ENERGIJA

ČASOPIS ZA STRUČNA I ORGANIZACIONO DRUŠTVENA PITANJA ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

GODIŠTE 22. GODINA 1973.

SADRŽAJ »ENERGIJE« U 1973. GODINI

Studije i istraživanja

Strana

Baranović B.: Crpne hidroelektrane u elektroenergetskom sistemu 286

Begović K.: Granice ekonomičnosti primjene oklopljenih SF_6 elemenata u transformatorskim stanicama 220/110 kV u gradskim područjima 349

Boranić V.: Uvjeti razvoja energetike u svijetu i u nas 279

Božin I.: Nuklearna energija u elektroprivredi . 71

Brkić H.: Zagađivanje zraka uljem za loženje . . 8

Čorak D.: Karakteristike centraliziranog sistema predaje topline 231

Čorak D.: Primjena procesnih računala u termoelektranama 1

Dular: Tehničke karakteristike NE Krško . . . 78

Hartl V.: O utjecaju niskonaponske mreže na planiranje gradskih distributivnih mreža . . . 219

Jung M.: Proračun kratkog spoja u prijenosnoj mreži na području »Elektroprenosa« — Matulji za godine 1975. — 1982. 315

Karuza J. — Strohal P.: Utjecaj nuklearne elektrane na okolinu 98

Knapp V.: Nuklearna elektrana i okoliš 93

Lakota J. O automatizaciji u elektroenergetskom sistemu 224

Lešić A.: Plinovodi i plin u ekspanziji 172

Lešić A.: Prijenos energije produktovodima . . . 327

Markovčić B.: Studijski rad na problemima prijenosne mreže Hrvatske i Jugoslavije 210

Mehmedović M. — Kajari M. — Petrović Ž.: Analiza parametara generatora NE Krško s obzirom na dinamičku stabilnost sistema 400 kV . 368

Mijić M.: Perspektive elektroprivrede u Evropi za razdoblje od 1970. — 1985. 385

Miličević A.: Proračun kabela i vodiča na termičku čvrstoću 22

Mužny J.: Parcijalna izbijanja u izolaciji visokonaponske opreme 252

Požar H.: Istraživanja opskrbe energijom 341

Šodan M. — Hebel Z.: Optimalna raspodjela jalovih snaga u elektroenergetskom sistemu . . . 343

Sterpin E.: Problem zaštite od uzdužnog kvara u izoliranim zračnim distributivnim mrežama . 324

Šodan M. — Mikulčić V.: Katodna zaštita 302

Šprung F.: Prijelaz topline u elektroprivrednoj pogonskoj problematici 224

Tonković Z.: Problematika modeliranja kabelskih mreža 319

Tonković Z.: Program za izračunavanje tokova snaga na računskom stroju ICL 164

Udovičić B.: Optimizacija elektroenergetskog sistema 203

Pogonska problematika

Damjanović B.: Mogu li se distributivne transformatorske stanice graditi jeftinije i brže? . . 106

Dobrosavljević Z.: Razvoj energetskih kabela s impregnirano-papirnom izolacijom i metalnim plaštem 154

Dragičević D.: Stvaranje pogonske organizacije i izobrazba kadrova u TE Sisak 141

Jelušić F.: Energetski značaj volumetrijskih gubitaka kod hidrauličkih strojeva 296

Pavičić K.: Neka pogonska iskustva u radu RP 110 i 220 kV visoke izvedbe sa cijevnim sabirnicama u HE Senj 160

Potočnik V.: Plinske turbine za proizvodnju električne i toplinske energije 375

Radmilović B.: Povećanje pogonske sigurnosti rasklopnih postrojenja 110 kV s jednim sistemom sabirnica 301

Tropin K.: Osvjetlenje u objektima bez prirodnog i s nedovoljnim prirodnim osvetljenjem . . . 168

Ekonomsko-financijska problematika

Mijić D.: Energetika u okviru ekonomske komisije za Evropu 176

Šimović J.: Temeljne značajke fiskalne politike u Jugoslaviji u razdoblju od 1965. — 1972. i utje-

caj njezinih parametara na raspodjelu dohotka u elektrodistributivnim poduzećima SRH . . 135

Vijesti iz poduzeća i elektroprivrede

—— : VI. redovna sjednica Skupštine Poslovnog udruženja elektroprivrednih organizacija SRH 29

—— : VII. redovna sjednica Poslovnog udruženja elektroprivrednih organizacija SRH 116

F. K.: Pripreme za izgradnju NE u Krškom . . 268

—— : 20. obljetnica Instituta za elektroprivredu . 398

Savjetovanja i konferencije

Baranović B.: S kongresa u Haagu 401

Markovčić B.: XXIV zasjedanje CIGRE u Parizu 32

—— : XI. stručno zasjedanje energetičara Jugoslavije 35

Mijić D.: 16. kongres UNIPEDE u Haagu 334

Udovičić B.: Simpozij o matematičkim modelima ekonomike u području energetike 400

Zlokovič V.: Međunarodna konferencija za seosku elektrifikaciju 266

GOD. 22 (1973) energija BROJ 1 – 2

ČASOPIS ZA STRUČNA I ORGANIZACIONO DRUŠTVENA PITANJA ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

PRIMJENA PROCESNIH RAČUNALA U TERMOELEKTRANAMA

Duško Čorak, Zagreb

Kontinuirani razvoj proizvodnje i potrošnje električne energije uvjetovao je dinamičan razvoj termoenergetskih postrojenja za proizvodnju električne energije. Porast jediničnih snaga blokovskih jedinica, te usložavanje postrojenja, postavilo je nove zahtjeve automatizaciji i načinu vođenja postrojenja termoelektrana. Sistemi upravljanja sa digitalno procesnim računalima pokazali su se uspješnim u vođenju postrojenja termoelektrana. U referatu je analizirana svrsishodnost primjene i funkcije digitalno procesnih računala za svaki sistem primjenljiv za postrojenja u termoelektrani. Na kraju je prikazana primjena digitalno procesnih računala u svijetu, a za određeni broj instaliranih procesnih računala prikazani su karakteristični tehnički podaci.

DK 621.311.22 : 681.3

1. Uvod

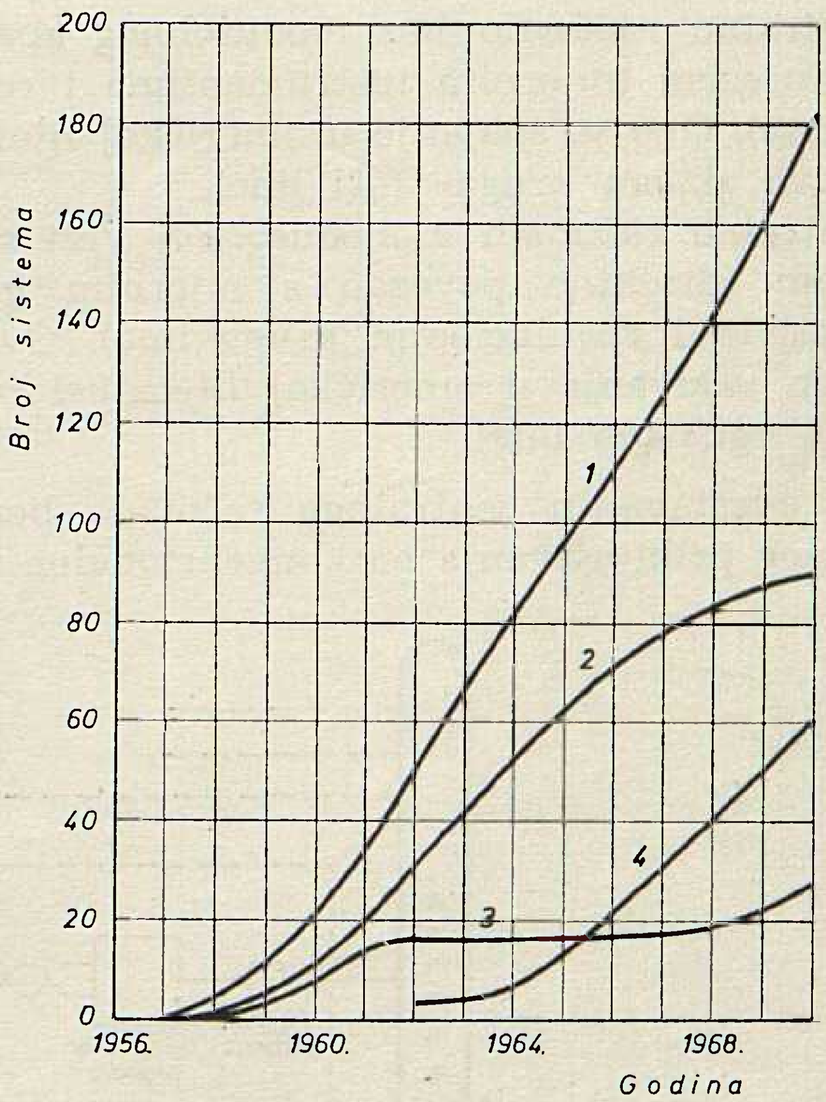
Intenzivni razvoj potrošnje električne energije povlači za sobom u istom intenzitetu razvoj proizvodnje električne energije. Stopa rasta potrošnje i proizvodnje električne energije u svijetu iznosi prosječno oko 7% godišnje. Ta je činjenica potakla da se elektroenergetski sistem razvija u cjelini na novim znanstvenim osnovama i da se sistematski, znanstveno izučava svaki element sistema.

