i svim ostalim sudionicima u realizaciji programa izgradnje nuklearnih elektrana.

Opseg: 83 stranice.

Uklapanje TE Plomin II (200 MW) u elektroenergetski sustav Hrvatske

Naručitelj: TE Plomin, Plomin

Autori: mr Slavko Alerić, dipl. ing.
prof. dr Božo Udovičić, dipl. ing.

Završeno u veljači 1980. godine.

Analiza uklapanja TE Plomin II (250 MW) u elektroenergetski sustav Hrvatske provedena je za četiri razine potrošnje električne energije, i to za 1985, 1990, 1995. i 2000. godinu. Za navedene nivoe porošnje određene su strukture izvora i učinjene elektroenergetske bilance uz osiguranje remonta agregata TE, rotirajuće rezerve i sigunosti opskrbe potrošača od 95%.

U studiji su pokazani utjecaji hidrologije na proizvodnju termoelektrane Plomin II. Nakon izračunavanja proizvodnje određene su i potrebne količine ugljena za rad termoelektrane.

Uz pretpostavljene potrošnje i strukture izvora, rezultati studije pokazuju da se TE Plomin II dobro uklapa u elektroenergetski sustav Hrvatske.

Opseg: 25 stranica, 23 tablice i 12 slika.

Tjedne karakteristike potrošnje električne energije

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: dr Goran Granić, dipl. ing.
Mladen Zeljko dipl. ing.
Ivan Mijić, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1980. godine.

Predmet istraživanja ove studije bila je potrošnja električne energije na području SR Hrvatske i pojedinih njezinih regija (Zagreb, Split, Rijeka i Osijek). Obuhvaćeno je razdoblje od 1974. do 1978. godine.

U ovom radu odsupilo se je od svakodnevne prakse po kojoj se krivulja trajanja konstruira iz karakterističnih radnih i neradnih dana, već se aproksimacija tjedne kivulje trajanja opterećenja određuje na temelju satnih opterećenja registriranih za svaki promatrani tjedan.

Izračunate karakteristike potrošnje mogu se iskoristiti za potrebe planiranja razvoja elekroenegetskog sustava, a prosječne vrijednosti karakterističnih veličina krivulja trajanja opterećenja dobar su pokazatelj sezonskih oscilacija.

Opseg: 31 stranica, 30 tablica i 32 slike.

Izrada programa dnevnog optimiranja EES SRH uz uvažavanje ograničenja u eksploataciji (I faza)

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: Branka Bengeri, dipl. ing.
dr Goran Granić, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1980. godine.

Izrada programa bazira se na iterativnoj matričnoj metodi za optimalnu raspodjelu opterećenja, koja omogućuje brzo i sigurno pronalaženje optimuma. U procesu optimizacije istovremeno se vrši određivanje optimalnog opterećenja hidroelektrana i termoelektrana. Za korištenje ove metode potrebno je poznavati konzum, elektrane u pogonu za vrijeme perioda optimizacije, energetske karakteristike tih elektrana, minimalnu i maksimalnu snagu, protok i raspoloživi volumen hidroelekrana, te B-matricu sistema.

Početne snage hidroelektrana i termoelektrana, te Lagrangeovi multiplikatori rezultat su proračuna koji se bazira na dnevnom dijagramu operećenja. Ove početne vrijednosti omogućavaju da se optimum postigne uz mali broj iteracija.

Metoda je testirana na primjeru EES-a, u kome rade tri termoelektrane i dvije hidroelektrane.

Opseg: 38 stranica, 11 tablica i 38 slika.

Godišnja, mjesečna i tjedna planiranja elektroenergetskoga sustava SR Hrvatske

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: prof. dr Božo Udovičić, dipl. ing.
dr Goran Granić, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1980. godine.

U studiji je dan prikaz optimalnog vođenja EES-a u smislu ekonomičnog i sigurnog pogona. Zadaci eksploatacije sagledani su kroz tri međusobno povezane cjeline: 1. planiranje eksploatacije, 2. vođenje eksploatacije, 3. analizu ranijeg rada, a zatim su sagledani potrebni podaci za planiranje eksploatacije.

Na osnovi analize sadašnjeg stanja u planiranju eksploatacije prikazano je buduće stanje, tj. izrađen je plan istraživanja na problemu eksploatacije EES-a. Plan razrađuje potrebna istraživanja na području: potrošnje električne energije, korištenja akumulacijskih bazena, moguće proizvodnje hidroelektrana, raspoloživosti elektrana, rasporeda remonta, bilanci i troškova proizvodnje, razmjene voznog reda, tokova snage i stabilnosti, gubitaka te banke podataka.

Opseg: 34 stranice, 1 tablica i 5 slika.

Daljnje energetsko iskorištavanje vodnih snaga u SR Hrvatskoj

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: prof. dr. Božo Udovičić, dipl. ing.
mr Slavko Alerić, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1980. godine.

U studiji je analiziran hidroenergetski potencijal Hrvatske kojim se u budućnosti može računati, s posebnim osvrtom na iskorištenje malih vodotoka i nizinskih rijeka. Osim pregleda korištenja hidropotencijala, u studiji su navedeni postupci i načini određivanja energetskih vrijednosti hidroelektrana, kao i pokazatelji povoljnosti i opravdanosti njihove izgradnje. Na kraju studije navedene su u kratkim crtama opreme za takve elektrane i smjernice za daljnji rad.

Opseg: 32 stranice, 12 tablica i 9 slika.

Vrijeme korišteija KTE Jertovec

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb, Zagreb
Autor: mr Slavko Alerić, dipl. ing.

Završeno u svibnju 1980. godine.

Na temelju predviđene potrošnje električne energije i predviđenih struktura izvora načinjene su elektroenergetske bilance pomoću kojih su određene potrebne proizvodnje svih agegata termoelektrana. Iz prosječnih proizvodnji određeno je prosječno vrijeme korištenja KTE Jertovec za sve analizirane godine u budućnosti (1983, 1984, 1985, 1990. i 1995.). Navedena su vremena korištenja za slučaj najvlažnije i najsušnije hidrološke godine. Iz promatranog hidrološkog perioda.

Opseg: 35 stranica i 10 slika.

Usporedba teškovodnih PHWR i lakovodnih PWR reaktora nuklearnih elektrana

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb
Autori: dr Josip Lakota, dipl. ing.
prof. dr Vladimir Knapp, dipl. ing.
Vladimir Nastasić, dipl. ing.
Vinko Štambuk, dipl. ing.
Bogdan Bordukalo, dipl. ing.
Mirko Horvatić, dipl. ing.

Završeno u lipnju 1980. godine.

U uvodu studije dan je pregled dokazanih tipova reaktora.

Zatim se daje opis PHWR-a. Nešto opširnije prikazano je rješenje s horizontalnim tlačnim ciljevima PHWR-Candu, a samo u osnovnim crtama rješenje s tlačnom posudom.

Dalje je dana usporedba PHWR i PWR. U usporedbu je uključeno postrojenje elektrane (reaktorsko i klasično postrojenje), kao i prateće faze nuklearnog gorivnog ciklusa. Kod teškovodnih reaktora uključena je i proizvodnja teške vode. Kao osnova za usporedbu postavljeni su ključni kriteriji usporedbe. Oni su svrstani u dvije osnovne grupe:

— kriteriji koji, gledano na dulji rok, utječu na mogućnost osamostaljenja zemlje na području nuklearne energije
— tehničko-ekonomske osobine.

Usporedba započinje komparacijom osnovnih parametara reaktora. Dalje se usporedba vrši unutar problemskih cjelina kao što su eksploatacijske karakteristike elektrana; gorivo i gorivi ciklus; teška voda; mogućnosti domaćeg učešća; mogućnosti nastavka reaktora, goriva i osiguranja usluga gorivog ciklusa; dostupnost tehnologije; dugoročni izgledi. Unutar pojedine problematske cjeline izrađeni su parcijalni zaključci. Na temelju njih dana je sumarna usporedba razmatranih tipova reaktora.

Opseg: 367 str.

Vrijednost i doprinos CHE Vinodol u elektroenergetskom sustavu SR Hrvatske

Naručitelj: Hidroelektrana »Nikola Tesla«, Tribalj
Autori: prof. dr Božo Udovičić, dipl. ing .
mr Slavko Alerić, dipl. ing.

Završeno u lipnju 1980. godine.

U studiji je određena vrijednost CAP Vinodol s obzirom na promjene cijene goriva i promjene potrebnih investicionih ulaganja. Analizirana su uklapanja CAP Vinodol u elektroenergetski sustav 1987, 1988, 1989, 1990, 1995. i 2000. godine. Analiza uklapanja provedena je etapno jer se radi o tri agregata, od kojih je svaki veličine 125 MW. Sve analize provedene su za sigurnost opskrbe 95%, uz osiguranje remonta svih agregata u termoelektranama i uz osiguranje potrebne rotirajuće rezerve u elektroenergetskom sustavu. Analize su provedene jednom uz pretpostavku da se kao dopunska elektrana gradi klasična termoelektrana na ugljen, a drugi put da je elektrana nuklearna.

Sve ekonomske analize provedene su uz pretpostavke potrebnih različitih specifičnih investicija za dopunske termoelektrane i s različitim kvotama godišnjih troškova za hidroelektrane i termoelektrane.

Na kraju su određene granične investicije za CAP Vinodol s obzirom na iznose u dopunske termoelektrane.

Opseg: 60 stranica, 15 tablica i 18 slika.

Banka podataka RDC i RC-A prikupljenih iz pogona EES Hrvatske

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb
Autori: Branka Bengeri, dipl. ing.
dr Gorai Granić, dipl. ing.
Nikola Plavec, dipl. ing.
Marko Znaor, dipl. ing.

Završeno u srpnju 1980. godine.

Sudija prikazuje ulogu banke podataka u tehničko-informacijskom sistemu. Budući da je banka podataka često pogrešno eksploatiran pojam, objašnjeni su osnovni pojmovi rječnika baze podataka, njezina definicija, vrste, zahtjevi, kao i kritički osvrt. Dio studije odnosi se na samu tehnologiju baze podataka, tj. memorijske forme, forme pristupa, logičke veze, tehnike adresiranja, strukture. Također je dan pregled najpoznatijih baza podataka (TOTAL, IMS, DMS/90), te raspoloživost, pouzdanost i ekonomičnost baze podataka. U vezi s RDC-a razmatrana je mogućnost korištenja informacija koje će stajati na raspolaganju.

U prilogu je obrađen poslovni informacijski sistem.

Opseg: 57 stranica i 8 slika.

Društveno-ekonomski odnosi u elektroprivredi Hrvatske

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb
Autori: J. Bendeković, F. Čučuković, D. Gorupić, G. Granić, N. Hruška, S. Jurišić, D. Kalođera. Z. Milonja, M. Nušinović, H. Požar, L. Staničić, J. Šimović, B. Udovičić i A. Zorić

Završeno u kolovozu 1980. godine.

Studija obuhvaća dva dijela. U prvom dijelu dan je prikaz i analiza sadašnjeg stanja a u drugom je obrađen prijedlog modela društveno-ekonomskih odnosa u elektroprivredi Hrvatske.

U prvom dijelu studije, nakon uvodnog razmatranja u kojem se obrađuju društvene i ekonomske postavke, osnovni problemi i mogućnosti, prikazana su dva prethodna razdoblja, i to: prikaz elektroprivrede Jugoslavije od 1965. do 1977. godine (potrošnja i proizvodnja električne energije, fiksni fondovi u elektroprivredi, zaposlenost te uvjeti i rezultati privređivanja) i prikaz kritičke analize elektroprivrede Hrvatske u razdoblju od 1975. do 1978. godine i sadašnjih modela društveno-ekonomskih odnosa (institucionalni temelji i okviri postojećeg sistema društveno-ekonomskih odnosa u elektroprivredi Hrvatske, društveno-ekonomski odnosi na načelima Ustava SRH, Zakona o elektroprivredi i sistemskih zakona, društveno-ekonomski odnosi s potrošačima električne energije, društveno-ekonomski odnosi u jednostavnoj reprodukciji, društveno-ekonomski odnosi u proširenoj reprodukciji, uvjeti i rezultati poslovanja od 1975. do 1978. godine s osvrtom na raspoređivanje zajedničkog prihoda, prikaz stanja organiziranosti i društveno-ekonomski odnosi u elektroprivredama drugih republika, te zaključna analiza i ocjena stanja društveno-ekonomskih odnosa u elektroprivredi Hrvatske u promatranom razdoblju).

Drugi dio studije sadrži razradu prijedloga modela društveno-ekonomskih odnosa u elektroprivredi koji je obrađen

u ovim poglavljima: društveno-ekonomski odnosi u proširenoj reprodukciji i financiranje razvoja u elektroprivredi Hrvatske (društveno-ekonomski odnosi i razvoj elektroprivrede, planiranje razvoja elektroprivrede, postupak planiranja razvoja elektroprivrede, investicijska služba u elektroprivredi, financiranje proširene reprodukcije, udruživanje sredstava za financiranje razvoja elektroprivrede), društveno-ekonomski i dohodovni odnosi u jednostavnoj reprodukciji elektroprivrede Hrvatske (društveno-ekonomski odnosi prema potrošačima električne energije), društveno-ekonomski i dohodovni odnosi unutar elektroprivrede (funkcioniranje elektroenergetskog sistema, zajednički prihod elektroprivrednog sistema, usklađivanje odnosa u poslovanju na temelju zajedničkog prihoda, raspoređivanje zajedničkog prihoda, prihod organizacija za distribuciju električne energije i raspodjela dohotka u elektroprivrednim organizacijama) i organizacijsko-upravljačke pretpostavke funkcioniranja predloženog modela.

Studija je izrađena u suradnji s Ekonomskim institutom u Zagrebu.

Opseg: 330 stranica i 20 tablica.

Planiranje eksploatacije EES-SRH (predstudija)

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: Branka Bengeri, dipl. ing.
dr Goran Granić, dipl. ing.
Nikola Plavec, dipl. ing.

Završeno u listopadu 1980. godine.

Problematika obrađena u ovoj predstudiji vezana je za primjenu nove tehnologije u eksploataciji EES-a. Dan je prikaz on-line funkcija, koje uključuju funkcije realnog i proširenog realnog vremena a zatim i off-line funkcija. Off-line funkcije podrazumijevaju: eksploataciju off-line karaktera, tehničko-ekonomsku analizu EES-a, te razvoj sustava. U vezi s ovim funkcijama obrađeno je mjesto i uloga baze podataka u vođenju EES-a SRH, zatim problem implementacije novih programa na sustav obrade RDC-a, kao i nadležnosti i funkcije pojedinih nivoa. Studija je ukazala na složenost problematike planiranja, kao i neminovnost razvoja novih metoda koje će omogućiti usvajanje nove tehnologije.

Opseg: 38 stranica, 2 tablice i 6 slika.

Mogućnost povećanja snage HE Zakučac

Naručitelj: Elektroprivreda Dalmacije, Split

Autori: dr Goran Granić, dipl. ing.
Mladen Zeljko, dipl. ing.
Zlatko Frajman, dipl. oec.
Nedjeljka Komerički, oec.

Završeno u listopadu 1980. godine.

U studiji je izvršena analiza mogućnosti povećanja snage HE Zakučac. Valorizacija doprinosa izgradnje varijanti novog postrojenja provedena je za elektroenergetski sustav SRH za tri nivoa potrošnje (25 TWh, 34 TWh i 45 TWh). Za potrebe ove studije dorađeni su postojeći programi za određivanje optimalnog rada crpno-akumulacijskih postrojenja kako bi se kvalitetno obuhvatile specifičnosti promatranih varijanti izgradnje.

Analiza mogućnosti povećanja snage HE Zakučac provedena je za četiri varijante:

- HE Zakučac III, koja će koristiti vode iz bazena Gata (bazen Gata se gravitaciono puni iz bazena Prančevići)
- kao prva varijanta s izgradnjom CAHE Mosor-Gata
- CAHE Mosor-Zakučac III, koje uključuje izgradnju bazena na Mosoru i pumpanje iz Prančevića
- CAHE Gata-Zakučac III s gravitacionim punjem bazena Gata i mogućnošću izgradnje donjeg akumulacijskog bazena.

Rezultati proračuna pokazali su da postoje mogućnosti povećanja instalirane snage HE Zakučac, ali da je opravdana tek za nivo potrošnje iznad 34 TWh.

Opseg: 73 stranice, 25 tablica i 35 slika.

Sigurnosno rješenje i rješenja sistema zaštite PWR reaktora (FRAMATOM)

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autor: dr Josip Lakota, dipl. ing.

Završeno u studenom 1980. godine.

Studija je obradila:

1. specifičnost francuskih propisa i preporuka vezanih uz sigurnosne i zaštitne sisteme,
2. specifičnost sigurnosnog rješenja PWR reaktora Framatom u odnosu na ista rješenja Westinghouse i Kraftwerkunion,
3. rješenja sistema zaštite PWR reaktora Framatom (standardno rješenje na seriji 900 MWe jedinica u Francuskoj, rješenje s magnetostatičkim logičkim elementima, integrirani multiprocesorski sistem za seriju 1 300 MWe jedinica).

Opseg: 105 stranica, 29 slika.

Energetske bilance SR Hrvatske 1981—1985.

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb
Republički komitet za energetiku, industriju i zanatstvo Zagreb
Republički zavod za privredno planiranje, Zagreb
Privredna komora Hrvatske, Zagreb
INA, Zagreb

Autori: prof. dr. Hrvoje Požar, dipl. ing.
Branko Vuk, dipl. ing.
prof. dr. Božo Udovičić, dipl. ing.
Ivan Šimurina, ing.

Završeno u studenom 1980. godine.

Na temelju podataka o energiji predanoj potrošačima načinjena su predviđanja potrošnje energije u SR Hrvatskoj pomoću nekoliko metoda. Kako je dobiven širok spektar rezultata, detaljno su analizirane dvije varijante razvoja potrošnje: jedna koja predviđa porast energije predane potrošačima po prosječnoj godišnjoj stopi od 3%, i druga koja predviđa porast potrošnje od 4,06% godišnje.

U bilancama je neznatan utjecaj preorijentacije energetske potrošnje, tako da je razmatrano više varijanti koje su uvijek tako postavljene da se zadovolji potražnja energije. U osnovnoj varijanti zadržana je struktura potrošnje koja je ostvarivana u prošlosti uzimajući u obzir tendencije razvoja te strukture. Osim toga razmatrane su još i ove varijante: zamjene derivata nafte ugljenom u industriji, zamjena derivata nafte ugljenom u općoj potrošnji, preorijentacija od cestovnog na željeznički promet, povećanje pare i vrele vode u toplanama, zamjena električne energije ugljenom kod malih potrošača.

Obrađena je i zamjena loživog ulja kamenim ugljenom u termoelektranama, te promjena strukture proizvodnje u rafinerijama i kombinacija tih varijanti. Predviđeno je da se preorijentacija vrši postepeno, a bilance su izrađene za svaku godinu od 1981. do 1985.

Opseg studije: 64 stranice teksta, 149 tablica, 1 slika.

Analiza ostvarenih investicija u razdoblju 1965—1978. godina i njihova projekcija za budućnost

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: mr Slavko Alerić, dipl. ing.
Mladen Zeljko, dipl. ing.
Marijan Magdić, dipl. oec.
Luka Staničić, dipl. oec.

Završeno u prosincu 1980. godine.

U studiji se analiziraju investicijska ulaganja u razdoblju 1965—1978. godine za djelatnosti proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije.

U prvom dijelu studije analizira se značenje izgrađenih elekroenergetskih objekata s elektroenergetskog stajališta. Osim navedene analize u ovom dijelu studije daje se i prikaz plana izgradnje elektroenergetskih objekata do 2000. godine.

Drugi dio studije odnosi se na ekonomski aspekt. Znači, analiziraju se investicijska ulaganja. Dan je prikaz ulaganja po djelatnostima, kao i struktura financiranja. S obzirom na raspoložive podatke identificirani su proizvodni i prijenosni objekti koji su izgrađeni u navedenom razdoblju, dok se ulaganja distributivne djelatnosti prikazuju samo vrijednosno. Da bi se mogla izvršiti međusobna usporedba, izračunate su specifične investicije.

U pogledu izvora financiranja interesantno je spomenuti da kod djelatnosti proizvodnje i prijenosa dominiraju povratna sredstva, dok je djelatnost distribucije u obratnoj poziciji.

Na temelju analiziranih podataka izračunato je učešće pojedine djelatnosti u ukupnom iznosu investicijskih ulaganja.

Opseg: 119 strana.

Razvoj elektroprivrede Jugoslavije do 1985. godine s osvrtom na 1990. godinu i vizijom 2000. godine

Naručitelj: Zajednica Jugoslavenske elektroprivrede, Beograd

Autori: dr Goran Granić, dipl. ing.
Zlatko Frajman, dipl. oec.

Završeno u prosincu 1980. godine.

Zadatak je ove studije bio da analizira razvoj elektroenergetskog sustava Jugoslavije za razdoblje od 1986. do 2000. godine. Za tu potrebu razvijena je metoda koja omogućuje jednostavniji noćni proračun u studijama u kojima se pojavljuje velik broj elektrana kandidata za izbor. Cijeli proračun proveden je u dvije varijante koje se međusobno razlikuju u načinu korištenja voda na poriječju Drine, Morače, Pive, Tare i Lima. Naime, promatrana je varijanta prirodnog toka i varijanta s prevođenjem voda Tare u poriječju Morače.

Analiza proračuna u ovom radu pokazala je da je potrebno izgraditi gotovo sav potencijal za zadovoljenje nivoa potrošnje od 230 TWh, a upozorila je i na velike probleme koji predstoje u realizaciji takvog programa izgradnje.

Opseg: 61 stranica, 16 tablica i 12 slika.

STUDIJ VISOKONAPONSKE OPREME I PRIJENOSNIH MREŽA

Prilike u pogonskoj mreži 1982. s obzirom na ulazak u pogon NE Krško

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: Boris Markovčić, dipl. ing. i Mr Zdenko Tonković, dipl. ing.

Završeno u rujnu 1980.

Analizirana je mreža u stanju maksimuma i minimuma sa i bez NE Krško. Posebno je promatran utjecaj elektrana na tekuće gorivo, problem održavanja napona u 110 kV mreži, dinamički ispadi NE u različitim pogonskim situacijama, utjecaj 400 kV vodova Melina—Zagreb, Krško—Ljubljana, druga trojka voda Zagreb—Krško, veza s UCPTE-om preko Divače. Konstatirana je, kao najvažniji zaključak, kritična situacija s jalovim snagama na Zapadu, a u zagrebačkom području posebno.

Opseg: 91 stranica, 21 ilustracija tokova snaga i dinamičke stabilnosti; protokoli s računskog stroja.

Rad mreže 380 kV na području »Elektroprenosa Zagreb«, bez korištenja prigušnice 50 MVA

Naručitelj: Elektroprenos — Zagreb

Autori: Boris Markovčić, dipl. ing.
mr Zdenko Tonković, dipl. ing.

Završeno u srpnju 1980.

Ovom je studijom analizirano ponašanje elektroenergetskog sistema za pretpostavljeno stanje 1982. godine, s obzirom na upotrebu prigušnice na tercijaru transformatora u Zagrebu odnosno Ernestinovu. Dok je u doba dnevnog opterećenja zagrebačko područje deficitarno jalovom snagom, noću mreža generira, zbog malog opterećenja i visokih napona, velike količine jalove snage. Za kompenzacije te jalove snage uklapaju se prigušnice. No opravdano se sumnja da su sklopni manevri s prigušnicama opasni za transformatore na koje se priključuju, pa se ispitivala mogućnost pogona bez njih. Pokazalo se da se u većini slučajeva može proći i bez prigušnica — ali je važan režim rada elektrana i naponske prilike u susjednim republikama. Ako se ipak pojave visoki naponi, a ne želi se koristiti prigušnice, onda se naponi najefikasnije snizuju iskapčanjem dužih dionica vodova.

Opseg rada: 34 stranica, 14 ilustracija tokova snage, protokoli s računskog stroja.

Stabilnost elektroenergetskog sistema

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske — Zagreb

Autori: Ante Sekso, dipl. ing., Boris Markovčić, dipl. ing., mr Zdenko Tonković, dipl. ing.

Završeno u travnju 1980.

Namjena studije bila je da prikaže sadašnje stanje istraživanja različitih pitanja vezanih sa stabilnošću modernih elektroenergetskih sistema. To je ujedno prvi rad u Institutu kojim se sustavno ulazi u studij problematike statičke i dinamičke stabilnosti i s njima povezanim pitanjima. Nakon općeg pristupa ovoj problematici opširno su obrađeni različiti aspekti statičke stabilnosti. Detaljno su prikazani svi kriteriji za proračun granica statičke stabilnosti, a u posebnom poglavlju dan je, prema literaturi, pregled postojećih programa za proračun statičke stabilnosti složenih sistema. Posebno su obrađena pitanja u vezi s ekvivalentiranjem složenih sistema za potrebe proračuna statičke i dinamičke stabilnosti. Nadalje, prikazane su statičke karakteristike potrošača, te utjecaj uzbudnih i regulacijskih krugova na problematiku stabilnosti.

Obrada dinamičke stabilnosti bazirana je na postojećem programu s kojim je izvršena analiza konkretnih prilika u mreži zapadnog dijela Jugoslavije.

Opseg: 130 stranica sa 29 slika, 5 tabelica i 58 referenci.

Proučavanje nesimetrija napona i preplitanje faza u 380 kV sistemu Jugoslavije (za II fazu izgradnje)

Naručitelj: Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Beograd

Autor: mr Zdenko Tonković, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1980.

Na bazi metodologije razrađene u radu »Preplitanje faza u prijenosnom 380 kV sistemu Jugoslavije« (1974) i zaključaka s recenzije te studije, ispitivana je potreba prepleta na vodovima koji se grade u II fazi izgradnje osnovne 380 kV mreže. Zaključeno je da vodove ne treba preplitati sa stanovišta potencijalne opasnosti od nesimetrija nego samo neke zbog redoslijeda faza. Predložena je i promjena sheme prepleta na vodu Konjsko — Melina zbog novog čvorišta RHE Obrovac.

Opseg: 51 stranica, 4 slike.

Opskrba vlastitog potroška RHE Obrovac iz terciara njezinog autotransformatora 300/300/100 MVA, 400/115/35 kV

Naručitelj: »Elektroprivreda Dalmacije«, Split

Autori: dr Miroslav Jung, dipl. ing., dr Ivo Hrs, dipl. ing., Boris Markovčić, dipl. ing. i mr Zdenko Tonković, dipl. ing.

Završeno u rujnu 1980.

Predloženi su shema i parametri opreme za napajanje vlastitog potroška RHE Obrovac iz tercijara njezinog autotransformatora 300/300/100 MVA, 400/115/35 kV, u skladu s tehničkim preporukama JUGEL-a za zaštitu tercijara transformatora gornjeg napona 400 kV. Osobitost predloženog rješenja predstavlja regulacijski transformator 15 MVA: 36,75/35 + + / (+ 16) = (—4) / × 1,5% kV; u spoju Dy5; izoliran primarno za 52 Si 95/250, a sekundarno za 38 Si 70/170 koji se predlaže, kako radi zaštite tercijara mrežnog transformatora od prenapona iz postrojenja 35 kV, tako i radi osiguranja urednog napona za opskrbu vlastitog potroška, bez obzira na opterećenje neregulacijskog autotransformatora 300 MVA.

Opseg: 31 stranica teksta, 12 crteža.

Kratki spoj u HE Gojak

Naručitelj: »Elektroprivreda«, Zagreb, OOUR Gojak
Autor: dr Miroslav Jung, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1980.

Za potrebe rekonstrukcije postrojenja 110 kV HE Gojak izvršeni su proračuni raspodjele mogućih i najnižih očekivanih početnih struja tropolnog i jednopolnog kratkog spoja, kao i pripadnih faktora uzemljenja, kod neistodobnih kvarova u navedenom postrojenju. Također je izvršen proračun najviših očekivanih potencijala uzemljivača, kao i provjera njegovog ugrijavanja. Predložen je optimalni način uzemljenja zvjezdišta namota 110 kV transformatora u HE Gojak.

Opseg: 15 stranica teksta, 12 tablica, 3 crteža.

Utjecaj struje jednopolnog kratkog spoja na okolinu TS 110/35 kV Lički Osik

Naručitelj: »Elektroprenos« — Opatija
Autor: Dragutin Mihalic, dipl. ing.
Suradnici: Pal Zahorec, dipl. ing., Stjepan Zubić, tehn., Ivan Konfic, tehn.

U TS 110/35 kV Lički Osik izvršeno je mjerenje otpora rasprostiranja uzemljivača, napona dodira i koraka na onim mjestima gdje se snimanjem raspodjele potencijala to utvrdilo kao potrebno.

Analizom rezultata mjerenja i potrebnih referentnih podataka detaljno je utvrđena visina i raspodjela potencijala uzemljivača TS Lički Osik u slučaju jednopolnog kratkog spoja na 110 kV strani. Određene su stvarne vrijednosti napona dodira i koraka, te međudjelovanje starog i novog uzemljivača.

Također je dano konkretno rješenje načina vođenja napojnih jednožilnih 35 kV kabela između starog i novog postrojenja, kao i načina i mjesta uzemljenja plašteva ovih kabela.

Opseg: 20 strana, 3 nacrta, 2 slike.

Utjecaji struja različitih dozemnih spojeva na okolinu uzemljivača Tvornice šećera u Virovitici

Naručitelj: Tvornica šećera »Boško Buha«, Virovitica
Autor: Dragutin Mihalic, dipl. ing.
Suradnici: Tomislav Veselić, ing., Ivan Konfic, tehn., Sjepan Zubić, tehn.

U studiji je najprije izvršena analiza mogućih spojeva na sigurnost ljudi i okoline u slučaju pojave dozemnih spojeva na području šećerane u Virovitici. Definiran je zadatak mjerne ekipe, te način izvođenja mjerenja.

Mjerenjima je utvrđeno koji je od slučajeva dozemnih spojeva (zemljospoj u 6 kV mreži šećerane, zemljospoj u 35 kV mreži šećerane, jednopolni kratki spoj u TS 110/35 kV Virovitica) najnepovoljniji. Određene su sve referentne vrijednosti za uzemljivač šećerane.

Na kraju, mjerenjima je utvrđena nepotrebnost izvođenja projektom predviđenih mjera za iznošenje potencijala izvan kruga Tvornice šećera.

Opseg: 26 stranica sa 4 slike, 1 nacrtom.

Uzemljenje zvjezdišta mreže 35 kV na području Koprivnice i Virovitice

Naručitelj: »Elektra« Karlovac
Autori: dr Miroslav Jung, dipl. ing. i Ante Sekso, dipl. ing.

Završeno u prosincu 1980.

Studija je podijeljena u tri dijela i to:

I dio: Uzemljenje zvjezdišta i proračun kratkog spoja, u kojem je obrađen prijelaz postojećih mreža 35 kV od pogona s izoliranim zvjezdištem na pogon sa zvjezdištem uzemljenim preko otpornika za ograničenje struja jednopolnog kratkog spoja, uz istodobno povezivanje obih mreža, tj. paralelni rad TS 110/35 kV Koprivnica i Virovitica na strani 35 kV. Uvažujući razvoj navedenih mreža u srednjoročnoj budućnosti, proveden je proračun očekivanih najvećih i najmanjih struja tropolnog i jednopolnog kratkog spoja kod neistodobnih kvarova u pojedinim posrojenjima.

II dio: Prenaponska zaštita postrojenja 35 kV. Obrađena je zaštita od prenapona postrojenja i vodova nazivnog napona 35 kV. Nazivni naponi odvodnika prenapona za sve transformatorske stanice izabrani su s obzirom na prilike kod uzemljenog zvjezdišta. U novom pogonu mreže očekuje se svođenje unutarnjih prenapona u neopasne granice, pa zaštitu treba organizirati samo protiv atmosferskih prenapona.

III dio: Uzemljivači postrojenja i vodova napona 35 kV. Obrađena su pitanja u vezi s dozvoljenim naponima dodira kod povećanih struja kvara u budućoj uzemljenoj mreži. Na temelju mjerenja u postrojenjima promatranih mreža 35 kV, kao i brojnih iskustava, zaključeno je da će uzemljivači postrojenja zadovoljiti u novim prilikama uz manje zahvate (prestanak napajanja domaćinstava iz kućnih trafoa, te manje dopune uzemljivača). Također je obrađena uloga uzemljivača stupova 35 kV u zaštiti od povratnih preskoka i dane su detaljne upute za korekcije uzemljivača stupova.

Opseg: 98 stranica teksta, 14 tablica, 15 crteža.

Uzemljenje zvjezdišta mreže 35 kV na području Šibenika

Naručitelj: »Elektrodalmacija«, Split, OOUR »Elektra«, Šibenik
Autori: dr Miroslav Jung, dipl. ing., Davor Nevečerel, dipl. ing. i Ante Sekso, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1980.

Studija je podijeljena u tri dijela:

I dio: Uzemljenje zvjezdišta i proračun kratkog spoja, u kojem je obrađen prijelaz postojeće mreže 30 kV od pogona s izoliranim zvjezdištem na pogon sa zvjezdištem uzemljenim preko otpornika za ograničenje struja jednopolnog kratkog spoja. Uvažujući razvoj navedene mreže u srednjoročnoj budućnosti, proveden je proračun očekivanih najvećih i najmanjih struja tropolnog i jednopolnog kratkog spoja kod neistodobnih kvarova u pojedinim postrojenjima.

II dio: Relejna zaštita i automatsko ponovno uključivanje obrađuje pretpostavke za izbor relejne zaštite, toplinske provjere i primjenu brzih releja, moguće vrste brzog isključenja vodova, prijedlog i obrazloženje izbora relejne zaštite mreže, analizu djelovanja i proračun udešenja odabrane relejne zaštite te načela zaštite osjetljivih potrošača i primjenu automatskog ponovnog uključivanja.

III dio: Uzemljivači i prenaponska zaštita mreže 30 kV morali su biti provjereni u uvjetima zvjezdišta uzemljenog preko malog otpora. Mjerenjima i analizom rezultata se pokazalo da će većina uzemljivača transformatorskih stanica u mreži 30 kV zadovoljiti u novim uvjetima. Samo u nekoliko slučajeva potrebno je provesti korekcije, o čemu su dane detaljne upute. Provedena je analiza postojeće prenaponske zaštite i dane detaljne upute za svako postrojenje. Za dovode se preporuča ugradnja uzemljivača i takve izolacije koje će smanjiti mogućnost povratnih preskoka kod atmosferskih pražnjenja.

Opseg: 144 stranice teksta, 25 tablica, 55 crteža.

Studij zagađivanja visokonaponske izolacije u našim uvjetima i moguće zaštitne mjere

Naručitelj: Zajediica elektroprivrednih organizacija Hrvatske — Zagreb

Autor: Ante Sekso, dipl. ing.

Završeno u studeńom 1980.

Problem pouzdanog djelovanja visokonaponske izolacije u uvjetima atmosferske zagađenosti postaje sve izraženiji i u našim mrežama. Stoga je ova studija namijenjena kao početak sistematske akcije mjerenja, istraživanja i provođenja zaštitnih mjera na nivou ZEOH-a. Da bi se dobila slika o ugroženosti pojedinih dijelova mreže, analizirani su rezultati ankete koja je provedena kod svih korisnika elektroenergetskih postrojenja i vodova u našoj republici. nakon kraćih prikaza istraživanja u svijetu i osnova fizikalnih pojava na zagađenoj izolaciji pretežni dio studije posvećen je izboru jedinstvene metodologije ispitivanja za cijelu republiku. Posebno su detaljno opisane metode mjerenja nivoa zagađivanja s prijedlogom mreže ispitnih stanica. Na kraju je dan kraći prikaz mjera koje dolaze u obzir za zaštitu dielektričnih svojstava izolacije u zagađenim područjima.

Opseg: 98 stranica sa 23 slike i 1 prilog.

Registracija prenapona u TS 400/110 kV Ernestinovo u razdoblju 1978—1980.

Naručitelj: »Elektroslavonija« Osijek

Autor: Ante Sekso, dipl. ing.

Suradnici: Srboljub Stevanović, dipl. ing. i mr. Pavle Budišin, dipl. ing. iz Instituta »N. Tesla«, Beograd

Završeno u prosincu 1980.

U radu su prikupljeni i analizirani rezultati registracije triju brojila prenapona priključenih na strani 400 kV autotransformatora I u TS Ernestinovo. Brojila BP-1, proizvodnje Instituta »N. Tesla«, svrstavaju sve prenapone u 6 nivoa prorade. Izvršena je statistička analiza tako dobivenog skupa prenapona, i to posebno za 1. i 2. godinu registracije kao i za čitavo razdoblje. Ustanovljen je neuobičajeno velik broj prorada V i VI supnja, što odgovara prenaponima tjemene vrijednosti više od 705 kV odnosno 807 kV. Stoga su brojila bila naknadno ispitivana u Institutu »R. Končar« da bi se utvrdila regularnost njihova rada. Utvrđene su neke netočnosti kod ispitivanja standardnim oblikom sklopnog prenapona. Ipak, relativno visoke vrijednosti prenapona treba i dalje pratiti s usavršenim tipom brojila kako bi se mogle poduzeti mjere za njihovo ograničenje.

Opseg: 51 stranica sa 7 slika, 9 tabela i 9 priloga.

Prenaponska zaštita rasklopnog postrojenja HE Gojak

Naručitelj: He Gojak, Ogulin

Autor: dr Ivo Hrs, dipl. ing.

Završeno u travnju 1980.

Analiziran je mogući nivo prenaponskih smetnji u postrojenju 110 kV HE Gojak uz sadašnji sistem zaštite, te usklađenost očekivanih prenaponskih smetnji s izolacijskim nivoom opreme. Na temelju toga je izabran sistem prenaponske zaštite postrojenja 110 kV, te su dana detaljna rješenja zaštitnih mjera, odnosno potrebnih korekcija dosadašnje prenaponske zaštite.

Opseg: 20 stranica i 5 slika.

Prenaponska zaštita TS 110/35/10 kV Straža

Naručitelj: Elektroprenos, Zagreb

Autor: dr Ivo Hrs, dipl. ing.

Završeno u listopadu 1980.

Analiziran je mogući nivo prenaponskih smetnji u postrojenjima 110 kV i 35 kV TS Straža, i to u I etapi izgradnje i u definitivnom stanju priključenih nadzemnih vodova i kabela. Na temelju analize izabran je sistem prenaponske zaštite postrojenja 110 kV i 35 kV, te su dana detaljna rješenja prenaponske zaštite TS 110/35/10 kV Straža u I etapi i u definitivnoj izgradnji.

Opseg: 23 stranice i 6 slika.

Komparativni prikaz standarda za osiguranje kvalitete za nuklearne elektrane

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autor: mr Boris Kalan, dipl. ing.

Završeno u prosincu 1980.

Ova studija pruža komparativni pregled principa, kriterija i ciljeva za uspostavljanje i provođenje programa za osiguranja kvalitete. U tu svrhu dan je prikaz standarda koji su primijenjeni kod izgradnje Nuklearne elektrane Krško, kao

1. Code of Federal Regulations (USAEC) Part 50 Appendix »B« 1970:

»Quality Assurance Criteria for NPP and Fuel Reprocessing Plants«

2. ANSI N45-2, 1971: »Quality Assurance Programme Requirements for NPP«

3. CSA Z299.1 — »Quality Assurance Programme Requirements«

4. CEGB-ESP, QA 42—1, 1977, Issue 2: Quality Assurance Programme.

Opseg: 57 stranica.

Aktiviosti na programu osiguranja kvalitete za I&C opremu na NE Krško

Izvršioci: D. Avdejev, dipl. ing.
mr B. 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. Vršilo se je praćenje testiranja sistema u toku zagrijavanja sistema (HFT) i Start-up-a, kao i evaluiranje rezultata pojedinih testiranja.

Dokumentacija osiguranja kvalitete elektrotehničke opreme za HE »ČAKOVEC«

Naručitelj: HE »ČAKOVEC«, RZ za izgradnju

Autori: dr Fedor Šprung, dipl. ing.
Pal Zahorec, dipl. ing.

Na temelju pripremnih studija, koje su se odnosile na specifičnosti opreme podvodnih hidroagregata, te na temelju rezultata i iskustava već obavljenih ispitivanja materijala za generatore ovog tipa, namijenjene izgradnje HE »ČAKOVEC«, izrađeni su zaokruženi dijelovi dokumentacije osiguranja kvalitete u smislu Zakona o izgradnji objekata SRH.

Dokumentacija ima, s obzirom na specifičnosti konstrukcije i primjenu različitih, uvjetno kompatibilnih tehnologija, autorski karakter. Do sada obrađeni problemi obuhvaćaju namote rotora i statora generatora, kompletnih blok-transformatora, transformatora za uzbudu i za interne pogone, auomatske regulacije sinhronizacije, snage i brzine vrtnje agregata, automatsku regulaciju uzbude i jalove snage i uzbudnika.

S obzirom na visoko specifično opterećenje generatora, posebno su proučeni problemi lokalnog zagrijavanja uz površine utora u statorskom paketu i razmotrene nove metode detekcije takvog zagrijavanja.

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 i kontrole kvalitete dogotovljenih komponenti, posebno pogonskih motora napojnih i cirkulacijskih pumpi, opsežne studijske pripreme. Svrha ovih studija bila je 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.

O svemu su izrađeni odgovarajući izvještaji u skladu s pozitivnim propisima.

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 da se iskapčanje odigrava u vremenu manjem od 2 milisekunde. U principu je ova novost značajna, jer se odgovarajućom ugradnjom ovakvih aparata u mrežama s potrošačima relativno malih snaga, u odnosu na snage kratkog spoja na mjestu njihovog 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 ovakvih rješenja razrađen je za ovu elektranu poseban program ispitivanja u svrhu kontrole kvalitete. Po tom programu preuzete su do sada jezgre dvaju blok transformatora i jednog naprijed opisanog isklopnog aparata.

Izolatorski lanci 35 i 110 kV s regulacijom iskriša i staklenim izolatorima KT-120

Naručitelj: »Dalekovod« Zagreb
Autor: Josip Kučak, dipl. ing.

Rad obuhvaća eksperimentalno određivanje razmaka iskrišta u visokonaponskom laboratoriju s prigrađenim iskrištem i ovjesnom opremom proizvodnje »Dalekovod«. Lanac je sastavljen od staklenih kapastih izolatora oznake KT-120 proizvonnje IEP Aranđelovac, a ispitivanja su provedena za nazivne napone 35 i 110 kV.

Izolatorski lanci 35 kV ispitivani su sa 2, 3 i 4 članka, a 110 kV lanac sa 6, 7 i 8 članaka KT-120. Mogućnost podešavanja proradne karakteristike prema stvarnim prilikama jedna je od prednosti zaštitnog iskrišta. Osim toga, zaštitno iskrište može se zbog potreba koordinacije izolacije upotrebljavati i kao iskrište za utvrđivanje stupnja izolacije.

Opseg: 64 stranice teksta, 4 crteža i 36 dijagrama.

Ispitivanje specifičnog otpora tla duž trase 110 kV kabela Mihaljevac — Studeni breg

Naručielj: »Elektra« Zagreb
Autor: Josip Kučak, dipl. ing.

Studija obuhvaća ispitivanje specifičnog električnog otpora tla na dubini 1,5 i 10 m na 23 odabrana mjerna mjesta duž usvojene trase kabela dužine 2,6 km od TS 110/20 kV Zagreb—Sjever I do prijelaza na dvostruki nadzemni vod 110 kV u ulici Studeni breg.

Ispitivanja na terenu provedena su postupkom geoelektričkog sondiranja. Mjerenje je provedeno U-I metodom, nul-metodom pomoću 4 sonde sa Schlumbergerovim rasporedom elektroda.

Opseg: 19 stranica i 4 crteža.

Razni radovi

Naručitelji: elektroprivredne i druge organizacije
Autori: kolektiv studijske jedinice

Preuzimanja električne opreme

Vršena su preuzimanja električne opreme za TS 380/220 kV Melina i za niz drugih manjih objekata, u okviru čega je sudjelovano kod primopredajnih ispitivanja energetskih transformatora, prekidača, rastavljača, mjernih i strujnih transformatora, i odvodnika prenapona.

Ispitivanja uzemljivača

Nakon izgradnje druge faze TS Melina izvršeno je mjerenje na uzemljivaču u ovom opsegu:

— mjerenje ukupnog otpora uzemljenja U-I metodom
— snimanje ekvipotencijalnih linija
— mjerenje napona dodira i koraka unutar i izvan ograde postrojenja.

Dobiveni rezultati podvrgnuti su analizi i ocjeni stanja i potrebe korekcije.

Vršena su ispitivanja i mjerenja na odašiljačima RTV Zagreb: Učka, Biokovo, Buje, Labištica, Pula, Mirkovica, Hvar, Vidova gora, Plješevica, Kalnik, Lončarski vis, Borinci, Psunj, Tovarnik, Deanovac, Belje i Sljeme.

Na svim RTV objektima mjereni su otpori uzemljenja, naponi koraka i dodira, kontrola instalacija rasvjetnih stupova i gromobranske instalacije. Rezultati su analizirani i dani su prijedlozi za sanaciju u skladu s tehničkim propisima.

Na nekoliko manjih objekata vršena su kontrolna mjerenja napona dodira i koraka kod očekivanih stanja 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.

Značaj takvih ispitivanja je velik 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 nepropusnosti 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 neupotrebljene 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 prototipova opreme

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 otklanjanje sve dotle dok naknadna 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

Povremeno ispitivanje odvodnika prenapona obuhvaća kontrolu izmjeničnog i udarnog proradnog napona.

Za ocjenu stanja odvodnika prenapona nužna su ispitivanja izmjeničnim i udarnim naponom, jer se na taj način može kontrolirati njegovo ponašanje u mreži pri pojavi prenapona.

Prilikom ovakvih ispitivanja odvajaju se dotrajali odvodnici prenapona koji ne bi više osigurali efikasnu zaštitu od prenapona ili bi mogli uzrokovati smetnje zbog nesposobnosti gašenja popratne struje.

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 povrijeđenom 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 propaljuje kabel dok se na povređenom mjestu ne postigne karbonizirani spoj 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-1000 A ili IR-2000 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-1000 i IR-2000 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.

Uređaji IR-1000 A i IR-2000 A i više

Ovi uređaji su dodatni uređaji za IR-2 S 50 A i IR-UZ, pa imaju kontinuiranu regulaciju i mjerenje struja do 1 000 A, 2 000 A i više.

STUDIJ RAZDJELNIH, NISKONAPONSKIH VISOKONAPON. MREŽA I PROJEKTIRANJE

Osnovno rješenje elektrodistributivne mreže 110 kV i 30 kV mreže grada Zagreba

Naručitelj: »Elektra« — Zagreb
Autor: mr Rihard Schenner, dipl. ing.

Studija se sastoji od pet knjiga. U I knjizi obrađena je postojeća mreža 110 kV i 30 kV i konzum. U II knjizi obrađeni su normativi opterećenja potrošnje električne energije. Dan je osvrt na dosadašnje normative za projektiranje distributivnih mreža, a zatim su nakon analize rezultata dobivenih na modelu i nekih drugih pokazatelja predloženi normativi opterećenja za razne tipove kućanstava i široku potrošnju. U III knjizi dana je prognoza potrošnje električne energije. Na osnovi podataka dobivenih iz raznih izvora i normativa iz knjige II izvršena je globalna i sektorska analiza, te je dana prognoza potrošnje po etapama do 2000. godine, po strukturi potrošnje te raspodjela po kazetama GUP-a. U IV knjizi analizom na modelu izvršen je izbor osnovnih parametara mreže. Pokazalo se da je najpovoljnija instalirana snaga transformatorske stanice 110/20 kV — 2 × 63 MVA, a vodič 20 kV — 185 mm² Al. U V knjizi obrađeno je nekoliko varijanti buduće mreže 110 kV. Predložena je varijanta mreže s poprečnim vezama. Za tu varijantu mreže 110 kV, a i za mrežu 30 kV razrađene su etape razvoja 1980, 1985. i 2000. godina.

Opseg: 5 knjiga, 500 stranica, 134 tablice, 98 slika.

Osnovno rješenje električne mreže na području Krka s usporedbom sistema 110-35-10 kV, 110-20 kV i 110-35-20 kV

Naručitelj: »Elektroprimorje« — Rijeka
Autor: Jakša Topić, dipl. ing.

U studiji je razmotreno sadašnje stanje električne mreže i konzuma. Prema prikupljenim podacima izvršena je procjena vršnog opterećenja po grupama potrošnje za etape 1985, 1990. i 2000. god. Za sve tri etape razrađene su varijante električne mreže 110—35—10 kV, 110—20 kV i 110—35—20 kV. Usporedbom troškova izgradnje nove i rekonstrukcije postojeće distributivne električne mreže svih varijanti na kraju promatranog razdoblja (2000. god.) u studiji se predlaže kao najjeftinija varijanta mreže 110—35—20 kV.

Opseg: 58 stranica, 34 tablice, 39 slika.

Optimalni oblik i pogon 10 kV i 20 kV mreže u gradovima

Naručitelj: ZEOH — Zagreb
Autor: Ivan Janić, dipl. ing.

Završeno u prosincu 1980.

U uvodu studije razmotrena je problematika planiranja električne mreže 10(20) kV s posebnim osvrtom na degresiju troškova kod povećane snage i izbora kabela s obzirom na zagrijavanja u slučaju kratkog spoja. Nakon toga razmatrani su različiti oblici i pogon električnih mreža 10(20) kV.

Za analizu u studiji sačinjen je izbor od šest oblika mreža i ispitan na oba modela za svaki napon 10 i 20 kV posebno. Utjecaj etapa razvoja prikazan je u četiri etape, a utjecaj gutoće opterećenja ispitan je mijenjanjem gustoće 5—40 MVA/km² po 5. Dobiveni aktualizirani troškovi razlikuju se kod napona mreže 10 ili 20 kV a i kod ispitanih modela, iako su te razlike relativno malene. Globalno uzevši, najpovoljniji je oblik mreže otvoreni prsten s poprečnim vezama.

Opseg: 27 stranica, 87 tablica, 31 slika.

Osnovno rješenje električne mreže srednjeg i visokog napona na području »Elektre« Šibenik

Naručitelj: »Elektrodalmacija« — OOUR »Elektra« Šibenik
Autor: Zvonimir Kovačević, dipl. ing.

U studiji je obrađeno sadašnje stanje mreže i potrošnje električne mreže. Na temelju raspoloživih podataka provedena je analiza konzuma i prognozirana je potrošnja električne energije za budućnost, i to za etape 1985, 1990. i 1995. godine. Na temelju dobivenih veličina za te etape razrađene su dvije varijante mreže 110—30—10 kV i 110—20 kV. U toku razrade pokazalo se da u varijanti 110—20 kV ne bi došlo do ukidanja transformacije 30/10 kV do kraja perioda promatranja. Stoga je ta varijanta nazvana 110—30—20—10 kV. Usporedbom troškova investicija i tehničkih pogodnosti pokazalo se da bi varijanta 110—30—20—10 kV bila pogodnija, pa se i ona preporuča kao rješenje mreže. Nakon promatranog razdoblja razvoj mreže trebalo bi usmjeriti prema naponskom sistemu 110—20 kV.

Opseg: 44 stranice, 55 tablica, 55 slika.

Analiza konzuma široke potrošnje i njen udio u vršnom opterećenju mreže

Naručitelj: ZEOH — Zagreb
Autor: Josip Moser, dipl. ing.
Nadzor: Josip Nevešćanin, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1980.

U ovoj studiji obrađena je problematika konzuma široke potrošnje. Nužna je prethodna definicija konzuma široke potrošnje kao skupa više karakterističnih konzuma kao što su konzum u kućanstvu, konzum u turizmu, konzum u pratećoj širokoj potrošnji i konzum u definiranoj širokoj potrošnji.

U uvodnom dijelu studije također je bilo nužno prikazati načela urbanističkog planiranja. Pokazana je klasifikacija naselja s obzirom na način izgradnje, veličinu i karakter naselja, a za svaki tip naselja definiran je i određeni asortiman pratećih sadržaja. Za ove prateće sadržaje uobičajene su tipične ili standardne veličine, prema urbanističkoj praksi. Zato su u uvodnom poglavlju nabrojeni i uobičajeni normativi za planiranje pratećih sadržaja.

U slijedećem poglavlju dana je definicija široke potrošnje. Na osnovi prikupljenih statističkih podataka analizirana je tendencija u razvoju široke potrošnje te ocjena međuovisnosti razvoja široke potrošnje i potrošnje u kućanstvima prema ukupnoj potrošnji. Ova analiza provedena je za veći vremenski period. Statistička obrada sastoji se od regresivne analize vremenskih nizova podataka o pojedinim distributivnim područjima, kao i za cijelu SRH. Rezultate analize moguće je povezati s razvojem gradskih naselja i nekih gradova u nas. Drugi dio statističke obrade obuhvaća i utvrđuje koeficijente korelacija između potroška u kućanstvu i ostalih elemenata ostale široke potrošnje.

U poglavlju koje govori o metodici analize konzuma najprije je naglašena svrha i značaj istraživanja te je opisan za svaki element konzuma široke potrošnje — način i sistem prikupljanja podataka, izvori podataka te način obrade podataka o dosadašnjem razvoju. Nadalje su opisani elementi koji utječu na perspektivni rast konzuma ostale široke potrošnje. Za sve elemente dan je pregled metode istraživanja, iz čega se izvodi sintetizirana metoda za istraživanje konzuma široke potrošnje. Na kraju u poglavlju u kojem su dani i rezultati istraživanja obrađeni su i normativi prognoziranih elektroenergetskih potreba konzuma široke potrošnje. Ti normativi povezani su uz naselja i kapacitete izgradnje naselja određene veličine u SRH s obzirom na način, veličinu i karakter izgradnje. Uz rezultate dani su i zaključci i preporuke autora.

Opseg: 89 stranica, 48 tablica i 16 slika.

Racionalizacija potrošnje električne energije — podloge za provedbu racionalizacije u području razdiobe i potrošnje električne energije

Naručitelj: ZEOH — Zagreb
Autor: Ernest Mihalek, dipl. ing.
Nadzor: Mirjana Crnčić, el. tehn.
Recenzent: Vojislav Plazinić, dipl. ing.

Završeno i recenzirano u veljači 1980.

U studiji su promatrane mogućnosti racionalizacije na području razdiobe i potrošnje električne energije i to na tri glavna sektora:

— u distribuciji
— u širokoj potrošnji
— u industriji

te na ostalim sektorima koji su na ovaj ili onaj način povezani s navedenima. Okosnicu provedbe mjera racionalizacije u ovim objektnostima treba da čini jedan širi društveni dogovor o provedbi mjera racionalne proizvodnje, prijenosa, distribucije i potrošnje električne energije u kojem bi osim ostalih bili navedeni i ovi sektori, zanimljivi za područje razdiobe električne energije.

U grubim crtama, tu bi trebale biti navedene osnovne mjere na koje će se obavezati potpisnici. Ove osnovne mjere moraju biti obrađene tako da se pod njih mogu svrstati ostale manje značajne. Potpisnici dogovora trebali bi biti Izvršno vijeće Sabora SRH, banke, elektroprivreda, industrija, sredstva informiranja i odgoja itd.

Realizacija Dogovora provodila bi se programima koji mogu biti:

— dugoročni (5 do 15 i više godina)
— srednjoročni (1 do 5 godina)
— kratkoročni (do 1 godine).

što primijenjeno već na samu distribuciju obuhvaća:

— područje planiranja, upravljanja, organizacije i ekonomike distributivnih mreža
— područje potrošnje u tzv. širokoj potrošnji el. energije
— područje planiranja i organizacije racionalizacije u industriji
— područje koje najšire utječe na sve ostalo — šira elektroprivreda i društvo — i putem propisa, kontrole, edukacije i sl. vodi opću racionalizaciju.

Predloženim mjerama u studiji realno bi se mogle očekivati uštede na primarnim sirovinama za proizvodnju energije (kao rezultat racionalizacije u lancu distribucije i potrošnje):

— u srednjoročnom razdoblju do 10%
— u dugoročnom razdoblju do 25%.

U to nije uračunata mogućnost poništenja neiscrpivih izvora energije koji bi mogli dijelom zamijeniti klasične izvore.

Opseg: 91 stranica, 13 tablica, 7 slika.

Tipizacija opreme transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV za gradnju distributivne mreže

Naručitelj: ZEOH — Zagreb
Autori: mr Rihard Schenner, dipl. ing.
Rudolf Šimunec, el. tehn.

Završeno u ožujku 1980.

Pregledom sadašnjeg stanja u studiji zaključeno je da u SR Hrvatskoj vlada veliko šarenilo po obliku i opskrbljenosti transformatorskih stanica 10(20)/0,4 kV opremom. U studiji se dalje daje pregled asortimana domaćih proizvođača opreme za distributivne TS 10(20)/0,4 kV i trend razvoja proizvodnje. Na modelu su zatim ispitane pojedine nazivne snage s obzirom na različite uvjete koji mogu odlučiti o izboru, kao što su tipovi kućanstava, tipovi gradnje naselja, cijene. Uz diskusiju što je dosad učinjeno na razvoju distributivnih stanica 10(20)/0,4 kV i što bi trebalo još učiniti, preporuča se stanica instalirane snage 1000 kVA kao optimalna za gradsko područje, s tim da se zadrže još i snage 400 i 630 kVA ovisno o potrebama konzuma.

Opseg: 102 stranice, 23 tablice, 32 slike.

Metoda za određivanje standardnih i ugovornih uvjeta opskrbe potrošača električnom energijom

Naručitelj: ZEOH — Zagreb
Autori: Ernest Mihalek, dipl. ing.
Krešimir Mehičić, el. tehn.
Suradiici: Dasenko Baldasari, dipl. ing.
Srđan Žutobratić, dipl. ing.
Nadzor: Jovan Bubnjević, dipl. ing.

Završeno u srpnju 1980.

Uočljiv je nedostatak kod planiranja naših mreža u činjenici da nije dovoljno objašnjeno što je to »standardni« način isporuke električne energije, pa se tom poslu onda prilazi na vrlo različit način. Zato je zadatak ove studije bio da istraži koji bi to bili »standardni uvjeti isporuke« električne energije, a na temelju čega bi se mogla načiniti i kvantifikacija kojom bi se odredila veličina dodatnih sredstva da se »standardni uvjeti« potrošača postignu.

Zbog toga je najprije na temelju domaćih i stranih iskustava definirano dvoje:

1. tolerancije napona i frekvencije na pojedinim točkama mreže;
2. sigurnost napajanja potrošača s obzirom na njihovu važnost i značaj.

Ova druga točka posebno je prostudirana s obzirom na pouzdanost pojedinih elemenata naših mreža i kategorizaciju potrošača koji zahtijevaju određenu sigurnost. Načinjen je prijedlog kategorizacije i načina napajanja potrošača određenog značaja. To izaziva posljedicu da potrošači moraju analogno biti tretirani i u ugovorima s elektroprivredom, a prema Zakonu o obaveznim odnosima (Sl. list SFRJ 29/78) mora se u ugovore unositi i obaveza naknade štete ako nisu osigurani standardni uvjeti definirani kao u predloženoj studiji.

Opseg: 76 stranica, 14 tablica, 6 slika.

Metodologija uvođenja i korištenja podataka na razini ZEOH-a iz djelatnosti distribucije

Naručitelj: ZEOH — Zagreb

Autor: Filipović-Grčić Božidar, dipl. ing.

Istražujući različite načine organizacije podataka, studija pokazuje da se optimalni rezultati prikupljanja i obrade podataka mogu postići formiranjem baze podataka (BP) za potrebe ZEOH-a iz djelatnosti distribucije. Obrazloženi su osnovni principi organizacije BP i dan osvrt na dosadašnja iskustva u organiziranju i korištenju BT te navedene mogućnosti korištenja BP u distributivnim organizacijama. Anketom su utvrđeni i nakon toga sistematizirani zahtjevi ZEOH-a i ostalih potencijalnih korisnika BP. Nakon toga izvršena je analiza podataka, procjena veličine i organizacije BP i predložene etape realizacije. Posebno su obrađena organizacijska pitanja vezana za korištenje BP, dani su detaljni prijedlozi mogućih aplikacijskih programa i definirani osnovni zahtjevi koji se postavljaju na sigurnost, tajnost i dostupnost BP. Na kraju studije predložena je organizacija prikupljanja podataka u distributivnim organizacijama.

Opseg: 196 stranica, 15 slika, 89 tabelica.

STUDIJ TERMOENERGETSKIH SISTEMA

Osnove programa aktivnosti za izgradnju 3 500 MWe u nuklearnim elektranama SR HRVATSKE DO 2000. GODINE

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autori: Kosta Bojić, dipl. ing.
Ivo Božin, dipl. ing.
dr Duško Čorak, dipl. ing.
prof. dr Danilo Feretić, dipl. ing.
Jadranko Karuza, dipl. ing.
dr Josip Lakota, dipl. ing.
mr Niko Malbaša, dipl. ing.
Zvonko Milonja, dipl. oecc
Emil Olujić, dipl. pravnik
Vinko Štambuk, dipl. ing.
Slavko Tomić, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1980.

Svrha studije je izrada programa danas sagledivih najvažnijih i vremenski najhitnijih aktivnosti na svim relevantnim područjima, kako bi se u najkraćem mogućem roku pristupilo ostvarivanju preduvjeta za uspješno savladavanje izgradnje 3 500 MW u nuklearnim elektranama u SRH do 2000. godine.

U studiji su obrazložene potrebe izgradnje NE u SRH, određen red veličine investicijskih ulaganja, preliminarni program najhitnijih aktivnosti te grub terminski plan aktivnosti.

Opseg: 83 stranice.

Osnove za usmjeravanje razvoja centraliziranog toplinskog sistema Zagreba

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb

Autori: dr Duško Čorak, dipl. ing.
Zdravko Mužek, dipl. ing.
Hrvoj Štingl, dipl. ing.
Marijan Sarajlija, dipl. tehn.

Razvoj centraliziranog toplinskog sistema vezan je prije svega uz dugoročna sagledavanja cjelokupnog razvoja. Zbog toga je rad na studiji dao cjelokupan, širok pregled stanja opskrbe toplinskih korisnika do sada i predviđanja u budućnosti.

U okviru studije obrađena su stanja primarnih oblika energije (nafte, plina, ugljena), prikazano stanje energetske opskrbe Zagreba, dana primjena kriterija za usmjeravanje opskrbe pojedinim oblicima toplinske opskrbe, dan je prikaz mogućnosti opskrbe prirodnim plinom i loživim uljem zagrebačkih toplana u razdoblju 1980—1985 god. s prognozom do 1995. god. te mogućnosti prijelaza na ugljen. Dana je i usporedba korištenja plina u TE—TO u odnosu na direktnu upotrebu kod trajnijeg korisnika, prikaz opravdanosti toplinske opskrbe iz NE Prevlaka kao trajna orijentacija, prijedlog rješenja za politiku cijena goriva za toplinski sistem Zagreba u međuperiodu do ulaska u pogon NE Prevlaka, te konačno prikaz doprinosa centraliziranog toplinskog sistema smanjenju zagađivanja okolice.

Opseg: 50 stranica, 27 tabelica i 18 slika i dijagrama.

Opskrba Zagreba ogrjevnom toplinom iz NE Prevlaka — II dio

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb

Autori: dr Duško Čorak, dipl. ing.
mr Niko Malbaša, dipl. ing.
mr Zlatko Kolerički, dipl. ing.
Miroslav Juretić, dipl. ing.

U toku 1977. godine načinjen je I dio studije koji je predstavljao prvi rad na području opskrbe urbanih sredina ogrjevnom toplinom iz nuklearne elektrane u nas.

II dio studije predstavlja danji korak na tom području te daje konkretne prijedloge rješenja nuklearne elektrane Prevlaka, obrazloženje detaljnim ekonomskim analizama.

Opseg: 30 stranica, 11 tabelica, 8 slika i dijagrama.

Lociranja nuklearnih elektrana u SR Hrvatskoj

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autori: I knjiga: »Regulative, metode, parametri«
mr. Niko Malbaša, dipl. ing.
II knjiga: »Određivanje makrolokacija, analiza relevantnih podataka«
mr Niko Malbaša, dipl. ing.
Jure Ćurković, dipl. ing.
dr Eduard Prelogović, dipl. ing.
mr Dragutin Cvijanović, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
dr Pavao Miletić, dipl. ing.
Željko Minčir, dipl. ing.
mr Vesna Blašković, dipl. ing.
III knjiga: »Vrednovanje makrolokacija«
mr Niko Malbaša, dipl. ing.
Jure Ćurković, dipl. ing.

Studija u tri knjige obrađuje problematiku vezanu za izbor lokacija za nuklearne elektrane. U knjizi su dane osnovne značajke izbora lokacije, osvrt na regulativu iz područja lociranja nuklearnih elektrana, kako strane, tako i domaće, opis metode vrednovanja lokacija, dani su kriteriji za eliminiranje lokacija te parametri koji utječu na izbor lokacije u fazi koja prethodi istražnim radovima.

Druga knjiga daje prikaz određivanja lokacija i analizu relevantnih podataka (podaci o naseljenosti, meteorološki podaci, seizmološki podaci, seizmološke, neotektonske i seizmotektonske analize, parametre jačine seizmičkih sila, hidrogeološke karakteristike, hidrološke karakteristike, analize elektroenergetskih prilika, opis lokaliteta i ostale relevantne karakteristike).

U trećoj knjizi je obrađeno vrednovanje lokacija nuklearnih elektrana.

Opseg: 1. knjiga 160 stranica i 15 slika, 2. knjiga 135 stranica i 14 slika, 3. knjiga 30 stranica i tablica.

Izvještaj o ispitivanju stanja parovoda vrućeg međupregrijanja u TE Plomin

Naručitelj: TE Plomin

Autor: Marino Balog, dipl. ing.

Laborato: »TPK« OOUR Zavod za energetsku i procesnu opremu
rijska obrada:

Dugogodišnja eksploatacija iskustva s visokooptere ćenim parovodima pokazala su da do danas razvijene metode dimenzioniranja i proračunavanja parovoda ne pružaju kod pogonskih uvjeta dovoljnu sigurnost. Posljedice toga su havarije na parovodima, odnosno neplanirane obustave koje ugrožavaju sigurnost osoblja i izazivaju nepredviđene troškove.

Zbog navedenih razloga pristupilo se ispitivanju parovoda vrućeg međupregrijanja u TE Plominu, kako bi se sagledalo njegovo stanje i procijenio teorijski preostali životni vijek.

Opseg: 40 stranica teksta, proračuna i slika.

Utvrđivanje energetskih karakteristika postrojenja bloka 320 MW u TE Rijeka I

Naručitelj: Elektroprivreda Rijeka, TE Rijeka

Ispitivanje i obrada: Stjepan Ivančić, dipl. ing. sa suradnicima

Na osnovi provedenih mjerenja određene su energetske karakteristike bloka 320 MW u TE Rijeka I. U elaboratu su dani opisi provedenih mjerenja, razrađeni mjereni rezultati, provedeni svi potrebni proračuni, dane usporedbe ostvarenih rezultata mjerenja sa garantiranim veličinama.

Opseg: 138 stranica teksta, slika i dijagrama te prilozi proračuna s računskog stroja.

Investicijski program izgradnje bloka 45 MW u PTE Osijek

Naručitelj: »Elektroslavonija« Osijek

Autori: Izrađeno u suradnji s Elektroprojektom i Elektroslavonijom

Na osnovi prethodno izrađenih studija u kojima je utvrđena opravdanost izgradnje toplanskih izvora u toplinskom sistemu Osijeka, te na osnovi raspoložive opreme iz planirane TE-TO Rijeka, načinjen je investicijski program za izgradnju bloka 45 MW. U investicijskom programu su dani svi potrebni podaci za projektiranje. Dani su i detaljni opisi tehničkog rješenja, detaljne specifikacije opreme i radova, obrađen utjecaj na okolinu, razrađen terminski plan izgradnje, dane smjernice za osiguranje kvalitete u toku izgradnje, procijenjena potrebna investicijska ulaganja i načinjena ekonomska obrada, te izrađene sve potrebne sheme, nacrti i proračuni.

Opseg: 245 stranica teksta, slika i dijagrama.

Konzultantski poslovi

Naručitelj: Elektroprivreda-Zagreb, OOUR TE Sisak

Voditelj Poslova: Dr Dubravko Matanić, dipl. ing.

Dugogodišnja suradnja Instituta i Elektroprivrede Zagreb, OOUR TE Sisak rezultirala je u toku 1977. godine potpisivanjem Samoupravnog sporazuma o petogodišnjoj tehničkoj suradnji između ovih organizacija na zajedničkom rješavanju pogonske eksploatacije i razvojne problematike TE Sisak. Jedan od najznačajnijih zadataka koji se u okviru Sporazuma rješava jest snižavanje tehničkog minimuma blokova TE Sisak, i to u I fazi na 50%, a u II fazi na 30% nominalnog opterećenja.

Dosadašnje angažiranje Instituta na rješavanju ove problematike prvenstveno se odnosilo na osposobljavanje postrojenja za loženje za rad u širokom opsegu regulacije od 20 do 100% opterećenja. Na ovom području do sada su dana nova rješenja na goračima za teško ulje za loženje i provedena su opsežna ispitivanja kvalitete rada i izgaranja u generatorima pare.

Osim toga, značajan dio aktivnosti odnosio se na analizu i rješavanje problema sigurnog rada generatora pare u pogledu cirkulacije kroz isparivačke površine pri snižavanju opterećenja do 50%.

Za potrebe realizacije postavljenog programa snižavanja tehničkog minimuma blokova u TE Sisak potrebno je obaviti i određene rekonstrukcije na postrojenju, pa je za te potrebe načinjen investicijski program koji osim procjene investicijskih ulaganja daje sve potrebne podatke u pogledu odabiranja tehničkog rješenja rekonstrukcije, detaljne specifikacije opreme, program rada i terminski plan rekonstrukcije, te sve ostale potrebne podatke za provođenje postavljenog programa.

Osiguranje kvalitete strojarske opreme za HE Čakovec

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb, RZ za izgradnju HE Čakovec

Izvršioci: Mato Cvitanović, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Vladimir Bradač, dipl. ing.

Angažman Instituta na poslovima osiguranja kvalitete strojarske opreme za HE Čakovec nastavljen je i u 1980. godini, nakon uspješno obavljenih radova u toku 1978. i 1979. 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 oprele za RHE Obrovac

Naručitelj: Elektroprivreda Dalmacije RO za proizvodnju i prijenos električne energije

Izvršioci: Mijo Martinko, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.

U toku 1980. godine provođene su aktivnosti osiguranja kvalitete pri izradi strojarskih komponenata za RHE Obrovac prema Institutskom programu kontrole i osiguranja kvalitete.

Osiguranje kvalitete strojarske opreme za TE-TO Osijek

Naručitelj: »Elektroslavonija« Osijek

Izvršioci: Mijo Martinko, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.

U toku 1980. godine kontinuirano su provođene aktivnosti osiguranja kvalitete pri izradi strojarskih komponenata kod domaćih i inozemnih isporučilaca opreme prema Institutskim programima kontrole i osiguranja kvalitete izrade opreme.

Osiguranje kvalitete strojarske opreme za NE Krško

Naručitelj: Nuklearna elektrana Krško — u izgradnji

Izvršioci: Mladen Nadinić, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Vladimir Bradač, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
Hrvoje Kunaj, dipl. ing.
Antun Eisenreich, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
Marino Balog, 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 kváliteta 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. god. u okviru funkcionalnih ispitivanja pojedinih sistema NE Krško vršeni su radovi na kontroli provođenja svih ispitivanja, te evaluaciji rezultata izmjerenih vrijednosti u odnosu na zahtjevane projektne parametre. Ti su radovi vršeni radi utvrđivanja funkcionalnosti pojedinih sistema i davanja ocjene stanja sistema u odnosu na projektne parametre za potrebe izdavanja uporabne dozvole za objekat.

Osnovno ispitivanje vitalnih komponenti opreme NE Krško (PRE SERVICE INSPECTION)

Naručitelj: NE Krško u izgradnji

Izvršioci: Mladen Nadinić, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.

Na osnovi zahtjeva tehničke regulative primjenjivane na nuklearnim elektranama obavezna je provedba osnovnog ispitivanja vitalnih komponenata opreme. Institut za elektroprivredu obavlja provedbu ovih poslova za NE Krško u skladu s postojećom američkom regulativom (ASME, B & PVC, Section XI). U toku 1979. godine obavljene su pripreme za izradu programa ispitivanja, sklopljen je aranžman za konzultantske usluge s Westinhouseom, Nuclear Service Division — organizacijom s dugogodišnjim iskustvom na tim poslovima; dogovorena suradnja s Tvornicom parnih kotlova o zajedničkom učešću na obavljanju dijela poslova vezanih za bezrazorna ispitivanja, a u toku 1980. god. ispitivanja su provedena te načinjeni preliminarni i završni izvještaji.

Osnovna ispitivanja cijevi dvaju parogeneratora u NE Krško

Naručitelj: NE Krško u izgradnji

Izvršioci: Mladen Nadinić, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.

Na bazi zahtjeva ASME B & PV Code Sec. XI provedeno je u NE Krško osnovno ispitivanje cijevi generatora pare. Ispitivanje je provedeno pomoću automatizirane opreme s daljinskim upravljanjem metodom vrtložnih struja. Ispitivanje su zajednički proveli Institut za elektroprivredu i ZETEC INC iz SAD. Opseg posla obuhvatio je ove aktivnosti: pripremu i izradu programa ispitivanja, školovanja i izobrazbu osoblja Instituta za ispitivanje pomoću vrtložnih struja, samo ispitivanje te evaluaciju rezultata i izradu završnog izvještaja.

Radovi na planiranju i praćenju izvršenja radova na izgradnji NE Krško

Izvršilac: Zoran Selanec, dipl. ing.

U okviru radova na planirnju i praćenju izvršenja radova na izgradnji NE Krško obavljaju se radovi na gantogramskom planiranju i praćenju izvršenja radova te praćenju financijske realizacije 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.

Ostali radova

Naručitelji: Razni

Autori: Kolektiv studijske jedinice

Na zahtjev elektroprivrednih i drugih organizacija obavljene su u toku 1980. godine razne aktivnosti od kojih se navode neke opsežnijeg karaktera:

— kontrola izgaranja u ložištima većim od 1,6 MW obavljena na temelju rješenja Sekretarijata za zdravstvenu zaštitu grada Zagreba, broj 87-524/2-74 od 10. 4. 1971. izdanog na temelju člana 7. Odluke o mjerama za zaštitu zraka od zagađivanja produktima izgaranja

— niz ispitivanja i mjerenja manjeg opsega na energetskim objektima radi provjere garantiranih veličina od isporučilaca opreme ili radi poboljšanja ekonomike postrojenja.

STUDIJ HIDROTEHNIČKIH SISTEMA

Studija energetskog iskorištenja vodotoka Orljave u području Save

Naručitelj: »Elektroslavonija« Osijek

Autori: Đuro Hatić, dipl. ing.
Nedjeljko Šimundić, dipl. ing.
Stanko Drempetić, dipl. ing.

U studiji se razmatra opravdanost izgradnje malih elektrana na Orljavi, te upućuje na mogućnost izgradnje crpne elektrane u gornjem dijelu toka.

Na bazi planova razvoja vodoprivrednih objekata u porječju Orljave i postojećih hidroloških i topografskih podataka definiran je specifični hidropotencijal duž vodotoka, odabrane najpovoljnije lokacije energetskih objekata, te je za predložena tehnička rješenja i razne veličine izgradnje provedbom gospodarsko-tehničke analize određena, metodom omjera godišnjih koristi i troškova, veličina izgradnje za najveći faktor rentabilnosti, $r = \frac{K}{T}$ (god. koristi/god. troškovi).

Uz opis koncepcije rješenja energetskih objekata dane su osnovne karakteristike postrojenja, opisan je mogući režim rada i upravljanje elektranama, električna shema i priključak elektrana na mrežu.

Upozoreno je na mogućnost izgradnge crpne elektrane u gornjem dijelu toka Orljave predočenjem mogućeg tehničkog rješenja i osnovnih parametara postrojenja, kao što su ukupna i korisna zapremina gornje i donje akumulacije, pad i mogući instalirani protok.

Uz shematski presjek kroz postrojenje dan je opis koncepcije tehničkog rješenja s osvrtom na uvjete izvedbe objekata.

Opseg: 122 stranice teksta s proračunima, skicama i dijagramima i 3 priloga (nacrta).

Crpna elektrana Borovik — idejno rješenje

Naručitelj: »Elektroslavonija« Osijek

Autor: mr Mladen Petričec, dipl. ing.
sa suradnicima

U elaboratu je obrađeno tehničko rješenje i provedena analiza ekonomske opravdanosti izgradnje CHE u gornjem toku rijeke Vuke (Slavonija).

Prema podacima o energetskoj potrebi Slavonije i planiranim objektima do 2000. godine, uz uzimanje u obzir topografskih karakteristika i raspoložive količine vode, predloženo je postrojenje svih osnovnih karakteristika:

— instalirani protok: 2×100 m³/s

— srednji pad: 109 m

— snaga turbine: 186 MW
— vrijeme turbinskog rada: 5,5 sati
— vrijeme pumpnog rada: 7,33 sati
— srednja godišnja proizvodnja: 332,5 GWh
— srednja godišnja potrošnja: 458,4 GWh.

Na osnovi troškova izgradnje, vrijednosti temeljne i vršne energije i planiranog povećanja vrijednosti energije u toku eksploatacijskog perioda postrojenja koeficijent rentabiliteta kreće se od 0,80 do 0,90.

Osim za energetske potrebe, predviđeno je korištenje vode donjeg bazena za poljoprivredu, zaštitu od poplave i rekreaciju.

Opseg:
I. Opći dio (61 stranica, 6 priloga)
II. Građevinski dio (76 stranica, 15 priloga)
III. Elektrostrojarski dio (65 stranica, 21 prilog)
IV. Organizacija građenja i gospodarsko-tehničke analize (120 stranica i 17 priloga).

Tehnička promatranja građevnih objekata HE Ozalj

Naručitelj: »»Elektra« Karlovac OOUR HE Ozalj
Autori: Đuro Hatić, dipl. ing.
Krunoslav Klak, dipl. ing.

Nakon sanacije objekata HE Ozalj, Institut za elektroprivredu je angažiran zbog praćenja rezultata sanacije, kao i zbog opće procjene stanja građevinskih objekata. U tu svrhu u 1980. godini obavljena su tehnička promatranja koja su obuhvatila HE Ozalj I (staro postrojenje), HE Ozalj II (novo postrojenje), branu i akumulacijsko jezero.

U izvještaju o tehničkim promatranjima registrirano je postojeće stanje objekata i dani su prijedlozi daljnjih koraka potrebnih zbog održavanja objekata.

Opseg: 8 stranica, 19 skica i slika.

Konzultantski radovi

Naručitelj: »Elektroslavonija« Osijek
Voditelj: Đuro Hatić, dipl. ing.

Od 1977. godine Institut na bazi petogodišnjeg ugovora radi na programiranju, vođenju i obradi višenamjenskog iskorištenja vodnog potencijala rijeke Drave na dionici od Barča do ušća rijeke u Dunav.

U okviru tog rada Institut je izradio Idejno rješenje HE Moslavina i HE Osijek, program pripreme podloga i potrebnih istraživanja za idejne projekte i mrežni plan projektiranja.

Idejnim rješenjem HE Moslavina i HE Osijek (autor: Đuro Hatić, dipl. ing. završeno 1979. godine) obrađena je mogućnost iskorištenja energetskog potencijala Drave na njezinu najnizvodnijem dijelu.

Institut u ime naručitelja surađuje s partnerima iz NR Mađarske zaduženim za pripremu kompleksnog iskorištenja Drave na pograničnom dijelu između NR Mađarske i Jugoslavije.

U 1980. godini Institut je u ime naručitelja kao investitora nadzirao i koordinirao izradu Osnovnog projekta energetskog korištenja Dunava uzvodno od HE Đerdap, koje je izradio »Energoprojekt« — Beograd.

Opseg: Idejno rješenje HE Moslavina — 4 knjige,
Idejno rješenje HE Osijek — 3. knjige.

Nadzor nad radovima vezanim za izbor mikrolokacije za gradnju NE »Slavonija« — II faza

Naručitelj: Elektroslavonija Osijek
Voditelj: mr Mladen Petričec

U okviru radova II faze istraživanja (izbor mikrolokacije) za potrebe lociranja NE »Slavonija« Institut je preuzeo obavezu da pruža naručiocu konzultantske usluge, nadzire, koordinira terenskim istraživanjima i studijske obrade specijaliziranih izvođača.

Ugovorom su obuhvaćena ova područja istraživanja:
— geološka, geomorfološka i neotektonska
— seizmološka i seizmotektonska
— hidrogeološka
— hidrološka
— geomehanička.

Radovi su izvršeni u suradnji sa SJ za termoenergetske sisteme. U okviru ovog Institut samostalno obrađuje probleme hidrotehničke obrade izbora lokacije.

Nadzor na sanaciji objekata HE Ozalj

Naručitelj: »Elektra« Karlovac OOUR HE Ozalj
Izvršioci: Đuro Hatić, dipl. ing.
Krunoslav Klak, dipl. ing.

U toku eksploatacije objekata HE Ozalj I i II primijećene su štetne pojave procjeđivanja vode kroz tijelo brane i ispod tijela brane, koje su se s vremenom počele povećavati. Zato je odlučeno da se postojeće stanje sanira.

Institut za elektroprivredu je angažiran za obavljanje poslova sklapanja ugovora sa izvođačem i projektantom, kvalitativni i kvantitativni nadzor nad obavljanjem radova, primopredaju i konačni obračun.

Radove je po projektu svog instituta »Geoexpert« izvodila »Geotehnika« Zagreb.

Zbog sprečavanja procjeđivanja ispod brane izrađena je injekciona zavjesa, a zbog sprečavanja procjeđivanja kroz tijelo brane nabačena je na uvodno lice brane torkretna žbuka.

Za vrijeme radova na ulaznom dijelu HE Ozalj II otkrivene su nove pukotine koje su injektirane dodatnim bušotinama. Radovi su obavljeni 1979. godine.

Višenamjensko iskorištavanje vodnog blaga rijeke Drave u SR Hrvatskoj

Naručitelj: Vodoprivredna radna organizacija za vodno područje Drava-Dunav, Osijek
»Elektroprivreda« — Zagreb
»Elektroslavonija« — Osijek
Autor: Đuro Hatić, dipl. ing. sa suradnicima

Na osnovi dosadašnjih aktivnosti na višenamjenskom iskorištenju vodnog blaga rijeke Drave dan je prikaz korištenja voda za osnovne grane: energetiku, plovidbu, poljoprivredu, opskrbu vodom, te kratak opis ostalih namjena. Isto tako prikazana je zaštita od voda kao i zaštita voda.

Nastavno su prikazane dosadašnje aktivnosti, aktivnosti u toku, planirane aktivnosti, aktivnosti u perspektivi i suradnja s NR Mađarskom.

U ekonomskom dijelu prikazane su koristi i troškovi višenamjenskog korištenja. U Zaključku predložen je način realizacije višenamjenskog korištenja.

Opseg: 66 stranica, 7 tablica, 3 grafikona, 6 priloga.

OSTALI RADOVI

TEHNIČKA PROMATRANJA HIDROELEKTRANA HE »Varaždin« — Tehnička promatranja u 1979. godini

Naručitelj: »Elektroprivreda« Zagreb OOUR HE »Varaždin«
Autori: mr Mladen Petričec, dipl. ing.
Marijan Zelić, dipl. ing.

Institut je na temelju ugovora o tehničkom promatranju sklopljenim s Elektroprivredom Zagreb OOUR HE »Varaždin« kontinuirano provodio radove tehničkog promatranja na hidroelektrani »Varaždin« u toku 1979. godine, a u 1980. godini izradio i predao izvještaj o provedenim radovima. Institut je nastavio s tehničkim promatranjem HE »Varaždin« i u 1980. godini.

Tehničko promatranje visokih brana zakonom je propisano i obuhvaća niz radova u svrhu kontrole stanja postrojenja, te ujedno ukazuje na nepoželjne pojave u pogledu sigurnosti objekta.

Izvještaj o tehničkim promatranjima zasniva se na redovnim vizualnim pregledima objekata brane, strojarnice, akumulacijskog jezera i derivacionog kanala, obradi hidroloških podataka (oborine, vodostaji, protoke, podzemne vode na utjecajnom području) te obradi hidrografskih i geodetskih snimanja. Radi što boljeg prikaza stanja postrojenja izrađena je i fototeka.

U zaključnim razmatranjima dan je osvrt na stanje objekata, sustava za tehničko promatranje te prijedlozi radi poboljšanja kvalitete promatnajna u narednim godinama eksploatacije.

Opseg: 2 knjige — tekst (81 stranica, fototeka sa 78 fotografija), i prilozi (50 stranica = nacrti, dijagrami i tablica),

RADE KONČAR

NEKA NOVA RJEŠENJA U POBOLJŠANJU KONTINUIRANE OPSKRBE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM ZRAČNIM VODOVIMA SREDNJEG NAPONA

Uvod

Prenapučenost velikih gradova i industrijskih središta, te nedovoljna propusna moć njihovih prometnica, sve više postaju ograničavajući faktor daljnjeg razvoja industrijske proizvodnje na postojećim lokacijama.

Već i do sada je često bilo nužno, a u buduće će biti još češće, da se prilikom novih ulaganja u proširenje proizvodnje, pronađu nove — uglavnom — disperzirane lokacije, više ili manje udaljene od sadašnjih.

Osim toga, u prigradskim selima razvija se i značajna djelatnost na području proizvodnje i prerade hrane, koja također zahtijeva sve više el. energije.

Svi ovi potrošači opskrbljuju se, pretežno, zračnim vodovima napona 12, 24 i 38 kV, koji su izloženi čestim kvarovima pod utjecajem atmosferskih prenapona.

Automatsko odvajanje voda u kvaru

Postojeća rješenja s ugradnjom linijskih rastavljača, ili rastavnih sklopki, na počecima krajnjih vodova, ne daju mogućnost brzog lociranja kvara, pa čitava područja ostaju duže vrijeme bez električne energije sa svim posljedicama koje iz tog proizlaze.

Druga mogućnost, koja na odvojcima zahtijeva postavljanje odgovarajuće transformatorske stanice (TS), sa prekidačem za ponovno uklapanje i pripadnom relejnom zaštitom, predstavlja i još će dugo predstavljati, ekonomski neprihvatljivo rješenje za ovu vrstu potrošača.

Nastojanja proizvođača el. opreme, da se i ovim potrošačima omogući sigurnija opskrba el. energijom dovela su do primjene uređaja za automatsko odvajanje zračnog voda u kvaru, koji se prigrađuje na svaku fazu linijskog rastavljača, prema sl. 1.

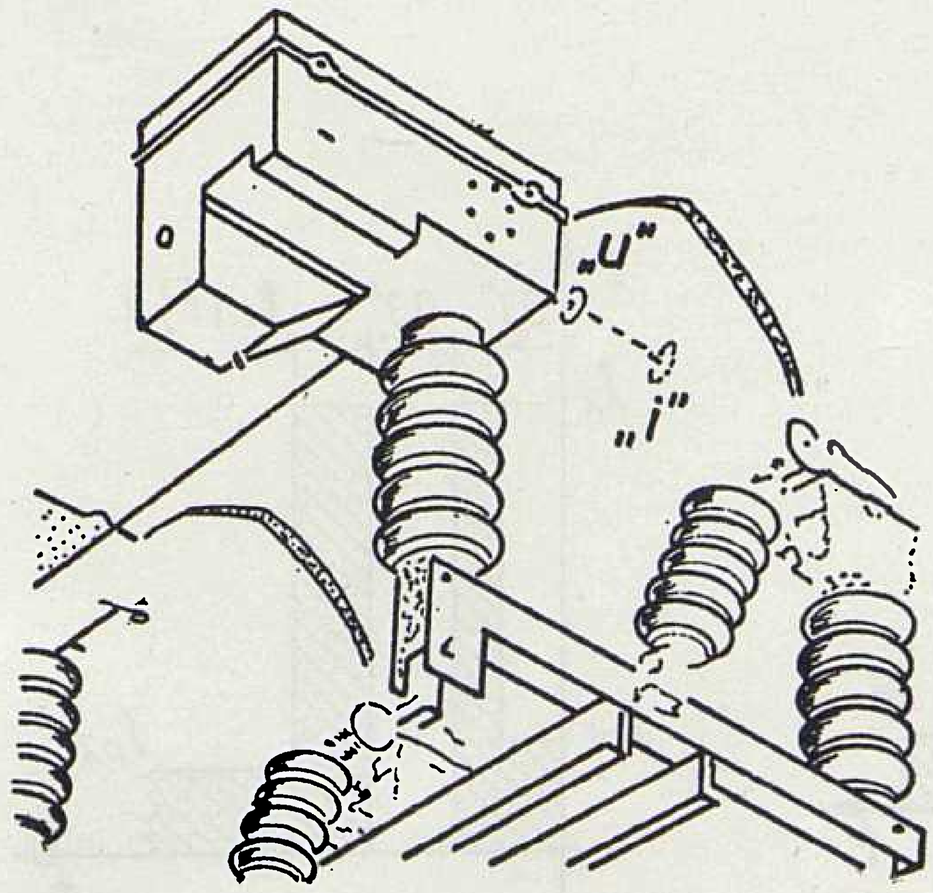
Primjenom ovog uređaja, omogućeno je veoma brzo odvajanje voda u kvaru, čime se osigurava nesmetana opskrba potrošača priključenih na druge krajnje vodove u promatranom konzumnom području.

Za naše razmatranje, pretpostavimo mrežu s četiri radijalno spojena voda — prema sl. 2. na čijim su počecima ugrađeni linijski rastavljači LR, ili rastavne sklopke, s uređajima za automatsko odvajanje voda u kvaru, proizvodnje »R. Končar« — OOUR Sombor.

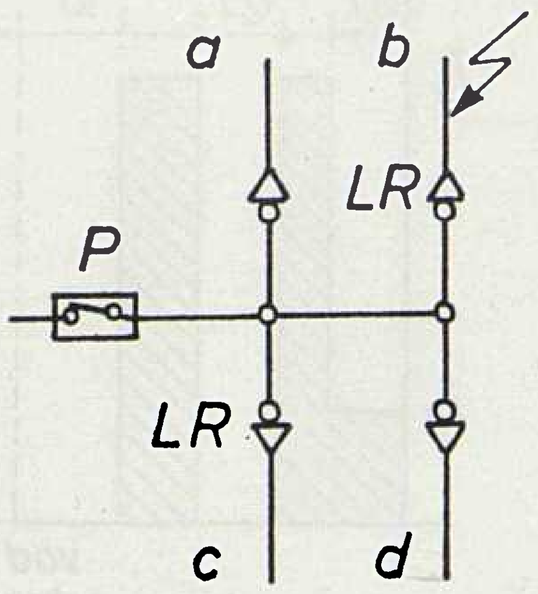
U slučaju pojave kvara na vodu (b), struja kratkog spoja I_k aktivira zaštitu prekidača (P), ugrađenog u TS na početku glavnog voda, koji prekida struju I_k za približno 0,1 — 0,2 sek. od njezinog nastanka.

Istovremeno je struja I_k aktivirala i automatski uređaj za odvajanje na vodu (b), koji nakon zatezanja od 10 do 20 sek. odvoji vod od preostalog dijela mreže.

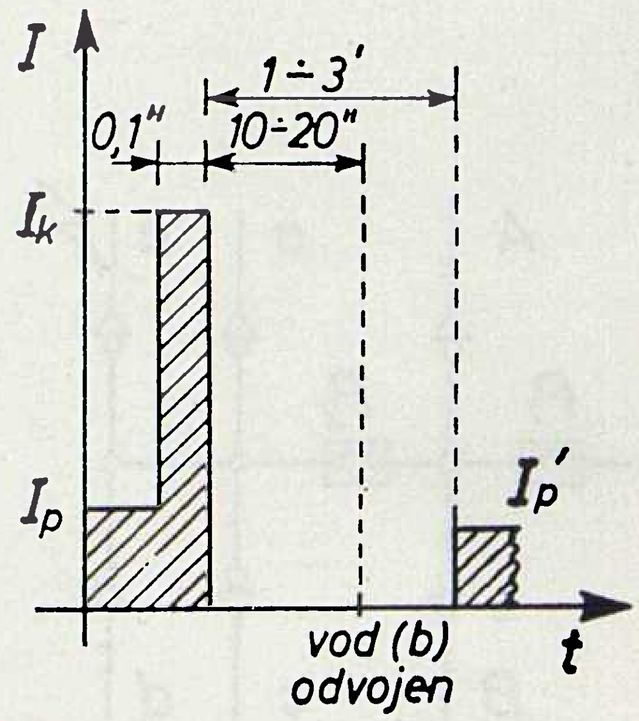
Uklapanjem prekidača, ručno ili automatski nakon pauze od 1 — 3 min., ponovno se nastavlja opskrba



Sl. 1.



Sl. 2.



Sl. 3.

potrošača priključenih na vodove (a), (c) i (d), kao što je vidljivo iz dijagrama na sl. 3.

$$I_p = I_k = 0$$

Prije otklanjanja kvara na vodu, potrebno je linijski rastavljač ručno otvoriti u krajnji isklopni položaj, čime se izdanak vidljiv na sl. 1. vrati iz položaja »i« u položaj »u« i na taj način ponovno zatvori strujni put kroz uređaj za automatsko odvajanje na vodu (b).

Samo po sebi razumljivo, ako je na početku glavnog voda ugrađen prekidač (P) suvremenih karakteristika, kao što su prekidači tipa M12 — 38 proizvodnje »RK« — OOUR Zagreb Borongaj, koji imaju mogućnost brzog ponovnog uklopa, te ako u TS postoji odgovarajući APU uređaj i ako se radi o prolaznom kvaru, prekidač (P) ponovo uklopi nakon pauze od 0,3 do 8 sek., da u tom slučaju automatski uređaj za odvajanje voda u kvaru neće proraditi, čime se nastavlja redovna opskrba i potrošača priključenih na vod (b).

Neke mogućnosti primjene uređaja za automatsko odvajanje voda u kvaru

Posebno je zanimljiv slučaj, ako na razvijenijem konzumnom području imamo i takve potrošače, koji ni kraću stanku u opskrbi el. energijom ne mogu prihvatiti zbog zastoja u proizvodnom procesu. Primjer opskrbe važnijih potrošača na vodovima A i B, uz korištenje dva prekidača i linijskih rastavljača s uređajem za automatsko odvajanje voda u kvaru, prikazan je na slici 4.

U našem primjeru, ponovno je pretpostavljen kvar na odvojku (b). Struja kratkog spoja istovremeno potiče relej za automatsko odvajanje voda (b), te odgovarajuće zaštite na prekidačima P_1 i P_2. Zaštita prekidača u glavnoj TS, je tako podešena da prekidač P_1 prvi isklopi, dok je vremensko zatezanje na uređaju za automatsko odvajanje voda u kvaru — kako već znamo — od 10 do 20 sekundi. Uređaj za brzo ponovno uklapanje, uz prekidač P_1, odmah proslijedi impuls za ponovni uklop, te prekidač — nakon beznaponske pauze od približno 0,3 sek. — ponovno uklopi.

Ako je kvar bio prolaznog karaktera, opskrba el. energijom nastavlja se dalje bez ikakvih smetnji na čitavom području, kao što je opisano u prvom dijelu ovog članka.

Međutim, ako je na vodu (b) kvar trajnog karaktera, uklapanjem prekidača P_1 ponovno se u vodu (b), kao i kroz prekidače P_1 i P_2 uspostavlja struja kratkog spoja I_k. Za ovaj slučaj, zaštite na prekidačima se tako podešene, da drugo isklapanje izvrši prekidač P_2 u područnoj TS.

Ovime je mjesto kvara odvojeno prekidačem P_2, čime je osigurana nesmetana opskrba potrošača priključenih na vodovima A i B. Dijagram struje kroz prekidač P_1 prikazan je u ovom primjeru na sl. 5.

Nakon 10 do 20 sekundi po isklopu prekidača P_2, tj. nakon prestanka djelovanja struje kratkog spoja I_k, uređaj za automatsko odvajanje voda u kvaru, odvoji vod (b) od ostalog dijela mreže, čime vod (b) trajno ostaje izvan pogona dok se kvar točno ne pronađe i otkloni. Za potrošače priključene na vodove (a), (c), i (d), uspostavit će se ponovno redovna opskrba el. energijom jednu do tri min. nakon isklopa prekidača P_2 u područnoj TS, a dijagram struje kroz prekidač P_2 prikazan je u tom slučaju na sl. 6.

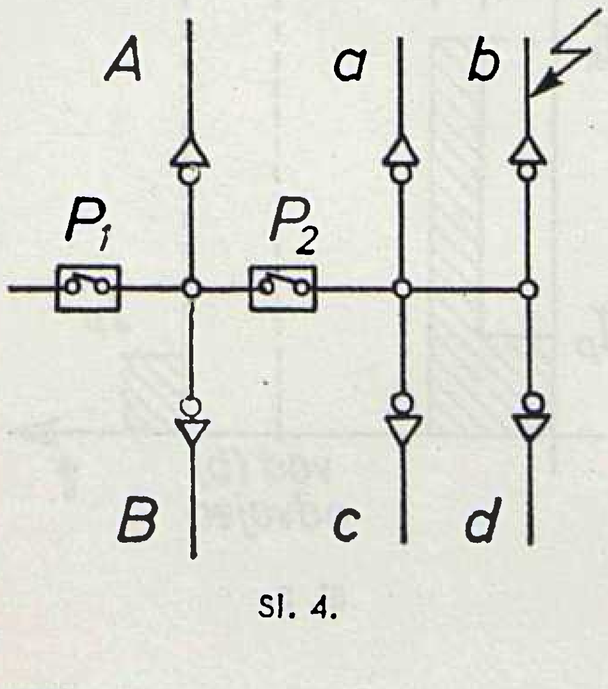
Zaključak

Iz navedenih primjera se vidi da uređaj za automatsko odvajanje voda u kvaru omogućava:

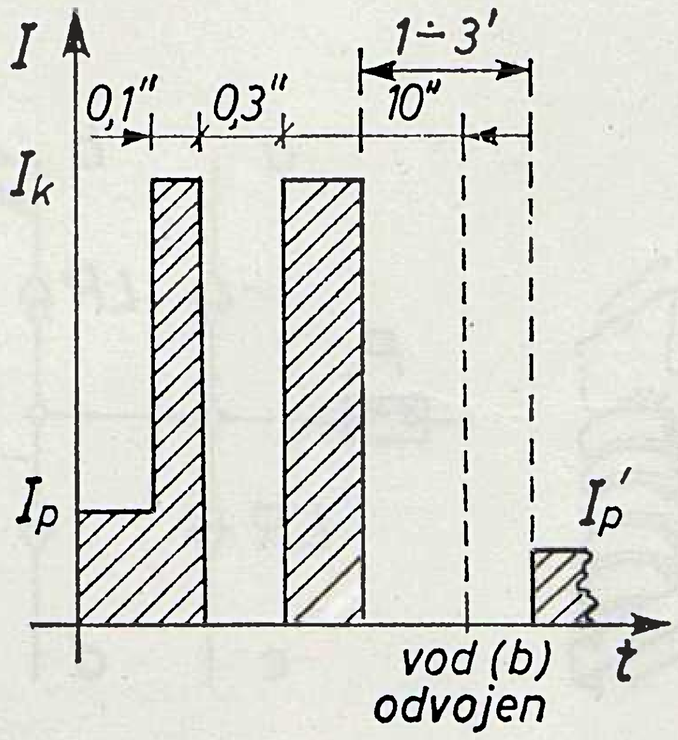
— sigurniju opskrbu el. energijom, radi manjeg broja ispada, jer izvan pogona ostaje samo vod u kvaru,
— kraće vrijeme za pronalaženje i otklanjanje kvara,
— manje troškove za otklanjanje nastalih kvarova,
— manje ljudstva i vozila za održavanje zračnih mreža srednjeg napona.

Sve ove prednosti potvrđuju zaključak, da se ubuduće može očekivati značajna primjena uređaja za automatsko odvajanje voda u kvaru na zračnim mrežama srednjeg napona.

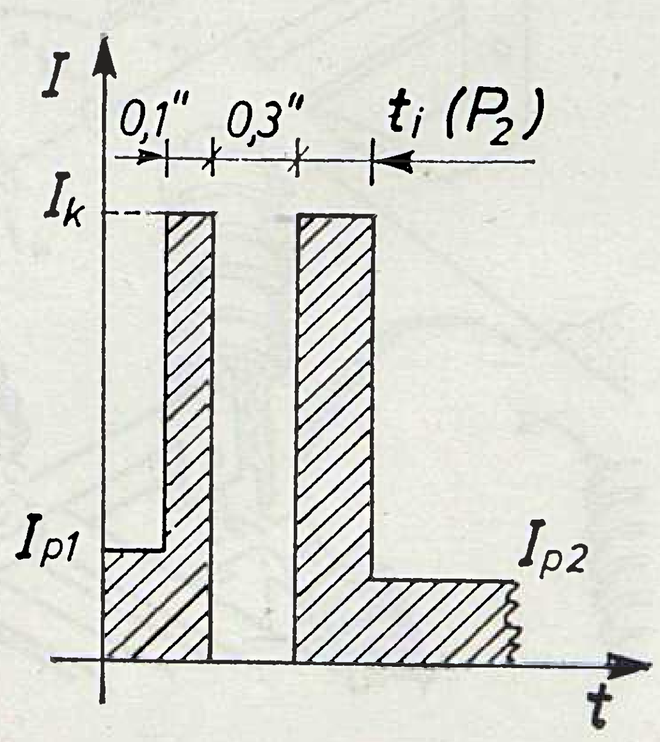
Naslov pisca:
Josip Polanc, dipl. ing.
RO »Rade Končar« — Elektrouređaji



Sl. 4.



Sl. 5.



Sl. 6.

Energija 30 (1981) br. 11—12, 471—477

IZVORI URANA I NJEGOVE EKONOMSKE ZNAČAJKE KAO UPORABNOG GORIVA U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA

Drago Dragičević, Zagreb

UDK 621.039.52
PREGLEDNI RAD

Prikazane su dosadašnje procjene svjetskih uranskih izvora, globalne lokacije i troškovi istraživanja i proizvodnje. Ocrtano je svjetsko tržište i cijene ovog goriva, te dan opseg ponude urana na svjetskom tržištu. U završnom dijelu napisa iznesen je kratak prikaz o aktivnosti istraživanja urana i razvoja uranske industrije u našoj zemlji.

Ključne riječi: nuklearna elektrana, nuklearno gorivo, uran, nalazišta urana.

UVOD

Čim je naš davni predak spoznao kako se pravi vatra, otkrio je energiju koja se može kontrolirati, koja je zatim postala »služavka« određena da izvede beskonačan niz »čuda« počinjući možda od jednostavnog kuhanja. Upravo je možda to otkriće bilo pojedinačno najvitalniji činilac koji je omogućio čovječanstvu da razvije modernu civilizaciju. Rana su goriva također osposobila čovjeka da pronađe nove i izdašnije izvore energije u sve većim količinama. Na taj način je čovjek napredovao od drveta prema ugljenu, prema nafti, prema hidroelektričnoj i termoelektričnoj, a sasvim nedavno i prema nuklearnoj energiji. Kako su ti izvori energije donekle ograničeni, čovjek je sada pripravan iskorištavati najbolje naprave najsuvremenije tehnologije za razvitak i eksploataciju nekoliko novih mogućnosti, za koje je poznato da predstavljaju u biti vječne izvore, iz kojih bi čovjek mogao biti kadar izlučiti onoliko energije koliko bi je uopće ikad vjerojatno i mogao trebati na Zemlji. Novi mogući izvori energije jesu Sunčeva energija, energija vjetra, biokonverzija, toplinska energija oceana, geotermalna energija i energija nuklearne fuzije.

Donedavno je nuklearna fisija općenito bila smatrana izvorom energije koji pruža najbolje nade za oslobođenje od ovisnosti o fosilnim gorivima. No u najnovije doba ovaj oblik energije došao je pod veoma jak udar potrošačkih i ekoloških grupa, koje potpomažu i pobornici filozofije granice rasta. Oni upozoravaju da bi u slučaju ozbiljne nesreće ili sabotaže nuklearni uređaji mogli kontaminirati velika područja radioaktivnošću, osobito ako bi smrtonosne plutonijeve aerosoli pobjegle iz oštećenog reaktora. Štoviše, oni tvrde da nisu na zadovoljavajući način riješeni problemi čuvanja sve većih količina dugotrajnih radioaktivnih otpadaka. Oni također upućuju da reaktori sadrže velike količine fisionih materijala iz kojih se mogu praviti nuklearni eksplozivi, što bi stvorilo golem potencijal za proliferaciju nuklearnog oružja, za krađu fisionih materijala, a možda najviše zastrašuje mogućnost da na taj način terorističke grupe dođu do tajnih nuklearnih oružja.

Zbog svega toga broj standarda i troškovi zaštitnih (sigurnosnih) barijera vrtoglavo rastu. Danas se primjerice više od 30% investicije u nuklearnu elektranu troši na sigurnosne i zaštitne barijere okoliša nuklearnog postrojenja. No ipak, razvoj nuklearne energetike na principu fisije dosegao je 1979. godine proizvodnju električne energije u iznosu 10% od ukupno proizvedene električne energije u svijetu. U tom svjetlu interesantan je osvrt na nuklearno gorivo — uran, da vidimo kakva je situacija u pogledu utvrđenih zaliha, istraživanja, cijena, itd. Općenito se smatra da su ukupne svjetske zalihe uranova smolinca (uranijeve rude — U_3O_8) triput veće od zaliha SAD. No, uza sve to, raspoložive količine urana mogu se smatrati samo privremenim izvorom sve dok:

a) proizvodni reaktor ne postane komercijalno dostupan i politički prihvatljiv;

b) dok dobivanje urana iz mora ne postane praktično; ili

c) dok odgovarajući efikasan nuklearni reaktor ne postane dostupan (usavršeniji tip kanadskog reaktora s teškom vodom, CANDU upućuje na mogućnost znatnog povećanja efikasnosti goriva).

No u sasvim vjerojatnom slučaju da tzv. brzi, samooplođujući reaktori (breeder reactors), usavršeni CANDU reaktori, ili dobivanje urana iz morske vode, ili iz naftnih škriljaca slabije kvalitete postane praktično i prihvatljivo, fisioni postupak mogao bi osigurati potrebe svjetske električne energije za više stoljeća.

1. OPĆI PRIKAZ

Prosječna koncentracija urana u gornjem sloju Zemljine kore je oko 2,7 grama po toni stijena, ali taj raspored nije homogen, pa se uran može pojaviti u nenormalnim koncentracijama.

Nenormalna koncentracija urana može se smatrati »nalazištem urana« kada akumulacija urana uključuje dovoljnu količinu urana u rudi iz koje se uran može dobiti unutar određenog nivoa troškova proizvodnje pri upotrebi postojeće tehnologije iskopa i proizvodnje.

Ova postavka uključuje tri parametra koja treba uzeti u obzir:

— *dovoljna količina raspoloživog urana,* dovoljna da se isplate ulaganja u iskop i proizvodnju

— *kvaliteta rude,* jer neki stabilni minerali ne dopuštaju izdvajanje urana standardnim metodama obrade rude

— *ekonomično dobivanje urana,* koje se osniva na dvama spomenutim parametrima, ali također i na cijeni urana.

Procjena rezervi urana mora uzeti u obzir spomenute parametre, a postoje i neke internacionalne organizacije ili grupacije koje se bave ovim problemima. Tako je jedna od tih NEA/IAEA Radna grupa za studij uranskih izvora, koja je podijelila izvore urana u:

— tri posebne kategorije koje predstavljaju razne nivoe pouzdanosti kod procjene

— spomenute tri kategorije su podijeljene u uranske izvore iz kojih se uranski koncentrati mogu proizvesti uz različite troškove. Tri kategorije troškovi jesu: jedna ispod US $ 80/kg U, koja je danas aktualna; druga kategorija za troškove između US $ 80 do 130/kg U i treća za troškove iznad US $ 130/kg U.

Sigurnost procjene uranskih izvora uključuje tri kategorije:

Razumno vjerojatnim izvorima (The Reasonably Assured Resources, RAR) smatraju se oni koji se odnose na uran koji se pojavljuje u poznatim uranskim nalazištima takvog opsega, kvalitete i konfiguracije da se mogu dobiti unutar danog nivoa troškova proizvodnje na osnovi danas dokazane tehnologije iskopa i prizvodnje.

Procijenjeni dodatni izvori (The Estimated Additional Resources, EAR) odnose se na uran dodatno uz RAR koji se očekuje da će se pronaći uglavnom na osnovi direktnih geoloških podataka.

Potencijalni izvori (The Speculative Resources) odnose se na uran dodatno uz EAR za koji se pretpostavlja da postoji na bazi uglavnom indirektnih podataka i geološke eksploatacije u nalazištima koja se mogu eksploatirati postojećim istraživačkim tehnikama. Ova se kategorija izvora ne koristi u planiranju projekata nuklearne energetike ni u procjenama raspoloživosti urana u budućnosti u odnosu na potražnju.

2. PROCJENA URANSKIH IZVORA

Procjene uranskih izvora sastavlja radna grupa NEA/IAEA (Nuclear energy agancy — Paris / International atomic energy agancy — Vienna) na osnovi podataka koji se dobivaju od raznih zemalja putem ad-hoc NEA/IAEA upitnika. Rezultat ovakvog prikupljanja podataka objavljuje se svake dvije godine u NEA/IAEA izvještaju koji je poznat kao »Crvena knjiga«.

U tablici br. 1. dani su razumno vjerojatni izvori urana (RAR) koji su uključeni u »Crvenu knjigu« za svijet, isključivši SEV, tj. ne uključujući SSSR, zemlje istočne Evrope i Kinu.

U tablici br. 2. dani su procijenjeni dodatni izvori urana (EAR).

U nekim slučajevima ove brojke predstavljaju samo uran koji sadrže promatrani depoziti (geološki uranski izvori), ali oni u stvari ne pokazuju količinu raspoloživog urana, jer na proizvodnju mogu utjecati neki faktori ili ograničenja koji predstavljaju restrikcije u raspoloživosti urana. Faktori ograničenja mogu biti:

— politički

— elementi okoliša

— ekonomski i

— tehnološki.

Politička ograničenja. Neke su zemlje prihvatile politiku protiv izgradnje nuklearnih industrija, druge su ograničile svoja istraživanja na pogodna područja, ali također i slobodu da razvijaju, proizvode i izvoze uran iz identificiranih nalazišta. Ima zemalja koje posjeduju najveće rezerve urana, ali su u procesu ponovne valorizacije politike u vezi s istraživanjem urana, proizvodnje i izvoza.

Ograničenja okoliša. U nekim slučajevima ograničenja koja se odnose na politiku i okoliš kombiniraju se i poklapaju. U drugim slučajevima ograničenja okoliša mogu se opravdati kada rudarenje ili proizvodnja postaju vrlo teški ili se ne mogu realizirati zbog nepovoljne lokacije ili naseljenih područja.

Ekonomska ograničenja. Ova ograničenja mogu biti rezultat raznih faktora, kao što su:

— kada zemlje u razvoju imaju dobar uranski potencijal ili dobre uranske depozite, ali nemaju dovoljne ekonomske infrastrukture za njihov razvoj i eksploataciju, a ne prihvaćaju sudjelovanje drugih organizacija ili privatnih kompanija

— nestabilno tržište urana koje u nekim slučajevima nedozvoljava odgovarajuće planiranje razvoja novih kopova. Ovo ograničenje može imati snažan utjecaj na kratkoročnu raspoloživost urana, jer normalno se kao potrebno vrijeme između početka programa istraživanja urana i realizacije prve proizvodnje iz realnih nalazišta uzima vrijeme *između osam i deset godina.*

RAZUMNO VJEROJATNI IZVORI
(u tisućama tona U)
Podaci raspoloživi 1. 1. 1979.

Tablica 1.

Područje troškova	<80 $/kg U	80—130 $/kg U	Ukupno AT<130 $/kg U
Alžir	28	0	28
Argentina	23	5,1	28,1
Australija	290	9	299
Austrija[2]	1,8	0	1,8
Bolivija	—	0	0
Botswana	0	0,4	0,4
Brazil	74,2	0	74,2
Kanada[1]	215	20	235
Centralnoafrička Rep.	18	0	18
Čile	0	0	0
Danska	0	27	27
Egipat	0	0	0
Finska	0	2,7	2,7
Francuska	39,6	15,7	55,3
Gabon[2]	37	0	37
SR Njemačka	4	0,5	4,5
Indija	29,8	0	29,8
Italija	0	1,2	1,2
Japan	7,7	0	7,7
Republika Koreja[4]	0	4,4	4,4
Madagaskar[2]	0	0	0
Meksiko[3]	6	0	6
Namibija	117	16	133
Nigerija[2]	160	0	160
Filipini[2]	0,3	0	0,3
Portugal	6,7	1,5	8,2
Somalija[3]	0	6,6	6,6
Južnoafrička Republika	247	144	391
Španjolska	9,8	0	9,8
Švedska[5]	0	301	301
Turska	2,4	1,5	3,9
Velika Britanija	0	0	0
SAD	531	177	708
Jugoslavija	4,5	2	6,5
Zair[2]	1,8	0	1,8
Ukupno	1,850	740	2,590

— Manje od 100 tona U.

1. Materijal naveden kao rezerve može se iskorištavati uz cijenu od 124 CAN $/kg U, a ostali vjerojatni izvori mogu se iskorištavati uz cijene između 125 i 175 CAN $/kg U.

2. Izvor podataka: Uranium Resources, Production and Demand, Paris, 1977.

3. Podaci se odnose na resurse »in-situ« (»na mjestu), manje nego na pristupačne.

4. Navedeno kao 13 000 000 t rude sa srednjim postotkom sadržaja od 0,04% U_3O_8.

5. Nikakva proizvodnja nije dopuštena u depou od 300 000 tona U s obzirom na zakon lokalnih organa zbog zaštite okoline.

PREDVIDIVI DODATNI IZVORI
(u tisućama tona U)
Podaci raspoloživi 1. 1. 1979.

Tablica 2

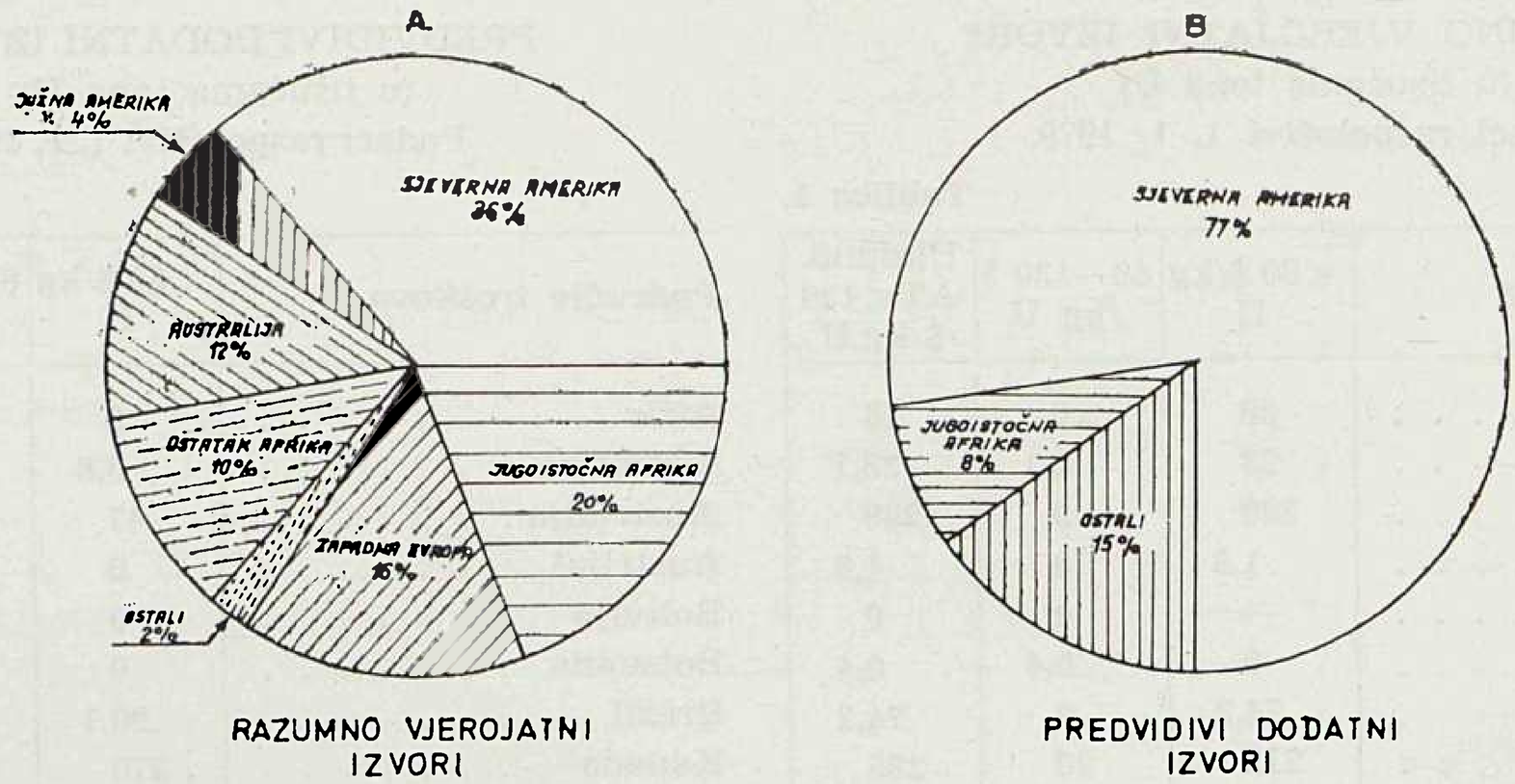
Područje troškova	<80 $/kg U	80—130 $/kg U	Ukupno AT<130 $/kg U
Alžir	0	5,5	5,5
Argentina	3.8	5,3	9,1
Australija	47	6	53
Austrija[2]	0	0	0
Bolivija	0	0,5	0,5
Botsuana	0	0	0
Brazil	90,1	0	90,1
Kanada[1]	370	358	728
Centralnoafrička Rep.	0	0	0
Čile	5,1	0	5,1
Danska	0	16	16
Egipat	0	5	5
Finska	0	0,5	0,5
Francuska	26,2	20	46,2
Gabon[2]	0	0	0
SR Njemačka	7	0,5	7,5
Indija	0,9	22,8	23,7
Italija	0	2	2
Japan	0	0	0
Republika Koreja[4]	0	0	0
Madagaskar[2]	0	2	2
Meksiko[3]	2,4	0	2,4
Namibija	30	23	53
Nigerija[2]	53	0	53
Filipini[2]	0	0	0
Portugal	2,5	0	2,5
Somalija[3]	0	3,4	3,4
Južnoafrička Republika	54	85	139
Španjolska	8,5	0	8,5
Švedska[5]	0	3	3
Turska	0	0	0
Velika Britanija	0	7,4	7,4
SAD	773	385	1,158
Jugoslavija	5	15,5	20,5
Zair[2]	1,7	0	1,7
Ukupno	1,480	970	2,450

1), 2), 3) — kao u fusnotama u Tablici 1

Tehnološka ograničenja. Ponekad uslijeđuju i tehnološka ograničenja stavljanja novih nalazišta u eksploataciju, a sastoje se u teškoćama u vezi s obradom rude.

3. LOKACIJA URANSKIH IZVORA

Slika 1.a pokazuje distribuciju uranskih izvora kod troškova do 130 US $/kg U za kategoriju razumno vjerojatnih nalazišta, a slika 1.b odnosi se na procijenjene dodatne izvore.



Sl. 1. *Procjena svjetskih rezervi iskoristivog urana po cijeni od $ 130 kg U — na osnovi podataka od siječnja 1979. godine*

4. TROŠKOVI ISTRAŽIVANJA — PROCJENE I PROIZVODNJA

Ovi troškovi ovisni su o više faktora, kao što su količina i morfologija rude, prostorni smještaj, kvaliteta i obilježja ruda, posjedovanje infrastrukture i radne snage, raspoloživost industrijsko-kemijskih proizvoda, energije itd.

Bilo bi vrlo teško analizirati sve navedene faktore pa ćemo prezentirati samo neke ilustrativne brojke i parametre.

4.1. Troškovi istraživanja — procjene

Istraživanje košta 6 do 8% od cijene proizvodnje urana, a prihvatljivije vrijednosti variraju između 3 do 5%, što iznosi US $ 2,5 do 4,0 za dokazivanje prisutnosti jednog kilograma urana. Spomenuti troškovi mogu biti do 2% u vrlo povoljnim prilikama, a izuzetno i do 1%.

Prema tome za dokazivanje korisne akumulacije urana od oko 1000 tona U nužna su sredstva između 2,5 i 4 milijuna dolara.

Ekvivalentni troškovi za veće akumulacije više-manje su u direktnoj proporciji prema odnosu koji je prije spomenut uz neka progresivna smanjenja. Primjera radi za *definiciju* akumulacije od oko 10 000 tona U za istraživanje — procjenu nužno je utrošiti 20 do 30 milijuna dolara.

Treba naglasiti da je glavna metoda za istraživanje i evaluaciju uranskih depozita bušenje, te da dubina bušotine kako bi se dokazala 1 tona U ovisi uglavnom o nalazištu (konfiguraciji) koje se ispituje.

Sada se u SAD traži u prosjeku bošotina dublja od 250 m kako bi se dokazala prisutnost 1 tone U, ali spomenuta brojka opada do oko 100 m u drugim zemljama, a poznate su i bušotine između 25 i 50 m u povoljnim područjima.

Dakako, troškovi bušenja su također različiti i kreću se od oko US $ 12 po metru u SAD do US $ 100 u drugim zemljama. Smatraju se kao normalne one vrijednosti koje se kreću u rasponu od US $ 30 do 50 po metru.

4.2. Troškovi proizvodnje

Ova vrsta troškova sadrži uglavnom dvije bitne stavke:

— troškove amortizacije postrojenja u rudnicima i preradi

— troškove proizvodnje, gdje su uključeni svi troškovi i porezi.

Ove stavke su ovisne o lokaciji, obilježju i veličini uranskih ležišta, kvaliteti rude i sl.

Najsvježiji pregled pokazuje širok spektar troškova proizvodnje od minimalnih US $ 12/kg U za neke rudnike u predjelu Athabaske (Kanada) do iznosa od US $ 80/kg U, što je i bilo uzrokom da se rad u nekim američkim rudnicima obustavi. Moglo bi se reći da su standardni troškovi proizvodnje između US $ 40 i 60/kg U.

Troškovi postavljanja proizvodnih kapaciteta kreću se od US $ 20 000 do $ 12 000 po toni rude, koja se dnevno obradi ovisno o kapacitetu postrojenja. Tako bi postrojenje koje proizvodi oko 200 tona U godišnje koštalo od 11—13 milijuna dolara (600 tona dnevno prerađene rude); a prerađivačko postrojenje kapaciteta 500 tona U godišnje stoji 20—25 milijuna dolara. Investicije u rudnička postrojenja približno su iste veličine, no normalno su između 10 do 20% niže nego investicije u preradi.

5. TRŽIŠTE URANA I CIJENE

Tržište urana i njegova cijena pod utjecajem su trenutno nepovoljnog razvoja na polju nuklearne

energetike u svijétu. Može se kazati da su cijene urana bile pod negativnim ili pozitivnim utjecajem nekoliko faktora u posljednih desetak godina, a to su:

— eskalacija prosječnih troškova proizvodnje zbog inflacije i devalvacije američkog dolara

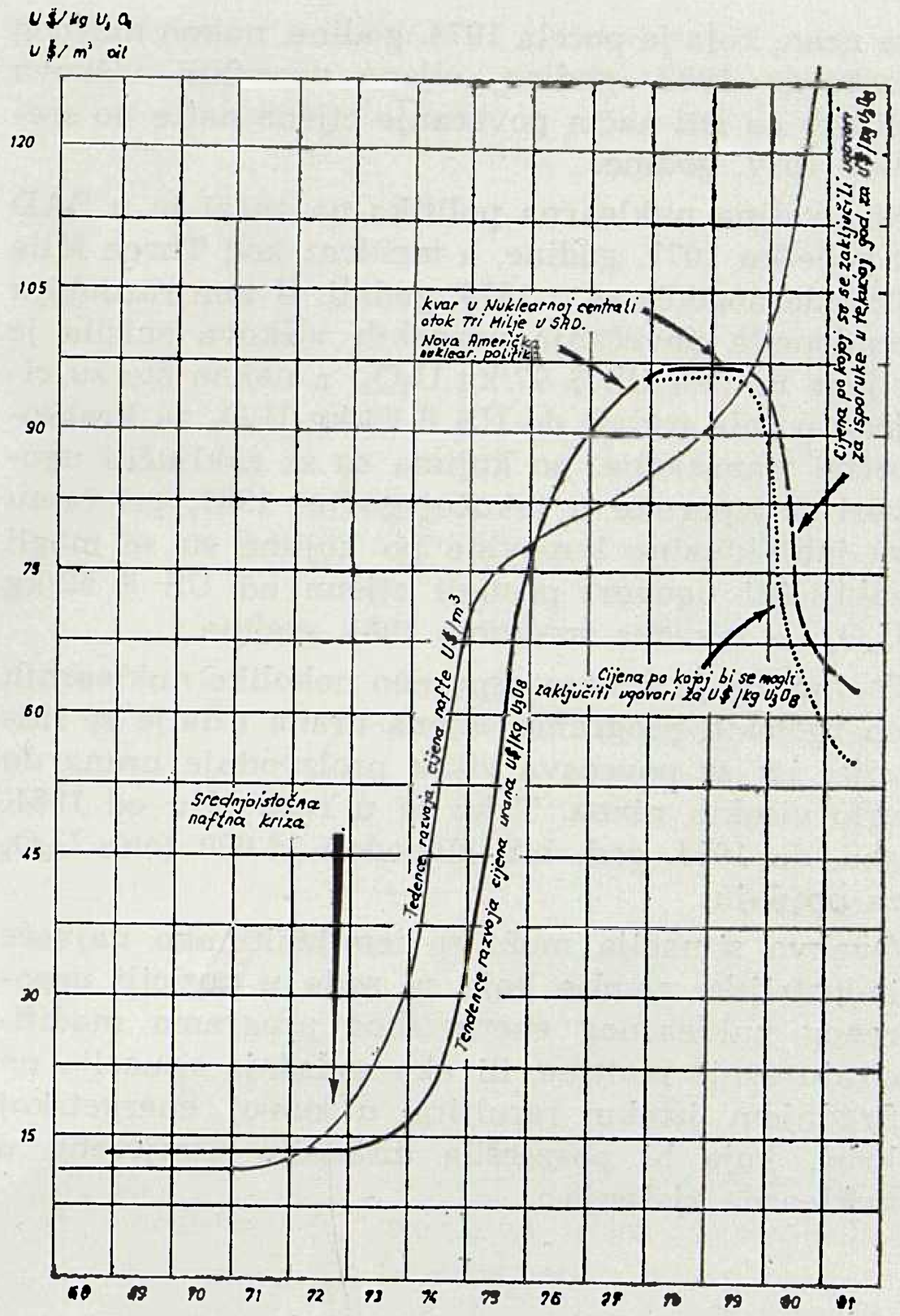
— povećanje cijena nekim konvencionalnim gorivima

— politička situacija i odgovarajući ekonomski ciklus

— nestabilnost odnosa između potražnje urana i njegove raspoloživosti — oboje u smislu sadašnje situacije dugoročno i kratkoročno.

Pretežan dio uranskog tržišta i odgovarajućih cijena kontroliran je u skladu s obvezama između velikih kupaca i proizvođača urana. Te obveze sadrže velike transakcije radi stalne opskrbe uranom za razdoblje od 5 do 15 godina. Cijene su određene na osnovi troškova proizvodnje, profita proizvođačima i procijenjenog trenda inflacije.

Osim spomenutog tržišta, postoji još jedno tržište, koje je određeno prodajom viškova proizvodnje urana koji se može kupiti individualno ili kratkoročno unutar jedne godine (transakcijska vrijednost). U razdoblju stabilnih tržišnih uvjeta proizvodnja viškova urana može imati niže cijene u odnosu na dugoročne isporuke, ali ne znatno niže.



Sl. 3. *Razvoj cijene urana, osobito za kratkoročne transakcije i kupovanje manjih količina urana (od viškova proizvodnje)*

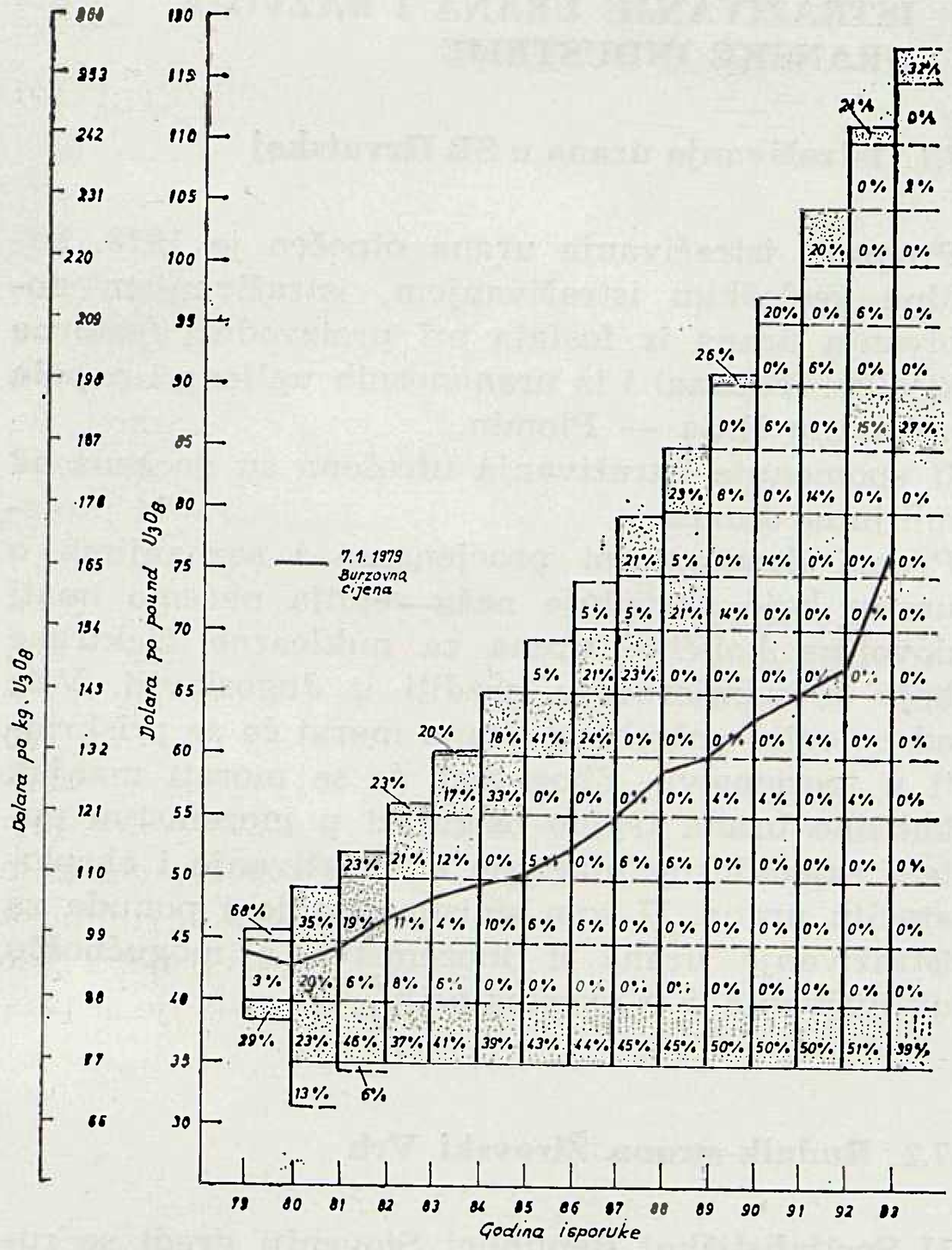
Ako jest ili će cjelokupno uransko tržište biti pod utjecajem dugotrajne recesije, višak urana može se naglo povećati te prouzrokovati raspad ne samo cijene urana kod viškova, nego također može imati utjecaja na neke od novih dugoročnih obveza.

Reprezentativna procjena dugoročne tržišne cijene prikazana je u slici 2 a objavio ju je američki Department za energetiku za američko tržište, koje je najveće na svijetu. Procjena je uzela u obzir podatke koje je dalo 35 proizvođača urana i 65 kupaca unutar kojih je i 5 glavnih proizvođača reaktora.

Prosječne ponderirane cijene (izlomljena krivulja u dijagramu sl. 2) za sve spomenute transakcije pokazuje konstantan porast cijene urana od oko US $ 95/kg U_3O_8 u 1980. godini do US $ 110/kg U_3O_8 s rokom isporuke u 1985. godini i US $ 143/kg U_3O_8 za isporuke 1991. godine.

Značajno je također da je nekoliko ponuda definirano vrlo visokim cijenama, kao što je US $ 143/kg U_3O_8 za 1984, US $ 187/kg U_3O_8 za 1988. i US $ 230/kg U_3O_8 za 1991. godinu.

Slika 3. ilustrira utjecaj političkih faktora i onih koji se odnose na ekonomski ciklus na tržištu viškova, a na koji nepovoljno djeluje opća tržišna situacija. Npr. ogromnom eskalacijom u cijenama



Sl. 2. *Područje izvještajnih burzovnih cijena prema tržišnim cijenama 1. 7. 1979. »PREGLED USDOE«*

za uran, koja je počela 1974. godine, nakon naftnog embarga 1973. godine, cijene uranskih viškova slijede na isti način povećanje cijene nafte do sredine 1977. godine.

Nepovoljna nuklearna politika na snazi je u SAD u početku 1977. godine, a incident kod Three Mile Islanda dogodio se u 1979. godini. U tom razdoblju tendencija povećanja uranskih viškova snizila je cijene na oko US $ 97/kg U_3O_8, a nakon što su cijene počele padati do US $ 63/kg U_3O_8 za kratkoročne transakcije, po kojima su se zaključili ugovori za isporuke u tekućoj godini 1981, pri čemu su individualne kupovine po kojima su se mogli zaključiti ugovori postigli cijenu od US $ 52/kg U_3O_8 — također sredinom 1981. godine.

Budući da je znatno usporeno nekoliko nuklearnih energetskih programa, cijena urana i dalje se snizuje, jer se povećava višak proizvodnje urana do vrlo visokih nivoa. Tako će u razdoblju od 1981. god. do 1984. god. biti slobodno 16 000 tona U_3O_8 za prodaju.

Ovakva situacija može se izmijeniti ako najveće industrijske zemlje koje su sada u poziciji usporenog nuklearnog energetskog programa modificiraju svoje politike, ili ako sadašnja situacija na Srednjem istoku rezultira u novoj energetskoj krizi, koja bi pospješila diskusiju usmjerenu u nuklearna rješenja.

6. OPSEG PONUDE URANA NA TRŽIŠTU

Povremeno neke organizacije izrađuju procjene rasta snage nuklearne energetike u svijetu prema različitim metodama bilo niskih ili visokih trendova porasta uzimajući u obzir pri tome i učešće raznih vrsta reaktora.

Zatim slijede usporedne procjene raspoloživosti urana i maksimuma proizvodnje kako bi se dobio višegodišnji odnos između potrošnje i ponude urana do 2020. godine. Sadašnji usporeni nuklearni programi nekih zemalja stavljaju neke od tih procjena izvan realnosti. Zbog toga nikakve usporedne tablice ili brojke neće se prezentirati.

Nova procjena NEA/IEAE radne grupe bit će pripremljena i objavljena u toku ove godine.

S tim u vezi može se reći da sadašnji »razumno vjerojatni izvori« urana, koji se mogu osigurati po cijenama ispod US $ 130/kg U_3O_8, daju dovoljno sigurnosti za osiguranje nuklearnog goriva za čitavo vrijeme životne dobi svih postojećih reaktora, kao i za one koji će biti izgrađeni do 2000. god. Ipak, oko 40% ovih izvora (onih sa troškovima između US $ 80 i 130/kg U_3O_8) će zahtijevati dodatna istraživanja i ocjene.

Procjena maksimalne mogućnosti proizvodnje pokazuje da je sadašnja i planirana proizvodnja urana dovoljna da uredno pokrije potražnju do 1997. godine ili 2003. godine, — ovisno o metodama koje su prije spomenute.

Nužno je upozoriti da se neke od ovih procjena mogu pokazati nerealnim zbog utjecaja raznih faktora, kao što su primjerice:

— Današnje usporenje razvoja nuklearne energetike uvjetuje povećanje raspoloživosti urana (viškove na tržištu).

— Procjena maksimalno moguće proizvodnje uključuje i dobivanje urana iz fosfata, a taj izvor do sada još nije konkretiziran u primjernoj količini zbog niskih tržišnih cijena, što može rezultirati u smanjenju procjene raspoloživosti urana.

— Moguća su i dodatna politička ograničenja koje nije moguće predvidjeti. Potrebno je k tome upozoriti da su zbog smanjenja cijene urana i zbog rada uz visoke troškove neki proizvođači primorarani obustaviti proizvodnju. Ova situacija može primorati još neke druge proizvođače urana na takav potez, što sve može uzrokovati smanjenje mogućih proizvodnih kapaciteta urana.

— U tom kontekstu značajan je još jedan faktor koji treba istaći. Naime, već smo spomenuli da od početka istraživanja urana do realizacije prve proizvodnje protekne normalno, između 8 i 10 godina. Međutim, u toku posljednjeg desetljeća za neke individualne projekte zabilježen je porast ove prosječne vrijednosti trajanja izgradnje do oko 15 godina, što može također biti novo ograničenje buduće raspoloživosti urana na svjetskom tržištu.

7. AKTIVNOST U NAŠOJ ZEMLJI U ISTRAŽIVANJU URANA I RAZVOJA URANSKE INDUSTRIJE

7.1. Istraživanja urana u SR Hrvatskoj

Program istraživanja urana otpočeo je 1978. godine geološkim istraživanjem, istraživanjem dobivanja urana iz fosfata pri proizvodnji fosforne kiseline (Kutina) i iz uranonosnih ugljena i pepela u bazenu Raša — Plomin.

U spomenuta istraživanja utrošena su do sada 42 milijuna dinara.

Prema dosadašnjim procjenama i saznanjima o uranu koje posjeduje naša zemlja nećemo imati dovoljne količine urana za nuklearne elektrane koje se namjeravaju graditi u Jugoslaviji. Više od polovice potrebnog urana morat će se priskrbiti u inozemstvu. Zbog toga će se morati manjak količine urana trajno osigurati u inozemstvu putem zajedničkog ulaganja u istraživanje i eksploataciju urana. U tom smislu postoje i ponude za istraživanje urana u inozemstvu s mogućnošću uključivanja i u eksploataciju.

7.2. Rudnik urana Žirovski Vrh

U Socijalističkoj Republici Sloveniji gradi se rudnik godišnjeg kapaciteta 120 tona U_3O_8 i pogon za preradu uranove rude u U_3O_8 istog kapaciteta.

Dosadašnjim istraživanjem utvrđena je rezerva na ovoj lokaciji od 2 741 tona U_3O_8. Za NE Krško trebat će primjerice oko 120 tona U_3O_8 godišnje. Pretpostavlja se s velikom vjerojatnošću da će daljnja istraživanja na ovoj lokaciji otkriti dodatne rezerve urana.

Rudnik je u toku izgradnje, odabrana je tehnologija rudarenja i potrebna oprema. Pogon za preradu urana je građevinski dovršen i započela je montaža dijela opreme. Do sada je uloženo u rudnik i pogon za preradu 1,6 milijardi dinara.

Prema Aneksu investicionom programu za Rudnik urana Žirovski Vrh od travnja 1981. godine, predviđa se početak proizvodnje u siječnju 1983. godine. Predvidiv je iskop 160 000 tona rude godišnje s najmanjom prosječnom koncentracijom od 840 grama U_3O_8/tona rude, što osigurava 120 tona U_3O_8/god. iz pogona za preradu.

Predviđena ulaganja po spomenutom Aneksu s eskalacijom u rudnik, preradu i seperaciju rude iznose 3 961 990 000 dinara.

Prema ukupnom prihodu koji će se ostvariti u 1983. godini za puni kapacitet rada rudnika i prerade (po cijenama ožujak 1981. godine) za uran iz rudnika Živorski Vrh očekivana cijena je US $ 152,8/kg U_3O_8.

Zaključak

S obzirom na izuzetno povoljne prilike koje vladaju i vladat će na svjetskom tržištu urana do 1984. godine, osobito bi se isplatilo da se kupe još jedna ili dvije izmjene urana za nuklearnu elektranu Krško.

Budući da je istraženost postojanja nuklearnih sirovina na području naše Republike i cijele zemlje relativno malena, nužno bi bilo intenzivirati geološka istraživanja kako bi se u što kraćem roku dobile realne rezerve urana i utvrdile naše mogućnosti. Pri tome bi bilo uputno da se međurepubličkom suradnjom osigura što ravnomjernije istraživanje cijelog teritorija Jugoslavije.

Kako nećemo moći pokriti svoje potrebe urana iz vlastitih izvora, morat će se što prije proučiti sve mogućnosti i modaliteti suradnje naše zemlje s afričkim nesvrstanim i drugim zemljama za istraživanje i eksploataciju urana u tim zemljama na osnovama obostrane koristi.

LITERATURA

[1] P. Stipancic, IAEA — Uranium resources
[2] Dr. M. Popp, Federal Ministry of Research and Tehnology, Bonn — Availability of Fuel, Heavy Water and Enrichment — Assurance of Long Term Supply of Tehnology, Fuel and Heavy Water and Services.

KEY WORDS:

NUCLEAR POWER PLANT
NUCLEAR FUEL
URANIUM
URANIUM RESOURCES

THE CHOICE OF URANIUM AND ITS ECONOMICAL CHARACTERISTIC FOR USE AS A FUEL IN NUCLEAR POWER PLANTS

In the article is presented an estimation of world uranium resources, global distribution and coasts for explorations and production. Described is world market and price of this fuel with the uranium offer on the world market. In the last part is given short dewsription of uranium explorations and industrial processing in our country.

URANVORKOMMEN UND DEREN WIRTSCHAFTLICHE KENNWERTE ALS BRENNSTOFF IN KERNKRAFTWERKEN

Behandelt werden die bisherigen Schätzungen der Uran-Weltvorkommen und deren hauptsächlichste Lagerstätten, die Förder- und Forschungskosten. Umrissen wird der Weltmarkt und die Brennstoffkosten des Urans, wie auch der Umfang des weltweiten Angebotsmarktes. Abschliessend behandelt die Darstellung einen zusammengefassten Ueberblick über die Forschungstätigkeit und die Entwicklung der Uranindustrie in Jugoslawien.

ЗАЛЕЖИ УРАНА И ЕГО ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ КАК ТОПЛИВА ДЛЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Приводятся существующие оценки мировых залежей урана, глобальные месторождения и стоимость разведки и добычи. Обрисован мировой рынок и цены настоящего топлива, а также указывается объем предложений урана на мировом рынке. В заключении изложения дается краткое сообщение о деятельности наполе разведки и добычи урана в СФРЮ.

Drago Dragičević, dipl. inž.

»Elektroprivreda — Zagreb«

Uredništvo primilo rukopis:
7. VIII 1981.

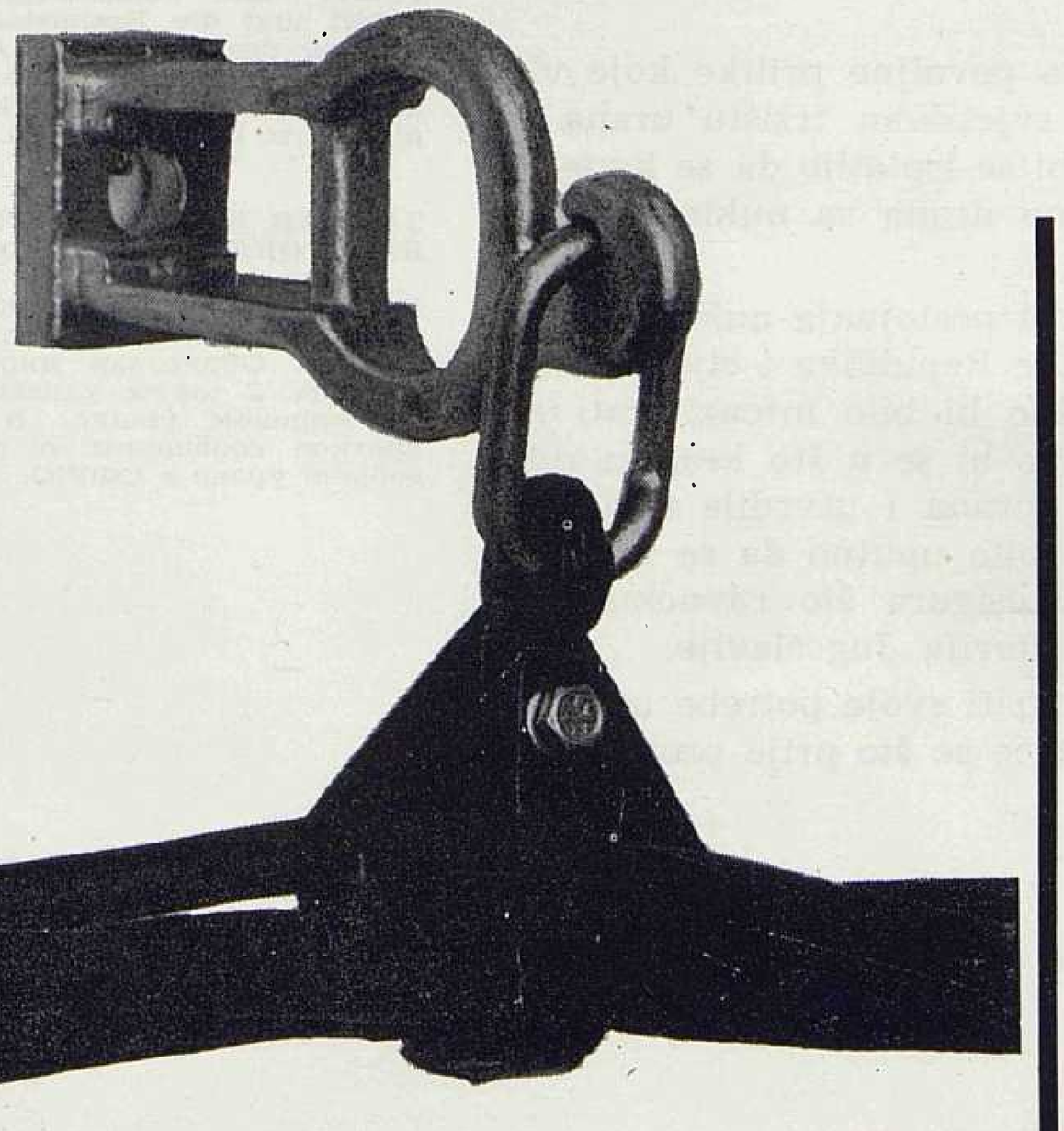
„Struja“

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

Energija 30 (1981) br. 11—12, 479—487

NOVI TOPLIFIKACIONI BLOK ELEKTRIČNE SNAGE 30 MW, U »ELEKTRANI—TOPLANI« ZAGREB

mr Zlatko Milanović, dipl. ing.

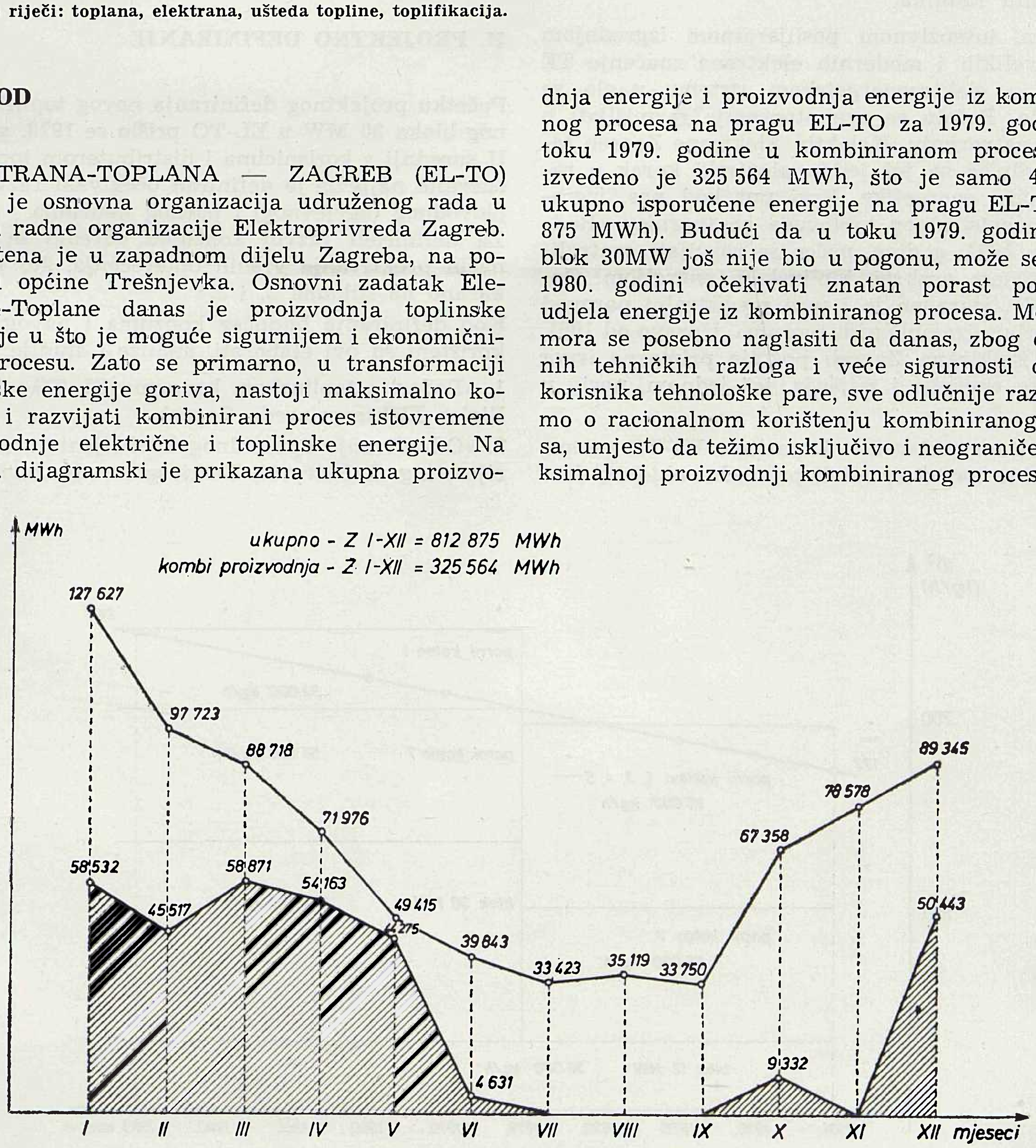
UDK 621.311.22:621.181
PRETHODNO SAOPĆENJE

Opisan je novi toplifikacioni blok 30 MW u zagrebačkoj Elektrani-Toplani. Prikazan je tok radova od projektiranja do stavljanja u pogon. Dan je pojednostavljeni proračun energetskih ušteda bloka 30 MW i glavne karakteristike novog postrojenja.

Ključne riječi: toplana, elektrana, ušteda topline, toplifikacija.

I. UVOD

ELEKTRANA-TOPLANA — ZAGREB (EL-TO) danas je osnovna organizacija udruženog rada u sklopu radne organizacije Elektroprivreda Zagreb. Smještena je u zapadnom dijelu Zagreba, na području općine Trešnjevka. Osnovni zadatak Elektrane-Toplane danas je proizvodnja toplinske energije u što je moguće sigurnijem i ekonomičnijem procesu. Zato se primarno, u transformaciji kemijske energije goriva, nastoji maksimalno koristiti i razvijati kombinirani proces istovremene proizvodnje električne i toplinske energije. Na slici 1. dijagramski je prikazana ukupna proizvodnja energije i proizvodnja energije iz kombiniranog procesa na pragu EL-TO za 1979. godinu. U toku 1979. godine u kombiniranom procesu proizvedeno je 325 564 MWh, što je samo 40% od ukupno isporučene energije na pragu EL-TO (812 875 MWh). Budući da u toku 1979. godine novi blok 30MW još nije bio u pogonu, može se već u 1980. godini očekivati znatan porast postotnog udjela energije iz kombiniranog procesa. Međutim, mora se posebno naglasiti da danas, zbog određenih tehničkih razloga i veće sigurnosti opskrbe korisnika tehnološke pare, sve odlučnije razmišljamo o racionalnom korištenju kombiniranog procesa, umjesto da težimo isključivo i neograničeno maksimalnoj proizvodnji kombiniranog procesa.



Sl. 1. *Pregled proizvodnje topline u 1979. godini*

Historijski razvoj Elektrane-Toplane bio je vrlo buran, ali i uspješan. Gradska električna centrala (GEC), preteča današnje EL-TO, bila je prva termoelektrana u našim krajevima. Prvi kWh električne energije proizvedeni su 5. XI 1907. na dva parna stroja i dva generatora (jedan izmjenične struje snage 865 kVA i drugi istosmjerne struje snage 200 kW). Tako je započela elektrifikacija Zagreba i postepeno ostalih naših krajeva. Istovremeno je započeo sve brži i uspješniji razvoj GEC-a. Sve do pedesetih godina Elektrana Zagreb bila je veoma važan izvor električne energije. Primjerice, 1939. godine TE- Zagreb, s ukupno 33,6 MW instalirane snage parnih turbina, bila je najveća i najvažnija termoelektrana u Jugoslaviji. U to vrijeme, osim značajne proizvodnje električne enegrije, TE Zagreb bila je veoma važan poligon za naučavanje i osposobljavanje elektroprivrednih radnika.

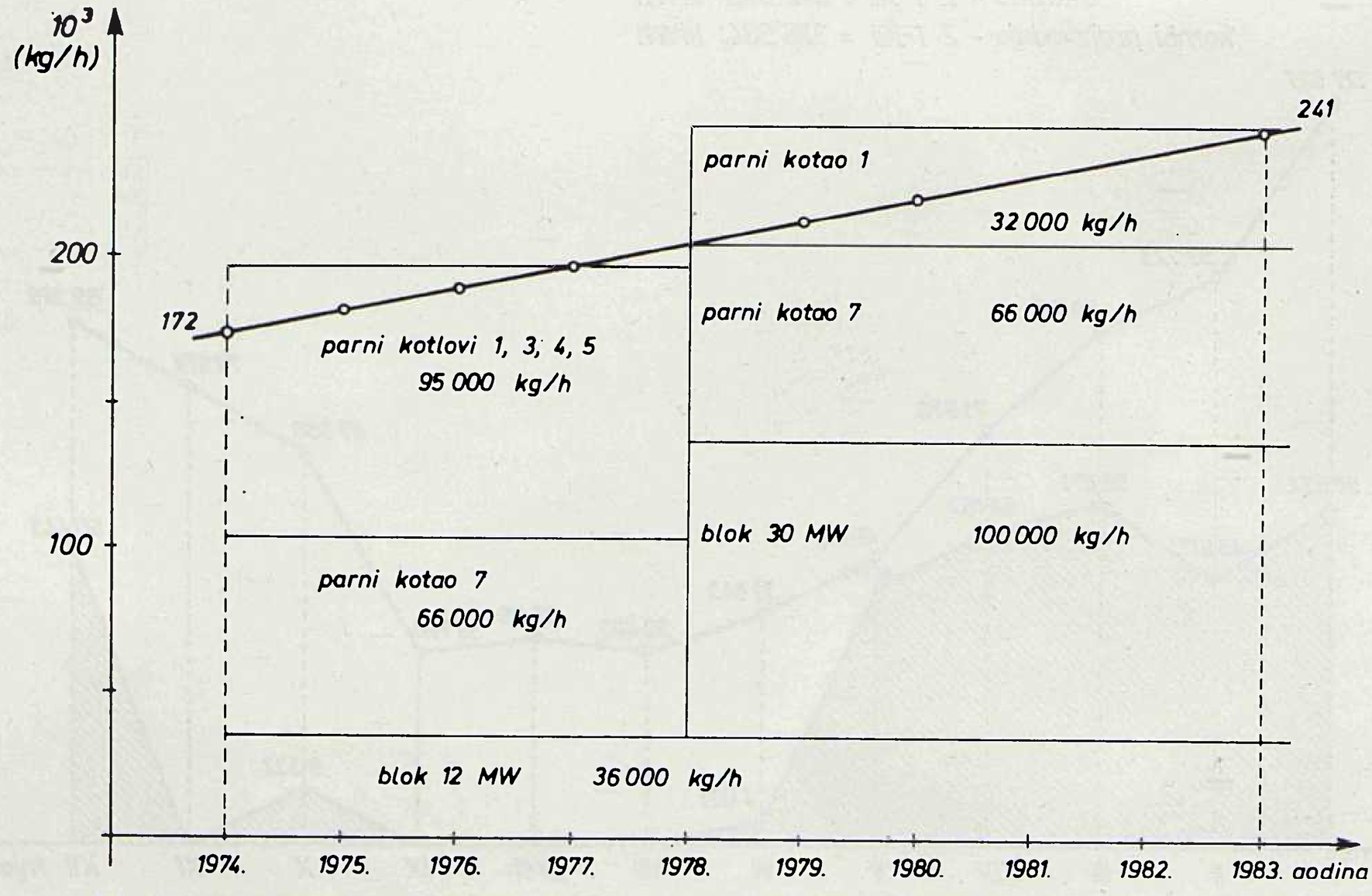
Međutim, intenzivnom poslijeratnom izgradnjom novih, velikih i modernih elektrana značenje TE Zagreb u elektroenergetskom sistemu naglo se smanjuje. Počelo se sve otvorenije razmišljati o njezinu zatvaranju. Kolektiv Elektrane Zagreb tada se odlučio za još jedan pionirski korak u razvoju naše energetike. Prvi put kod nas, izgradnjom magistralnog toplovoda za tvornicu »Rade Končar« 1954. godine, počeo se razvijati centralizirani sistem opskrbe toplinskom energijom. Godine 1961. izgrađen je i prvi magistralni parovod za opskrbu niza obližnjih tvornica. Upravo od 1961. godine Elektrana Zagreb postaje primarno izvor toplinske energije i mijenja, još jednom, naziv u EL-TO.

Danas su na proizvodne kapacitete EL-TO vezane sve okolne tvornice, ostali privredni objekti, društvene ustanove i nova stambena naselja. EL-TO, s veoma povoljnom lokacijom, postao je veoma važan objekt opskrbe toplinskom energijom, ali istovremeno i važan sudionik daljnjeg razvoja novih stambenih naselja i razvoja okolne industrije. Upravo to razvojno značenje postaje pojavom krize nafte sve važniji faktor za EL-TO. U dosadašnjim planovima razvoja za EL-TO toplifikacijski blok 30 MWe sigurno znači velik korak većoj sigurnosti rada i većoj ekonomičnosti procesa. Za takav razvoj pokazali su svi zajednički interes. Tako su se investicijska ulaganja za novi blok 30 MW uspjela razumno raspodijeliti između korisnika električne energije (udruživanjem na nivou SR Hrvatske), ogrjevne topline (udruživanjem na nivou grada Zagreba) i tehnološke pare (pojedinačno udruživanje s organizacijama udruženog rada).

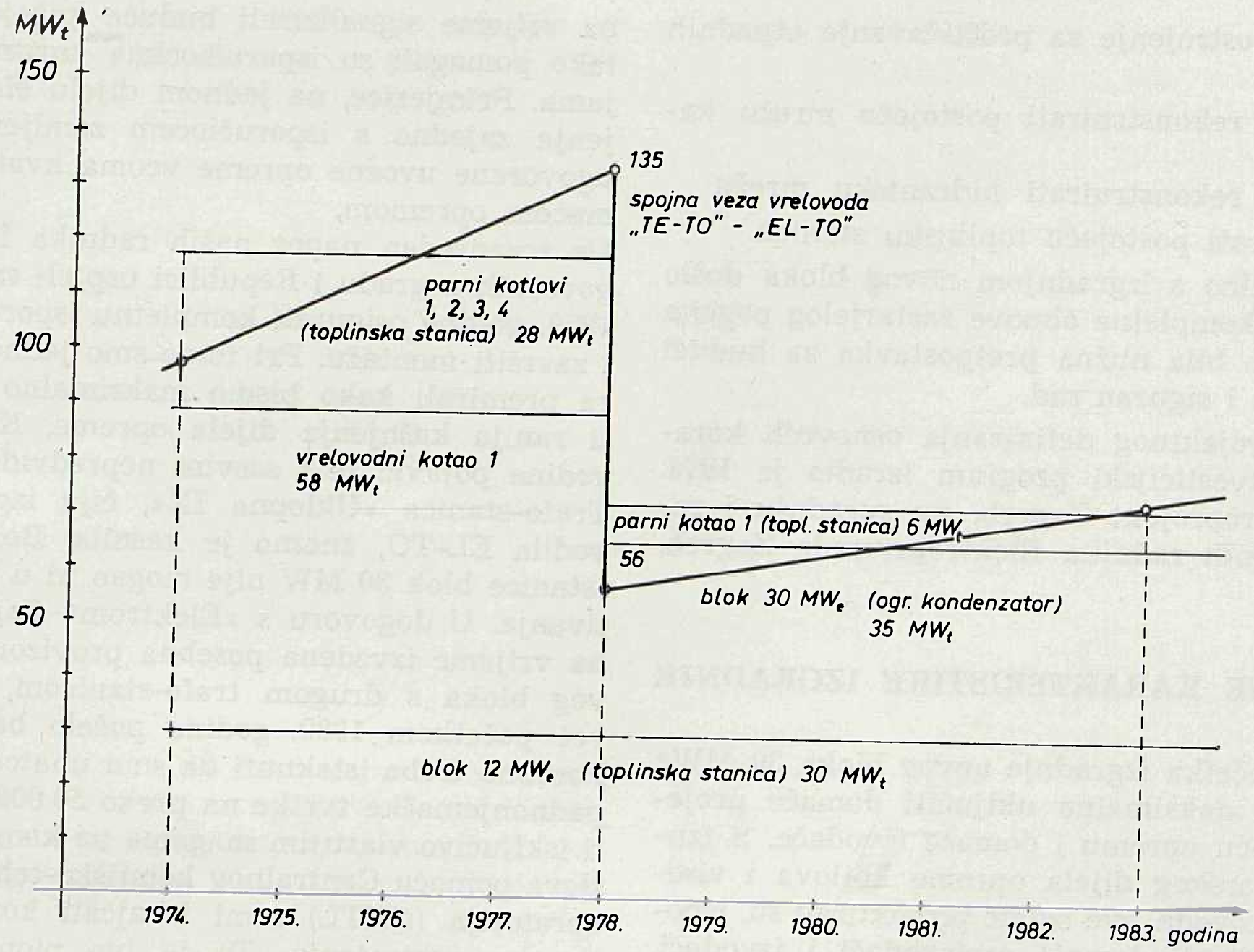
II. PROJEKTNO DEFINIRANJE

Početku projektnog definiranja novog toplifikacionog bloka 30 MW u EL-TO prišlo se 1973. godine. U suradnji s korisnicima i distributerom toplinske energije najprije je definiran očekivani razvoj toplovodnog (ogrjevnog) i parnog konzuma.
Za definirani razvoj konzuma odredio se zatim način prekrivanja vršnih opterećenja, što je prikazano na slikama 2. i 3.
Kod definiranja budućeg konzuma i novog bloka korišteni su ovi elaborati, analize i studije:

1. »Podaci o toplinskom konzumu EL-TO«, ing. F. Rigler Elektroprivreda Zagreb,
2. »Određivanje optimalnog koeficijenta toplifikacije«, ing. I. Petrović, Elektroprivreda Zagreb.



Sl. 2. *Dijagram pokrivanja vršnih opterećenja parovoda Zagreb — Zapad*



Sl. 3. *Dijagram pokrivanja vršnih opterećenja vrelovoda Zagreb — Zagreb*

3. »Izvještaj o stanju parnih kotlova 1, 3, 4 i 5«, J. Pavelić, EL-TO Zagreb,

4. »Analiza povoljnosti izgradnje toplifikacionog bloka 120 MW«, Institut za elektroprivredu Zagreb,

5. »Studija najvjerojatnijeg rasprostiranja SO_2 iz dimnjaka EL-TO i TE-TO«, Republički hidrometeorološki zavod SRH,

6. »Glavni projekt proširenja EL-TO«, Elektroprojekt Zagreb.

Na samom početku projektnog definiranja poseban stručni savjet donio je odluku da se u okviru novog bloka umjesto jednog visokotlačnog parnog kotla kapaciteta 55,56 kg/s (200 000 kg/h) odabere varijanta s dva manja kotla kapaciteta 27,78 kg/s (100 000 kg/h). Prema izvršenim ekonomskim analizama varijanta s jednim većim kotlom imala je, svedeno na 1977. godinu, investicijsku vrijednost (46,25 milijuna dinara), za oko 18% nižu od varijante s dva kotla (56,1 milijuna dinara). Međutim, varijanta s jednim kotlom zahtijevala je u 1982. godini izgradnju dodatnog niskotlačnog parnog kotla, investicijske vrijednosti 15 milijuna dinara. Već nakon nekoliko mjeseci rada s novim blokom u 1980. godini, ova odluka stručnog savjeta o izvedbi bloka s dva kotla pokazala je kod nas punu ispravnost iz ovih eksploatacijskih razloga:

— znatno je veća fleksibilnost u radu

— znatno je veća sigurnost rada i pogonska spremnost (što je posebno bitno za naš tehnološki konzum)

— u eksploataciji i održavanju imamo tri tehnički slična visokotlačna parna kotla istog kapaciteta

— postiže se skladno uklapanje starog bloka 12 MWe i novog bloka 30 MWe.

Pri definiranju proizvodnih jedinica poštivala se, u Zagrebu usvojena uzanca, da se u slučaju ispada najveće jedinice mora pokriti 90% vršnog opterećenja parovoda i 75% vršnog opterećenja toplovoda.

Kao gorivo predviđen je zemni plin (u količinama i dinamici koje će ovisiti primarno o raspoloživim količinama, pošto su toplane u Zagrebu u V rangu opskrbe) i srednje, odnosno teško loživo ulje sa maksimalnim sadržajem sumpora 3% (odnosno 3,5% za teško loživo ulje). U trenucima eventualne intenzivne zagađenosti atmosfere grada sa sumpornim dioksidom, ako nema za toplane istovremeno dovoljnih količina zemnog plina, postoji u EL-TO mogućnost korištenja tekućeg goriva s minimalnim sadržajem sumpora (koje je uskladišteno u posebnom rezervoaru).

Istovremeno s izgradnjom novog toplifikacijskog bloka 30 MWe za potrebe novog bloka i modernizacije starog dijela bilo je nužno u EL-TO osigurati ove dodatne investicije:

— izgraditi novi dimnjak visine 200 m, za sve kotlovske jedinice EL-TO

— rekonstruirati mazutno gospodarstvo, kako bi se ubrzala i olakšala manipulacija istovara i pretovara mazuta

— povećati kapacitet kemijske pripreme vode na preko 300 m^3/h demineralizirane vode

— izgraditi postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda
— generalno rekonstruirati postojeću mrežu kanalizacije
— generalno rekonstruirati hidrantsku mrežu
— modernizirati postojeću toplinsku stanicu.

Dakle, paralelno s izgradnjom novog bloka došlo je do gotovo kompletne obnove zastarjelog pogona EL-TO. To je bila nužna pretpostavka za budući i ekonomičan i siguran rad.

Na osnovi projektnog definiranja osnovnih karakteristika, Investicijski program izradio je 1974. godine Elektroprojekt Zagreb, uz suradnju i recenziju stručnih radnika Elektroprivrede Zagreb.

III. OSNOVNE KARAKTERISTIKE IZGRADNJE

Od samog početka izgradnje novog bloka 30 MWe nastojalo se maksimalno uključiti domaće projektante, domaću opremu i domaće izvođače. S izuzetkom strojarskog dijela opreme kotlova i visokotlačnih parovoda, sve ostalo projektirali su, isporučili i montirali domaći proizvođači i izvođači. Kod uvoznog dijela koristilo se samo projektiranje i oprema, dok je montažu izveo »Monting« Zagreb.

Nosioci projektiranja bili su:

— »IPZ« Zagreb, »Elektroprojekt« Zagreb, »Projekt« Zagreb i »Bohr und Rohrtechnik« Wien.

Isporuka kompletne opreme ugovorena je preko »INGRE« Zagreb, a glavni isporučioci opreme bili su:

— »TPK« Zagreb, »Rade Končar« Zagreb, »ATM« Zagreb, »Jugoturbina« Karlovac i »Waagner Biro« Graz.

Izvođači osnovnih radova bili su:

— »Monting« Zagreb, »Industrogradnja« Zagreb, »Jugoturbina« Karlovac, »ATM« Zagreb i »Rade Končar« Zagreb.

Planirani početak izgradnje bio je 1. I 1975, ali zbog administrativnih poteškoća stvarni početak izgradnje bio je *1. IV 1975*. Vođenje poslova izgradnje i veći dio nadzora obavila je EL-TO gotovo isključivo vlastitom radnom snagom. Broj radnika koji su vodili investiciju kretao se od 8 do maksimalno 15. U toku izgradnje pojavilo se niz poteškoća financijske prirode. Bilo je i znatnih problema u pravovremenoj isporuci opreme. Ova kašnjenja znatno su otežavala montažne radove na gradilištu. Posebno je bilo potrebno mnogo naprezanja za koordinaciju između raznih isporučilaca opreme i izvođača radova. Dio opreme isporučivan je na gradilište poluzavršen, kako se ne bi montaža u EL-TO usporavala. U operativi održano je bezbroj sastanaka na svim nivoima. Naši nadzorni organi, u pravilu, neprekidno su bili prisutni već pri samoj izradi opreme, tako da su uvijek mogli na vrijeme signalizirati buduća kašnjenja, a isto tako pomagali su isporučiocima korisnim sugestijama. Primjerice, na jednom dijelu elektropostrojenja zajedno s isporučiocem zamijenjen je dio ugovorene uvozne opreme veoma kvalitetnom domaćom opremom.

Uz izvanredan napor naših radnika i pomoć odgovornih u gradu i Republici uspjeli smo do kraja 1979. godine osigurati kompletnu isporuku opreme i završiti montažu. Pri tome smo jednog montažera premirali kako bismo maksimalno kompezirali ranija kašnjenja dijela opreme. Krajem 1979. godine pojavio se i sasvim nepredviđen problem. Trafo-stanica »Uklopna IX«, čiju izgradnju nije vodila EL-TO, znatno je kasnila. Bez ove trafo-stanice blok 30 MW nije mogao ni u probna ispitivanja. U dogovoru s »Elektrom« Zagreb ipak je na vrijeme izvedena posebna provizorna veza novog bloka s drugom trafo-stanicom, tako da je već početkom 1980. godine počelo bajcanje.

Posebno treba istaknuti da smo unatoč ponudi zapadnonjemačke tvrtke na preko 50 000 DM, uspjeli isključivo vlastitim snagama uz koordinaciju poslova pomoću Centralnog kemijsko-tehnološkog laboratorija (CKTL) sami izbajcati kompletno kotlovsko postrojenje. To je bio pionirski korak. Predstavnici isporučioca kotla (»Waagner Biro«) ocijenili su bajcanje veoma uspješnim.

Prva potpala kotlova bila je u veljači 1980. godine, a od 1. IV 1980. oba kotla relativno uspješno rade u komercijalnom pogonu. Na žalost, s puštanjem u probni i komercijalni pogon turboagregata bilo je znatno više problema, tako da je njegov probni pogon počeo tek u lipnju 1980. godine.

Planirani rok završetka izgradnje bio je 31. XII 1979. Kod nas ostvarena zakašnjenja od 2 odnosno 5 mjeseci mogu se smatrati opravdanima, pogotovo kada se detaljnije sistematiziraju i analiziraju svi problemi prisutni u toku petogodišnje izgradnje.

Prema našim spoznajama pri izgradnji novog bloka 30 MW bili su prisutni ovi osnovni problemi koji su otežavali i usporavali dovršenje ove investicije:

— neusklađena dinamika financiranja (primjerice dio sredstava prema planu bio je osiguran tek u 1980. godini, a planirani rok završetka trebao je biti 31. XII 1979.

— veoma teško i mukotrpno koordiniranje aktivnosti između raznih izvođača radova i odvojeno između izvođača radova i isporučilaca opreme

— relativno neiskustvo nekih naših nadzornih organa (nekima je ovo bio prvi ovakav objekt, a na građevinskim poslovima u četiri godine izgradnje promijenila su se čak tri odnosno četiri radnika)

— kašnjenje u isporuci dijela opreme i izvođenju dijela završnih radova.

Novi blok 30 MW_e projektiran je da se integralno uklopi u stari dio postrojenja, što je u toku izgradnje zahtijevalo niz dodatnih ispuhavanja, pro-

bnih tlačenja, ispitivanja i prespajanja. Sve to moralo se obaviti tako uspješno da se ne ugrozi normalna opskrba toplinskom energijom.

IV. OSNOVNE TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

Osnovne tehničke karakteristike novog bloka dane su pregledno u Prilogu I. Maksimalna električna snaga bloka je 30 MW, maksimalna ogrjevna snaga na kondenzatoru je 35 MW, a maksimalna toplinska snaga na pragu u pari iznosi 78,1 MW (kod vanjske temperature — 15 °C), odnosno 79,8 MW (kod vanjske temperature + 6 °C). Skupno gledano, novi blok maksimalno može osigurati: 30 MWe + 113,1 (114,8) MW_t = 143,1 (odnosno 144,8) MW.

Prilog I

OSNOVNE TEHNIČKE KARAKTERISTIKE TOPLIFIKACIJSKOG BLOKA 30 MW_e

a) Kotlovsko postrojenje

- membranski parni kotao »Waagner Biro« s prirodnom cirkulacijom i pretlakom u ložištu
- broj kotlova 2
- proizvodnja pare, normalno . . . 22,22 kg/s
  maks. trajno . . . 27,78 kg/s
- para iza pregrijača . . . . . 114 bara, 520°C
- temperatura napojne vode . . . 150°C
- gorivo . . . . . teško ili srednje loživo ulje i zemni plin
- napojni rezervoari izvedeni su sa »Storkovim« sistemom otplinjavanja
- napojne pumpe imaju elektromotorni pogon, a opremljene su mehaničkim reduktorima broja okretaja
- zagrijači napojne vode osiguravaju pomoću pare (8 bara, 180°C) zagrijavanje napojne vode sa 105°C na 150°C.

b) Turbinsko postrojenje

- kondenzacijsko—protutlačna parna turbina sa 1 reguliranim i 1 nereguliranim oduzimanjem, proizvodnje »Jugoturbina« Karlovac
- maksimalna trajna snaga . . . 30 MW
- broj okretaja . . . . . 3 000 o/min
- maks. ulazna količina pare . . . 55,51 kg/s
- ulazni parametri pare . . . . . 109 bara, 515°C
- regulirano oduzimanje . . . . . 16,7 bara, 253°C
  - minimalno 13,89 kg/s
  - maksimalno 41,67 kg/s
- neregulirano oduzimanje . . . . 3 bara, 160°C
  - maksimalno 5,56 kg/s
- ogrjevni (grijajući) kondenzator s kliznim protutlakom od 0,1 do 0,95 bara, količina kondenzirane pare od 5,56 kg/s do 16,67 kg/s, maksimalna ogrjevna snaga 35 MWt, rashladni medij je povratna voda iz toplovoda temperature od 45°C do 70°C.

c) Generatorsko postrojenje

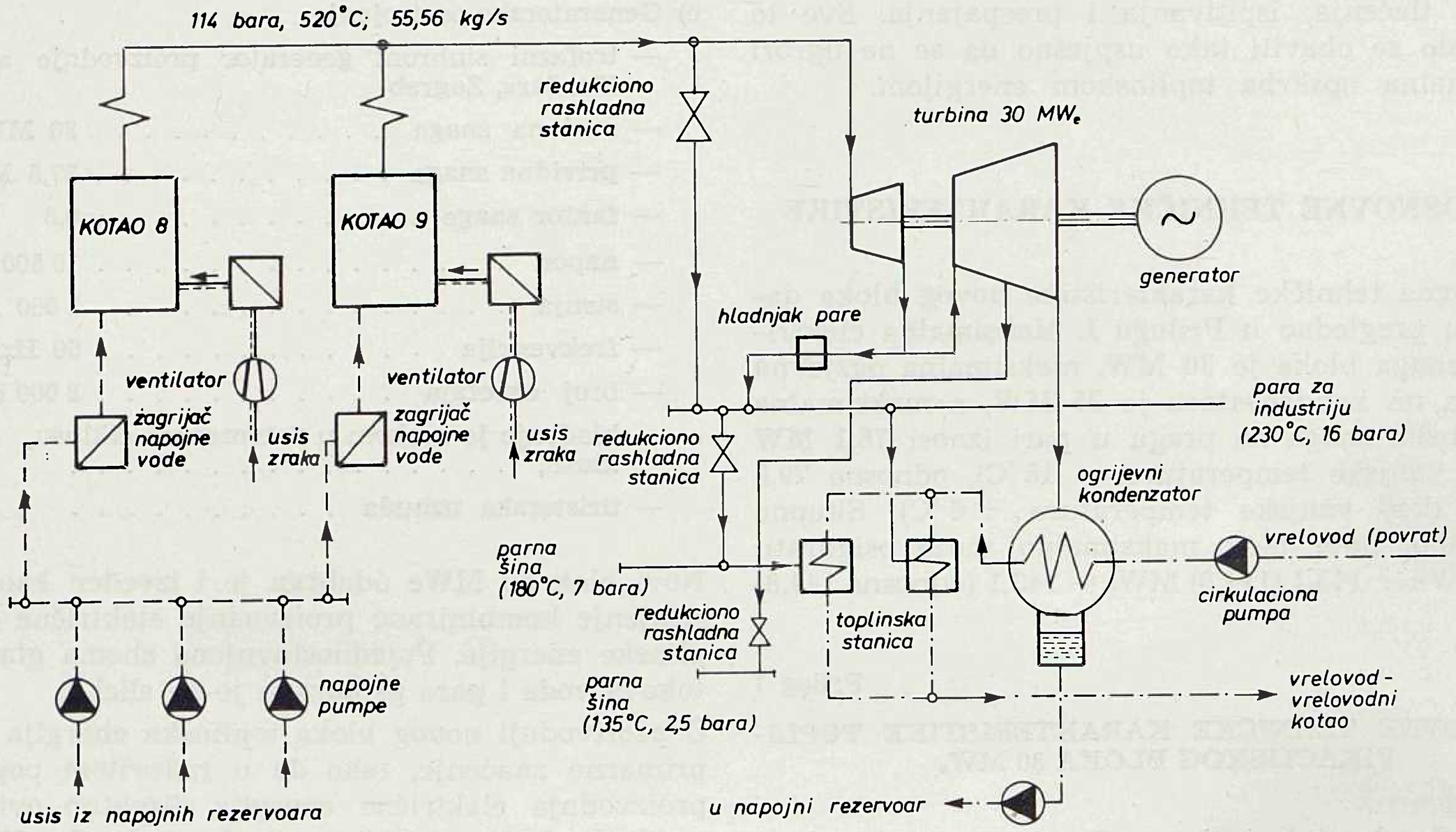
- trofazni sinhroni generator proizvodnje »Rade Končar«, Zagreb
- nazivna snaga . . . . . 30 MW
- prividna snaga . . . . . 37,5 MW
- faktor snage 0,8
- napon . . . . . 10 500 V
- struja . . . . . 2 060 A
- frekvencija . . . . . 50 Hz
- broj okretaja . . . . . 3 000 o/min
- hlađenje je zrakom u zatvorenom ciklusu, klusu, ...
- tiristorska uzbuda . . . . . .