Razvoj proizvodnje električne energije usmjeren je u dva pravca: u razvoj postojećih načina proizvodnje električne energije i u pronalaženje novih mogućnosti i načina. Postojeći načini proizvodnje električne energije na osnovi hidro- i termopotencijala usmjereni su na pronalaženje optimalnijih rješenja (proizvodnja električne energije uz najmanju cijenu koštanja).

Daljnji intenzivni porast potrošnje električne energije (prema sadašnjim predviđanjima za pokrivanje potrošnje do kraja ovog stoljeća) uglavnom će se zasnivati na postojećim poznatim principima proizvodnje električne energije, manjim dijelom iz hidroelektrana, a većim dijelom iz termoizvora, upotrebom, u prvom redu fosilnih, a zatim i nuklearnih goriva.

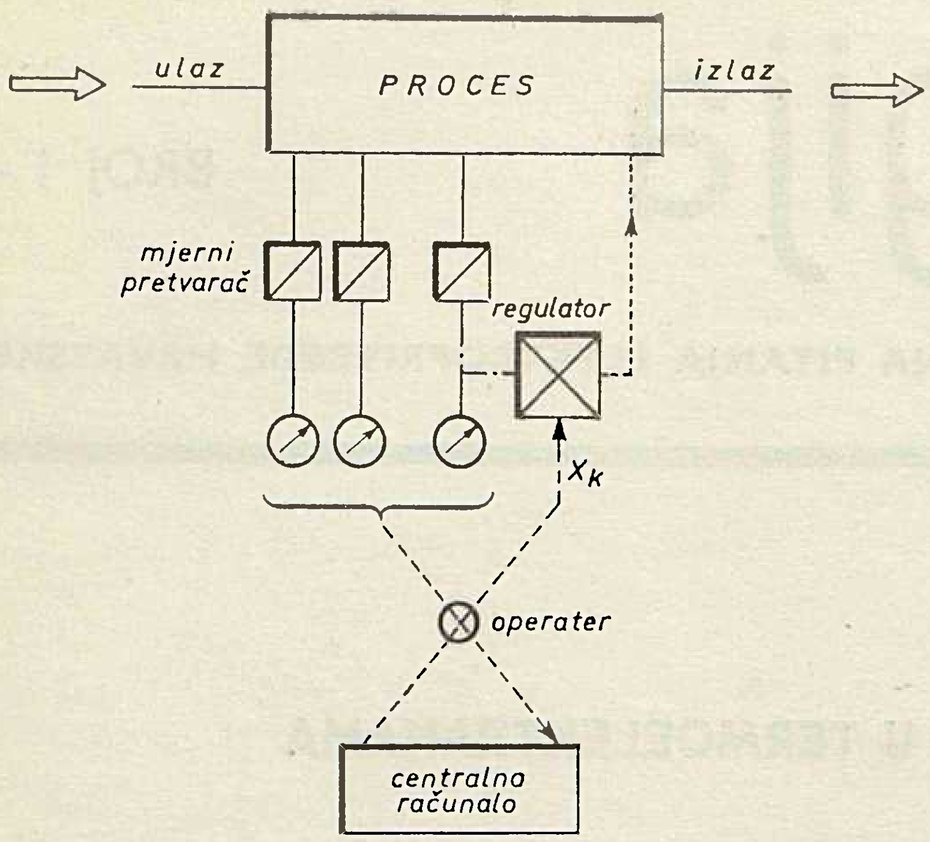
Razvoj proizvodnje električne energije na osnovi fosilnih goriva (termoelektrane) ima tendenciju stalnog rasta blokovskih jedinica, te povećanje složenosti toplinskih shema ciklusa, da bi se postigle odgovarajuće potrebe novih izvora za pokrivanje povećane potrošnje i smanjili troškovi proizvodnje. To povećanje složenosti ciklusa i postrojenja termoelektrana postavilo je kao uvjet i nove metode u automatizaciji i načinu vođenja postrojenja radi vođenja velikih blokovskih jedinica od 200 do 1500 MW, kao i radi postizanja najnižih troškova proizvodnje.

Rješenje spomenutih problema pokušalo se naći u razvijenim elektroenergetskim sistemima svijeta primjenom novih metoda upravljanja i regulacije osnovanih na primjeni kompjutorskog sistema. Ova tehnika upravljanja pojavila se prvi put u postrojenjima termoelektrana 1958. godine, a već



Sl. 1 Primjena D. P. R. u termoelektranama

1 Svi sistemi
2 Obrada podataka
3 Djelomično upravljanje DPR-om
4 Automatsko puštanje i zaustavljanje



Slika 2

nakon 13 godina zauzima važno mjesto i gotovo da se u pojedinim zemljama, (SAD), ne može ni zamisliti veća blokovska jedinica bez primjene spomenutog sistema upravljanja.

Svrsishodnost primjene kompjutorskog sistema upravljanja u termoelektranama ne dovode u sumnju ni proizvođači ni projektanti opreme, a ni vlasnici termoelektrana i energosistema u cjelini. Tempo uvođenja kompjutorskog sistema upravljanja u termoelektrane najintenzivniji je u SAD. U posljednjim godinama i veliki broj termoelektrana u zemljama izvan SAD je opremljen sistemom kompjutorskog upravljanja. Cjelokupni proces uvođenjna tog sistema ima tendenciju kakva je prikazana na slici (1).

U primjeni računala pri kontroli procesa razlikuju se dva osnovna načina proizvodnje računala s procesom.

1. Centralno računalo bez međusobnog spajanja s procesom (mjernim instrumentima i regulatorima). Ovo se spajanje u američkoj literaturi naziva »izvan kruga« (off line).
2. Centralno računalo u međusobnoj vezi s procesom (direktno povezan s mjernim instrumentima i regulacionim krugovima). Ovaj se način vezivanja u američkoj literaturi naziva »u krugu« (on line).