Novi blok 30 MWe odabran je i izveden kao postrojenje kombinirane proizvodnje električne i toplinske energije. Pojednostavnjena shema glavnih tokova vode i pare prikazana je na slici 4.

U proizvodnji novog bloka toplinska energija ima primarno značenje, tako da u redovitom pogonu proizvodnja električne energije direktno ovisi o prethodnoj proizvodnji toplinske energije. U redovitom pogonu jaka vanjska mreža održava frekvenciju. U trenucima eventualnog raspada elektroenergetskog sistema blok ostaje u optočnom pogonu, pri čemu frekvenciju diktira sam generator. Dovršenjem uklopne IX postoji mogućnost da se i u trenucima raspada elektroenergetskog sistema dio okolne industrije i grada direktno opskrbljuju električnom energijom proizvedenom novim blokom 30 MWe.

Parametri svježe pare (114 bara, 520 °C) odabrani su kao kompromisno rješenje između potrebe za ostvarenjem minimalne potrošnje goriva, povećanih investicijskih troškova i postojećih standarda proizvođača turbine. Svježa para iz oba visokotlačna parna kotla zajedničkim cjevovodom odvodi se do turboagregata 30 MWe s odvojcima za redukcijsko-rashladnu stanicu, ejektor i stari turboagregat 12 MWe. Turboagregat snage 30 MWe izveden je kao kondenzacijsko-protutlačni s jednim reguliranim (16,7 bara, 253 °C) i jednim nereguliranim oduzimanjem (3 bara, 160 °C). Kondenzator je izveden kao ogrjevni (grijajući), jer se oslobođena kondenzacijska toplina odvodi toplovodnom vodom. Budući da se u Zagrebu na toplovodnom sistemu primjenjuje kvalitativna regulacija isporuke topline, primjenom polazne temperature, u ogrjevnom kondenzatoru koristi se klizni protutlak od 0,1 do 0,95 bara. Na taj način temperatura kondenzacije lako se prilagođava promjenama temperature povrata i polaza toplovoda. Dobiveni kondenzat direktno se vraća u napojne rezervoare uz neprekidne satne kontrole kemijske službe. Nivo kondenzata u kondenzatoru održava se regulacijskim ventilima koji djeluju na tlačnim stranama pumpi kondenzata.

Regulacija turbine izvedena je tako da se kod normalnog rada na vanjsku mrežu održava konstantan tlak reguliranog oduzimanja i željena te-



Sl. 4. *Pojednostavnjena shema glavnih tokova vode i pare bloka 30 MWe*

mperatura kondenzacije. To se postiže putem visokotlačnog regulacionog ventila na ulazu u turbine, promjenama podtlaka u kondenzatoru i pomoću niskotlačnog regulacijskog ventila turbine. Regulator broja okretaja u tom slučaju ostaje isključen, jer frekvenciju diktira vanjska mreža. Kod rada u otočnom pogonu regulacija turboagregata održava zahtijevani pritisak reguliranog oduzimanja i konstantan broj okretaja. U otočnom pogonu inače redovito nastaje neravnoteža između proizvodnje električne i toplinske energije, što se kompenzira radom redukcijsko-rashladne stanice svježe pare i dodatnim radom toplinske stanice.

Zagrijavanje napojne vode odvija se u visokotlačnim zagrijačima napojne vode na temperaturu od 150 °C. Tim zagrijavanjem direktno se sprečava niskotemperaturna korozija ekonomajzera, ali su isto tako povećani investicijski troškovi i izlazni gubici kotla. Zagrijači koriste paru iz parne šine 7 bara i 180 °C. Kondenzat se također vraća u napojne rezervoare.

Novi blok izveden je s potpunim nadzorom tehnološkog procesa, primjenom suvremenih mjernih instrumenata i suvremene signalizacije. Budući da se novi blok 30 MWe morao integrirati u stari dio pogona, paralelno s njegovom modernizirana je toplinska stanica i turboagregat 12 MWe. Svim važnijim regulacijskim krugovima moguće je daljinski upravljati, pri čemu se uvijek željelo »automatizirati«, samo što je bilo nužno automatizirati, a ne uvesti daljinsko upravljanje gdje je to god bilo moguće. Sva oprema regulacije i mjerenja novog bloka izvedena je tako da se odmah može uvesti »sistem dodatnog nadzora«, tj. kronološki registar događaja (KRD). Upravo se nalazimo pred ugovaranjem tog sistema.

Turboagregat novog bloka smješten je uzdužno u postojećoj strojarnici, na mjestu agregata TA 2 i TA 3. Kotlovnica je sasvim novi objekt izveden od čelične konstrukcije, oplate od valovitog lima i stakla. Nova kotlovnica prislonjena je i direktno povezana sa starom kotlovnicom parnog kotla br. 7 (K-7) i vrelovodnih kotlova 1 i 2 (VK-1 i VK-2). Na taj način bilo je moguće veoma dobro integrirati u zajedničke cjeline staru termokomandu K-7, VK-1 i VK-2 s novom termokomandom. Isto tako bilo je moguće spojiti turbokomandu stare turbine 12 MWe i turbokomandu nove turbine 30 MWe.

V. POJEDNOSTAVLJENI PRORAČUN ENERGETSKIH UŠTEDA NOVOG BLOKA 30 MWE

Prije nego što se iznese proračun energetskih ušteda, navest će se kako se na dvije postojeće odvojene djelatnosti (proizvodnja električne i toplinske energije) dijele ostvarene uštede goriva u kombiniranom procesu.

Specifična potrošnja goriva za proizvodnju električne energije na pragu novog bloka iznosi:

$$\frac{1\ \text{kWh}}{\text{ukupan stupanj djelovanja}} = \frac{1\ \text{kWh}}{0{,}775} =$$

$$= 1\,290\ \text{kWh/MWh}_e$$

Ušteda u specifičnoj potrošnji goriva u odnosu na čisti kondenzacijski blok referentne termoelektrane iznosi:

$$3\,256 - 1\,290 = 1\,966 \text{ kW/MWh}_e$$

Tako dobivena ušteda ravnomjerno se dijeli (50% : : 50%) na električnu i toplinsku djelatnost. Stoga planirana specifična potrošnja goriva za proizvodnju električne energije na novom bloku 30 MWe iznosi:

$$1\,290 + \frac{1\,966}{2} = 2\,273 \text{ kWh/MWh}_e.$$

Za proizvodnju toplinske energije specifična potrošnja goriva proračunava se, planski, na ovaj način:

— stvarna potrošnja ... $\frac{1 \text{ kWh}}{\text{uk. stupanj djelovanja}}$ = 1,11 kWh/kWh$_t$

— specifična proizvodnja električne energije novog bloka na pragu ... $\frac{27 \text{ MWh}_e}{114{,}4 \text{ MWh}_t}$ = 236 kWhe/MWh$_t$

— ukupno potrebna toplinska energija u gorivu za proizvodnju 1 MWh$_t$ ... $1\,000 \cdot 1{,}11 + 0{,}236 \cdot 1\,290 = 1\,414$ kWh/MWh$_t$

— planska (korigirana) potrošnja goriva za toplinsku energiju ... $1{,}414 - 0{,}236 \cdot 2{,}273 = 0{,}878$ kWh/kWh$_t$.

Proračun energetske uštede goriva izračunat će se za X, XI, i XII mjesec 1979. godine. To je praktično pola jedne ogrjevne sezone. Proračunom će se iskazati ušteda goriva koja bi se ostvarila da je umjesto starog postrojenja radio novi blok 30 MWe.

Ukupno za: PK1 3, 4 i 5 = 66 766 tona pare
PK6 = 170 709 tona pare
PK7 = 118 650 tona pare

Ukupno za: VK 1 i VK 2 = 44 700 tona v.v.

A — Ostvarena proizvodnja sa starim jedinicama

	PK—1	PK—3	PK 4 i 5	PK—6	PK—7	VK 1 i 2
X/79.	9 478 t	—	—	55 756 t	34 712 t	417 t
XI/79.	13 140 t	6 948 t	8 215 t	53 596 t	42 700 t	23 223 t
XII/79.	10 254 t	12 504 t	6 266 t	61 347 t	41 238 t	21 060 t
Ukupno	32 872 t	19 452 t	14 442 t	170. 709 t	118 650 t	44 700 t

B — Ušteda goriva u odnosu na stare parne kotlove (PK-1, PK-3, PK-4, (PK-5)

— stupanj djelovanja starih kotlova ... 0,82

$$U_B = \text{Ušteda energije goriva} = \frac{66\,766}{1{,}497} \cdot 1.162\,79 \cdot (1/0{,}82 - 0{,}877) = 51\,860 \cdot (1{,}22 - 0{,}878) = 17\,736 \text{ MWh.}$$

C — Ušteda energije goriva u odnosu na vrelovodne kotlove VK-1 i VK-2 i na niskotlačni parni kotao 7

— stupanj djelovanja ... 0,90

$$U_C = \left(\frac{118\,650}{1{,}497} + \frac{44\,700}{1{,}68}\right) \cdot 1{,}162\,79 \cdot (1{,}11 - 0{,}878) = 105\,866 \cdot 1{,}162\,79 \cdot 0{,}232 = 28\,559 \text{ MWh}$$

D — Defniranje proizvodnje novog bloka

— vrijeme pogona (pretpostavljeno) ... 2 000 h,
— maksimalna toplinska snaga ... 114 MW$_t$

$G_{30MW} = 114 \cdot 2\,000 = 228\,000$ MWh$_t$ = $228\,000 \cdot \frac{1{,}497}{1{,}1679} = 293\,532$ tona pare

dG = slobodna količina pare = G_{30MW} — (66 766 + + 118 650 + 39 831) = 293 532 — 225 247 = 68 285 tona pare

E — Uštede energije goriva u odnosu na visokotlačni parni kotao 6

$$U_E = \frac{1{,}497}{68\,285} \cdot 1{,}162\,79 \cdot (0{,}93 - 0{,}878) = 2\,758 \text{ MWh}$$

F — Uštede energije goriva proizvodnjom električne energije na novom bloku

$G_{el.en.}$ = proizvodnja električne energije na novom bloku uz 2 000 h rada = 236 kWhe/MWht · · 228 000 = 53 808 MWh$_e$

U promatranom tromjesječju na starom bloku 12 MWe ukupno je proizvedeno 18 617 MWhe. Ra-

dom novog bloka 30 MWe stari blok 12 MWe proizvest će manju količinu električne energije ($dG_{el.en.}$):

$$d\,G_{el.en.} = \frac{18\,617}{170\,709} 68\,285 = 7\,447 \text{ MWhe.}$$

U_{F1} = ušteda energije goriva u proizvodnji električne energije supstitucijom starog bloka novim,

$$U_{F1} = 7\,447\,(2{,}587 - 2{,}273) = 2\,338 \text{ MWh}$$

U_{F2} = ušteda energije goriva u proizvodnji električne energije novim blokom 30 MWe u odnosu na kondenzacijsku termoelektranu »Sisak II« sa specifičnim potroškom 2 684 kWh/MWhe:

$U_{F2} = (53\,808 - 7\,447) \cdot (2{,}684 - 2{,}273) = 19\,054$ MWh

Ukupna ušteda energije goriva iznosi:

$U = U_{F1} + U_{F2} + U_E + U_C + U_B = 2\,338 + 19\,054 + 2\,758 + 28\,559 + 17\,736 = 70\,445$ MWh energije goriva

— 1 kg mazuta ima prosječno 11,162 79 kWh

Da je u promatrana tri mjeseca (X, XI i XII) umjesto starih jedinica pogona EL-TO radio novi blok, moglo se uštedjeti čak 6 310 tona mazuta (srednje lož-ulje). odnosno oko 50 000 000 dinara (prema sadašnjim cijenama).

VI. OSNOVNE ORGANIZACIJSKO-EKONOMSKE KARAKTERISTIKE

U EL-TO sistematizacijom za novi toplifikacijski blok električne snage 30 MWe bio je predviđen stvarno minimalan broj radnika. Konkretno, u odnosu na postojeći stari blok 12 MWe novi blok direktno je zahtijevao u pogonskom osoblju samo povećanje na termokomandi novih kotlova za 3 izvršioca (rukovalac termokomande, ATK strojar kotlovnice i pomoćnik rukovaoca termokomande). Naknadno je predloženo povećanje broja izvršilaca u turbokomandi sa 1 na 2 pomoćnika strojara turbine, ali samo u razdobljima rada obiju turbina. Treba istaći da su se za popunjavanje navedenih novih radnih mjesta većinom izučili radnici sa starog dijela postrojenja.

U ekonomskoj obradi investicijskog programa konkretno su proračunate jedinične cijene za električnu i toplinsku energiju. Proračun je obavljen na temelju planirane ukupne proizvodnje prema Prilogu II.

Ulazna vrijednost investicijskih ulaganja za novi blok 30 MWe, prema Investicijskom programu iznosila je 133 970 000 dinara (konačna vrijednost ovog objekta iznosi nešto manje od 400 000 000 dinara). Odnos stalnih troškova novog bloka podijeljen je između elektroenergetske i toplinske djelatnosti u omjeru 63 : 37. Za kalkulacije promjenjivih troškova uzeti su prethodno definirani specifični utrošci (za električnu energiju 2 273 kWh/ /kWht). U financiranju predviđena je isključivo varijanta s potpunim kreditiranjem.

Za elektroenergetsku djelatnost dobivene su ove jedinične cijene, računajući cijeli pogon EL-TO (zajedno stari i novi blok).

Gorivo	EL—TO	TE Sisak II	Odnos
0,0868 d/kwh (mazut)	0,2639 d/kwh	0,3024 d/kwh	114,5
0,0690 d/kwh (mazut, plin)	0,2239 d/kwh	0,2541 d/kwh	113,4

Iz ove usporedne tablice očito je da direktno s porastom cijene goriva rastu ekonomske prednosti

PLANIRANA UKUPNA PROIZVODNJA U »EL—TO« Prilog II
(prema investicijskom programu bloka 30 MW)

MWh

Godina	Električna energija			Toplinska energija				UKUPNO
	30 MW	12 MW	Ukupno	30 MW	12 MW	niskotlačni kotlovi	Ukupno	
1978.	136 000	15 000	151 000	580 496	116 542	15 752	712 790	863 791
1979.	142 000	15 000	157 000	605 118	121 485	16 420	743 023	900 023
1980.	146 000	16 000	162 000	624 058	125 287	16 934	766 279	928 279
1981.	154 000	16 000	170 000	656 254	131 751	17 808	805 813	975 813
1982.	161 000	17 000	178 000	684 651	137 466	18 580	840 697	1 018 697
1983.	169 000	18 000	187 000	720 648	144 679	19 556	884 883	1 071 883
1984.	177 000	19 000	196 000	753 793	151 332	20 456	925 581	1 121 581
1985.	184 000	19 000	203 000	782 202	157 036	21 227	960 465	1 163 465

Ukupna proizvodnja energije

1978. — ostvareno je 870750 MWh (bez novog bloka)
1979. — ostvareno je 812875 MWh (bez novog bloka, uvedene mjere štednje energije)
1980. — ostvareno je 871540 MWh (novi blok radio oko 50%)

pogona EL-TO. Ako se uzme u obzir da su današnje cijene tekućeg goriva čak 7 puta više, lako se odmah uočavaju sve ekonomske opravdanosti izgradnje novog toplifikacijskog bloka. Posebno treba istaći da je maksimalna proizvodnja električne energije u EL-TO upravo u hladnijem razdoblju, kada je i maksimalno opterećenje elektroenergetskog sistema.

U toplinskoj djelatnosti blok 30 MWe donosi također znatne ekonomske prednosti, temeljene ponajprije na manjim utroščima goriva. U komparaciji s niskotlačnim parnim kotlom i vrelovodnim kotlom blok iskazuje godišnju uštedu 10 237 000 dinara.

Pri vrednovanju iznesenih ekonomskih analiza investicijskog programa treba istaći da je on izrađen u siječnju 1974. godine. Stoga su vrijednosti ekonomske analize novog bloka dosta zastarjele.

Međutim, osnovne prednosti novog bloka 30 MWe sve su veće što više rastu troškovi goriva i što je aktualnija kriza energije.

THE NEW THERMICAL BLOCK OF ELECTRICAL POWER 30 MW IN »ELEKTRANA — TOPLANA« ZAGREB

In the article is presented the part of Elektrana-Toplana Zagreb as a producer of thermical and electrical energy, and its part in supply after operation of a new block of 30 MW. Presented are also some intentions for rational use of its combined process.

DER NEUE ABDAMPH-TURBINENSATZ FÜR 30 MW IM HEIZKRAFTWERK ZAGREB

Beschrieben wird die bisherige Rolle des Heizkraftwerkes Zagreb zur Erzeugung elektrischer und Wärmeenergie und dessen Anteil nach der Inbetriebsetzung des neuen 30 MW Abdampfblocks. In Verbindung mit diesen Uberlegungen werden die Bestrebungen für einen optimalen Betrieb und die kombinierten Einsatzmöglichkeiten erörtert.

НОВЫЙ ТОПЛОФИКАЦИОННЫЙ БЛОК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ 30 МВт НА ТЭЦ »ЗАГРЕБ«

Показана прежняя роль электроцентрали »Загреб« при выработке тепловой и электроэнергии и ее участие в снабжении потребителей после ввода в эксплуатацию нового блока мощностью 30 МВт. Приводятся старания найти наиболее рациональное использование ее комбинированного технологического процесса.

Naslov pisca:

mr Zlatko Milanović, dipl. ing.
Elektrana—Toplana, Zagreb

Uredništvo primilo rukopis:
16. VIII 1981.

TERMOELEKTRANA „RIJEKA 1”

INSTALIRANA SNAGA

1×320 MW

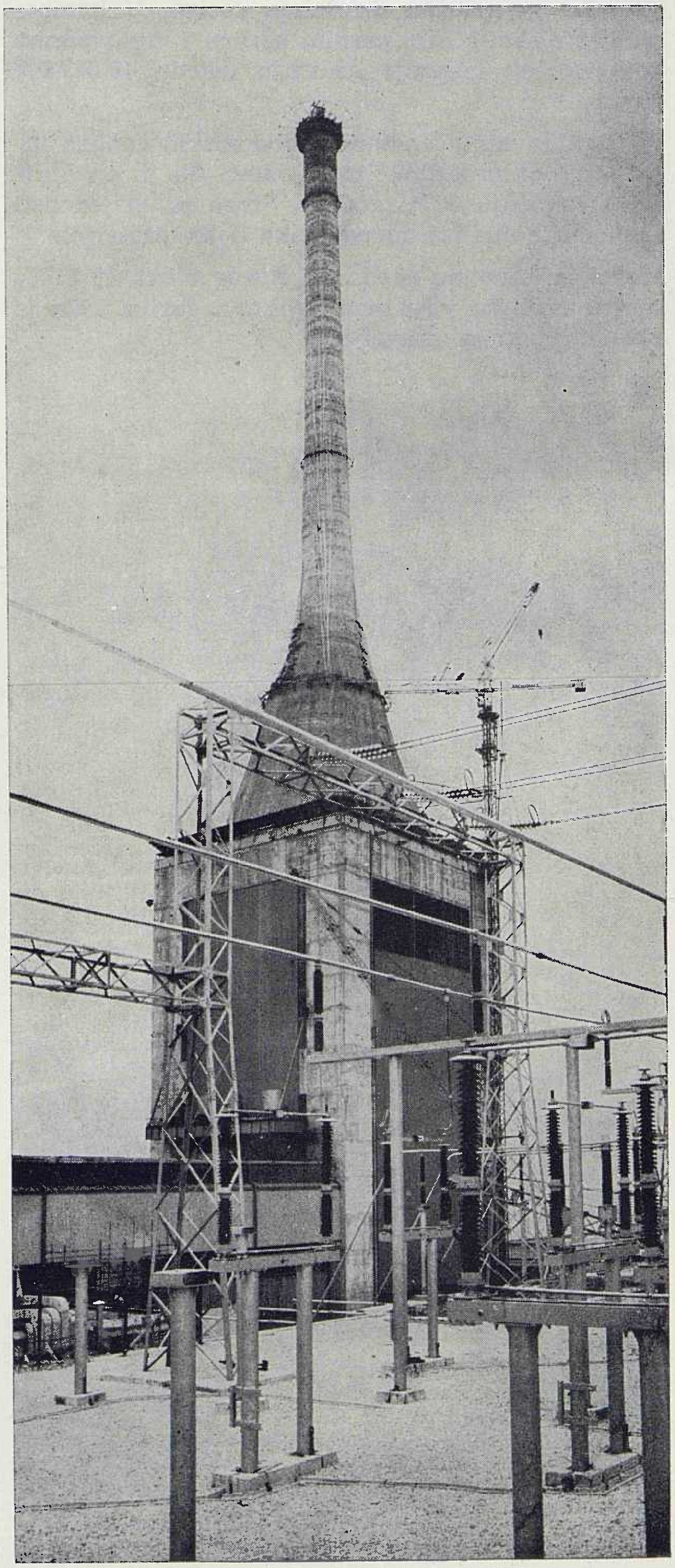
GORIVO

teško loživo ulje
koksni plin

U 1978. GODINI OTPOČELA S PROIZVODNJOM ELEKTRIČNE ENERGIJE

51221 KOSTRENA

telefon: 44–810, 44–533,
telex: 24413 YU INATER



Energija 30 (1981) br. 11—12, 489—497

PODSINHRONE KASKADE

Franjo Černohous — Đuro Stanković, Zagreb

UDK 621.313.13
PREGLEDNI RAD

Podsinhrona kaskada omogućuje kontinuiranu regulaciju broja okretaja trofaznih asinhronih kolutnih motora uz vrlo male gubitke. Prikazani su sastavni dijelovi i način djelovanja, kao i korištenje i budući razvoj. Posebno se daje informacija o podsinhronim kaskadama proizvodnje »Rade Končar« instaliranim u TE-TO Zagreb.

Ključne riječi: regulacija, podsinhrona kaskada, usmjerivač, asinhroni motor, elektromotorni pogon.

UVOD

Elektromotor, povijesno najmlađi stroj za proizvodnju mehaničkog rada, vrlo je brzo potisnuo ostale vrste motora, i to zbog svojih izvanrednih tehničkih svojstava i ekonomičnosti.

U ukupnom motornom pogonu sudjeluje danas elektromotorni pogon s više od 90%, a ulazi i u druge domene, npr. cestovni promet, gdje još uvijek dominira motor s unutrašnjim izgaranjem.

Razvoj industrije i prometa zahtijevao je adekvatan elektromotorni pogon, u koji su uključivani istosmjerni, izmjenični kolektorski i asinhroni motori. U modernoj industriji raste potreba za motornim pogonom s kontinuiranom regulacijom broja okretaja i sa sve većom jediničnom snagom, koja prelazi graničnu snagu istosmjernog motora, pa je i to razlog da asinhroni kolutni motor nalazi sve veću primjenu, posebno u sastavu podsinhrone kaskade.

Motorni pogon s kontinuiranom regulacijom broja okretaja, koja znatno smanjuje gubitke energije, traži se sve više i više ne samo zbog rasta stupnja automatizacije tehnoloških procesa i sve većeg kapaciteta radnih strojeva, nego i zbog potrebne štednje sve skuplje energije.

1. SASTAVNI DIJELOVI PODSINHRONE KASKADE

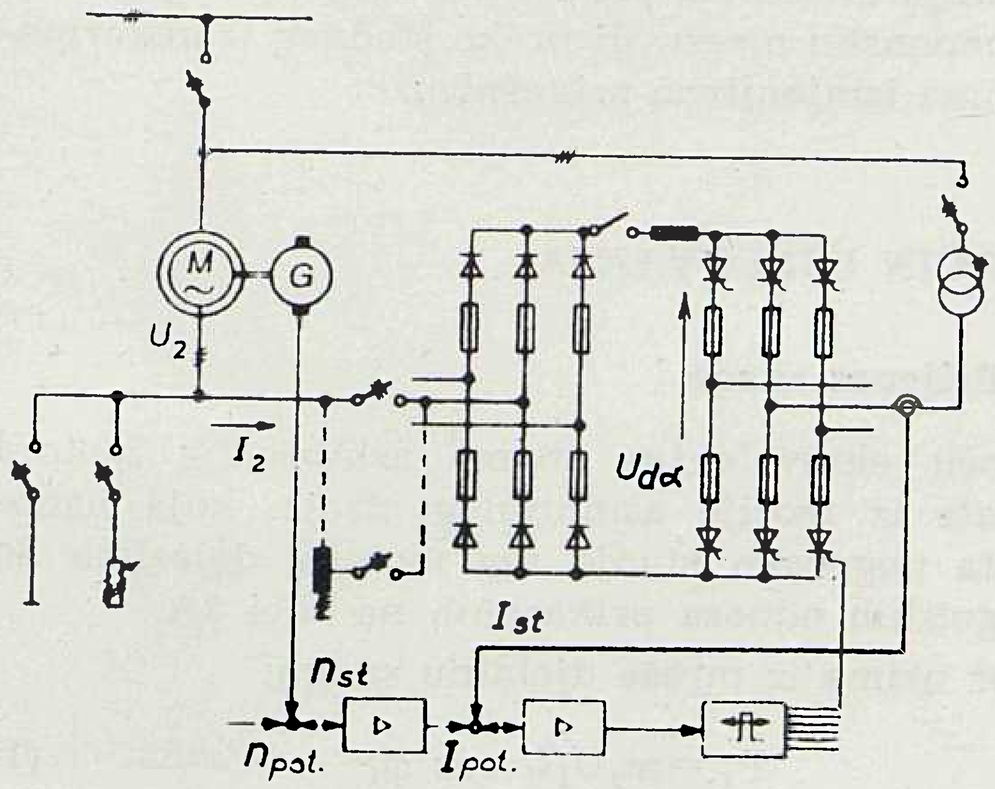
1.1. Motor

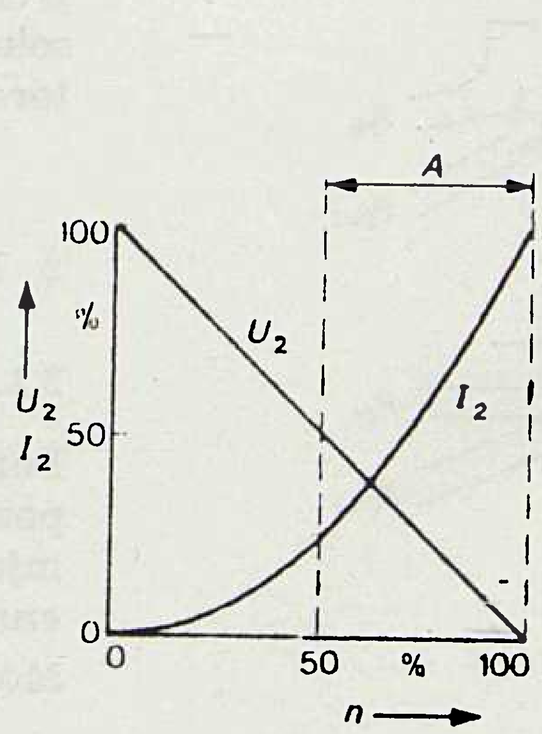
Motor je asinhroni trofazni s kliznim kolutima i trajno spuštenim četkicama. Može se konstruirati za bilo koji poznati oblik i vrstu zaštite kao i motori s konstantnim brojem okretaja (slika 1).

Maksimalan broj okretaja koji je moguće postići povezan je s brojem polova i frekvencijom mreže. Napon mreže ne igra naročitu ulogu.

Maksimalan napon mirujućeg rotora ograničen je problemima izolacije namota rotora.

Maksimalnu struju rotora ograničava izvedba dijela s četkicama i raspored četkica — unutar ili izvan ležaja motora. Strujni nadvalovi koje proizvodi ispravljač i jalova snaga komutacije potrebna ispravljaču, uvjetuju povećanje struja statora i rotora, a time i redukciju tipske snage motora.





Sl. 1. *Podsinhrona kaskada s dijelom za regulaciju dijagram struje i napona kod* $M_t = kn^2$

A — područje regulacije; n_{st} *stvarni broj okretaja, stvarna struja,* n_{pot} *— potrebni broj okretaja,* I_{pot} *— potrebna struja*

1.2. **Pokretač (napuštač)**

Obično se podsinhrona kaskada konstruira samo za traženo područje regulacije broja okretaja. Zato su za velika opterećenja na najnižem broju okretaja potrebni otpori za pokretanje, koji su dimenzionirani za kratkotrajni pogon. Za male snage zadovoljavaju u stepene spojeni kruti otpori, dok se za velike snage koriste tekućinski otpori. Upotreba kliznih kolutova omogućava i rad motora s nazivnim brojem okretaja, kao pogon u nuždi u slučaju ispada podsinhrone kaskade ili kao namjeran pogon.

Motor se u takvom slučaju dovodi u blizinu nazivnog broja okretaja pomoću specijalno za ovu svrhu izrađenog pokretača, pa se zatim kratko spaja na strani rotora.

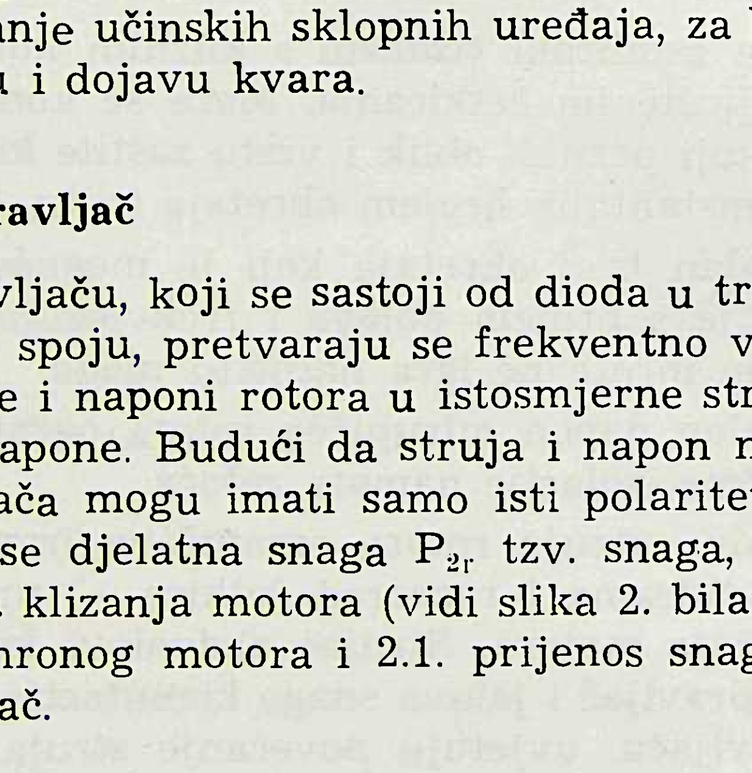
1.3. **Rasklopni uređaji**

Rasklopni uređaji između priključaka rotora i ispravljača sklapaju otpore za pokretanje, vode motor u kratkospojni pogon, sklapaju podsinhronu kaskadu ili stupnjeve transformatora za prilagođavanje. Oni moraju udovoljavati propisima za uređaje u krugu rotora. Sklopni uređaji ugrađeni u međukrug istosmjerne struje imaju zaštitnu funkciju i moraju udovoljavati propisima za krugove istosmjerne struje.

Niskonaponski pomoćni sklopni uređaji služe za upravljanje učinskih sklopnih uređaja, za blokadu, kontrolu i dojavu kvara.

1.4. **Ispravljač**

U ispravljaču, koji se sastoji od dioda u trofaznom mosnom spoju, pretvaraju se frekventno varijabilne struje i naponi rotora u istosmjerne struje, odnosno napone. Budući da struja i napon na izlazu ispravljača mogu imati samo isti polaritet, transportira se djelatna snaga P_{2r} tzv. snaga, odnosno energija klizanja motora (vidi slika 2. bilanca snage asinhronog motora i 2.1. prijenos snage) u izmjenjivač.



Sl. 2. *Bilanca snage asinhronog stroja*

U slučaju kada su diode hlađene zrakom treba osigurati odgovarajuće prozračivanje prostorije. U slučaju hlađenja vodom montiraju se diode na bakrene tračnice kojima protječe deionizirana voda što se hladi posebnim rashladnim agregatom.

1.5. **Prigušnica za izravnavanje («glađenje«)**

Zrakom hlađena prigušnica za izravnavanje, sa željeznom jezgrom u otvorenoj zaštitnoj izvedbi, upotrebljava se radi različitih momentalnih vrijednosti ispravljenog napona rotora i napona izmjenjivača u istosmjernom međukrugu.

1.6. **Izmjenjivač**

Izmjenjivač vođen sa strane mreže sastoji se od vodom ili zrakom hlađenih tiristora u trofaznom mosnom spoju. Tiristori pretvaraju djelatnu energiju transportiranu u izmjenjivač i odvode je u trofaznu mrežu. Potrebnu jalovu snagu za komutaciju uzima izmjenjivač iz priključene trofazne mreže. Pri nazivnom broju okretaja kaskadnog sistema, koji nije identičan nazivnom broju okretaja motora, postiže jalova snaga svoj maksimum, a pretvorena energija klizanja svoj minimum (vidi 2.1. »prijenos snage«).

Izmjenjivač je istovremeno regulacioni član za broj okretaja motora, pošto je početak kuta izmjenjivača — poznat i kao kut upravljanja (paljenja) — tako podešen da su ispravljeni, broju okretaja motora proporcionalni napon rotora i protunapon izmjenjivača u ravnoteži.

1.7. **Transformatori**

Prije ispravljača priključeni, zrakom ili uljem hlađeni štedni transformatori, služe za to da se osobine rotora motora prilagode pripadajućem regulacionom opsegu broja okretaja i karakteristikama izmjenjivača, ako nije moguća promjena spoja rotora ili je ona neekonomična. Poslije izmjenjivača priključeni, uljem hlađeni transformator, služi za prilagođavanje trofaznog napona na strani izmjenjivača naponu trofazne mreže.

U slučaju direktnog priključka izmjenjivača na visokonaponsku mrežu ili preko štednog transformatora ima izmjenjivač prigušnicu.

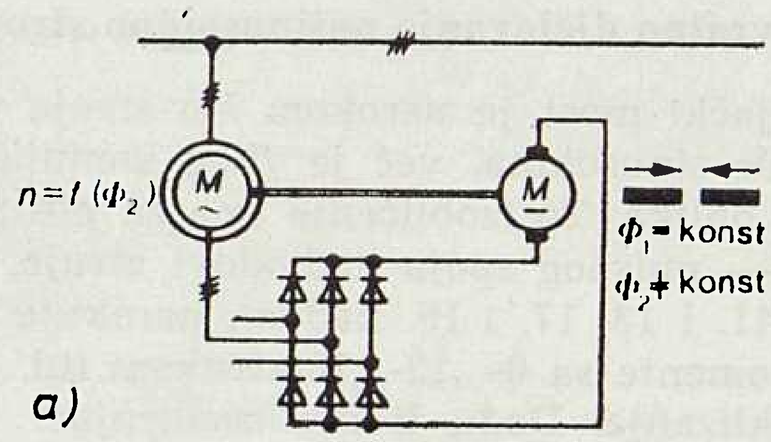
2. NAČIN DJELOVANJA

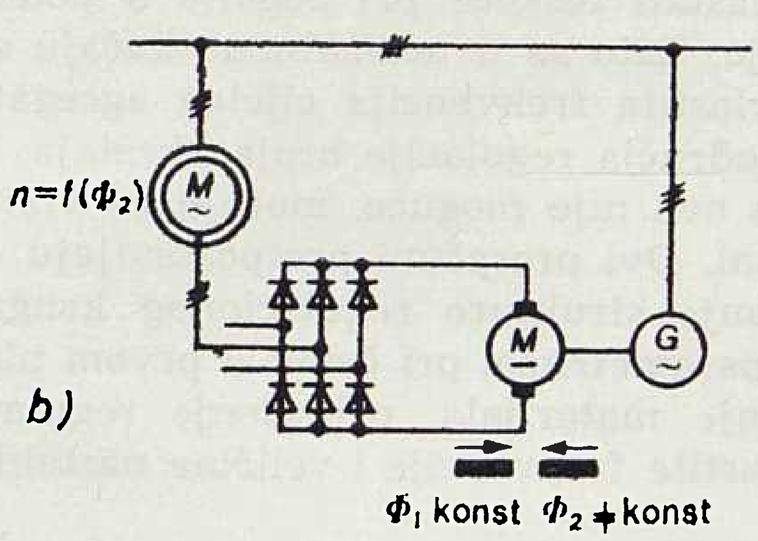
2.1. **Prijenos snage**

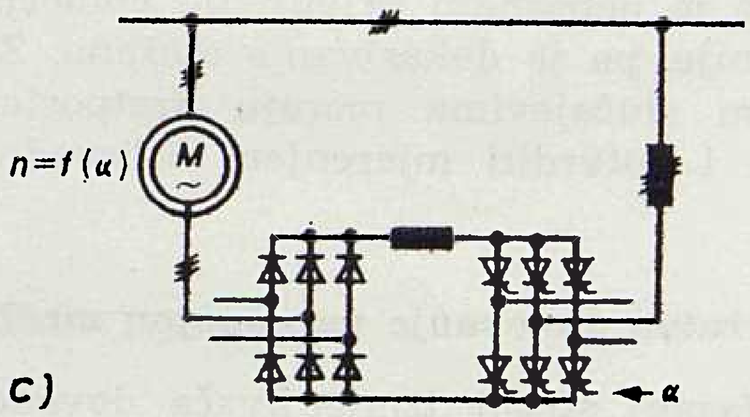
Pomoću ekvivalentne sheme asinhronog motora poznate iz teorije asinhronog stroja, koja nadomješta pogonsko stanje tog motora, dolazimo do energetskih odnosa prikazanih na slici 2A.

Motor uzima iz mreže djelatnu snagu:

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 \qquad (1)$$







Sl. 2A. *Različite vrste regulacije broja okretaja s malim gubicima*
a) Krämerova kaskada, b) Scherbius kaskada, c) podsinhrona kaskada

čiji se manji dio troši na pokrivanje gubitaka u bakru statora »P_{Cul}« i u željezu statora »P_{Fe}«. Preostala snaga koja se putem okretnog polja prenosi preko zračnog raspora iz statora u rotor, tzv. snaga okretnog polja »P_{okr}«, dijeli se u krugu rotora u omjeru (1-s) : s na mehaničku snagu »P_{meh}« i električnu snagu »P_{el}« (poznatu i pod nazivom snage klizanja), pri čemu je sa »s« označeno klizanje asinhronog stroja:

$$P_{meh} = (1\text{-}s)\ P_{okr} \qquad (2)$$

$$P_{el} = s\ P_{okr} \qquad (3)$$

Čistu mehaničku snagu »P_2« na osovini motora, naznačenu na natpisnoj pločici, dobivamo ako od mehaničke snage »P_{meh}« oduzmemo snagu pretvorenu u gubitke trenja i ventilacije. Električna snaga »P_{el}« dijeli se na gubitke Joulove topline u bakru rotora »P_{Cu2}« i na električnu snagu »P_{2r}« koju uzimamo sa rotora preko kliznih koluta. Ona se obično troši u dodatnom otporu koji uključimo u krug rotora radi regulacije brzine vrtnje. U dodatnom otporu »R_{2r}« nastaju gubici Joulove topline »P_{2r}«.

Klizanje »s« (pa i brzina vrtnje »n«) kod konstantnog momenta tereta M_t uz otpor rotora »R_2« i s kratko spojenim kliznim kolutima motora, mijenja se dodavanjem otpora »R_{2r}« u krug rotora kod istog momenta tereta i iste struje rotora I_2 po iznosu i fazi, prema omjeru:

$$\frac{s'}{s} = \frac{R_2 + R_{2r}}{R_2} \qquad (4)$$

tj. proporcionalno povećanju otpora rotora.

Uz zanemarene gubitke u bakru i željezu statora vrijedi:

Snaga u zračnom prostoru	Mehanička snaga	Električna snaga	Protumoment tereta

$$1 \cdot P_{okr} = /1-s/ \cdot P_{okr} + s\ P_{okr} \quad \text{konstantan} \quad (M_t = \text{konst.}) \qquad (5)$$

$$/1-s/ \cdot P_{okr} = /1-s/^2 \cdot P_{okr} + /1-s/s\ P_{okr} \quad \text{linearno promjenljiv} \quad M_t = k \cdot n \qquad (6)$$

$$/1-s/^2 \cdot P_{okr} = /1-s/^3 \cdot P_{okr} + /1-s/^2 s P_{okr} \quad \text{kvadratno promjenljiv} \quad M_t = k \cdot n^2 \qquad (7)$$

Ovdje je P_{okr} snaga u zračnom rasporu pri nominalnoj snagi stroja.

Ovi su odnosi prikazani na slikama: 4.a, 4.b i 4.c.

Klizanje se određuje iz odnosa frekvencije u rotoru i statoru:

$$s = \frac{f_2}{f_1} \qquad (8)$$

a može se mijenjati i tako kako je naprijed navedeno, tj. ukapčanjem dodatnih otpora (krutih ili tekućih) u krug rotora. Čitava električna snaga P_{el} (snaga klizanja), odnosno energija — crtkana površina na slikama 4.a, 4.b i 4.c — u tom se slučaju gubi u ovim otporima. Govori se o regulaciji broja okretaja s velikim gubicima.

Klizanje se može mijenjati i tako da se naponu rotora suprotstavi određeni napon. Kod podsinhrone kaskade taj napon daje izmjenjivač. U ovom se slučaju snaga klizanja P_{el} odnosno energija, vraća u trofaznu mrežu putem izmjenjivača, pa se govori o regulaciji broja okretaja s malim gubicima. Ova se regulacija ranije realizirala Krämerovom kaskadom, koja se sastoji od ispravljača i jednoga s osovinom glavnog motora kruto spojenog istosmjernog motora ili Scherbius kaskadom, koja se sastoji od ispravljača, istosmjernog motora i asinhronog generatora. Danas se ova regulacija rješava na statističkom principu s podsinhronom kaskadom. (Slika 2A).

2.2. **Kut paljenja**

Istosmjerni napon $U_{d\alpha}$ koji daje izmjenjivač povezan je s kutom paljenja α izmjenjivača relacijom $U_{d\alpha} = U_{di} \cdot \cos \alpha$, pri čemu je U_{di} idealan istosmjerni napon praznog hoda. Tiristorski most radi s kutom paljenja između otprilike 90°, čemu odgovara maksimalni broj okretaja motora i 150° radi opasnosti iskretanja izmjenjivača.

2.3. **Regulacioni krug**

Kut paljenja α tako se podesi da impulsni uređaj pali tiristore u određenom trenutku koji odgovara izlazu regulacione struje. Signal stvarne struje dobiva se preko strujnog transformatora na trofaznoj strani izmjenjivača poslije kojeg je priključen ispravljački most i dovodi se regulatoru struje koji ga uspoređuje sa signalom potrebne vrijednosti struje podešenog broja okretaja regulacionog kruga.

Signal stvarnog broja okretaja dobivan pomoću bilo kojeg davača broja okretaja s izlaznim naponom koji je proporcionalan broju okretaja (u normalnom slučaju to je tahogenerator montiran na kraju osovine motora) dovodi se regulatoru broja okretaja. Ovaj ga uspoređuje sa signalom potrebne vrijednosti broja okretaja koju zadaje proces regulacionog kruga tako dugo dok postoji razlika ili potrebnu vrijednost broja okretaja unaprijed zadaje putem ručnog ili motorskog potenciom

U procesu regulacije može se za davač stvarne vrijednosti upotrijebiti bilo koji davač mjerne vrijednosti koji na svojem izlazu daje proporcionalno utisnutu struju ili napon. Stvarna se vrijednost dovodi regulatoru procesa i uspoređuje s potrebnom vrijednošću procesa. Potrebna vrijednost procesa može se unaprijed zadati pomoću ručnog ili motorskog potenciometra. Izlaz regulatora procesa jest potrebna vrijednost za regulator broja okretaja.

2.4. **Tok regulacije**

S uključenom podsinhronom kaskadom ukopča se asinhroni motor na mrežu. Pomoću otpora za pokretanje dostigne broj okretaja koji odgovara donjem području regulacije »A«, kada se deblokira strujni regulator i isključuje otpori za pokretanje, pa regulaciju broja okretaja preuzima izmjenjivač. Ako se pomoću potenciometra potrebne vrijednosti unaprijed odredi broj okretaja u području regulacije A, onda se zapravo odredi određeni napon izmjenjivača. Neznatno veći i suprotno priključen napon rotora U_2 tjera struju preko izmjenjivača natrag u mrežu. Smanji li se napon izmjenjivača $U_{d\alpha}$ pomoću potenciometra potrebne vrijednosti, ubrzava povećana struja — ograničena na udešenu graničnu struju izmjenjivača — motor tako dugo, dok ne dođu u ravnotežu napon rotora U_2 i napon izmjenjivača $U_{d\alpha}$.

Ako se napon izmjenjivača poveća pomoću potenciometra potrebne vrijednosti, nestaje struje u međukrugu, motor ne razvija nikakav moment, a broj okretaja se smanjuje. Istom ako napon rotora stoji u ravnoteži s naponom izmjenjivača, protječe struja preko izmjenjivača, a motor zadržava udešeni broj okretaja.

2.5. **Povratno djelovanje nesinusoidne struje rotora**

Ispravljački most je uzrokom što struja u rotoru nije više sinusoidna, već je zbog komutacije trapeznog oblika. To izobličenje ima za posljedicu da kod 6 — pulsnog spoja nadvalovi struje, posebno 5. i 7, 11. i 13, 17. i 19. nadval, uzrokuju oscilirajuće momente sa 6- ,12-, 18-strukom itd. frekvencijom klizanja. Dođu li ovi oscilirajući momenti u rezonanciju s vlastitom frekvencijom agregata, mogu nastati teškoće pri pogonu u području rezonancije. Zato se u normalnom slučaju zahtijeva da se vlastita frekvencija cijelog agregata nalazi izvan područja regulacije broja okretaja. U slučaju kada ovo nije moguće, moraju se vršiti točniji proračuni. Ovi proračuni pretpostavljaju egzaktno poznavanje strukture regulacionog kruga s njegovim parametrima, pri čemu u prvom planu stoji prigušenje materijala, prigušenje regulacione linije, vlastite frekvencije i veličine nastalih momenata.

Najčešće je nepoznato prigušenje pomoću regulacione linije, pa je dokazivanje otežano. Zato se u posebnim slučajevima moraju pretpostaviti vrijednosti i potvrditi mjerenjem u izvedenom pogonu.

2.6. **Povratno djelovanje na napojnu mrežu**

Na trofaznoj strani izmjenjivača dovode procesi komutacije i nesinusoidne struje do izobličenja napona mreže jer trofaznoj mreži nameću izmjenične struje pravokutnog oblika, koje uz osnovni val sadrže i niz nadvalova.

Ako se nameće potreba da se ovo povratno djelovanje suzbije, treba pokušati: ili povećati broj pulseva spoja ispravljača ili predvidjeti usisne krugove, koji su na pr. kod 6-pulsnih udešeni na 5. i 7. nadval.

3. **KARAKTERISTIKE**

3.1. **Karakteristika napona**

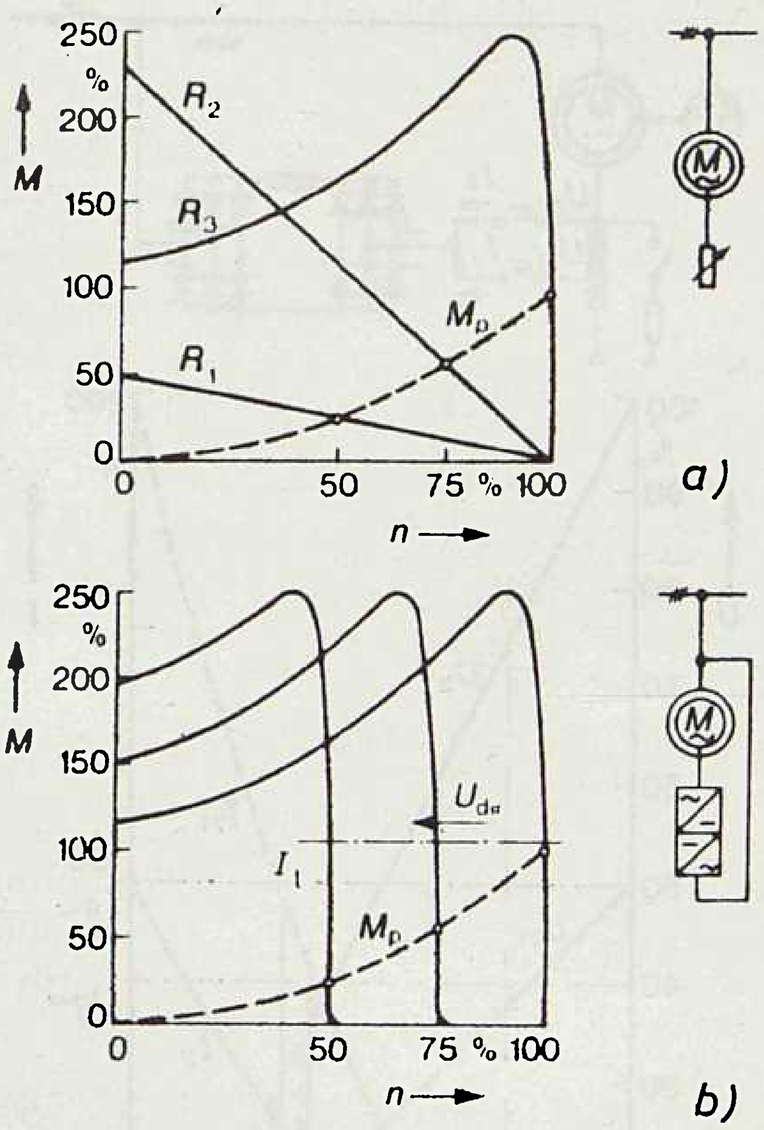
Slika 1. pokazuje na desnoj strani tok napona rotora U_2 u ovisnosti o broju okretaja motora.

3.2. **Karakteristika momenta**

Slika 3. pokazuje karakteristike motora. Slika 3.a pokazuje ovisnost momenta o broju okretaja u slučaju pogona motora s dodatnim otporima u krugu rotora, a slika 3.b za slučaj pogona motora sa protunaponom u krugu rotora. Kao što je vidljivo, podsinhrona kaskada ima ponašanje poredn:g spoja.

3.3. **Karakteristike snage i stupnja djelovanja**

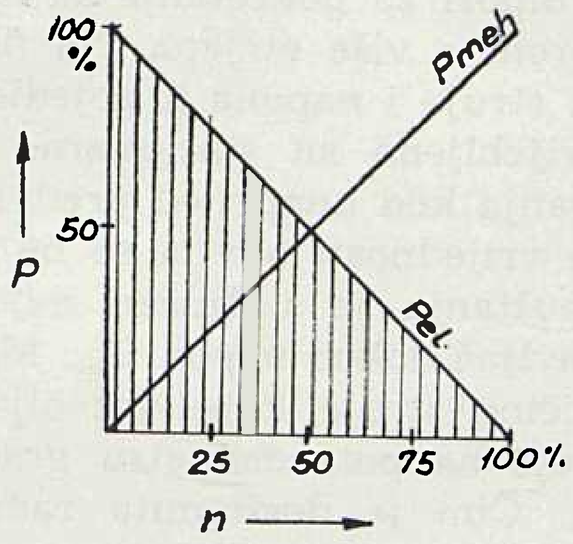
Slike 4.a, 4.b i 4.c prikazuju tok mehaničke i električne snage za slučajeve kada se protumo-



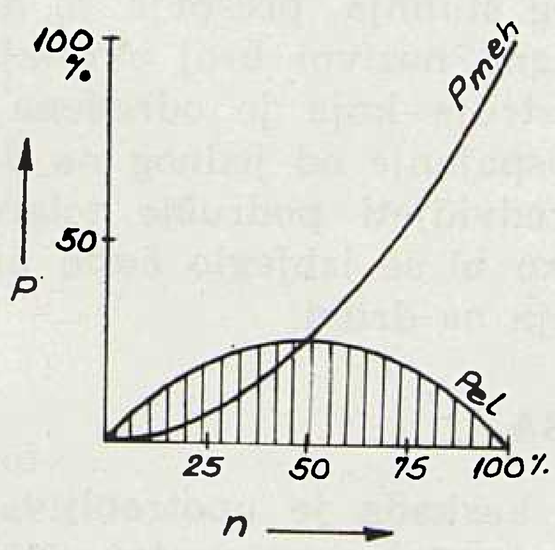
Sl. 3. *Karakteristike momenta u ovisnosti o broju okretaja*
a) Pogon pomoću otpora: M_t — moment pumpe; I_e — granična struja; $U_d\alpha$ — protunapon u krugu rotora
b) Pogon sa podsinhronom kaskadom

menat radnog stroja mijenja prema (5), (6) i (7), dakle kada je $M_t = k \cdot n$ i $M_t = k \cdot n^2$.

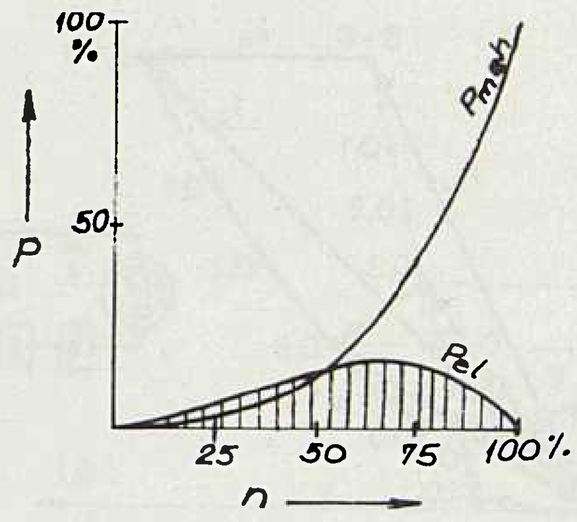
Slika 5. prikazuje stupanj djelovanja kao funkciju broja okretaja kod pogona s dodatnim otporima. Slika osim toga sadrži tok mehaničke snage i snage klizanja za slučaj kada se protumoment radnog



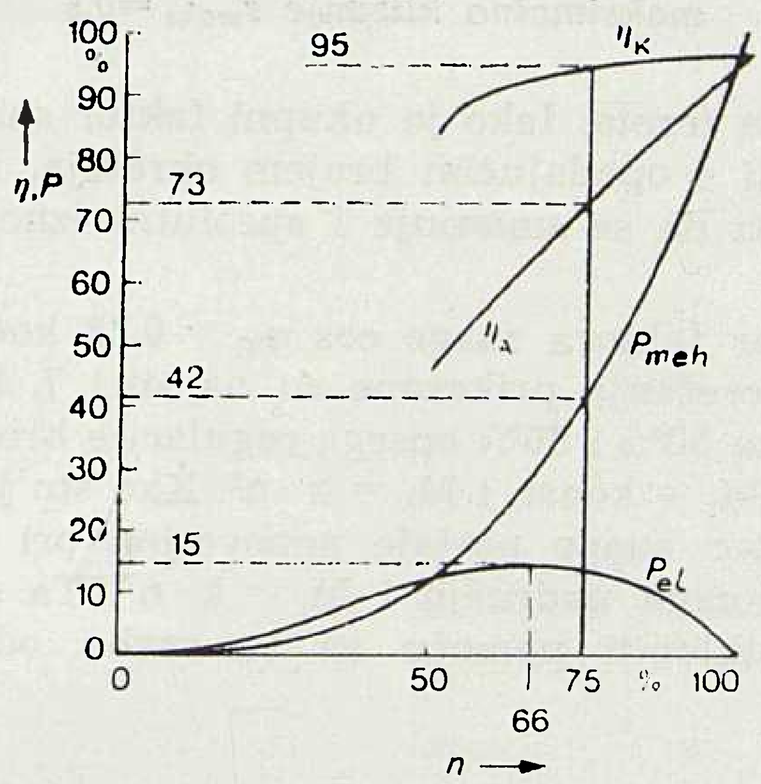
Sl. 4a. *Karakteristike snage kod M_t = konst.*



Sl. 4b. *Karakteristike snage kod $M_t = k\,n$*



Cl. 4c. *Karakteristike snage kod $M_t = k\,n^2$*



Sl. 5. *Karakteristike snage i stupnjeva djelovanja kod $M_t = kn^2$: P_{meh} — mehanička snaga; P_{el} — električna snaga; η_K — stupanj djelovanja kaskade; η_A — stupanj djelovanja asinhronog motora s pogonom pomoću otpora*

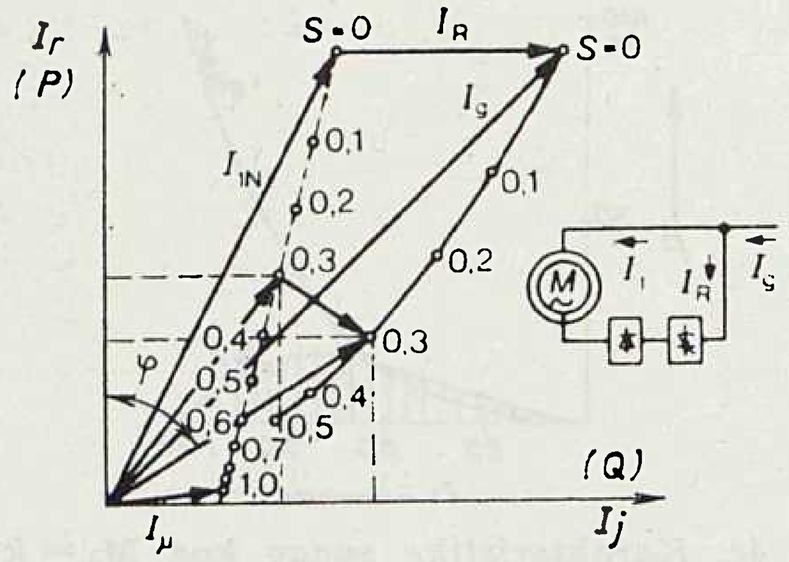
stroja mijenja približno kvadratično s brojem okretaja. Ovo npr. vrijedi za centrifugalnu pumpu. Snaga klizanja umanjena za pokrivanje relativno malih gubitaka u kaskadi vraća se kao djelatna snaga u mrežu. Da je ekonomičan i pogon pri kojem se moment tereta mijenja kvadratično s brojem okretaja pokazat će slijedeći primjer.

3.4. **Ekonomičnost pogona**

Napojna pumpa kotla snage 10 MW u pogonu je godišnje 8 560 sati i radi u području regulacije broja okretaja 50—90% od nazivnog broja okretaja. Gubici klizanja, dakle, iznose prosječno 12% od snage motora tj. 1 200 kW. Uz cijenu električne energije 1,5 d/kWh uštedi se godišnje na troškovima $15{,}408 \times 10^6$ d. Imajući u vidu veće investicije za podsinhronu kaskadu i ovu uštedu, treba za svaki konkretan slučaj utvrditi korist prije negoli se odluči za regulaciju broja okretaja s velikim ili malim gubicima.

3.5. **Karakteristike faktora snage**

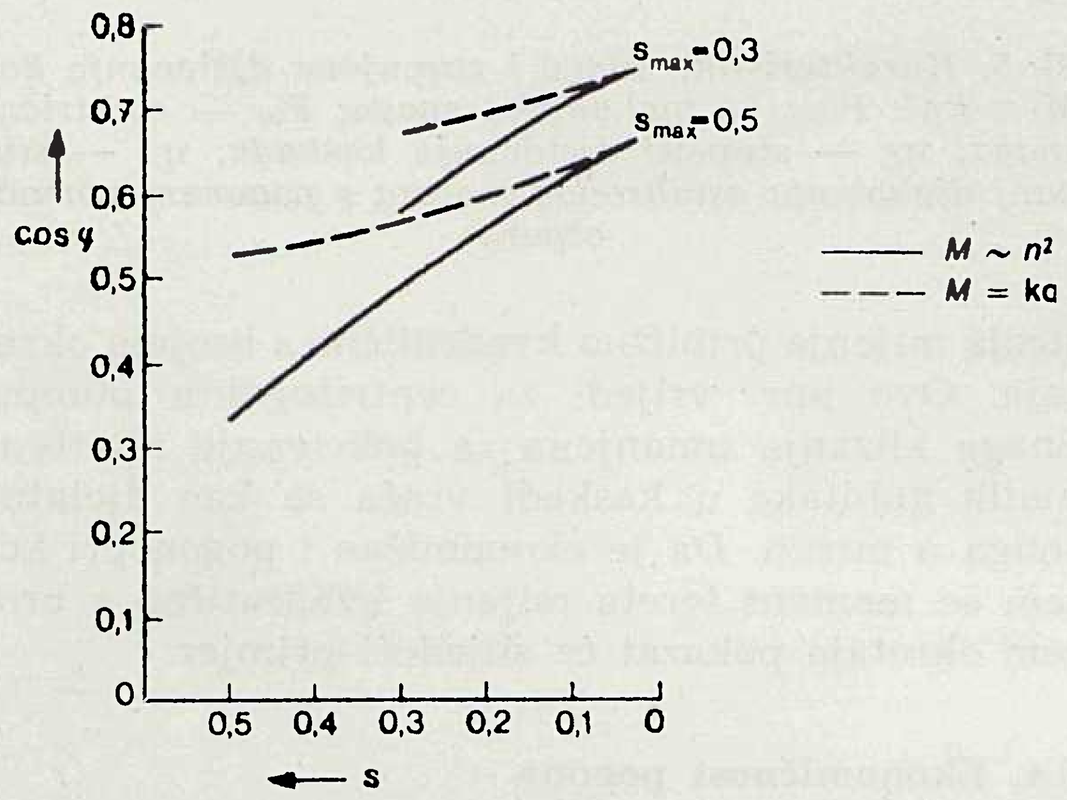
Slika 6. prikazuje u koordinatnom sistemu radna struja — jalova struja (odnosno radna snaga — jalova snaga) ukupnu struju $I_g/P_g/$ kao sumu struje statora $I_1/P_1/$ i povratne struje $I_R/P_R/$ pri promjeni broja okretaja i kvadratično promjenljivom



Sl. 6. *Dijagram struja, odnosno snaga kod* $M_t = k\,n^2$ *maksimalno klizanje* $s_{maks} = 0{,}5$

momentu tereta. Iako je ukupni faktor snage uvijek lošiji s opadajućim brojem okretaja, mora se zaključiti da se smanjuje i apsolutni iznos jalove struje.

Za motor faktora snage cos $\varphi_M = 0{,}88$ kod nazivnog opterećenja prikazane su na slici 7. karakteristike za 50% i 30% opsega regulacije broja okretaja za M_t = konst. i $M_t = k \cdot n^2$. Kao što je vidljivo, faktor snage postaje nepovoljan pri velikom regulacionom području i $M_t = k \cdot n^2$. Ta se mana može otkloniti pomoću za tu svrhu odabranog spoja.

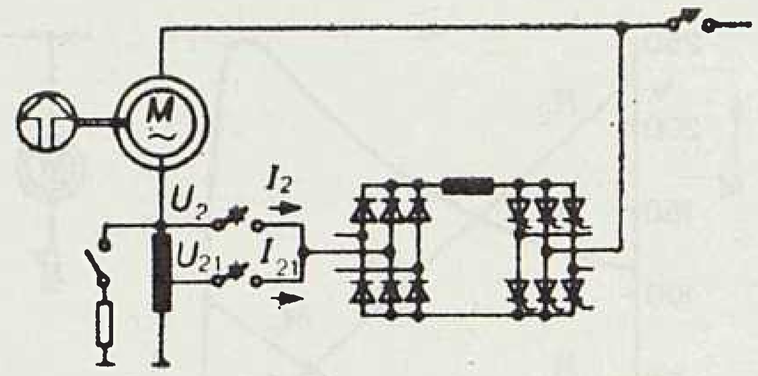


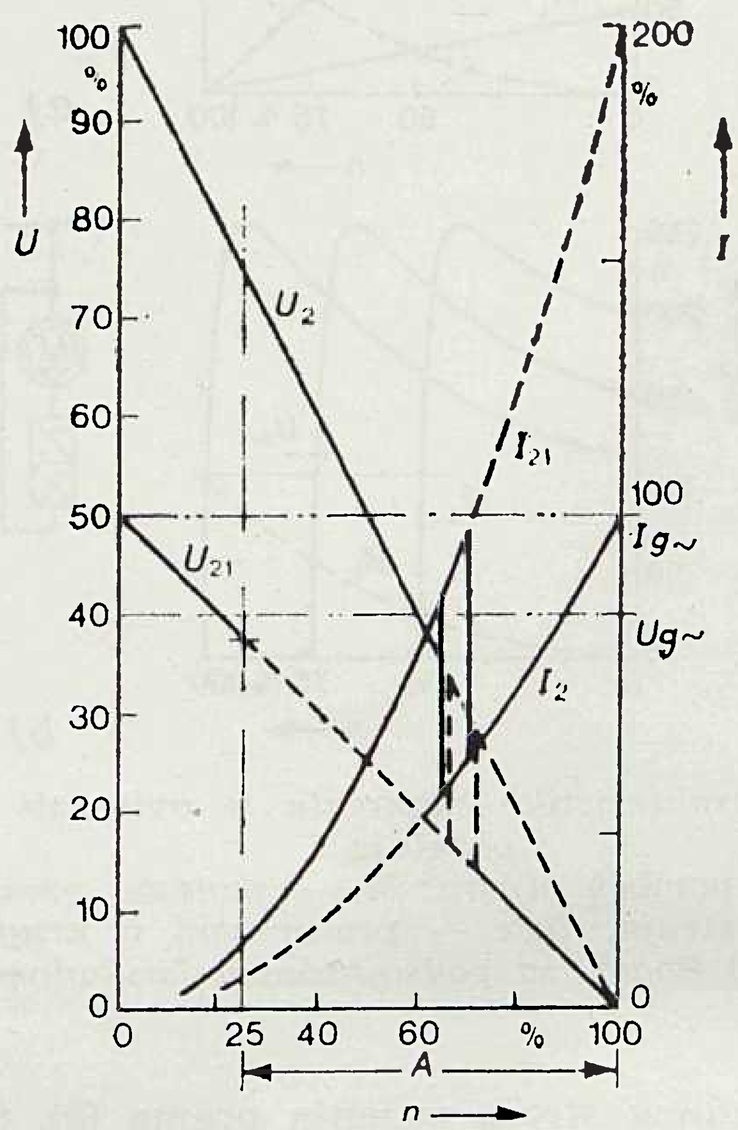
S. 7. *Karakteristike faktora snage pogona s motorom nazivnog faktora snage* cos $\varphi_M = 0{,}88$ *i s konstantnim i kvadratično promjenljivim momentom tereta*

4. SPOJEVI KASKADA

Slika 1. prikazuje standardni spoj podsinhrone kaskaside. Slika 8. prikazuje prespojivu kaskadu koja se upotrebljava za pogon s $M_t = k \cdot n$ i za veliko područje regulacije broja okretaja (u primjeru 75%).

Na slici 1. prikazana karakteristika struje i napona pokazuje da je u lijevom dijelu dijagrama mala struja i veliki napon, a u desnom dijelu velika struja i mali napon. Ta ovisnost omogućuje izvedbu izmjenjivača male snage, a time i malu potrošnju jalove snage. Potrošnja jalove snage izmjenjivača ovisi dakle o veličini struje koja se nameće izmjenjivaču.





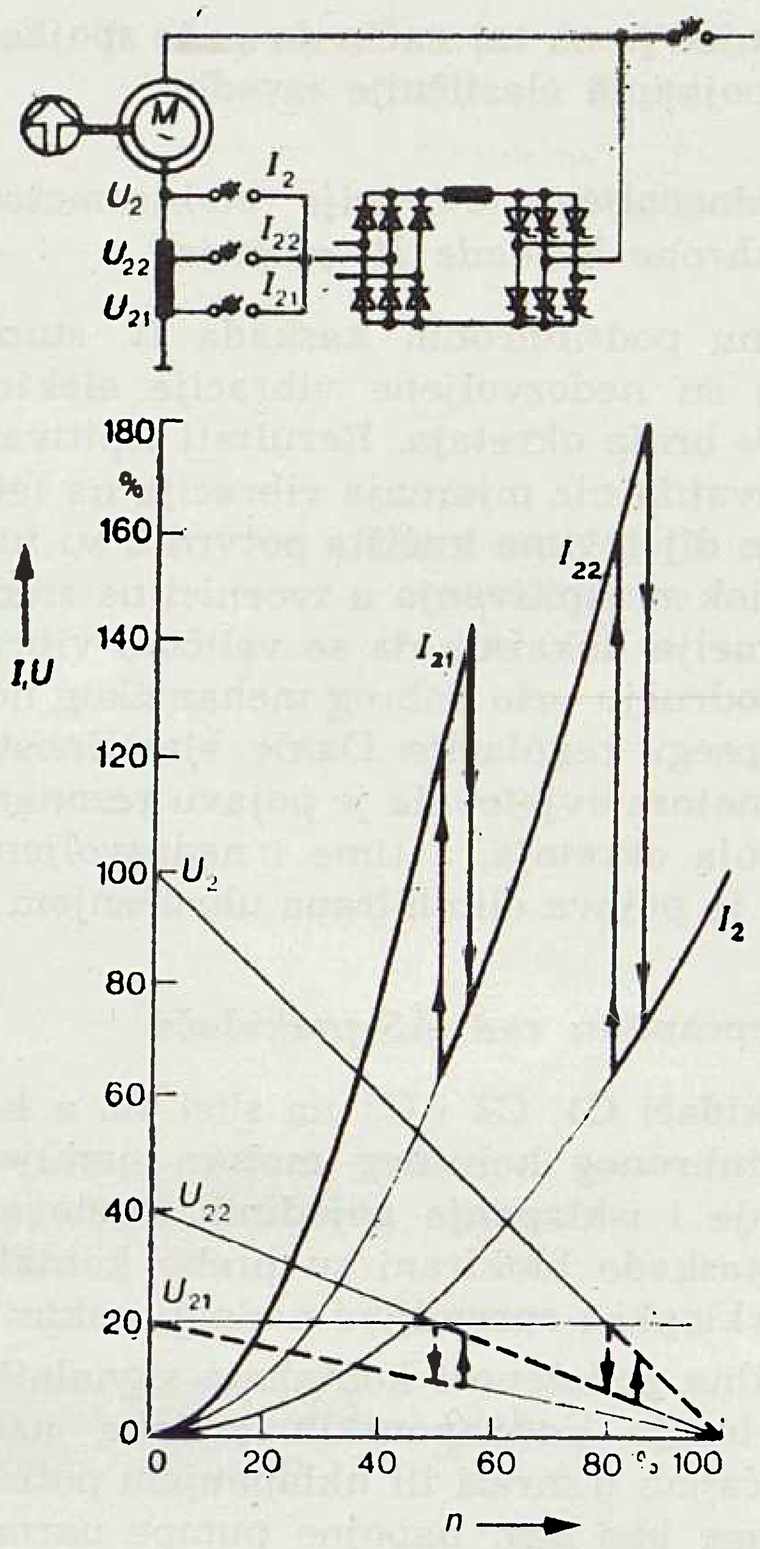
Sl. 8. *Karakteristike napona i struje podsinhrone kaskade s* $Mt = k\,n^2$ $Ig\sim$ *—granična izmjenična struja;* $U_g\sim$ *— granični izmjenični napon*

4.1. Prespojiva kaskada bez otpora za pokretanje

Na slici 9. prikazana je prespojiva kaskada za napojnu pumpu kotla s motorom snage 12,5 MW. Stupnjevani otpori za pokretanje su nadomješteni transformatorom s više otcjepa. Na dijagramu je prikazan tok struje i napona u pojedinim otcjepima, a upotrijebljene su stacionarne vrijednosti. Proces upuštanja kod unaprijed predviđene 100%-ne potrebne vrijednosti odvija se na sljedeći način: Kod upuštanja je uključen najdonji prekidač; na ispravljač dolazi napon U_{21}. Motor se ubrzava do veličine struje koju dozvoljava udešena granična struja na potenciometru granične struje izmjenjivača. Čim je dostignuto radno područje srednjeg stupnja, isključuje se napon U_{21} i uključuje napon U_{22}. Kaskada se dalje ubrzava s graničnom strujom. Kada je dostignuto radno područje posljednjeg stupnja, prespaja se na napon U_2. Čim se postigne nazivni broj okretaja, podesi se stacionarna struja koja je određena s opterećenjem. Za prespajanje od jednog na drugi stupanj nužno je predvidjeti područje tolerancije broja okretaja, kako bi se izbjeglo često prekapčanje s jednog stupnja na drugi.

5. UPOTREBA

Podsinhrona kaskada je upotrebljiva za sve pogone koji imaju stalno isti smjer vrtnje i koji nemaju kočenja.



Sl. 9. *Prespojiva kaskada za pogon napojne pumpe kotla, sa velikim područjem regulacije i* $M_t = k\,n^2$

5.1. Pogon s protumomentom $M = k \cdot n^2$

U ovaj pogon spadaju centrifugalne pumpe, ventilatori, centrifugalni kompresori i puhaljke koje se upotrebljavaju u pumpnim stanicama, toplanama, talionicama, elektranama i kemijskoj industriji.

Upotreba prespojive kaskade je korisna za veliko područje regulacije broja okretaja. Treba obratiti pažnju na to da se mehanička snaga mijenja s trećom potencijom broja okretaja. Budući da nije moguće preopterećenje izmjenjivača, mora se posebno točno odrediti potrebna pogonska snaga pri nazivnom broju okretaja.

5.2. Pogon s protumomentom M = konst.

U ovaj pogon spadaju klipni kompresori, klipne pumpe, propelerni kompresori, koji se upotrebljavaju u kemijskoj industriji i talionicama.

Kod klipnih strojeva posebna je pažnja poklonjena proračunu zamašnog momenta i rasporedu zamašnih masa u sistemu agregata, kao i oscilacijama struje. Motor treba konstruirati za regulaciju broja okretaja pri konstantnom momentu ili ga opremiti stranim hlađenjem koje je ovisno o broju okretaja. Kod eksplozivno zaštićenih motora preporuča se odvojeno strano hlađenje prostora kliznih koluta.

5.3. Pogon s povećanim momentom pokretanja

U ovaj se pogon ubrajaju gnječilice, mlinovi, rotacione peći i drobilice, koje nalaze primjenu u kemijskoj industriji, talionicama i industriji cementa.

Kako ovi strojevi rade u području regulacije broja okretaja s otporima, to se kao pokretni moment može maksimalno koristiti pokretni moment, a ne mora se predimenzionirati kaskada.

Ako se za vrijeme trajnog pogona mora računati s momentom koji je veći od nazivnog momenta, mora se kaskada dimenzionirati za povećani moment.

6. GRANIČNA SNAGA PODSINHRONE KASKADE I BUDUĆI RAZVOJ

Snagu podsinhrone kaskade ograničava u ekonomskom pogledu maksimalno dopuštena struja rotora i maksimalno dozvoljeni napon rotora, koji su ograničavani sa sistemom četkica. Maksimalni broj okretaja je određen s frekvencijom mreže, jer nadsinhrone kaskade uzrokuju povećane troškove u odnosu na podsinhrone kaskade. Neki potrošači, npr. nuklearne elektrane, traže pumpe s regulacijom broja okretaja, koje moraju raditi bez prekida i održavanja preko godinu dana. Da bi se uštedio reduktor, traže se strane elektrane snage do 50MW kod 5000 o/min. Takav pogonski zadatak rješavat će se u budućnosti posebnim motorima i međukrugovima pretvarača.

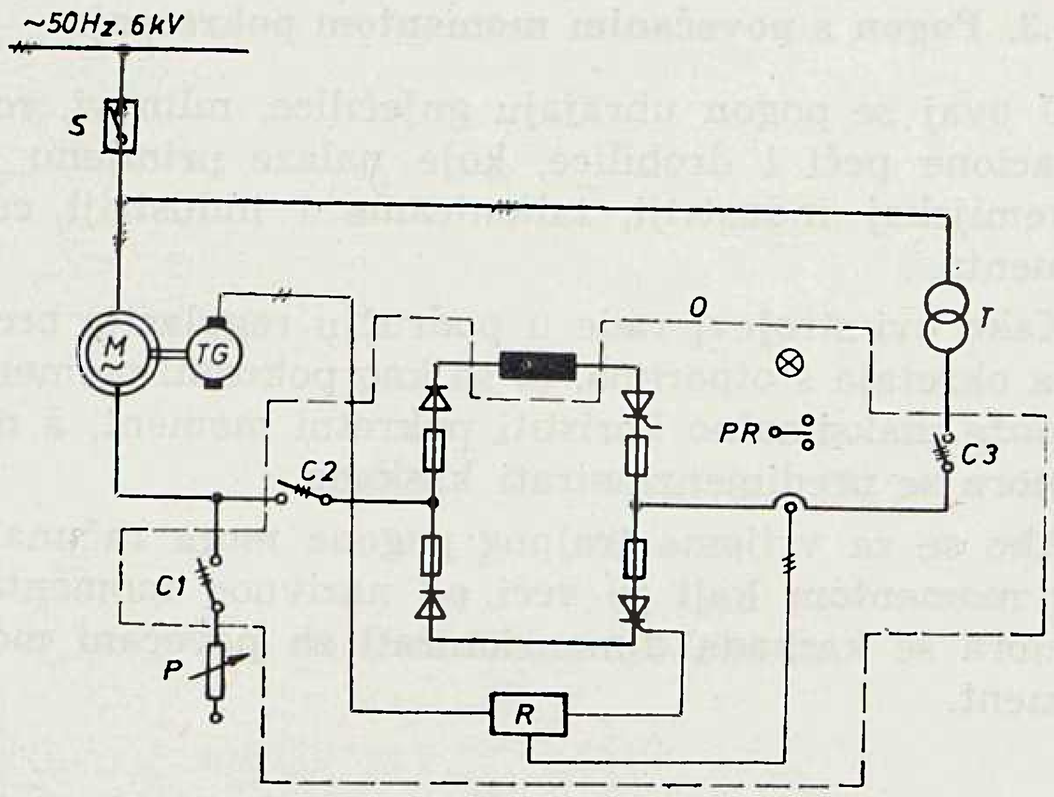
7. PODSINHRONE KASKADE U TE-TO ZAGREB

Razvoj sistema daljinskog grijanja vezanog za TE-TO Zagreb tražio je za pogon cirkulacionih pumpi takva rješenja koja će omogućiti kontinuiranu regulaciju broja okretaja, a time i regulaciju protoke, odnosno pritiska u sistemu. Kao najbolje rješenje za tu svrhu odabrane su podsinhrone kaskade proizvodnje »Rade Končar«, koje su u pogonu od 1979. godine. U povratnom vodu daljinskog grijanja instalirane su 3 podsinhrone kaskade I. stupnja, te preko pregrijača spojene na 3 podsinhrone kaskade II. stupnja.

7.1. Izvedba podsinhronih kaskada »Rade Končar«

Podsinhrone kaskade »R. Končar« I. i II. stupnja izvedene su prema jednopolnoj shemi na slici 10, a njihovi su sastavni dijelovi dimenzionirani prema snagama pumpi.

Podsinhrone kaskade I. stupnja opremljene su pumpama snage 630 kW, pritiska 0—7 bara, protoke 2500 m^3/h, sa područjem regulacije 50—100% i pripadajućim transformatorom 630 kVA, 6/0, 46 kV, spoja Dy5. Podsinhrone kaskade II. stupnja



Sl. 10. *Jednopolna shema podsinhrone kaskade »R. Končar« S — prekidač; T — učinski transformator; M asinhroni kolutni motor; TG — — tahogenerator; C1, C2, C3, AS-prekidači; R — automatski regulator broja okretaja; O — ormar; PR — preklopka (ručno — automatski); P — uljni pokretač*

opremljene su pumpama snage 1250 kW, pritiska 7—21 bar, protoka 2500 m³/h, s područjem regulacije 50—100% i pripadajućim transformatorom 1000 kVA, 6/0, 525 kV, spoja Dy5.

Odgovarajuće dimenzionirani uljni pokretači P podsinhronih kaskada I. i II. stupnja opremljeni su servomotorom s dvije brzine.

Posebna preklopka PR omogućava prelaz s ručne na automatsku regulaciju podsinhrone kaskade.

Prisilno zrakom hlađen ispravljački i izmjenjivački dio podsinhrone kaskade, automatski regulator broja okretaja R, pojedini rasklopni elementi, preklopke i signalne žarulje smješteni su u ormare 0 (označeni crtkano na slici 10) locirane neposredno uz pumpe.

7.2. Smetnje u radu podsinhronih kaskada

Sistem regulacije daljinskog grijanja u TE-TO Zagreb pomoću podsinhronih kaskada je prva primjena takve regulacije u Jugoslaviji, a sama podsinhrona kaskada ima s obzirom na snagu karakter prototipa tvornice »R. Končar«. S obzirom na ovu činjenicu razumljiva je prisutnost niza kvarova, koji su ne samo remetili normalni pogon, već i forsirali usavršavanje rada podsinhrone kaskade.

Iskustvo pokazuje da nesmetani rad podsinhrone kaskade može garantirati samo visoka kvaliteta ugrađene opreme i besprijekorna izvedba. Nekoliko primjera će to i potvrditi.

7.21. *Pucanje spojki tahogeneratora*

Kod podsinhronih kaskada I. i II. stupnja dolazilo je do pucanja spojki tahogeneratora, pa je zbog toga paralizirana automatska regulacija broja okretaja. Problem pucanja spojki zbog prekrutog spoja otklonjen je na taj način da su te spojke zamijenjene spojkama elastičnije izvedbe.

7.22. *Nedozvoljene vibracije elektromotora podsinhrone kaskade II. stupnja*

U pogonu podsinhronih kaskada II. stupnja primjećene su nedozvoljene vibracije elektromotora kod 80% broja okretaja. Rezultati ispitivanja koja su obuhvatila niz mjerenja vibracija na ležajevima i ostalim dijelovima kućišta potvrdili su tu konstataciju, dok su ispitivanja u tvornici na srednje tvrdom temelju dokazala da se veličina vibracija nalazi u području vrlo dobrog mehaničkog hoda u cijelom opsegu regulacije. Dakle, elastičnost temelja elektromotora uvjetovala je pojavu rezonancije kod 80% broja okretaja, a time i nedozvoljene vibracije. Ta je pojava eliminirana ukrućenjem temelja.

7.23. *Nepravilan rad AS-prekidača*

AS-prekidači C1, C2 i C3 na slici 10. u krugu rotora asinhronog kolutnog motora namijenjeni za uklapanje i isklapanje pojedinih dijelova podsinhrone kaskade blokirani su preko kontakata signalnih sklopki i opremljeni podnaponskim svicima.

Nepravilna podešenost kontakata signalnih sklopki i aktiviranje podnaponskih svitaka uzrokovano poremećajem u mreži ili uklapanjem potrošača velike snage kao npr. napojne pumpe parnog kotla, djelovali su na isključenje prekidača, pa je rotor asinhronog motora ostao otvoren. Prenapon uzrokovan isključenjem sklopke S uzrokovao je proboj rotorskog namota elektromotora 630 kW i visokonaponskog namota dvaju transformatora 630 kVA koji pripadaju podsinhronskoj kaskadi I. stupnja. Problem je privremeno riješen dotjerivanjem podešenja kontakta signalnih sklopki i ugradnjom otpora spojenih u zvijezdu u krug rotora asinhronog motora, čime je ograničen nivo prenapona. Konačno rješenje ovog problema je ugradnja RC-člana na niskonaponskoj strani transformatora T i nelinearnog otpora u krug rotora elektromotora.

Problem isključenja AS prekidača zbog pada napona (radi poremećaja u mreži ili kod uklapanja velikih potrošača) privremeno je riješen udešenjem podnaponske zaštite na 0·7 Un. Konačno rješenje za ovakve slučajeve je u tome da podsinhrona kaskada prelazi za vrijeme poremećaja s automatskog na ručni pogon.

7.24. *Ostale smetnje u radu podsinhrone kaskade*

Zastoje u pogonu podsinhronih kaskada uzrokovali su i proboji tiristora i pregaranje osigurača, koji se mogu objasniti tvorničkim greškama u izradi ili nepravilnim radom tiristora u trenutku pada napona prilikom uključenja napojne pumpe, kao i neadekvatna podešenost zaštitnih uređaja.

Ti se problemi rješavaju na taj način da se drže na zalihi rezervni dijelovi u opsegu koji normalno ne preporuča proizvođač.

ZAKLJUČAK

Danas su podsinhrone kaskade praktički optimalno rješenje za pogon strojeva većih snaga koji traže kontinuiranu regulaciju broja okretaja ili nekog drugog parametra.

S obzirom na karakteristike koje su slične kvalitetom reguliranom pogonu s istosmjernim motorom, manju cijenu kod većih snaga u odnosu na istosmjerni pogon i racionalno korištenje sve skuplje energije, upotreba podsinhrone kaskade nameće se kao imperativ. Razvoj domaće industrijske elektronike i mogućnost kvalitetne izrade svih sastavnih dijelova podsinhrone kaskade garantira nesmetan rad ovakvih pogona uz sve prisutne premostive teškoće.

Opisana iskustva s pogonom podsinhronih kaskada trebala bi biti proizvođaču poticaj za kvalitetnu realizaciju proizvoda, a potencijalnom korisniku smjernica za primjenu i održavanje.

LITERATURA:

[1] G. Schneider: Die untersynchrone Stromrichterkaskade, Teh. Mitt. AEG — Telefunkven br. 5/1973.
[2] A. Dolenc: Asinhroni strojevi
[3] B. Jurković: Elektromotorni pogoni
[4] G. N. Petrov: Električni strojevi
[5] »R. Končar«: Ispitni protokoli

KEY WORDS:

CONTROL
UNDERSYNCHRONOUS CSCADA
SUBSYNCHRON MOTOR
ELECTROMOTOR OPERATION

SUBSYNCHRONOUS CASCADE

Undersynchronous cascade provides continuous control of speed of trheephase asynchronous sliprings motors with small loses. Presented are parts and ways of operation as a usage and future development. Specially is given information about undersynchronous cascade produced by »Rade Končar« and installed in TE-TO Zagreb.

UNTERSYNCHRONKASKADEN

Untersynchrone Kaskaden gestatten eine kontinuierliche Drehzahlregelung von Drehstrom-Schleifringankerasynchronmotoren bei kleinnen Verlusten. Dargestellt werden die einzelnen Bauteile und die Arbeitsweise, wie auch der Einsatz und die zukünftige Entwicklung solcher Antriebe. Besonders werden berücksihtigt Asynchronkaskaden des Unternehmens »Rade Končar« die im Heizkraftwerk Zagreb aufgestellt wurden.

ПОДСИНХРОННЫЕ КАСКАДЫ

Подсинхронный каскад позволяет осуществлять плавное регулирование скорости вращения электродвигателей с контактными кольцами при незначительных потерях энергии. Описаны составные части и принцип действия, как и применение и перспективное развитие. В частности дана информация о подсинхронных каскадах изготовления фирмы »Раде Кончар«, установленных на ТЭЦ »Загреб«.

Naslov pisaca:

Franjo Černohous, dipl. inž.
Đuro Stanković, dipl. inž.
TE—TO Zagreb

Uredništvo primilo rukopis:
16. VII 1981.

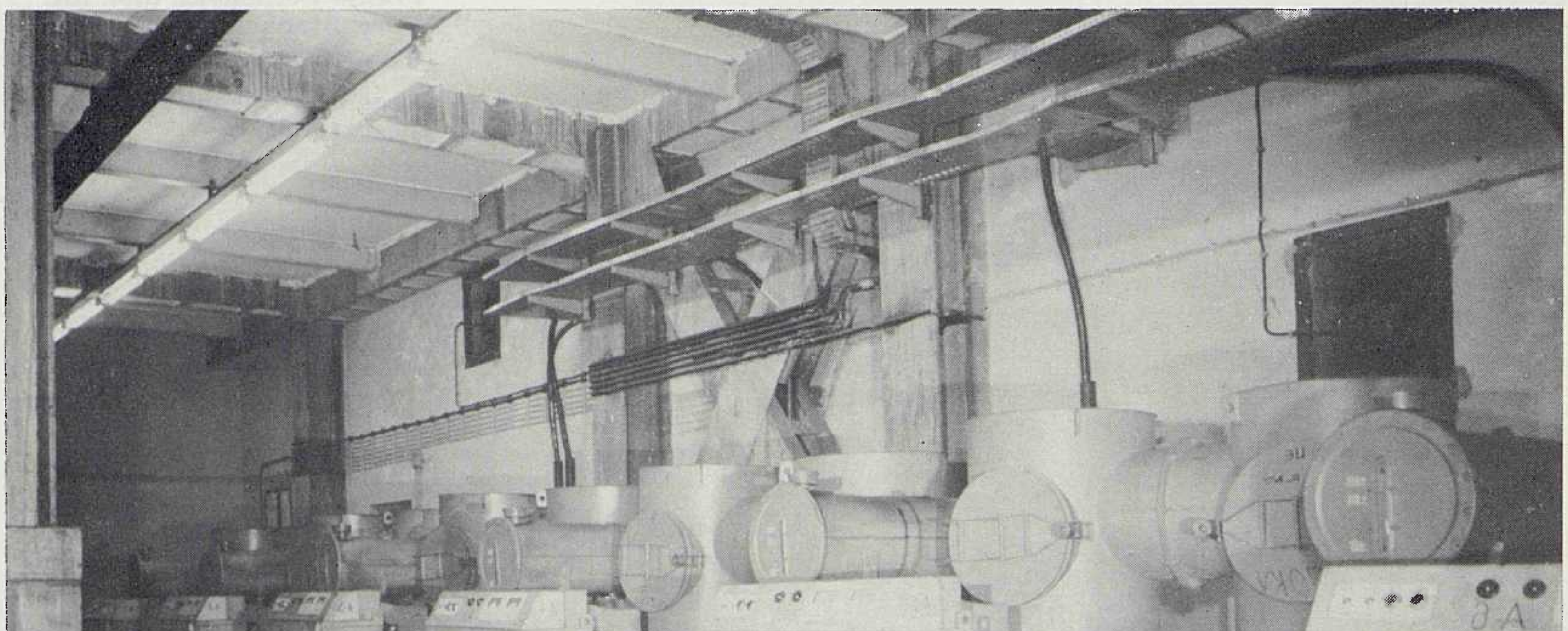
SOUR
MONTING
ZAGREB n.sol.o.

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



Energija 30 (1981) br. 11—12, 499—507

ORGANIZACIJA RADA I ODRŽAVANJE ELEKTRODISTRIBUTIVNIH POSTROJENJA

Ivan Cvitan — Marija Fiala, Sisak

UDK 621.316.1:65
STRUČNI RAD

Nakon dugogodišnjeg rada u elektrodistribuciji autori iznose u ovom radu nepobitne činjenice o sadašnjem stanju održavanja postrojenja te razmišljanja o nužnim akcijama koje bi trebalo provesti da bi se održavanje dovelo na nužni nivo i da bi ostvarilo njegovu pravu svrhu.

Ključne riječi: elektrodistribucija, održavanje, kvarovi, električna postrojenja, organizacija rada, radna disciplina.

1. UVOD

Neadekvatnom održavanju elektrodistributivnih postrojenja uzrok je gotovo uvijek:

a) neodgovarajuća organiziranost,

b) nemar, nezainteresiranost, a često i nedovoljna stručnost rukovodećeg kadra na održavanju,

c) stihijsko, umjesto plansko održavanje,

d) pomanjkanje ažurne, a često i najosnovnije tehničke dokumentacije o postrojenjima,

e) površna ili nikakva priprema prije pristupanja izvođenju ovih radova.

Posljedice takvog stanja su vrlo neugodne, kao:

— učestali prekidi u isporuci električne energije potrošačima, što kod svih njih izaziva revolt, a kod industrijskih potrošača još i proizvodne gubitke zbog smanjenog opsega proizvodnje
— smanjena prodaja električne energije pa zbog toga i smanjeni dohodak i ostatak čistog dohotka elektrodistributivne organizacije
— nezadovoljstvo radnika koji rade na održavanju zbog čestog vraćanja na mjesto istog kvara
— stalni nered i vječna gužva, jer se gotovo svi kvarovi moraju hitno ukloniti. Pri tome vrijedi osnovno pravilo »što je održavanje lošije, to je veći broj kvarova«
— stalna potreba za sve većim brojem radnika zaposlenih na održavanju
— stalan porast troškova održavanja
— iz dana u dan sve lošije stanje postrojenja zbog nekvalitetnog uklanjanja kvarova, što je posljedica loše organiziranosti i slabe pripreme poslova
— ubrzano smanjenje upotrebne dobi postrojenja, što dovodi do prijevremene potrebe za njegovom rekonstrukcijom ili čak do izgradnje novog postrojenja kao zamjene za postojeće
— povećana opasnost od udara električne struje za potrošače i osoblje koje rukuje postrojenjem
— povećani gubici električne energije na svim lošim spojnim mjestima, na mjestima nastajanja dozemnih i kratkih spojeva bilo gdje u postrojenjima
— gubitak poslovnog i općeg ugleda u društvu, na što se često ne obraća dovoljna pažnja; Ovo je veoma važno, jer čitavo društvo izdvaja velika sredstva za investicije u elektroprivredi, pa nam ne može i ne smije biti svejedno kakav ugled u tom društvu imamo i kako nas cijene.

Smatramo da je razumno konstatirati kako zaposleni broj kadrova, elektromontera, tehničara, inženjera i ekonomista nije malen. Kriteriji za broj izvršilaca u ovisnosti o veličini postrojenja omogućili su zapošljavanje velikog broja kadrova, sasvim dovoljan za pravilno i efikasno održavanje elektrodistributivnih postrojenja. Uzroke sadašnjeg lošeg stanja treba prvenstveno tražiti u neodgovarajućoj organiziranosti i pomanjkanju radne discipline.

2. PODJELA KVAROVA

Kvar je promjena stanja postrojenja ili njegovih sastavnih dijelova koja smeta ili onemogućava funkciju tog postrojenja ili je opasna za okolinu.

Kvar može biti:

— kritičan, ako potpuno onemogućava funkciju postrojenja ili je opasan za okolinu i

— nekritičan, kad samo smanjuje učinak ili kvalitetu rada postrojenja u dopuštenim granicama.

Sve kvarove koji se javljaju na elektroenergetskim postrojenjima možemo podijeliti u nekoliko grupa:

I. Rani kvarovi. Nastaju najčešće u garantnom roku kao greška u konstrukciji, materijalu, montaži ili zbog neuvježbanosti osoblja u eksploataciji. Ti kvarovi nastaju neposredno nakon puštanja postrojenja u pogon. Učestalost kvarova pada s vremenom eksploatacije postrojenja.

II. Kvarovi zbog trošenja ili vremenski kvarovi. Oni nastaju poslije određenog vremena eksploatacije postrojenja kao rezultat raznih fizičko-kemijskih utjecaja, umora materijala, habanja, korozije, truljenja, promjene strukture materijala ili kombinacijom tih pojava. Učestalost ovakvih kvarova raste s vremenom eksploatacije postrojenja.

III. Slučajni kvarovi. Nastajanje ovakvih kvarova ne može se predvidjeti. Oni nastaju pri iznenadnim, prethodno neutvrđenim oštećenjima nekog od elemenata u postrojenju, npr. proboj nekog izolatora ili proboj izolacije na namotu energetskog ili mjernog transformatora, lom stupa niskonaponske mreže ili stupa javne rasvjete zbog udara vozila ili drugo.

Vjerojatnost slučajnih kvarova je uvijek ista pa je i stopa tih kvarova za vrijeme eksploatacije postrojenja konstantna.

IV. Kvarovi uzrokovani elementarnim nepogodama. Ovakvi kvarovi nastaju u slučaju većih elementarnih nepogoda: veoma jakih vjetrova, velikih nakupina snijega i leda na vodičima, posebno intenzivnih atmosferskih pražnjenja itd.

Vjerojatnost nastajanja ovih kvarova je također uvijek jednaka, pa je i stopa nastajanja tih kvarova za vrijeme eksploatacije postrojenja konstantna.

V. Kvarovi nastali nestručnim, nemarnim ili pogrešnim rukovanjem postrojenjem. Ovu vrstu kvarova neki nazivaju još i prouzrokovanim kvarovima. Razlozi nastajanju ovih kvarova su veoma različiti. Do njih dolazi zbog nedovoljne izučenosti rukovaoca postrojenja, zaboravljivosti, rada u alkoholiziranom stanju, premorenost ili nekih psihičkih poremećaja rukovaoca postrojenjem.

Vjerojatnost nastajanja ovih kvarova je uvijek ista pa je i stopa tih kvarova za vrijeme eksploatacije postrojenja konstantna.

VI. Kvarovi uzrokovani lošim održavanjem postrojenja. U loše održavanim elektrodistributivnim postrojenjima broj ovih kvarova je veoma velik. Njihov nastanak je vrlo različit, na primjer: prolazni ili trajni kratki spojevi izazvani međusobnim zaplitanjem nedovoljno nategnutih vodiča, prolazni ili trajni dozemni spojevi zbog neposječenog granja uz dalekovode ili niskonaponske mreže, proboj izolacije transformatora zbog neodržavanja kvalitete transformatorskog ulja, pregaranje strujnih mostova na mrežama zbog slabih spojeva i loših kontakata, pad mreže već kod malih vremenskih nepogoda zbog nepravodobne izmjene trulih drvenih stupova itd.

Stopa ovih kvarova ovisi o kvaliteti održavanja postrojenja pa može biti rastuća, ali i opadajuća. Na smanjenje svih vrsta kvarova, osim slučajnih i kvarova uzrokovanih elementarnim nepogodama, možemo efikasno djelovati, pa bi to morao biti osnovni zadakat osoblja koje se bavi održavanjem.

Broj kvarova može se smanjiti kvalitetnim nadzorom tokom izgradnje postrojenja i stručnom pripremom osoblja koje će vršiti eksploataciju.

Kvarove zbog trošenja možemo smanjiti preventivnim pregledima i pravodobnim uklanjanjem uočenih nedostataka — izmjenom oštećenih elemenata. Broj kvarova na postrojenjima nastalih nestručnim, nemarnim ili pogrešnim rukovanjem može se smanjiti periodičnim provjeravanjima znanja rukovaoca postrojenja, većom kontrolom izvršenja zadataka, češćim obilascima postrojenja rukovodećih osoba, liječničkim kontrolama zdravstvenog stanja rukovaoca postrojenja itd.

Smanjenje broja kvarova uzrokovanih lošim održavanjem postrojenja je najjednostavnije, ali istodobno najteže ostvariti. Najjednostavnije zato što se pravim stručnim i organiziranim radom na održavanju elektrodistributivnih postrojenja broj tih kvarova naglo smanjuje; najteže zato što je teško promijeniti dugogodišnje navike ljudi, odučiti ih od lošeg načina rada na održavanju postrojenja, rada bez kontrole izvršenih popravaka i bez pravih uputa.

Na smanjenje broja kvarova uzrokovanih lošim održavanjem postrojenja prvenstveno može djelovati dobra priprema rada za uklanjanje kvarova koja će dati i osnovne upute kako rad izvršiti, zatim rukovodioci radova na terenu, poslovođe i ostali tehnički kadar koji je dužan razmišljati o usavršavanju metoda održavanja. Pri tome treba naglasiti da elektromonter izvršilac radova na održavanju — najčešće nije kriv za nekvalitetno održavanje; on je obično od nekoga upućen »da ukloni kvar«, a da prije dolaska na teren i ne zna bit problema, pa mu najčešće nedostaje odgovarajući alat, materijal i pribor. Tako on sa svojom ekipom kvar ukloni na najlakši i u tom momentu jedino mogući način, po sistemu »snađi se«, premda je pri tome i sam svjestan da je kvar uklonio vrlo površno i da takav popravak ne može biti duga vijeka. On je često svjestan da će tako uklonjeni kvar uskoro izazvati veći i teži kvar na postrojenju, no ako je mjesto kvara dosta udaljeno od njegova sjedišta, on nema vremena slati radnika iz svoje ekipe po potrebni alat, materijal i pribor. To

mu je razložna isprika (ali ne i opravdanje!) za ovakav nepravilan postupak, to prije što je uvjeren da kontrole izvršenog rada neće biti. To potvrđuje konstataciju da je za pravilno održavanje postrojenja, prije svakog rada, nužno izvršiti pripremu koja bezuvjetno mora biti dobra, kvalitetna i detaljna.

Evidentno je da kvaliteta i pravilno održavanje postrojenja prvenstveno ovisi o tehničkom kadru (kojega u elektrodistribuciji ima dovoljno!). Taj kadar, međutim, mora biti stručan, ambiciozan i iskusan te dobro organiziran da može izvršavati svoje veoma složene zadatke.

Kvarovi se ne mogu potpuno izbjeći. To je prisutno zbog izloženosti ovih postrojenja svim vremenskim i atmosferskim utjecajima, ali se dobrom organiziranošću broj kvarova može znatno smanjiti. Ne može se u potpunosti izbjeći ni provizorno uklanjanje kvarova, jer to često uvjetuju drugi zahtjevi, ali je sigurno da se broj provizorno uklonjenih kvarova može znatno smanjiti. Mali broj provizorno uklonjenih kvarova neće i ne može stvarati velike poteškoće u postrojenjima koja se inače pravilno i dobro održavaju.

3. ODRŽAVANJE POSTROJENJA

Održavanje je djelatnost čiji je prvenstveni zadatak sprečavati, a ako već nastupe, i uklanjati kvarove na sredstvima za rad i na postrojenjima.

Prema načinu kako se u praksi provodi, održavanje možemo podijeliti na:

— neplansko održavanje
— plansko održavanje.

Kod neplanskog sistema održavanja, već prema samom nazivu, ništa se ne planira unaprijed. Na postrojenju se vrši intervencija tek onda kad je nastupio kvar. Taj sistem je nepogodan i neekonomičan jer se ne planiraju rezervni dijelovi, vrijeme intervencije, veličina radne ekipe ni mjesto popravka. Drugim riječima, intervencija se vrši od slučaja do slučaja. Tu nema preventivnog održavanja. U želji da se vrijeme beznaponskog stanja postrojenja što više skrati, formiraju se ekipe sa znatno većim brojem ljudi negoli je stvarno potrebno. Tako se na mjestu rada stvara gužva, a zbog navike razmišljanja »to će uraditi netko drugi« uklanjanje kvara se znatno produžuje. Dakle, ovakav neplanski način održavanja postrojenja je loš i izaziva nepotrebno povećanje troškova održavanja.

Planskim sistemom određuju se mjere održavanja i remonta, u koje ulaze mjere za uklanjanje prirodnih posljedica eksploatacije te niz kompleksnih preventivnih mjera koje sprečavaju brzo habanje i istrošenost postrojenja. Na taj se način sprečavaju i osjetno smanjuju iznenadni kvarovi, tj. neplanirani zastoji u isporuci električne energije potrošačima.

Planski sistem održavanja ima ove prednosti:

a) za elektrodistributivno poduzeće:
— minimalno trošenje postrojenja, u cjelini, tj. produženje vijeka trajanja postrojenja
— povećani stupanj iskorištenja postrojenja
— kratkotrajna i sveukupno kratka razdoblja neisporuke električne energije
— racionalniju organizaciju održavanja
— smanjenje troškova održavanja
— mogućnost kontrole i pravilne eksploatacije postrojenja

b) za potrošača:
— kontinuiranu opskrbu električnom energijom, što omogućuje povećanje dohotka industrijskom potrošaču
— kvalitetnu energiju
— planiranje prekida ili redukcija električne energije olakšava izvršenje plana proizvodnje
— smanjenje škarta koji nastaju zbog neočekivanog nestanka električne energije
— smanjenje eventualnih kvarova na postrojenjima potrošača
— smanjenje mogućih nesretnih slučajeva zbog neočekivanog prekida i ponovnog uspostavljanja naponskog stanja
— zadovoljstvo potrošača.

Cilj održavanja je:
— da se utroši što manje rada i sredstava
— da maksimalno spriječi zastoje postrojenja zbog kvarova
— da prouzrokuje što manje zastoja postrojenja prilikom izvođenja radova održavanja
— da smanji opasnost za ljude i imovinu.

Ti se ciljevi mogu ostvariti uz dobru organiziranost te dovoljno stručan, a naročito dovoljno discipliniran kadar. Tada osoblje održavanja može bez posebno velikih napora ostvariti ciljeve održavanja, iako održavanje predstavlja težak i veoma odgovoran zadatak.

Održavanje udružuje djelatnosti koje sprečavaju i uklanjaju sve vrste kvarova, pa je jasno da u održavanju moraju biti zastupljeni različiti profili stručnjaka. No, tu se pojedine specijalnosti ne smiju toliko usitniti da služba održavanja ne postane brojčano preglomazna, jer je tada troma, suviše administrativna i bavi se uglavnom sama sobom, te »nema vremena« za održavanje.

Poslove na održavanju postrojenja možemo podijeliti u nekoliko grupa:

1. Preventivni pregledi postrojenja. Njihov je cilj pravodobno, tj. prije nastanka kvara otkriti kvarove koji nastaju zbog trošenja, tzv. vremenske kvarove. Ovi se pregledi svode na dijagnosticiranje, na temelju:
— promatranja
— uspoređivanja

— doticanja
— mjerenja
— čišćenja
— očitavanja
— bilježenja
— analiziranja
— konstatiranja i sličnih postupaka.

Preventivni pregledi moraju biti unaprijed pripremljeni i planirani, a obavljeni veoma stručno, temeljito i pažljivo. Zbog toga se trebaju povjeriti stručnim i savjesnim radnicima.

Ovi se pregledi u principu vrše u tzv. naponskom stanju elektrodistributivnih postrojenja, što zahtijeva velik oprez i trezvenost izvršilaca, a pri tome se (isključivo zbog naših propisa) ne vrše nikakvi radovi.

Ovi se pregledi, dakle, vrše bez prekida u isporuci električne energije. U nekim stranim zemljama preventivni se pregledi obavljaju i noću, za vrijeme tamnih oblačnih noći. Tada se veoma lako uočavaju slaba kontaktna mjesta, jer se na njima pojavljuje iskrenje ili čak usijanje materijala do crvene boje.

Da bi preventivni pregledi imali pravu svrhu i dali očekivane rezultate, nužno je izraditi program rada preventivnog održavanja. Tim programom treba obuhvatiti:

— evidentiranje opreme
— praćenje stanja opreme
— analiziranje stanja i planiranje
— izvođenje preventivnih radova.

Praćenjem stanja opreme važno je obuhvatiti praćenje vremena trajanja svakog elementa u postrojenju. Na osnovi takvih podataka može se planirati pravodobna zamjena dotrajalih dijelova, potrebni popravci itd.

Razni statistički podaci trebaju pridonijeti dobrom održavanju postrojenja. Dragocjeni podaci mogu se dobiti iz evidencije o učestalosti kvarova pojedine opreme, njihovu vijeku trajanja, utrošku vremena za uklanjanje naročito tipičnih kvarova ili drugih postrojenja.

Programom treba utvrditi koji su statistički podaci značajni i unositi ih u tzv. historijat opreme (o kvarovima i intervencijama), jer će oni poslužiti za predstojeće planiranje preventivnih radova.

Sve prikupljene podatke u toku godine treba analizirati i utvrditi potrebne akcije, a u prvom redu ih treba upotrijebiti pri izradi plana rada preventivnog održavanja. Tako se mogu s velikom sigurnošću i točnošću utvrditi potrebne minimalne i maksimalne zalihe materijala, opreme i alata na skladištu, planirati usluge drugih specijaliziranih radnih organizacija te potrebni troškovi za te usluge.

Cilj svih navedenih praćenja jest pravodobno provođenje potrebnih intervencija bez, zastoja postrojenja, odnosno s minimalnim zastojem.

Pri raspravi i odlučivanju treba li uvesti preventivne preglede ili ne, mora se imati na umu da preventivno održavanje povećava životnu dob postrojenja, odnosno njegovih dijelova. Ali prije pristupanja preventivnim pregledima nužno je izvršiti temeljite pripreme, tj. izraditi spomenuti plan rada preventivnog održavanja.

Zadatak rukovodioca ekipe koja je izvršila preventivni pregled postrojenja jest da podnese detaljan pismeni izvještaj s kratkim, ali jasnim konstatacijama (bez pisanja nepotrebnog i bez upotrebe kratica, što bi veoma lako moglo izazvati zabune i *nesporazume).*

Kolika je korist preventivnih pregleda, neka za ilustraciju posluže iskustva, tuđa i domaća. Ona kazuju da se preventivnim pregledima, čišćenjem i podmazivanjem strojeva u industrijskoj proizvodnji iznenadni kvarovi u toku prve godine eksploatacije smanjuju do 50%. Daljnjim provođenjem preventivnih pregleda iznenadni se kvarovi smanjuju još za 10—15%, te ostaju slučajni kvarovi koje preventivnim pregledima nije moguće spriječiti.

2. Traženje i uklanjanje slabih mjesta na postrojenju. Traženjem i uklanjanjem slabih mjesta na postrojenju može se smanjiti broj slučajnih kvarova. To je sigurno najstručniji posao na održavanju postrojenja. Kada se pravilno i stručno izvodi, može biti vrlo koristan. Ako se na temelju analize podataka o kvarovima zaključi da kvarovi nisu normalni, mora se prići detaljnoj analizi mjesta nastanka kvara i na razne načine — rekonstrukcijom, kvalitetnijom obukom ili motivacijom rukovalaca, promjenom režima rada i sličnim postupcima — ukloniti uzroke kvarova.

Nakon završenog rada mora se dati pismeni izvještaj.

3. Kontrolni pregledi elektrodistributivnih postrojenja. U principu se vrše u beznaponskom stanju postrojenja. Oni moraju biti planirani i dobro pripremljeni. Provode se uglavnom radi:

— utvrđivanja sposobnosti postrojenja za predviđenu namjenu
— utvrđivanja sigurnosti za okolinu (sigurnost rukovalaca i drugih ljudi u okolini, sigurnost od eksplozije, požara i slično).

Specifičnost kontrolnog pregleda jest u tome što se odmah obavljaju određeni manji popravci pa je na mjestu rada potreban određeni alat, materijal, oprema, razni rezervni dijelovi, te neki instrumenti.

Za vrijeme kontrolnih pregleda postrojenja ne mogu se ukloniti svi utvrđeni kvarovi, jer je za neke od njih potrebno izvršiti posebnu pripremu, osigurati poseban alat, materijal i opremu, a katkad čak i specijalno izučene radnike. Tada je to remont.

Nakon završenih radova obuhvaćenih kontrolnim pregledom mora se napisati kratak i jasan izvještaj o svemu učinjenom, s posebnim naglaskom na uočene nedostatke i njihov opis, te predložiti rok njihova uklanjanja u okviru planiranih popravaka.

Preglede elektrodistributivnih postrojenja što ih provode stručni organi vlasti i raznih stručnih institucija prema zakonskim propisima također nazivamo kontrolnim pregledima, ali ih za razliku od kontrolnih pregleda povjerenih radnicima za održavanje, koji pri tome i obavljaju radove, nazivamo »inspekcija«.

4. Planski popravci. Ove popravke prema opsegu zahvata koje treba obaviti na postrojenju dijelimo na:

— male
— srednje
— generalne.

Planski se popravci vrše radi obnove ili zamjene pojedinih dotrajalih ili »sumnjivih« elemenata u postrojenju, kako bi ono moglo, bez većih problema i bez opasnosti za okolinu, izdržati do kraja svog tehnički i ekonomski opravdanog radnog vijeka. U pravilu ovi se popravci u nas izvode uvijek u beznaponskom stanju postrojenja.

Podizanjem kvalitete održavanja postrojenja i mreža utjecali bismo među ostalim i na smanjenje gubitaka električne energije, koji su u našim distributivnim postrojenjima enormno veliki u odnosu na gubitke u distributivnim postrojenjima naprednijih evropskih zemalja.

Uklanjanjem loših kontaktnih mjesta, npr., utjecalo bi se na smanjenje tehničkih gubitaka. Na njihovo smanjenje djelovao bi i smanjeni broj kvarova, kratkih i zemnih spojeva.

Češćim pregledima oklopljenih, tzv. »pancer« osigurača, odnosno glavnih osigurača ili osigurača u kabelskim priključnim ormarićima potrošača na niskonaponskim mrežama, utjecali bismo na smanjenje krađe energije ili, kako se to uobičajeno naziva, »nepovlasnu potrošnju«, te bi time bili smanjeni i komercijalni gubici. Pregledi svih spomenutih osigurača trebali bi biti obuhvaćeni istodobno s preventivnim pregledima niskonaponskih mreža, i to dvaput godišnje.

4. TROŠKOVI ODRŽAVANJA

Ukupni troškovi održavanja predstavljaju sumu troškova tekućeg i investicionog održavanja.

Da li će u radnoj organizaciji biti prihvaćen i provođen planski ili neplanski sistem održavanja, ovisi prvenstveno o stavovima vodećih kadrova u službi održavanja, ali i o stavovima najviših rukovodnih kadrova u radnoj organizaciji. Naime, rukovodni kadrovi predlažu i dogovaraju strategiju održavanja o kojoj ovisi odnos troškova tekućeg i investicionog održavanja.
Strategija planskog održavanja orijentirana na preventivne preglede, traženje i uklanjanje slabih mjesta na postrojenju ima veće troškove tekućeg održavanja. Strategija neplanskog održavanja svjesno povećava troškove investicionog održavanja.

Veliki troškovi investicionog održavanja posljedica su lošeg, neorganiziranog i neplanskog tekućeg održavanja postrojenja.

Troškove održavanja moguće je predvidjeti na osnovi:

— praćenja troškova održavanja u proteklim razdobljima

— podataka o troškovima održavanja sličnih sredstava za rad

— sredstava potrebnih za održavanje novoizgrađenih postrojenja, odnosno novonabavljene opreme ili stroja.

Prva dva načina određivanja troškova su evidentna. Treći je način vrlo jednostavan, a obično dovoljno točan. On polazi od konstatacije da su ukupni troškovi održavanja sredstava za rad približno jednaki nabavnoj vrijednosti tog sredstva. Dodamo li ovome još i zapažanja da su po godinama troškovi održavanja približno jednaki, tj. ravnomjerno raspoređeni u životnom vijeku, onda te troškove svakog postrojenja na godinu možemo dobiti ako nabavnu vrijednost podijelimo godinama tehničkog vijeka trajanja tog postrojenja. To znači da se za određivanje očekivanih godišnjih troškova održavanja novoizgrađenog postrojenja možemo poslužiti slijedećom relacijom:

$$T = \frac{C}{t} \qquad (d/god),$$

gdje je

C = nabavna vrijednost postrojenja, opreme ili stroja (dinara)

t = normalni vijek trajanja tog postrojenja, opreme ili stroja (godina).

Ako treba izračunati očekivani godišnji iznos troškova održavanja, npr. za jednu transformatorsku stanicu prijenosnog omjera 110/x kV, onda posebno treba izračunati očekivane godišnje troškove održavanja rasklopnog postrojenja, posebno građevnog objekta, a posebno energetskih transformatora, jer svaki ovaj dio ima svoj vijek trajanja. Njihov zbroj daje sveukupni očekivani godišnji iznos troškova održavanja tog objekta.

Za razne vrste sredstava za rad navode se u literaturi slijedeći iznosi očekivanih godišnjih troškova održavanja u odnosu prema nabavnoj vrijednosti tih sredstava:

energetski transformatori	1,5%
kondenzatori	1,5%
generatori i rotacioni pretvarači	3,5%
električni vodovi i mreže	5,0%

elektromotori	8,0%
sklopke i rastavljači	5,0%
teretna vozila (kamioni)	15,0%
osobna vozila	14,0%
ceste i putovi	3,5%
temelji strojeva	0,2%
industrijske visokogradnje	1,5%
čelične konstrukcije	5,0%

Sve su to, dakako, orijentacioni iznosi, jer troškovi održavanja mogu biti i viši, ali i manji od navedenih, ovisno o nizu faktora kao što su: pravodobnost održavanja, kvaliteta održavanja, način eksploatacije, utjecaji okoline i dr.

Praćenje troškova održavanja je veoma važno, a upravo se to često zanemaruje. Najvažniji elementi u tim troškovima su utrošeni materijal i radno vrijeme koji se prate »Zahtjevnicama za materijal« i »Evidencijom radnog vremena«. Propust je tehničkih kadrova koji se ovim podacima veoma rijetko služe, te administracije koja ih ne vodi egzaktno i uredno, zbog čega se stvara komplicirana i praktički neupotrebiva evidencija.

U nekim radnim organizacijama rad iznosi 35%—50% vrijednosti troškova održavanja, što dovoljno jasno govori koliko je važno uz bolju organiziranost smanjiti utrošak radnog vremena na održavanju.

Svi ostali elementi koji su sastavni dio troškova održavanja kao utrošak alata održavanja, amortizacija sredstava za rad održavanja, razni prijevozi, utrošak energije kod održavanja, te druga pogonska režija malo utječu na ukupne troškove održavanja. Niti njih nije teško egzaktno pratiti.

Radi ilustracije dajemo primjer iz jedne elektrodistributivne radne organizacjie u zemlji, gdje su u nedavnoj prošlosti evidentirani ovi troškovi:

— materijalni troškovi održavanja 3 p/kWh
— troškovi radne snage na održavanju 24 p/kWh,

dakle, troškovi radne snage osam puta su veći od materijalnih troškova. Gornji primjer govori o totalnom nemaru oko održavanja postrojenja i praćenja troškova.

Osjetnije na ukupne troškove održavanja utječu troškovi prijevoza ljudi te transporta materijala i alata. Objektivno, za dio tih troškova postoji realno opravdanje. Naime, elektrodistributivna djelatnost vezana je gotovo uz neprestani terenski rad, a radno mesto je često i više od 20 km udaljeno od sjedišta organizacione jedinice, pa se bez upotrebe vozila taj rad ne može obaviti. Međutim, prazne hodove transportnih sredstava i osobnih automobila moguće je smanjiti jedino dobrom pripremom rada svakog posla na održavanju i boljom sveukupnom organiziranošću elektrodistribucije. Treba posebno naglasiti i to da bi se manjom nepotrebnom vožnjom svih vrsta vozila produžio životni vijek tih skupih sredstava i time direktno djelovalo na smanjenje troškova poslovanja.

5. ORGANIZACIJA ODRŽAVANJA POSTROJENJA

Bez prikladne organiziranosti nema i ne može biti dobrog održavanja postrojenja. Isto tako nemoguće je ostvariti dobro održavanje bez detaljne i temeljite pripreme svih poslova na održavanju, a da troškovi ne budu veliki ili čak enormno veliki. Prihvatimo li te konstatacije, odmah nastaje i prva nedoumica: da li za obavljanje poslova pripreme rada na održavanju elektrodistributivnih postrojenja treba organizirati odjel ili službu za pripremu rada održavanja. Ovo tim prije što postoje distributivne organizacije u kojima nema radnika posebno zaduženih za pripremu rada, ali ipak su troškovi i kvaliteta održavanja na zadovoljavajućem, pa i zavidnom nivou. Pripremu rada vrši im poslovođa i rukovodilac organizacione cjeline. Takvi su slučajevi uistinu malobrojni i vjerojatno su mogući samo u teritorijalno malim organizicionim sredinama, s malim brojem montera zaposlenih na održavanju postrojenja. To, međutim, nikako nije pravilo i ne može biti uvjet, na temelju čega bi se zaključilo kako odjel ili služba pripreme rada održavanja u elektrodistribuciji nije potrebna. Naprotiv, priprema rada održavanja mora postojati. Tek je tako stvoren prvi uvjet za kvalitetno održavanje i provedbu održavanja uz normalne i podnošljive troškove.

Ali, kako organizirati i gdje u organizacionoj shemi locirati pripremu rada održavanja ovisi o nizu uvjeta. To su prvenstveno ljudski faktori i veličina radne organizacije, odnosno njezina teritorijalna rasprostranjenost.

Mnogi od zaposlenih u elektrodistribuciji su protiv postojanja pripreme rada održavanja i već njezino osnivanje, a naročito početak normalnog rada otežavaju i ometaju na razne »dobronamjerne« načine, kako bi održali tradiciju, a time i nerad, površnost i neodgovornost na poslovima održavanja. Razmišljanja o osnivanju centralne pripreme rada održavanja u sjedištu elektrodistributivne organizacije čije su radne jedinice locirane u raznim mjestima njena područja ne bi garantirala funkcionalnost i takva bi priprema rada brzo propala jer bi kadar zaposlen na pripremi rada održavanja bio daleko od mjesta rada. Udaljen i izdignut u sjedištu elektrodistributivne organizacije, teško bi dolazio do pravih podataka pa bi i priprema rada povjerena tom kadru bila nepouzdane kvalitete a najčešće daleko od stvarnosti. Ona, kao takva, ne bi pomagala izvršiocima elektromonterima, već bi unosila zabunu u njihov rad i opterećivala ih. Takva priprema rada umjesto sniženja troškova i podizanja nivoa kvalitete dala bi suprotne efekte — više štete nego koristi.

Zbog toga priprema rada održavanja mora biti u sjedištu radne jedinice. Osoba zadužena za pripremu rada mora biti stručna, mora dobro poznavati postrojenje i raspolagati kvalitetnom i ažurnom tehničkom dokumentacijom svojih postrojenja.

Značenje kvalitetne i ažurne tehničke dokumentacije bitno je za dobru i kvalitetnu pripremu rada jer ubrzava »prikupljanje osnovnih podataka« a da se ne izlazi na teren, osim u slučaju složenijih radova i kompleksnih objekata.

Priprema rada, dakle, za većinu poslova i objekata može i mora biti temeljena i izvršena na kvalitetnoj dokumentaciji. Jedino takva priprema je funkcionalna, brza i opravdana.

U jednu kompletiranu tehničku dokumentaciju »Priprema rada održavanja« treba unositi sve promjene na postrojenjima do kojih dolazi zbog bilo kojih radova na održavanju, i to neposredno nakon završetka radova. Tako će se onemogućiti gubljenje vremena kod slijedeće intervencije na postrojenju; neće trebati prvo »ažurirati dokumentaciju« pa tek tada pristupiti pripremi rada. Ovu službu treba u tom smislu organizirati.

Centralni dio pripreme rada održavanja lociran u sjedištu elektrodistributivne organizacije treba vršiti neke zajedničke poslove za sve kadrove smještene u radnim jedinicama. Takvi su poslovi, na primjer:

— izrada jedinstvenih tiskanica za poslove pripreme održavanja

— izrada raznih uputa za poboljšanje održavanja

— izrada radnih normi

— korekcija radnih normi

— izrada radnih normi prilikom uvođenja novih tehnologija

— vođenje raznih statističkih podataka o kvarovima i njihova analiza

— izrada planova tekućeg i investicionog održavanja

— određivanje minimuma i maksimuma zaliha materijala i opreme na skladištu za potrebe održavanja

— stalni rad na poboljšanju održavanja postrojenja

— praćenje kvarova i troškova održavanja.

Pogrešno je pripremu rada održavanja i pripremu rada za izgradnju objekata organizirati kao univerzalnu cjelinu da obavlja obje funkcije. To su dvije potpuno različite funkcije s veoma različitim zadacima i ciljevima.

Slijedeći zadatak je organizicaju rada na održavanju postrojenja konstantno usavršavati. Međutim, promjene u toj organizaciji ne smiju se provoditi površno i brzopleto da se ne dobiju suprotni efekti. Pri tome treba imati na umu da je u industrijskoj praksi prisutna, na prvi pogled nelogična tendencija da baš najuspješnije organizacije ulažu najveće napore u daljnje unapređenje organizacije rada i poklanjaju mu posebnu pažnju.

Interesantno je navesti podatke dobivene jednom analizom stanja organiziranosti održavanja u engleskoj industriji, provedenom 1969. godine. Ta je analiza, između ostalog, pokazala:

— da je produktivnost održavalaca moguće podići za 60% boljim planiranjem, pripremom i praćenjem radova

— da je korištenje tehnoloških postupaka za preventivno-plansko održavanje premalo prisutno

— da se premalo prakticira određivanje vremena radova na održavanju; samo 37% poduzeća primjenjuje određivanje vremena na neki od poznatih načina studija vremena i samo 4% koristi određivanje vremena na osnovi unaprijed utvrđenih elemenata vremena

— da se praćenje kvarova i troškova održavanja premalo provodi; oko 50% poduzeća prati zastoje i samo 42% poduzeća poznaje svoje troškove održavanja.

Jedna od velikih dilema u nas je treba li za poslove održavanja unaprijed odrediti vrijeme. Smatramo da je to nužno iz ovih razloga:

— na temelju raspoloživog fonda sati moguće je planirati radove na održavanju postrojenja u dužem vremenskom razdoblju

— otkrivaju se manjkavosti u organizaciji pripreme rada i održavalaca — izvođača radova

— radnik voli da se o njegovu radu vodi računa

— dobivaju se podaci za korekciju postojećih normativa vremena za izvođenje pojedinih radova.

Interesantne su ocjene ljudi koji imaju veliko iskustvo na održavanju postrojenja da je za 70—95% radova održavanja moguće unaprijed odrediti vrijeme.

Da bi priprema rada održavanja ispunila u potpunosti svoj zadatak i bila stvarno korisna, u njoj trebaju biti zaposleni iskusni, stručni i savjesni kadrovi. Ako to nije, priprema rada održavanja ne može ispuniti svoj zadatak.

Za ostvarivanje željenih ciljeva održavanja veoma je važno pravilno sastaviti radne ekipe. One trebaju biti organizirane s dovoljnim, ali nikako prevelikim brojem radnika. Tako u ekipi neće dominirati pomisao »to će uraditi netko drugi« zbog čega radovi gotovo uvijek traju duže negoli je to stvarno potrebno, posljedica čega je nepotrebno povećanje troškova održavanja.

Treba prihvatiti i činjenicu da se radne ekipe ne mogu sastaviti jedamput te da u tom sastavu rade na svim poslovima bez obzira na veličinu i složenost pojedinih zadataka; za svaki novi posao treba sastaviti novu ekipu.

Svaka ekipa mora imati starijih, iskusnijih radnika i onih mlađih, koji na taj način stječu nova iskustva i rutinu te postaju pravi stručnjaci. Jedan od iskusnih montera u ekipi vrši istodobno ulogu rukovodioca radova. To mora biti ozbiljan i odgovoran čovjek koji uz rad u ekipi vrši i kontrolu i preuzimanje izvedenih radova drugih montera, svjestan da dobro izvedeni popravci osjetno pridonose smanjenju broja kvarova i neplanskog ispadanja postrojenja iz pogona.

Velik utrošak vremena na radovima održavanja elektrodistributivnih postrojenja i mreže može se smanjiti posjedovanjem odgovarajućih instrumenata, alata i drugih pomagala. Sredstva za nabavu te opreme ne treba »štedjeti«, nego shvatiti da su zastoji u neisporuci električne energije potrošačima mnogo skuplji od vrijednosti instrumenata i opreme.

Radi smanjenja broja kvarova na postrojenjima valja osigurati pravilno rukovanje opremom što se postiže obukom rukovalaca.

Promjenljivi subjektivni faktor rukovalaca i održavalaca postrojenja može biti uzrokom slabom mjestu, koja se praćenjem, veoma brzo manifestira i analizom uoči.

Česta tema u vezi organiziranosti elektrodistribucije jest ocjena potrebe ili suvišnosti specijalizacije montera. Razumljivo je da radove na održavanju distributivnih postrojenja i mreže ne mogu izvoditi radnici koji te objekte ne poznaju dovoljno. Zato je logično da je potrebna određena specijalizacija, ali neusitnjavajući previše te specijalnosti, jer u većini naših distributivnih organizacija to nije potrebno. Preveliko usitnjavanje urodilo bi povećanjem broja zaposlenih, pa bi se povećali i troškovi održavanja dok bi kvaliteta, vjerojatno, ostala jednaka ili čak i manja. Praksa je, naime, dokazala da »specijalista« radi samo »svoje poslove«, dok za »one druge poslove nije niti plaćen«. Takvi stavovi nužno dovode do stvaranja velikih ekipa gotovo za sve radove, a time i do svih, već nabrojenih negativnih pojava.

Umjesto uskih specijalizacija treba težiti podizanju nivoa stručnosti montera.

Time se povećava opće stručno znanje radnika i naglo širi broj poslova i stručnih radnji koje on može obavljati na zadovoljavajućem nivou. Treba težiti, dakle, stvaranju polivalentnog radnika, što ima i određeno socijalno značenje.

Jedna gruba podjela na specijalnosti kao što su:

— monter nadzemnih mreža
— monter kabelskih mreža
— monter distributivnih transformatorskih stanica

može zadovoljiti potrebama najvećeg broja distributivnih organizacija. U gradovima, zbog jake mreže vanjske rasvjete, trebalo bi imati specijalnu grupu za održavanje vanjske rasvjete, dok bi relejnu zaštitu trebali održavati tehničari. Postojanje specijalista za održavanje energetskih transformatora, mjernih transformatora, dalekovoda 35 kV, mjernih uređaja i sličnih naziva za razne »specijaliste« bez dovoljno posla i potrebe, predstavlja nepotrebno povećanje troškova održavanja; za takve rijetke poslove jednostavnije je i jeftinije angažirati drugu specijaliziranu radnu organizaciju.

Za održavanje seoskih distributivnih postrojenja dovoljna je još jednostavnija, a time i jeftinija podjela poslova. Naime, seoska su postrojenja malena pa su manji i radovi na održavanju. Bilo bi veoma skupo da npr. radna grupa specijalista za transformatorske stanice dođe s vozilom do sela radi čišćenja stanice, da grupa za javnu rasvjetu dođe s vozilom radi izmjene jedne, eventualno više žarulja, a grupa za niskonaponske mreže dođe zbog zatezanja jednog kućnog priključka kojem se tokom vremena provjes nedopustivo povećao. Dakle, u selu bi se istodobno našla tri vozila ili u najboljem slučaju jedno vozilo, ali uvijek s mnoštvom montera. A sve te poslove mogla bi izvršiti jedna grupa. Očito bi takva situacija bila ocijenjena kao neorganiziranost, a troškovi bi bili i do tri puta veći. Ugled distributivne organizacije kod mještana — potrošača time pada, jer uviđaju neorganiziranost, a i svjesni su da kao potrošači to plaćaju kroz cijenu električne energije.

Trebalo bi nastojati da među tehničarima i inženjerima zaposlenim u elektrodistributivnim organizacijama također bude specijalista za važna područja, kao npr. za mjerenje i zaštitu, za nadzemne vodove, kabelske vodove, transformatorske stanice, daljinsku komandu itd., već prema potrebi, ali koji bi se zdušno bavili takvom problematikom i koji bi mogli uspješno na stručnom nivou rješavati sve probleme. Ovakav bi kadar uz ostale koristi (npr. racionalnije projektiranje i izgradnja postrojenja) u znatnoj mjeri pridonio i ostvarenju osnovnih ciljeva održavanja postrojenja: kvalitetnijeg i jeftinijeg održavanja, uz što manje prekide u isporuci električne energije potrošačima.

Specijalizacija tehničkog i inženjerskog kadra u elektrodistribuciji je, konačno, postala nužnost. Dosadašnja praksa da se »svi tehnički kadrovi bave svim problemima podjednako« i da »svi rješavaju sve probleme« nije dala ni zadovoljavajuće a kamoli dobre rezultate. Taj kadar može i treba dati mnogo veći prilog u rješavanju različitih distributivnih problema, pa i unapređenju održavanja postrojenja, ali mu se moraju dati i odgovarajući uvjeti i mogućnosti.

Daljnja mogućnost unapređenja održavanja može se riješiti uvođenjem »inspektora održavanja«. Njihov bi zadatak bio da kontrolira kvalitetu izvršenih radova na održavanju postrojenja i mreža, utrošak materijala i radnog vremena. Posao inspektora održavanja spada u red nezahvalnih poslova. Međutim, taj posao spada u grupu vrlo interesantnih i privlačnih poslova za ljude koji dobro poznaju opremu postrojenja i mreža te proces održavanja. Inspektor održavanja morao bi biti tehnički obrazovana osoba koja svojim znanjem predstavlja autoritet za radnike na održavanju. Uz dobro poznavanje opreme on mora znati i okolnosti koje dovode do njezina oštećenja. On mora dati upute za poduzimanje radnji kako bi se spriječilo daljnje oštećenje. Te kadrove treba regrutirati među iskusnim inženjerima, tehničarima i majstorima, koji, uz kraću obuku, mogu najlakše ovladati tehnologijom inspekcijskih poslova i zadataka. Inspektori održavanja najveći dio svog radnog vremena trebaju provoditi na terenu kontrolirajući izvođenje,

odnosno već izvedene radove na održavanju, što uz veliku odgovornost čini ovaj posao i fizički veoma napornim.

6. ZAKLJUČAK

Održavanje naših elektrodistributivnih postrojenja i mreža uglavnom je loše — neplansko i nekvalitetno, što potvrđuje izgled tih objekata vidnim tragovima dugogodišnje nebrige.

I kod pravilno projektiranih i izgrađenih postrojenja nužno je odmah nakon njihove izgradnje pristupiti organiziranom i serioznom održavanju. Jer inače obično tako ne postupamo, događaju se na postrojenjima i mrežama česti kvarovi što uzrokuje prekide u isporuci električne energije. To kod industrijskih potrošača djeluje na smanjenje opsega proizvodnje, a kod kućanstava razne probleme i nezadovoljstvo.

Procjenjuje se da su troškovi izazvani zastojima u isporuci električne energije potrošačima mnogostruko veći od troškova održavanja postrojenja. Porazna je činjenica da su i uz takvo nekvalitetno održavanje troškovi održavanja enormno visoki. Da se to spriječi i nedopustivo stanje nebrige prekine, nužno je održavanju postrojenja u elektrodistributivnim organizacijama posvetiti dužnu pažnju te u tom smislu provesti i neke promjene u dosadašnjim organizacijama i radnoj disciplini, više koristeći postojeći kadar, iskustva drugih i tekovine nauke, a energično odbaciti »majstorsko ponašanje«.

Često se u krugu distributera čuje da bi »troškove održavanja trebalo smanjiti kroz manju brigu o održavanju«, što bi značilo još više zapustiti i onako već zapuštena postrojenja; to bi dovelo do njihova još bržeg propadanja i potpunog fizičkog uništenja.

Troškove održavanja treba smanjiti, i to mora biti prva briga, ali uvođenjem prikladne organiziranosti i nužnim povećanjem radne discipline. Samo je to garancija povećane produktivnosti rada na održavanju elektrodistributivnih objekata.

LITERATURA:

[1] I. Cvitan i M. Fiala: »Problematika održavanja eletrodistributivnih postrojenja i mreža«. — SEITH — I Savjetovanje: održavanje, kontrola i atestiranje el. instalacija jake i slabe struje u industriji i elektroprivredi kao faktori produktivnosti rada, Opatija 7—9. 11. 1978.

[2] E. Rajec: »Teotehnologija« — »Informator«, Zagreb, 1974.

[3] »OMO« — Održavanje mašina i opreme, (razna godišta i brojevi časopisa)

KEY WORDS:

ELECTRODISTRIBUTION, MAINTENANCE, FAILURES ELECTRICAL ASSEMBLIES, ORGANISATION OF WORK, WORK DSICIPLINE

ORGANISATION OF WORK AND MAINTENANCE IN ELECTRO-DISTRIBUTION SYSTEMS

In the article are presented some facts about now-a-days condition of maintenance and remarks about necessary actions for improving maintenance. This article is result of many years experiance.

ORGANISATION VON ARBEITEN UND DER INSTANDHALTUNG VON STROMVERSORGUNGSANLAGEN

Die Verfasser berichten anhand ihrer langjährigen Erfahrungen bei Arbeiten in Stromversorgungsanlagen über Tatsachen der derzeitigen Zustandes der Instandhaltung solcher Anlagen und Überlegungen für unerlässliche Massnahmen zur Instandhaltung auf einem Mindestniveau und die Möglichkeiten der Durchführung.

ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА И ОБСЛУЖИВАНИЕ УСТАНОВОК РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И СБЫТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Авторы на основании многолетней работы в предприятии по распределению и сбыту электроэнергии, приводят в настоящей статье неоспоримые факты о теперешнем обслуживании установок и соображения о необходимых мероприятиях, которые следует провести в целях поднятия обслуживания на требуемый уровень и осуществления его истинного назначения.

Naslov pisaca:

Ivan Cvitan, dipl. ing.
Marija Fiala, dipl. ing.
»Elektra« Sisak

Uredništvo primilo rukopis:
1. IX 1981.

INA **RAFINERIJA NAFTE RIJEKA N. SOL. O.**

RIJEKA, INDUSTRIJSKA ULICA br. 26

POŠTANSKI PRETINAC 385
TELEFON: RIJEKA 33-911
TELEKS: 24283
TELEGRAMI: INA RAFINERIJA RIJEKA
ŽIRO RAČUN: 33800-607-1375



kako voziš tako trošiš



S motornim uljem INA DELTA TLX vaš motor brže starta, lakše radi, snažniji je i troši manje goriva.

Kako stupnjevi prijenosa brzine utječu na potrošnju?

Svaki stupanj prijenosa brzine ima svoj maksimalni okretni moment i brzinu. Preporuča se, kod svakog stupnja koristiti 2/3 dopuštenog broja okretaja, odnosno brzine, radi postizanja povoljne potrošnje goriva.

Izbjegavati vožnju s preniskim brojem okretaja kao i nagla ubrzavanja pri višim stupnjevima, jer to šteti motoru i povećava potrošnju goriva do 50 posto.

Primjeri:

a) vožnja u I stupnju sa brzinom od 30 km/h »proguta« dvostruko više goriva nego vožnja istom brzinom u II stupnju prijenosa,

b) u II stupnju prijenosa kod određenog broja okretaja dostignut je maksimalni okretni moment pri brzini od 40 km/h, a prelaskom u III stupanj pri istom broju okretaja, postiže se 60 km/h uz istu potrošnju goriva.

Energija 30 (1981) br. 11—12, 509—512

PRILOG BEZBEDNOSTI ODRŽAVANJA NADZEMNIH ELEKTROENERGETSKIH VODOVA

Kiril A. Tropin, Beograd

UDK 621.315.1005
STRUČNI RAD

Opisane su okolnosti pod kojima je više ljudi raznih kvalifikacija, na raznim mjestima i u razno vrijeme napravilo niz prekršaja propisa zaštite na radu razne težine i dana je analiza tih prekršaja koji su prouzrokovali smrt jednog čovjeka.

Ključne riječi: sigurnost pri radu, električna mreža, visoki napon, uzemljenje, održavanje.

1. Uvod

Radi sticanja masovnog iskustva u oblasti zaštite na radu u nekim zemljama, a ponajviše u Sovjetskom Savezu, uobičajeno je objavljivanje u stručnoj štampi svih udesa u proizvodnoj i neproizvodnoj sferi delatnosti. Takvi napisi obično obuhvataju tačan opis okolnosti u kojima se događaj odigrao, postavljeni radni zadatak, kvalifikacije učesnika — izvršioca s obzirom na poznavanje propisa zaštite na radu (kvalifikaciona grupa prema poznavanju »Pravila tehnike bezopasnosti«), tačnu analizu događaja, uključujući opis preduzetih mera za zaštitu na mestu događaja, propuste i greške, kao i meru odgovornosti pojedinaca.

Na ispitima za sticanje kvalifikacija s obzirom na poznavanje propisa za zaštitu na radu i njihovu primenu u praksi (grupa poznavanja »Pravila tehnike bezopasnosti« i stručne kvalifikacije ograničavaju oblast delovanja izvršilaca, uključujući i rukovodioce pojedinih sektora i direktora preduzeća) takvi napisi o događajima koriste se kao materijal za testiranje kandidata, koji prema radnom zadatku i okolnostima na licu mesta predviđaju mere za zaštitu na radu ili pak treba da analiziraju događaj u zadatom obimu.

U nas nije uobičajeno da se udesima, odnosno prekršajima propisa zaštite na radu daje širi publicitet, da se oni detaljnije analiziraju i koriste u širem krugu zaposlenih u cilju sticanja iskustva u oblasti zaštite na radu. Ovo ne bi moglo da se smatra pravilnim s obzirom na obuku kadrova i njihovo uzdizanje.

Statistika nesrećnih slučajeva na radu ni u kakvoj meri ne može da da pravu sliku, jer se klasifikacija događaja vrši uglavnom samo prema težini trauma i nikakva pouka iz toga ne može da se izvuče.

Nesumnjivo je da je posljednjih 10—20 godina mnogo učinjeno na polju zaštite na radu i u pogledu naših propisa i u pogledu kvaliteta i primene zaštitnih sredstava, osetno se smanjio broj nesrećnih slučajeva, ali se više i brže nauči analizirajući greške i udese u celini.

Takvim analizama dolazi se do zaključka da i važeći propisi neki put zahtevaju dopunu.

Ovde su opisane okolnosti u kojima je više ljudi raznih kvalifikacija na raznim mestima i u razno vreme počinilo niz prekršaja propisa zaštite na radu razne težine i data je analiza tih prekršaja koji su u sticaju prouzrokovali smrt jednog čoveka.

Sem toga opisana su iskustva izvođenja radova na remontu nadzemnih elektroenergetskih vodova. Da bi se postigla bezbednost, predviđen je niz dopunskih tehničkih mera koje se preporučuje izvoditi pri remontovanju nadzemnih elektroenergetskih vodova napona iznad 1 000 V.

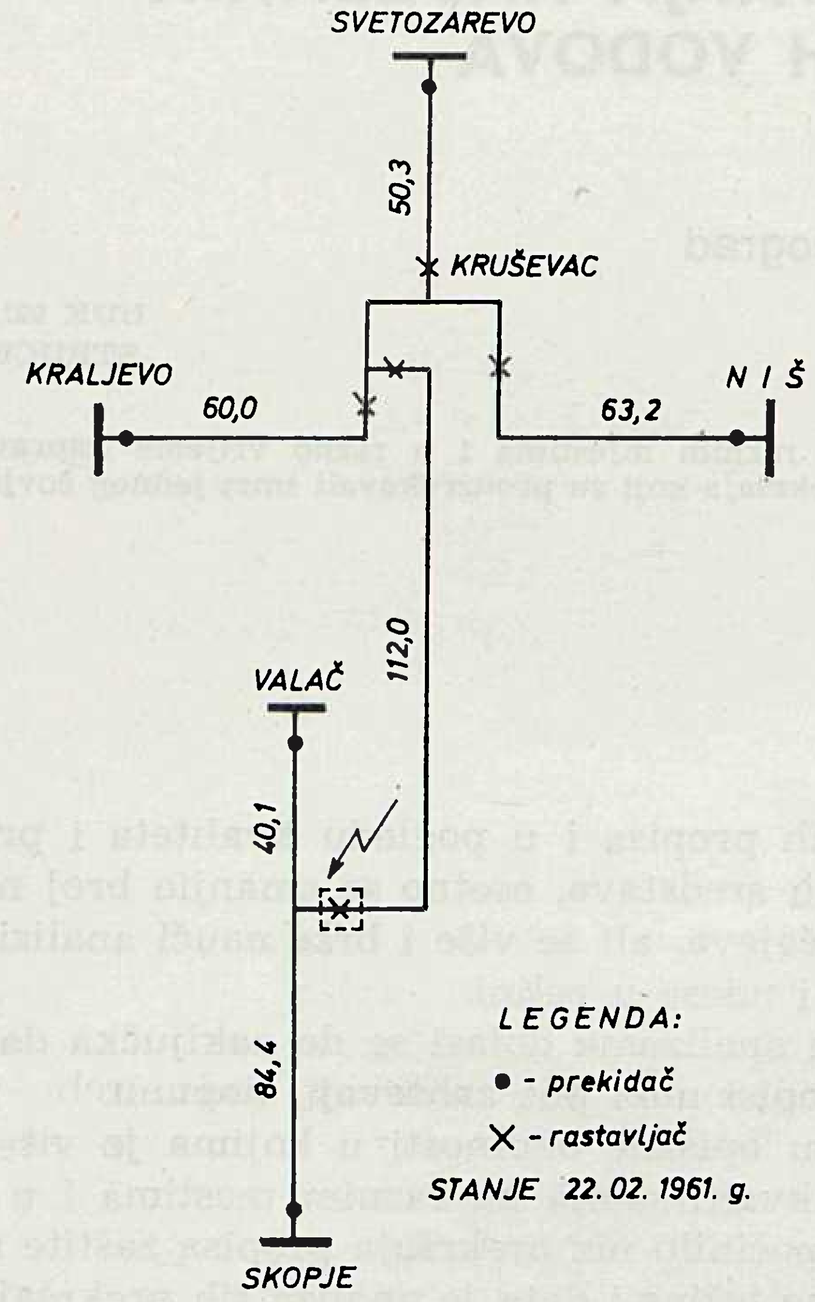
2. Konfiguracija mreže 110 kV Srbije

Početkom 1961. godine veći deo, tačnije oko 64% dužine mreže 110 kV Srbije, još je bio povezan u tzv. kruta čvorišta, ili zvezde koje su predstavljale tačke u kojima se preko rastavljača ili bez njih sastavljalo nekoliko dalekovoda. Kraci zvezda završavali su se u postrojenjima i bili opremljeni prekidačima sa potpunom zaštitom. Međutim, takva konfiguracija mreže otežavala je tačno prilagođavanje, a prema tome i pravilno reagovanje, zaštitu dalekovoda. Greška na jednom od vodova u zvezdi prouzrokovala bi ispade čitavih područja, i obratno, u nekim slučajevima nije se mogla postići potrebna osetljivost na slabije zemljospojeve i njihovo isključenje, a naročito onda kada su se oni nalazili na većim udaljenostima od zaštita, jer se struja greška pojavila na nekoliko izvornih postrojenja, koja su napajala mesto kvara.

Operativne pogonske manipulacije bile su u takvim okolnostima jako otežane i usporene, a njihovo brzo izvršenje praktično onemogućeno.

3. Mesto udesa

Krajnje tačke četvorokrake zvezde Kruševac (slika 1) sa urednom zaštitom na prekidačima vodova bile su TS Kraljevo, TS Niš i TS Skoplje (Butelj).



Sl. 1. *Šema zvezde Kruševac*

Ukupna dužina vodova, vezanih u ovu zvezdu iznosila je 410,4 km. Na kraku Kruševac — Skoplje bila je još jedna trokraka zvezda u blizini buduće termoelektrane »Kosovo«. Ovde je vod Kruševac — Kosovo bio priključen na vod Valač — Skoplje na taj način što je u sredini poslednjeg raspona bilo izvedeno električno razdvajanje (umetnuti viseći izolatori) i sa obe strane spuštene veze na rastavljač oko koga je bila izvedena ograda od bodljikave žice na drvenim stubovima visoka preko 2 m, čija su se vrata zaključavala katancem.

Ovo mesto bilo je poprište događaja koje ćemo dalje opisati.

Rastojanja od ovog rastavljača do prekidača sa zaštitom blia su:

— do TS Svetozarevo 162,3 km;
— do TS Kraljevo 172,0 km;
— do TS Niš 175,6 km;
— do TS Skopje 84,4 km.

4. Prethodni događaji u mreži 110 kV

Dvadeset i drugog februara 1961. godine u 7,35 h nastao je prekid faznog provodnika na stubu broj 45 dalekovoda 110 kV Valač — Skoplje u blizini buduće termoelektrane »Kosovo«. Prekidač na krajevima kraka zvezde, tj. u transformatorskim stanicama 110 kV Kraljevo, Niš i Svetozarevo, nisu ispali zbog udaljenosti mesta kvara i male struje zemljospoja. TS Skopje ostala je bez napona, jer se napajanje vršilo iz Srbije. Pošto visokofrekventna veza sa Nišom nije radila, to odmah nije mogao da se traži nalog za isključenje i mesto prekida je bilo pod naponom sve do 8,15 h, kada je isključena cela zvezda Kruševac, jer su primećene vibracije na generatorima u Vlasinskim hidroelektranama i oni su morali da se zaustave.

U vremenu od 8,15 do 11,00 h u beznaponskom stanju otvoren je rastavljač u blizini buduće termoelektrane »Kosovo« i na taj način odvojen je vod Valač — Skopje i odmah uzemljen u krajnjim transformatorskim stanicama. Preostali deo zvezde Kruševac stavljen je ponovo pod napon.

Tom prilikom nije primećena neispravnost rastavljača i nije vršeno isprobavanje ispravnosti otvaranja i zatvaranja njegovih noževa. Propisi i pogonska uputstva ne zahtevaju takvo isprobavanje.

U 14,15 h otvoren je uredni radni nalog za opravku dalekovoda Valač — Skopje i dalekovodna ekipa, pošto je postavila zaštitna uzemljenja sa obe strane radnog mesta, pristupila je otklanjanju kvara (L. 1).

Sedište odgovornog lica bila je transformatorska stanica Valač, najbliže postrojenje koje je imalo visokofrekventnu vezu sa dispečerskom službom, a udaljeno oko 40 km od radnog mesta ekipe, odnosno od rastavljača u blizini termoelektrane »Kosovo«.

5. Nizanje grešaka

Otklanjanje kvara završeno je kasno. Tek posle 23 h stigao je izvršilac u TS Valač i izvestio odgovorno lice da su radovi završeni, da su ljudi povučeni sa dalekovoda, a zaštitno uzemljenje radnog mesta skinuto i da se vod može staviti pod napon.

Međutim, zaštitno uzemljenje bilo je skinuto samo sa jedne strane radnog mesta! (Prva greška, koja bi se mogla nazvati i propustom.) Izvršilac radova nije smeo izveštavati da se vod može uključiti, dok se nije uverio lično da je skinuto zaštitno uzemljenje.

Odgovorno lice ne poznavajući uklopno stanje, tj. da je preostali deo zvezde Kruševac pod naponom (druga greška, koja je povukla njegovu krivičnu odgovornost), i bez povlačenja radnog naloga, što je morao da učini odmah nakon završetka radova, bez traženja naloga od dispečera za manipulaciju samovoljno je naredio da se izvrši uključenje u praznom hodu rastavljača u blizini termoelektrane »Kosovo« (treća greška — grubi prekršaj pogonskih uputstava, koji je pored disciplinske povukao i krivičnu odgovornost).

U 23,35 h u blizini rastavljača je stigao automobilom radnik delekovodne ekipe koji je dobio nalog da izvrši uključenje rastavljača u praznom ho-

du. Odmah nakoń prispeća on je sa svojim pratiocem ustanovio da su zaboravili ključ od katanca na vratima ograde rastavljača (četvrta greška — rasejanost, žurba). Da bi izbegao gubitak u vremenu na putu do Valača i nazad, on je počeo da kida bodljikavu žicu i jedva se nekako uvukao unutar ograđenog prostora oko rastavljača (peta greška — nasilno prodiranje u pogonsku prostoriju; sem toga ovo je isključivalo ulogu pratioca predviđenu propisima, tj. da pruži eventualnu pomoć).

Nekoliko pokušaja uključenja rastavljača ručnim pogonom sa zemlje ostalo je bez rezultata. Tada se radnik penje na rastavljač i pokušava rukama da zatvori noževe rastavljača (šesta greška — naponi indukovani atmosferskim elektricitetom i u kraćim vodovima mogu biti opasni za život). Ovde se radilo o dužini od oko 286 km. Radnik je uspeo samo delimično da pokrene noževe i tada se razlegla tutnjava i izbio je električni luk, jer je izvršeno uključenje na direktni zemljospoj (preostalo zaštitno uzemljenje radnog mjesta). Kontuzovani električnim lukom unesrećeni se onesvestio i pao na zemlju ispod rastavljača.

Stabilan električni luk između nepotpuno zatvorenih noževa rastavljača digao se visoko i jonizirani mlaz topio je bakarne provodnike iznad unesrećenog, a kaplje rastopljenog metala padale su na živog čoveka.

Ograda od bodljikave žice se usijala, a njeni drveni stubovi počeli su da gore.

Pratilac i vozač bili su nemoćni da priteknu u pomoć.

Relejna zaštita na prekidačima u transformatorskim stanicama Niš, Kraljevo i Svetozarevo nije mogla reagovati zbog relativno male struje greške (nepotpuni zemljospoj na velikom rastojanju — najbliža TS Svetozarevo udaljena je 162,3 km), jer se mesto zemljospoja još napajalo iz tri izvorna postrojenja!

Ručno isključenje prekidača izvršeno je tek u 23,45 h.

U jutarnjim časovima u helikopteru na putu za bolnicu unesrećeni je podlegao ozledama.

6. Nešto o greškama

Ovaj nesrećni slučaj desio se pre dvadeset godina, ali je za uvek ostao u sećanju zbog teških ljudskih muka i po sticaju celog niza grešaka.

Sve ove greške mogu se različito kvalifikovati po težini počev od naivne brzopletosti i zaključno sa grubim kršenjem propisa i pogonskih pravila i kada je bio u pitanju tuđi i sopstveni život, jer se jednostavno zaboravilo da svako odstupanje od propisa znači izlagati opasnosti nečiji život.

Sve ove greške imaju sledeće zajedničke osobine:

— svi počinitelji dobro su poznavali i propise i pogonska uputstva i imali dovoljna praktična iskustva

— nepravilni, nepromišljeni i prenagljeni postupci izazvani su nekom psihozom žurbe

— izostavljanje samo jedne bilo koje greške iz ovog niza skoro sigurno je moglo da spasi ljudski život, što se donekle može tumačiti izvesnim stepenom sigurnosti koji imaju odredbe propisa.

Striktno izvršavanje tehničkih propisa i pogonskih pravila i uputstava je osnov bezbednosti čoveka i nikakvi nepromišljeni postupci, pa čak ni dobronamerne želje da se što pre uspostavi uredni pogon, ne smeju da izazovu ni najmanje odstupanje od toga.

7. Bezbedno izvođenje radova na isključenim vodovima na armiranobetonskim ili čeličnim stubovima

Iskustva izvođenja remonta nadzemnih elektroenergetskih vodova napona iznad 1 000 V pokazuju da su tehničke mere za postizanje bezbednosti radova koji se izvode na isključenim vodovima na čeličnim i armiranobetonskim stubovima, a isto tako i na drvenim stubovima sa uzemljenom opremom, veoma komplikovane i u isto vreme nisu dovoljne.

Tako, na primer, za stavljanje u remont neke deonice nadzemnog elektronskog voda treba prema važećim Tehničkim propisima o merama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja (»Službeni list SFRJ« br. 19/60): isključiti odgovarajuće rastavljače; na svakom isključenom rastavljaču ubaciti noževe za uzemljenje, odnosno uzemljiti isključeni vod; uzemljiti vod na mestu izvođenja radova; obaviti potreban remont, a zatim skinuti sva prenosna uzemljenja, odnosno izvući noževe za uzemljenje i uključiti rastavljače.

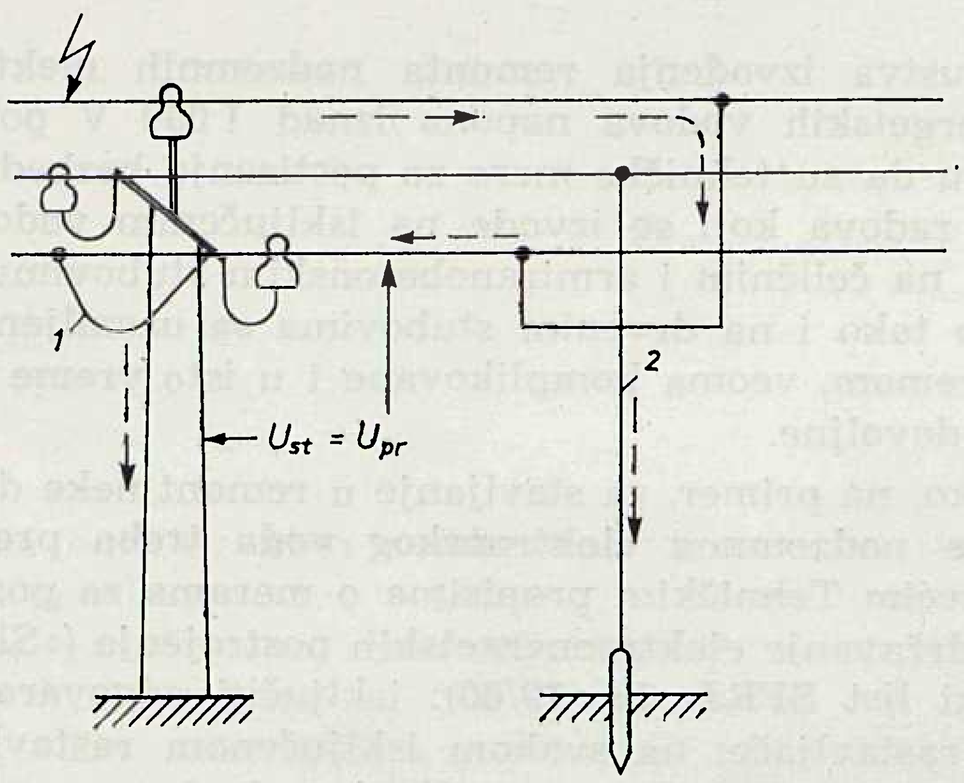
Po pravilu mreže 10 (6) kV veoma su razgranate, pa je potrebno izvršiti uzemljenja najmanje na tri mesta.

Tako mnogobrojne operacije na uzemljenju isključene deonice voda, koje zahtevaju penjanje na stubove radi stavljanja prenosnih uzemljenja, oduzimaju mnogo vremena, jer su rastojanja između mesta postavljanja uzemljenja često prilično velika, dok prilazni putovi nisu uvek kvalitetni. Pri tom izvođenje samih radova na remontu voda vrlo često zahteva manje vremena nego manipulacije oko uzemljenja i razemljenja deonice voda.

Međutim, čak i pri izvedenom uzemljenju isključenih vodova u skladu sa odredbama poglavlja 5.4 »Nadzemni elektroenergetski vodovi« Tehničkih propisa za pogon i održavanje elekroenergetskih postrojenja pogonsko osoblje za vreme remonta isključenih i uzemljenih nadzemnih elektroenergetskih vodova izlaže se opasnosti i dešavaju se električne traume, ako na provodnike isključene deonice voda slučajno dospe napon na mestu njegovog ukrštanja sa vodom u pogonu.

Analizom nekih nesrećnih slučajeva L. 2), koju su izvršili Ukrajinska filijala »Seljenergoprojek-

ta« i Glavseljenergo Ministarstvo elektroenergetike i elektrifikacije USSR, utvrđeno je da je razlika potencijala koja se javlja, pošto nema elektroničkog kontakta između provodnika voda i stubom, predstavlja neposredni uzrok električnih povreda. Prelazna otpornost uzemljivača prenosnog uzemljenja iznosi desetke, a neki put i stotine oma. Ako provodnici uzemljenog voda slučajno dođu pod napon jedne od faza mreže u pogonu, nastaje jednofazni zemljospoj. Pri tom preko prenosnog uzemljenja prolazi struja koja iznosi jedinice, pa i desetke ampera. Potencijal provodnika uzemljenog voda može da dostigne vrednost od nekoliko desetina pa i stotina volti, dok je potencijal stuba, koji nema električnog kontakta sa provodnikom, praktično jednak nuli (sl. 2).



Sl. 2 *Uzemljenje nadzemnog elektroenergetskog voda: 1 — premošćenje za izjednačenje potencijala; 2 — prenosno uzemljenje; — U_s — potencijal stube; U_{pr} — potencijal provodnika*

Sem toga, analiza nesrećnih slučajeva, izvršena na osnovu izveštaja i podataka dobivenih od pogonskog osoblja, takođe je pokazala da se smrtni ishodi dešavaju ne samo od povreda električnom strujom, već i kao posledica preplašenosti i nehotičnih naglih pokreta pri dodiru provodnika, koji je neočekivano dospeo makar i pod mali, ali osetljiv napon.

Da bi se postigla bezbednost izvođenja radova na isključenim vodovima na armiranobetonskim i čeličnim stubovima, predlaže se da se koriste dopunska privremena prenosna jednofazna premošćenja za izravnavanje potencijala između uzemljenih provodnika isključenog voda i stuba za slučaj iznenadnog dolaska napona u uzemljeni vod. Premošćenje se izvodi golim bakarnim savitljivim provodnikom preseka 6 mm^2 sa stezaljkama za priključak na stub i provodnik voda. Pomenuta premošćenja za izravnavanje potencijala moraju da se postavljaju na svakom stubu na kojem se obavljaju radovi, sem čeličnih stubova, čije se telo koristi za priključak prenosnog uzemljenja, kao i armiranobetonskih stubova sa spolja položenim po telu stuba zemljovodom, koji se koristi za priključak prenosnog uzemljenja. Premošćenje se skida kada monter silazi sa stuba.

Redosled postavljanja premošćenja je isti kao i pri postavljanju prenosnog uzemljenja.

LITERATURA:

[1] Mesečni izvještaj pogonskog sektora Zajednice elektroprivrednih preduzeća Srbije za februar 1961. godine.

[2] Iljenko O. S., Berlizov P. V. — Obespečenije bezopasnosti rabot na otključennyh linijah s železobetonnymi i metalličeskimi oporami, »Energetika i elektrifikacija«, Kijev, 1978, br. 2

KEY WORDS:

SECURITY ON WORK, ELECTRICAL NET, HIGH VOLTAGE, GROVNDING, MAINTENANCE

REMARKS ON THE SECURITY DURING MAINTENANCE OF LIGH VOLTAGE ELECTRICAL OVER-GROUND LINES

In the article are described circumstances under which many people of diferent qualifications, on several places and in diferent times made several violations of work protection rules, and analyses of this violations which caused death of one man is presented.

EIN BEITRAG ZUR FRAGE DER SICHERHEIT BEI INSTANDHALTUNGSARBEITEN AN ELEKTRISCHEN FERNLEITUNGEN

Beschrieben werden die Umstände bei Arbeiten mit einer grösseren Arzahl von Arbeitern verschiedener Ausbildungsstufen, die an verschiedenen Stellen in verschiedenen Zeitabschnitten eine Reihe von Arbeitsschutzvorschriften verschiedener Art und Bedeutung unbeabsichtigt verletzt bzw. nicht eingehalten haben. Diese Vorfälle werden untersucht, wobei in einem Fall die Nichteinhaltung tödtliche Folgen hatte.

К ВОПРОСУ БЕЗОПАСНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Описаны обстоятельства, при которых несколько лиц различных квалификаций, в разных местах и в различное время совершило ряд нарушений правил техники безопасности различной тяжести и сделан анализ этих нарушений, ставших в своем стечении причиной смерти одного человека.

Naslov pisca:

Kiril A. Tropin, dipl. inž.

Uredništvo primilo rukopis: 20. III 1981.

Energija 30 (1981) br. 11—12, 513—517

REGULACIJA OKRETAJA TURBINA ZA MALE ELEKTRANE

Mirko Valenčić, Rijeka

UDK 621.311.21:621.224
PRETHODNO SAOPĆENJE

Prikazan je nov način regulacije okretaja turbina prvenstveno namijenjen za regulatore malih hidroturbina, ali koji se može primijeniti i na sve druge, čime se mogu poboljšati neke prvenstveno dinamičke karakteristike regulatora različitih turbina.

Ključne riječi: vodna snaga, hidroturbina, regulacija, mala hidroelektrana

1. UVOD

Sveprisutna energetska kriza pokreće nove procese, a orijentacija na raznolike izvore energije sve je jača u svijetu i u nas.

Najprije ugljen, pa zatim nafta toliko su neopravdano i jedva razumljivo potisnuli hidroenergetske izvore da se gotovo zaboravljene male hidroelektrane danas svrstavaju u tzv. nekonvencionalne izvore uz sunčanu, geotermalnu, energiju bio-plina i druge slične izvore energije.

Naša zemlja s dvije trećine brdovitog i planinskog tla i relativno velikom prosječnom godišnjom količinom oborina ispresijecana je stotinama potoka, rječica i rijeka koje nas svojim površinskim slivom voda ubrajaju u sam vrh zemalja s najbogatijim hidropotencijalom po jedinici površine, a i u apsolutnim veličinama ovaj potencijal je vrlo velik i zaslužuje pun respekt svih, a elektroprivrednika posebno.

Termo-ekonomska iskoristivost vodenih tokova praktično nema više donje ni gornje granice pod uvjetom da se primjenjuju rješenja koje danas omogućuje razvoj tehnike i tehnologije.

Da bi bila i ekonomski prihvatljiva, mala hidroelektrana ne smije biti građena kao model velike, pri čemu treba nalaziti mnoga nova rješenja za brojne tehničke probleme od kojih je regulacija okretaja svakako jedan od ključnih kada elektrana radi u autonomnom samostalnom radu, ali i onda kada je u paralelnom radu s el. mrežom (sinhronizacija — vozni red).

Namjera nam je da ovim radom prezentiramo neka rješenja regulacije broja okretaja prvenstveno malih hidroelektrana, ali odmah napominjemo da neka rješenja smatramo i doprinosom općoj problematici regulacije okretaja turbina.

Opisat ćemo ukratko dva načina regulacije okretaja turbina prema kojima se mogu realizirati znatno jeftiniji regulatori od poznatih klasičnih, a s istim ili još boljim karakteristikama.

Naime, problem regulacije okretaja izražen je kod malih hidroelektrana, prvo zbog nezadovoljavajućih rezultata koji dobivamo kada primjenjujemo klasične regulatore, čije su konstante tromosti odnosno brzine odziva reda veličine same brzine promjene okretaja turbina, a drugo što je cijena takvih regulatora gotovo ista kao i samih turbina.

2. SEKVENCIONALNO PROGRAMIRANI REGULATOR OKRETAJA TURBINE S MEMORIJOM

2.1. Namjena regulatora i princip rada

Sekvencionalno programirani regulator okretaja turbine s memorijom namijenjen je regulaciji broja okretaja hidroturbina manjih snaga, ali je primjenjiv i za velike, kao i za parne turbine.

Poznata rješenja baziraju rad regulatora na korištenju vanjske povratne veze, tj. poremećaju izlazne veličine — odstupanju odnosno promjeni broja okretaja od željenog i (ili) korištenju unutrašnje povratne veze, koristeći veličinu koja je proporcionalna derivacija regulirane veličine, s jednim jedanput podešenim, nepromjenjivim regulacionim karakteristikama.

Koristeći se činjenicom da pri regulaciji broja okretaja možemo turbinu i generator uzeti kao jedan sistem, sekvencionalno programirani regulator okretaja turbine s memorijom bazira rad na uvođenju posebne unutrašnje veze, odnosno uspoređenju snage turbine posredno putem položaja regulacionog organa turbine — lopatice ili igle i električne snage generatora.

Promjenu okretaja uzrokuje upravo neravnoteža tih dviju snaga, pri čemu je brzina promjene veća što je neravnoteža veća, a moment tromosti — inercije rotirajućih masa manji.

Ako snimimo karakteristiku opterećenja turbine uz uvjet nemijenjanja visinske razlike nivoa vode ili pritiska pare, onda svakoj odavanoj snazi odgovara točno određen položaj regulacionih dijelova turbina — lopatica ili igle. Navedimo da je moguće tu karakteristiku snimiti uvodeći veličinu razlike nivoa vode ili pritiska pare, ako su te razlike veće i opravdavaju posloženje.

Ovu funkciju položaja regulacionog organa turbine (α — kut kod kružnog kretanja ili d-pomak kod translatornog kretanja) u zavisnosti od odavne snage turbine odnosno generatora $[\alpha, Ct] = f(P)$ regulator pamti — memorira, odnosno daje za nju odgovarajući električni signal.

Pri većoj promjeni odavane električne snage generatora trenutno se u komparatoru K (vidi strukturni ili blok dijagram, sl. 1) uspoređuju naponi iz pretvarača električne snage generatora ili struje (manje točno) U_p i napon koji odgovara u tom momentu postavljenom položaju regulacionog organa turbine, napon davača U_d, pomoću okretnog ili posmičnog potenciometra. Ovaj postavljeni položaj možemo imati kao električnu veličinu i preko krajnjih kontakata kao diskretnu vrijednost, ili možemo odabrati neki drugi sistem.

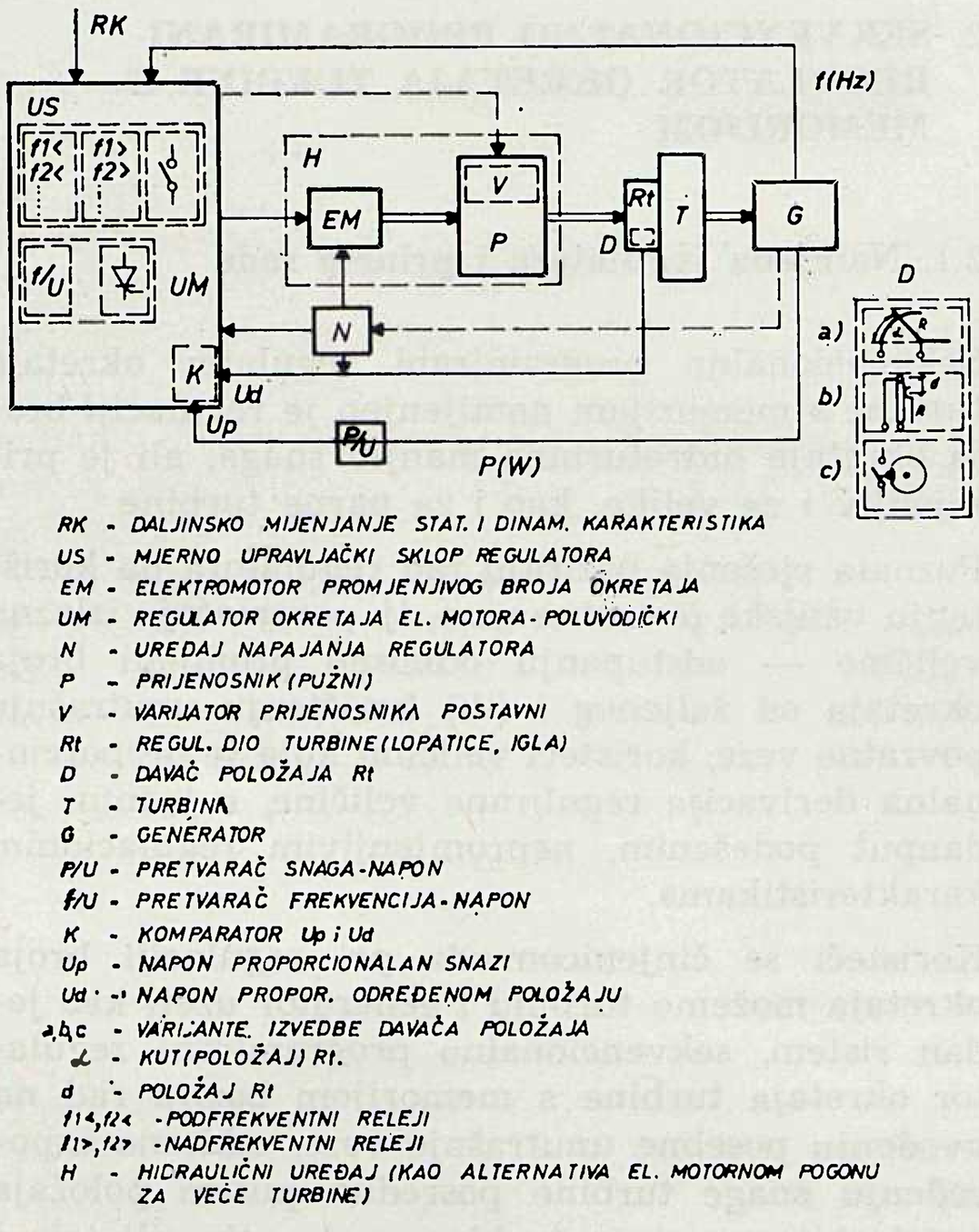
Ako se pojavi razlika napona, izvršni uređaj — aktuator postavlja lopatice ili iglu turbine maksimalnom brzinom, koju određuje predtlak, u odgovarajući položaj, nakon čega regulator prekida brzo reguliranje jer se uspoređivani naponi izjednače.

Brzo reguliranje započne, što je veoma važno, praktično bez mrtvog vremena i čekanja promjene broja okretaja, i to najvećom dopuštenom brzinom. Komparator određuje i smjer okretaja u ovisnosti o tome koji je od uspoređivanih napona veći.

Na taj se način, za razliku od poznatog načina, postižu bolje dinamičke regulacione karakteristike, a, naglasimo, maksimalno kolebanje odnosno promjena broja okretaja može biti znatno manja.

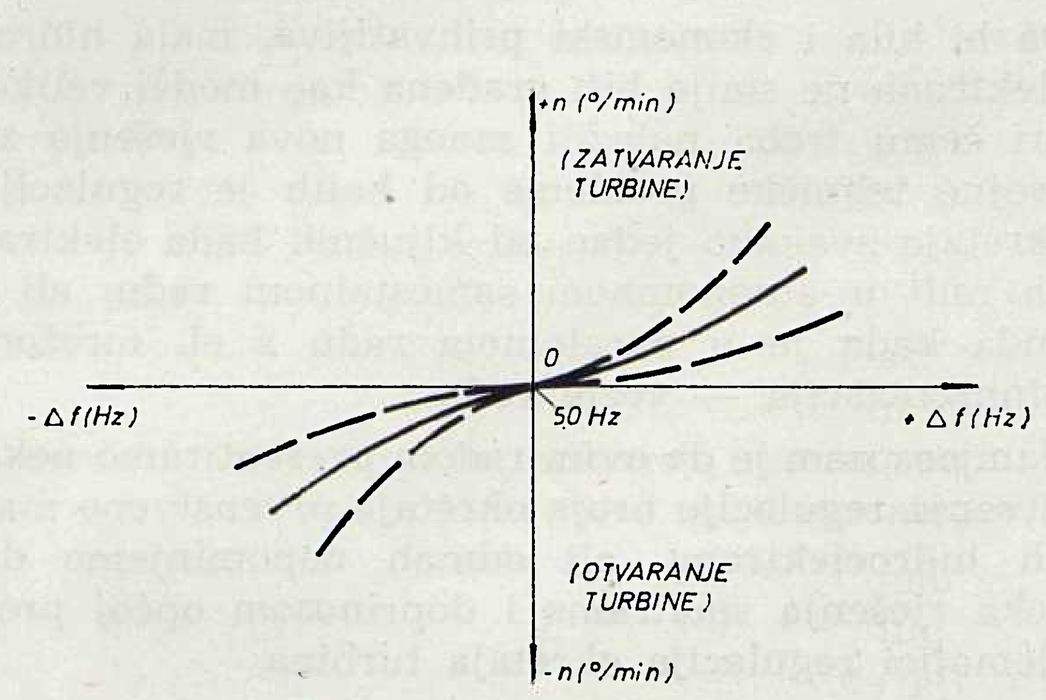
Što se tiče statističkih karakteristika regulatora, prednosti mu proistječu iz načina finog reguliranja broja okretaja s podesivom zonom neosjetljivosti.

Naime, nakon završetka brzog grubljeg reguliranja, odnosno kada lopatice ili igla zauzmu adekvatan položaj odavanoj snazi generatora, još se može javiti, odnosno ostati neizreguliran određeni debalans snaga, još možemo imati broj okretaja različit od traženog. U tom slučaju, ili kod malih poremećaja kontinuiranog sve većeg ili sve manjeg opterećenja generatora, regulaciju preuzimaju drugi dijelovi regulatora; to su pretvarač frekvencija — napon koji preko operacionog pojačala ili sistema regulacije el. motora aktuatora regulatora mogu broj okretaja fino izregulirati. Pri toj regulaciji za veća odstupanja frekvencije (okretaja) izvršni organ regulatora brže pomiče regulacione organe turbine, odnosno imamo mogućnost podešenja koeficijenta statičkog pojačala, i to kontinuiranu ili skokovitu, već prema tome kako se tehnički realizira. Jedna od mogućnosti je poluvodička regulacija okretaja s pretvaračem frekvencija — napon, a druga da uzmemo dva ili tri potfrekventna i natfrekventna releja, koji podešeni stupnjevano sa 1—2 Hz razlike direktno mogu višebrzinski el. motor upravljati i tako podešavati brzinu i smjer postavljanja lopatica ili igle turbine. Na slici 2. prikazana je kontinuirana promjena broja okretaja, a na slici 3. skokovita. Za veće turbine može biti pogodniji elektrohidraulički ili pneumatski izvršni organ regulatora.

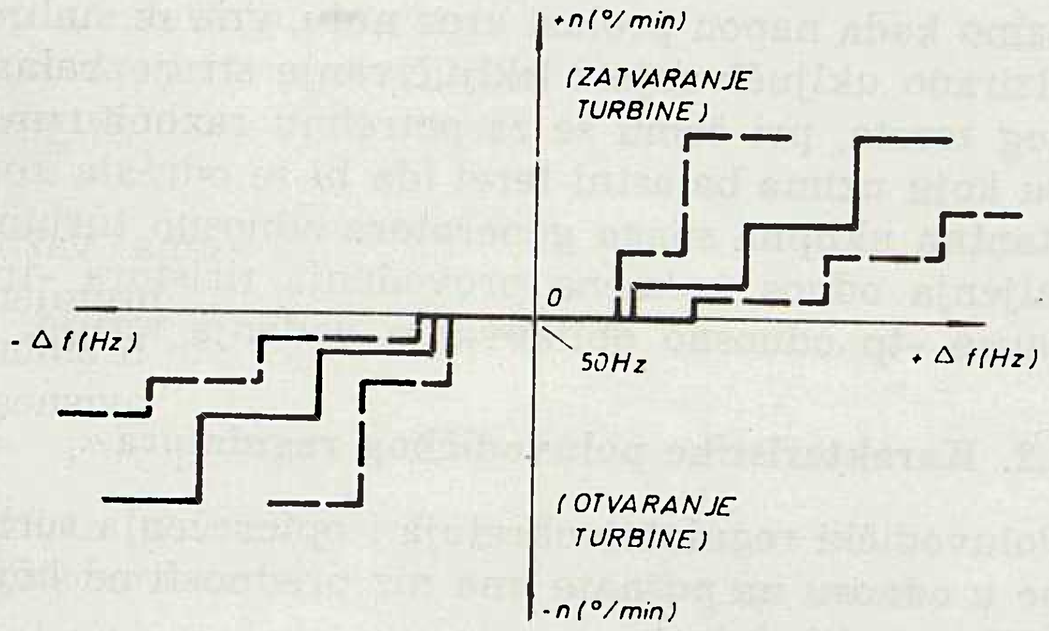


RK - DALJINSKO MIJENJANJE STAT. I DINAM. KARAKTERISTIKA
US - MJERNO UPRAVLJAČKI SKLOP REGULATORA
EM - ELEKTROMOTOR PROMJENJIVOG BROJA OKRETAJA
UM - REGULATOR OKRETAJA EL. MOTORA - POLUVODIČKI
N - UREĐAJ NAPAJANJA REGULATORA
P - PRIJENOSNIK (PUŽNI)
V - VARIJATOR PRIJENOSNIKA POSTAVNI
Rt - REGUL. DIO TURBINE (LOPATICE, IGLA)
D - DAVAČ POLOŽAJA Rt
T - TURBINA
G - GENERATOR
P/U - PRETVARAČ SNAGA-NAPON
f/U - PRETVARAČ FREKVENCIJA-NAPON
K - KOMPARATOR Up i Ud
Up - NAPON PROPORCIONALAN SNAZI
Ud - NAPON PROPOR. ODREĐENOM POLOŽAJU
a,b,c - VARIJANTE IZVEDBE DAVAČA POLOŽAJA
α - KUT (POLOŽAJ) Rt.
d - POLOŽAJ Rt
f1<, f2< - PODFREKVENTNI RELEJI
f1>, f2> - NADFREKVENTNI RELEJI
H - HIDRAULIČNI UREĐAJ (KAO ALTERNATIVA EL. MOTORNOM POGONU ZA VEĆE TURBINE)

Sl. 1. *Sekvencionalno programirani regulator okretaja turbine sa memorijom*



Sl. 2. *Kontinuirana promjena broja okretaja el. motora regulatora u oba smjera (podesive K^{ke})*



Sl. 3. *Skokovita promjena broja okretaja el. motora regulatora u oba smjera (podesive K^{ke})*

Zona neosjetljivosti određena je, ali se može i podešavati karakteristikama spomenutog pretvarača, odnosno podešenjem frekventnih releja.