Pri uvrštavanju centralnog računala bez neposrednog priključivanja na konvencionalne mjerne aparate i regulatore, operator očitava podatke procesa na mjernim instrumentima i predaje ih računalu na obradu (sl. 2). Ovaj je spoj posebno zanimljiv za pogone koji već imaju računala za komercijalne svrhe i žele ih još iskoristiti za upravljanje procesom. S druge strane, taj način povezivanja pruža manjim i srednjim pogonima pogodnost da se očitane mjerne vrijednosti mogu kao podaci dostaviti računskom centru i da se računalom dobiveni rezultati mogu u procesu upotrijebiti za namještanje propisanih vrijednosti regulatora. Ovakvo računalo je veoma pogodno kao centralno, gdje mu više pogona dostavlja podatke teleprinterom i odatle ih istim putem vraćaju pogonima.

Primjena računala u mjernom lancu (neposredno povezan s procesom) je za današnje velike jedinice blokova termoelektrana od posebnog značaja i može se reći, da se ovaj sistem isključivo upotrebljava.

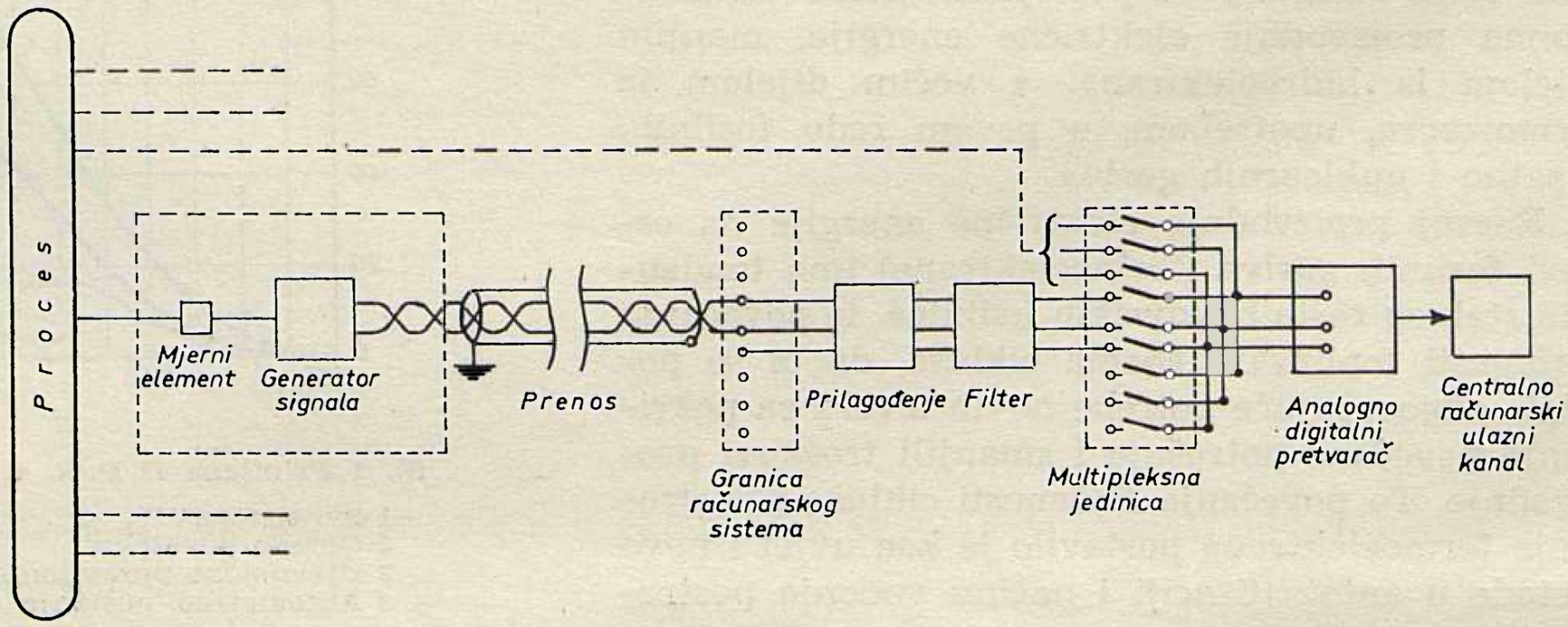
Shema povezivanja računala s procesom prikazana je slici 3.

Pomoć što se dobiva centraliziranim sistemom obrade informacija s priključenjem računskih strojeva (sistem on line), pruža mogućnost za efikasno korištenje velikog broja informacija koje dolaze s mjernih mjesta postrojenja termoelektrane. Prednosti što ih korisnik dobiva primjenom ovakvog sistema obrade informacija mogu se uglavnom svesti na:

a) povećanje sigurnosti pogona,
b) poboljšanje ekonomije,
c) dobivanje kompletnijih točnih i preciznih podataka stanja pogona,
d) bolje iskorištenje osoblja eliminiranjem mnogobrojnih zadataka rutinskog karaktera, i
e) bolje poznavanje procesa rada.

Glavne funkcije što ih sistem obrade informacija može uzeti u zadatak u nekoj termoelektrani, prikazane su u prvoj koloni tablice I. (2), a odgovarajuće prednosti u zaglavlju tablice.

Jedna od karakterističnih osobina brojčanog sistema obrade informacija je u tome što može izvršavati različite funkcije, uspostavljajući između njih hijerarhijski prioritet, već prema kri-



Slika 3

Tablica I

	Sigurnost	Ekonomičnost	Registriranje	Osoblje	Poznavanje procesa
Kontrola mjerenja	×	×		×	
Sistematsko registriranje			×	×	×
Proračun ekonomske bilance		×		×	×
Obrada signalizacije i pogonski dnev.	×		×	×	
Automatizacija uključivanja i zaustavljanja	×			×	

teriju sigurnosti. Te se funkcije mogu uvoditi postupno, u etapama, prema potrebama što nastaju u radu postrojenja termoelektrane.

2. Razvoj sistema upravljanja procesnim računalima

Logičan razvoj prema potpuno automatskom upravljanju postrojenja termoelektrane zahtijeva, kao prvi korak, neku vrstu sistema za prikupljanje podataka, tako da se dobivaju vremenski novelirani podaci tijekom normalnog i abnormalnog rada postrojenja, te da se postignu radni parametri i alarmne granice koje zahtijevaju pažnju operatora. Sistem upravljanja koji je mogao zadovoljiti spomenute zahtjeve je: »Data Logger« (3).

Data Logging je u suštini sistem (4) koji obavlja funkcije kontrole, signalizacije i registracije parametara, te funkcije zaštite. Na taj način zadatak centralnog upravljanja (u pogledu likvidacije upravljanja sa više komandnih pultova) može biti riješen. Pri tome ne proizlazi kvalitativna izmjena sistema upravljanja, ne rješavaju se pitanja obrade podataka i optimiranja režima rada postrojenja, ne unosi se tim sistemom nikakva kvalitativna izmjena u sistem regulacije.

Primjena ovog sistema upravljanja blokom termoelektrane omogućuje da se svaka vrijednost sa mjernog instrumenta uspoređuje s alarmnom graničnom vrijednosti, i ukoliko se prekorači granična vrijednost, ona se ispisuje na izlaznom printeru računala. Na taj način operator je upozoren na obnormalno stanje određene varijable koja zahtijeva njegovu intervenciju. Sistem također može po zahtjevu operatora davati vrijednosti pojedinih parametara, te davati dnevne ili tjedne prosječne vrijednosti pojedinih parametara zajedno s kumulativnim vrijednostima podataka važnih za statistiku upravljanja radom postrojenja termoelektrane.

Prema tome, primjena »Data Loggera« (informacionog stroja) svrsishodna je samo u prvoj etapi automatizacije za prikupljanje podataka za centralizirano upravljanje.

Ovakav sistem upravljanja dopušta da se izostave ogromne komandne ploče s mnogobrojnim pokaznim i registracionim instrumentima, i tako oslobađa operatera nadzora nad velikim brojem instrumenata i zapisa odstupajućih parametara.

Težnjom da se sistem upravljanja postrojenja termoelektrane učini efikasnijom, dovelo je do primjena: »Data prosesing« (sistem upravljanja blokom uz primjenu informacijskog računskog stroja).