Posebno ističemo lako mijenjanje (i daljinski) regulacionih karakteristika. To proistječe iz mjernih organa regulatora pretvarača frekvencija — napon (pogodniji za veće turbine) i frekventnih releja te izvršnih dijelova regulatora, pri čemu smo naveli dvije kombinacije poluvodičima upravljani izmjenični ili istosmjerni motor (promjena momenta i brzine okretaja), ili višebrzinski elektromotor. Prijenosnik (pužni) može imati i varijator tako da s njim možemo dodatno prilagođavati brzinu regulacije, ili je čak daljinski mijenjati ako varijator ima postavni el. motor.

2.2. Odlike regulatora

Tretirajući turbinu i generator koji ona pogoni kao cjelinu — jedan sistem, uvodeći posebnu unutrašnju vezu u krug regulacije, kako je opisano posebnim izborom mjernih članova i izvršnog organa, moguće je ovakvim regulatorom postići nekoliko značajnih prednosti od kojih navodimo:

— automatsko održavanje broja okretaja na željenoj vrijednosti s mogućnošću podešenja stupnja nejednolikosti okretaja putem podešenja osjetljivosti pretvarača frekvencija napon i (ili) podešenja frekventnih releja i brzine rada regulatora

— podešenje odavanja snage turbine odnosno generatora s paralelnom radu s električnom mrežom (održanje nivoa vode u akumulaciji) i lako mijenjanje tog podešenja ručno ili daljinski tako što djelujemo na upravljački sklop, odnosno izvršni dio regulatora, koji otvara i zatvara lopatice ili iglu turbine

— realizacija ručne, daljinske i automatske sinhronizacije na el. mrežu ostvaruje se promjenom smjera, a po potrebi i brzinom okretanja elektromotora regulatora

— za dani GD^2 i odabrani dozvoljeni predtlak možemo putem izbora aktuatora regulatora (brzine okretaja elektromotora, ili pomaka poluge kod hidrauličnih), njegove snage te drugih karakteristika i prijenosnika odabrati najmanje vrijeme trajanja regulacije pri naglom punom opterećenju ili rasterećenju generatora

— regulator se odlikuje time što ima vrlo dobre dinamičke kvalitete regulacije, naime, može biti znatno brži od poznatih, jer gotovo nema mrtvog vremena i reagira naročito pri naglim velikim promjenama opterećenja gotovo idealno. Za isti predtlak i GD^2 možemo imati manje maksimalno odstupanje okretaja ili za isti predtlak i maksimalno odstupanje, potreban nam je manji GD^2

— pri tranzijentnim stanjima u el. sistemu, ako elektrana radi paralelno s njim, mogu se gušiti oscilacije, jer regulator podešava snagu turbine prema el. snazi generatora, neovisno o promjeni frekvencije.

Kada bi se ovaj princip primjenjivao i kod velikih turbina hidroelektrana i termoelektrana, to bi nesumnjivo pridonijelo većoj statičkoj i dinamičkoj stabilnosti elektroenergetskog sistema u cjelini.

3. POLUVODIČKI REGULATOR OKRETAJA I OPTEREČENJA TURBINE

3.1. Opis regulatora

Poluvodički regulator okretaja i opterećenja turbine automatski održava broj okretaja na nominalnoj vrijednosti, bez obzira da li se sporo ili naglo mijenja opterećenje generatora kojeg turbina pogoni ili se zbog promjene nivoa vode ili protoka mijenja odavana snaga turbine ili se istovremeno događa oboje.

Promjenjivo opterećenje generatora, bez obzira na intezitet i brzinu, poluvodički regulator gotovo trenutno neutralizira, jer automatski održava nivo ukupne odavane snage generatora na principu konstantne snage pomoću dodatnog balastnog tereta, koji isto može biti korišten potrošač, npr. grijač vode ili sl.

Promjena snage turbine zbog povišenja ili sniženja nivoa vode ili protoka vode, koja je relativno spora, regulator može neutralizirati na dva načina: ili promjenom nivoa odavane ukupne snage generatora koja se prilagođava novoj snazi turbine, ili prilagođavanjem snage turbine, pomicanjem regulacionog organa-igle, lopatice, zasuna, postojećoj ukupno odavanoj snazi generatora. Moguća je izvedba regulatora, kako je na slici 4. i dano blok-shemom, da se prilagođenje snage turbine i generatora vrši istovremeno djelujući na regulacioni organ turbine i na promjenu ukupne odavane snage generatora.

Kriterij, odnosno uvodna informacija o potrebi ove prilagodbe jest promjena frekvencije od dane nominalne.

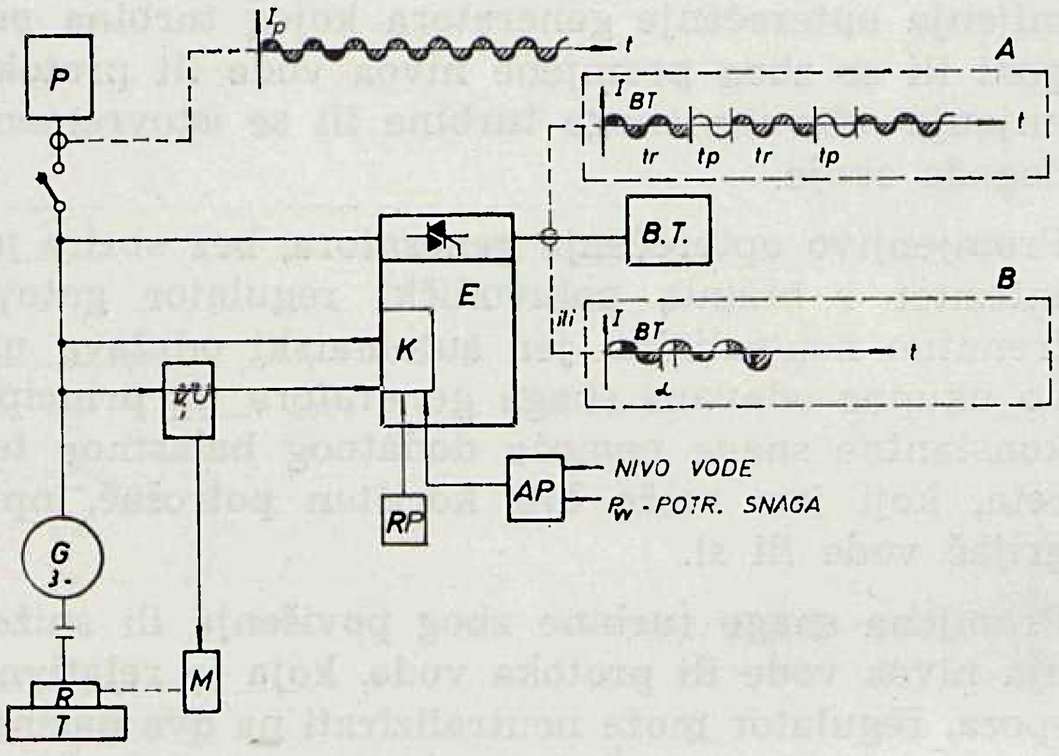
Regulator ima ručni podešivač nivoa ukupne odavane snage generatora — RP, s kojim se može podesiti kod promjenjive raspoložive snage hidro-

turbine (protok, pad) nivo odavane snage generatora tako da se može održati nominalna željena frekvencija.
Automatski podešivač nivoa — AP prima informaciju od nivoa vode i (ili) potrebne snage elektrane (vozni red) i prema tim informacijama podešava nivo odavane snage generatora, a regulator prema informaciji automatski mijenja položaj regulacionog organa turbine.

Sama regulacija snage izvodi se tiristorima u antiparalelnoj sprezi (po fazi) ili trijacima tako što komparator K prima informaciju (za svaku fazu) o aktivnoj struji generatora (indirektno snazi) i onda u zavisnosti od podešenja nivoa odavane snage podešivačima RP ili AP i frekvencije preko pretvarača f/U »pušta« više ili manje struje (snage) u balastni teret — BT. Tako se ujedno postiže i simetričnost opterećenja generatora.

Nagle dinamičke promjene tereta pri uključenju ili isključenju potrošača zbog brzine elektronske regulacije konstantnog opterećenja praktično uopće ne mijenjaju broj okretaja turbine odnosno generatora.

Regulacija konstantne snage izvodi se prekidanjem u točki nultog napona — regulacija vremenskim odnosom, A-varijanta na sl. 4. mada se u principu može izvoditi i drugim načinom, kao npr. mijenjanjem kuta paljenja tiristora ili triaka — varijanta B na sl. 4.



Sl. 4. *Poluvodički regulator okretaja i opterećenja turbine*

Na taj način (A) regulacije postiže se optimalan faktor snage, nema pojave viših harmonika ni radio-smetnji, kao ni izobličenja sinusoidalnog napona, što može biti nepovoljno za potrošače, a generator se može eventualno dodatno zagrijavati.

Samo kada napon prolazi kroz nulu, vrši se sinhronizirano uključivanje i isključivanje struje balastnog tereta, pri čemu se za potrebnu različitu snagu koju uzima balastni teret (da bi se održala konstantna ukupna snaga generatora odnosno turbine) mijenja odnos vremena provođenja tiristora -tr i pauze -tp odnosno oblikovanja vođenja struje.

3.2. **Karakteristike poluvodičkog regulatora**

Poluvodički regulator okretaja i opterećenja turbine u odnosu na poznate ima niz prednosti od kojih ističemo slijedeće:

— Nagle promjene opterećenja generatora kao uostalom i spore ne mijenjaju broj okretaja turbine, jer se regulatorom osigurava regulacija konstantne odavane ukupne snage generatora pomoću balastnog tereta, i to praktično trenutno — elektronski.

— Nastale promjene snaga turbine zbog promjene protoka ili promjene razlike nivoa voda, koje su po svojoj prirodi relativno spore, regulator neutralizira primajući informaciju od pretvarača frekvencija — napon i prilagođava novoj snazi turbine nivo ukupno odavane snage generatora ili se mijenja položaj regulacionog organa turbine ili dovoda vode, koja tako svoju snagu prilagođava odavanoj snazi generatora da se broj okretaja ne bi mijenjao. Moguće je istovremeno obavljanje i obaju načina ako je regulator za to izveden.

— Regulacija konstantne snage vrši se prekidanjem u točki nultog napona, čime praktično ne postoje problemi izobličenja sinusoidalnog oblika napona generatora, nema pojave viših harmonika ni radio-smetnji, ne dolazi do dodatnog zagrijavanja generatora, te regulirana snaga može biti vrlo velika.

— Podešenjem odavane snage ručno ili automatski moguće je prilagođavati odavanu ukupnu snagu generatora raspoloživoj snazi turbine i obratno, tako da se može provoditi slijednu regulaciju prema zahtjevima voznog reda ili održanja nivoa vode u akumulaciji.

— Na kraju moramo napomenuti i neke nepovoljne karakteristike. Naime, poluvodička regulacija, pogotovo ako nije dobro tehničko-tehnološki izvedena, može (posebno ona u varijanti B — vidi sl. 4) prouzrokovati određene teškoće od radio-smetnji do manje ili više nepovoljnih efekata koje relativno nagla promjena struje ($L \cdot di/dt$) može izazvati u generatorima i potrošačima, tako da je za kompleksno rješenje problema poželjna konzultacija s proizvođačima elekt. generatora.

4. **ZAKLJUČAK**

Problem regulacije okretaja turbina za male hidroelektrane vrlo je važan zbog otvaranja mogućnosti njihove vrlo ekonomične gradnje uz zadovo-

ljenje svih traženih i potrebnih tehničkih karakteristika. Navedena rješenja mogu zadovoljiti sve postavljene zahtjeve, a otvaraju mogućnosti poboljšanja određenih karakteristika i regulatora okretaja različitih turbina velikih elektrana.

KEY WORDS:

HYDRO POWER, HYDRO TURBINE, CONTROL, SMALL HYDRO-POWER PLANTS

CONTROL OF TURBINE FOR SMALL POWER PLANTS SPEED

In the article is presented a new way of turbine speed control firstly applied for governers of small hydro-turbine, but that can be also applied for other plants; by this way some dinamical characteristics of turbine governers can be improved.

DREHZAHLREGELUNG DER TURBINEN IN KLEINEN KRAFTWERKEN

Beschrieben wird die Drehzahlregelung von Wasserturbinen, die für den Betrieb von kleinen Wasserkraftwerken vorgesehen sind, die jedoch auch bei sämtlichen Wasserturbinen anwendbar sind. Auf diese Art wäre es möglich, auch in solchen Fällen einige hauptsächliche Kennwerte und Eigenschaften von verschiedenen Turbinenreglern zu verbessern.

РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ТУРБИН ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Изложен новый способ регулирования скорости вращения турбин, предназначенный впервую очередь для регулирования маломощных гидротурбин, однако применимый и для всех прочих мощностей, что может улучшить и некоторые другие, преимущественно динамические, характеристики регуляторов всевозможных турбин.

Naslov pisca:

mr Mirko Valenčić, dipl. inž.
»Rijekaprojekt« — Rijeka

Uredništvo primilo rukopis:
4. IX 1981.

BRODOMATERIJAL

RIJEKA

RO za promet metalnom, tehničkom, kemijskom, građevinskom i investicionom robom

EXPORT — IMPORT
RIJEKA, J. Kraša 12, p. p. 396



OOUR »VELETRGOVINA«

- crna metalurgija
- obojena metalurgija
- alati i alatni strojevi
- sanitarije i instalaciona roba
- armature svih vrsta
- kemikalije, boje i lakovi
- drogerijska i parfumerijska roba
- drvena građa
- građevinski materijal

OOUR MALOPRODAJA«

Posluje sa 27 prodavaonica na užem i širem području grada Rijeke. U svojim prodavaonicama nudi proizvode cjelokupnog programa RO »Brodomaterijal«, i grupe proizvoda sportske, elektrotehničke i druge namjene.

OOUR »VANJSKA TRGOVINA«

- uvoz
- izvoz
- zastupanje inozemnih firmi

Telefon: 32-288 — kućna centrala
Telegram: BRODMA — RIJEKA
Teleprintr: 24-205 i 24-125

Energija 30 (1981) br. 11—12, 519—526

UTJECAJ JAVNE RASVJETE NA SIGURNOST PJEŠAČKOG PROMETA

Edo Širola, Zagreb

UDK 628.9:621.32
PREGLEDNI RAD

Riječ je o suvremenom prometu i utjecaju javne rasvjete na sigurnost pješačkog prometa. Govori se i o nastojanju da se nađu optimalna tehnička rješenja rasvjete i njezinog održavanja u ispravnom stanju.

Ključne riječi: javna rasvjeta, pješački promet, sigurnost

1. — OPĆENITO

Današnja je civilizacija nezamisliva bez suvremenog prometa, tog izrazitog obilježja vremena. On utječe na nas i mi smo dio njega, jedanput kao putnici, drugi put kao vozači ili pješaci, ali svaki put kao aktivni sudionici u njemu. Kao dio sveopće kulture, u kulturu cestovnog prometa, pored niza drugih parametara, spada i naš odnos prema adekvatnoj i kvalitetnoj javnoj rasvjeti prometnica. Taj se odnos manifestira višestruko; u stavu da se shvati međuzavisnost javne rasvjete i sigurnosti prometa te da se ona znanstveno vrednuje, u nastojanju da nađemo optimalna tehnička rješenja takve rasvjete, kao i na upornosti da takvu rasvjetu održavamo u ispravnom stanju.

U svemu tome je ljudski faktor od presudne važnosti. Faktor čovjek je, međutim, uvijek nepoznanica i nepouzdan je elemenat sigurnosti u prometu; nemoguće ga je programirati jer je podležan svakojakim promjenama i utjecajima u fazama njegova djelovanja.

U nas postoji prilično čvrsto mišljenje da je za sve što se dešava u prometu kriv čovjek.

Promatrano sa šireg aspekta činjenica da se doista ništa na cesti i ne događa a da čovjek u najširem smislu sam u tome aktivno ne sudjeluje, mogli bismo ga stvarno i isključivo optužiti za nedaće u prometu.

Uzevši, međutim, u obzir da je u većini slučajeva čovjek samo direktni sudionik prometa (kao vozač ili pješak), a da na ostale utjecajne faktore (nadležnost u gradnji, projektiranju, izvedba i održavanje) nema značajnijeg direktnog utjecaja, stvari stoje nešto drukčije. Prema našim statistikama o uzrocima nesreća u cestovnom prometu, čovjek je kriv u 98% slučajeva (!). Te pokazatelje ne možemo upotrebljavati za bilo kakvu ozbiljniju interpretaciju jer nisu proistekli iz ozbiljnih znanstvenih istraživanja, već su rezultat paušalne ocjene službenih organa s mjesta nesreće (milicije).

U analizi prometnih nesreća u kojima su sudjelovali pješaci u Zagrebu, za 1979. godinu, Sekretarijat za unutrašnje poslove — Zagreb navode se ovi uzroci prometnih nesreća:

a) GREŠKE VOZAČA (brzina, neustupanje prednosti, ulazak u zatvoreno križanje, alkohol, nepažnje i ostalo),
b) GREŠKE PJEŠAKA (nepoštovanje znaka semafora, iznenadno prelaženje, kretanje duž kolnika, alkohol i ostalo).

Međutim, da bi se broj tih nesreća smanjio, u istom se izvještaju preporučuju potrebne mjere:

— sigurnosne pješačke staze
— pravilna i dobro održavana sredstva za reguliranje prometa
— povećana i pravilna kontrola prometa — prometni odgoj i veća informiranost
— zaštitni pješački hodnici
— denivelirani pješački prolazi
— denivelirani pješački prolazi
— novi oblici reguliranja prometa svjetlosnim signalima
— efikasnije korištenje postojećeg prometnog sistema
— pravilno rasvjetljavanje pješačkih prijelaza i ostalih površina
— efikasnije korištenje postojećeg prometnog sistema
— uvođenje pješačkih zona
— itd.

Očit je nesklad između deklariranih uzroka i preporučenih mjera. U skladu sa svjetskim znanstvenim istraživanjima čovjek — korisnik ceste okrivljuje se za približno 65% slučajeva, cesta i vozilo sa po 2,5%, a za 30% slučajeva kriv je međuzavisni utjecaj čovjeka (kao korisnika ceste) i same ceste.

Perceptivni organi vida (i sluha) oduvijek su pomagali čovjeku da se uspješno snalazi i održava u u svojoj okolini. Približno 90% svih čulnih informacija koje dopiru do mozga vidnog su porijekla.

Dobra vidna percepcija preduvjet je uspješne participacije u prometu. Međutim, među svim mogućim nijansiranjima vidne percepcije teško je reći kad je stupanj percepcije toliko nizak da čini značajan rizik za sudjelovanje u prometu.
Pri tome valja imati na umu da uzrocima prometnih nesreća prethodi u pravilu cijeli niz okolnosti i mnogobrojni utjecajni faktori.

Defekti vida značajan su faktor u prometu. Mogućnosti ljudskog oka biološki su i fiziološki limitirane ne samo u fazi mirovanja (statički vod), već i u pokretu (dinamički vid). Noćnja vožnja npr. nosi u sebi mnogostruke faktore rizika, posebno za starije osobe. S godinama slabe perceptivne sposobnosti vida. Optička pomalaga upotrebljava velik broj ljudi nakon četrdesete godine života. Vizualna percepcija oslabljena je i danju, a u uvjetima slabe vidljivosti, noću, rizik se znatno povećava.

Noćna zablještavanja veliko su opterećenje za mladog i zdravog vozača, a izuzetno teško za vozače starije životne dobi.

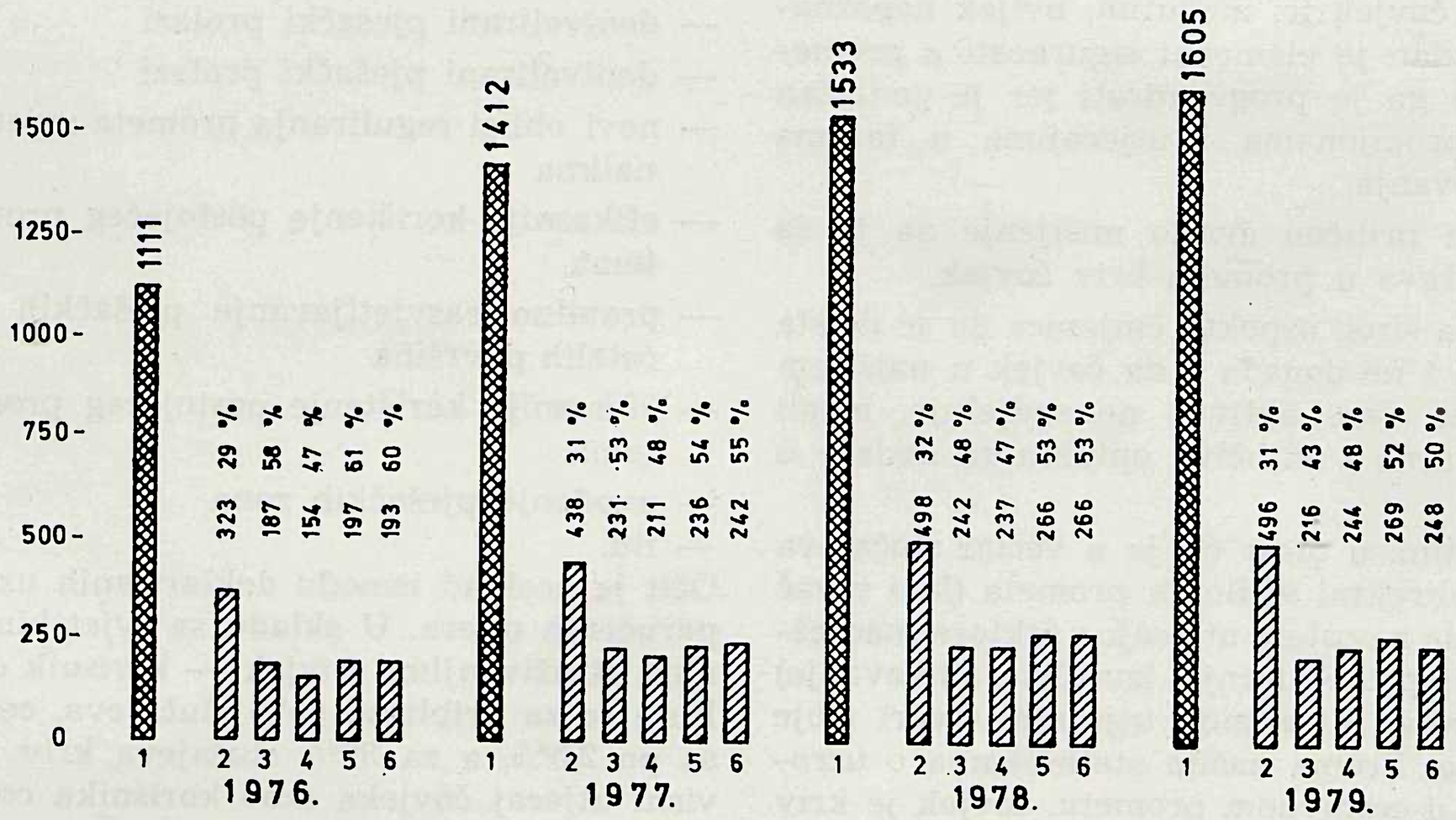
Time se donekle i objašnjava problem traumatizma (smrtnosti i ranjavanja) starijih dobnih skupina, i to izrazito u kategoriji pješaka.

Jedan od osnovnih principa sigurnosti u cestovnom prometu — DA VIDIMO I DA BUDEMO VIDLJIVI U SVAKO DOBA DANA I NOĆI — vrijedi općenito za sve sudionike u prometu, jer smo mi svi dio tog prometa, jedanput kao putnici, a drugi put kao vozači ili pješaci. Vječni »rat« između pješaka i vozača neprekidno traje jer se i jedni i drugi kreću po istoj površini a slabiji (pješak) kao po pravilu izvlači deblji kraj.

Općenito se zna da kvalitetna javna rasvjeta jamči sigurnost i udobnost motornog prometa u kretanju i mirovanju te sigurnost kretanja pješaka, biciklista, motoriste, zaprežnih vozila itd. Ona znatno utječe i na smanjenje kriminaliteta i vandalizma, no taj utjecaj se tek počeo detaljnije znanstveno istraživati.
Ključni problem zaštite pješaka noću je njegovo kretanje uzduž a posebno popreko prometnice s motornim prometom.

2. — STATISTIKA PROMETNIH NESREĆA

Sve statistike pokazuju da su pješači najugroženija skupina sudionika u prometu. Slika 1. prikazuje nekoliko temeljnih numeričkih parametara statistike prometnih nezgoda u SR Hrvatskoj za 4-godišnje razdoblje (od 1976. do 1979).
Od ukupnog broja poginulih u prometnim nezgodama na cestama u SR Hrvatskoj svaki treći je pješak (!), a od ukupno poginulih pješaka svaki drugi (!) je osoba starija od 55 godina.
Više od 50% njih (svaki drugi) gine pri prijelazu u sudaru s vozilom, na neobilježenom dijelu prometnice u prva i zadnja tri mjeseca u godini u vremenu od 18 do 24 sata sa špicom u vremenu od 20 do 22 sata, što sve zajedno upućuje na prilično čvrst zaključak da nam većina pješaka gine noću u uvjetima znatno smanjene vidljivosti. (Slični rezultati vrijede i za Zagreb.)
S druge strane, na temelju prilično opsežnih istraživanja (koji se i nadalje intenzivno provode u svijetu) međunarodna komisija za osvjetljenje je još 1960. godine u svom poznatom izvještaju br. 8 pod nazivom »Javna rasvjeta i prometne nezgode« bila prilično čvrsta u stavu da kvalitetnom javnom rasvjetom općenito smanjujemo za 30% broj prometnih nesreća u kojima ima ozlijeđenih i poginu-



1 – ukupno poginuli; 2 – poginuli pješaci; 3 – poginuli pješaci u I, II, III, X, XI i XII mjesecu; 4 – poginuli pješaci iznad 55 god. starosti; 5 – poginuli pješaci na neobilježenom dijelu puta; 6 – poginuli pješaci u vrenu od 18 do 24 sata.

Sl. 1. Statistički podaci poginulih pješaka na cestama u SR Hrvatskoj za razdoblje od 1976. do 1979.

lih, a što se tiče samih pješaka, taj je postotak još i viši (i do 40%).

3. — VIĐENJE U JAVNOJ RASVJETI

3.1. — Općenito

Neki će predmet za potencijalnog promatrača biti općenito vidljiv ako postoji dovoljna minimalna razlika luminancije pozadine i luminancije predmeta u cjelini ili nekoga njegova dijela.

Nivoi luminancije s kojima obično operiramo u javnoj rasvjeti znatno su niži od onih pri danjem svijetlu i kod tih niskih nivoa organ vida umnogome gubi svoju osjetljivost na razlike u boji, a posebno na sposobnost razaznavanja sitnih detalja. Stoga je viđenje u javnoj rasvjeti pretežno obrisno (siluetno).

Silueta predmeta nastaje pri vrijednostima luminancije pozadine većim od luminancije samog predmeta i takvu siluetu zovemo POZITIVNA SILUETA (slika 2), dok u slučaju da je luminancija



Sl. 2. Dobro rasvijetljen pješački prijelaz. Pješak je vidljiv kao pozitivna silueta.

$$E_v = \frac{L_m \cdot \pi}{\rho} = 105{,}0\,\text{lx}; \qquad E_v = kR \cdot Lm = 11{,}5\,\text{lx};$$

$$C = \frac{L_2 - L_1}{L_1} = 2{,}33)$$

predmeta veća od luminancije pozadine nastaje obrnuta silueta koju zovemo NEGATIVNA SILUETA (slika 3).

U prvi mah moglo bi se očekivati da će svjetiljke (u nekoj instalaciji javne rasvjete) rasvijetliti predmet (npr. pješaka) slično kao što to čine farovi automobila. No luminancija površine kolnika redovito je veća od luminancije objekta, tako da je u javnoj rasvjeti praktički isključeno zastupljena »tamna« (pozitivna) silueta. Dosta je rijetko prisutna i »svijetla« (negativna) silueta, npr. u slučaju da je pješakova odjeća veoma svijetla i da se nalazi na mjestu maksimalne vertikalne rasvijetljenosti (neposredno iza svjetiljke).



Sl. 3. Dobro rasvijetljen pješački prijelaz. Pješak je vidljiv kao negativna silueta. ($L = 1{,}5$ cd/m²; $L_2 = 50$ cd/m²; $\rho = 0{,}15$)

3.2. — Kontrast

Da bi se zamijetio određeni predmet, potreban je minimalni kontrast, koji je utvrđen kao odnos najmanje potrebne razlike luminancija predmeta i pozadine i luminancije same pozadine:

$$Cmin = \frac{\Delta L_{min}}{L_1} = \frac{(L_2 - L_1)_{min}}{L_1} \qquad (1)$$

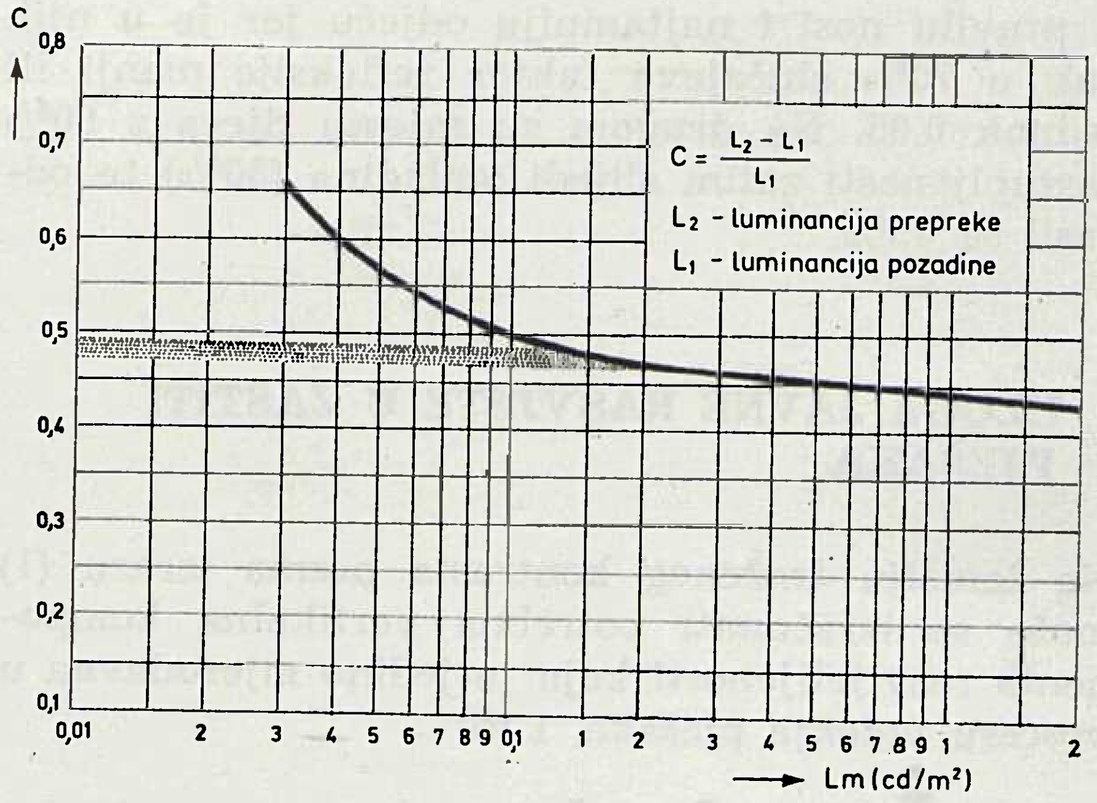
gdje je:

L_2 = luminancija predmeta

L_1 = luminancija pozadine

U javnoj rasvjeti je L_i redovito veća od L_2, pa dolazi do tzv. negativnog kontrasta (pozitivne siluete), a za slučaj da je predmet svjetliji od pozadine imamo tzv. pozitivni kontrast (negativna silueta). Na prijelazu iz pozitivnog kontrasta u negativni i obratno dolazi do pojave tzv. slijepih zona unutar kojih je predmet općenito nevidljiv, odnosno kontrast je jednak nuli.

Na temelju rezultata znanstvenih istraživanja utvrđena je zavisnost srednje luminancije površine kolnika i traženog kontrasta za minimalne uvjete viđenja u javnoj rasvjeti (slika 4).



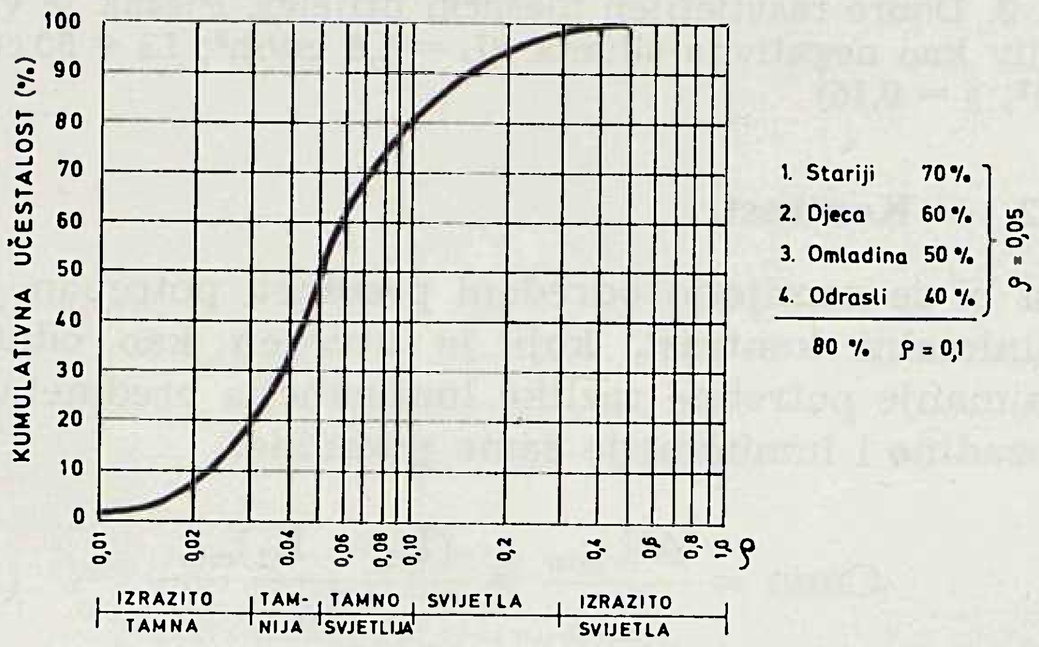
Sl. 4. Zavisnost srednje luminancije površine kolnika i minimalnog kontrasta u javnoj rasvjeti

Za područje vrijednosti srednje luminancije površine kolnika uobičajene u javnoj rasvjeti (od 0,5——2 cd/m²), vrijednost minimalnog kontrasta praktički je konstantna i iznosi $C \geq 0{,}45$ (u praksi se redovito uzima $C \geq 0{,}5$).

To znači da u uvjetima viđenja koji su normalno prisutni u instalacijama javne rasvjete ljudsko oko zapaža razlike lumininicije iznad 50%,

3.3. — Faktor refleksije odjeće pješaka

Prosječna odjeća pješaka sudionika u javnom prometu je tamnija, relativno niskih vrijednosti faktora refleksije. Dijagramom na slici 5. prikaza-



Sl. 5. Krivulja kumulativne prosječne učestalosti faktora refleksije ρ odjeće pješaka

ne su vrijednosti prosječne postotne kumulativne učestalosti faktora refleksije odjeće pješaka u javnom prometu dobivene na temelju praktičnih ispitivanja (Engleska, Nizozemska).

Uočljivo je da 20% pješaka nosi izrazito tamnu odjeću ($\rho = 0{,}30$), 50% pretežno tamniju ($\rho = 0{,}05$) a čak 80% njih nosi odjeću na granici tamno-svijetle (približno sive) odjeće ($\rho = 0{,}1$).

Navedene su vrijednosti približno iste za područje u naseljenim mjestima i izvan njih i odnose se uglavnom na zimsko razdoblje.

Analize rađene po dobnim skupinama pokazuju da najstarija dobna skupina (iznad 55 godina starosti) u pravilu nosi i najtamniju odjeću jer je u njih čak u 70% slučajeva faktor refleksije manji ili jednak 0,05. Na drugom su mjestu djeca s 60% zastupljenosti zatim slijedi omladina (50%) te odrasli sa 45%.

4. ULOGA JAVNE RASVJETE U ZAŠTITI PJEŠAKA

Na temelju traženog kontrasta prema izrazu (1) može se izračunati potrebna vertikalna komponenta rasvijetljenosti koja je jedino mjerodavna u procesu viđenja pješaka, i to:

$$\frac{L_2 - L_1}{L_1} \geq 0{,}5$$

$$\frac{\frac{\rho \cdot E_v}{\pi} - L_1}{L_1} \geqslant 0{,}5 \qquad (2)$$

$$E_v = 4{,}71 \cdot \frac{L_1}{\rho}\,(lx)$$

gdje je:

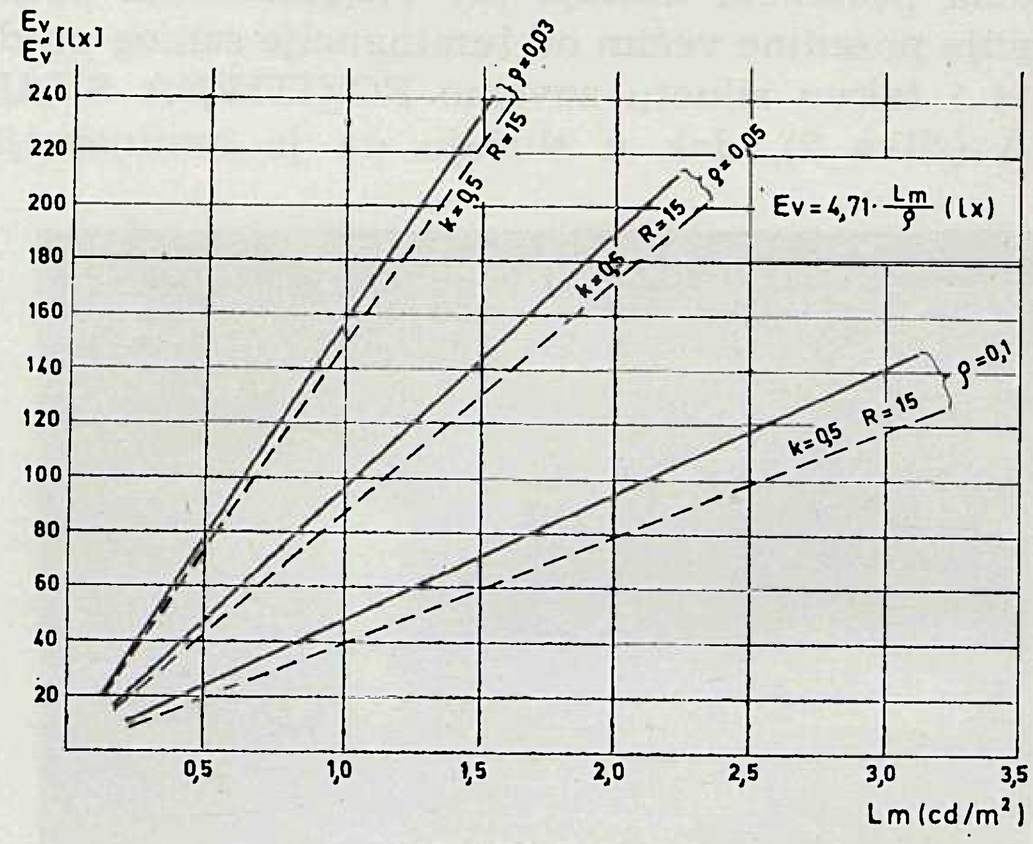
L_2 (cd/m²) — luminancija pješaka

L_1 (cd/m²) —luminancija površine kolnika

ρ — faktor refleksije odjeće pješaka

Ev(lx) — vertikalna komponenta rasvijetljenosti pješaka.

Uzevši za L_1 srednju luminanciju površine kolnika, onda je njena ovisnost o potrebi vertikalne rasvijetljenosti pješaka za 3 različita faktora refleksije odjeće pješaka 0,03; 0,05 i 0,1 dana na slici 6. (puna linija na dijagramu).



Sl. 6. Potrebna vertikalna rasvijetljenost pješaka u ovisnosti o srednjoj luminanciji površine kolnika za tri različita faktora refleksije odjeće pješaka (ρ = 0,03 —0,05—0,1)

Uočljivo je i iz izraza (2) i dijagrama na slici 6. da su potrebne vrijednosti vertikalne rasvijetljenosti za sigurno zapažanje pješaka već kod p = 0,1 relativno visoke, jer npr. za Lm = 1 cd/m² imamo Ev = 47,1 Lx, a za ρ = 0,05 i Lm = 2 cd/m² čak 190 lx (!). Takve visoke vrijednosti vertikalnih rasvijetljenosti nemoguće je postići bez dodatne rasvjete pješaka. No, pješak će ipak biti dobro vidljiv, i to putem pozitivne siluete, jer nam upravo činjenica što je odjeća pješaka u većini tamnija, ovdje i te kako dobro dođe jer je kolnik, u pravilu, i kod najslabije rasvjete sjajniji od pješaka.

No za pješake u svijetloj odjeći to ne vrijedi jer će se oni u pravilu ocrtati kao negativna silueta (svijetli pješak na tamnoj podlozi).

Zaključimo stoga da će se u većini instalacija javne rasvjete (relativno kvalitetnih) vidljivost pješaka ostvariti prvenstveno pozitivnom siluetom (u oko 80% slučajeva), a samo u manjem broju slučajeva

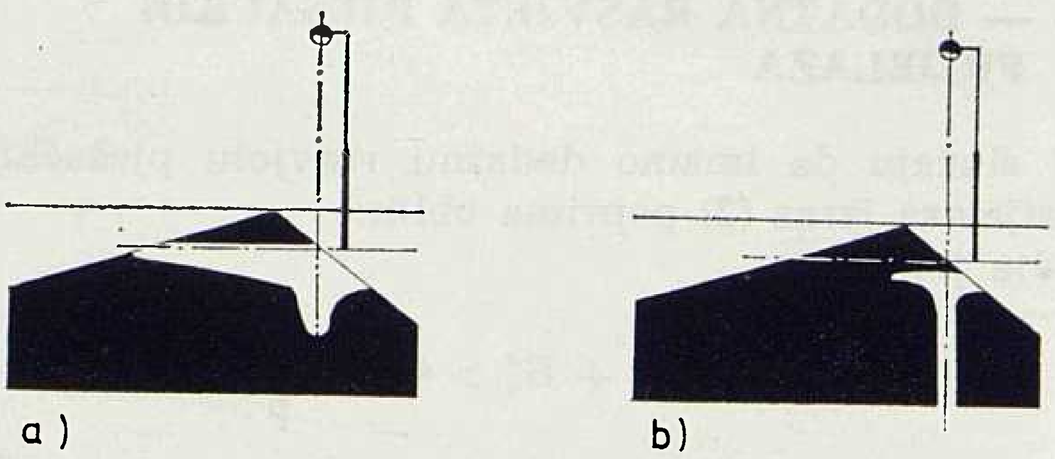
negativnom siluetom. Pozitivna ili negativna silueta prvenstveno ovisi o faktoru refleksije odjeće pješaka a manje od bolje javne rasvjete.

To je međutim, sve dotle u redu dok javna rasvjeta prometnice udovoljava kakvim-takvim osnovnim zahtjevima kriterija kvalitete. Ako toga nema relativna prednost postaje pogubna, jer se pješak u tamnoj odjeći povremeno ili trajno stapa sa slabo rasvijetljenom pozadinom te za vozača automobila postaje praktički nevidljiv (slika 7). To



Sl. 7. Loše rasvijetljen pješački prijelaz. Silueta pješaka vidljiva je jedva dvadesetak centimetara

se izrazito potencira pri blještanju iz suprotnog pravca vožnje ili nezasjenjene svjetiljke instalacije javne rasvjete pri mokroj površini kolnika, jer se svjetlosna mrlja iz njenog normalnog oblika (slika 8.a) transformira i reducira na oblik prikazan na slici 8.b).



Sl. 8. Izgled svjetlosne mrlje za: a) suhu površinu kolnika, b) mokru površinu kolnika

Kako je većina naših instalacija javne rasvjete relativno lošije kvalitete, to zasigurno ukazuje na zaključak da nam starije dobne skupine i djeca (u pravilu tamnije obučeni) stradavaju upravo zbog nedovoljne vidljivosti u večernjim i noćnim satima. Dakle, samo kvalitetna javna rasvjeta prometnica jamči sigurnost pješaka njegovim zapažanjem, u pravilu, kao tamne siluete na rasvijetljenoj površini kolnika. To je, međutim, nemoguće postići u slučajevima kad je faktor refleksije odjeće pješaka takav da je kontrast premalen ili teoretski čak jednak nuli.

Sreća je u tome da pješak nije praktički nikad jednoliko obučen od pete do glave. Uvijek postoje parcijalni dijelovi (npr. kapa, kosa, lice, ruke, kišobran, torba, čarape, cipele itd.) koji remete jednoobraznu siluetu i koji možemo slobodno reći spašavaju često pješakovu glavu.

Što je, međutim, javna rasvjeta lošija, takvi detalji slabo ili nikako ne dolaze do izražaja, pa je i broj nesreća redovito veći a njihove posljedice to teže.

NAPOMENA

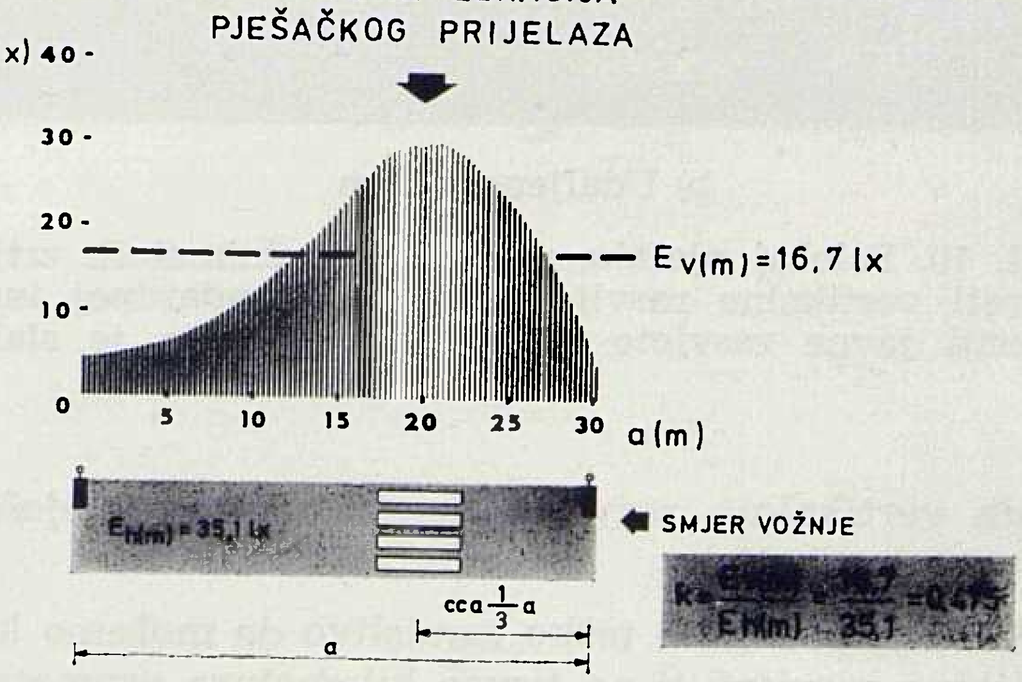
Nekoliko test-mjerenja provedenih u Zagrebu na nekim pješačkim prijelazima pokazuje da se vrijednosti srednje horizontalne rasvijetljenosti kreću od 1,0 do 8,0 lx, što uz pretpostavku da je $K=\left(\frac{E_v}{E_m}\right)=$ = 0,5 dobivamo vertikalne rasvijetljenosti od 0,5 do 4,0 lx, vrijednosti koje nam ne mogu jamčiti ni najmanju vidljivost.

To posebno ukazuje na apsolutnu korisnost obaveze nošenje svjetlije (poželjno i reflektirajuće) odjeće za sve sudionike u prometu koji su posebno ugroženi kao što su djeca (žute marame i reflektirajuće školske torbe) milicionari koji reguliraju promet, radnici koji vrše popravke na cesti, radnici »Čistoće« itd.

Efekti zapažanja putem pozitivne siluete ne dolaze također do izražaja u slučajevima kada je prometnica u zavoju ili prijevoju jer tada u vozačevom vidnom polju nedostaje referentna rasvijetljena pozadina odnosno površina kolnika.

U užim centrima gradova nju mogu u tim slučajevima prilično dobro zamijeniti rasvijetljene površine okolnih fasada na kojima će se ocrtavati tamna silueta pješaka.

Valja navesti još i činjenicu da intenzitet vertikalne rasvijetljenosti pješaka za uobičajene geometrije i elemente koje susrećemo u suvremenim instalacijama javne rasvjete nije jednakomjeran uzduž međurazmaka izvora svjetlosti (slika 9).



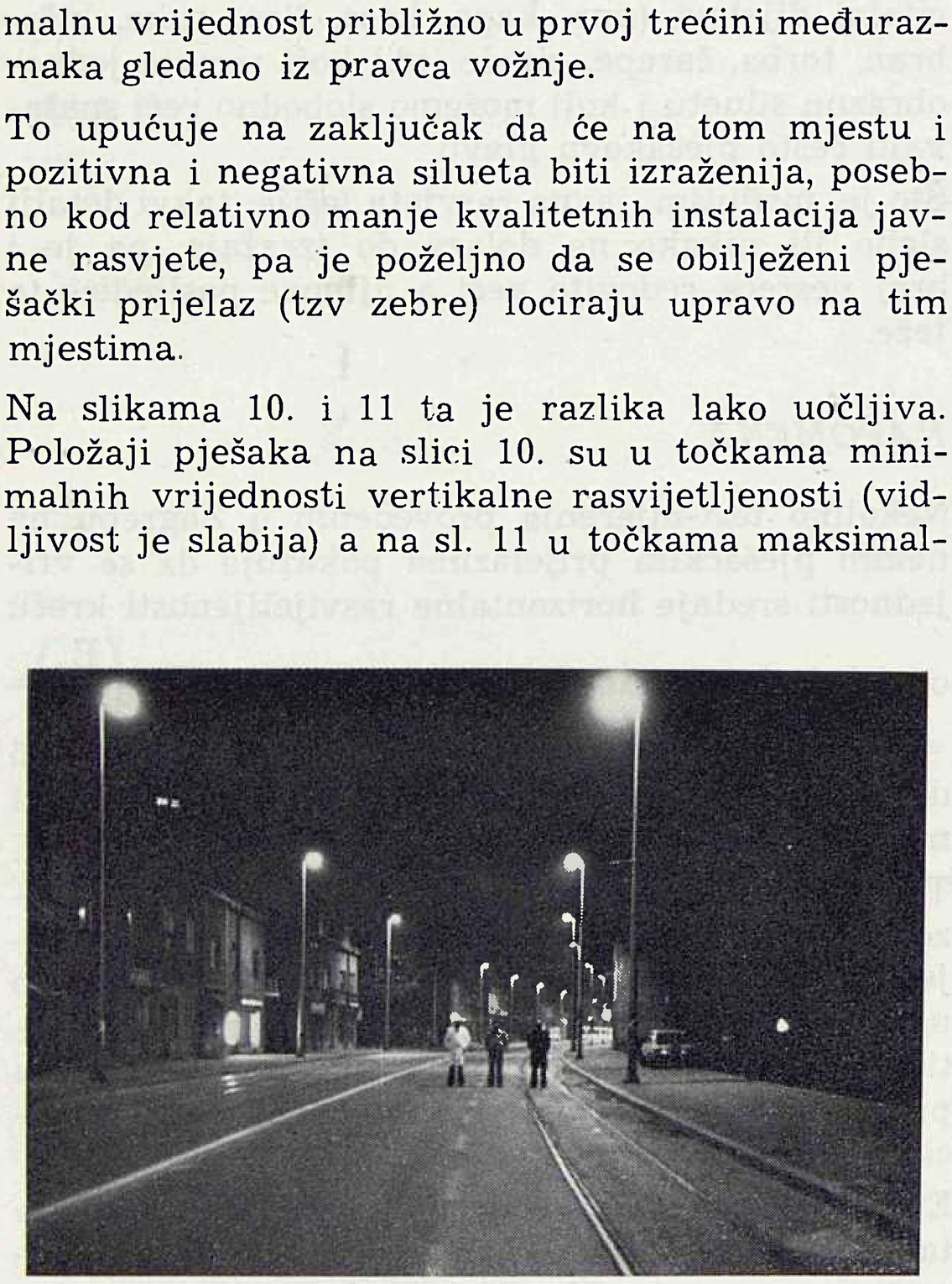
Sl. 9. Raspored intenziteta vertikalne rasvijetljenosti uzduž međurazmaka

Ova je vrijednost najniža u poprečnoj osi ceste okomito ispod svjetiljki, a poprima svoju maksi-

malnu vrijednost približno u prvoj trećini međurazmaka gledano iz pravca vožnje.

To upućuje na zaključak da će na tom mjestu i pozitivna i negativna silueta biti izraženija, posebno kod relativno manje kvalitetnih instalacija javne rasvjete, pa je poželjno da se obilježeni pješački prijelaz (tzv zebre) lociraju upravo na tim mjestima.

Na slikama 10. i 11 ta je razlika lako uočljiva. Položaji pješaka na slici 10. su u točkama minimalnih vrijednosti vertikalne rasvijetljenosti (vidljivost je slabija) a na sl. 11 u točkama maksimal-



a) Udaljenost 30 m

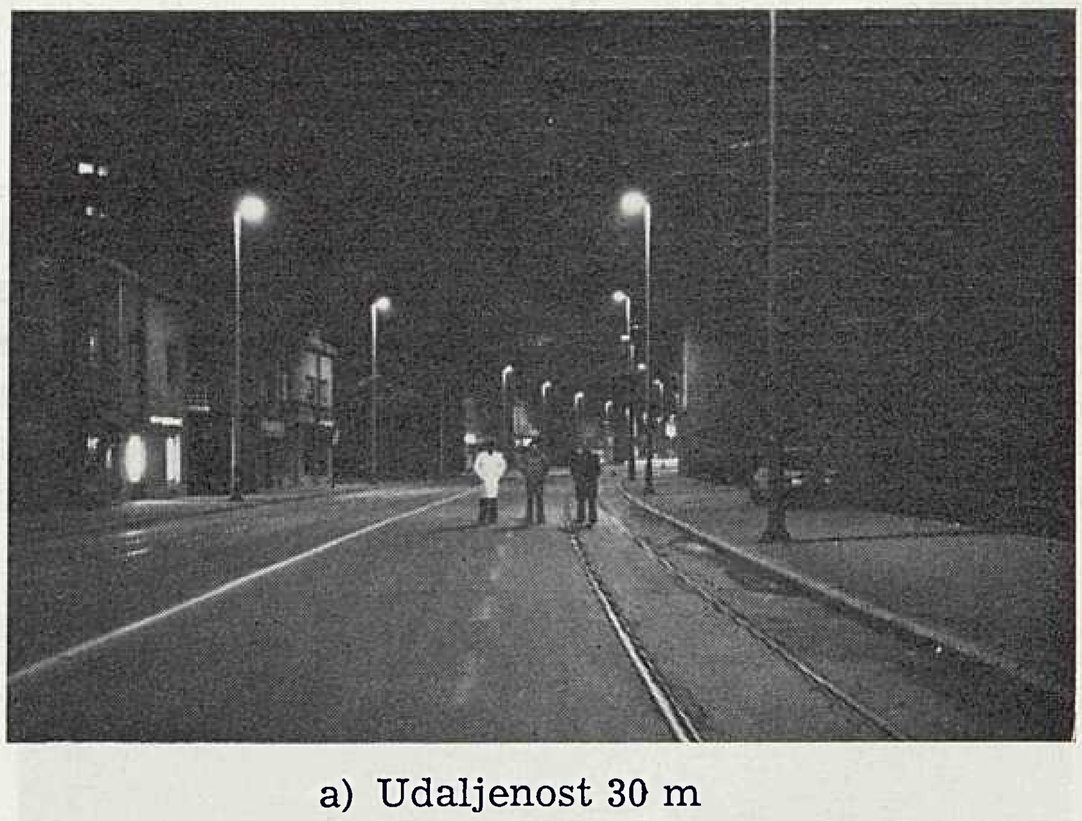


b) Udaljenost 50 m

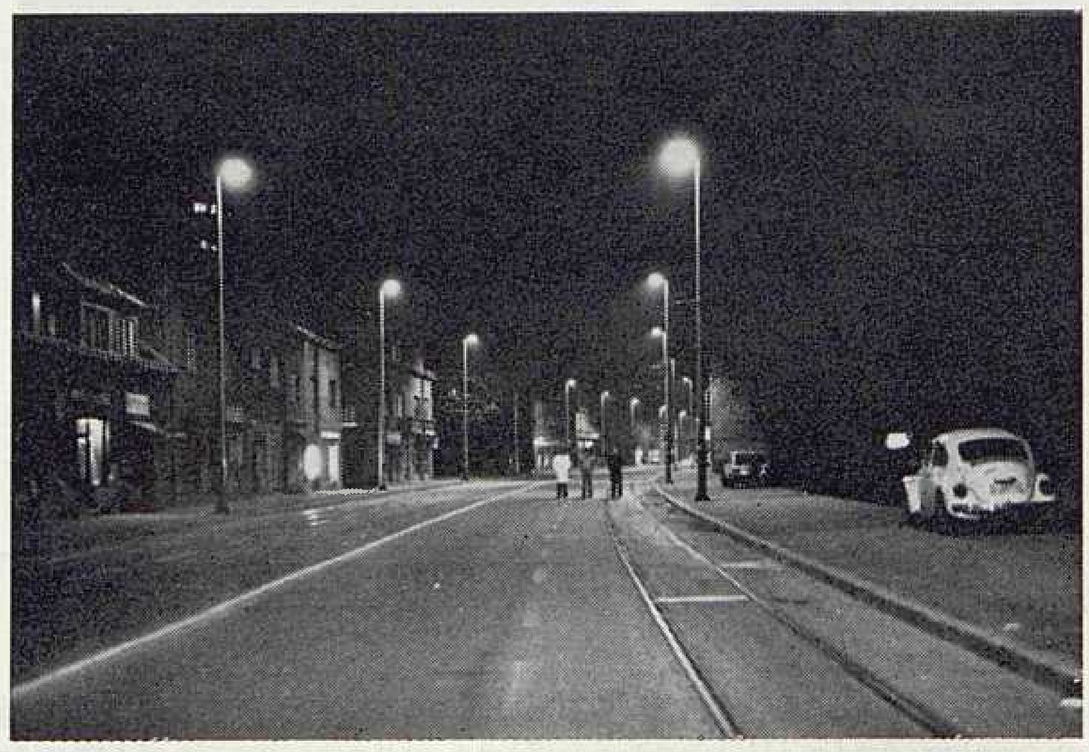
Sl. 10. Položaj pješaka u točkama minimalnih vrijednosti vertikalne rasvijetljenosti u standardnoj instalaciji javne rasvjete — vidljivost silueta je slabija

nih vertikalnih rasvijetljenosti (vidljivost pješaka je znatno bolja).

Kako je praktički teško zamislivo da možemo kvalitetno rasvijetliti na tisuće kilometara prometnica u naseljenim mjestima i izvan njih, uobičajena mjera zaštite pješaka u tim slučajevima je dodatna rasvjeta pješačkih prijelaza (»zebri«), koja je u slučajevima kada nema javne rasvjete ujedno i jedina rasvjeta.



a) Udaljenost 30 m



b) Udaljenost 50 m

Sl. 11. Položaj pješaka u točkama maksimalnih vrijednosti vertikalne rasvijetljenosti u standardnoj instalaciji javne rasvjete — vidljivost pješaka znatno je bolja

5. — DODATNA RASVJETA PJEŠAČKIH PRIJELAZA

U slučaju da imamo dodatnu rasvjetu pješačkih prijelaza izraz (2) poprima oblik:
gdje je:

$$Ev = E'_v + E''_v \geqslant 4{,}71 \cdot \frac{L_1}{\rho}$$

$$E''_v \geqslant 4{,}71 \cdot \frac{L_1}{\rho} - E'_v \qquad (3)$$

E'_v (lx) — komponenta srednje vertikalne rasvijetljenosti pješaka ostvarena utjecajem javne rasvjete
E''_v (lx) — komponenta srednje vertikalne rasvijetljenosti pješaka ostvarene dodatnom rasvjetom
Uvrstimo li veličine:

$$k = \frac{E''_v}{Em} \qquad \text{i} \qquad R = \frac{Em}{Lm}$$

izraz (3) poprima oblik:

$$E''_v \geqslant 4{,}71 \cdot \frac{Lm}{\rho} - k \cdot R \cdot Lm \qquad (4)$$

gdje je:

Em (lx) — srednja horizontalna rasvijetljenost površine kolnika

Lm (cd/m²) — srednja luminancija površine kolnika

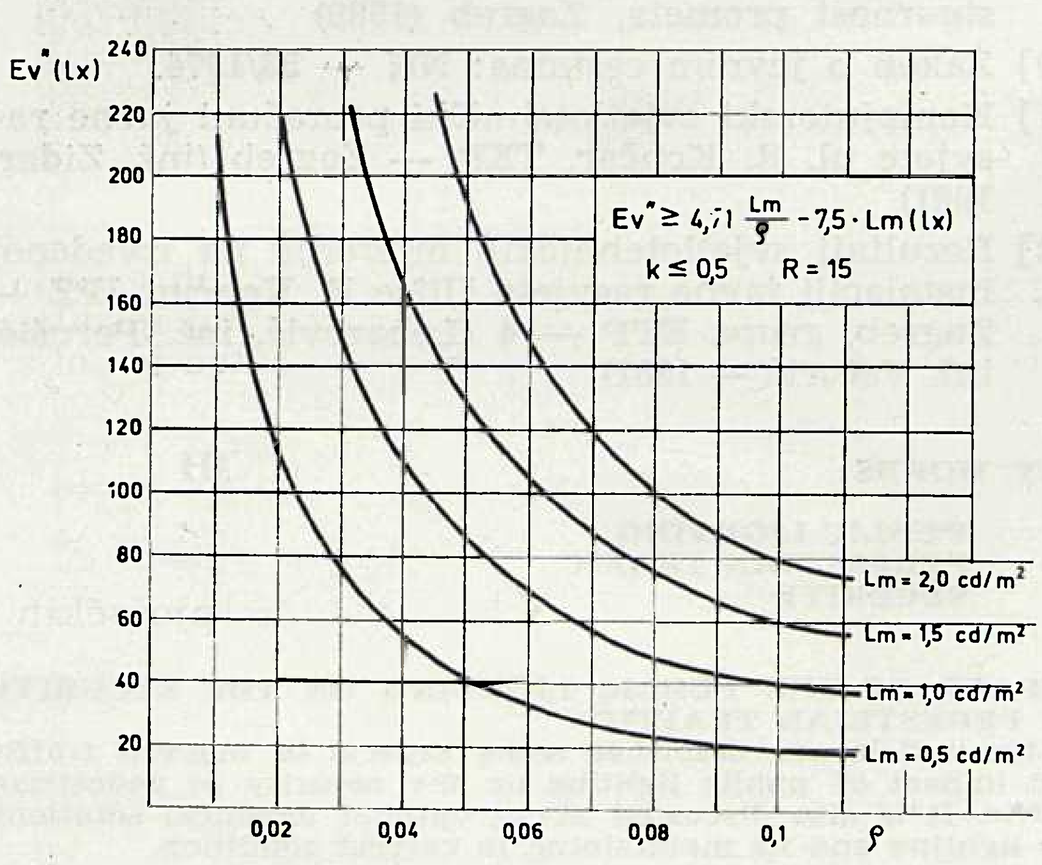
Koristeći prosječne vrijednosti za k i R koje susrećemo u javnoj rasvjeti i to $k \leq 0{,}5$ i $R = 15$ izraz (4) postaje:

$$E''_v \geqslant 4{,}71 \frac{Lm}{\rho} - 7{,}5 \cdot Lm \qquad (5)$$

Prvi član u izrazu (5) predstavlja vertikalnu rasvijetljenost od dodatne rasvjete, a drugi član komponente E_v ostvarenu utjecajem javne rasvjete (vidi crtkane linije na slici 6).

Za uobičajene vrijednosti Lm (od 0,5—2,0 cd/m²) drugi član u izrazu (5) redovito je malen u odnosu na prvi a to znači da se kvalitetna negativna silueta (pozitivan kontrast) može ostvariti jedino ispravnom i kvalitetnom dodatnom rasvjetom pješaka na pješačkom prijelazu.

Dijagram na slici 12. daje ovisnost potrebne dodatne vertikalne rasvijetljenosti pješaka na pješačkom prijelazu o faktoru refleksije odjeće pješaka za razne vrijednosti srednje luminancije površine kolnika Lm prema izrazu (5).



Sl. 12. Potrebna dodatna vertikalna rasvijetljenost pješaka u ovisnosti faktora refleksije odjeće pješaka za razne vrijednosti Lm (05 1,0—1,5—20 cd/m²)

Vidljivo je da presudni utjecaj ima odjeća pješaka jer da bi se npr. ispravno razaznao pješak u tamnoj odjeći ($\rho = 0{,}03$) u negativnoj silueti na cesti, sa $Lm = 1{,}5$ cd/m² potrebno je dodatnom rasvjetom rasvijetliti pješaka vertikalnom komponentom od $E''_v = 230$ lx (!!).

Uz pretpostavku da je izvor svjetlosti na visini od $h = 10$ m i da je njegova maksimalna jakost zračenja pod kutom od $\gamma = 45°$ potrebna jakost izvora svjetlosti za traženih $E''_v = 230$ lx bila bi:

$$J = \frac{E''_v \cdot r^2}{\sin \gamma} = 59450 \text{ cd (!!)}$$

što predstavlja izuzetno velik iznos jakosti zračenja za današnje izvore svjetlosti i tehnologiju svjetiljki, jer npr. maksimalna jakost zračenja za kvalitetnu svjetiljku sa žaruljom VTFE—400 W (živa) iznosi tek približno 10 000 cd, znači 6 puta manje od traženog.

Da bi se postigla maksimalna sigurnost zapažanja većini pješaka na pješačkim prijelazima putem rasvjetljavanja njih samih (negativna silueta), utrošilo bi se veoma mnogo, a za pješake u tamnijoj odjeći i kod vrijednosti srednje luminancije površine kolnika od 1.0—2,0 cd/m² to bi bilo praktički i tehnički neizvedivo.

Poseban su problem ceste s dvosmjernim prometom kod kojih nasuprotna svjetiljka (iz suprotnog smjera vožnje) uvijek donekle umanjuje stvoreni pozitivni kontrast, što uz ostale utjecajne faktore (blještanje, loši atmosferski uvjeti i slično) može biti fatalno.

Poput pješaka na pješačkom prijelazu, u mnogo se gorim uvjetima nalazi prometni milicionar koji na nedovolino rasvijetljenim križanjima regulira gusti gradski promet. Kao što je vidljivo iz prethodne rasprave, u uvjetima slabe i nedovoljne vidljivosti, bez posebne reflektirajuće odjeće i dodatne rasvjete, samo ga slučajnost može spasiti. Navedimo još i činjenicu da naši proizvođači nemaju u svom asortimanu takvu specijalnu svjetiljku namijenjenu rasvjetljavanju pješaka na pješačkim prijelazima.

6. — ZAKLJUČCI

1. Optimalno zapažanje pješaka noću zajamčeno je prvenstveno putem pozitivne siluete (tamni pješak na svijetloj pozadini) koja se postiže na slijedeće načine:

   1.1. Kvalitetnom i ispravnom javnom rasvjetom svih prometnica s automobilskim, tramvajskim i ostalim motornim prometom. Vodeći računa o utvrđenoj činjenici da najviše pješaka gine na neobilježenim pješačkim prijelazima, jedino takvo rješenje jamči optimalnu sigurnost pješaka.

   1.2. Ako prometnica nema javnu rasvjetu ili ima nekvalitetnu ili slabu valja dionice od približno 100 m (oko 3 stupa) ispred i iza obilježenog pješačkog prijelaza kod dvosmjerne ceste kvalitetno rasvijetliti. Kod jednosmjernog prometa dovoljno je rasvijetliti dionicu iza pješačkog prijelaza u pravcu vožnje.

2. Za sve ostale slučajeve u kojima iz bilo kojih razloga nije moguće ostvariti zapažanje pješaka putem pozitivne siluete, nužno je dodatnom rasvjetom pješaka na obilježenom pješačkom prijelazu stvoriti uvjete viđenja pješaka putem negativne siluete (svijetli pješak na tamnoj poza-

dini). To se prvenstveno odnosi na zavoje i prijevoje, te na prijelaze s intenzivnim pješačkim prometom u naseljenim mjestima. Vrijednosti vertikalne komponente dodatne rasvijetljenosti u tom slučaju trebaju biti u skladu s dijagramom na slici 12.
Za takve namjene nužno je da proizvođači svjetiljki konstruiraju prikladnu svjetiljku.

3. Pored kvalitetno izvedenih rješenja prema točkama 1) i 2) radi povećanja stupnja sigurnosti pješaka valjalo bi inzistirati još i na posebnim dodatnim mjerama, jer i najkvalitetnija javna rasvjeta ne daje ni približno takve uvjete viđenja koje jamči dnevna:

   3.1. Redovito održavati javnu (i dodatnu) rasvjet u ispravnom pogonskom stanju.

   3.2. Redovito održavati horizontalnu signalizaciju, posebno obilježene pješačke prijelaze u vidljivom stanju (ličenje).

   3.3. Na svakom obilježenom pješačkom prijelazu na pogodnom mjestu ugraditi posebni prometni znak koji označuje pješački prijelaz. Takav znak treba isključivo imati vlastitu rasvjetu.

   3.4. Razmotriti mogućnost ugradnje posebnih izvora svjetlosti, u npr. prozirnim žutim kuglama na rubovima pješačkih prijelaza.

   3.5. Ugradnja vertikalne pješačke signalizacije semafori).

   3.6. Razdvajanje tokova pješačkog i motornog prometa (pothodnici, nathodnici i slično).

   3.7. Ozakoniti obavezu nošenja svijetle (reflektirajuće) odjeće za posebno ugrožene korisnike prometa (djeca, radnici milicije, radnici na popravcima cesta itd).

4. Osim navedenih tehničkih mjera valjalo bi nastojati postići još i slijedeće:

   4.1. Inzistirati na poštivanju zakona regulative koja propisuje određena rješenja, javne rasvjete i izboriti se da se ona nadopunjuju i poboljšavaju u skladu s napretkom znanosti i tehnologije.

   4.2. Uvesti praksu (i obavezu) da svaki projekt javne rasvjete određene prometnice sadrži i posebno obrađena tehnička rješenja i mjere koje će jamčiti optimalnu zaštitu pješačkog prometa.

   4.3. I nadalje istraživati ovu problematiku i pronalaziti optimalna i svrsishodna tehnička rješenja.

NAPOMENA

Član 136. Zakona o javnim cestama SR Hrvatske (Narodne Novine 53/1974) prilično jasno kaže: »Javna rasvjeta postavlja se na javnim cestama tako da služi i sigurnosti prometa i mora biti u skladu s međunarodnim i jugoslavenskim normama i preporukama.«

LITERATURA

[1] Inž. Edo Širola: »Javna rasvjeta — preporuke«. TK—TEP, Zagreb (1979)

[2] Elektrokovina: »Svjetlotehnički priručnik«, Maribor (1979).

[3] Boer, J. B. De: »Public Lighting«, Macmillan, (1967)

[4] Road Research Laboratory: »Research on Road Safety«, London (1963)

[5] Erik Randrup Hansen, M. Sc., and Jorgen Schandel — Larsen, M. Sc., »Reflection factors for pedestrian's clothing«; Lighting Research and Technology, VOL. 11; No 3 (1979)

[6] I. Jelčić: »Ljudski faktor u prometu«, Čovjek i promet, VOL. 6, br. 3—4 (1980)

[7] I. Jelčić: »Kultura cestovnog prometa i zdravlje naroda«, Čovjek i promet, VOL. 6, br. 2 (1980)

[8] Bilten o sigurnosti u prometu 1977, 1978. i 1979. Republički sekretarijat za unutrašnje poslove SR Hrvatske, Zagreb (1977, 1978. i 1979)

[9] Analiza prometnih nezgoda u kojima su sudjelovali pješaci u 1979. u Zagrebu, Gradski sekretarijat za unutrašnje poslove — stanica milicije za sigurnost prometa, Zagreb (1980)

[10] Zakon o javnim cestama: NN — 53/1974.

[11] Kompjutorski svjetlotehnički proračuni javne rasvjete ul. R. Končar, TEP — Zagreb (inž. Zidar, 1981)

[12] Rezultati svjetlotehničkih mjerenja na izvedenoj instalaciji javne rasvjete Ulice R. Končar, IPZ — Zagreb, grupa ETP — 4 (Lebarović, inž. Perušić, inž. Večerić — 1981)

KEY WORDS:

PUBLIC LIGHTING
PEDESTRIAN TRAFIC
SECURITY

IMPACT OF THE PUBLIC LIGHTING ON THE SECURITY OF PEDESTRIAN TRAFFIC

In the article are described some aspects of modern traffic and impact of public lighting on the security of pedestrian traffic. It is also discussed about optimal technical solutions for lighting and its maintaining in correct condition.

DER EINFLUSS DER ÖFFENTLICHEN BELEUCHTUNG AUF DIE SICHERHEIT DES FUSSGÄNGERVERKEHRS

Beandelt werden die derzeitigen Verkehrsterhältnisse und der Einfluss der öffentlichen Beleuchtung auf den Fussgängerverkehr. Damit in Verbindung werden Möglichkeiten technisch optimaler Lösungen der Beleuchtungseinrichtungen und ihre technische Instandhaltung untersucht.

ВЛИЯНИЕ ОБЩЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕШЕХОДНОГО ДВИЖЕНИЯ

Речь идет о современном движении и влиянии общественного освещения на безопасность пешеходов. Рассказывается также и о стремлении найти технические решения освещения и сохранения его в исправном состоянии.

Naslov pisca:

Edo Širola, dipl. inž.
Industrijsko projektni zavod, Zagreb

Uredništvo primilo rukopis:
3. VI 1981.

Energija 30 (1981) br. 11—12, 527—530

PRILOG PROUČAVANJU UGROŽENOSTI OD MUNJE

Zvonimir K r u l c, Zagreb

UDK 621.316.933:551.594
PRETHODNO SAOPĆENJE

Prema nekim ranijim zapažanjima te novijim proučavanjima geološke građe i geoelektričnih svojstava tla u nas, može se zaključiti da treba u razmatranju ugroženosti od udara munje pridati stanovitu važnost i geološko-geoelektričnoj komponenti. Članak iznosi primjere ovisnosti udara munje o geološkim prilikama.

Ključne riječi: nadzemni vodovi, atmosferska pražnjenja, geologija trase, izokeraunički nivo.

Smatramo ne samo metodološki, već i ekonomski važnim i potrebnim ponovno upozoriti na problematiku ugroženosti od udara munje. Prema V. KOROŠCU (1979, usmena informacija) još su u elektroprivredi velike štete od atmosferskih električnih izbijanja, pa treba na tom području nastaviti s istraživanjima.

Problematika ugroženosti od udara munje (groma) bila je u nas dosad vrlo malo i jednostrano proučavana. Koliko je stručnoj javnosti poznato, samo elektroprivredni instituti u našoj zemlji bilježe već duži niz godina štetne posljedice atmosferskih električnih izbijanja (pražnjenja) u elektroenergetske objekte. Raniji izvještaji i radovi iz ove tematike raščlanjavali su ispade elektroenergetskih objekata po uzrocima i upozoravali na područje veće učestalosti i intenziteta atmosferskih električnih izbijanja (T. PAVLOVIĆ, 1966). Kasniji radovi, međutim, opisuju i analiziraju samo ukupnu registraciju prenapona prijenosne električne mreže Jugoslavije (A. SEKSO, 1975; E. HÖFLER i dr., 1976). Radi daljeg unapređenja zaštite od munje treba pohvaliti inicijativu Slovenskog društva za geoelektricitet i gromobrane da na području Slovenije podržava i širi mrežu brojača munja, tako da se barem u jednom dijelu naše zemlje vrše kontinuirana opažanja udara munje (kroz dulje vremensko razdoblje). Pohvalna je također akcija elektroprivrednih organizacija Dalmacije, gdje se također već nekoliko godina registriraju munje pomoću brojača (Dž. MUFTIĆ, 1980, usmena informacija).

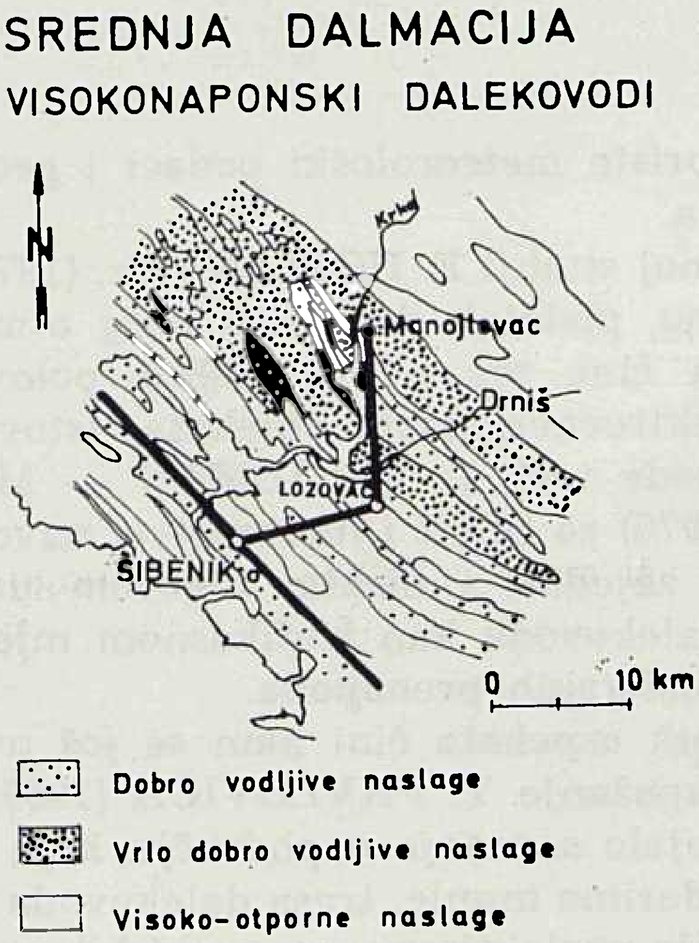
Na savjetovanju elektroenergetičara Jugoslavije 1977. godine upozoreno je u zaključcima na potrebu nastavka registriranja atmosferskih električnih pražnjenja — mjerenjem broja pražnjenja odnosno broja grmljavinskih dana, mjerenjem amplitude struje i napona, mjerenjem strmine struje pražnjenja. Na savjetovanju elektrodistributera 1978. god. naglašava se pak u zaključcima na nužnost da se prilikom projektiranja i izgradnje nadzemnih vodova koriste meteorološki podaci i geološki parametri tla.

U navedenoj studiji E. HÖFLER i dr. (1976) navodi se, konačno, podatak da efekti zbog atmosferskih prenapona čine još uvijek dobru polovicu svih ispada elektroenergetskih objekata. Istovjetne podatke navode i M. L. FELJDMAN — M. B. KEGELES (1976) za SSSR i inozemstvo, navodeći zaštitno uže zajedno s niskim otporom uzemljenja stupova dalekovoda kao i efikasnom mjeru zaštite od atmosferskih prenapona.

S navedenih aspekata čini nam se još uvijek aktualnim zapažanje T. PAVLOVIĆA (1966): »Da je prije postojalo saznanje o području koje je toliko izloženo udarima munje, trasa dalekovoda je mogla biti drukčije projektirana, pa ne bi bilo neugodnih posljedica.« U tom radu je T. PAVLOVIĆ dao vrlo zanimljiv i informativan prikaz zapažanja o učestalosti i intenzitetu atmosferskih električnih izbijanja na području SR Hrvatske, kao i rezultate registriranja struja munja pomoću magnetskih štapića postavljenih na nadzemne vodove električnih mreža. »Iz dosadašnjeg iskustva je poznato da se pojedina područja SRH među sobom bitno razlikuju, kako po učestalosti tako i po intenzitetu pražnjenja. Specijalno na krškom terenu, gdje postoje brdoviti tereni koji često imaju i različitu vodljivost zemljišta, gromovi kao po nekom pravilu redovito pogađaju neke dalekovode. Karakterističan smo primjer imali na 35 kV DV Bileća — Dubrovnik, gdje je praktički i kod najmanjeg nevremena dolazilo do udara munje u vod i ispadanje voda iz pogona. — Po intenzitetu atmosferskih izbijanja odskaču od drugih ova područja: oko Šibenika prema Manojlovcu i Zadru; oko Stona; područje Rijeke. Ova se područja poklapaju sa područjima, u kojima smo imali i najveći broj kvarova na katodnim odvodnicima« (T. PAVLOVIĆ, 1966).

Za navedena područja povećane učestalosti atmosferskih električnih izbijanja može se dati ovo osnovno geološko-geoelektrično tumačenje poveća-

ne ugroženosti od udara munje. Na svim tim područjima karakteristična je izmjena visokootpornih geoloških vodiča (naslaga) karbonatnog sastava: vapnenci, dolomiti, breče — s niskootpornim odnosno dobro do vrlo dobro vidljivim naslagama geološkim vodičima) tzv. klastičnog razvoja: lapori, gline, pijesci, pješčenjaci. Karakteristična je, dakle, izrazita nehomogenost geološke građe i prema tome i geoelektričnih svojstava tla. To je naročito izraženo u pravcima jugozapad — sjeveroistok, tj. okomito na tzv. dinarsko pružanje naslaga (slojeva) = sjeverozapad — jugoistok u tim područjima, koja pripadaju našem kršu (vidi sl. 1. za područje Šibenik — Lozovac — Manojlovac). Sva ta područja, s druge strane, prema »Godišnjoj izokerauničkoj karti SFRJ« karakteriziraju visoki izokeraunički nivoi — preko 40.



Sl. 1.

Mislimo da povećana učestalost udara munje u stupove i nadzemne vodove elektroenergetske mreže u nekim dijelovima našeg krškog područja nameće zadatak istraživanja uzroka te pojave sa stajališta geološke građe i geoelektričnih svojstava tla u odgovarajućim predjelima.

Smatramo da bi trebalo geološko-geoelektričnim studijama i istraživanjima ugroženosti od udara munje pokloniti odgovarajuću pažnju i dati im određeno mjesto u studijama i istraživanjima u projektiranju trasa novih dalekovoda. Vjerujemo da bi bilo ne samo interesantno, već i korisno postojeće podatke o štetama od atmosferskih električnih izbijanja u dalekovode i druge elektroenergetske objekte interpretirati radi lokalizacije i širih i užih zona kao i područjâ češćih udara munje. Ta bi područja i zone trebalo zatim geološki i geoelektrički detaljnije istražiti. Sigurni smo da bi takva istraživanja pokazala mnoge zakonitosti i uzročne veze između ugroženosti od udara munje i geološke građe te geoelektričkih svojstava tla. Rezultati takvih istraživanja bili bi veoma dobar putokaz za studije i ostale radove na projektiranju trasa novih dalekovoda i drugih elektroenergetskih objekata. Mjesta poznatih i utvrđenih diskontinuiteta u geološko-geoelektričnoj građi tla trebalo bi svakako izbjegavati u trasiranju novih dalekovoda i planiranju drugih elektroenergetskih objekata. U blizini takvih područja ili zona i u njima sâma trebalo bi pak pojačati mjere zaštite od udara munje. U utvrđenim diskontinuitetima dobre vodljivosti mogu se, međutim, postići dobra uzemljivanja stupova dalekovoda i čak promišljeno odvoditi glavna izbijanja atmosferskog elektriciteta.

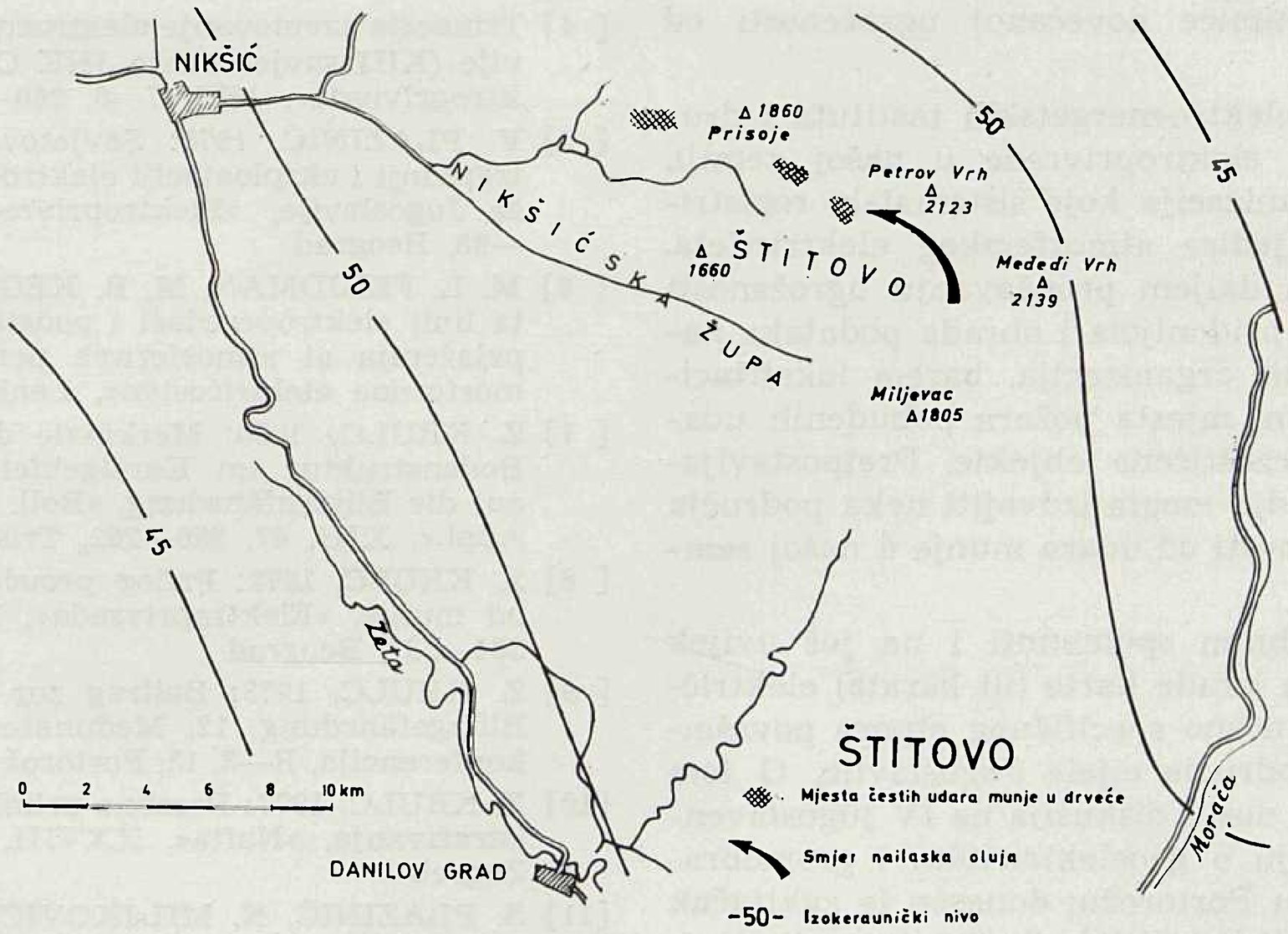
Autor je na geološko-geoelektričnu problematiku proučavanja ugroženosti od udara munje već dao nekoliko osvrta i prikazao rezultate nekih preliminiranih istraživanja i opažanja (Z. KRULC, 1970, 1972, 1973, 1979). Brojna istraživanja različitih autora u drugim zemljama također jasno upućuju na ovisnost učestalosti udara munje o geološko-geoelektričnoj građi tla; među tim istraživačima posebno treba istaknuti V. FRITSCHA iz Austrije (vidi: Z. Krulc, 1972).

Sigurno je da se heterogenosti geološke građe i time uvjetovane velike, često »skokovite« razlike u električnoj vodljivosti tla ne mogu u nekim područjima Jugoslavije sasvim izbjeći. Odgovarajućim geološkim i geoelektričnim studijama i terenskim istraživanjima područjâ, gdje treba projektirati trase novih dalekovoda ili lokacije drugih objekata, mogu se međutim, izabrati optimalne trase odnosno lokacije kako bi se izbjegli česti udari munja.

Osnovnu, grubu orijentaciju u pogledu geološke građe naše zemlje može dati »Geološka karta SFR Jugoslavije« mjerila 1:500 000 (Savezni geološki zavod, Beograd, 1970). Bolji osnovni podaci mogu se pak dobiti na listovima »Osnovne geološke karte SFR Jugoslavije« mjerila 1:100 000 (na uvidu u Geološkim zavodima i institutima u glavnim gradovima naših republika).

Kao dalju orijentaciju i prilog proučavanju ugroženosti od udara munje — prema novijim meteorološkim opažanjima i nalazima — možemo smatrati »Kartu raspodjele broja atmosferskih električnih pražnjenja prema zemlji na 1 km²« (teritorii SFRJ), što su dali S. PLAZINIĆ i N. MILJKOVIĆ (1975). Prema podacima mjerenja i proračuna zone s većim brojem pražnjenja nalaze se u područjima s većim brojem dana s grmljavinama. Tako imamo zone s najvećim dijapazonom atmosferskih električnih pražnjenja prema zemlji na 1 km² od 10 do 12 u područjima zapadne Slovenije, Hercegovine i u prostranim planinskim oblastima Crne Gore (S. PLAZINIĆ — N. MILJKOVIĆ, 1975).

Za jednu od tih zona u dijelu planinskih područja Crne Gore dajemo ovdje neka zapažanja, iz kojih se može zaključiti da ponegdje u problematici ugroženosti od udara munje uz meteorološke uvjete vrlo veliku ulogu ima i topografska komponenta. Prilikom višegodišnjih geoloških istraživanja ležišta boksita u području Štitova (istočno od Nikšića u Crnoj Gori) registrirana su mjesta čestih udara munje u drveće (sl. 2). Štitovo je izrazito



Sl. 2.

planinsko vapnenjačko područje sa znatnim oborinama. Oluje s kišom i munjama »zakreću« po svoj prilici vrhovi visina preko 2 100 m iz pravca jug — sjever u pravcu istok — zapad. Istraživanja geološke građe i geoelektričnih svojstava tla na mjestima čestih udara munja u drveće nisu izvršena; nešto zapadnije i južnije od navedenih mjesta ima izdanaka boksita i boksitičnih glina, što pripada području nikšićkih boksitnih ležišta. Područje Štitova nalazi se unutar linije izokerauničkog nivoa 50 (prema spomenutoj izokerauničkoj karti SFRJ); područje tog nivoa zatvara se sjeveroistočno od Nikšića, a otvoreno je prema jugu i jugoistoku. Spomenuta mjesta čestih udara munje nalaze se dakle na jugozapadnim padinama planinskog povora Prisoje — Petrov vrh (sl. 2). To zapažanje može se, možda, usporediti s proučavanjima S. SZPORA (1977) u poljskim planinskim područjima, gdje je utvrđena veza učestalosti udara munje s topografskim karakteristikama. Istraživanja pokazuju interesantnu osobitost da na tom području munje najčešće udaraju u brdske padine okrenute prema zapadu. To isto može se utvrditi za doline otvorene prema zapadu (S. SZPOR, 1977).

Za netom opisano područje, prikazano na sl. 2, treba spomenuti još i ovo. Zapadna linija izokerauničkog nivoa 50 prolazi zapadno od Titograda i zapadno od Ulcinja (nastavak područja na sl. 2 prema jugu). Ovakvi uvjeti odnosno meteorološka komponenta ugroženosti od munje objašnjavaju možda učestalost udara munja u pistu zračne luke kod Titograda. Geološko-geoelektrični uvjeti tog fenomena su pak, čini se, još neispitani i nerazjašnjeni. Možda pak treba veliku učestalost udara munje u pistu zračne luke kod Titograda tražiti još u nekoj komponenti ugroženosti od udara munje.

U nekim našim područjima ima možda i predjela s jačim olujama ili olujama dužeg trajanja. Takvi meteorološki uvjeti sigurno povećavaju ugroženost od udara munje. Možda bi o tome mogli dati neke podatke naši meteorološki zavodi s odgovarajućom obradom podataka dugogodišnjih opažanja vremenskih prilika u nas.

Za povećanu ugroženost od udara munja postoje orijentacioni podaci za dva područja u Hrvatskoj. Prvo je područje kod Pakraca: zapaženi su česti udari munje u predjelu tvornice stakla (ing. B. Blagojević, 1975; usmena informacija). Nisu izvršena nikakva ispitivanja tog fenomena. Prema podacima regionalnih geoloških i geofizičkih istraživanja poznato je to da se na Psunju, ispod kojeg leži područje Pakraca, nalaze paleozojske naslage, među njima ima i škriljaca koji mogu imati bolju električnu vodljivost. S druge strane, ima pak i nalazišta kvarcnog pijeska (sirovine za tvornicu stakla) koji se odlikuje vrlo visokim specifičnim otporom. Možda takva heterogenost tog područja pobuđuje povećanu ugroženost od udara munje.

U području Sračinec — Petrijanec kod Varaždina zapaženi su česti udari munja u dalekovode električne mreže (predstavnici »Elektre«, 1977; usmena informacija). Treba odmah naglasiti da se ovdje radi o ravničarskom području s vrlo debelim aluvijalnim naslagama (pretežno pijesci i šljunci dravskog sedimentacijskog bazena). Iz geoelektričnih istraživanja šireg područja (za potrebe istraga za HE Varaždin) poznato je da se na pijescima i šljuncima nalazi vrlo tanki humusni pokrivač — zato su i utvrđeni visoki otpori uzemljenja pojedinih stupova dalekovodâ. Eventualne manje naslage glina ili glinovitih pijesaka na površini mogu znatno pobuditi izrazitu heterogenost površine i

pridonijeti mjestimice povećanoj ugroženosti od udara munje.

Na žalost, osim elektroenergetskih instituta i drugih organizacija elektroprivrede u našoj zemlji, u nas nema organizacija koje sistematski registriraju štetne posljedice atmosferskog elektriciteta. Vjerujemo da bi daljem proučavanju ugroženosti od udara munja pridonijela i obrada podataka naših osiguravajućih organizacija, barem lokalizacijom i izdvajanjem mjesta požara pobuđenih udarom munje u nezaštićene objekte. Pretpostavljamo da bi se i ovdje mogla izdvojiti neka područja povećane ugroženosti od udara munje u našoj zemlji.

Smatramo potrebnim spomenuti i na još uvijek aktualni problem izrade karte (ili karata) električne vodljivosti odnosno specifičnog otpora površinskog sloja za područje cijele Jugoslavije. O tom problemu bilo je dosta diskusija na IV jugoslavenskom savjetovanju o geoelektricitetu i gromobranima 1979. god. u Portorožu; donesen je zaključak da treba pristupiti izradi takvih karata, a da prethodno treba konzultirati potrebe (kriterije) PTT-a, Elektroprivrede, ŽTP-a, Radiodifuzne mreže SFRJ, JNA).

Na kraju treba spomenuti i to da se na nivou Internacionalne (Evropske) gromobranske konferencije opet pridaje sve veća pažnja utvrđivanju dobrih uvjeta uzemljenja zbog pojačane potrebe solidne zaštite od ne samo direktnih, već i indirektnih udara munje u elektronske uređaje — ne samo u kompjutorske sisteme, već i u telekomunikacijske sisteme te različite sisteme za regulaciju, mjerenja i upravljanja. Na posljednjoj konferenciji te asocijacije (1981. u Szegedu) bilo je dosta referata i diskusija posvećeno problematici osjetljive zaštite elektronskih uređaja.

Autorova je želja da iznesena izlaganja i zapažanja o osnovnim komponentama ugroženosti od udara munje ponovno upozore na potrebu proučavanja svih uvjeta tog fenomena. Posebnu pažnju trebalo bi, smatramo, posvetiti proučavanjima geološko-geoelektrične i meteorološko-topografske problematike tog fenomena. Time bi se bez dvojbe dobio novi poticaj povećanju i poboljšanju zaštite od udara munje u našoj zemlji.

LITERATURA:

[1] T. PAVLOVIĆ, 1966: Registriranje struja munja na području SRH. Materijali I Jugoslavenskega posvetovanja o geolektriki in strelovodih, Maribor. (Objavljeno iste godine u časopisu »Energija«, Zagreb.)

[2] A. SEKSO, 1975: Registracija prenapona vanjskog i unutrašnjeg porijekla u prijenosnoj mreži SFRJ, XII stručno savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Budva; referat 33.1.

[3] E. HÖFLER i dr., 1976: Modelne raziskave strelovodnih zaščitnih naprav I. del, Elektroinštitut »Milan Vidmar«, Ljubljana (referat št. 696)

[4] Trinaesto savetovanje elektroenergetičara Jugoslavije (XIII savjetovanje JNK CIGRE), Bled, »Elektroprivreda«, 1977, 7—8, 260—269), Beograd

[5] V. PLAZINIĆ, 1978: Savjetovanje o planiranju, izgradnji i eksploataciji elektrodistributivnih mreža Jugoslavije, »Elektroprivreda«, 1978, 3—4, 95—98, Beograd

[6] M. L. FELJDMAN, M. B. KEGELES, 1976: Zaščita linij elektroperedači i podstancij vysokogo naprjaženija ot atmosfernyh perenaprjaženij. »Atmosfernoe električestvo«, Leningrad

[7] Z. KRULC, 1970: Merkmale der geoelektrischen Bodenstruktur im Karstgebiet und ihr Einfluss auf die Blitzgefährdung, »Boll. di Geofis. Teor. ed Appl.«, XIII, 47, 256—262, Trieste

[8] Z. KRULC, 1972: Prilog proučavanju ugroženosti od munje, »Elektroprivreda«, XXIV, 1972, 9—10, 384—387, Beograd

[9] Z. KRULC, 1973: Beitrag zur Untersuchung der Blitzgefährdung. 12. Međunarodna gromobranska konferencija, R—3, 13, Portorož

[10] Z. KRULC, 1977: Posebne primjene geoelektričnih istraživanja. »Nafta«, XXVIII, 1977, 5, 335—343, Zagreb

[11] S. PLAZINIĆ, N. MILJKOVIĆ, 1975: Prilog proučavanju raspodele broja atmosferskih električnih pražnjenja na teritoriju SFR Jugoslavije, III, jugosl. savjetovanje o geolektricitetu i gromobranima, R—12. 11, Aranđelovac

[12] S. SZPOR, 1977: Topographie et fréquence de la foudre. X. Lignes électriques à la montagne. »Acta geophys. pol.«, 25, 1977, 1, 79—81, Warszawa

KEY WORDS:

OVERGROUND LINES, ATMOSPHERIC LIGHTING, GEOLOGY OF TACE, ISOCERAMICAL LEVELS

REMARKS ON THE EXAMINATION OF DANGER OF LIGHTNING

In accordance with previous experiances and new examinations of geological construction and geoelectrical characteristics of soils, it can be concluded that in analyses of danger of lightning, geological-geoelectrical component should be considered. In the article are presented some examples of dependance of lightning with geological conditions.

EIN BEITRAG ZUR UNTERSUCHUNG DER GEFAHREN DES BLITZEINSCHLAGS

Anhand verschiedener vorangehender Beobachtungen und neuerer Untersuchungen der Zusammensetzung und der geoelektrischen Eigenschaften der Bodenbeschaffenheit in unserem Lande darf man daraus schliessen, dass den Gefahren eines Blitzeinschlags auch entsprechend den geologisch-geoelektrischen Eigenschaften eine gewisse Aufmerksamkeit zugewendet werden muss. In der Arbeit werden einige Fälle der Abhängigkeit des Blitzeinschlags von den geologischen Verhältnissen angegeben.

К ВОПРОСУ ОБ ИЗУЧЕНИИ ГРОЗОЗАЩИТЫ

Согласно некоторым предыдущим наблюдениям и более новым исследованиям геологического строения и геоэлектрических свойств грунтов у нас можно сделать вывод о необходимости при обсуждении опасности от поражения молнией придать определенное значение также и геологическо-геоэлектрической составляющей. В статьей приводятся примеры зависимости ударов молнии от геологических условий.

Naslov pisca:

dr Zvonimir Krulc, dipl. inž.
»Geofizika«
41001 Zagreb,

IZRAEL

Hidroelektrane. Stari plan izgradnje kanala između Sredozemnog mora i Mrtvog mora i podizanja na njemu hidroelektrana (nivo Mrtvog mora je za oko 390 m spod nivoa Sredozemnog mora) dobio je zbog energetske krize novi poticaj. Vlada podržava projekt kojemu je vrijednost radova 700 milijuna dolara, a s kojim bi bilo pokriveno 15% potreba struje Izraela. Financiranje bi trebalo biti pokriveno iz inozemnih izvora. (Israel. Hydroelektrizität. — »Erdöl und Kohle«, 34, 1981, 5, S. 229 — 'Ländernachrichten'.)

Dr Z. K.

ENERGENTI U SSSR-u

U SSSR-u raste potreba za gorivima i energijom u brzom tempu. Zemlja raspolaže najvećim rezervama goriva i energije na svijetu. Dobivanje nafte, plina i ugljena postalo je, međutim, kompliciranije i skuplje. Premještanje središta crpljenja nafte iz Tatarske ASSR i Azerbejdžanske SSR u zapadni Sibir a dobivanja ugljena iz Ukrajinske SSR u Kazahstan i Jakutiju dovodi do znatnog povećanja troškova zbog transporta. U evropskom dijelu SSSR-a i u području Urala potroši se oko 80% svih goriva i energenata, što je četiri puta više no što se u tim područjima nalazi. Nalazišta u zapadnosibirskom području među najvećim su u svijetu. Ovdje treba istražiti teritorij na kojem bi imale zajedno mjesta Francuska, Savezna Republika Njemačka, Italija i Engleska. Gustoća geološki istražene površine u Tatarskoj ASSR 40 puta je veća od one u području Tjumena. Pod ekstremno kompliciranim uvjetima — močvare, jezera, vječni led — u zapadnom Sibiru je učinak eksploatacije u posljednjih godina besprijekorno porastao. Još godine 1970. bila je proizvodnja nafte 31,4 milijuna tona, a 1980. god. treba iznositi 300 milijuna tona. Proizvodnja nafte u SSSR-u iznosi ukupno 600 milijuna tona, što znači da je SSSR proizvodnju nafte (uključujući kondenzat) gotovo utrostručio posljednjih 15 godina, dok je proizvodnja plina gotovo učetverostručena. (Energieträger — Sowjetunion. »Z. f. andew. Geol.« 26 (1980), 9, S. 485 — 'Informationen'.)

Dr Z. K.

»BUŠAĆI OTOCI« U PODRUČJIMA 'ŠELFOVA'

U područjima »šelfa« 70 zemaljâ radio je krajem 1979. god. ukupno 3 921 »bušaći otok«, tj. platforma za bušenje, a to je 233 više nego prethodne godine. SAD i Kanada nalaze se na čelu sa 2 727 platformi, slijedi Latinska Amerika sa 445 aktivnih platformi. Od 11 zemalja tog područja na čelu je Meksiko sa 205 »bušaćih otoka«. U područjima »šelfa« Azije radi 217 plivajućih uređaja za bušenje i eksploataciju nafte, od čega je 66 nedaleko od Indonezije. Pred obalama Afrike radi 209 jedinica, od čega samo u Alžiru preko 115. U evropskom »šelfu« instalirano je 159 platformi — 24 više nego prethodne godine. U području »šelfa« Srednjeg istoka ima 150 platformi, 29 manje nego 1978. godine. U područjima »šelfa« Australije i Novog Zelanda nalazi se pak u pogonu 14 platformi. (Bohrinseln in Schelfgebieten. »Z. f. angew. Geol.« 26 (1980), 10, S. 537 — 'Informationen'.)

Dr Z. K.

ELEKTRANE NA UGLJEN U SAD

SAD troše dnevno sada 5,5 milijuna barela nafte (1 barel = 159 l). Studijska komisija, što ju je bio formirao predsjednik Carter utvrdila je da bi se pojačanim udjelom ugljena u proizvodnji električne struje do 1990. god. moglo uštedjeti dnevno 2 milijuna barela nafte. U SAD otpada 80% rezervi fosilnih goriva na ugljen. Prema analizi udruženja radnikâ SAD gradit će elektroprivreda SAD do 1987. više novih elektrana na ugljen no što je bilo 1978. god. planirano (226 je planirano do kraja 1978; 1979. god. planirane su 243 jedinice). Osim toga predviđa se gradnja 28 novih elektrana na ugljen za 1988, tako da se ukupan broj za slijedećih 10 godina povisuje na 271. Približno polovica novih elektrana treba biti podignuta u područjima koja danas ovise u svojoj proizvodnji struje pretežno o nafti i plinu. Novih 271 elektrana na ugljen ima kapacitet od oko 142100 MW. Udio struje od ugljena u ukupnoj proizvodnji struje u SAD povećat će se od 46,4% u 1977. na 49,2% u 1988, što traži godišnju potrebu ugljena od 880 milijuna tona. Godine 1979. potrošila je privreda SAD već 529 milijuna tona ugljena. (Kohlekraftwerke — USA. »Z. f. angew. Geol.«, 26 (1980), 12, S. 649 — 'Informationen'.)

Dr Z. K.

PRIDOBIVANJE ALTERNATIVNIH FOSILNIH ENERGENATA

(Postavke za razvoj poboljšanih i novih tehnologija).

U časopisu »Erdöl und Kohle« (Bd. 34, 1981, Ht. 7, P. 283—287) objavljena je vrlo zanimljiva analiza potencijala i perspektiva pridobivanja alternativnih fosilnih energenata — bitumena, uljnih škriljaca i dubokih ležišta ugljena.

Potencijal ovih alternativnih fosilnih nosioca energije određuju uglavnom ekonomski kriteriji i raspoložive tehnologije pridobivanja. U bližoj budućnosti ovi energenti neće moći igrati nikakvu značajnu ulogu kao nadomjestak konvencionalnih fosilnih nosioca energije, jer zasad ne postoje iskušane tehnologije pridobivanja. Dugoročno gledano udio alternativnih fosilnih energenata imat će veliko značenje.

U mnogim zemljama sada se pripremaju nacionalni i internacionalni istraživački i razvojni programi za istraživanje odnosno pridobivanje tih resursa. Za pridobivanje bitumena (bitumenskih vapnenaca), uljnih škriljaca i dubokog ugljena (ležišta ugljena što se ne

mogu zahvatiti konvencionalnim rudarenjem) postoje slične problematike. Osnovni problem kod »in-situ« pridobivanja jest stanje sirovine koje zahtijeva faznu preobrazbu u tekuću, transportabilnu fazu. Prikazane su i prodiskutirane osnovne mogućnosti svladavanja tog problema kod različitih energenata.

Na bazi novokoncipirane tehnologije »in-situ« pridobivanja urađena je procjena udjela alternativnih nosioca energije u opskrbi energijom i sirovinama u vremenskom razdoblju nakon 2000. godine. (G. Pusch, Gewinnung alternativer fossiler Energieträger. Ansätze für die Entwicklung verbesserter und neuer Technoliogien.)

Dr Z. K.

ISTRAŽIVANJE ENERGETSKIH RESURSA 1980. god.

Premda su fosilni i nuklearni izvori energije ograničeni, to ipak ne označuje neposrednu opasnost:

- sada poznati resursi kamenog i mrkog ugljena dostaju za najmanje 230 godina
- nove tehnologije, npr. plinifikacija ugljena, pružaju izglede za bolju i efikasniju upotrebu postojećih resursa
- mnogi sedimentacioni bazeni svijeta, posebno u priobalnim područjima, kao i u arktičkim predjelima, nisu još istraženi u pogledu potencijala ugljikovodika
- nalazišta uljnih škriljaca i bituminoznih stijena nisu još dovoljno istražena
- naftni plin, koji se dosad spaljivao, uzima se sve više u obzir kao izvor energije
- nuklearne sirovine predstavljaju znatni izvor energije, naročito u vezi s novim tipovima reaktora. Ne uzima se u obzir mogućnost nuklearne fuzije
- alternativni obnovljeni izvori energije pružaju neke mogućnosti za djelomičnu substituciju fosilnih i nuklearnih energenata, prije svega u zemljama »trećeg svijeta« (u zemljama u razvoju).

Ipak treba shvatiti da su izvori energije ograničeni i da treba smanjiti potražnju. Treba naći putove koji osiguravaju bolju, ekonomičniju i skromniju odnosno razboritu potrošnju obnovljivih energenata. Samo tako je moguće suprotstaviti se oštrim zahtjevima kontinuirane opskrbe energijom. (F. Bender, Survey of energy resources 1980. »Erdöl und Kohle«, Bd. 34, 1981, Ht. 4, P. 155—158.)

Dr Z. K.

POJAČANA »OFFSHORE«-AKTIVNOST U SJEVERNOM MORU BILA PREDVIĐENA

Istražna i probna bušenja u britanskom sektoru Sjevernog mora mogla bi se dvostruko povećati do 1983. god. ako bi se u dovoljnom opsegu raspolagalo garniturama za bušenje. To proizlazi iz izvještaja britanske tvrtke »Wood MacKenzie«, u kojem stoji dalje da su istražna i pokusna bušenja u sjeverozapadnoj Evropi u 1980. god. znatno porasla u odnosu na 1979. god. Do 1983. god. bit će aktivnosti vjerojatno 40% iznad sadašnjeg nivoa, što će se djelomice odnositi na više cijene nafte. Evropska istražna i probna bušenja mogla bi sa 36 bušaćih platformi u 1980. god. porasti na 51 u 1983. god. Ove brojke iz navedenog izvještaja počivaju na ispitivanju planova vodećih naftnih kompanija u Sjevernom moru. Time treba računati da će porasti potražnja za platformama od sadašnjih 16 po godini na 30 u 1983. god. Ovi planovi svakako ovise o raspoloživosti bušaćih garnitura. Za čitavu paletu »offshore«-aktivnosti od istraživanja do otvaranja i crpljenja ležišta nafte i plina porast će potrošnja za platformama sa sadašnjih 56 po godini na 72 u 1983. god. U toku slijedeće dvije godine treba računati s pomanjkanjem bušaćih garnitura, koje će se povećati tek 1983. god. Navedeni izvještaj upućuje i na to da je najam platformi za bušenje u protekle dvije godine porastao sa 20 000 dolara dnevno u 1978. na 80 000 dolara dnevno u 1980. god. (»Verstärkte Offshore-Bohrtätigheit in der Nordsee vorausgesagt«. = Erdöl und Köhle = Bd. 34, 1981, Ht. 4, P. 150.)

Dr Z. K.

PRIRODNI PLIN U SVIJETU U 1980. GODINI

U 1980. godini bilo je u svijetu proizvedeno 1 522 mlrd kubičnih metara prirodnog plina, što je gotovo jednako proizvodnji u 1979. godini.

Kako su raspoložive rezerve prirodnog plina u svijetu ocijenjene na 77 700 mlrd kubičnih metara, to bi iste kraj sadašnje proizvodnje mogle trajati još 50 godina. Situacija u pojedinim krajevima svijeta prikazana je u slijedećoj tablici:

Prirodni plin u svijetu u 1980. godini*

	Rezerve kraj 1980. g.		Proizvodnja 1979.	1980.		Trajanje godina
	mlrd m³	%	mlrd m³		%	
Zapadna Evropa	4375	5,6	197,5	191,3	12,5	63
SSSR i ist. Evropa	31017	39,9	460,1	487,4	32,0	64
Afrika	5923	7,6	23,8	18,3	1,3	324
Bliski istok	18410	23,7	53,4	41,6	2,7	443
Daleki istok	4994	6,4	79,8	82,2	5,4	61
Sjev. Amerika	10357	13,3	679,5	669,3	44,0	15
Karipsko područje	1619	2,1	14,8	14,5	0,9	115
Južna Amerika	1016	1,3	16,6	17,7	1,2	57
Ukupno	77 711	100,0	1 525,5	1 522,3	100,0	51

* Podaci: Petroleum Economist, VIII 1981.

Tablica prikazuje slijedeće odnose:

Zapadna Evropa u cjelini raspolaže s oko 4 400 mlrd kubičnih metara rezervi prirodnog plina, što je 5,6% od ukupnih svjetskih rezervi. U 1980. godini bilo je proizvedeno nešto preko 191 mlrd kubičnih metara ili 12,5% od svjetske proizvodnje. Prema 1979. godini proizvodnja je bila za 6,2 mlrd kubičnih metara manja.

Glavni proizvođači prirodnog plina u Zapadnoj Evropi su Nizozemska (87,3 mlrd kubičnih metara), Norveška (25,1 mlrd), SR Njemačka (18,7 mlrd) i Velika Britanija (37,3 kubičnih metara). Osim u Norveškoj, gdje je proizvodnja porasla za oko 4 mlrd kubičnih metara, u svim ostalim zemljama proizvodnja se smanjila. Pre-

ma sadašnjoj eksploataciji rezerve bi u cjelini trajale još oko 23 godine.

Gotovo 90% proizvodnje prirodnog plina u **Istočnoj Evropi** i **SSSR** otpada na Sovjetski Savez i to u sve većoj mjeri iz Sibira. Rezerve prirodnog plina u Sovjetskom Savezu iznose 30 500 mlrd kubičnih metara, a sve ostale zemlje istočne Evrope oko 500 mlrd kubičnih metara. To zajedno čini gotovo 40% svjetskih rezervi.

Proizvodnja prirodnog plina u 1980. godini prekoračila je 487 mlrd kubičnih metara (32% od svjetske proizvodnje) prema 460 mlrd u 1979. godini, a to povećanje otpada gotovo isključivo na Sovjetski Savez, gdje je proizvodnja porasla od 407 mlrd kubičnih metara na 435 mlrd kubičnih metara. U svim ostalim zemljama proizvodnja je bila smanjena, osim u Rumunjskoj, gdje je porasla za jednu mlrd kub metara na 28,2 mlrd. Te bi rezerve trajale još gotovo 65 godina.

Afrika u cjelini raspolaže s 5 900 mlrd kubičnih metara rezervi prirodnog plina, što je 7,6% od svjetskih rezervi, a većim se dijelom odnose na Alžir (3 700 mlrd kubičnih metara), Libiju (674 mlrd) te na Nigeriju (1161 mlrd kubičnih metara).

Proizvodnja prirodnog plina u Africi u cjelini pala je od 23,8 mlrd kubičnih metara u 1979. godini na 18,3 u 1980. godini — manje gotovo za 30% — što je samo 1,3% svjetske proizvodnje.

Glavni proizvođač je Alžir (10 mlrd kubičnih metara). Ta zemlja, te Libija znatno je smanjila svoju proizvodnju prirodnog plina, jer nisu riješile pitanje njegove cijene u izvozu. Rezerve prirodnog plina na **Bliskom istoku** iznose gotovo 18 500 mlrd kubičnih metara, što je približno 24% svjetskih rezervi, a najvećim se dijelom odnose na Iran (11 000 mlrd kubičnih metara), te na Saudijsku Arabiju (2700 mlrd), te na Katar (1800 mlrd kubičnih metara).

Proizvodnja prirodnog plina ima tendenciju opadanja zbog toga što je proizvodnja u Iranu više nego prepolovljena. U 1979. godini bilo je proizvedeno oko 24 mlrd kubičnih metara, a u 1980. godini nešto više od 18 mlrd, što je 2,7% svjetske proizvodnje. Osim drastičnog pada proizvodnje u Iranu, i ostale su zemlje imale u 1980. godini nešto manju proizvodnju, a svoju proizvodnju povećala je samo Saudijska Arabija — najveći proizvođač prirodnog pllina na Bliskom istoku, i to od 12,6 mlrd na 14,9 mlrd kubičnih metara. Prema, do sada utvrđenim podacima **Daleki istok** raspolaže s oko 6,5% svjetskih rezervi prirodnog plina, odnosno sa 5 000 mlrd kubičnih metara, što je 5,4% svjetske proizvodnje i za oko 2,5 mlrd kubičnih metara više nego u prethodnoj godini.

S približno podjednakim rezervama (oko 800 mlrd kubičnih metara) raspolažu Australija, Indonezija, Kina i Malezija, a druge zemlje imaju znatno manje rezerve osim Pakistana (450 mlrd kubičnih metara).
Po proizvodnji na prvom je mjestu Indonezija, čija proizvodnja uglavnom stagnira sa oko 28,5 mlrd kubičnih metara. Australija je povećala proizvodnju na 9,6 mlrd kubičnih metara, odnosno na 9,0 mlrd, kao i Pakistan.

Prema sadašnjoj proizvodnji raspoložive bi rezerve trajale još oko 60 godina.

U svjetskim razmjerima po proizvodnji prirodnog plina na prvom mjestu je **Sjeverna Amerika,** ali proizvodnja ima tendenciju slabljenja. Naime, u 1979. godini bilo je proizvedeno 680 mlrd kubičnih metara, a u 1980. godini nešto iznad 669 mlrd, što je bilo 44,0% svjetske proizvodnje. No, porast je ostvaren samo u Meksiku, gdje je proizvodnja porasla od 26,4 mlrd kubičnih metara u 1979. godini na 32,4 mlrd, dok je u Kanadi proizvodnja pada od 73,4 na 68,1 mlrd kubičnih metara i u SAD od 580 mlrd kubičnih metara na 569 mlrd.

Obrnuto od visoke proizvodnje, rezerve od nešto preko 10 000 mlrd kub. met. čine samo 13,3% od svjetskih rezervi, te bi u prosjeku trajale još 15 godina. No, rezerve u SAD (5 670 mlrd kubičnih metara) bile bi dovoljne samo za pokrivanje deset godišnjih potreba. Znatno je povoljnija situacija u Meksiku, gdje bi rezerve od 2 200 mlrd kubičnih metara mogle trajati još gotovo 70 godina, a Kanada s oko 2 500 mlrd kubičnih metara bi te rezerve mogla koristiti gotovo 40 godina. Rezerve **Karipskog područja** od oko 1 600 mlrd kubičnih metara čini samo 2,1% svjetskih rezervi, a proizvodnja, koja u ostalom ima tendenciju slabljenja, iznosila je u 1980. godini 14,5 mlrd kubičnih metara, što je ispod 1% od svjetske proizvodnje. Najveće rezerve ima Venezuela (1 250 mlrd kubičnih metara), kao i najveću proizvodnju (8,7 mlrd kubičnih metara). Ipak, ukupne rezerve Karipskog područja mogle bi trajati oko 115 godina.

Južna Amerika raspolaže sa 1,3% svjetskih rezervi prirodnog plina, oko 1 000 mlrd kubičnih metara, te bi po proizvodnji, koja je u 1980. godini iznosila 17,7 mlrd kubičnih ketra (1,2% od svjetske proizvodnje) mogle trajati još gotovo 60 godina. Proizvodnja u cjelini ima tendenciju rasta, jer je u 1979. godini iznosila 16,6 mlrd kubičnih metara. S najvećim rezervama raspolaže Argentina (623 mlrd kubičnih metara), a proizvodnja u 1980. godini dosegla je gotovo 10 mlrd kubičnih metara.

Prirodni plin radi svoje visoke kalorične vrijednosti i pogodnosti u korištenju postaje u ukupnoj potrošnji energije sve važniji, pa sve više raste njegov transport od proizvođača do potrošača. Transport se pretežnim dijelom obavlja plinovodima, a zadnjih godina i posebno građenim tankerima u ukapljenom stanju. Takav se transport obavlja tamo gdje se iz raznih razloga transport plinovodima ne može ostvariti.

Osim SAD i Sovjetskog Saveza, koji se koriste prirodnim plinom svoje proizvodnje, ostali veliki potrošači prirodnog plina ne raspolažu s dovoljnim količinama, te ga moraju uvoziti od proizvođača koji ga ne koriste u visini proizvodnje.

Ako se uzme u obzir proizvodnja prirodnog plina jednog područja ili zemlje s uvozom te izvozom, može se izračunati bruto-potrošnja, tj. kakva bi bila bez gubitaka u transportu i u manipulaciji.

Ta je situacija prikazana u tablici na idućoj strani:

Iz tablice se vide slijedeći odnosi:

Zapadna Evropa u cjelini ima veći uvoz nego izvoz, a taj se uglavnom odnosi u izvozu prirodnog plina iz Nizozemske i Norveške u ostale zemlje zapadne Evrope, te u transportiranju između pojedinih zemalja uvoznog plina sa strane. Neto-uvoz se odnosi na uvoz iz Sovjetskog Saveza — 26, 7 mlrd kubičnih metara — iz Afrike 6,3 mlrd kubičnih metara (i to isključivo u ukapljenom stanju). — Potrošnja — tako izračunata — iznosi 223,2 mlrd kubičnih metara, što je gotovo 15% svjetske potrošnje, odnosno proizvodnje.

Sovjetski Savez i ostale zemlje istočne Evrope imaju veći izvoz od uvoza. Uvoz se odnosi na prirodni plin iz

Situacija prirodnog plina u 1980. godini
(potrošnja)

(u mlrd kubičnih metara)

	Proizvodnja	%	Uvoz	Ukupno	Izvoz	Bruto potrošnja	%
zap. Evropa	191,3	12,5	113,0	304,3	81,1	223,2	14,7
SSSR i ist. Ev.	487,4	32,0	35,1	522,5	57,5	465,0	30,5
Afrika	18,3	1,3	—	18,3	8,4	9,9	0,7
Bliski istok	41,6	2,7	—	41,6	3,4	38,2	2,5
Daleki istok	82,2	5,4	23,6	105,8	22,2	83,6	5,5
Sjev. Amerika	669,3	44,0	28,1	697,4	27,2	670,2	44,0
Karip. podr.	14,5	0,9	—	14,5	—	14,5	0,9
Južna Amerika	17,7	1,2	2,2	19,9	2,2	17,7	1,2
UKUPNO	1 522,3	100,0	202,0	1 724,3	202,0	1 522,3	100,0

Sovjetskog Saveza u ostale zemlje istočne Evrope, dok je neto-izvoz 26,7 mlrd kubičnih metara u zemlje zapadne Evrope. Bruto-potrošnja iznosi 465 mlrd kubčnih metara, što je 30,5% svjetske potrošnje.

Afrika je izvoznik prirodnog plina u ukapljenom stanju u zapadnu Evropu, stoga je bruto-potrošnja (jer uvoza nema) gotovo 9,9 mlrd kubičnih metara, što je samo 0,7% svjetske potrošnje. Slični je slučaj i na **Bliskom istoku,** gdje je bilo izvezeno samo 3,4 mlrd kubičnih metara (u Japan 2,7 i u SSSR 0,7 mlrd kubičnih metara), pa je potrošnja iznosila 38,2 mlrd kubičnih metara ili 2,5% svjetske proizvodnje.

Daleki istok ima izvoz, odnosno uvoz između tamošnjih zemalja proizvođača i potrošača, a samo je Japan iz SAD (Alaske) uvezao 1,2 mlrd kubičnih metara u ukapljenom stanju.

Potrošnja je iznosila 83,6 mlrd kubičnih metara, što je 5,5% svjetske potrošnje.

Najveći svjetski potrošač prirodnog plina je **Sjeverna Amerika,** gdje je potrošeno 670 mlrd kubičnih metara ili 44% svjetske potrošnje. Ta se potrošnja najvećim dijelom odnosi na SAD (595,6 mlrd kubičnih metara), što je 39% svjetske potrošnje. Stoga se uvoz odnosi na onaj iz Kanade i Meksika u SAD.

Karipsko područje troši samo vlastitu proizvodnju prirodnog plina, i to 14,5 mlrd kubičnih metara (0,9% svjetske potrošnje), a odnosi se pretežnim dijelom na proizvodnju i potrošnju u Venezueli (9 mlrd kubičnih metara) i Kolumbiji (3,2 mlrd kubičnih metara). Slična je situacija i u **Južnoj Americi,** jer se izvoz odnosno uvoz obavlja između Bolivije i Čilea u Argentini. Proizvodnja odnosno bruto-potrošnja iznosi približno 18 mlrd kubičnih metara, što je 1,2% svjetske proivzodnje.

Prikazi knjiga

L. Jarass: STROM AUS WIND — Intergration einer regenerativen Energiequele; Izdavač: Springer Verlag — Berlin — Heidelberg — New York 1981; 140 strana; 46 slika; 10 tablica, format 14 x 20 cm.

U okviru općih nastojanja u svijetu da se što više iskoriste regenerativni izvori energije ova će knjižica biti vrlo korisna za sve one koje zanimaju problemi iskorištenja energije vjetra.

Nakon opširnog uvoda o razvoju energetske situacije u svijetu posljednjih godina slijedi 8 poglavlja u kojima su izneseni problemi iskorištenja energije vjetra. U 1. su poglavlju iznesene fizikalne osnove pretvorbe energije vjetra u mehaničku i električnu energiju, a u 2. su opisani uređaji za iskorištenje vjetra. Opisani su glavni dijelovi pojedinih tipova, a zatim su dane osnovne karakteristike takvih uređaja izgrađenih u svijetu. Također su opisani uređaji za akumuliranje energije koji bi se morali izgraditi uz vjetrenjače. Mogućnost integriranja elektrana na vjetar u postojeći elektrosistem, kao i mogućnost izravnanja promjene energije vjetra predmet su razmatranja 3. poglavlja. U 4. pak poglavlju analizirana je ušteda goriva, a u 5. ušteda kapaciteta elektrana izgradnjom elektrana na vjetar. U slijedećem se poglavlju nadalje govori o vrednovanju takvih elektrana. Analizirana je ekonomska strana problema, životna dob vjetrenjače, troškovi energije i neki socijalni problemi.

Posljednja dva poglavlja, tj. 7. 8, posvećena su razmatranju utjecaja izgradnje elektrana na vjetar na prilike u SR Njemačkoj. Promotrena je ušteda goriva i snage konvencionalnih elektrana, odgovarajući parametri uređaja, značenja akumulacije, utjecaj na električnu mrežu, troškovi i na kraju pravna pitanja.

Kao što se iz sadržaja vidi, u knjizi je sažeto iznesena cijela problematika vezana za elektrane na vjetar, pa ona može dati vrijedne informacije svima koji se bave nekonvencionalnim izvorima energije.

STATISTIČKI PREGLED

ELEKTROPRIVREDE SR HRVATSKE U SKLOPU ELEKTROPRIVREDE JUGOSLAVIJE

OSNOVNI PODACI

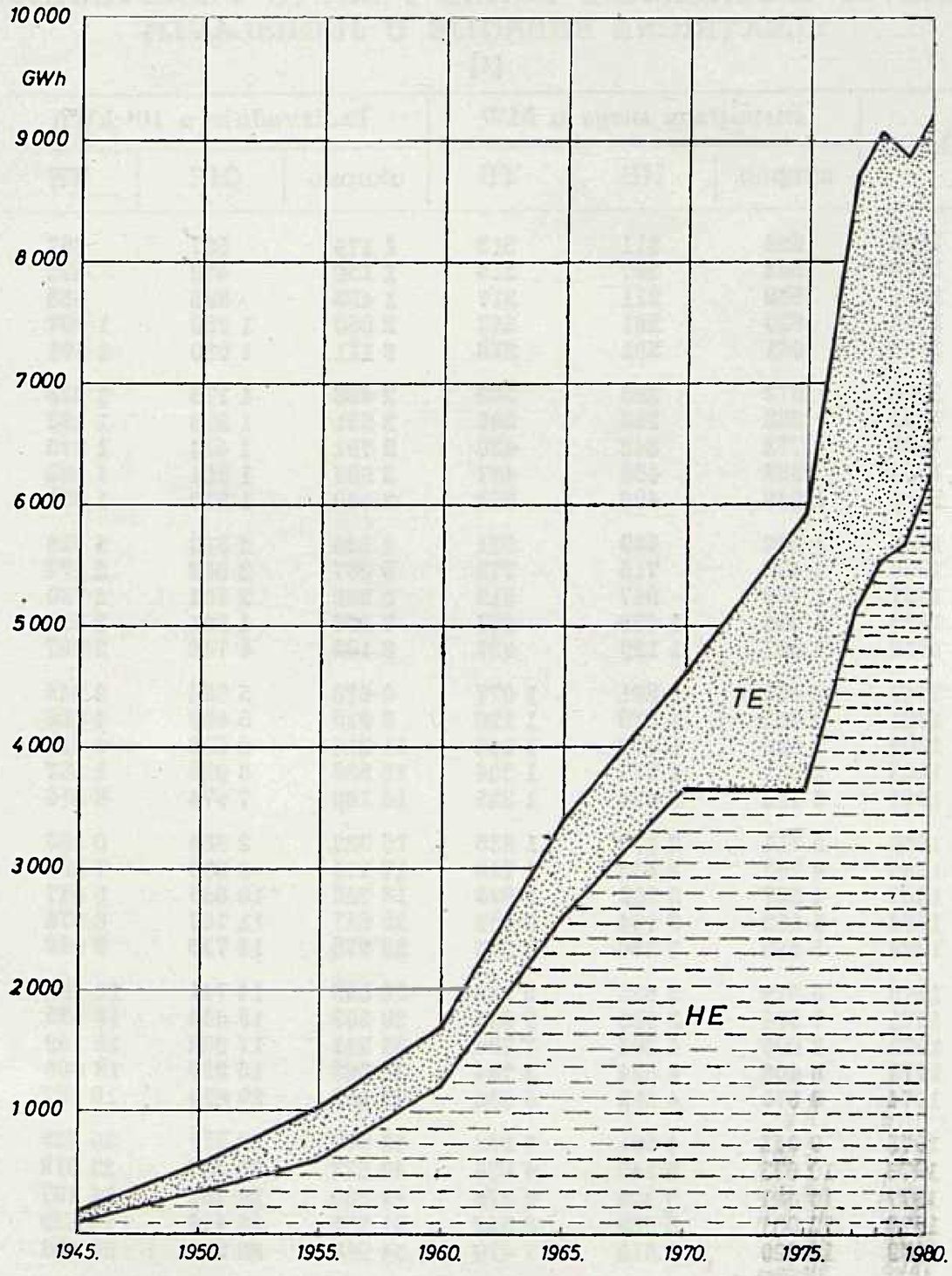
Tablica 1

OSNOVNI PODACI ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE
po stanju od 31. XII 1980. [2]

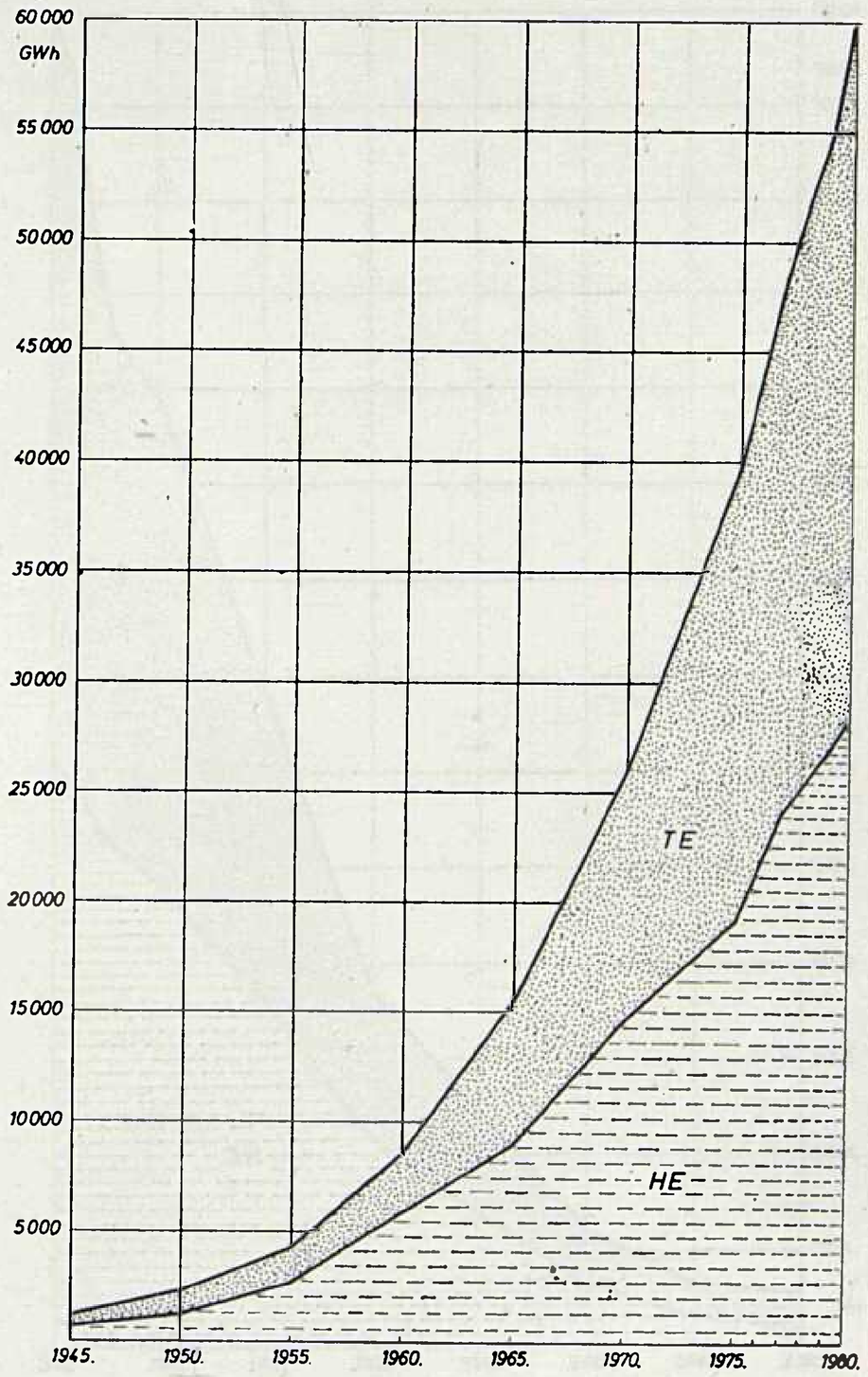
Naziv postrojenja		1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Hidroelektrane	broj	17	17	19	19	20	21	21	22	21	20
	snaga MW	777,7	777,7	1023,6	1024	1310	1200	1200	1302	1448	1558
od toga Udružene	MW	761,6	761,6	1007,5	1007	1213	1185	1185	1284	1431	1542
Termoelektrane	broj	40	40	40	41	41	41	41	43	35	39
	snaga MW	568,4	568,4	568,4	768	836	887	877	1177	1202	1299
od toga Udružene	MW	491,4	491,4	491,4	691	800	771	720	720	1090	1093
Ukupno elektrane	MW	1346,1	1346,1	1592,0	1792	2146	2087	2077	2479	2650	2641
Transformatorske stanice:											
380/110 kV	broj stanica	—	—	—	—	—	—	—	1	2	2
	broj transformatora	—	—	—	—	—	—	—	2	3	4
	snaga MVA	—	—	—	—	—	—	—	600	900	1200
220/110 kV	broj stanica	5	5	6	6	6	6	6	6	6	8
	broj transformatora	7	8	11	11	11	12	12	14	14	16
	snaga MVA	1000	1150	1600	1600	1600	1800	1450	2050	2350	2100
110/30—50 kV	broj stanica	36	42	44	46	50	71	59	57	57	59
	broj transformatora	68	79	80	82	86	137	114	105	108	110
	snaga MVA	1586	1920	1980	2060	2140	3118	3018	3121	3217	3672
30—50/3—10 kV	broj stanica	249	258	270	280	286	280	245	258	—	264
	broj transformatora	458	462	487	510	520	497	476	509	—	280
	snaga MVA	1851	1930	2010	2090	2130	2104	2172	2308	—	2553
Dalekovodi:											
380 kV	km	—	—	—	—	—	—	271	389	612	612
220 kV	km	949	976	1158	1158	1251	1065	1125	1005	996	1019
110 kV	km	2110	2384	2483	2533	2539	3384	3143	2560	3049	3152
50—30 kV	km	3547	3651	3725	3799	3814	3682	3297	3451	4152	4023
10—3 kV	km	17860	18630	19320	20010	20546	21050	18913	18383	21036	22758
niski napon	km	35750	36685	37340	37995	38415	43750	36403	38325	43072	43318
Vršno opterećenje SRH	MW	1126	1208	1227	1271	1576	1595	1673	1744	1864	2003

Mrežni transformatori u HE i TE uključeni su u transformatorskim stanicama 220/110 i 110/30—50 kV.

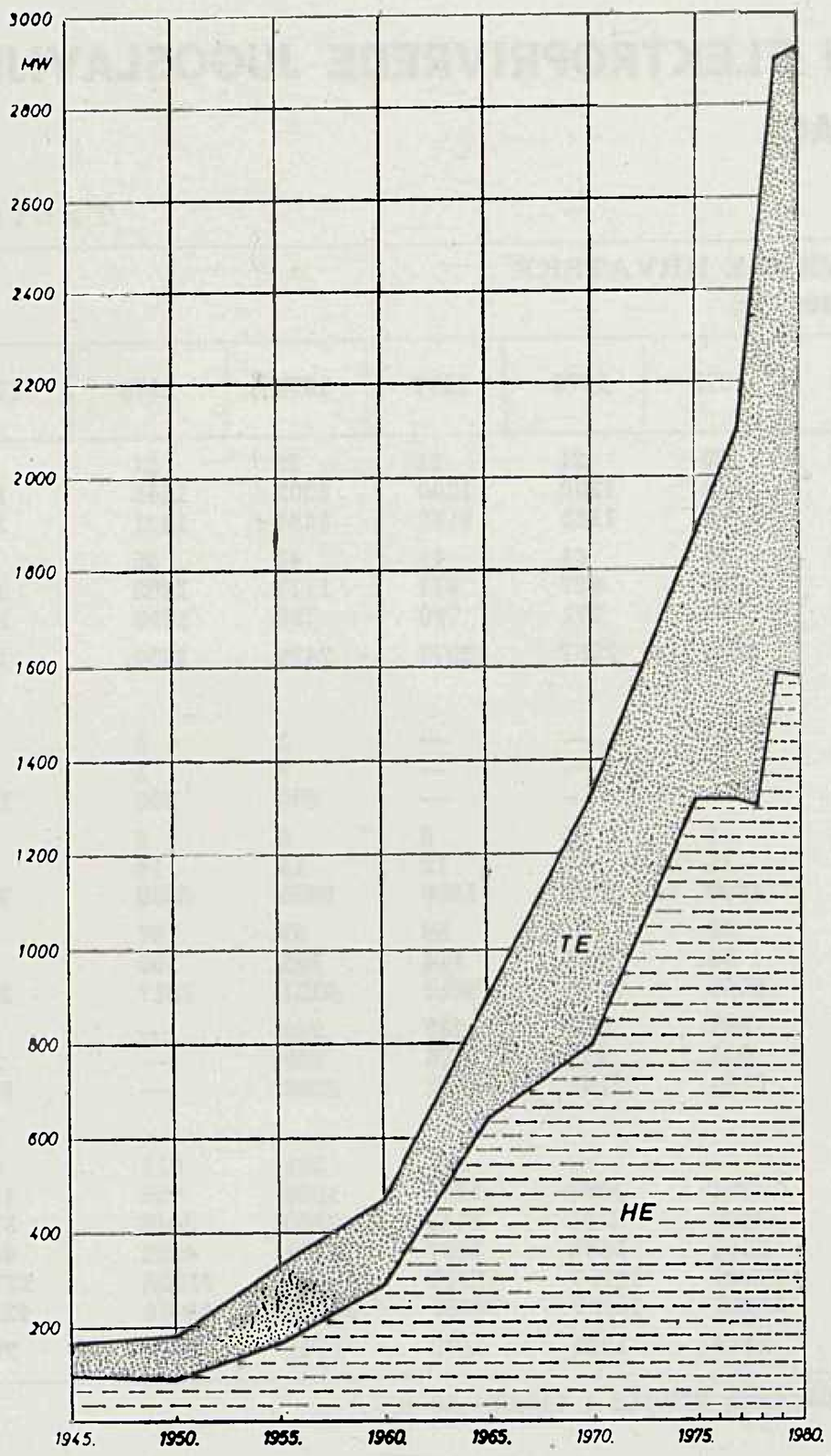
PROIZVODNJA I INSTALIRANE SNAGE



Sl. 1. Ukupna proizvodnja električne energije u Hrvatskoj



Sl. 2. Ukupna proizvodnja električne energije u Jugoslaviji



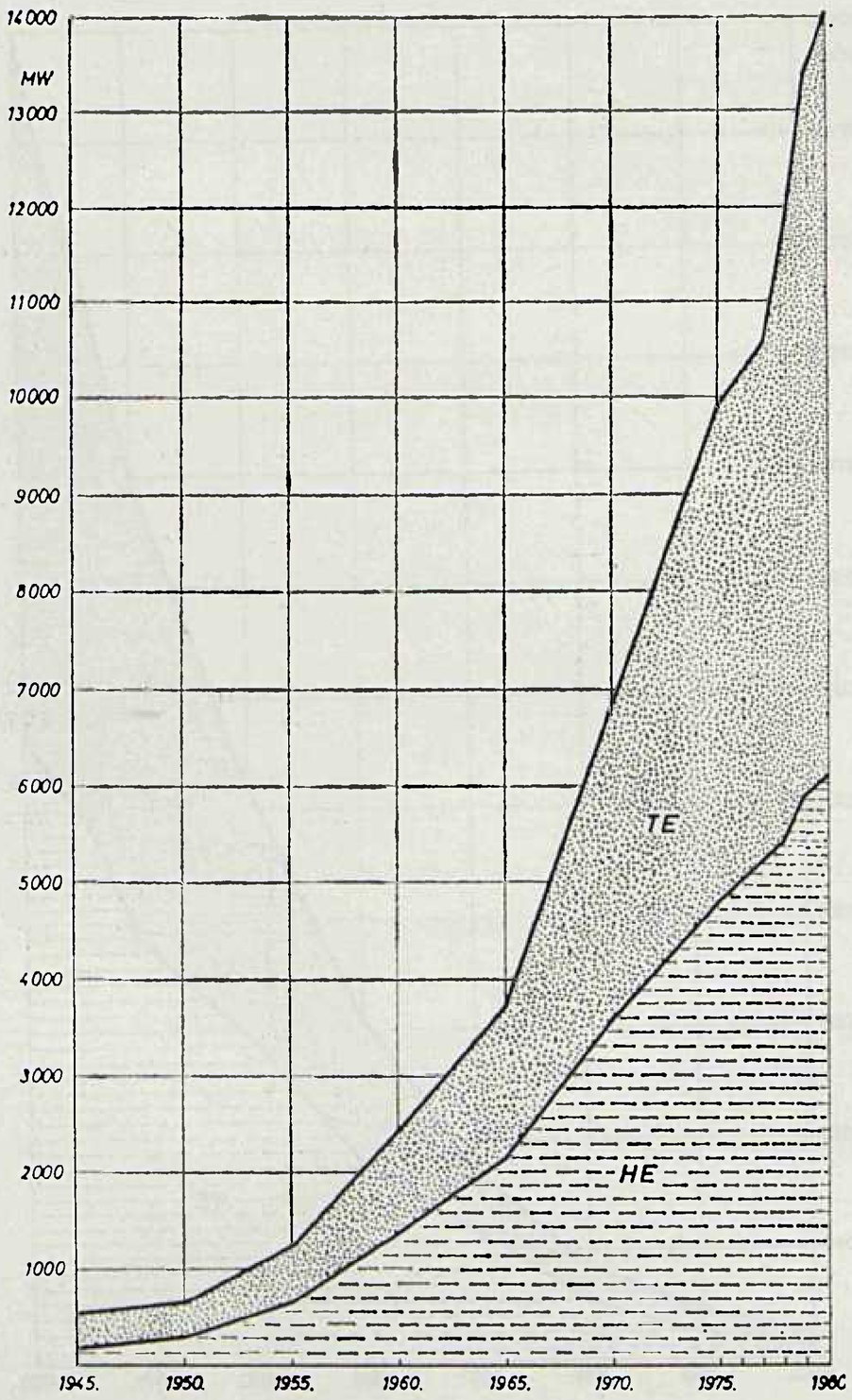
Sl. 3. Razvoj instaliranih snaga u elektranama Hrvatske

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
1946	177	93	84	266	130	136
1947	173	89	84	378	179	199
1948	188	89	99	497	301	196
1949	188	89	99	524	297	227
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	3 232	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



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
1946	523	207	316	1 150	478	672
1947	528	211	317	1 453	595	858
1948	629	281	348	2 060	1 053	1 007
1949	661	285	376	2 211	1 020	1 191
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

Tablica 4

INSTALIRANE SNAGE ELEKTRANA 1980. PO REPUBLIKAMA
U MW [4]

Republika	Ukupno			Hidroelektrane			Termoelektrane		
	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale
S F R J	14 069	13 083	986	6 110	5 985	125	7 959	7 098	861
Bosna i Hercegovina	2 356	2 091	265	948	964	20	1 372	1 127	245
Crna Gora	680	649	31	656	649	7	24	—	24
Hrvatska	2 922	2 797	125	1 577	1 557	20	1 345	1 240	105
Makedonija	753	679	74	366	349	17	387	330	57
Slovenija	1 866	1 783	83	672	634	38	1 194	1 149	45
Srbija	5 492	5 084	408	1 855	1 832	23	3 637	3 252	385

Tablica 5

BRUTO PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE 1980. PO REPUBLIKAMA
u GWh [4]

Republika	Ukupno			Hidroelektrane			Termoelektrane		
	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale
S F R J	59 716	56 501	3 215	28 476	27 933	543	31 240	28 568	2 672
Bosna i Hercegovina	11 177	10 220	957	4 296	4 190	106	6 881	6 030	851
Crna Gora	2 241	2 123	118	2 161	2 123	38	80	—	80
Hrvatska	9 208	8 781	427	6 253	6 150	103	2 955	2 631	324
Makedonija	1 957	1 825	132	1 455	1 374	81	502	451	51
Slovenija	7 986	7 484	502	3 339	3 224	115	4 647	4 260	387
Srbija	27 147	26 068	1 079	10 972	10 872	100	16 175	15 196	979

Tablica 6

SPECIFIČNA BRUTO PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI
kWh po stanovniku [4]

Stanovn. Godina	SFRJ	B i H	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
1955.	247	219	59	253	94	1 014	132
1956.	283	255	69	247	103	1 233	162
1957.	347	367	77	261	170	1 484	197
1958.	404	466	88	282	230	1 603	244
1959.	439	563	93	334	266	1 692	290
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.	2 678	2 636	3 779	2 009	1 023	4 376	2 969

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	tuzemna	inozemna	
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	815	817r	— 2r	4905r
1969.	4520	3979	541	4155	3881	274	84	84	—	281	14	267	904	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

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 1980.
u MWh [4]

Primila / predala	Ukupno	Bosna i Hercegovina	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
Ukupno	9 445	202	1 273	3 488	1 945	981	1 556
B i H	2 329	—	34	1 564	20	668	46
Crna Gora	1 356	18	—	—	4	2	1 332
Hrvatska	261	51	—	—	—	68	139
Makedonija	24	—	—	—	—	—	22
Slovenija	104	48	1	36	2	—	17
Srbija	5 371	84	1 238	1 888	1 919	242	—

Tablica 9

RAZMJENA IZMEĐU PODRUČJA UDRUŽENE ELEKTROPRIVREDE SRH 1980.
u GWh [2]*

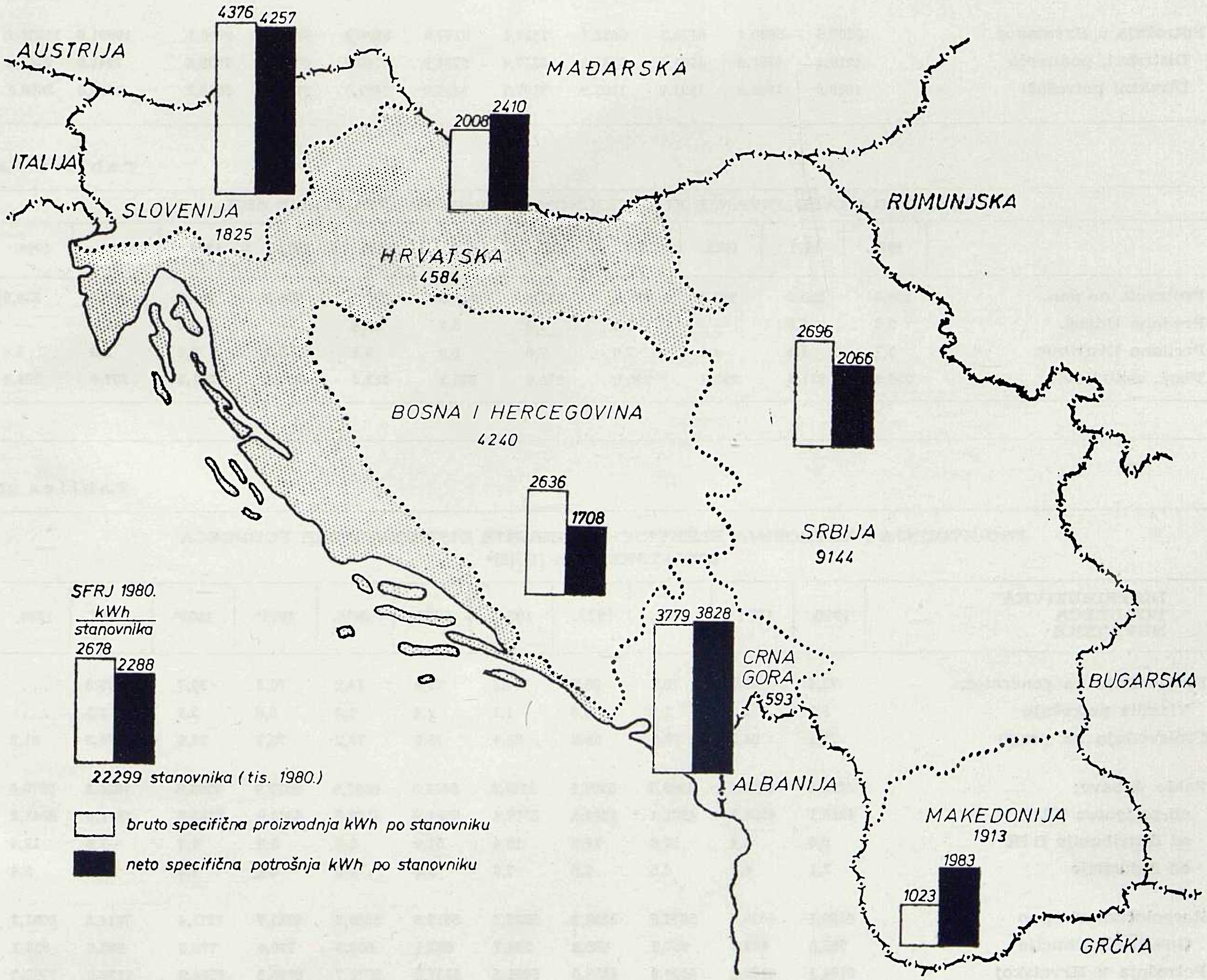
Područje SRH	Osijek	Rijeka	Split	Zagreb	Hrvatska
Proizvodnja na pragu	63,4	2590,8	3258,3	2171,6	8084,1
Primljeno od ZEOH	1388,6	35,5	779,8	2472,2	—
Predano ZEOH	—	948,2	204,9	—	—
Saldo razmjene	1388,6	—912,7	574,9	2472,2	3523,0
Raspoloživo BTTO	1452,0	1678,1	3833,2	4643,8	11607,1
Gubici prijenosa	44,1	65,0	136.2	145,7	380,9
Predano potrošačima	1407,9	1623,1	3697,0	4498,1	11226,2
Predano distribuciji	1296,7	1584,4	1725,1	3939,0	8545,2
Direktni potrošači	111,2	38,7	1971,9	559,1	2680,1

Tablica 10

RAZVOJ RAZMJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE UDRUŽENE ELEKTROPRIVREDE SRH
u GWh [2]

Razmjena	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.
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
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
	—	—	+	+	—	+	+	—	+	—	—
Saldo	99,7	960,7	3,2	57,1	35,5	140,0	20,0	18,0	29,0	90,0	31,6
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
Predaja u Bosnu	42,6	40,7	63,2	6,2	2,1	75,0	18,0	37,0	87,0	193,0	142,1
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Saldo	1450,3	2534,4	1460,7	1918,8	2395,3	2326,0	1671,0	1473,0	1644,0	2919,0	3246,0
Nabava iz inozemstva	0,1	1,5	—	42,6	50,0	739,0	331,0	55,0	234,0	81,0	76,3
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
	—	—	—	+	—	+	+	—	+	+	—
Saldo	48,1	70,3	0,1	42,6	96,6	716,0	227,0	45,0	178,0	151,0	136,8
Ukupno nabava	1814,5	2608,8	1660,5	2052,8	2462,8	3306,0	2066,0	1613,0	2044,0	3212,0	3500,9
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
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Saldo razmjene	1302,6	1503,4	1505,1	2018,5	2263,2	3182,0	1918,0	1410,0	1851,0	2658,0	3077,6

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.
Proizvodnja na generatoru	4362,1	4606,1	5166,2	4971,3	5916,0	5518,6	7198,5	8349,7	8647,2	8399,5	8779,0
Vlastita potrošnja	90,0	156,5	164,6	207,3	173,5	174,4	223,4	248-9	252,6	253,6	249,5
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
Razmjena saldo:	1302,6	1503,4	1505,1	2018,5	2262,7	3187,4	1937,5	1411,9	1853,3	2664,2	3077,6
sa Slovenijom	— 99,7	— 960,7	3,2	57,1	— 35,6	121,2	19,2	— 18,6	28,9	—89,6	—31,6
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
sa drugim republ.	—	—	—	275,7	489,8	360,5	125,9	187,5	323,0	1392,3	1732,5
sa inozemstvom	— 48,0	— 70,3	— 0,1	42,6	— 96,7	715,2	227,1	— 44,4	178,2	—151,0	—136,8
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
Gubici prijenosa	269,9	277,5	333,4	267,2	324,8	312,9	303,4	336,7	342,9	302,2	380,9
Predano distr. B i H	—	—	—	64,4	56,2	47,1	23,8	1,4	0,9	0,0	0,1
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
Distribut. poduzeća	4219,1	4596.3	4981,4	5244,8	5517,4	5784,9	6149,8	6663,9	7289,8	7841,0	8545,2
Direktni potrošači	1088,5	1084,0	1191,9	1207,9	2107,7	2393,0	2457,0	2510,7	2616,3	2660,5	2680,9

Tablica 11a

VLASTITO SNABDIJEVANJE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM INDUSTRIJE SRH

	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.
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
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
Vlast. snabdjev.	250,9	271,3	258,7	296,0	272,2	335,2	333,3	353,3	361,2	367,5	334,2

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.
Proizvodnja na generatoru	73,4	65,8	79,8	60,9	84,5	77,4	74,2	75,3	76,7	79,8	. . .
Vlastita potrošnja	1,3	1,3	1,0	0,6	1,1	2,4	1,0	2,6	2,1	1,5	. . .
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
Saldo dobave:	4228,0	4606,2	4998,7	5264,9	5542,8	5844,6	6157,0	6673,0	7296,8	7836,3	8570,0
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
od distribucije B iH	5,8	5,4	12,8	16,5	18,4	56,9	2,0	5,9	4,7	—7,9	19,4
od industrije	3,1	4,5	4,5	3,6	7,0	2,8	5,2	3,2	2,3	3,2	5,4
Raspoloživo ukupno	4300,1	4670,7	5077,5	5325,2	5626,2	5919,6	6230,2	6745,7	7371,4	7914,6	8651,3
Gubici distribucije	505,8	482,5	487,5	469,2	534,7	582,1	659,5	720,4	776,5	680,6	856,1
Potrošnja u Hrvatskoj	3794,3	4188,2	4590,0	4856,0	5091,5	5337,5	5570,7	6025,3	6594,9	7234,0	7795,2

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.
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
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
Industrija ukupno	1012,2	968,8	1066,5	1069,6	1979,1	2270,7	2333,2	2370,3	2459,8	2484,4	2493,7
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
Cementara, Našice	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,6	21,5
Elektrokemija	494,7	456,0	533,8	466,0	567,4	537,1	532,1	522,1	552,4	566,8	557,1
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
Jugovinil, Kaštel S.	59,2	53,8	64,5	52,8	73,3	65,4	65,5	83,8	88,1	95,5	97,8
Gnojivo, Kutina	200,3	227,6	231,9	228,4	226,2	222,8	247,8	256,3	253,3	249,3	235,6
Elektrometalurgija	326,0	321,1	340,4	347,9	1145,3	1422,3	1472,5	1480,4	1540,4	1550,0	1569,9
Aluminij, Lozovac	126,2	117,0	132,3	151,8	169,0	162,3	170,8	189,3	195,6	192,1	196,6
TLM, Ražine	57,1	61,9	62,0	72,9	813,6	1096,3	1115,7	1134,4	1169,1	1161,2	1185,8
Ferolegure, Šibenik	142,7	142,2	146,1	123,2	162,7	163,7	186,0	156,7	175,7	196,7	187,5
Ostali potrošači	147,8	149,4	149,3	218,0	223,1	237,4	244,6	252,5	253,8	261,5	255,4
Željezara, Sisak	137,0	143,3	137,0	142,4	153,2	165,4	171,4	181,9	182,9	189,4	182,1
Valjaonica, Ražine	—	—	—	67,6	63,0	62,2	69,2	68,6	70,4	70,6	72,1
Ostali	10,8	6,1	12,3	8,0	6,9	5,8	4,0	2,0	0,5	1,5	1,2

Tablica 13a

DOBAVA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U ŽELJEZNIČKOM PROMETU SRH

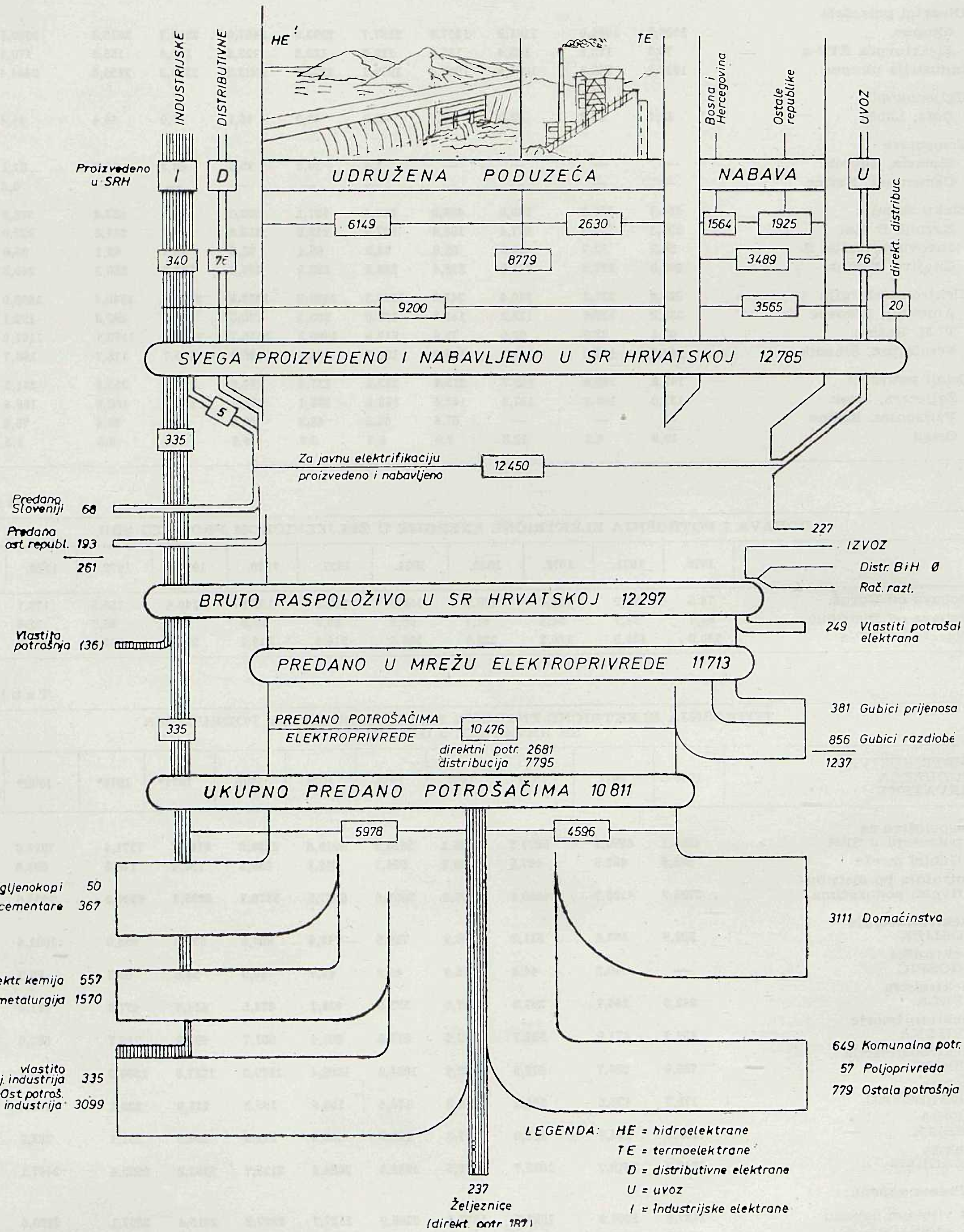
	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.
Dobava od Udruž.	76,3	115,2	125,4	138,3	128,6	122,3	123,8	140,4	156,5	176,1	187,2
Dobava od Distribuc.	63,7	54,7	54,8	87,7	98,0	86,9	95,9	94,6	86,5	71,6	70,8
Potrošnja ŽTP-a	140,0	169,9	180,2	226,0	226,6	210,2	219,7	235,0	243,0	247,7	258,0

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.
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
Gubici mreže	505,8	482,5	487,5	469,2	534,7	582,1	659,5	720,4	776,5	680,6	856,1
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
Elektroslavonija OSIJEK	524,9	563,4	611,3	698,3	729.5	743,5	800,5	895,5	968,0	1061,4	1147,8
Elektrolika GOSPIĆ	—	40,2	44,4	45,0	46,3	48,7	50,5	53,8	62,7	69,7	75,6
Elektroistra PULA	242,5	266,7	297,9	307,8	335,0	428,1	374,5	414,7	437,0	481,3	522,2
Elektroprimorje RIJEKA	439,9	471,9	522,7	543,6	573,5	601,4	651,7	694,1	748,7	809,0	868,8
Elektrodalmacija SPLIT	760,9	886,7	972,5	1055,6	1084,3	1092,4	1170,3	1217,8	1366,9	1494,7	1597,1
Elektra KARLOVAC	175,3	155,5	164,5	170,9	176,4	195,6	195,2	211,9	235,1	248,8	270,2
Elektra SISAK	109,9	124,0	161,0	177,3	193,7	203,3	212,3	234,3	251,1	322,0	301,6
Elektra ZAGREB	1540,9	1679,7	1815,7	1857,5	1952.8	2024,5	2115,7	2303,2	2525,4	2447,1	3011,9
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
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
— Domaćinstva	1496,8	1637,9	1772,3	1943,9	2060,2	2132,7	2223,4	2360,4	2584,6	2904,8	3111,1
— 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

TOK ELEKTRIČNE ENERGIJE U SR HRVATSKOJ 1980.
milijuna kilovatsati (GWh)



Sl. 6. Tok električne energije u SRH 1980. 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.*
Proizvodnja na generatoru	4692,3	4952,5	5509,2	5333,5	6280,7	5940,3	7632,6	8781,5	9089,8	8850,0	9200
Saldo dobave	1308,5	1508,8	1517,9	1970,7	2224,9	3197,3	1915,6	1416,4	1856,6	2649,9	3097
Raspoloživo bruto	6000,8	6461,3	7027,1	7304,2	8505,6	9137,6	9548,2	10197,9	10946,4	11499,9	12297
Vlastita potrošnja	91,3	157,8	165,6	207,9	174,7	176,9	224,3	251,5	254,6	255,1	250
Gubici prijenosa	269,9	277,5	333,4	267,2	324,8	312,9	303,4	336,7	342,9	302,2	381
Gubici distribucije	505,9	482,5	487,5	469,2	534,7	582,1	659,5	720,4	776,5	680,6	856
Potrošnja neto	5133,7	5543,5	6040,6	6359,9	7471,4	8065,7	8361,0	8889,3	9572,4	10262,0	10810
Industrija	2585,8	2792,4	3093,9	3178,5	4159,2	4645,7	4777,8	5044,4	5401,6	5733,0	5977
Ugljenokopi	51,2	46,0	45,6	41,8	45,5	45,3	53,9	47,0	44,4	44,4	50
Cementare	163,7	187,7	225,9	225,2	248,5	304,4	287,3	277,8	278,8	361,7	367
Elektrokemija	494,7	456,0	533,8	466,0	567,4	537,1	532,1	522,1	552,4	566,8	557
Elektrometalurgija	326,0	321,1	340,4	347,9	1154,3	1422,3	1472,5	1480,4	1540,4	1550,0	1570
Ostala prodaja	1599,3	1510,3	1689,5	1801,6	1871,3	2001,4	2098,7	2363,8	2624,4	2842,6	3099
Vlast. snabdjev. ind.	250,9	271,3	258,7	296,0	272,2	335,2	333,3	353,3	361,2	367,5	334
Elektro vuča ŽTP	140,0	169,9	180,2	226,0	226,6	* 210,2	219,7	235,0	243,0	225,6	237*
Opća potrošnja	2407,9	2581,2	2766,5	2955,4	3085,6	3209,8	3363,5	3609,9	3927,8	4303,4	4596
Domaćinstva	1496,8	1637,9	1772,3	1943,9	2060,2	2132,7	2223,4	2360,4	2584,9	2904,8	3111
Komunal. potr.	* 208,0	* 231,0	* 270,0	* 261,0	263,0	291,0	473,0	572,0	622,0	667,0	649
Ost. potrošnja	708,1	712,3	724,2	750,5	762,4	786,1	667,1	677,5	720,9	731,6	836

Tablica 16

BILANCA PROIZVODNJE I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U SFRJ 1980.
u GWh [5]

Jugoslavija 1980	SFRJ	B i H	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
Proizvodnja na generatoru	59 716	11 177[1]	2 241	9 208	1 957	7 986	27 147
Vlastita potrošnja	3 438	817	25	329	107	500	1 660
Proizvodnja na pragu elektrana	56 278	10 360	2 216	8 879	1 850	7 486	25 487
Izvoz[1]	1 713	166	18	227	8	32	1 262
Uvoz[2]	1 304	46	371	76	455	136	220
Primljeno od drugih republika	—	202	1 273	3 488	1 945	981	2 282
Isporučeno drugim republikama	—	2 329	1 356	261	24	104	11 697
Gubici prenosa i razvoda	4 858	870	216	909	425	698	1 740
Raspoloživo za potrošnju	51 011	7 243	2 270	11 046	3 793	7 769	18 890
Industrija i rudarstvo	29 478	4 303	1 730	6 702	2 425	5 031	9 287
Rudnici uglja	894	220	4	59	186	63	362
Cementare	4 047	95	46	271	89	178	368
Elektrokemija	5 035	420	1 196	1 616	150	833	820
Elektrometalurgija	6 475	1 800	234	678	1 354	925	1 484
Ostala industrija	16 027	1 768	250	4 078	646	3 032	6 233
Pumpanje vode u akumul. HE	70	...	—	...	—	—	70
Elektroželeznička vuča	894	130	23	177	19	213	332
Tramvaji i trolejbusi	134	18	—	57	—	—	59
Javni vodovod	553	60	22	182	7	58	224
Javno osvetljenje	539	47	14	162	21	58	237
Domaćinstva (osvetljenje i aparati)	15 566	2 166	362	3 200	1 019	1 748	7 071
Poslovne i društvene prostorije	1 290	119	71	273	165	238	424
Motori i aparati ostalih potrošača	1 749	104	33	209	128	245	1 030
Poljoprivreda ukupno	738	296	15	84	9	178	156

[1] Kod SR Bosne i Hercegovine uključeno 78% proizvodnje HE »Trebišnjica« a kod SR Hrvatske 22%.
[2] Podaci Zajednice jugoslovenske elektroprivrede.
[3] ZEP-a nije uključena u zbir međurepubličke razmene.

Tablica 17

POGONSKA SNAGA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE PREMA TEHNOLOŠKOJ NAMJENI U INDUSTRIJSKIM ORGANIZACIJAMA SR HRVATSKE ZA 1979. GODINU[1])

u MWh

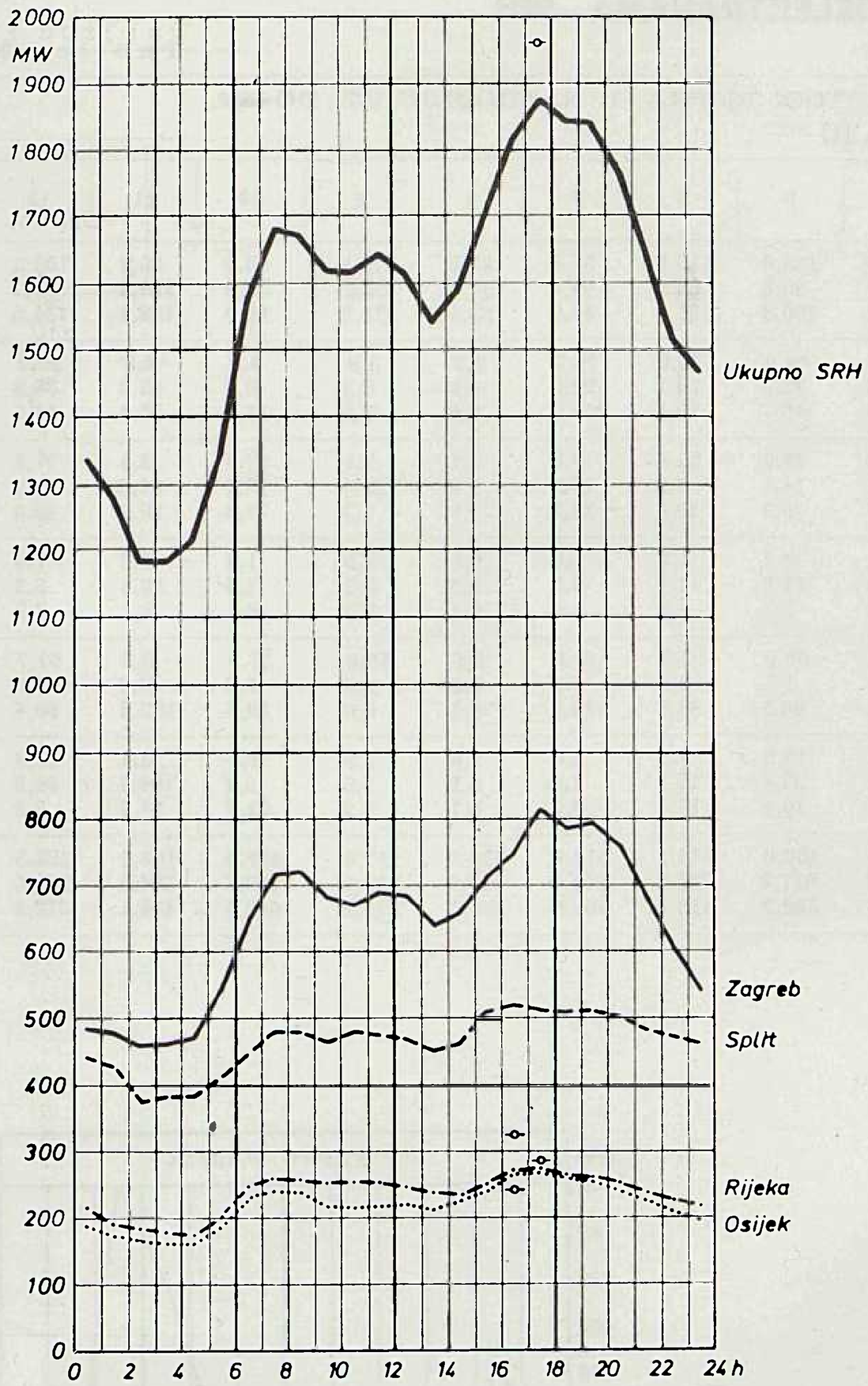
	Ukupna pogonska snaga	Snaga elektro-motora	Ukupno utrošena električna energija	Za termičke svrhe	Za elektrolize i galvanizaciju	Za elektro-motore	Ostalo
UKUPNO	1 956	1 831	5 661	675	1 388	3 297	301
Elektroprivreda	192	168	418	3	2	363	50
Proizvodnja ugljena	29	29	50	—	—	50	—
Prerada ugljena	12	8	18	—	—	18	—
Proizvodnja nafte i zemnog plina	32	19	30	—	—	26	4
Proizvodnja naftenih derivata	113	96	232	1	—	226	6
Crna metalurgija	82	82	505	395	—	105	5
Proizvodnja ruda obojenih metala	10	1	0,7	—	—	0,7	—
Proizvodnja obojenih metala	18	18	1 402	5	1 308	85	4
Prerada obojenih metala	41	41	69	16	—	52	1
Proizvodnja nemetalnih minerala	10	9	11	—	—	10	1
Prerada nemetalnih minerala	26	25	124	43	—	74	7
Metaloprerađivačka djelatnost	143	131	218	55	7	140	16
Strojogradnja	83	82	70	6	—	53	11
Proizvodnja prometnih sredstava	22	22	20	3	—	15	2
Brodogradnja	88	88	77	2	—	57	18
Proizvodnja električnih strojeva i aparata	51	51	74	19	4	40	11
Proizvodnja osnovnih kemijskih proizvoda	119	107	545	80	59	388	18
Prerada kemijskih proizvoda	57	57	103	17	2	72	12
Proizvodnja kamena, pijeska i šljunka	55	39	53	—	—	50	3
Proizvodnja građevnog materijala	190	189	473	2	—	449	22
Proizvodnja rezane građe i ploča	42	42	60	1	—	55	4
Proizvodnja finalnih proizvoda od drveta	87	87	117	2	—	103	12
Proizvodnja i prerada papira	70	69	211	—	—	204	7
Proizvodnja tekstilnih prediva i tkanina	77	77	237	3	—	212	22
Proizvodnja gotovih tekstilnih proizvoda	31	31	61	3	—	47	11
Proizvodnja kože i krzna	11	11	11	—	—	10	1
Proizvodnja kožne obuće i galanterije	16	16	23	—	—	18	5
Prerada kaučuka	22	22	48	2	—	40	6
Proizvodnja prehrambenih proizvoda	151	149	287	9	3	243	32
Proizvodnja pića	24	23	46	2	—	38	6
Proizvodnja stočne hrane	18	18	20	—	—	18	2
Proizvodnja i prerada duhana	4	4	8	—	—	7	1
Grafička djelatnost	18	17	29	2	—	23	4
Proizvodnja raznovrsnih proizvoda	3	3	5	—	1	4	—

Ukupna pogon. snaga je suma snaga elektromotora i prim. pokretača koji ne pokreću generatore

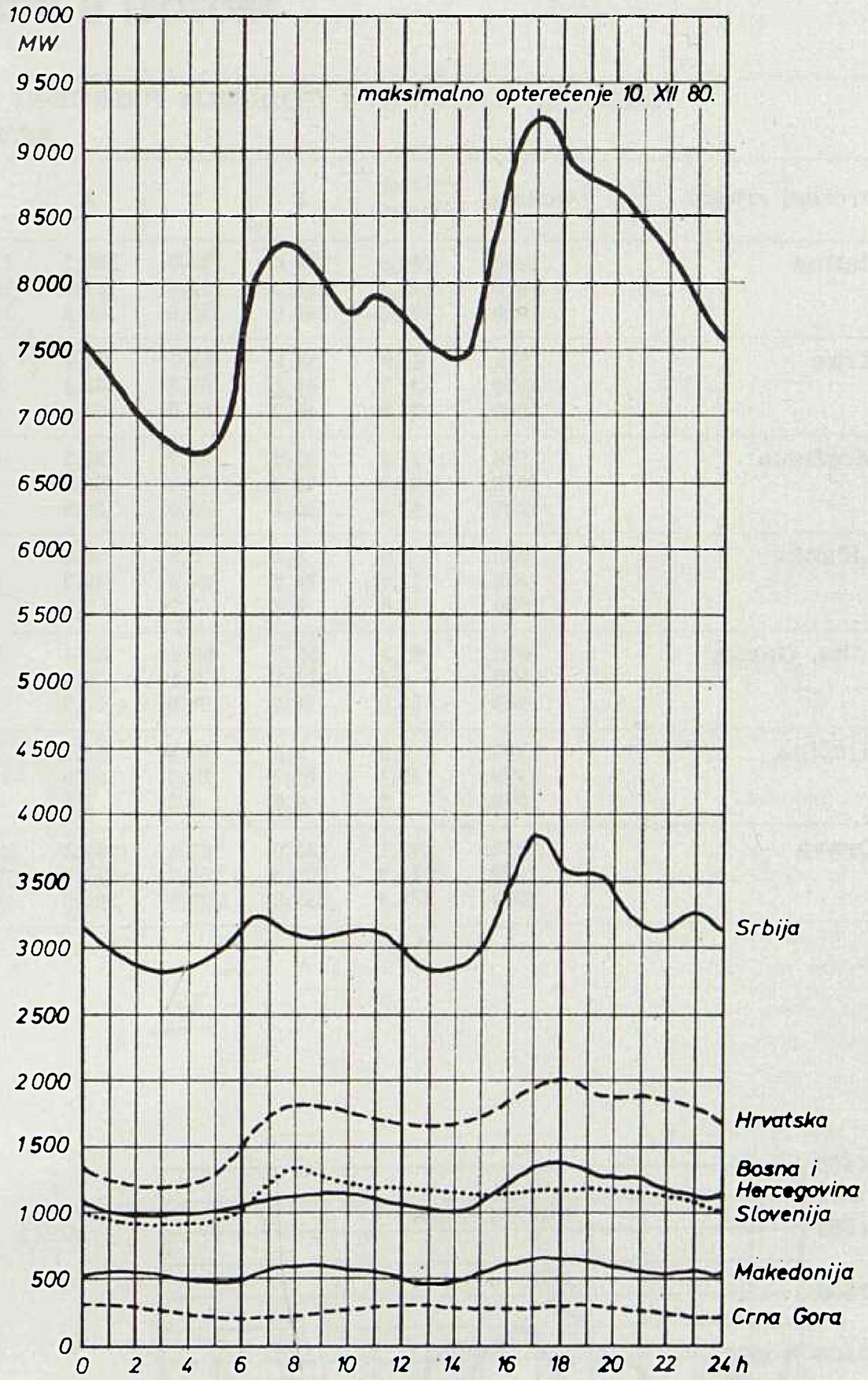
Tablica 18

RAZVOJ NETO SPECIFIČNE PROIZVODNJE I POTROSNJE 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.	3 882	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



Sl 7. Dnevni dijagram opterećenja za SRH
Srijeda 17. XII 1980.