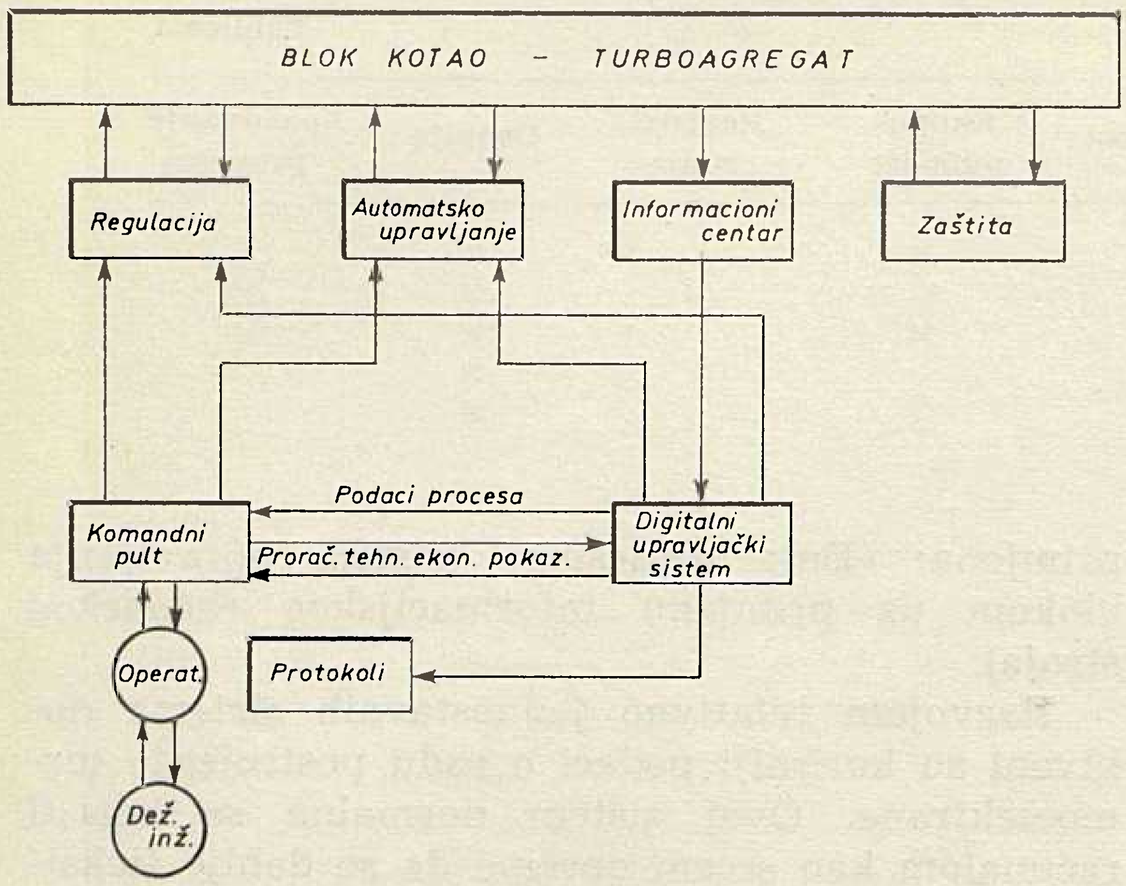
Razvojem relativno jednostavnih sistema dobiveni su korisniji podaci o radu postrojenja termoelektrane. Ovaj sistem normalno se koristi računalom kao srcem opreme da se dobije fleksibilnost svojstvena programiranoj napravi. Sistem procesne obrade podataka (4) razlikuje se od prethodnog sistema u tome, što sistem, a time i operator, raspolažu računskim uređajem za izračunavanje radnih karakteristika termoelektrane (stupanj korisnog djelovanja kotla i turbine, specifična potrošnja topline, i sl.), koje služe kao korisne informacije za uspješnije vođenje postrojenjem u cjelini.

Na taj način je skupljanje podataka za korištenje i otkrivanje pogrešaka, te njihovo koreliranje podignuto na viši i složeniji nivo. Prednost je u tome što se sistem u situaciji složenog kvara može kompleksno analizirati i da se mogu dobiti informacije o primarnom uzroku, poništavajuće sekundarne pojave i alarmi.

Upotreba računala u ovom sistemu treba da pomogne operatoru u izvršavanju zadataka. Osim prezentiranja pojedinih parametara sistem obavlja i njihovu analizu za donošenje potreba u tim zadacima. Sistem je opremljen najsuvremenijim oblicima katodnih cijevi, printerima i sl. Rezultati analize stanja postrojenja mogu se na spomenutim ekranima prikazati u grafičkom ili brojčanom obliku, zahtjevima što ih postavlja operator.

Usporedno s prethodnim tipovima instalacija, što su imale svrhu da operatoru prikažu podatke o radu postrojenja termoelektrane u preciznom i sažetom obliku, tekao je razvoj sistema u davanju pomoći operatoru, na primjer pri turbinskom startanju i drugim logičkim upravljanjima postrojenjem termoelektrane. Ovaj sistem automatskog upravljanja poznat je pod nazivom »sequential control« (sekvencijalno upravljanje).

Prije nego što se postigne radno stanje na glavnoj jedinici kotla i turbini, potrebno je upustiti u rad pridruženo pomoćno postrojenje bloka po određenom redoslijedu, poznavajući raspoloživost pomoćnih uređaja. Taj postupak zahtijeva da se svaki pomoćni uređaj pokrene i kontrolira da bi se vidjelo je li njegovo radno stanje u skladu s cjelokupnom koncepcijom pokretanja postrojenja termoelektrane. Takvi postupci uključuju mnoštvo jednostavnih operacija povezanih na takav način da se dobije željeni cilj u eko-



Slika 4

nomičnosti i pouzdanosti, te da se postigne najkraće moguće vrijeme u logičkom redoslijedu što ga traži glavno postrojenje. Ovakav sistem kontrolira proceduru upuštanja i zaustavljanja postrojenja kao izvanredan programirani operator, zahtijevajući intervenciju operatora u slučaju većih kvarova ili abnormalnosti. U slučaju kvarova pojedinih uređaja pri proceduri upuštanja, sistem automatski korigira samu proceduru, uključujući udvostručeno pripremno postrojenje.

U više ovih slučajeva, gdje su se koristili sekvencionalni logički sistemi za upuštanje i zaustavljanje postrojenja termoelektrane, bili su primijenjeni i sistemi za obradu podataka što su otkrivali alarmna stanja, analizirali ih i prikazivali takve informacije, dajući i sugestije za akcije operatora. Ovakav sistem primijenjen u upravljanju postrojenjem termoelektrane poznat je pod nazivom »Data Processing Sequential control« (sistem sekvencionalnog upravljanja i sistem za obradu podataka).

Osim korištenja računala u radu — Data Processing, te u sistemu logičke sekvencijalne kontrole za obradu podataka, procesno se računalo može efikasno upotrijebiti kao sistem za regulaciju postrojenja termoelektrane. Ovakav sistem u upravljanju postrojenjem termoelektrane poznat je pod nazivom »Computer control« (kompjutorska regulacija).

Korisnici opisane tehnike studirali su nove principe za upravljanje velikim i složenim postrojenjima termoelektrane. Na osnovi tih studija primijenjene su opsežne sheme upravljanja, zasnovane na procesnom računalu. Ono se stoga koristi za opsežnu regulaciju i rad postrojenja, tako da cijelu pripremu postrojenja termoelektrane u podizanju početnog pritiska pare u kotlu, zatim proceduru ubrzavanja turbine, te opterećenje bloka obavlja procesno računalo.

U tom sistemu (slika 4) podaci se skupljaju iz termoelektrane pomoću skanera, jednog za analogne podatke i drugoga za digitalne, te iz informacija o stanjima.

Procesno računalo je »svjesno« trenutnog stanja postrojenja termoelektrane, te može podatke o stanju procesa koristiti za obavljanje radnih operacija nužnih za upravljanje i nadzor proizvodnih jedinica.

Sistem »Computer control« sadrži tri osnovne funkcije (3):

a) upravljanje postrojenjem termoelektrane,
b) nadzor postrojenja termoelektrane, i
c) proračun i pokazivanje podataka.

Valja primijetiti da su te tri glavne funkcije međusobno povezane zajedničkim ulaznim podacima i izmjenom podataka, koristeći mogućnost prekida (interrupt) i organizacione mogućnosti računala.

Funkcija upravljanja postrojenjem termoelektrane osigurava upravljanje i promatranje raznih radnih procedura potrebnih za upuštanje, opterećivanje i zaustavljanje glavnog postrojenja termoelektrane. Razne funkcije u toku tih procedura sastoje se od upuštanja raznih pomoćnih postrojenja na ispravan način i u ispravnom postupku, u odnosu na ostale dijelove postrojenja. Ako je jedan dio postrojenja u kvaru, ili ne radi dobro, računalo poduzima potrebnu korekcionu akciju da se zamijeni oštećeni dio postrojenja, ili pak poduzima akciju za zaustavljanje postrojenja termoelektrane.

Funkcija nadzora nad postrojenjem termoelektrane sastoji se u praćenju njenog rada pri punom pogonu i opterećenju, identifikaciji abnormalnosti i pogrešaka, te njihovoj analizi za određivanje primarnih uzroka poremećaja.

Nakon pronalaženja primarnog uzroka poremećaja, računalo prenosi svoj nalaz funkcije upravljanja termoelektrane da bi se stanje popravilo, ili, ako je sigurnost postrojenja termoelektrane u pitanju, da se postrojenje termoelektrane zaustavi na kontroliran način.

Funkcije proračuna i pokazivanja podataka imaju za cilj potpunu informiranost operatora o akcijama što ih je poduzeo upravljački sistem, kako bi operator u svakom trenutku bio potpuno svjestan stanja postrojenja i akcija upravljačkog sistema. Uz ostalo, te funkcije dozvoljavaju operatoru da zatraži podatke na pokaz u predodređenom obliku, da se upozna s trenutnim stanjem postrojenja na definiran i sređen način.
i poslovanja pogona termoelektrane, statičkog praćenja, te definiranja termina održavanja i vođenja postrojenja termoelektrane na optimalan način. Jedan element tog proračuna je npr. stupanj korisnog djelovanja kotla, koji se proračunava po definiranom programu. Tako dobivena vrijednost se uspoređuje s vrijednošću dobivenoj pri garantiranim ispitivanjima i korigira za trenutne vanjske uvjete. Najčešće postoji razlika između spomenutih dviju vrijednosti, pa tu razliku uzimamo kao »gubitak«, ona ujedno govori o razlici u trenutnom stanju pogona od onoga koje bi bilo mo-

guće. Taj gubitak se dalje analizira razmatranjem svakog dijela posebno, da bi se odredili gubici postrojenja termoelektrane.

Pokazujući informaciju operatoru u određenim intervalima vremena ili pak na zahtjev, operator može uočiti određeni stupanj neefikasnosti pojedinog dijela postrojenja, te pratiti razvoj efikasnosti kako bi se moglo provesti održavanje ili čišćenje u najpogodnije vrijeme, s obzirom na postojeći radni režim termoelektrane. Također se može odrediti smanjenje raspoloživosti, i veličina gubitaka u dohotku zbog neefikasnosti.

Ovaj tip sistema nalazi se kao nadgradnja nad konvencionalnim regulacionim sistemom. Postavne vrijednosti regulatora daje računski sistem, naročito u procedurama upuštanja i zaustavljanja koja zahtijevaju skladno gibanje postavnih vrijednosti više regulacionih petlji da bi se dobio željeni način upuštanja.

Iz svega što je do sada izneseno proizlazi, da je orijentacija na primjenu procesnog računala za praćenje ili upravljanje sistemom, samog ili u zajednici sa sekvencijalnim sistemom široko prihvaćena na polju termoelektroenergetskih sistema. To se prihvaća i kao pouzdana i sposobna alternativa konvencionalnoj instrumentaciji, jer se operatoru prikazuju samo oni podaci koji se odnose na trenutno stanje postrojenja i daje metoda za korekciju abnormalnosti ili pogrešaka koje mogu nastati.

U posljednje vrijeme mnogo se radi na integriranju analognog tipa regulacione petlje u računarski sistem, sa željom da se konačno zamijeni sva analogna regulacija računarskim algoritmima (5). Procesno računalo moguće je primijeniti u upravljačkim akcijama na postrojenju termoelektrane, pogodnim spajanjem na procesnu opremu, eliminirajući time mnoštvo analogne opreme. Takav način regulacije procesnim varijablama naziva se »Direct Digital centrol« (direktna digitalna regulacija — DDC). DDC-sistem ima velike potencijalne mogućnosti u proširenju značenja procesnog računala, pa prema tome i smanjenju uloge upravljačke konvecionalne opreme. DDC-sistem nije samo drugi način izvedbe klasične regulacije s povratnom vezom, već daje i mogućnost da se koristi moderna računarska tehnika uz povećanu ekonomičnost. On na primjer može dati jednadžbe koje najbolje odgovaraju dinamičkim karakteristikama svake petlje koja se regulira, a time projektanta oslobađa izbora jedne od triju regulacionih jednadžbi.

U stvari, tim je sistemom moguće po volji izabrati regulacionu strategiju koja se određuje izborom određenog algoritma. Ovaj sistem se može mnogo fleksibilnije koristiti, za razliku od konvencionalne regulacije kod koje je svaka izmjena regulacione petlje povezana s izmjenom projekta u konstrukciji regulacije, pa takva izmjena zahtijeva zaustavljanje čitvog postrojenja na određeno vremensko razdoblje i zamjenu regulacione petlje novom, što izaziva dodatne troškove. Promjene u DDC-sistemu obavljaju se revizijom dijelova programa i mogu se izvesti kad god je to potrebno. Drugim riječima, DDC-sistem dozvoljava konstruktoru regulacionog sistema da kreira regulacioni sistem, umjesto da izabire najkompromisnije rješenje u vrijeme projekta.

Iz svega što je iznijeto proizlazi da će u bliskoj budućnosti cijeli regulacioni sistem postrojenja termoelektrane voditi računarski sistem i da će on obavljati sva upravljanja i nadzor nad procesom proizvodnje. Operator će samo tražiti podatke za optimizaciju, i intervenirati u slučaju nastanka složenih situacija, koje nisu potpuno analizirane i programirane.

Funkcija upravljanja blokom u ovom sistemu ostvaruje se računskim strojem koji neposredno djeluje na izvršne organe regulacije. U zadatak sistema ulazi i kontrola, signalizacija, regulacija, registracija, proračun tehničko-ekonomskih karakteristika, optimizacija režima, upuštanje i zaustavljanje bloka. Ovaj sistem omogućuje najpotpunije upravljanje blokom, jer se upravlja na principijelno novim i kvalitetnijim osnovama, korištenjem najsvrsishodnijih zakona upravljanja.

Pri ovakvom sistemu upravljanja ispad iz rada računskog stroja povlači za sobom istog momenta zaustavljanje bloka, jer je nemoguće održati rad bloka u osnovnom režimu pod upravljanjem operatora. Da bi se posjedovala visoka sigurnost sistema, valja imati rezervni računski stroj.

3. Povezivanje regulacionog sistema s postrojenjem termoelektrane

Očito je, da se najveća korist od primjene nekog oblika automatizacije može postići ako je sistem jednostavan i pouzdan. Da se to postigne, potrebno je studirati postrojenje termoelektrane do detalja u fazi projekta, kako bi se postigla potpuna integracija regulacionog sistema s postrojenjem termoelektrane.