Sl. 8. Dnevni dijagram opterećenja za SFRJ
10. XII 1980.

Tablica 19

BILANCA PROIZVODNJE I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI
u GWh [5]

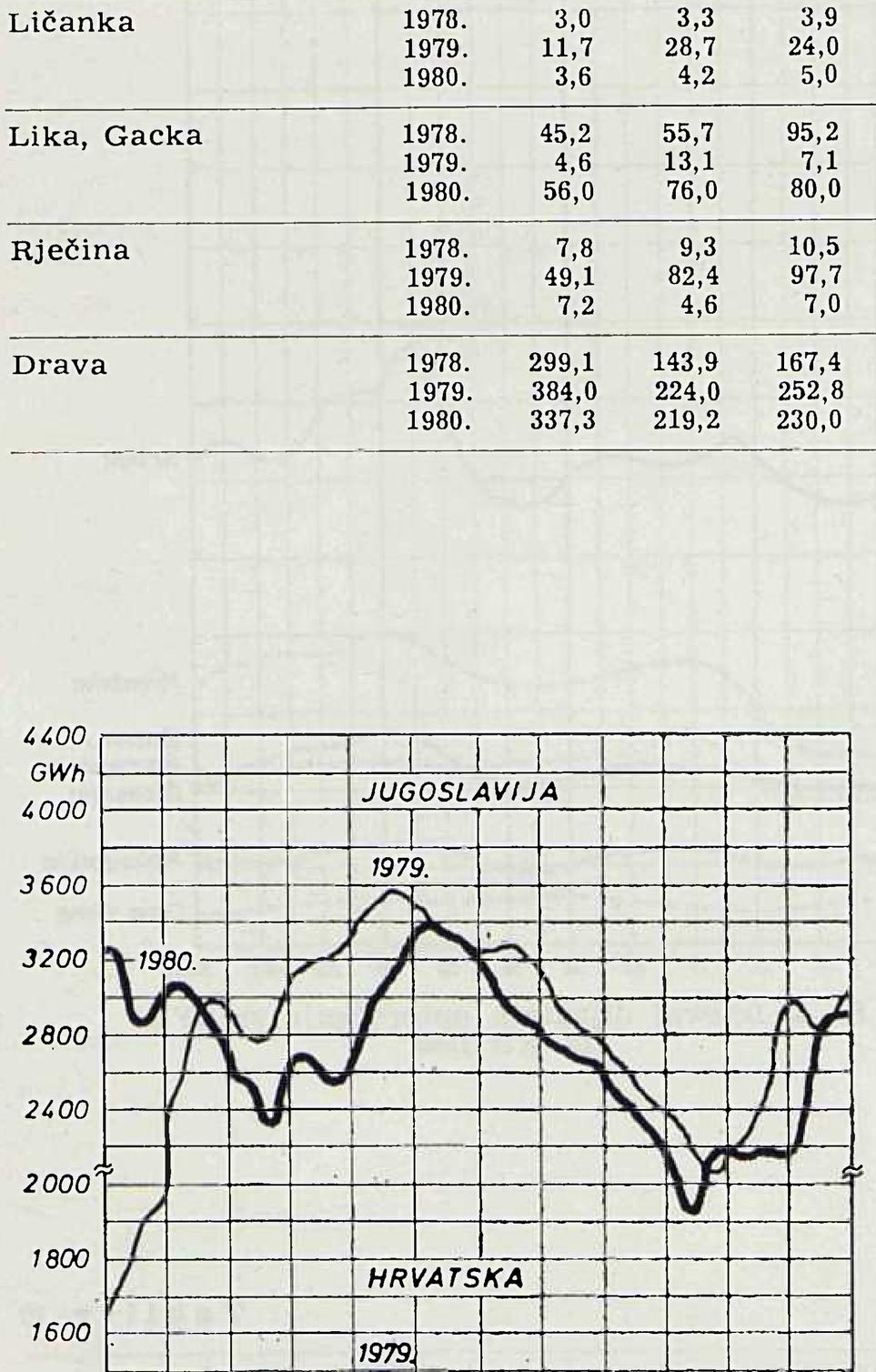
	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.*	1980.
Proizvodnja na generatoru	26 023	29 509	33 231	35 062	39 456	40 040	43 573	48 580	51 755	54 966	59 716
Potrošnja u elektrani	1 256	1 484	1 435	1 746	1 807	1 897	2 150	2 171	2 421	2 614	3 438
Proizvodnja na pragu	24 767	28 025	31 796	33 416	37 649	38 143	41 423	46 409	49 344	52 352	56 278
U v o z	361	104	227	304	625	676	1 263	340	642	1 952	1 713
I z v o z	152	266	905	353	625	433	1 063	1 505	1 294	1 088	1 304
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
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
Domaćinstva	6 082	6 911	7 674	8 621	9 431	10 351	11 019	12 058	13 076	14 162	15 566
Poslov. i društv. prost.	968	871	903	1 129	948	1 080	1 069	1 142	1 106	1 245	1 290
Motori i aparati	928	1 083	1 211	1 435	1 541	1 367	1 468	1 603	1 594	1 658	1 749
Javno osvetljenje	242	279	297	322	321	334	352	390	413	443	539
Javni vodovod	273	310	366	347	382	380	398	447	471	515	553
Tramvaji i trolejbusi	80	73	77	69	75	62	66	81	85	89	134
Poljoprivreda	168	301	275	304	272	422	511	598	636	650	738
Opća potrošnja ukupno	8 711	9 828	10 803	12 227	12 970	13996	14 883	16 319	17 381	18 762	20 569
Elektroželježnička vuča	301	460	591	648	729	699	707	745	790	771	894
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
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

PROTOCI U HIDROELEKTRANAMA SRH

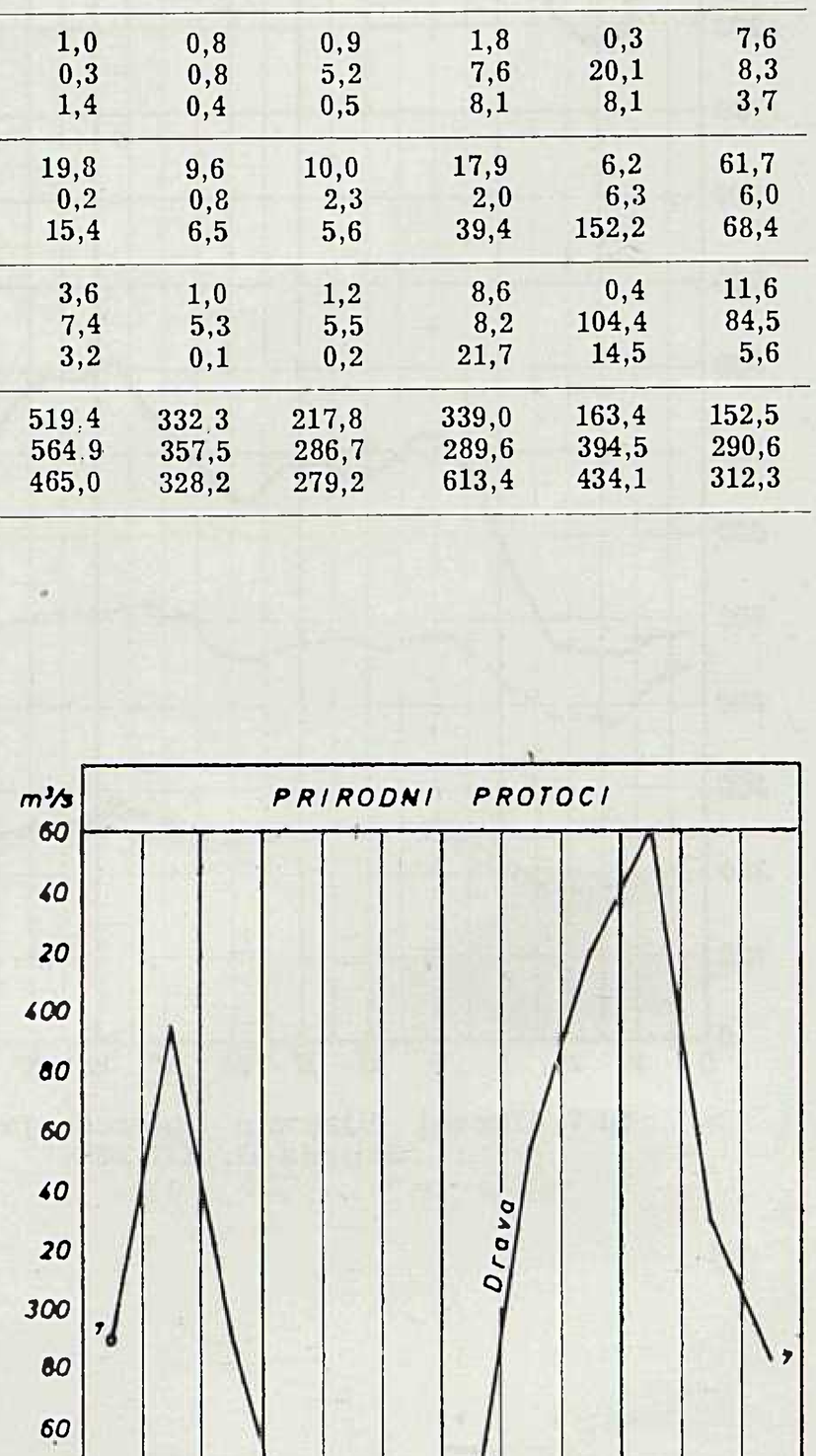
Tablica 20

SREDNJI MJESEČNI I GODIŠNJI PRIRODNI PROTOCI RIJEKA, U RAZDOBLJU 1978. DO 1980.
m³/sek. [1]

Protoci rijeka	Godina	Prosjek Ukupno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cetina	1978.	104,5	157,6	183,8	195,3	159,3	135,0	116,6	57,3	37,6	39,1	43,5	26,2	103,2
	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
Krka	1978.	30,9	53,1	63,0	63,4	49,5	40,0	31,0	16,7	9,8	8,9	8,8	6,8	20,0
	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
Mrežnica	1978.	31,2	33,2	32,7	99,3	67,2	45,0	20,6	9,3	3,1	7,1	17,9	2,4	37,6
	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
Ličanka	1978.	3,0	3,3	3,9	6,5	5,0	4,0	1,5	1,0	0,8	0,9	1,8	0,3	7,6
	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
Lika, Gacka	1978.	45,2	55,7	95,2	82,8	92,3	60,0	31,7	19,8	9,6	10,0	17,9	6,2	61,7
	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
Rječina	1978.	7,8	9,3	10,5	14,3	14,6	10,0	9,3	3,6	1,0	1,2	8,6	0,4	11,6
	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	7,0	2,5	5,6	10,2	10,7	3,2	0,1	0,2	21,7	14,5	5,6
Drava	1978.	299,1	143,9	167,4	249,8	306,6	450,0	548,1	519,4	332,3	217,8	339,0	163,4	152,5
	1979.	384,0	224,0	252,8	311,2	339,2	617,3	701,6	564,9	357,5	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



Sl. 9. Kretanje akumulacija u SRH i SFRJ



Sl. 10. Hidraulicitet vodotoka u hidrološkoj godini 1978/1979.: 1. Cetina, 2. Krka, 3. Dobra — Mrežnica, 4. Ličanka — Lokvarka — Križ, 5. Lika — Gacka, 6. Riječina, 7. Drava

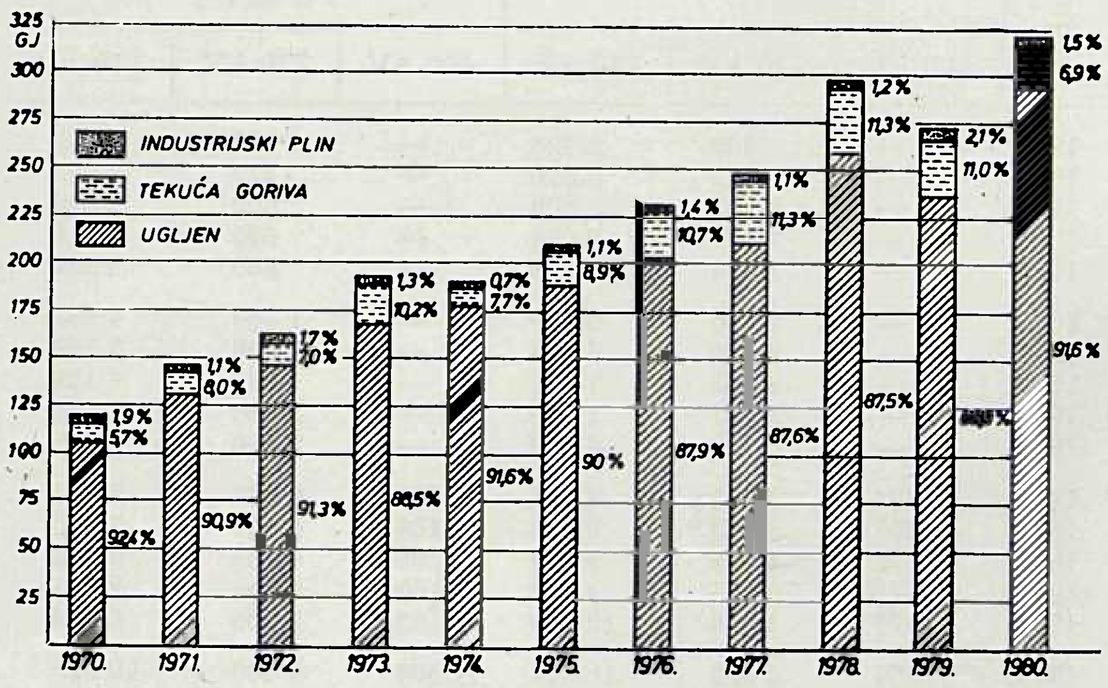
POTROŠNJA GORIVA U TERMOELEKTRANAMA

Tablica 21

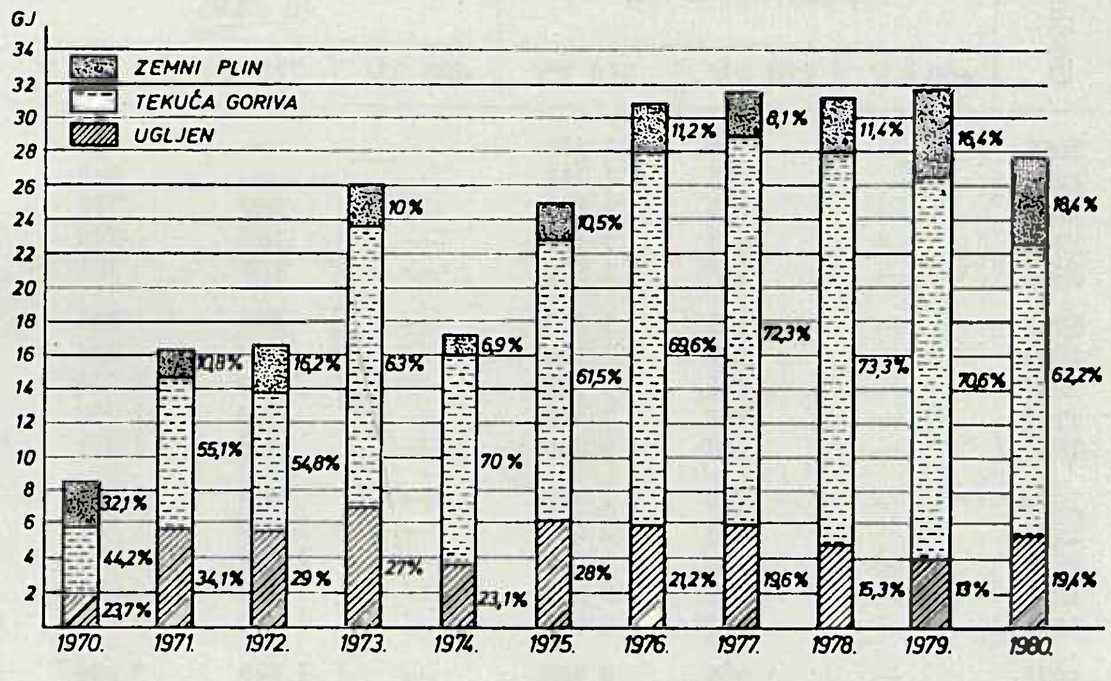
POTROŠNJA GORIVA U UDRUŽENIM TERMOELEKTRANAMA JUGOSLAVIJE
[4]

	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

Napomena: Gorivo samo za proizvodnju električne energije



Sl. 11. Potrošnja topline za proizvodnju električne energije, udruženih termoelektrana Jugoslavije



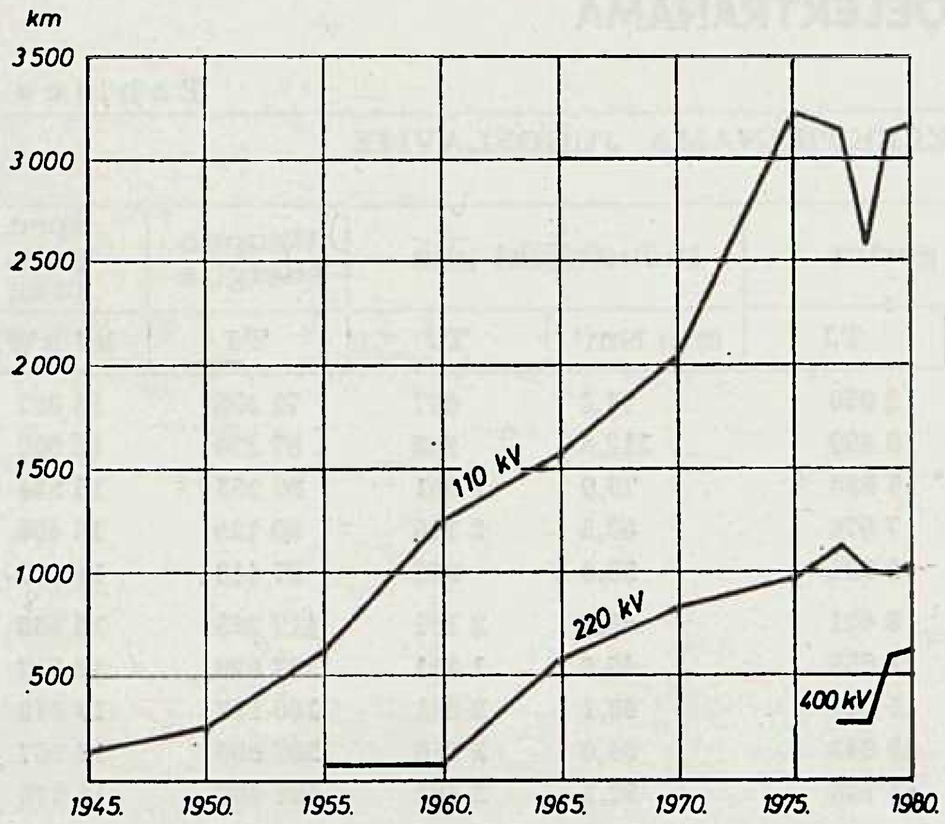
Sl. 12. Potrošnja topline za proizvodnju električne energije, udruženih termoelektrana SR Hrvatske

Tablica 22

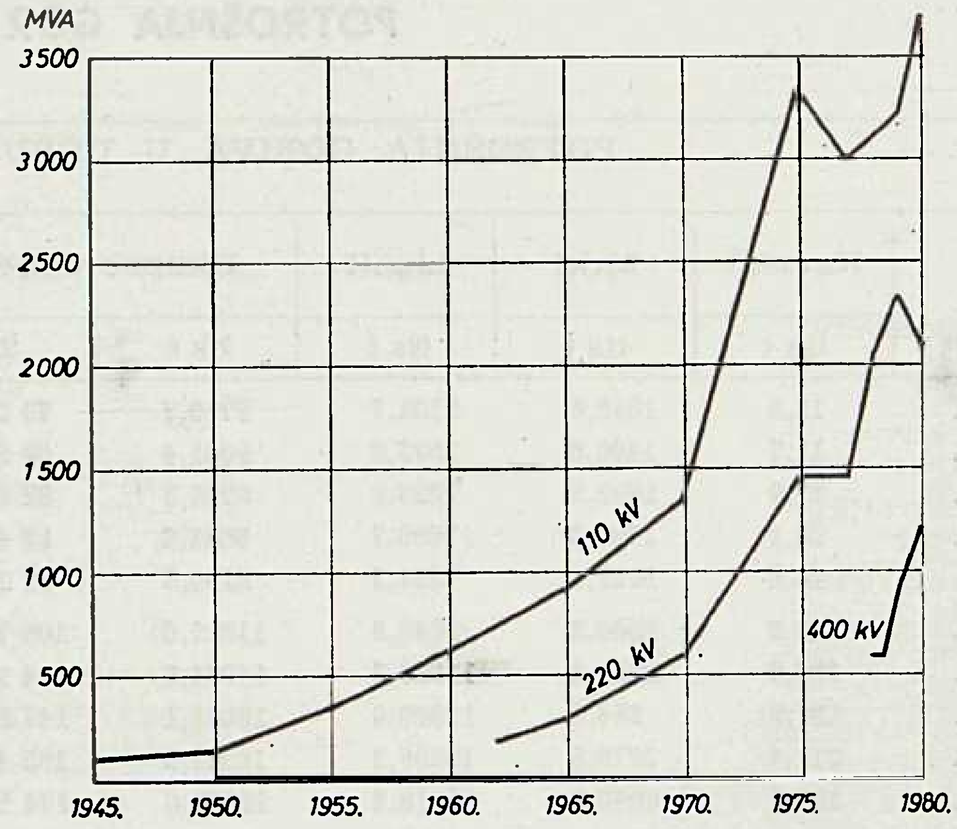
POTROŠNJA GORIVA U UDRUŽENIM TERMOELEKTRANAMA HRVATSKE
[2]

	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

Napomena: Gorivo samo za proizvodnju električne energije



Sl. 13. Duljina električnih dalekovoda elektroprivrede Hrvatske



Sl. 14. Instalirana snaga transformatora u elektroprivredi Hrvatske

Tablica 23

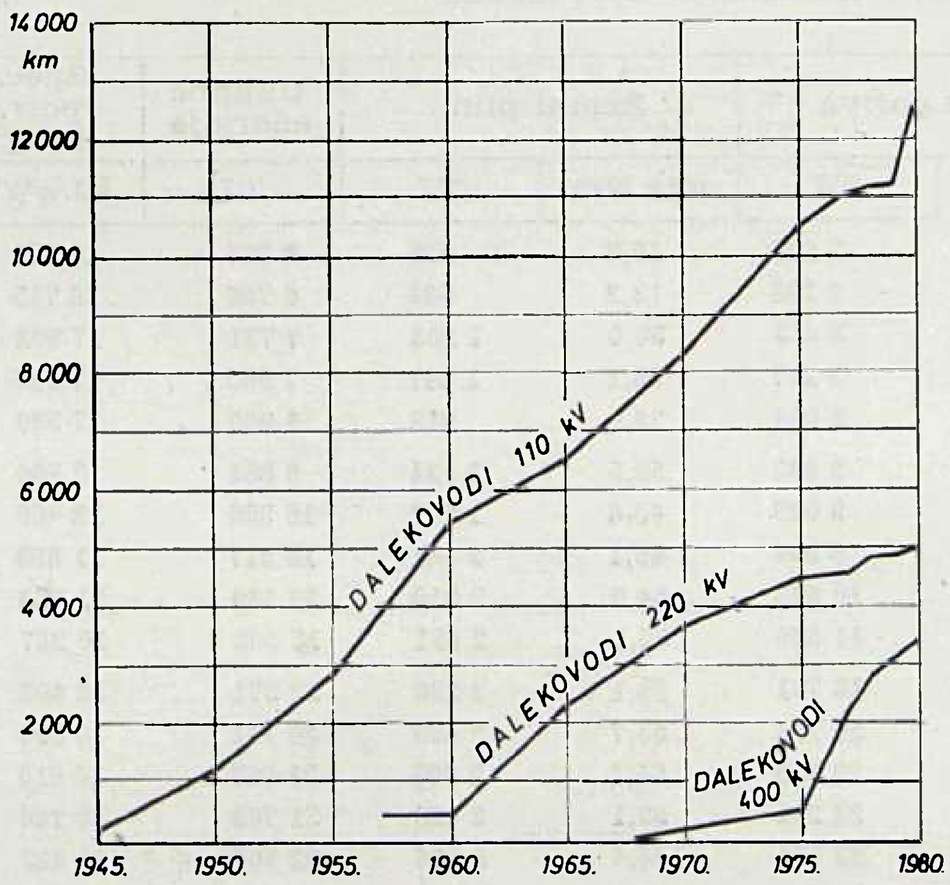
RAZVOJ PRIJENOSNE MREŽE HRVATSKE
[1] [2]*

Godina	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

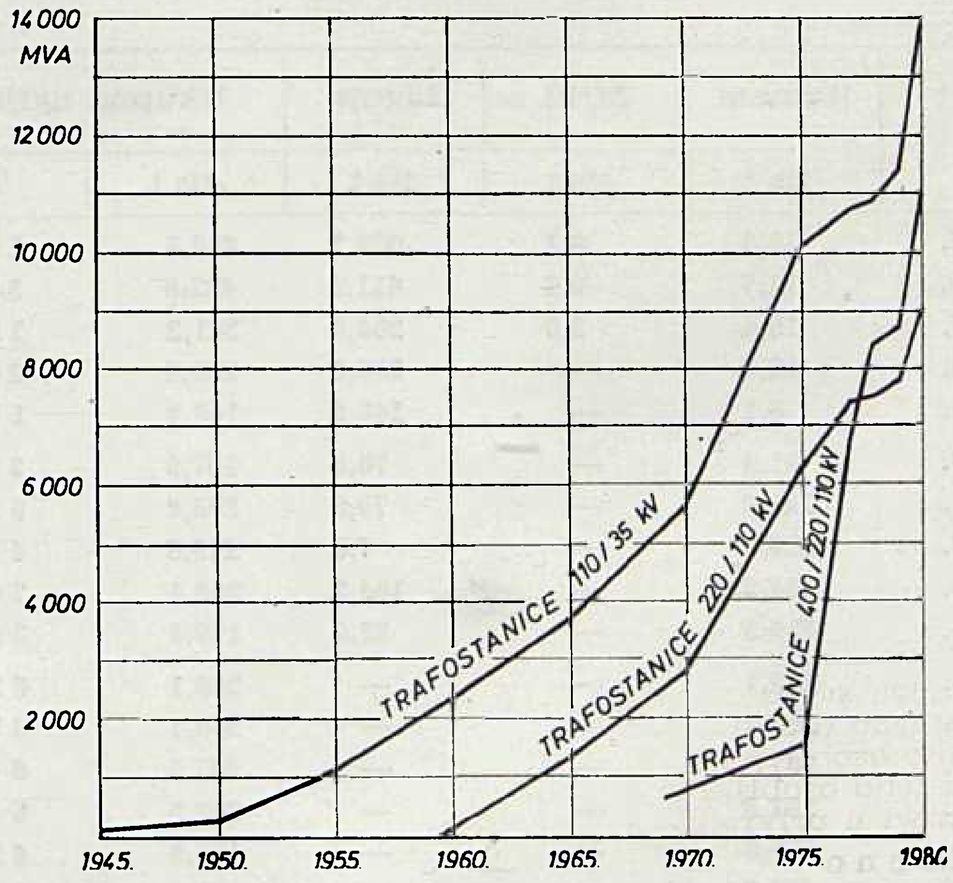
Tablica 24

RAZVOJ PRIJENOSNE MREŽE JUGOSLAVIJE
[4]

Godina	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	7 815
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.	3 403	4 942	12 572	11 000	9 031	13 981



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 1980.

Područje / Poduzeća	Površina km²	Naselja				Domaćinstva				
		Ukupno broj	Elektrificirano broj	Neelektrificirano broj	Elektrificiranost %	Ukupno broj	Elektrificirano broj	Neelektrificirano: u elektrificiranim naseljima broj	Neelektrificirano: u neelektrificiranim naseljima broj	Elektrificiranost %
Elektroslavonija Osijek	10.221	742	720	22	97	231.308	220.697	10.098	513	95
Elektrolika Gospić	5.563	252	236	16	94	29.682	27.862	990	830	94
Elektroistra Pula	2.823	649	645	4	99	62.656	62.614	15	27	100
Elektroprimorje Rijeka	4.369	657	617	40	94	116.167	115.006	513	648	99
Elektrodalmacija Split	12.357	897	882	15	98	231.783	230.117	993	673	99
Elektra Karlovac	4.224	811	801	10	99	66.236	65.975	69	192	99
Elektra Sisak	3.313	364	361	3	99	55.668	54.138	1.530	—	97
Elektra Zagreb	14.228	2.643	2.614	29	99	592.763	585.967	5.172	1.624	99
SR HRVATSKA	57.008	7.015	6.876	139	98	1.386.263	1.362.376	19.380	4.507	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 1980.

[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	—	—	—	8,1	46,3	26,9	—	—	81,3
Nabava od udružene	1296,7	83,2	556,4	944,8	1725,1	283,1	319,0	3336,9	8545,2
Nabava od industrije	—	—	—	—	2,2	0,2	3,0	—	5.4
Saldo direktne dobave	5,6	5,6	—	—	—	—5,7	14,0	—0,2	19,4
Raspoloživo BTTO	1302,4	88,8	556,4	952,9	1773,6	304,5	336,0	3336,7	8651,3
Gubici distribucije	154,6	13,2	34,2	84,1	176,5	34,3	34,4	324,8	856,1
Potrošnja neto po područjima:	1147,8	75,6	522,2	868,8	1597,1	270,2	301,6	3011,9	7795,2
OSIJEK	1147,8	—	—	—	—	—	—	—	1147,8
RIJEKA	—	75,6	522,2	868,8	—	—	—	—	1466,6
SPLIT	—	—	—	—	1597,1	—	—	—	1597,1
ZAGREB	—	—	—	—	—	270,2	301,6	3011,9	3583,7

ZAPOSLENO OSOBLJE U ELEKTROPRIVREDI

Tablica 27

ZAPOSLENO OSOBLJE U UDRUŽENOJ ELEKTROPRIVREDI I DISTRIBUCIJI JUGOSLAVIJE

[4]

Osoblje	1970.	1971	1972.	1973.	1974.[1]	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.
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	—	22	—	—	—	—	...
U k u p n o	14 060	14 210	15 826	16 514	15 562	16 201	18 044	19 970	18 337	19 363	...

[1] Prosječan broj radnika na bazi ukalkuliranih radnih sati.

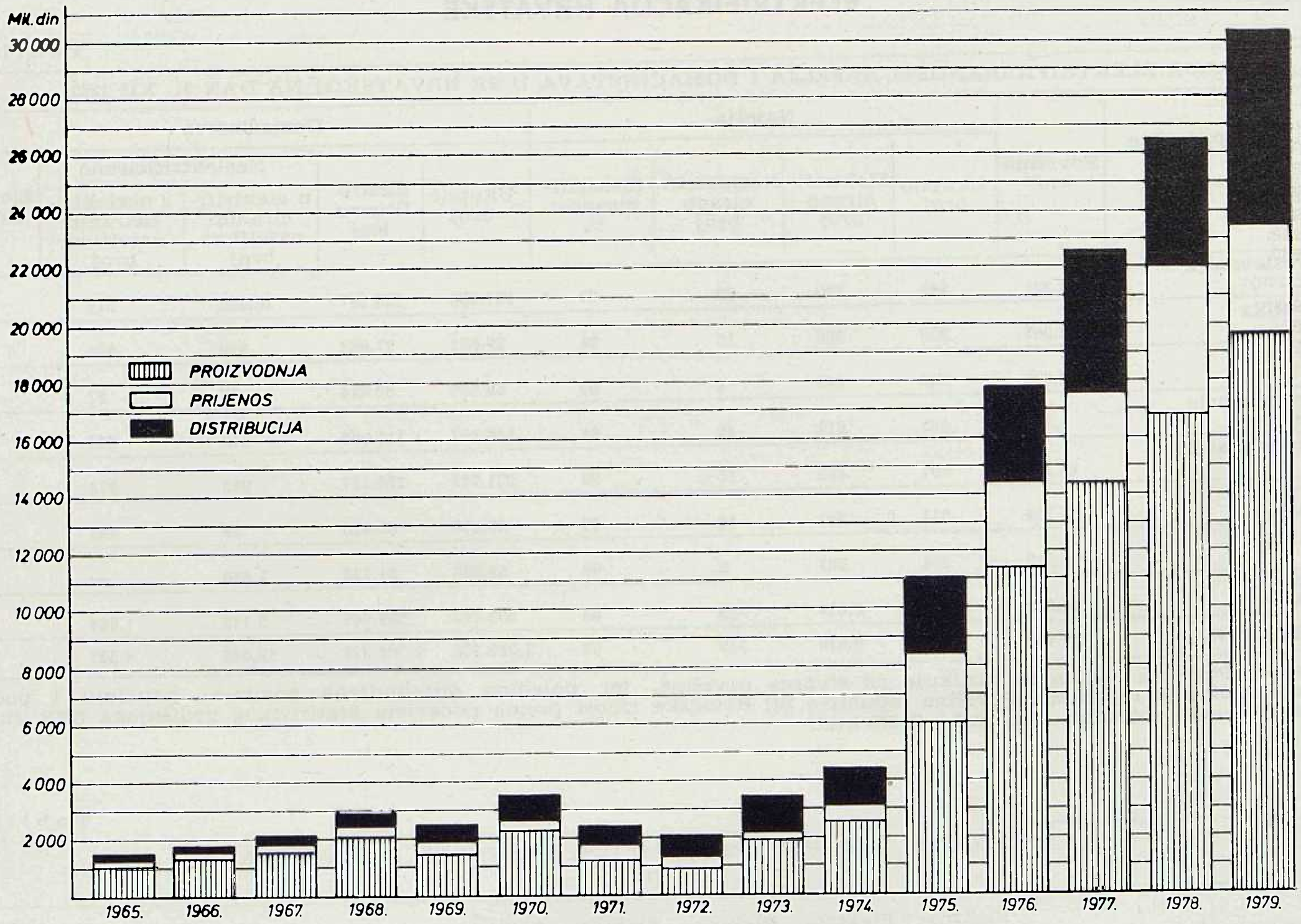
Tablica 28

ZAPOSLENO OSOBLJE U UDRUŽENOJ ELEKTROPRIVREDI, DISTRIBUCIJI I PODUZECIMA U IZGRADNJI SR HRVATSKE

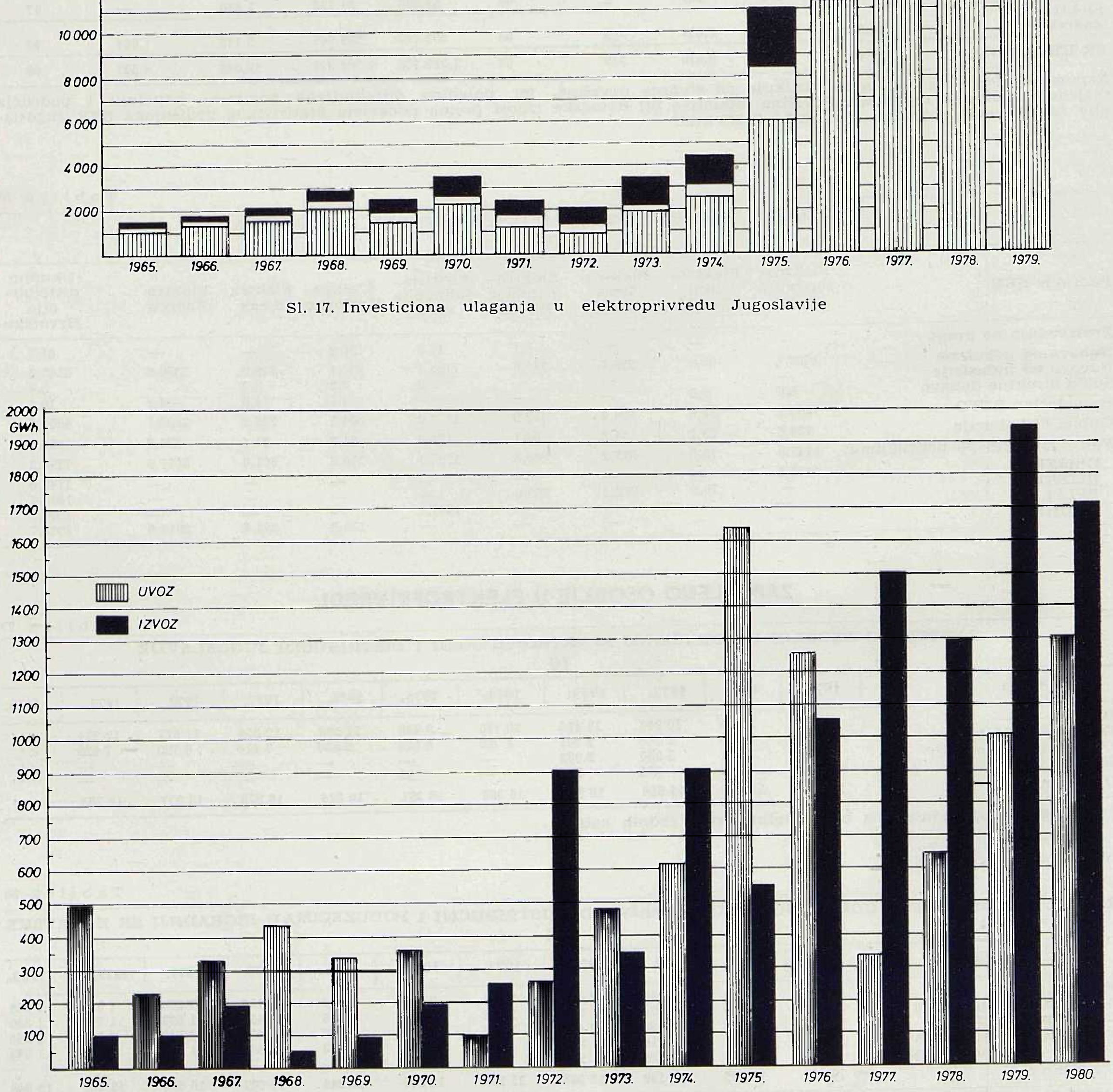
[2]

Osoblje	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.
Radnici, svega	6 501	6 800	7 185	7 687	7 681	7 437	7 349	7 156	7 256	7 912	7 908
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
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
Pomoćno osoblje, svega	254	331	216	845	830	800	773	832	1 067	1 068	1 049
Učenici u privredi, svega	319	309	126	204	211	—	—	—	—	—	—
U k u p n o	10 193	10 755	11 139	12 203	11 906	12 309	13 244	13 911	16 654	15 262	15 945

Podaci za proizvodno-prenosne i distributivne organizacije prema SAS-PR obrascima za 1977. god.



Sl. 17. Investiciona ulaganja u elektroprivredu Jugoslavije



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	ČSSR	Albanija	Švicarska	UKUPNO
Uvoz										
1975.	605	305	152	37	170	97	—	276	—	1 642
1976.	583	225	89	67	132	69	—	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
Izvoz										
1975.	110	—	—	418	2	19	—	—	—	549
1976.	320	221	6	447	57	13	—	—	—	1 064
1977.	360	201	—	840	82	22	—	—	—	1 505
1978.	435	7	8	265	106	66	307	—	99	1 293
1979.	697	42	1	097	80	109	—	—	126	1 952
1980.	671	138	100	237	127	428	—	—	12	1 713

Izvoz u ČSSR bio je preko Mađarske i Rumunjske.

Tablica 30

IZVOZ I UVOZ ELEKTRIČNE ENERGIJE U NEKIM ZEMLJAMA EVROPE U 1979. 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	●			370					4670		401								23			113		5577
Belgija		●					7100		14				3										907	8024
Bugarska			●													47						1	651	700
Čehoslovačka	767			●				2203			406				194	127								3697
Danska					●				387					217				856						1460
Finska						●												1597						1597
Francuska		1177					●		2729			1200					900		3643	1				9650
DR Njemačka				382				●	61						2221								108	2772
SR Njemačka	1000	1050			114		3550		●				395						3276				2030	11415
Grčka										●												21		21
Mađarska	257			1732							●					74						50		2113
Italija							820					●							1266			200		2286
Holandija		4509							269				●											4778
Norveška					2253									●				2979						5232
Poljska				3213				1830							●									5043
Rumunjska											1219					●						10		1229
Španjolska							2500										●							2500
Švedska					2039									516				●						2555
Švicarska	127						2200		7246			5128							●			26		14727
Vel. Britanija							10													●				10
SSSR			4326	1526		705					6256				2186	54					●		392	15424
Jugoslavija	42		80							105	4	697				831						●		1759
Ostale zemlje							20	70	1	96					113	108						392	●	800
Ukupan uvoz	2193	6736	4406	7208	4406	2223	16200	3963	15631	201	8286	7025	398	846	4601	1241	900	5432	8208	1	—	813	4088	105016

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
	1977.	36 552	2 409	6 350	32 611	366	2 427	29 818	13 017	1 903	14 898	3 965
	1978.	36 929	2 941	5 703	34 167	559	2 523	31 085	13 246	2 012	15 827	4 139
	1979.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
Belgija	1975.	39 020	4 215	5 067	38 168	335	2 194	35 619	20 331	928	14 460	3 638
	1977.	44 774	5 203	6 587	43 390	306	2 413	40 671	22 877	869	16 925	4 137
	1978.	48 357	5 283	8 060	45 579	368	2 572	42 640	23 521	907	18 212	4 333
	1979.	49 648	6 736	7 965	48 420	467	2 702	45 250	25 144	950	19 186	4 593
Bugarska	1975.	22 266	3 902	279	25 889	—	2 387	23 502	14 305	806	8 391	2 695
	1977.	26 537	4 046	704	29 879	—	2 785	27 094	16 107	923	10 164	3 093
	1978.	28 254	4 551	738	32 067	—	3 148	28 919	17 090	1 001	10 828	3 148
	1979.	28 254	4 406	652	36 249	—	2 282	33 421	17 160	1 081	15 180	3 724
Čehoslovačka	1975.	52 969	5 419	1 208	57 181	287	4 388	52 506	31 717	3 000	17 789	3 557
	1977.	59 668	5 370	2 820	62 218	428	4 748	57 042	34 324	3 202	19 516	3 823
	1978.	62 158	6 065	2 617	65 606	768	5 136	59 702	35 626	3 304	20 722	3 943
	1979.	61 175	7 208	3 844	64 539	707	5 019	58 813	34 828	3 303	20 682	3 856
Francuska	1975.	178 400	8 800	6 200	181 000	300	12 000	168 700	85 350	7 299	76 051	3 188
	1977.	202 481	12 684	7 640	207 525	697	14 822	192 008	92 488	7 879	91 641	3 617
	1978.	217 252	15 814	11 526	221 524	753	15 934	204 853	. . .	. . .	. . .	3 845
	1979.	230 700	16 200	10 400	236 500	1 000	17 000	218 500	116 000	7 400	95 100	4 085
Mađarska	1975.	18 680	5 802	1 678	22 804	—	1 970	20 834	11 275	1 184	8 375	1 977
	1977.	21 453	5 408	965	25 896	—	2 202	23 694	12 329	1 307	10 058	2 225
	1978.	23 504	5 762	1 210	28 056	—	2 369	25 687	13 184	1 352	11 151	2 403
	1979.	22 527	8 286	2 160	28 653	—	2 305	26 348	13 361	1 358	11 629	2 462
Grčka	1975.	15 151	108	97	15 162	—	1 148	14 010	7 897	46	6 067	1 561
	1977.	17 700	67	25	17 742	—	1 685	16 057	8 363	45	7 649	1 751
	1978.	19 744	143	116	19 871	—	1 367	18 504	9 889	37	8 578	1 977
	1979.	20 739	201	23	20 917	—	1 468	19 449	. . .	145	. . .	2 060
Italija	1975.	140 785	5 080	2 540	143 361	2 229	12 000	129 132	76 450	3 850	48 832	2 512
	1977.	159 665	5 621	2 841	162 440	2 239	. . .	145 825	86 721	4 285	54 819	. . .
	1978.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
	1979.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
Holandija	1975.	51 924	53	312	51 665	—	2 421	49 244	23 159	. . .	. . .	3 608
	1977.	55 755	986	275	56 499	—	2 531	53 890	26 466	905	26 519	3 891
	1978.	58 888	619	275	59 223	—	2 674	56 558	28 141	921	27 496	4 057
	1979.	61 685	398	257	61 826	—	2 794	59 033	29 435	. . .	29 597	4 207
Norveška	1975.	76 927	99	5 695	71 103	. . .	6 449	64 694	39 498	532	24 664	. . .
	1977.	. . .	2 654	1 563	. . .	252	. . .	65 849	34 711	589	30 549	. . .
	1978.	. . .	845	4 242	77 707	215	8 036	69 456	. . .	557	. . .	17 107
	1979.	. . .	846	5 487	84 369	390	8 794	75 185	. . .	. . .	. . .	18 472
Poljska	1975.	90 361	2 411	2 924	89 848	550	8 586	80 712	47 569	4 037	29 106	2 372
	1977.	101 787	3 110	3 081	101 807	614	9 740	91 453	53 963	4 499	32 991	2 636
	1978.	107 496	4 717	5 111	107 102	612	11 019	95 471	55 697	4 733	35 041	2 727
	1979.	109 227	4 601	5 050	108 778	890	10 971	96 917	55 581	4 707	36 629	2 750
Rumunjska	1975.	50 214	502	3 007	48 019	—	4 059	43 723	32 161	1 206	10 356	2 058
	1977.	. . .	1 566	1 692	. . .	—	. . .	51 683	. . .	1 449	. . .	. . .
	1978.	. . .	. . .	. . .	. . .	—	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
	1979.	60 774	1 241	1 959	60 057	—	3 924	56 121	. . .	1 766	. . .	2 542
Španjolska	1975.	78 399	792	1 405	77 786	540	8 160	69 141	44 741	1 549	22 851	. . .
	1977.	89 685	1 403	2 341	88 747	2 274	8 782	78 065	48 409	1 632	28 042	2 148
	1978.	95 236	1 729	3 260	93 705	1 783	9 563	82 359	49 877	1 613	30 869	2 239
	1979.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
Švedska	1975.	78 584	6 313	5 369	79 528	22	7 524	71 981	38 718	2 040	31 223	8 778
	1977.	87 448	3 327	5 183	85 592	42	7 805	77 745	38 485	2 107	35 153	9 458
	1978.	90 324	2 410	3 418	89 316	27	7 857	81 432	39 128	2 112	40 192	9 835
	1979.	92 434	5 432	4 086	93 780	138	8 416	85 364	41 296	. . .	. . .	10 927
SSSR	1975.	. . .	11 300	—	1 027 324	. . .	82 200	945 100	656 800	74 200	214 100	3 718
	1977.	. . .	—11 600	—	1 038 474	. . .	94 200	1 044 300	712 200	86 900	245 200	4 037
	1978.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
	1979.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
V. Britanija	1975.	254 097	196	121	254 172	1 430	19 595	233 147	85 160	2 897	145 090	4 166
	1977.	263 791	—	—	263 791	1 608	20 757	241 426	92 117	2 932	146 377	4 323
	1978.	268 804	7	83	268 728	1 429	21 812	245 487	93 370	2 971	149 146	4 398
	1979.	280 281	1	3	280 279	1 424	22 963	255 892	96 466	2 966	156 460	4 579
SAD	1975.	2 000 918	11 268	5 083	1 007 103	. . .	176 092	1 798 343	. . .	. . .	. . .	. . .
	1977.	2 210 031	. . .	. . .	. . .							. . .
	1978.	2 294 204	. . .	. . .	. . .							. . .
	1979.	2 318 783	20 971	2 793	2 336 696	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
DR Njemačka	1975.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
	1977.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
	1978.	85 566	4 008	3 165	86 379	1 544	6 532	78 303	37 952	1 716	38 635	4 672
	1979.	86 409	3 963	2 679	87 693	1 589	6 504	79 600	38 672	1 776	39 152	4 755
SR Njemačka	1975.	282 598	17 630	9 791	33 267	—	3 753	29 517	131 716	8 857	133 247	4 429
	1977.	315 394	5 980	—	321 374	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
	1978.	332 559	16 353	13 247	335 662	2 027	12 370	321 248	151 446	9 521	160 281	5 240
	1979.	350 449	15 631	15 002	351 078	2 160	13 335	335 583	161 495	10 501	163 585	5 470
Jugoslavija	1975.	38 143	676	433	38 386	—	4 445	33 951	18 235	761	14 965	1 591
	1977.	46 409	340	1 505	45 244	—	5 127	40 117	21 922	826	17 369	1 847
	1978.	48 829	642	1 294	48 177	—	4 965	43 212	23 966	875	18 371	1 972
	1979.	52 352	813	1 675	51 490	—	5 233	46 207	25 566	860	19 781	2 085

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
1965.	1 169	10 509	18 279	29 957	1 267	330	2 063	546	82	809	1 148	61	2 929
1966.	1 133	10 080	18 080	29 292	1 237	402	2 222	788	94	1 142	1 764	66	4 133
1967.	909	9 023	16 535	26 467	1 226	461	2 374	886	94	1 389	1 816	72	4 495
1968.	835	9 508	16 389	26 732	1 236	584	2 494	935	119	1 380	1 847	91	4 509
1969.	681	9 992	16 373	26 496	1 226	730	2 699	1 003	146	1 722	1 967	101	5 697
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	1 297	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	224	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.	390	9 806	36 657	46 853	. . .	1 767	4 300	2 188	335	4 482	4 572	. . .	14 535

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
1965.	9 267	146	1 342	2 006	7 075	10 868	458	594	267	. . .
1966.	10 012	142	1 336	1 906	6 562	11 379	444	898	337	. . .
1967.	10 598	139	1 317	1 830	6 455	11 226	436	1 168	404	. . .
1968.	11 613	148	1 279	1 880	6 598	11 210	486	1 443	516	. . .
1969.	12 883	165	1 274	1 951	6 746	10 627	545	1 603	660	. . .
1970.	13 815	143	1 360	2 110	7 065	12 829	555	1 952	893	. . .
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	. . .
1973.	18 184	179	1 718	2 253	6 935	18 711	845	3 038	1 199	. . .
1974.	20 509	179	1 858	2 152	6 726	19 244	825	3 227	1 300	. . .
1975.	21 466	176	1 793	2 224	6 697	21 240	906	3 444	1 500	. . .
1976.	22 381	155	1 692	2 819	7 129	22 390	867	3 766	1 454	. . .
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
Elektroprivreda	3 765	—	—	259	5 565	30 604	128	1 321	435	—
Proizvodnja uglja	673	—	—	0,5	36	41	25	—	—	—
Prerada uglja	132	—	—	—	—	145	—	—	—	—
Proizvodnja nafte i plina	39	—	—	—	—	—	6,0	—	190	—
Proizvodnja derivata nafte	373	—	10	—	—	—	101	88	84	27
Proizvodnja rude gvožđa	46	—	—	—	2,0	—	8,0	10	—	—
Crna metalurgija	4 523	18	44	40	16	106	5,0	386	227	3
Proiz. ruda obojenih metala	783	—	—	—		3,0	29	1,0	—	—
Proizvodnja obojenih metala	4 096	16	92	6,0	325	22	—	158	—	176
Prerada obojenih metala	423	—	—	—	—	—	5,0	14	—	1,0
Proizvodnja nemetala	159	—	—	—	2,0	2,0	15	6,0	2,0	1,0
Prerada nemetala	564	—	25	1,0	20	53	56	171	111	79
Metaloprerađivačka djelatnost	1 358	1,0	17	2,5	19	23	51	49	51	16
Strojogradnja	328	—	1,0	3,0	6,0	21	12	13	5,0	1,0
Proizvod. saobraćajnih sredstava	445	—	—	4,0	6,0	10	11	33	9,0	2,0
Brodogradnja	91	—	—	—	—	—	4,0	2,0	—	—
Proiz. električ. mašina i aparata	545	—	1,0	4,0	4,8	4,0	10	31	4,0	3,0
Proizvod. kemijskih proizvoda	2 451		2,0	—	119	40	13	116	361	5,0
Prerada kemijskih proizvoda	418	—	—	—	9,0	5,0	14	61	22	1,0
Proizvodnja kamena i pijeska	158	—	—	—	3,0	23	29	16	—	—
Proizv. građevinskog materijala	1 561	58	27	71	208	187	53	892	426	16
Proizvod. rezane građe i ploča	439	—	—	—	46	18	6,0	64	4,0	—
Proiz. finalnih proiz. od drveta	472	—	—	—	19	9,0	10	30	2,0	—
Proizvodnja i prerada papira	1 438	—	—	—	68	45	3,0	109	77	—
Proizvodnja prediva i tkanina	1 090	—	—	—	1 5	74	5,0	145	29	1,0
Proizv. gotovih tekstilnih proizv.	347	—	—	4,0	16	13	16	77	13	1,0
Proizvodnja kože i krzna	73	—	—	2,0	29	17	—	36	1,0	—
Proizv. kožne obuće i galant.	76	—	—	1,0	1,0	4,0	2,0	5,0	1,0	—
Prerada kaučuka	227	—	—	—	17	5,0	1,0	57	8,0	—
Proizv. prehrambenih proizvoda	1 094	—	31	6,0	152	186	77	430	39	—
Proizvodnja pića	208	—	—	7,0	10	5,0	13	112	9,0	—
Proizvodnja stočne hrane	79	—	—	1,0	3,0	—	9,0	1,0	3,0	—
Proizvodnja i prerada duhana	52	—	—	1,0	2,0	—	4,0	12	2,0	—
Grafička djelatnost	129	—	—	—	4,0	1,0	3,0	5,0	2,0	—
Proizv. raznovrsnih proizvoda	25	—	—	—	1,0	—	1,0	3,0	1,0	—

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
1965.	751	468	738	1 957	10	156	1 414	467	73	714	805	34	2 219
1966.	765	403	603	1 771	8	189	1 545	681	78	1 019	1 340	45	3 387
1967.	611	280	411	1 302	8	232	1 702	749	76	1 176	1 399	46	3 793
1968.	506	283	384	1 174	2	330	1 818	755	97	1 108	1 253	63	3 631
1969.	381	191	344	916	—	404	1 934	667	114	1 076	703	68	3 086
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	3 149	207	8 398
1978.	288	—	—	288	259	934	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	1 357	218	2 464	2 862	. . .	8 490

Tablica 35

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE I GORIVA U INDUSTRIJSKIM PODUZEĆIMA I POGONIMA SR HRVATSKE[1]

[3]

Godina	Elektro-energija	Antracit	Koks	Kameni ugljen	Mrki ugljen	Lignit	Tekuće gorivo	Mazut	Zemni plin	Ukapljeni plin
	GWh	u tisućama tona							mln m³	tis. tona
1965.	1 888	81	226	229	916	1 191	296	189	143	6,2
1966.	2 054	76	234	179	831	854	280	311	176	11,4
1967.	2 196	74	196	130	778	645	293	416	178	5,7
1968.	2 339	87	203	108	700	627	278	490	272	5,4
1969.	2 524	89	190	91	692	513	230	538	351	9,3
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
Elektroprivreda	428	—	—	205	149	—	1	915	283	—
Proizvodnja ugljena	46	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Prerada ugljena	18	—	—	1 047	—	—	—	—	—	—
Proizvod. nafte i zemnog plina	29	—	—	—	—	—	6	—	210	—
Proizvod. derivata nafte	219	—	10	—	—	—	83	6	2	—
Crna metalurgija	491	—	202	—	10	—	2	46	37	—
Proizvod. ruda obojenih metala	1	—	—	—	—	—	1	—	—	—
Proizvod. obojenih metala	1 454	—	—	—	—	—	—	2	—	—
Prerada obojenih metala	75	—	—	—	—	—	1	—	—	1
Proizvod. nemetalnih minerala	8	—	—	—	—	—	—	—	1	—
Prerada nemetalnih minerala	1118	—	—	—	—	9	6	38	25	17
Metaloprerađivačka djelatnost	219	—	35	—	5	4	10	3	25	4
Strojogradnja	71	—	—	—	—	1	4	2	2	1
Proizvod. prometnih sredstava	20	—	—	—	—	—	1	1	3	—
Brodogradnja	75	—	—	—	—	—	2	2	—	—
Proizvod. elektr. stroj. i aparata	79	—	—	—	1	2	2	1	2	1
Proizvod. osn. kem. proizvoda	560	—	—	—	—	—	—	65	263	3
Prerada kemijskih proizvoda	121	—	—	—	2	—	4	12	8	—
Proiz. kamena, pijeska i šljunka	61	—	—	—	—	1	12	5	—	—
Proizvod. građevnog materijala	532	24	—	38	51	5	7	313	150	—
Proizvod. rez. građe i ploča	60	—	—	—	1	—	—	3	—	—
Proizvod. final. proizv. od drveta	122	—	—	—	—	4	3	3	2	—
Proizvod. i prerada papira	226	—	—	—	64	—	—	7	6	—
Proizvod. tekst. prediva i tkanina	256	—	—	—	8	—	1	24	16	—
Proizvod. gotovih tekstil. proizv.	73	—	—	—	4	2	4	14	2	—
Proizvod. kože i krzna	11	—	—	2	—	—	—	4	1	—
Proizvod. kož. obuće i galanterije	23	—	—	—	—	—	—	1	1	—
Prerada kaučuka	49	—	—	—	—	—	—	5	—	—
Proizvod. prehramb. proizvoda	285	—	6	1	73	43	21	90	32	1
Proizvodnja pića	47	—	—	—	—	—	6	16	3	—
Proizvod. stočne hrane	18	—	—	—	—	—	3	—	—	—
Proizvod. i prerada duhana	10	—	—	—	—	—	—	1	2	—
Grafička djelatnost	32	—	—	—	1	—	—	—	2	—
Proizvod. raznovrsnih proizvoda	5	—	—	—	—	—	—	2	1	—

[1] Uključivo količine goriva koje su korištene za tehnološke svrhe.

[2] Nisu uključene bivše neindustrijske organizacije i zajednice koje su prema Jedinstvenoj klasifikaciji djelatnosti prošle u područje industrije i rudarstva.

Tablica 36

PROIZVODNJA I POTROŠNJA UKUPNE ENERGIJE

Količine u 000 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.	11 051	1 817	3 748	3 129	2 357	29 196	5 784	15 960	5 286	2 166	3 880
	1975.	10 874	1 699	2 962	3 293	2 921	26 977	5 313	13 565	5 737	2 362	3 587
	1978.	10 571	1 538	2 603	3 369	3 062	29 751	4 674	15 430	6 925	2 722	3 963
	1979.	10 158	1 375	2 513	2 942	3 330	32 150	5 337	16 872	7 117	2 824	4 283
Belgija	1973.	8 993	8 842	. . .	65	86	60 389	16 480	32 554	11 363	7	6 199
	1975.	8 673	7 725	. . .	61	887	54 686	13 329	27 636	12 938	782	5 580
	1978.	8 237	6 590	. . .	46	1 601	59 285	14 037	30 460	13 528	1 259	6 025
	1979.	7 857	6 125	. . .	48	1 684	61 340	15 307	30 226	14 274	1 533	6 229
Bugarska	1973.	14 390	13 580	276	267	267	35 132	19 112	15 086	267	667	4 075
	1975.	15 013	14 087	177	133	616	39 148	19 715	16 829	1 543	1 061	4 489
	1978.	14 520	13 038	358	39	1 085	43 090	18 977	18 289	4 270	1 554	4 889
	1979.	15 944	14 236	378	162	1 167	45 602	19 777	19 202	4 939	1 684	5 095
Čehoslovačka	1973.	62 486	60 841	252	1 070	324	83 218	60 415	18 268	3 686	848	5 716
	1975.	64 483	62 753	211	1 027	492	88 115	61 659	20 371	5 074	1 010	5 953
	1978.	67 592	65 540	175	1 372	505	96 853	64 605	23 270	8 048	929	6 398
	1979.	67 731	65 877	163	911	780	98 937	65 388	24 278	8 076	1 194	6 489
Francuska	1973.	48 649	27 808	3 075	10 031	7 734	210 572	44 249	140 865	18 838	7 140	4 073
	1975.	47 487	25 187	2 753	9 845	9 703	200 022	39 463	125 544	25 005	10 010	3 795
	1978.	47 979	22 344	2 880	10 480	12 275	223 424	45 723	134 443	30 456	12 802	4 194
	1979.	47 354	20 987	3 009	10 214	13 144						
Madžarska	1973.	20 098	11 427	3 086	5 572	12	31 673	14 627	10 658	5 803	585	3 036
	1975.	19 715	10 448	3 234	6 013	20	33 663	13 597	12 560	6 979	525	3 194
	1978.	22 519	10 106	4 070	8 326	17	39 392	13 271	15 783	9 761	577	3 687
	1979.	22 469	10 074	3 950	8 428	17	40 666	13 043	16 907	9 946	771	3 801
Grčka	1973.	2 851	2 578	. . .	. . .	273	15 007	3 182	11 546	—	279	1 681
	1975.	3 745	3 498			248	15 704	4 213	11 241	—	249	1 736
	1978.	4 486	4 119			368	19 002	4 577	14 042	—	383	2 030
	1979.	4 903	4 445			458	19 705	4 973	14 263	—	470	1 979
Italija	1973.	27 520	473	1 612	19 931	5 504	161 070	11 073	121 899	22 486	5 612	2 933
	1975.	27 241	439	1 810	18 982	6 010	163 335	11 516	116 582	28 909	6 327	2 946
	1978.	27 765	688	2 518	17 884	6 676	172 407	12 123	117 770	35 576	6 937	3 041
	1979.	26 445	764	2 718	16 404	6 559	173 047	13 254	117 503	35 067	7 222	3 041
Holandija	1973.	89 344	1 722	2 268	85 217	137	77 951	3 839	29 008	45 133	—29	5 801
	1975.	111 457	. . .	2 301	108 746	410	79 746	3 183	26 596	49 588	378	5 841
	1978.	98 313	. . .	2 240	95 593	499	81 382	3 916	30 661	46 264	541	5 840
	1979.	117 015	. . .	2 083	114 429	503	91 210	4 258	33 340	53 042	570	6 501
Norveška	1973.	11 666	397	2 303	. . .	8 966	19 626	1 215	10 084	. . .	8 327	4 955
	1975.	23 658	373	13 487	276	9 522	19 968	1 292	9 569	276	8 831	4 983
	1978.	57 412	362	24 656	22 436	9 959	24 768	1 199	12 014	2 014	9 541	6 102
	1979.	68 924	248	26 591	31 162	10 923	26 520	1 016	13 039	2 354	10 111	6 511
Poljska	1973.	175 935	168 396	626	6 685	228	150 384	128 205	13 625	8 542	12	4 508
	1975.	191 880	183 586	858	7 144	292	167 484	141 598	15 573	10 084	229	4 923
	1978.	214 062	204 918	559	8 292	294	193 897	162 787	19 496	11 369	245	5 538
	1979.	220 955	212 427	612	7 612	303	200 350	168 791	19 938	11 366	256	5 688
Rumunjska	1973.	74 835	13 006	21 406	39 495	928	74 102	16 880	17 493	39 237	492	3 558
	1975.	84 880	13 844	21 908	48 056	1 072	84 309	18 446	17 328	47 771	763	3 968
	1978.	87 902	14 627	20 672	51 298	1 305	97 732	20 770	23 496	52 336	1 129	4 472
	1979.	87 940	15 837	18 650	52 137	1 316	101 251	22 209	23 839	54 047	1 156	4 588
Španjolska	1973.	15 561	9 791	1 331	2	4 436	65 390	13 626	46 078	1 498	4 189	1 876
	1975.	19 276	11 787	3 308	2	4 180	76 516	15 875	54 776	1 761	4 104	2 150
	1978.	23 169	15 191	1 932	1	6 045	82 054	18 650	55 408	2 144	5 857	2 231
	1979.	24 036	16 098	1 625	1	6 311	88 369	19 828	60 172	2 169	6 199	2 377
Švedska	1973.	7 647	20	. . .	. . .	7 626	46 771	2 197	36 858	. . .	7 717	5 748
	1975.	8 587	21			8 565	44 760	2 679	33 399		8 682	5 463
	1978.	10 059	27	1		10 031	46 333	2 110	34 316		9 907	5 597
	1979.	9 958	22	. . .		9 936	47 255	2 207	35 055		9 993	5 697
SSSR	1973.	1 396 492	474 806	624 533	280 383	16 770	1 153 974	460 966	393 316	283 911	15 751	4 621
	1975.	1 566 869	490 294	714 831	343 762	17 982	1 268 879	476 050	447 650	328 588	16 592	4 988
	1978.	1 811 768	511 208	832 452	442 438	25 670	1 409 115	496 157	481 415	407 177	24 365	5 387
	1979.	1 883 599	511 021	860 659	484 243	27 675	1 467 931	496 862	499 943	444 816	26 310	5 558
Velika Britanija	1973.	161 142	118 130	566	38 442	4 004	294 181	116 890	133 783	39 497	4 012	5 261
	1975.	168 074	113 119	2 310	48 305	4 340	276 562	110 138	112 564	49 511	4 349	4 948
	1978.	242 078	108 492	78 619	49 745	5 221	282 737	105 864	115 116	56 545	5 212	5 064
	1979.	278 516	109 853	114 845	48 729	5 089	286 973	111 505	109 820	60 559	5 089	5 135
S A D	1973.	2 104 714	512 512	749 067	798 777	44 358	2 418 462	467 498	1 087 170	817 680	46 114	11 494
	1975.	1 989 756	540 514	683 217	707 120	58 905	2 283 527	482 590	1 014 437	726 834	59 666	10 693
	1978.	1 992 402	516 266	702 105	704 736	69 294	2 451 593	492 424	1 153 686	733 808	71 676	11 243
	1979.	2 087 921	605 572	695 736	719 097	66 516	2 506 043	557 406	1 115 462	763 017	70 157	11 361
DR Njemačka	1973.	78 798	75 381	93	3 125	199	106 183	84 803	16 273	4 052	355	6 253
	1975.	79 227	75 412	81	3 240	493	110 491	82 792	20 100	7 021	577	6 557
	1978.	82 005	76 754	102	4 017	1 133	117 196	84 838	22 936	8 189	1 233	6 994
	1979.	82 813	77 259	145	4 265	1 144	117 488	84 414	23 113	8 694	1 267	7 016
SR Njemačka	1973.	170 282	133 316	9 661	23 950	3 354	352 389	121 403	183 423	42 942	4 620	5 686
	1975.	165 859	129 900	8 360	22 862	4 736	326 187	105 538	160 369	54 579	5 701	5 275
	1978.	160 932	122 314	7 357	24 565	6 696	357 296	107 450	177 024	65 745	7 078	5 828
	1979.	165 120	125 597	6 943	25 134	7 446	367 521	112 841	174 418	72 729	7 533	5 992
Jugoslavija	1973.	23 123	14 158	4 882	2 067	2 016	33 769	16 233	13 458	2 067	2 010	1 611
	1975.	25 503	15 438	5 396	2 294	2 376	37 717	17 859	15 158	2 294	2 406	1 766
	1978.	28 450	16 689	5 942	2 720	3 099	45 049	19 411	19 899	2 720	3 019	2 056
	1979.	29 751	17 825	6 039	2 619	3 267	46 783	20 312	20 691	2 619	3 160	2 111

RADE KONČAR

NEKA NOVA RJEŠENJA U POBOLJŠANJU KONTINUIRANE OPSKRBE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM ZRAČNIM VODOVIMA SREDNJEG NAPONA

Uvod

Prenapučenost velikih gradova i industrijskih središta, te nedovoljna propusna moć njihovih prometnica, sve više postaju ograničavajući faktor daljnjeg razvoja industrijske proizvodnje na postojećim lokacijama.

Već i do sada je često bilo nužno, a u buduće će biti još češće, da se prilikom novih ulaganja u proširenje proizvodnje, pronađu nove — uglavnom — disperzirane lokacije, više ili manje udaljene od sadašnjih.

Osim toga, u prigradskim selima razvija se i značajna djelatnost na području proizvodnje i prerade hrane, koja također zahtijeva sve više el. energije.

Svi ovi potrošači opskrbljuju se, pretežno, zračnim vodovima napona 12, 24 i 38 kV, koji su izloženi čestim kvarovima pod utjecajem atmosferskih prenapona.

Automatsko odvajanje voda u kvaru

Postojeća rješenja s ugradnjom linijskih rastavljača, ili rastavnih sklopki, na počecima krajnjih vodova, ne daju mogućnost brzog lociranja kvara, pa čitava područja ostaju duže vrijeme bez električne energije sa svim posljedicama koje iz tog proizlaze.

Druga mogućnost, koja na odvojcima zahtijeva postavljanje odgovarajuće transformatorske stanice (TS), sa prekidačem za ponovno uklapanje i pripadnom relejnom zaštitom, predstavlja i još će dugo predstavljati, ekonomski neprihvatljivo rješenje za ovu vrstu potrošača.

Nastojanja proizvođača el. opreme, da se i ovim potrošačima omogući sigurnija opskrba el. energijom dovela su do primjene uređaja za automatsko odvajanje zračnog voda u kvaru, koji se prigrađuje na svaku fazu linijskog rastavljača, prema sl. 1.

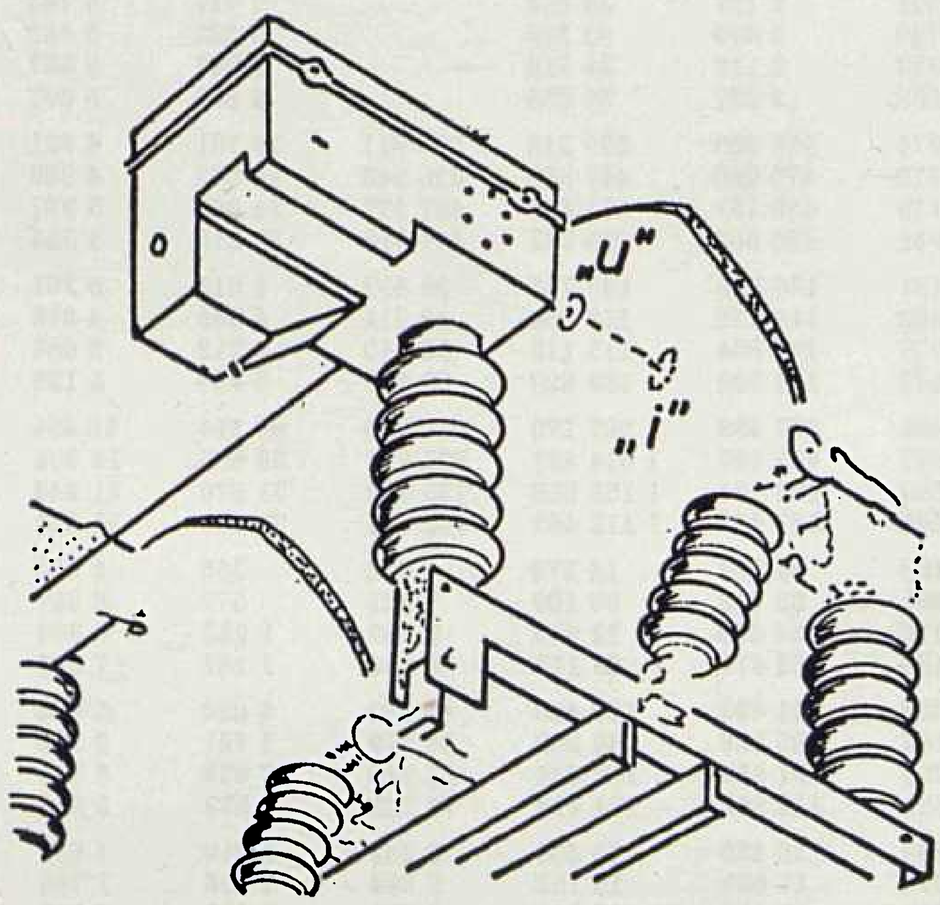
Primjenom ovog uređaja, omogućeno je veoma brzo odvajanje voda u kvaru, čime se osigurava nesmetana opskrba potrošača priključenih na druge krajnje vodove u promatranom konzumnom području.

Za naše razmatranje, pretpostavimo mrežu s četiri radijalno spojena voda — prema sl. 2. na čijim su počecima ugrađeni linijski rastavljači LR, ili rastavne sklopke, s uređajima za automatsko odvajanje voda u kvaru, proizvodnje »R. Končar« — OOUR Sombor.

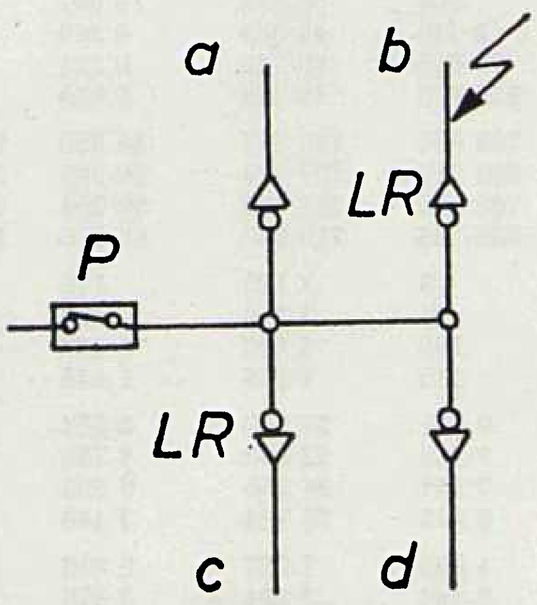
U slučaju pojave kvara na vodu (b), struja kratkog spoja I_k aktivira zaštitu prekidača (P), ugrađenog u TS na početku glavnog voda, koji prekida struju I_k za približno 0,1 — 0,2 sek. od njezinog nastanka.

Istovremeno je struja I_k aktivirala i automatski uređaj za odvajanje na vodu (b), koji nakon zatezanja od 10 do 20 sek. odvoji vod od preostalog dijela mreže.

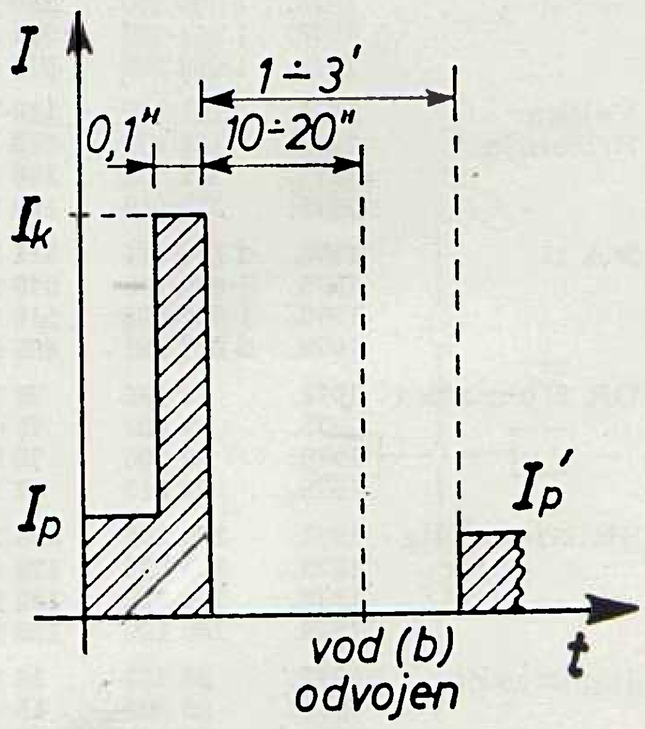
Uklapanjem prekidača, ručno ili automatski nakon pauze od 1 — 3 min., ponovno se nastavlja opskrba



Sl. 1.



Sl. 2.



Sl. 3.

potrošača priključenih na vodove (a), (c) i (d), kao što je vidljivo iz dijagrama na sl. 3.

$$I_p = I_k = 0$$

Prije otklanjanja kvara na vodu, potrebno je linijski rastavljač ručno otvoriti u krajnji isklopni položaj, čime se izdanak vidljiv na sl. 1. vrati iz položaja »i« u položaj »u« i na taj način ponovno zatvori strujni put kroz uređaj za automatsko odvajanje na vodu (b).

Samo po sebi razumljivo, ako je na početku glavnog voda ugrađen prekidač (P) suvremenih karakteristika, kao što su prekidači tipa M12 — 38 proizvodnje »RK« — OOUR Zagreb Borongaj, koji imaju mogućnost brzog ponovnog uklopa, te ako u TS postoji odgovarajući APU uređaj i ako se radi o prolaznom kvaru, prekidač (P) ponovo uklopi nakon pauze od 0,3 do 8 sek., da u tom slučaju automatski uređaj za odvajanje voda u kvaru neće proraditi, čime se nastavlja redovna opskrba i potrošača priključenih na vod (b).

Neke mogućnosti primjene uređaja za automatsko odvajanje voda u kvaru

Posebno je zanimljiv slučaj, ako na razvijenijem konzumnom području imamo i takve potrošače, koji ni kraću stanku u opskrbi el. energijom ne mogu prihvatiti zbog zastoja u proizvodnom procesu. Primjer opskrbe važnijih potrošača na vodovima A i B, uz korištenje dva prekidača i linijskih rastavljača s uređajem za automatsko odvajanje voda u kvaru, prikazan je na slici 4.

U našem primjeru, ponovno je pretpostavljen kvar na odvojku (b). Struja kratkog spoja istovremeno potiče relej za automatsko odvajanje voda (b), te odgovarajuće zaštite na prekidačima P_1 i P_2. Zaštita prekidača u glavnoj TS, je tako podešena da prekidač P_1 prvi isklopi, dok je vremensko zatezanje na uređaju za automatsko odvajanje voda u kvaru — kako već znamo — od 10 do 20 sekundi. Uređaj za brzo ponovno uklapanje, uz prekidač P_1, odmah proslijedi impuls za ponovni uklop, te prekidač — nakon beznaponske pauze od približno 0,3 sek. — ponovno uklopi.

Ako je kvar bio prolaznog karaktera, opskrba el. energijom nastavlja se dalje bez ikakvih smetnji na čitavom području, kao što je opisano u prvom dijelu ovog članka.

Međutim, ako je na vodu (b) kvar trajnog karaktera, uklapanjem prekidača P_1 ponovno se u vodu (b), kao i kroz prekidače P_1 i P_2 uspostavlja struja kratkog spoja I_k. Za ovaj slučaj, zaštite na prekidačima se tako podešene, da drugo isklapanje izvrši prekidač P_2 u područnoj TS.

Ovime je mjesto kvara odvojeno prekidačem P_2, čime je osigurana nesmetana opskrba potrošača priključenih na vodovima A i B. Dijagram struje kroz prekidač P_1 prikazan je u ovom primjeru na sl. 5.

Nakon 10 do 20 sekundi po isklopu prekidača P_2, tj. nakon prestanka djelovanja struje kratkog spoja I_k, uređaj za automatsko odvajanje voda u kvaru, odvoji vod (b) od ostalog dijela mreže, čime vod (b) trajno ostaje izvan pogona dok se kvar točno ne pronađe i otkloni. Za potrošače priključene na vodove (a), (c), i (d), uspostavit će se ponovno redovna opskrba el. energijom jednu do tri min. nakon isklopa prekidača P_2 u područnoj TS, a dijagram struje kroz prekidač P_2 prikazan je u tom slučaju na sl. 6.

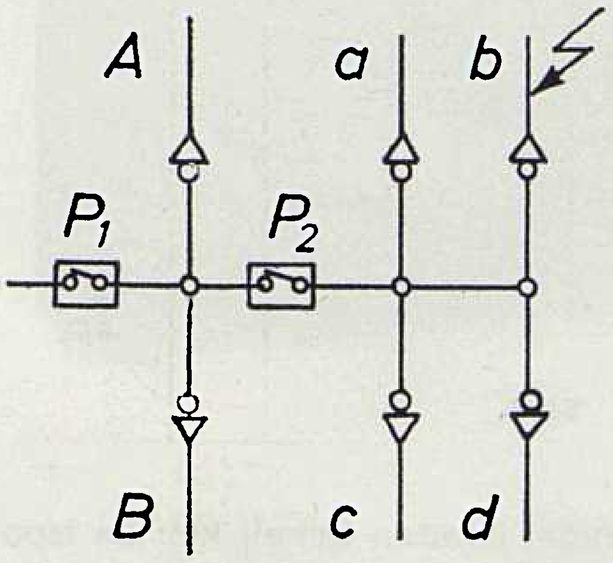
Zaključak

Iz navedenih primjera se vidi da uređaj za automatsko odvajanje voda u kvaru omogućava:

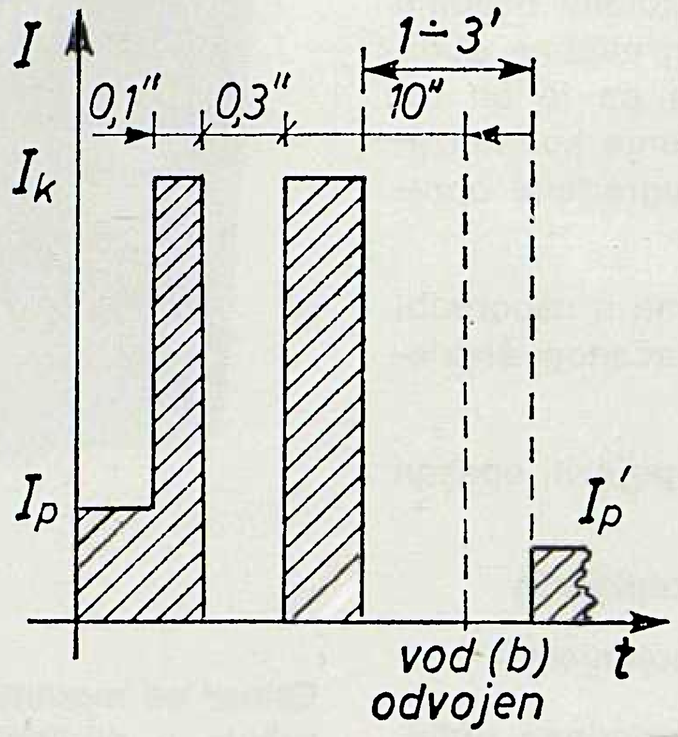
— sigurniju opskrbu el. energijom, radi manjeg broja ispada, jer izvan pogona ostaje samo vod u kvaru,
— kraće vrijeme za pronalaženje i otklanjanje kvara,
— manje troškove za otklanjanje nastalih kvarova,
— manje ljudstva i vozila za održavanje zračnih mreža srednjeg napona.

Sve ove prednosti potvrđuju zaključak, da se ubuduće može očekivati značajna primjena uređaja za automatsko odvajanje voda u kvaru na zračnim mrežama srednjeg napona.

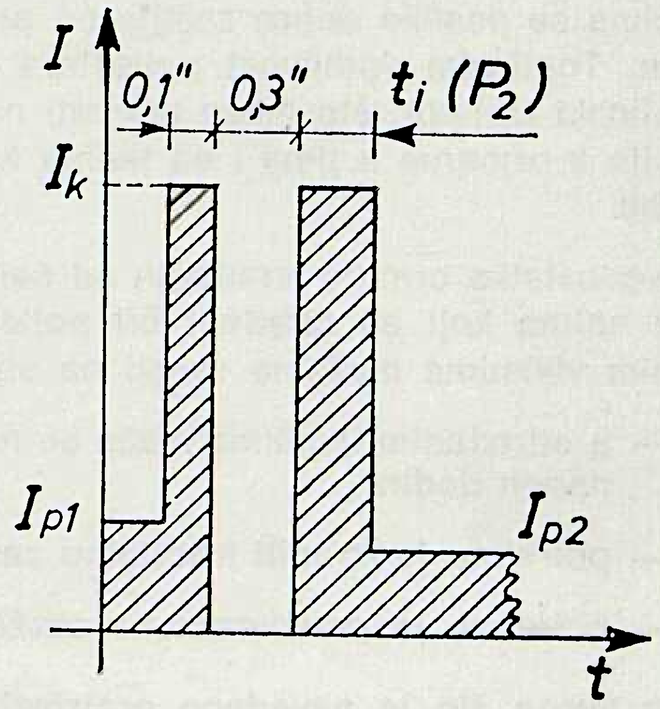
Naslov pisca:
Josip Polanc, dipl. ing.
RO »Rade Končar« — Elektrouređaji



Sl. 4.



Sl. 5.



Sl. 6.

Razvodni ormari od izolacijskog materijala

Nagli razvoj gradskih naselja uvjetovao je sve veću primjenu kabela u distributivnim elektroenergetskim mrežama. Pri izgradnji tih mreža nužan je određen broj tipova ormara za rješavanje:

— čvornih točaka u kabelskoj mreži

— kabelskog razvoda i upravljanja javnom rasvjetom.

U praksi se to rješava ormarima, različitih tipova i izvedaba. Svaka distributivna organizacija ima svoje rješenje a posljedica je ta da proizvođači opreme izrađuju male serije i nemaju mogućnost da postignu kvalitetnija tehnička rješenja. Sagledavajući sve to, TEP je izradio tri osnovna tipa slobodnostojećih ormara od poliestera ojačanog staklenim vlaknima koji mogu zadovoljiti sve uvjete da se ugradi oprema koja se koristi u elektrodistribuciji.

Materijal za izradu ormara

U posljednjih nekoliko godina sve veću primjenu u elektrotehnici ima poliester ojačan staklenim vlaknima. To je materijal s dobrim električnim i mehaničkim karakteristikama, veoma otporan na atmosferske utjecaje i na ultraviolete zrake. Te osobine omogućuju da uspješno zamjenjuje metale, čelični lim i silumin kao materijale za izradu kućišta razvodnih ormara i ormarića.

Osobine poliestera ojačanog staklenim vlaknima jesu:

mala gustoća, postojanost na koroziju, veoma dobre mehaničke osobine te kao najvažnije dobre izolacione osobine čime se postiže dobra zaštita od previsokog napona dodira. Toplinska vodljivost poliestera je niska pa je on toplinski izolator, što može utjecati na smanjenje kondenzacije u ormarua a time i na manju koroziju ugrađene opreme.

Nedostatke ormara izrađenih od čeličnog lima u usporedbi s onima koji su izrađeni od poliestera ojačanog staklenim vlaknima možemo svesti na sljedeće:

— u određenim uvjetima može se na njima pojaviti opasan napon dodira

— potrebno je izraditi kvalitetno zaštitno uzemljenje

— potrebno je pravovremeno održavanje bojenjem.

Iz svega što je navedeno proizlazi da je primjena poliesterskog ormara tehnički opravdana.

Ako gledamo s ekonomskog stajališta, onda se cijena jednog uređaja u zaštiti »zaštitno izoliranje« može prikazati na ovaj način:

C_k zaš. izol. = $C_{kl} + C_{kzuz}$

C_k zaš. izol. = cijena uređaja u izvedbi zaštitno izoliranje

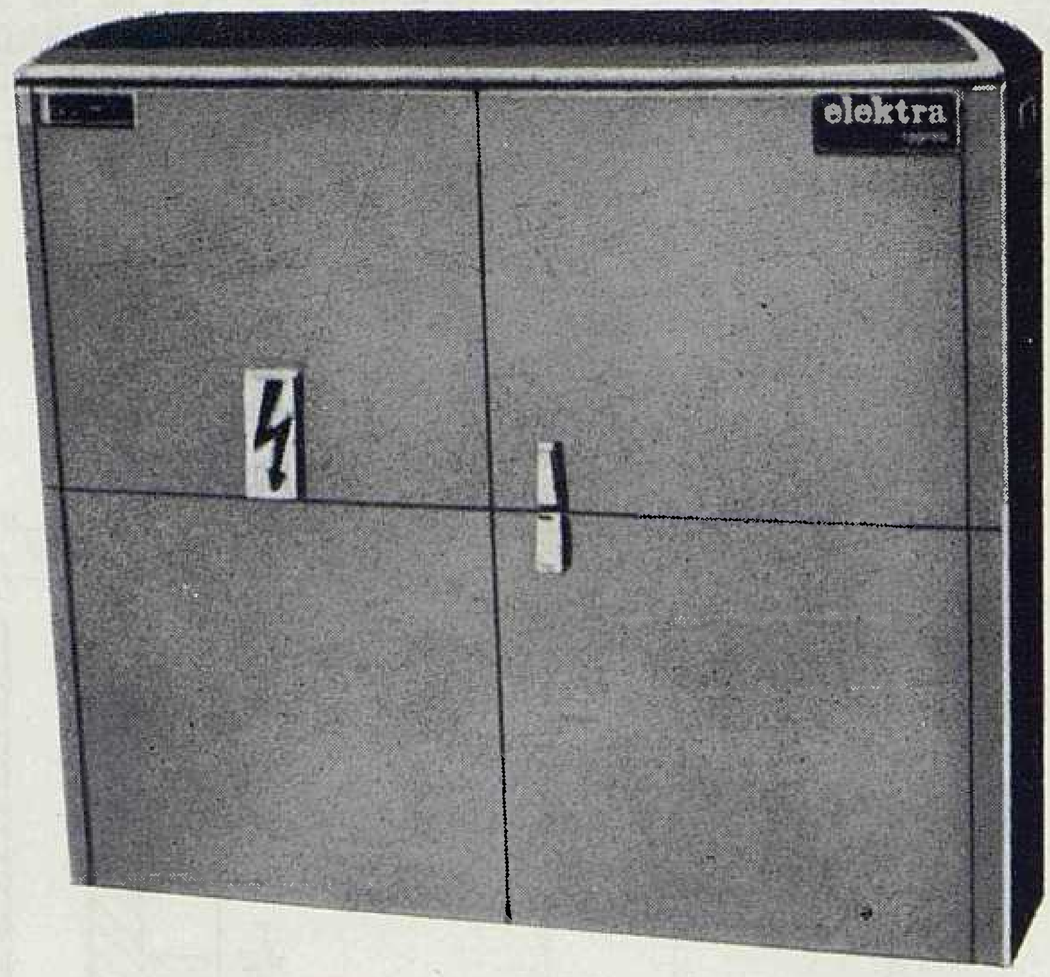
C_{kl} = cijena uređaja u izvedbi od lima ili silumina

C_{kzuz} = cijena izvedbe zaštitnog uzemljenja.