Sve ovo govori da je projekt regulacije nužno razvijati simultano kao cjelinu, te da je potrebno studirati probleme postrojenja termoelektrane u ranijoj fazi nego što se to činilo do sada.

Uopće valja obratiti pažnju na slijedeće (3):

a) nužno je ranije odrediti principe rada postrojenja;
b) studirati mnoge detalje kako bi se utvrdile mogućnosti pogreške i efekti greške svakog detalja, te odnose među njima u sklopu termoelektrane kao cjeline;
c) studirati metodu za otkrivanje abnormalnog i utvrđivanje ispravnog ponašanja sistema. Također je potrebno utvrditi metode za kontrolu takve informacije, te ispitivanje drugih parametara, koji bi se mogli koristiti za potpuno definiranje stanja termoelektrane;
d) potrebna je informacija o dinamičkom odzivu raznih dijelova postrojenja termoelektrane, te poznavanje vremenskih konstanti raznih procesa do razumne granice točnosti.

Logički razvoj prema potpuno automatiziranom postrojenju termoelektrane, zahtijeva — kao prvi korak — stanoviti oblik sistema za prikupljanje podataka, da se dobiju vremenski korelirani podaci u toku abnormalnog i normalnog stanja postrojenja.

U početku su se razni podaci koristili za uspostavljanje radnih parametara i granice alarma što zahtijevaju pažnju operatora.

Profinjenje tog sistema omogućuje da se podaci energetskih karakteristika izračunavaju na osnovi srednjih vrijednosti, dobivenih u kratkim vremenskim razmacima, i da se s tako dobivenim vrijednostima operator koristi za optimizaciju procesa.

Paralelno s prethodnim sistemom razvijao se sistem za upravljanje postrojenjem termoelektrane, uključujući upuštanje i zaustavljanje, te korekciju kvarova. U tu svrhu primijenjeni su sistemi osnovani na analognim ili sekvencijalnim logičkim sistemima. Kao daljnji korak u razvoju ovih sistema jest integracija s ovim sistemima, sistemom za obradu podataka i razvojem računarskog sistema upravljanja koji posjeduje veliku fleksibilnost u primjeni.

4. Pregled primjene procesnih računala

4.1. Pregled primjene procesnih računala u SAD

Do sada je već istaknuto da je primjena procesnih računala u postrojenjima termoelektrana u SAD veoma rasprostranjena, i da se danas gotovo ne može zamisliti izgradnja nove blokovske jedinice, a da nije predviđena upotreba jednog od sistema procesnih računala (DPR)[1]. Iskustva u pogledu primjene DPR u postrojenjima termoelektrana također su najveća u SAD, kao i broj do sada instaliranih blokovskih jedinica s jednim od sistema s digitalnim procesnim računalom.

U razdoblju od 1968. do 1971. godine SAD su planirale izgraditi termoelektrane ukupne snage 67.000 MW. Blokovi koji su se projektirali poslije 1968. godine su 92% sa blokovskim jedinicama iznad 200 MW, a više od 73% blokova su sa snagom iznad 500 MW i 16% blokova sa snagom preko 100—1000 MW (6), s jasnom tendencijom poboljšanja ekonomije rada i smanjenja cijene proizvedene električne energije. Na postrojenjima termoelektrana koje su u izgradnji, gdje je stalna tendencija povećanja složenosti toplinskog ciklusa i povećanja snage blokovskih jedinica, korištenje sistema upravljanja sa DPR najšire je primijenjeno i predstavlja sastavni, funkcionalni i neophodni dio postrojenja. U ovom trenutku po njihovim kriterijima može se razgovarati o svrsishodnosti primjene nekog sistema s određenim karakteristikama i funkcijama upravljanja, dok se primjena sistema DPR uopće ne dovodi u pitanje.

Tendencije razvoja postrojenja termoelektrane u SAD su takve da se povećava snaga blokovskih jedinica, tako da se u najskorije vrijeme može očekivati izgradnja blokovskih jedinica snage 1500 MW, a do 1980. godine 2000 do 2500 MW. S takvim povećanjem snaga blokovskih jedinica povećat će se i snaga termoelektrana, koja će u skorim godinama imati instaliranu snagu 1000 do 3000 MW sa dva do četiri bloka.

Snaga pojedinih termoelektrana dostizat će 4000 do 6000 MW, a u nekim uvjetima i 10.000 MW (6). Također se smatra da će se u uvjetima SAD ekonomska veličina termoelektrana u skorim godinama kretati od 5000 do 6000 MW.

Takva tendencija razvoja blokovskih jedinica je omogućena zahvaljujući razvoju sistema sa DPR, koji također ima stalnu tendenciju usavršavanja i prilagođavanja novim dostignućima na području razvoja termoenergetskih postrojenja, gdje je i inače dobio široku primjenu.

Jedan specificirani prikaz primjene DPR-a u izvjesnom broju postrojenja termoelektrana u SAD dan je u tablici II. U tablici su dani i raspoloživi tehnički podaci, kako o blokovskim jedinicama tako i o DPR, te o funkcijama koje obavlja (7).

4.2. Pregled primjene procesnih računala u zapadnoj Evropi

Primjena DPR u zemljama zapadne Evrope tekla je s određenim zakašnjenjem u odnosu na primjenu u SAD. Valja istaći da se na starom kontinentu toj tehnici prišlo sa mnogo više opreza nego u SAD. Prva procesna računala instalirana na postrojenjima termoelektrana imala su samo funkcije prikupljanja podataka, da bi odmah nakon toga dobila i funkciju izračunavanja energetskih pokazatelja. Bilo je pokušaja da se na postojećim blokovskim jedinicama instaliraju procesna računala, ali se došlo do zaključka da je to neopravdano i veoma teško, pa se veoma brzo odustalo od takvih pokušaja.

Najbrže su se DPR uvodila u Francuskoj i Velikoj Britaniji, a nešto sporije u SR Njemačkoj. U ostalim zemljama taj trend je uglavnom ovisio o iskustvima u prethodno spomenutim zemljama, a isto tako o razvoju i prilagođavanju proizvođača energetske opreme novim rješenjima u pogledu upravljanja. Potrebno je istaći da je oprez koji je bio prisutan u Evropi imao za posljedicu da u procesu primjene DPR nije bilo ni jednog tehničkog promašaja, pa su iskustva uglavnom veoma pozitivna. Tendencija razvoja blokovskih jedinica velikih snaga je u zapadnoj Evropi veoma izražena. Prema podacima 21. kongresa OESR, evropski dio ove organizacije predvidio je izgraditi u razdoblju od 1968. do 1971. god. ukupno 58.500 MW, od čega su više od 80% snage, blokovske jedinice iznad 200 MW, a 45% su snage blokovske jedinice iznad 500 MW. Takva tendencija je imala za posljedicu i izraženu primjenu DPR na postrojenjima termoelektrane. U pogledu primjene sistema DPR, može se konstatirati da u nekim zemljama postoje različiti pristupi. Tako u Francuskoj u okviru EdF postoji jasna tendencija primjene DPR s funkcijama prikupljanja i obrade

[1] Digitalno procesno računalo

Redni broj	OSNOVNI TEHNIČKI PODACI TERMOELEKTRANE							TEHNIČKI PODACI RAČUNARA														
	NAZIV TERMOELEKTRANE	Godina početka rada sa D. P. R.	Upotrebljeno gorivo	Snaga termoelektrane	Temperatura pare u [°C]	Temperatura međupregrijanja u [°C]	Pritisak pare (ata)	Proizvođač i tip procesnog računala	ANALOGNI ULAZI					Digitalni ulazi	Ulazi za upravljanje	Točke za posmatranje	Kapacitet memorije — 1000 riječi	FUNKCIJE D. P. R.				
									Temperatura	Pritisak	Protok	Nivo	Ostalo					Prikupljanje podataka	Skaniranje i alarm	Izračunavanje karakteristika	Praćenje promjena	Puštanje i zaustavljanje
1.	Chollo-Holbrook, Ariz.	1962	ugalj	115	—	—	—	General Electric GE-412	245	36	8	2	62	10	75	90	8	+	+	+	—	—
2.	Mystic-Boston, Mass.	1961	ugalj + lož ulje	125 + 50	—	—	—	Information system ISI-60 K	454	43	20	—	23	16	—	302	4	+	+	+	—	—
3.	Douglas-Point-Port Elgin	1964	—	—	—	—	—	Daystrom-636	392	26	15	1	64	8	18	40	8	+	+	+	+	+
4.	Goldsboro-Goldsboro, N.C.	1962	ugalj	250	540	540	168	Daystrom-136	541	90	32	17	131	11	1347	180	12	+	+	+	+	+
5.	H. B. Robinson-Harstville, S.C.	1960	ugalj	185	540	540	125	Daystrom-46	212	29	12	3	54	17	32	110	4	+	+	+	—	—
6.	Lake Shore-Cleveland, Ohio	1962	ugalj	250	540	540	165	Bailey Mater co. Bailey-7559	251	23	6	—	9	—	—	140	16	+	+	+	—	—
7.	J. H. Cambell W. Wlive, Mich.	1962	ugalj	265	560	540	165	Bailey Mater co. Bailey-750	210	40	10	6	16	—	30	300	—	+	+	—	—	—
8.	Mc Donough-Atlanta, Ga.	1963	ugalj + lož ulje	240	540	540	168	General Electric GE-412	296	230	50	20	100	21	797	150	8	+	+	+	+	+
9.	Roy S Nelson-West lane, La.	1960	plin	162	—	—	—	Information system ISI-609	56	19	6	3	6	—	—	—	4	+	+	+	—	—
10.	Willow Glen-Gabriel, La.	1960	plin	162	540	540	125	Daystrom-46	119	27	6	6	15	1	0	145	4	+	+	+	—	—
11.	Gordon Evans-Wichita, Kan.	1961	plin	160	540	540	125	Daystrom-46	155	27	3	1	31	32	60	120	4	+	+	+	—	—
12.	Sterlington-Sterlington, La.	1958	plin]	210	540	540	125	Daystrom-46	270	13	4	—	18	13	23	135	2	+	+	+	—	—
13.	Milliken-Ludlowile, N.Y.	1959	ugalj	250	—	—	—	Bailey Mater co. Bailey-750	302	18	12	—	22	—	—	354	—	+	+	+	—	—
14.	Bailey-Baileytown, Ind.	1962	ugali + pljn	200	540	540	125	Keeds & Northrup L & N-2000	327	36	28	3	37	—	—	250	0,250	+	+	—	+	—
15.	Bergen-Bergen city, N.J.	1961	ugalj + plin	290	—	—	—	Leeds & Northrup L & N-1000	1280	34	30	—	31	—	—	1500	8	+	+	+	+	—
16.	Mercer-Trenton, N.J.	1962	ugalj + plin	300	580	560	165	Leeds & Northrup L & N-3000	1280	34	30	—	13	—	—	1500	16	+	+	+	+	—
17.	Sewaren-Sewaren, N.J.	1962	ugalj + lož	342	—	—	—	Westinghouse W. Prodac IV	816	84	38	60	485	5	512	1658	4	+	+	+	+	+
18.	Northeast Cologah, Okla.	1961	ulje + plin	170	—	—	—	General Electric GE-312	148	15	8	—	28	20	30	212	16	+	+	+	—	—
19.	Tulsa-Tulsa, Okla.	1958	plin	33, 170, 110,	—	—	—	Information system ISI	97	14	—	—	49	—	—	157	—	+	+	—	—	—
20.	Rocky Reach-Chelan Country, Wash.	1961	lož ulje + plin	100	—	—	—	Bailey Mater co. Bailey-750	—	—	—	—	—	—	—	110	1,2	+	+	—	—	—
21.	Palo Seco-Catano, Puerto Rico	1961	—	82	—	—	—	General Electric GE-312	152	64	12	—	70	—	—	77	8	+	+	+	—	—
22.	Canadys-Canadys, S.C.	1962	lož ulje	125	560	540	125	General Electric GE-412	63	23	7	0	4	3	164	84	32	+	+	+	—	—
23.	Mc Meekin-Irmo, S.C.	1958	ugalj + lož ulje	125	560	540	125	Mineapolis Honeywell M-H	63	18	6	—	9	7	—	103	—	+	—	—	—	—
24.	Alamitos-Long Beach, Calif.	1962	ugalj + lož ulje	310	560	540	165	General Electric GE-312	403	40	12	5	43	3	545	48	53	+	+	+	+	+
25.	Etiwanda-Etiwanda, Calif.	1963	lož ulje + plin	320	565	540	168	General Electric GE-412	386	46	11	3	28	3	580	58	8	+	+	+	+	+
26.	Huntington-Huntington Beach, Calif.	1962	lož ulje + plin	2 × 218	565	540	168	General Elektric GE-312	349	46	6	3	40	3	305	47	40	+	+	+	+	+
27.	Nicholas-Amarilo, Tex.	1962	lož ulje + plin	112	—	—	—	Bailey Mate co. Bailey-256	238	26	26	—	22	—	—	—	—	+	+	+	—	—
28.	Colbert-Tuscumbia, Ala.	1962	plin	500	—	—	—	Thompson Ramo Wooldrige, TRW-300	500	40	6	0	5	0	25	150	16	+	+	+	—	—
29.	Paradise-Drakesboro, Ky.	1963	ugalj	650	560	540	165	Thompson Ramo Wooldrige. TRW-330			294			856	109	159	100	+	+	+	—	+
30.	Widows Creek-Bridgeport, Ala.	1960	ugalj	500	560	540	165	Thompson Ramo Wooldrige, Hagen-2000	395	50	3	—	21	—	—	—	—	+	+	—	—	—
31.	Widows Creek- Bridgeport, Ala.	1963	ugalj	500	560	540	165	Thomson Ramo Wooldrige, TRW-300	518	40	0	—	15	0	25	192	16	+	+	+	—	—
32.	Handley-Fort Worth, Tex.	1963	ugalj	330	—	—	—	Westinghouse W. Prodac IV	211	32	15	1	31	—	—	102	4	+	+	+	—	—
33.	Four Corners-Farmington, N. Mex.	1969	plin	225	536	536	140	General Electric GE-412	522	180	20	—	20	12	157	180	24	+	+	+	—	—
34.	Stanton-Stanton, N.D.	1965	ugalj	—	—	—	—	Bailey Mater co. MB-750	37	15	11	0	23	0	2	98	2	+	+	+	+	—
35.	Edgar-St. Weymonth, Mass.	1964	—	—	—	—	—	General Electric GE-412			700			500	—	—	32	+	+	+	—	+
36.	Roxboro-Roxboro, N.C.	1966	ugalj + lož ulje	395	536	536	169	Mailey Mater co. MB-756	294	29	15	6	51	12	5	412	15	+	+	+	—	—
37.	Yoliet-Yoliet, Ill.	1965	ugalj	290/580	536	536	177	Westinghouse WE-510	1090	114	80	—	50	60	29	500	48	+	+	+	—	—
38.	North Lake-Dalas, Tex	1965	ugalj	356	536	536	140	General Electric GE-412			375			75	—	—	40	+	+	+	+	—
39.	Marshal-Charlotte, N.C.	1964	lož ulje + plin	395	165	536	165	General Electric GE-412			990			750	—	—	40	+	+	+	—	+