Moramo biti svjesni da svaka zaštita od previsokog napona dodira ima svoju cijenu.

Izvedba ormara s opremom

Ormari su konstrukcijski riješeni tako da ostvaruju stupanj zaštite od prodora stranih tijela i vode IP 43, a uz dodatno brtvljenje može se postići stupanj zaštite IP 54 (slika 1).

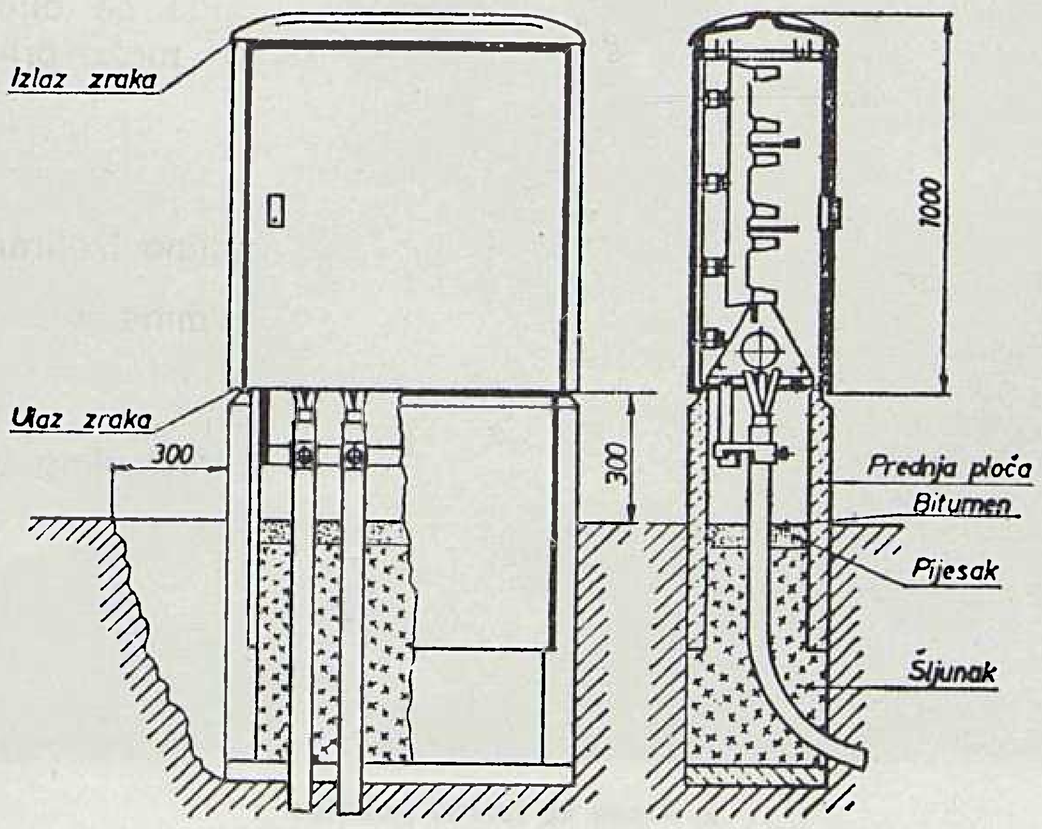


Sl. 1.

Ormar se montira na tvornički izrađen temelj koji se isporučuje u dijelovima, a izrađen je od armiranog betona. Kod spajanja kabela na opremu ormara prednja ploča te-

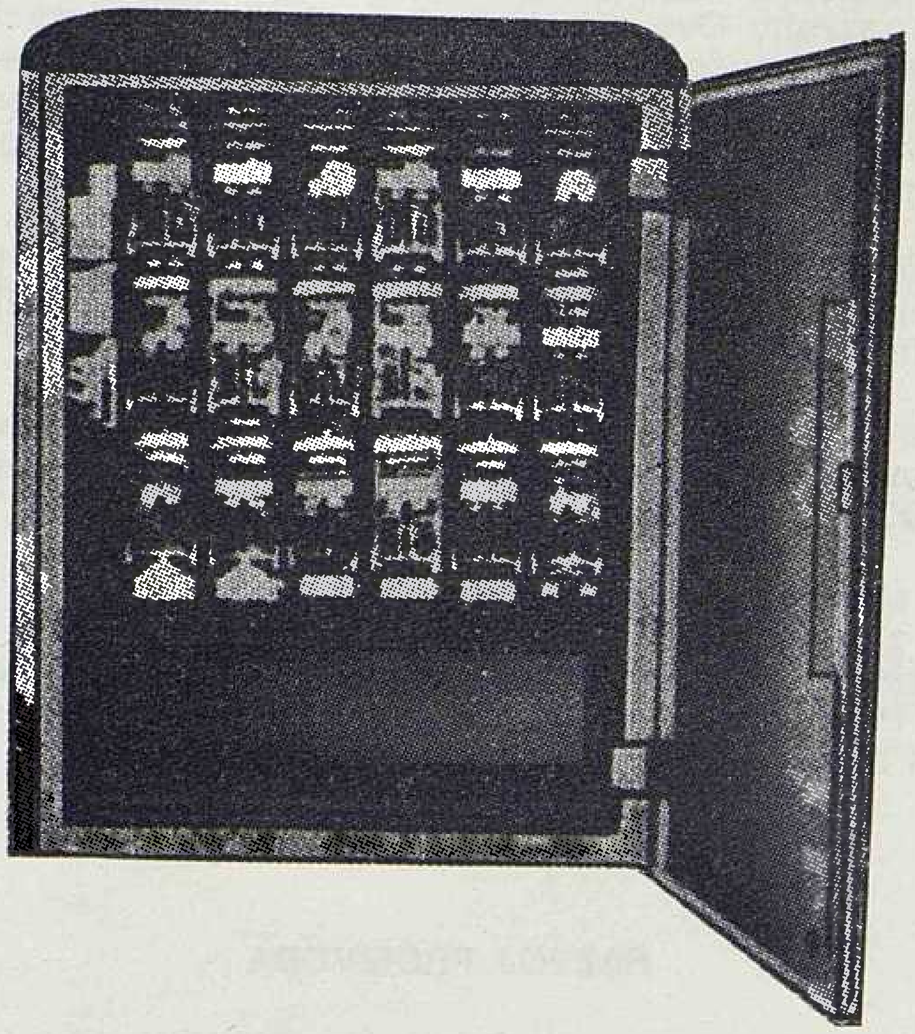
melja i prag ormara skidaju se, čime je olakšana montaža, te kabele nije potrebno uvlačiti u ormar.

Na dnu ormara je nosač za učvršćenje kabela. Prostor gdje ulaze kabeli u ormar potrebno je ispuniti zemljom ili pijeskom, a u nivou zemlje unutrašnjost temelja zabrtviti bitumenom ili tankim slojem betona da se spriječi isparavanje vlage iz zemlje i kondenziranje u unutrašnjosti ormara (slika 2).
Ormari su čvorne točke u kabelskoj mreži tipa KRO-01, KRO-02 i KRO-03, napona do 1 kV. Mogu biti opremljeni sa 4, 6 ili 8 (9) slogova osigurača nazivne struje 400 A (slika 3). Slog osigurača može biti izveden kao neoklop-



Sl. 2.

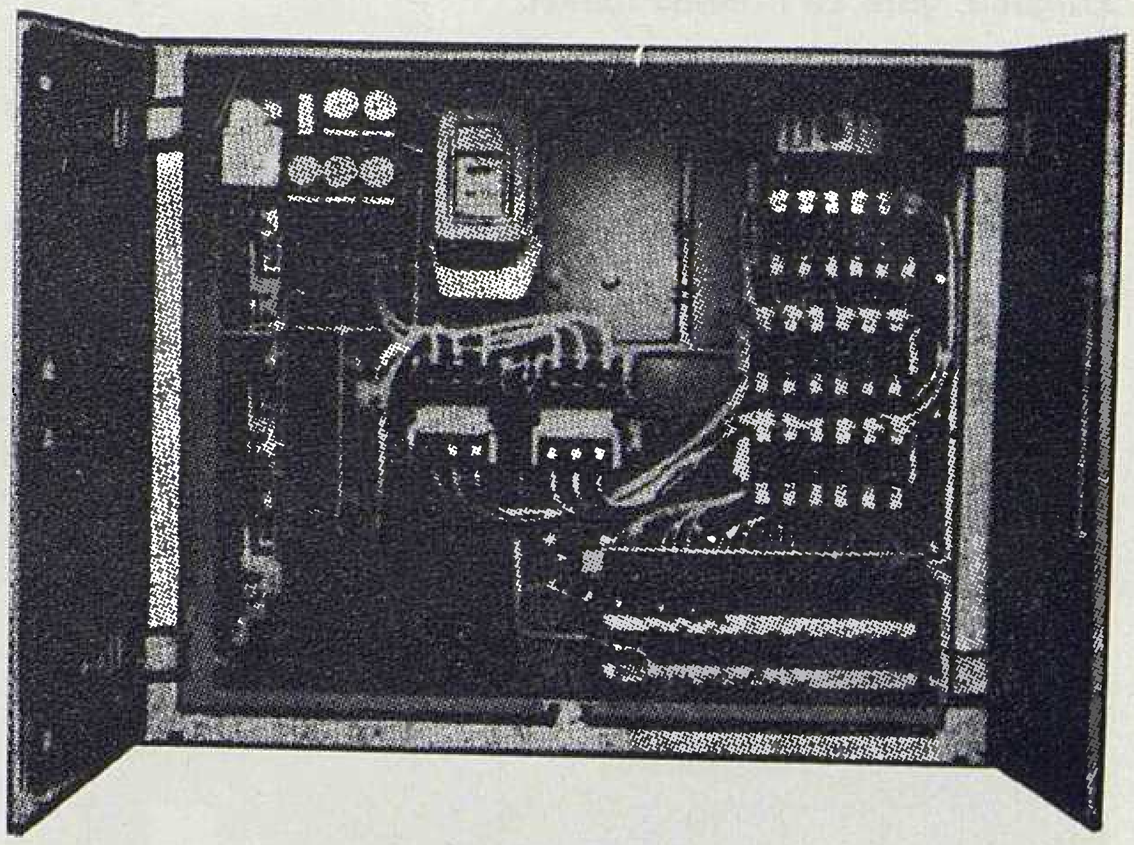
ljen, pa se za umetanje i izvlačenje patrona treba koristiti nasadnom ručicom, ili kao izoliran, u kojem su slučaju osnove osigurača oklopljene a ručica je sastavni dio osnove osigurača.



Sl. 3.

Rastavljajući slog osigurača ima ugrađenu lučnu komoru, pa je moguće vršiti prekopčanja i isklapanja pod opterećenjem, ali jednopolno. U ormar je ugrađena žarulja, koja se pali otvaranjem vrata ormara. Vrata se zatvaraju policilindarskom brtvom.
Na osnove osigurača moguće je priključiti kabel presjeka do 300 mm^2.

Ormari tipa KRO-JR namijenjeni su za uklapanje i isklapanje javne rasvjete (slika 4). Kod razrade električne sheme djelovanja obuhvaćene su sve mogućnosti koje se pojavljuju kod upravljanja javnom rasvjetom. Ormar se priključuje na pojni kabel koji može biti maksimalnog presjeka do 185 mm^2 sistema ulaz — izlaz. Kabeli koji vode do priključnice rasvjetnog stupa mogu imati maksimalni presjek 35 mm^2. Moguće je izvesti najviše 12 trofaznih izvoda kabela, a svaki je izvod osiguran visokoučinskim rastalnim osiguračem. Uklapanje i isklapanje rasvjete vrši se preko 2 sklopnika od 125 A. Kod uključenja obaju sklopnika svijetle sve svjetiljke, a kada je uključen jedan sklopnik, svijetli pola rasvjete, dakle obuhvaćen je sistem cjelonoćne i polunoćne rasvjete.



Sl. 4.

Upravljanje se vrši jednom od mogućnosti:

— tonfrekventno
— uklopnim satom
— luksomatom
— komandnim vodom
— ručno u ormaru.

Za biranje sistema služi grebenasta sklopka ugrađena u ormar. Za mjerenje potrošnje u ormar je ugrađeno kWh brojilo.

Ove kombinacije zadovoljavaju sve uvjete koji se postavljaju na moderno koncipiranu javnu rasvjetu i u pogledu štednje električne energije u periodu smanjenog prometa.

Marijan Jakovac dipl. inž.

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

TPK SLAVI 35-TU OBLJETNICU

Rješenjem Vlade NR Hrvatske od 10. runa 1946. i spajanjem nekoliko manjih poduzeća za proizvodnju parnih kotlova osnovana je Tvornica parnih kotlova Zagreb sa sjedištem u Savskoj cesti 110.

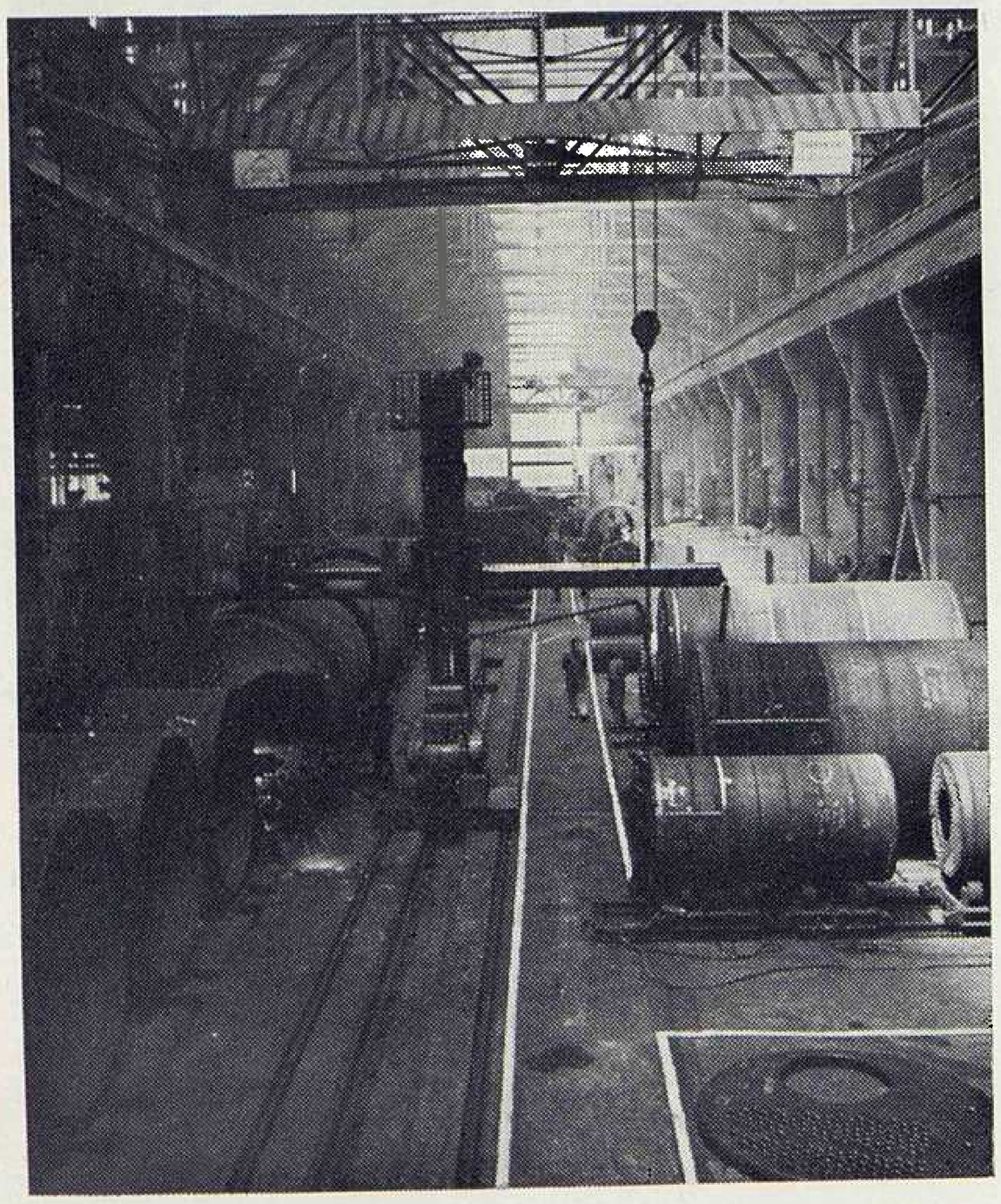
Od tada datira nominalni razvoj TPK u socijalističkoj Jugoslaviji. Iskustvo i tradicija na kojoj se razvila proizvodnja kotlova u našoj tvornici sežu do 1931. godine kada je na istoj lokaciji u Savskoj cesti 110 osnovano strojarsko-parokotlarsko poduzeće Rapid.

Vrlo značajni zadaci koji su u jeku obnove porušene zemlje poslije rata postavljeni pred TPK nametnuli su potrebu vrlo hitnog i značajnog proširenja proizvodnih kapaciteta i tehnoloških mogućnosti novoformirane tvornice. Tako se tvornica već 1948. godine seli u novoizgrađene hale na Žitnjaku, gdje se i danas nalazi.

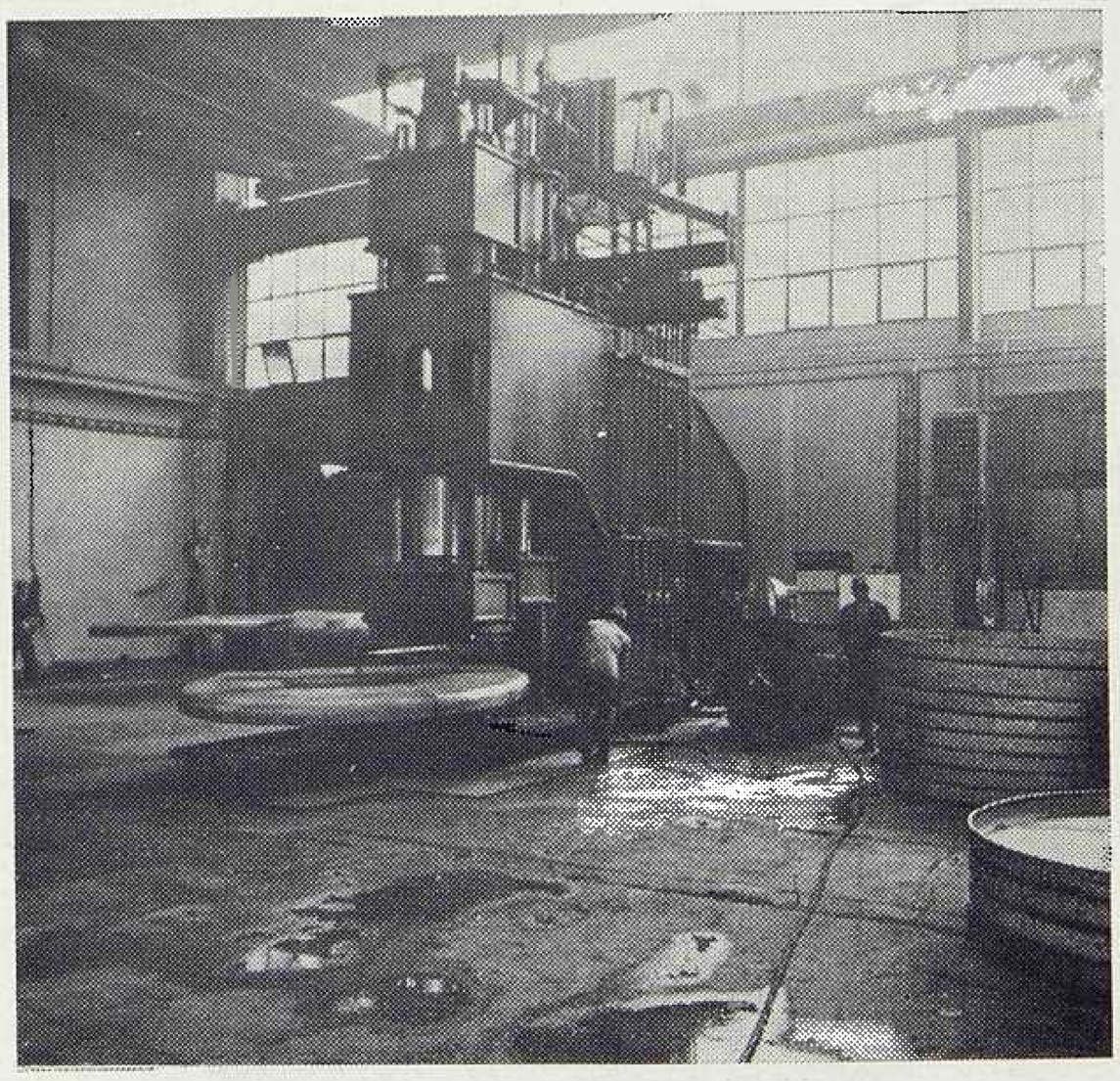
U novom pogonu na Žitnjaku formiraju se veoma značajni proizvodni kapaciteti za proizvodnju kotlova i kotlovske opreme.

Novim kapacitetima i prvim radnim uspjesima tvornica dobiva sve veće privredno i društveno značenje tako da je TPK ukazom Prezidijuma Narodne skupštine FNR Jugoslavije od 9. rujna 1948. proglašen poduzećem općeg državnog značenja.

Sve veće potrebe za kotlovima u vrijeme industrijalizacije zemlje nametali su sve veće zadatke pred mladu tvornicu koja se iz dana u dan ubrzanim radnim procesom dinamično razvijala.



1. Hala za proizvodnju tipskih kotlova i posuda pod tlakom



2. Preša za izradu podnica

Uz glavnu halu na Žitnjaku postupno su se gradili novi pogoni, kao pogon cjevare, armature, limenih izrađevina, a također i pomoćni objekti.

Već šezdesetih godina formira se, pridruživanjem, i prvi vanjski pogon TPK, što postaje jedna od značajki u daljnjem razvoju. Ovo posebno stoga što su na lokaciji na Žitnjaku mogućnosti gradnje novih pogona i potencijal radne snage ograničeni. Stoga se lokacija na Žitnjaku u daljnim planovima razvoja rezervira samo za razvoj osnovnog programa TPK.

Svi komplementarni programi, radi niza privrednih i društvenih prednosti, razvijaju se na vanjskih šest lokacija koliko ih momentalno ima u TPK.

Najveći impuls razvoja TPK, ne samo u proizvodnom već i u samoupravnom i dohodovnom smislu, dalo je formiranje OOUR-a 1973. g.

Pod stalnim pritiskom vremena i zadataka, od onih u obnovi zemlje do ovih u procesu stabilizacije kojima treba maksimalno zamijeniti uvoznu energetsku opremu domaćom i ostvariti izvoz, TPK se dinamično razvijao i dosegao visok nivo u proizvodnji termoenergetske i procesne opreme.

RAZVOJ PROIZVODA

Možemo s pravom reći da se proizvodni program TPK počeo razvijati, s današnjeg stanovišta gledano, praktički od nule.

Prvi zadatak TPK bio je popravak postojećih kotlova i zamjena porušenih i dotrajalih kako bi se što prije osigurala vodena para za grijanje, pogon raznih parnih strojeva i tehnologije u ondašnjoj industriji.

Prvi kotlovi koje je radila TPK bili su stojeći kotlovi te lokomobilni za proizvodnju zasićene pare niskih pritisaka. Industrijalizacija zemlje postavlja i sve kompleksnije zadatke pred TPK. Traže se kotlovi većih učina za proizvodnju pare viših parametara. Već 1954. godine u suradnji s tvrtkom Waagner-Biro iz Graza TPK izrađuje kotlove za jednu od prvih termoelektrana u nas poslije rata — TE Jertovec. Stalni novi zahtjevi tržišta bili su izazov za radnike TPK kako u proizvodnji, tako i u konstrukciji. Rezultat toga su prva vlastita rješenja kotlova, za ono vrijeme značajnih parametara pare. Tako TPK već 1958. godine proizvodi po vlastitim nacrtima kotlove učina 25 t/h pare radnim pretlakom 40 bara s mlinskim loženjem za šećeranu Branjin vrh. Tih godina su rađeni i kotlovi kapaciteta 32 t/h pare s radnim pretlakom 70 bara, kao i kapaciteta 50 t/h pare pretlaka 64 bara i temperaturom pregrijane pare 500 °C.

U termoelektrani i toplani u Zagrebu, a u suradnji s tvrtkom Waagner Biro iz Graza, izrađena su 1961—1962. godine 2 kotla kapaciteta 170 t/h pare radnog pretlaka 106 bara i temperature pregrijanja 550 °C s plinskim loženjem. Slični kotlovi su nešto kasnije izrađeni za termoelektranu Tuzla i za termoelektranu Kampur u Indiji.

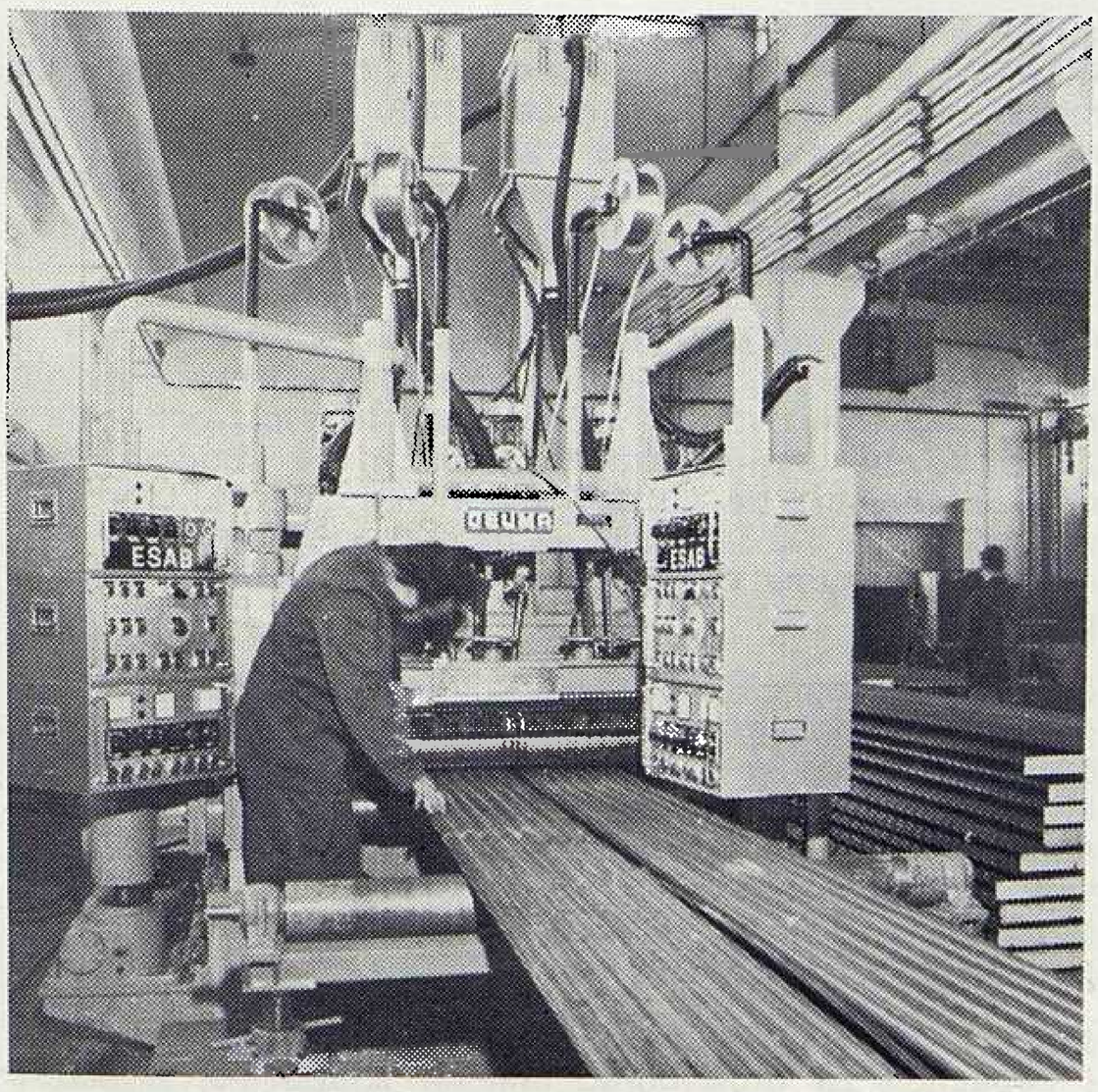
Ovakav relativno uspješni put razvoja kotlova, posebno za energetske potrebe, doživio je u posljednjih desetak godina jedno značajno, ali s današnjeg stanovišta gledano ne baš optimalno skretanje. To je vrijeme prodora jeftine nafte i prividno povoljnih kredita iz inozemstva.

Jeftina nafta, a u vezi s tim i zahtjevi kupaca, naveli su TPK da vlastitim inženjerskim snagama razvije nekoliko vrlo uspješnih serija tipskih kotlova loženih tekućim gorivima.

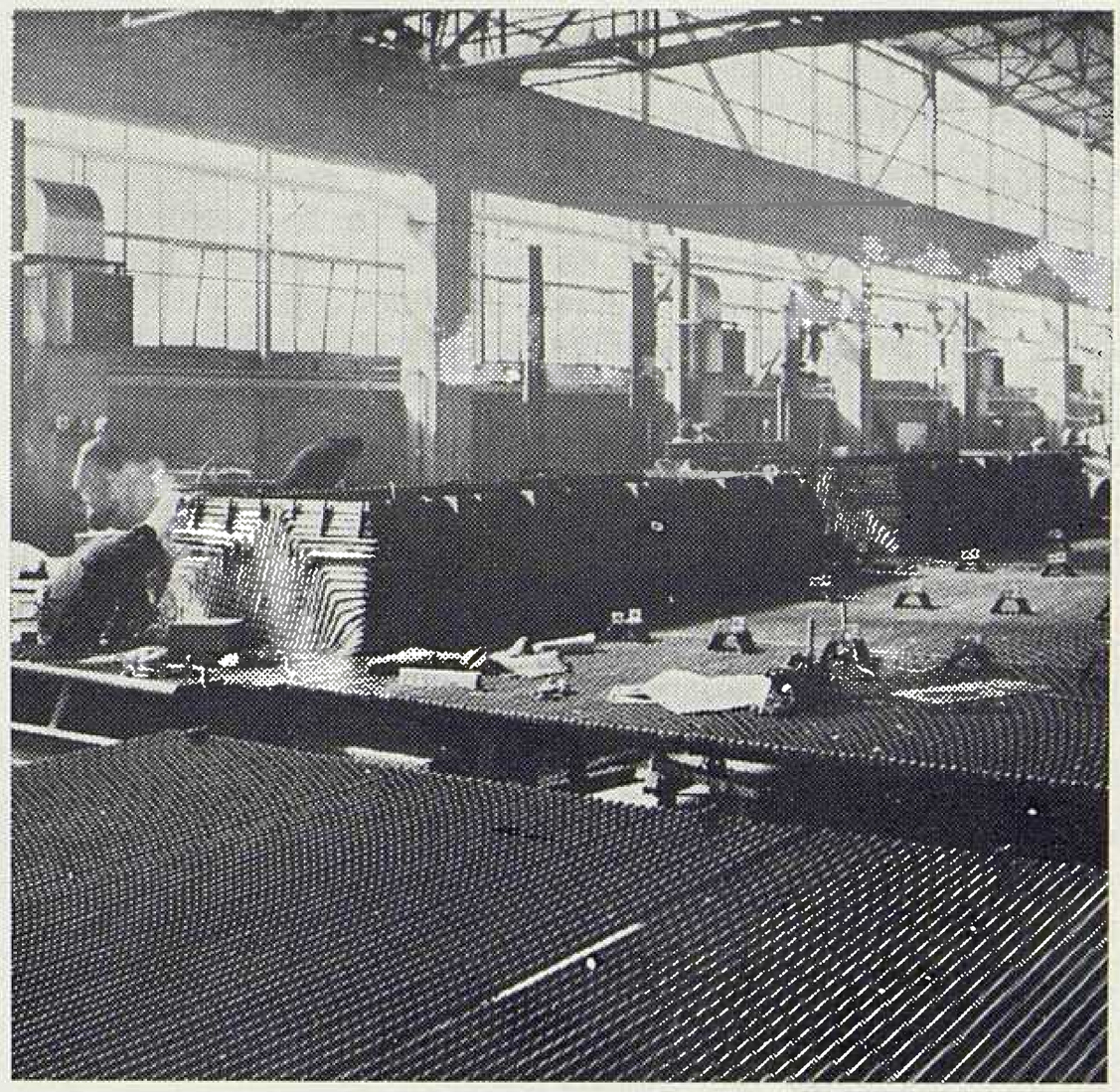
Iz tih godina datira uspjela serija blok-kotlova kapaciteta do 25 t/h pare pritiska 16 bara. Ta serija modernih kotlova i danas je u primjeni, posebno kod loženja plinom ili kombiniranog loženja, a dijelom i za loženje kvalitetnijim ugljenima.

Iz ovog vremena datira i razvoj serije vrelovodnih kotlova za toplifikacije gradova i grijanje velikih objekata. Ti kotlovi se danas grade i za kapacitet 50 i 100 MW po jedinici. U zadnje vrijeme TPK razvija i seriju ovih kotlova loženih ugljenom.

Na području manjih energetskih kotlova TPK je samostalno razvio vlastitu konstrukciju vodocijevnih kotlova kapaciteta do 270 t/h pare loženih tekućim gorivom ili plinom, a do 240 t/h pare loženih krutim gorivom pritiska do 140 bara i temperature pregrijane pare do 525 °C.



3. Detalj linije za proizvodnju membranskih cijevnih stijena



4. Izrada membranskih cijevnih stijena za kotao 1000 t/h pare za TE Šoštanj

U općoj potražnji za izvorima i korištenjem energije vrijedno je spomenuti i seriju kotlova za izgaranje drvnih i biljnih otpadaka. Ovim kotlovima je opskrbljena gotovo cjelokupna naša drvna industrija.

Uza sve negativne posljedice koje nam je ostavilo razdoblje jeftine nafte, možemo slobodno reći da je to razdoblje obilježeno značajnim vlastitim razvojem kotlova, što nam sada olakšava prelazak na konstrukcije kotlova loženih krutim gorivom.

Politika nekontroliranog zaduživanja u svijetu kao i prividno jeftini strani krediti usmjerili su gradnju domaćih termoelektrana isključivo na strane izvođače, čime je gotovo u potpunosti prigušen razvoj domaće kotlogradnje na gradnji velikih energetskih kotlova.

U tom je razdoblju jedino kod gradnje termoelektrane »Šoštanj« domaća kotlogradnja, prema nacrtima i pod nadzorom strane tvrtke, je proizvela najveći dio kotla. »Đuro Đaković« i TPK su proizveli čak 95% tlačnog sistema kotla za TE Šoštanj. Time je ipak postignuto veliko proizvodno iskustvo na gradnji velikih energetskih kotlova.

U posljednje vrijeme, posebno potaknuti procesom sveukupne stabilizacije, postoje realni izgledi i za razvoj ovih kotlova u nas.

Na osnovi potreba domaćeg tržišta, posebno u uvjetima stabilizacije, kao i potrebama i mogućnostima izvoza proizvođači energetske opreme iz SR Hrvatske »Rade Končar«, »Jugoturbina«, »Đuro Đaković« i TPK su u okviru izrade planova razvoja privrede SRH izradili zajednički plan razvoja proizvodnje energetske opreme. Osim usklađivanja razvoja proizvodnih kapaciteta, cilj je i razvoj gradnje termoelektrana kao zajedničkog proizvoda. U okviru ovog plana »Đuro Đaković« i TPK će a i u suradnji s MINELOM iz Beograda udružiti snage za zajednički razvoj velikih energetskih kotlova, na osnovi stranog baznog inženjeringa. Takav pristup, uz punu suradnju s Elektroprivredom, omogućit će razvoj proizvodnje termoelektrana u našoj industriji, što smo svi zajedno, da smo vodili osmišljeniju politiku razvoja, morali ostvariti znatno prije.

RAZVOJ TEHNOLOGIJE I PROIZVODNIH KAPACITETA

Proizvodne mogućnosti kao i same tehnologije za izradu kotlova bile su u novoosnovanoj tvornici parnih kotlova na Savskoj cesti više nego skromne.

Značajno poboljšanje, posebno s obzirom na natkriven prostor i radne uvjete predstavljalo je preseljenje u novu halu na Žitnjaku.

Tadašnje tehnologije obrade, gledano s današnjeg stanovišta, bile su vrlo primitivne i vrlo teške za radnike. Najveći dio poslova obavljalo se napornim fizičkim radom u vrlo nepovoljnim radnim uvjetima. Posebno su bili teški zbog nepodnošljive buke. Tehnologije zakivanja a kasnije mehaničkog žljebljenja korijena zavara ostavile su trajne tragove na sluh većine radnika.

Osim neprikladnosti tadašnje su tehnologije bile slabo produktivne, a velikim dijelom nisu osiguravale ni visoku kvalitetu proizvoda.

Stalno povećavanje zahtjeva na proizvode TPK, kao i vrlo izražena želja radnih ljudi osiguravanjem boljih uvjeta rada, i za većom produktivnosti poticala je razvoj novih tehnologija, a stim u vezi novih strojeva i hala.

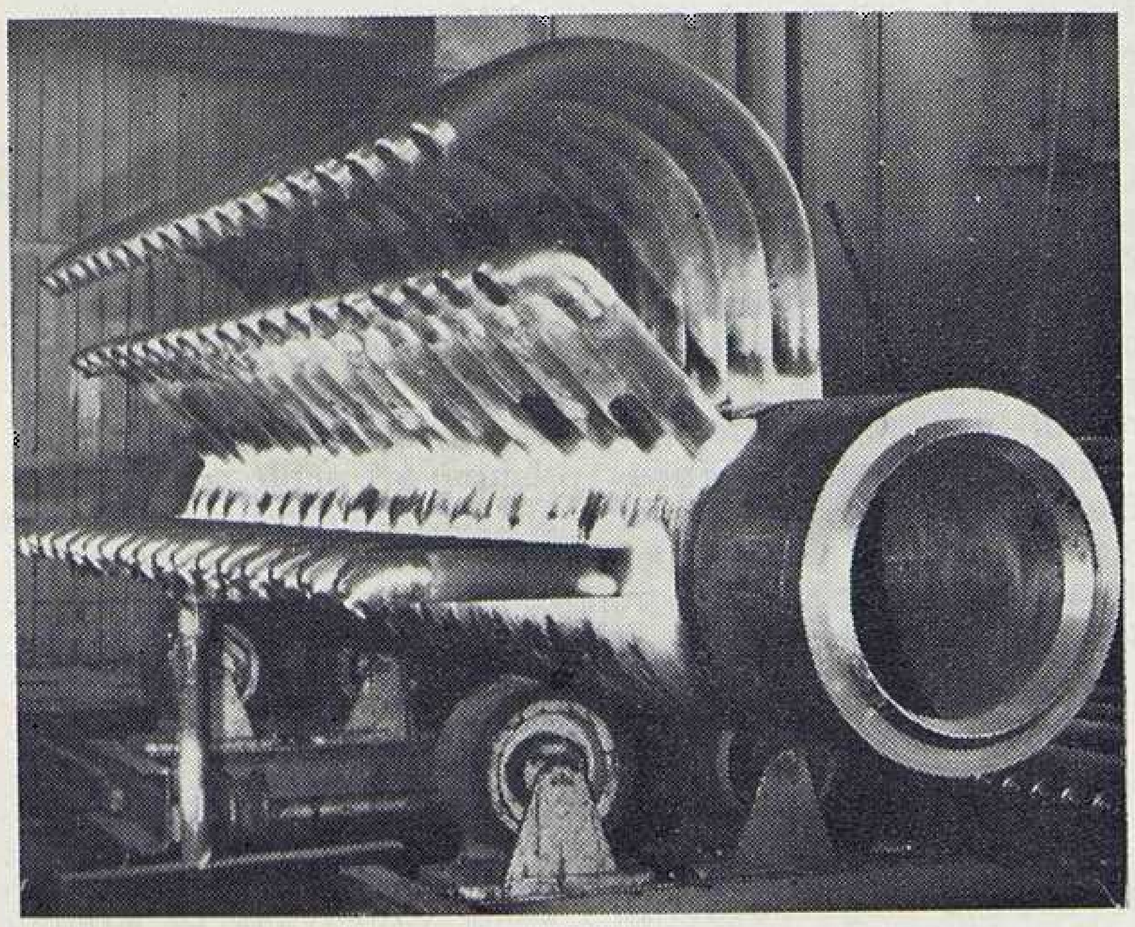
Već 1955 godine montirana je u TPK savijačica za savinje limova debljine do 50 mm, koja je zadovoljavala potrebe TPK gotovo sve do današnjih dana.

Najteže je u to vrijeme bilo s izradom podnica za bubnjeve kotlova i spremnike. Izgradnja peći za grijanje lima za podnice 1953. g. i nešto kasnije nabava hidraulične preše, iako relativno malog radnog stola i potisne moći, stvorili su znatno veće mogućnosti izrade i poboljšali uvjete rada.

Obrada cijevi je također bila vrlo primitivna i neproduktivna. Da bi se mogle saviti, cijevi su ručno punjene pijeskom i grijale su se plamenicima. Godine 1956. izgrađena je nova cjevara i nabavljen moderan stroj za savijanje cijevi na hladno. To je bio početak razvoja ove za TPK vrlo značajne tehnologije.

Na planu spajanja limova također je postojala velika potreba za razvojem. U početku su se limovi spajali isključivo zakivanjem. Već 1957. godine nabavljen je i instaliran prvi automat za zavarivanje pod prahom, zatim poluautomati za zavarivanje u atmosferi zaštitnih plinova te oprema za kontrolu kvalitete zavarenih spojeva.

Paralelno s opremanjem tvornice strojevima i uređajima razvijali su se i radnici, što predstavlja najvredniji razvoj. Stasale ekipe stručnih radnika postale su tada nezadrživa snaga daljnjeg razvoja, tako da se TPK u posljednjih desetak godina dinamično razvijala, posebno na području osvajanja novih tehnologija izrade, obrade visokokvalitetnih materijala i rada po najkompleksnijim zahtjevima gotovo svih poznatih nadzornih i klasifikacionih društava i institucija. Upravo razvoj kvalitete, koja se posebno brzo razvijala posljednjih godina, predstavlja najvredniji referentni uspjeh TPK.



5. Kolektor debljine stijenke 90 mm izrađen od nerđajućeg čelika. Incoloy 800 H



6. Završna obrada membranskih cijevnih stijena za izvoz u SR Njemačku

Ukupnim dosadašnjim razvojem TPK se opremio i osposobio za najsuvremenije tehnologije potrebne za izradu energetske opreme.

Danas TPK raspolaže prešom za izradu podnica potisne moći 6 MN, ali i s mogućnošću i parcijalnog prešanja, a time izrade podnica većeg promjera, kao i odgovarajućom peći za grijanje limova i podnica.

Prema vlastitom projektu izrađena je električna žarna peć dimenzija 4,5 × 4,5 × 8,5 m za toplinsku obradu gotovog proizvoda, a razvijeno je i lokalno odžarivanje na objektima u radionici i na montaži.

Razvoj obrade cijevi u TPK pratio je potrebe razvoja kotlova ne samo u TPK, već i u svijetu. TPK danas raspolaže setom savijačica za strojno savijanje cijevi od promjera 22 mm do promjera 273 mm debljine stijenke do 12 mm.

Osim savijačica, tu je i stroj za automatsko sučeono zavarivanje cijevi, stroj za sužavanje i proširivanje krajeva cijevi, te postrojenje za sačmarenje cijevi i transport sačmarenih cijevi u radionicu.

Slijedeći najsuvremenije tokove u gradnji energetskih kotlova, TPK ima već niz godina uhodanu proizvodnju membranskih stijena. Linija za izradu membrana sastoji se od stroja za kalibriranje trake, zatim automata s četiri glave, širine prolaza 1600 mm, savijačice za savijanje membrana te stroja za odrezivanje krajeva cijevi u membrani.

Osnovna karakteristika tehnološkog razvoja TPK nije u nabavi pojedinačnih strojeva i hala, već u uspostavljanju proizvodnih linija. Osim već spomenute proizvodne linije za izradu membrana, poznata je već dugo uhodana specijalizirana linija za izradu cilindričnih kotlova i posuda pod pritiskom. Na taj način se uz mali broj kvalitetne radne snage postiže velika produktivnost i visoka kvaliteta proizvoda.

Linija za izradu cilindričnih kotlova opremljena je uređajima za rezanje limova, savijačicom lima do debljine lima 50 mm a širine savijanja 3 m, zatim automatom na pokretnom stupu za zavarivanje pod prahom te nizom automata, rendgen-aparatima jačine do 400 KV za kontrolu zavara, te nizom bušilica i ostalih uređaja. Na kraju linije je ispitna stanica te u produžetku peć za termičku obradu gotovog proizvoda.

Osim ovih osnovnih proizvodnih kapaciteta, razvijeni su i kapaciteti za proizvodnju limenih izrađevina, armature na lokaciji Žitnjak i na nekoliko lokacija izvan Zagreba,

zatim kapaciteti za izradu tehnološke opreme na lokaciji Žitnjak i dvije hale na lokaciji Kamanje, proizvodnja manjih kotlova i procesne opreme u Orometalu u Oroslavju, kapaciteti za proizvodnju plamenika u Konjščini te ljevaonica u Konjščini. Tu su i kapaciteti i oprema za montažne djelatnosti, te za servis proizvoda TPK, kao i kapaciteti za vlastito održavanje strojnog parka. Vrlo su značajni kapaciteti razvijeni u OOUR-u Zavod, čija je namjena razvoj tehnologija u TPK, razvoj osiguranja kvaliteta u TPK, nadzora i supernadzora objekata u Jugoslaviji i u inozemstvu, kao i utvrđivanja daljnje upotrebne vrijednosti energetskih objekata koji su dugo u eksploataciji.

U želji za daljnjim razvojem i zbog velikog pritiska tržišta TPK je zacrtao značajan razvoj i u ovom petogodišnjem planskom razdoblju. Radi usklađivanja cjelovitog razvoja proizvodnje energetskih postrojenja kao cjeline, razvoj TPK u ovom planskom razdoblju predstavlja komponentu zajedničkog plana razvoja proizvođača energetske opreme iz SR Hrvatske, »Rade Končara«, »Jugoturbine«, »Đure Đakovića« i TPK.

Ovim zajedničkim planom u TPK su predviđena dva osnovna pravca razvoja, i to dogradnja hale za izradu energetskih kotlova do snaga 600 MW i dovršenje hale srednje teških konstrukcija za izradu opreme za nuklearne elektrane i procesne opreme. U ovoj hali je već montirana savijačica lima s mogućnošću savijanja limova debljine do 120 mm a širine savijanja do 4 m na hladno.

RAZVOJ ORGANIZACIJE I SAMOUPRAVLJANJA

TPK je kao i sve naše radne organizacije prešao put svih organizacionih formi od državnog poduzeća preko ekonomskih jedinica do današnjih osnovnih organizacija udruženog rada. Sve te organizacione forme imale su određeni pozitivni utjecaj na razvoj socijalističkog pristupa procesu proizvodnje.

Najviši domet u tome svakako je postignut formiranjem OOUR-a.

TPK je 1973. g. poslije vrlo dugih iscrpljujućih diskusija formirao relativno male OOUR-e- sa oko 200 ljudi, ali dosta jednoznačno predstavljane na tržištu. Već to što se ni do danas osnovna postavka OOUR-a nije mijenjala upućuje na to da su OOUR-i pronašli sebe u ukupnom sistemu poslovanja.

Unatoč većem broju OOUR-a koji imaju svoje posebne proizvodne programe i koji se sami brinu za plasman na tržištu, uspostavljen je takav sistem da se jednostavno, kao zajednički proizvod, na tržište plasira i kompleksno postrojenje koji je proizvod više OOUR-a TPK ili čak i OOUR izvan TPK. Takav proizvod je jedinstven proizvod TPK.

Pokazalo se da se kod ovako koncipiranih relativno malih OOUR-a s jasnim vlastitim ukupnim prihodom ostvarenim direktno na tržištu ili radom na principu zajedničkog ukupnog prihoda više OOUR-a jako razvio socijalistički odnos prema radu. Radni ljudi OOUR-a TPK direktno osjećaju dohodak i postali su svjesni njihovih mogućnosti da utječu na dohodak. To je postala velika motorna snaga razvoja koja TPK vuče snažno naprijed.

Kako je u proteklih osam godina od, popularno kazano, ourizacije došlo do razvoja ukupnih odnosa na tržištu posebno, za TPK vrlo značajno, na području gradnje energetskih postrojenja stoga TPK već radi na modernizaciji svoje organizacije, ali svakako uz zadržavanje svih pozitivnih komponenti postojećih OOUR-a.

Jasno je da u ovako kratkom napisu nije bilo moguće prikazati cjelokupan razvoj TPK u proteklih 50 godina, 35 poslije rata, pa smo se koncentrirali pretežno na dio razvoja proizvodnje energetske opreme. Na kraju smatramo da, ne kao posljednje, treba, u šumi strojeva, hala, kotlova i tehnologija, spomenuti i značajan razvoj društvenog standarda.

Od kantina, čiji su rad zabranjivali inspektori, do modernog restorana te do kompleksa odmarališta s komfornim hotelom u Biogradu n/m, uložili su radnici TPK također dio sebe i svog marljivog rada.

Cijeli razvojni put TPK nije prošao sam. U svim bitkama, u dobrim i lošim, lakim i teškim situacijama zajedno s nama je bilo niz organizacija udruženog rada naših kupaca, kao i srodnih proizvodnih poduzeća širom Jugoslavije i široko izvan naših granica.

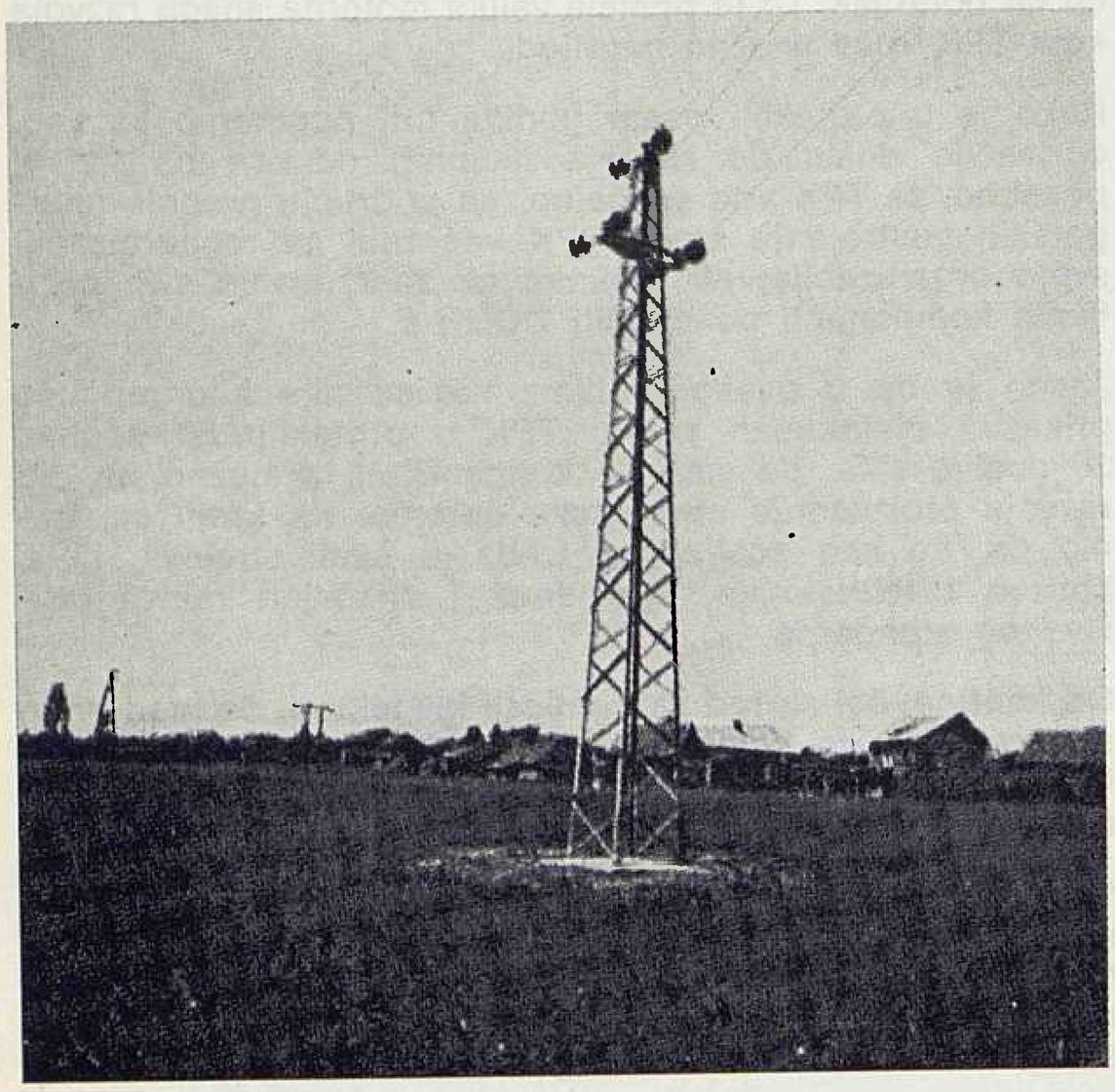
Svi su oni zajedno s nama nosioci ukupnog razvoja TPK, pa im se i ovim putem najsrdačnije zahvaljujemo.

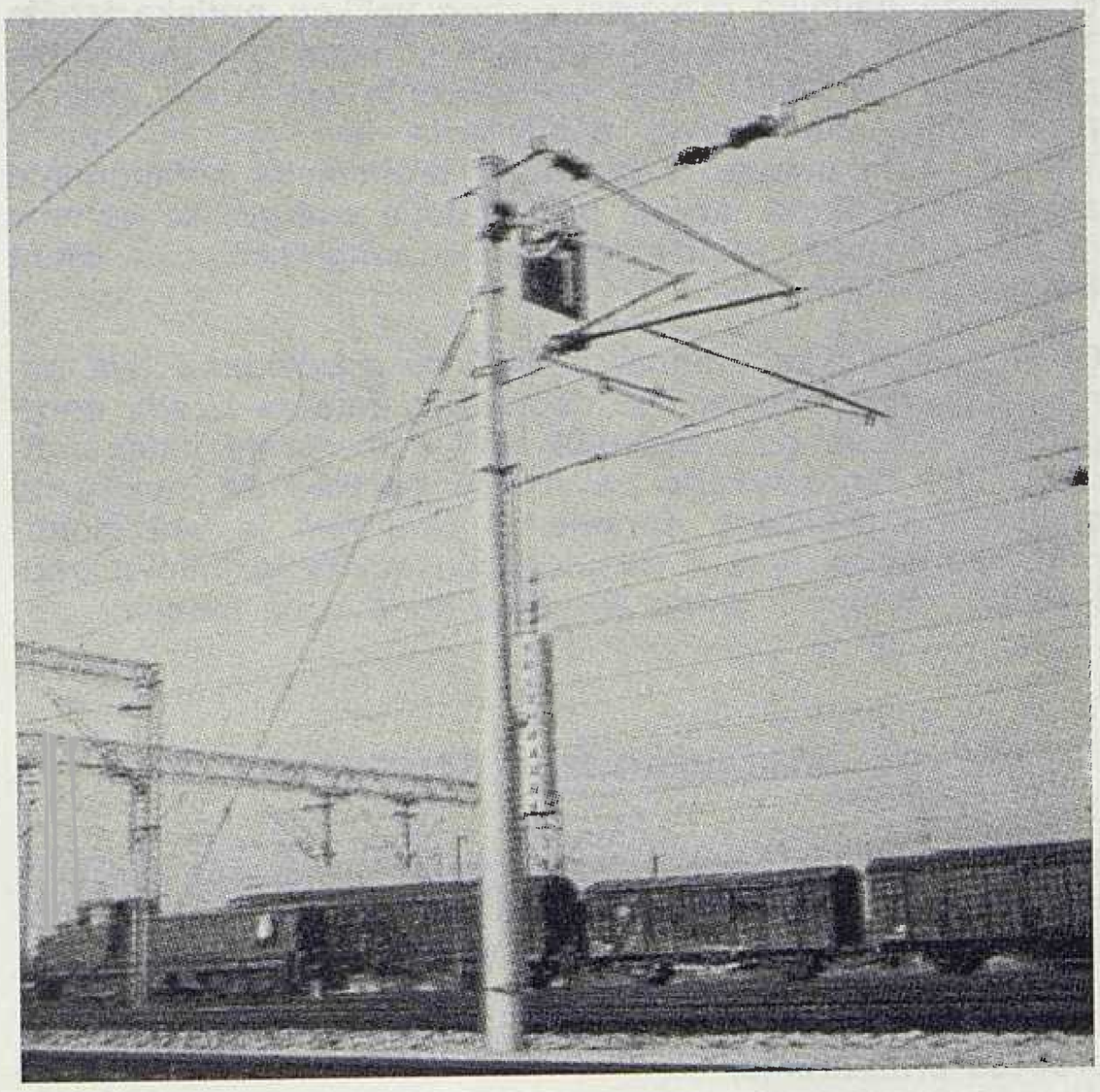
Davor Ilijaš

DALEKOVOD–ZAGREB

Elektroprivredna radna organizacija za projektiranje, gradnju, montažu i proizvodnju s neograničenom solidarnom odgovornošću

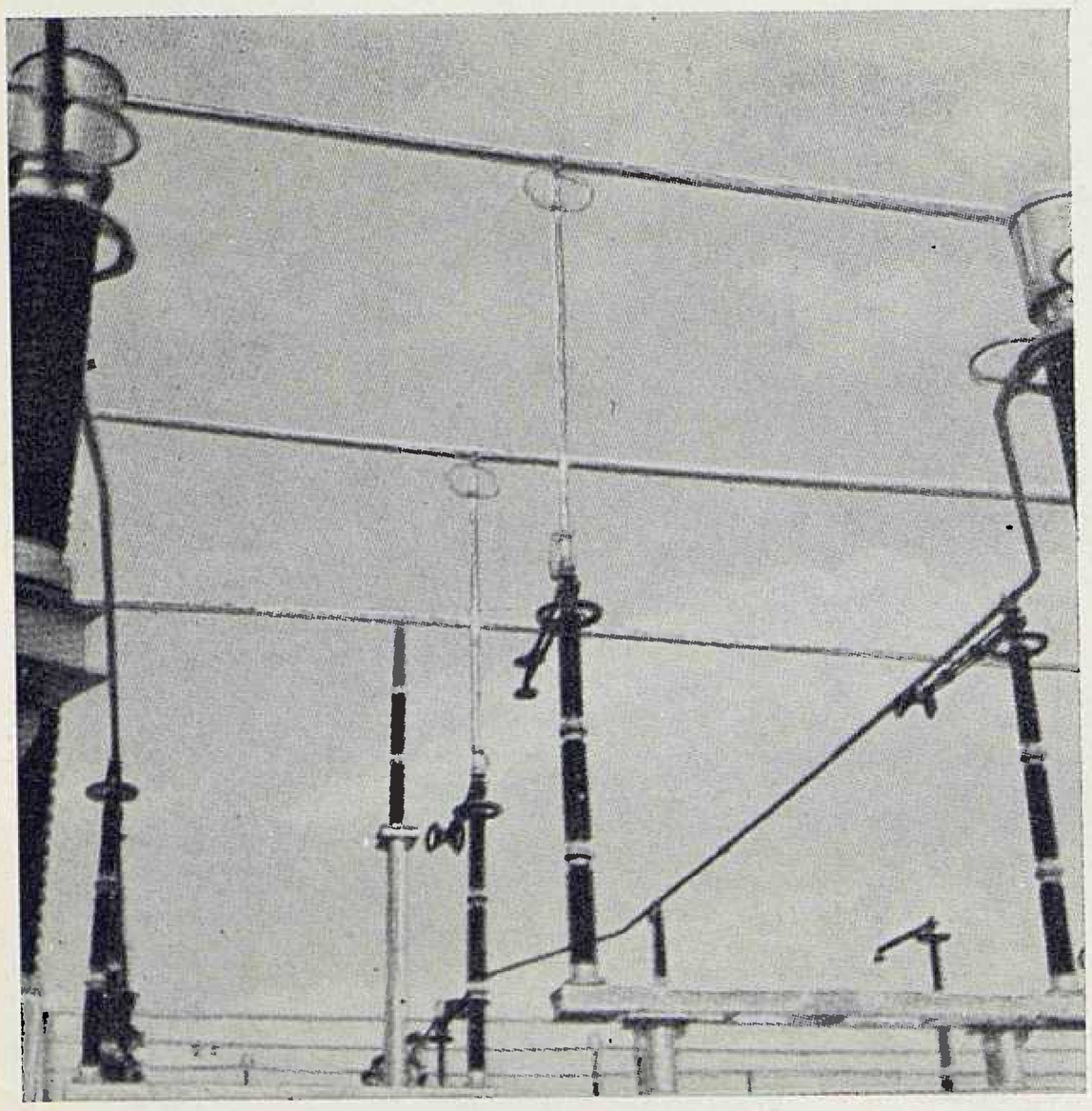
41000 Zagreb, Proleterskih brigada 37, telefon: (041) i 513-822 i 511-455, teleks: 21-858 YU DALVOD i 21-791 YU DALVOD





Za potrebe elektroenergetskih objekata u zemlji i inozemstvu gradi i montira:

- visokonaponske dalekovode do 400 kV
- kontaktne mreže za elektro vuču — željeznice, tramvaje i trolejbuse
- građevno montažne radove na objektima visine iznad 20 m, antenske i televizijske stupove, industrijske hale i dvorane
- daje usluge tehničkog nadzora i održavanja prijenosnih elektroenergetskih objekata

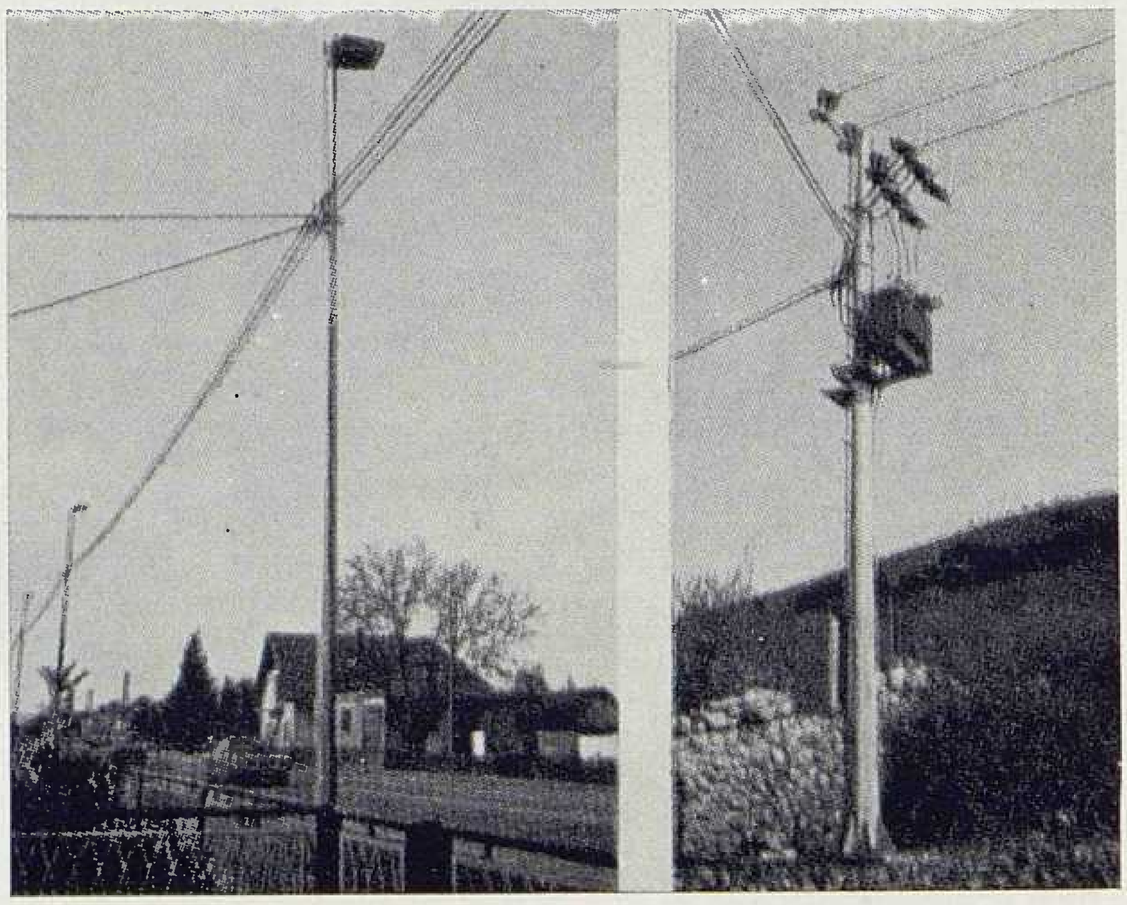


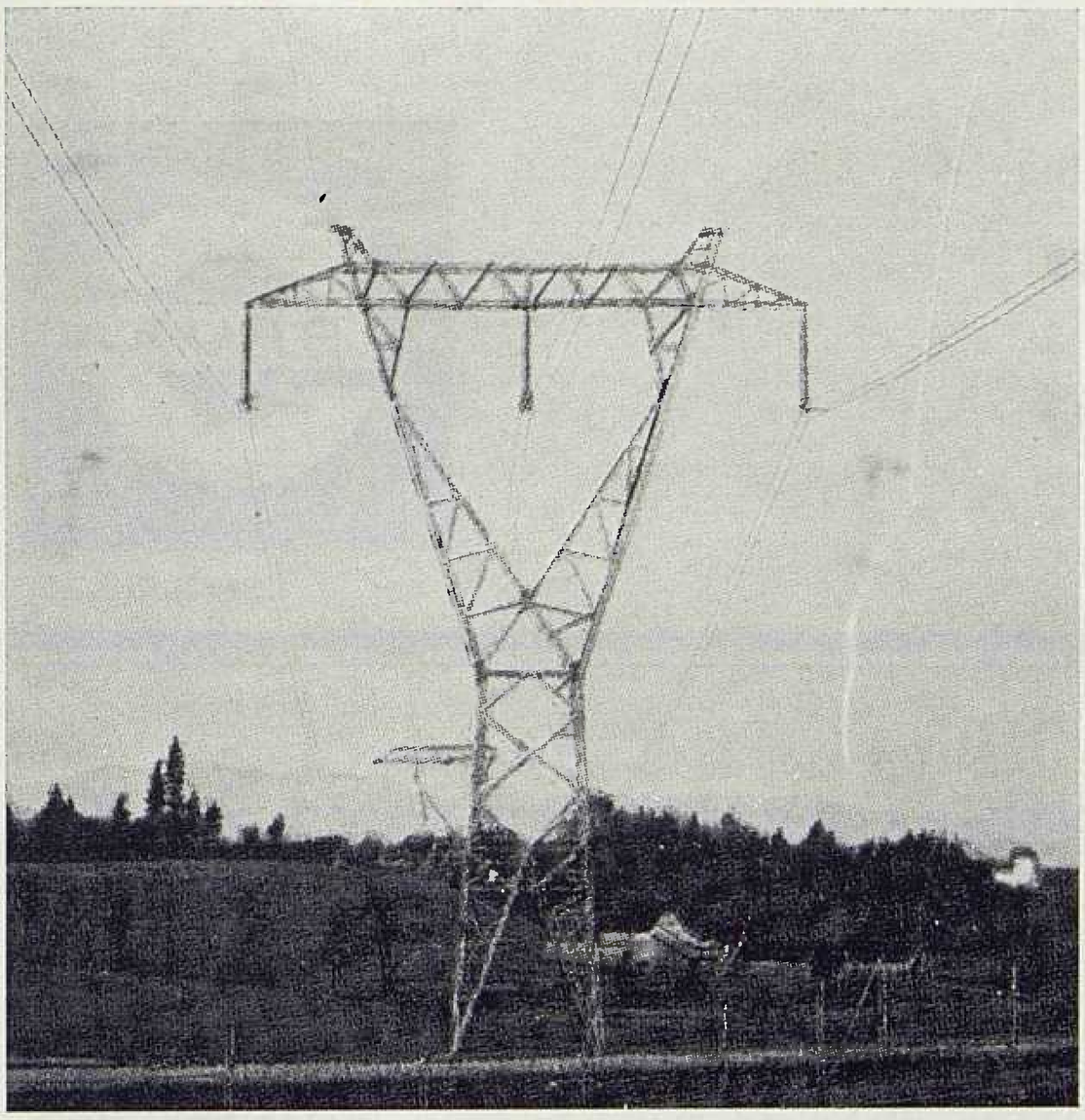
Za potrebe elektroenergetskih objekata u zemlji i inozemstvu projektira:

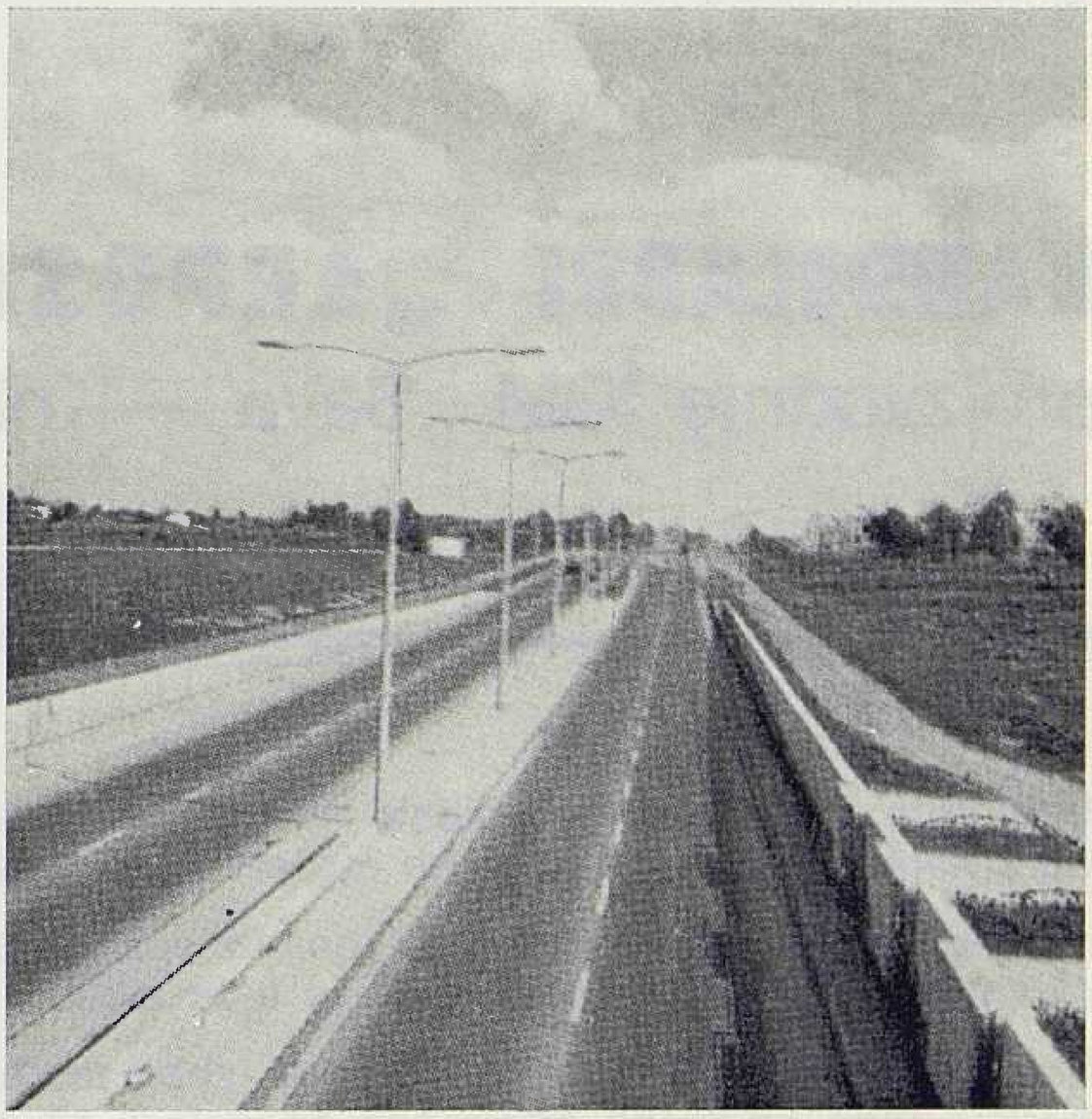
- niskonaponske mreže i vodove do 20 kV
- visokonaponske dalekovode do 400 kV
- rasklopna postrojenja i trafostanice
- kontaktne mreže za elektro vuču
- rasvjetu saobraćajnica, industrijskih i sportskih objekata

Za potrebe montaže elektroenergetskih objekata u zemlji i inozemstvu izvodi:

- niskonaponske mreže i trafostanice do 04 kV
- visokonaponske vodove i trafostanice do 20 kV
- transformatorske stanice i rasklopna postrojenja 30 do 400 kV
- rasvjetu saobraćajnica, industrijskih i sportskih objekata
- polaže podzemne i podmorske energetske kabele napona do 35 kV





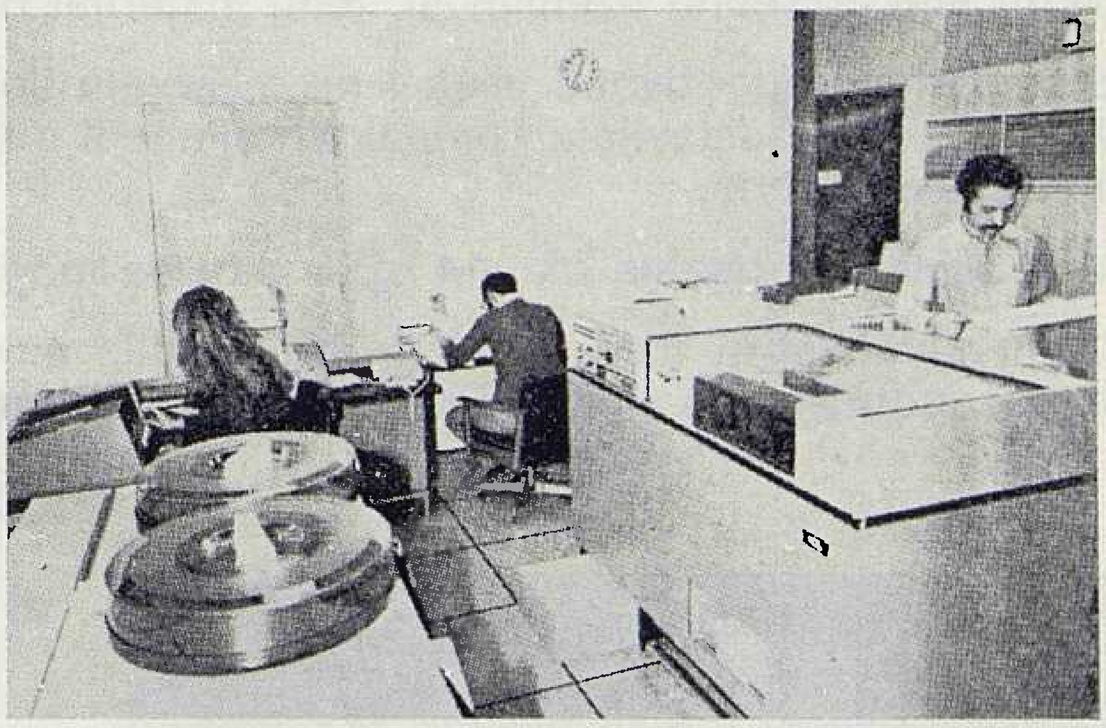


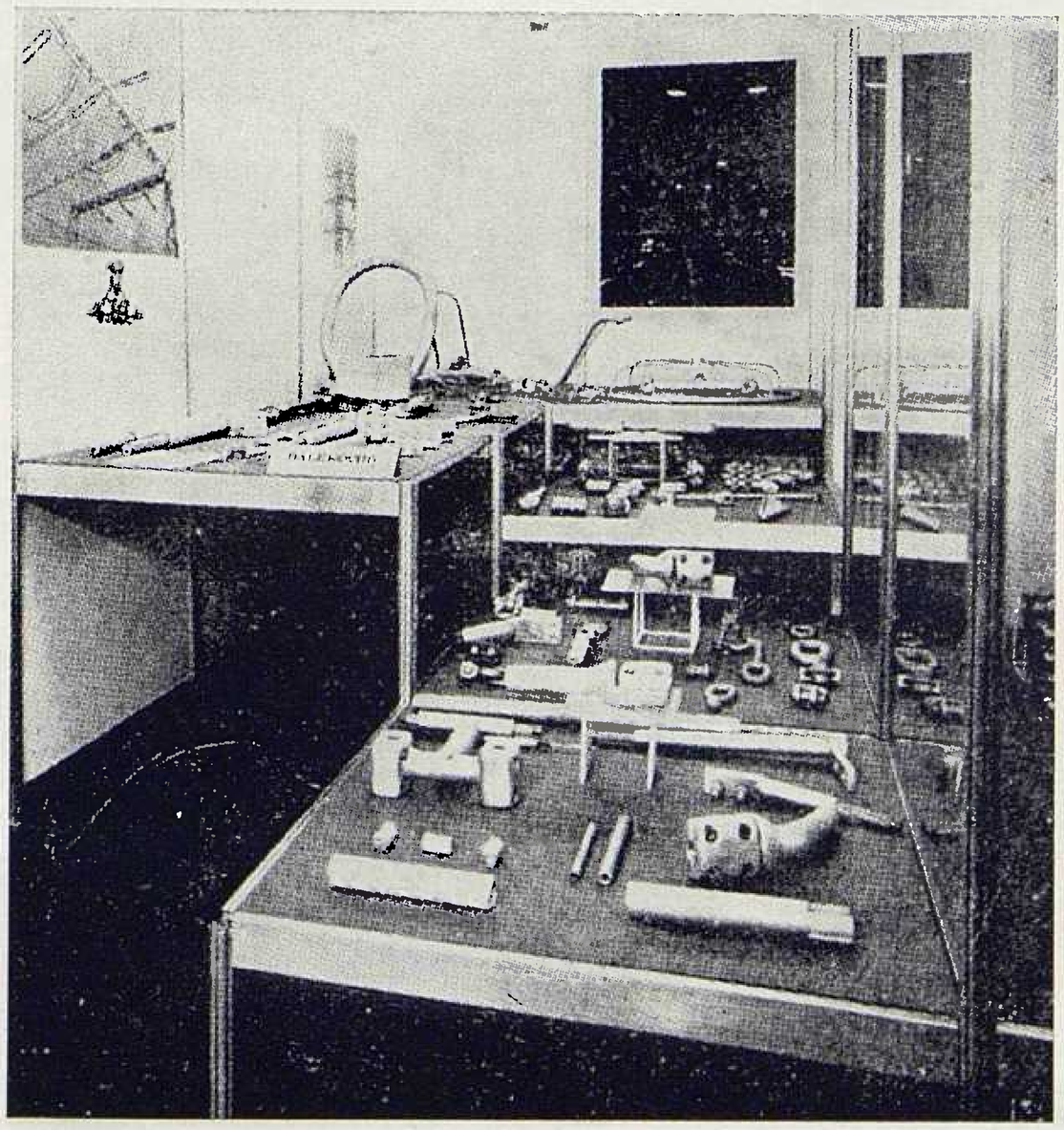
Za potrebe domaćeg i inozemnog tržišta proizvodi opremu za elektroenergetske objekte:

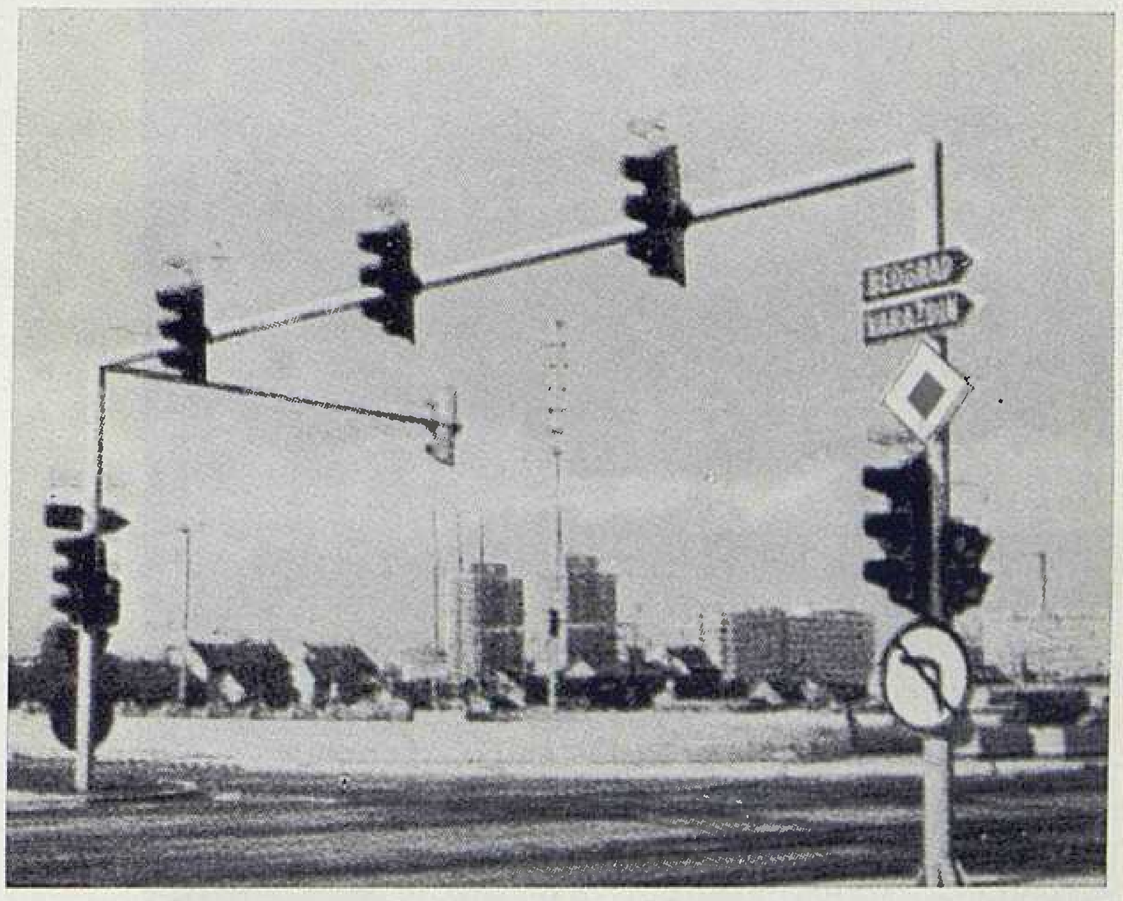
- ovjesnu i spojnu za mreže napona do 1 kV — s golim i izoliranim vodičima
- ovjesnu i spojnu opremu za dalekovode i trafo-stanice napona do 400 kV
- opremu za kontaktnu mrežu za željeznice
- otkivke u ukovnju iz čelika i obojenih metala
- odlijevke u kokili iz aluminija, Al i Cu legure

U svom programu rada proizvodi za potrebe proizvodnih OOUR-a, domaće i inozemno tržište slijedeće čelične konstrukcije:

- rasvjetne i reflektorske stupove
- stupove za dalekovode, PTT vodove i kontaktnu mrežu
- stupne trafostanice, antenske i TV stupove
- portale i nosače aparata u RP i TS, semaforske portale za saobraćajnice
- čelične konstrukcije za dvorane i ind. hale







Svojim suradnicima i svim radnim ljudima Dalekovod želi sretnu i uspješnu 1982. godinu.

KANDELABRI „ARPOSA"

proizvodnje IGM „Sava" – Krško

Industrija građevnog materijala »SAVA« Krško počela je s proizvodnjom kandelabera »ARPOSA« od armiranog poliestera, tipske dužine 4,7 i 4,0 m.

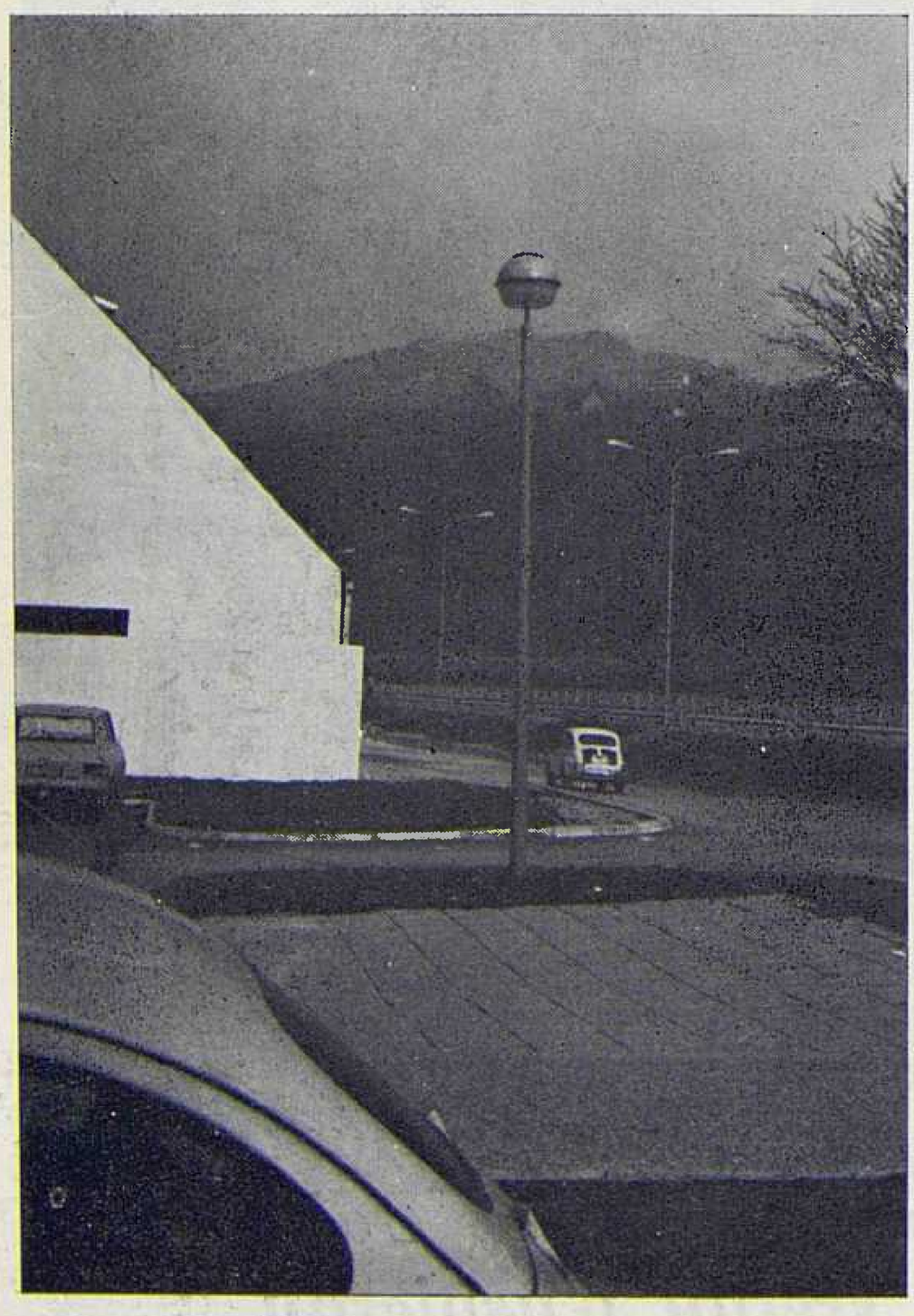
Kandelabri su oblikom šuplji s konicitetom, konačnog vanjskog promjera 76 mm, što odgovara svjetiljkama koje se upotrebljavaju u te svrhe.

Estetskog su oblika, pa ih možemo (zbog mogućnosti različitih boja) uklopiti u bilo kakav ambijent. Zbog upotrebe armiranog poliestera sa staklenim vlaknima predstavljaju izolaciono tjelo, pa ih nije potrebno uzemljivati. Sam materijal ne korodira, a ne uništavaju ga ni mikroorganizmi.

Stoga imaju dug životni vijek i ne mijenjaju im se mehanička i druga svojstva. Zbog specijalne tehnologije predstavljaju kompaktan element s malim uklonom, pa su upotrebljivi i u području vjetra treće zone.

Vrlo su lagani (težina oko 14 kg) i zato se mogu jednostavno prenositi i transportirati.

Osim kandelabra IGM, »SAVA« proizvodi i montažne temelje pomoću kojih možemo kandelabre brzo i jednostavno podizati i na manje nosivom tlu.



Na želju kupaca možemo ga opremiti s osiguračem i priključnim stezaljkama.

Detaljne informacije i prospektni materijal možete dobiti kod komercijalne službe proizvođača.