40.	Harile Branch-M. Iledgeville, Ga.	1965	ugalj	250	536	536	169	Westinghouse WE-510	444	102	51	10	93	—	952	—	65	+	+	+	+	—
41.	Mc Donough-Atlanta, Ga.	1963	ugalj	245	536	536	169	General Electric GE-412	296	230	50	20	100	21	277	150	32	+	+	+	—	—
42.	Sabine-Orange Country, Tex.	1966	ugalj + lož ulje	410	536	536	160	Baley Mater co. MB-755	316	48	20	8	25	12	32	451	15	+	+	+	+	—
43.	Middletown-Middletown, Conn.	1964	lož ulje + plin	220	536	536	188	Bailey Mater co. MB-750	13	45	0	0	48	50	0	0	2	+	+	—	—	—
44.	Baclift-Galveston Country, Tex.	1967	ugalj	477	536	536	246	Control Date Corp. CDC-636	1700		350			0	150	240	82	+	+	+	—	—
45.	Webster-Houston, Tex.	1964	plin	350	536	536	140	General Electric GE-412			375			75	—	—	24	+	+	+	+	—
46.	Wood River-Wood River, Ill.	1964	lož ulje + plin	409	565	536	140	General Electric GE-412	485	95	85	5	60	15	32	—	32	+	+	+	—	—
47.	Peterburg-Peterburg, Ind.	1969	ugalj	220	536	536	126	Bailey Mater co. BM-756	334	22	16	9	19	4	20	424	11	+	+	+	+	+
48.	Beaver Chanel-Clinton, Iowa	1967	ugalj]	232	536	536	140	Control Date Corp. CDC-636	250		175			0	300	120	0	+	+	—	—	—
49.	George Neal-Salix, Iowa	1963	ugalj	—	—	—	—	Bailey Mater co. MB-755	38	13	12	0	34	13	0	95	—	+	+	+	—	—
50.	Northside-Jacksonville, Fla.	1966	—	275,8	536	536	169	Bailey Mater co. BM-756	360	31	10	6	33	0	100	540	23	+	+	+	+	+
51.	Southside-Jacksonville, Fla.	1964	lož ulje + plin	156,4	536	536	133	Bailey Mater co. BM-750	255	45	20	4	81	15	70	485	10	—	+	—	+	—
52.	Montrose-Clinton, Mo.	1964	lož ulje	185	536	536	126	General Electric GE-412			375			75	—	—	32	+	+	+	+	—
53.	Little Gypsy-La Place, La	1965	ugalj	406	536	536	169	Control Date Corp. CDC-536	350		150			—	700	120	131	+	+	+	—	+
54.	Cane Run-Louisville, Ky.	1966	plin	180	536	536	126	Bailey Mater co. BM-750	240	35	9	1	0	15	0	150	2	+	+	—	—	—
55.	Brayton Point-Somerset, Mass.	1964	ugalj	238	536	536	169	Radio Corp. of America, RCA-110	—	—	—	—	—	—	2	—	8	+	+	+	—	—
56.	Michoud-New Orleans, La.	1967	ugalj	531	536	536	246	Control Date Corp. CDC-636	350		150			0	300	120	40	+	+	+	—	—
57.	Dunkirk-Dankirk, N.Y.	1965	lož ulje + plin	—	—	—	—	Bailey Mater co. BM-750	298	19	7	3	53	33	114	532	15	+	+	+	+	—
58.	Dunkirk-Dunkirk, N.Y.	1965	—	—	—	—	—	Bailey Mater co. BM-750	285	27	9	3	85	45	150	604	15	+	+	+	+	—
59.	Huntley-Buffalo, N.Y.	1964	—	—	—	—	—	Bailey Mater co. BM-750	377	106	24	27	25	31	159	682	15	+	+	+	—	—
60.	Indian River-Orlando, F a.	1964	—	213	536	536	126	Bailey Mater co. BM-755	274	33	20	48	37	10	400	745	23	+	+	+	+	—
61.	Contra Costa-San Francisco, Calif.	1964	lož ulje + plin	300	565	536	169	Westinghouse WE-500	755	30	14	0	138	594	300	100	65	+	+	+	—	+
62.	Municipal-Pasadena, Calif.	1964	plin	—	—	—	—	Bailey Mater co. BM-750	96	0	0	0	6	0	284	416	6,5	+	+	+	—	—
63.	Chalk Point	1965	—	335	536	536	246	General Electric GE-312			372			170	—	—	40	+	+	+	+	—
64.	Schiler-Portsmouth, N. H.	1964	ugalj	—	—	—	—	Bailey Mater co. BM-750	176	65	15	0	38	28	20	342	8	+	+	—	—	—
65.	Hudson-Jersey City, N. J.	1968	—	620	536	571/565	258	Westinghouse WE-510	425	50	x20	—	305	—	624	13	65	+	+	+	+	+
66.	Etiwanda-Etiwanda. Calif.	1963	ugalj	565	565	536	169	General Electric GE-412	386	46	11	3	22	3	588	58	40	+	+	+	+	+
67.	Cunningham-Hobbs. N. M.	1965	lož ulje + plin	200	536	536	126	Bailey Mater co. BM-756	269	28	13	4	39	4	25	390	15	+	+	+	+	—
68.	Plant X-Amherst, Texas	1963	plin	—	—	—	—	Bailey Mater co. BM-755	265	36	9	0	21	0	4	325	28	+	+	+	+	—
69.	Paradise-Drakesboro, Ky	1964	—	650	560	536	165	Thompson Ramo Wooldrige, TRW-330			1290			850	109	159	100	+	+	+	+	+
70.	Paradise-Drakesboro, Ky	1965	ugalj	650	560	536	165	Thompson Ramo Wooldrige, TRW-330			1290			85	109	159	100	+	+	+	+	+
71.	Nidows Creek-Bridgeport, Ala.	1963	ugalj	500	560	536	165	Thompson Ramo Wooldrige, TRW-330	518	40	0		15	0	25	192	16	+	+	+	+	—
72.	Morgan Creek-Colorado City, Texas	1966	ugalj	500	536	536	250	Control Date Corp. CDC-636	350		150			0	75	120	32	+	+	+	—	—
73.	Handley-Fort Worth, Texas	1963	plin	330	—	—	—	Westinghouse WE-500	211	38	15	1	31	—	—	102	16	+	+	+	—	—
74.	Mermec-St. Louis, Mo.	1963	plin	250	536	536	140	General Electric GE-312	166	21	23	—	5	25	75	67	40	+	+	+	+	—
75.	Kemmerer-Kemmerer, Wyo.	1963	ugalj + plin	—	—	—	—	Bailey Mater co. BM-755	201	15	8	4	38	4	20	312	28	+	+	—	+	—
76.	Chesterfield-Chesterfield, Va.	1964	ugalj	330	536	536	177	Bailey Mater co. BM-755	403	25	11	0	20	2	29	490	15	+	+	+	+	+
77.	Mount Storm-Maunt Storm, W. Va.	1966	ugalj	540	536	536	177	Bailey Mater co. BM-756	993	72	28	4	62	10	60	1259	80	+	+	+	+	+
78.	Oak Creek-Oak Creek, Wis.	1965	ugalj	310	565	536	177	Westinghouse WE-510	286	28	14	2	40	19	160	150	65	+	+	+	+	—

podataka uz mogućnost upuštanja i zaustavljanja s pomoću DPR. U tu je svrhu prilagođeno i razvijeno procesno računalo CII-10020 (8), koje je u posljednje vrijeme dobilo nasljednika u MITRI 15 (9). U Velikoj Britaniji je izražena tendencija primjene sistema sa Date Procesing and Sequential Control. Za tu svrhu postoje razvijeni sistemi u okviru IBM-a. U Zapadnoj Njemačkoj primjena DPR bila je u početku nešto sporija nego u Francuskoj i Velikoj Britaniji, ali u posljednje vrijeme takvo se zaostajanje ne može konstatirati. Rješenja što su veoma često primjenjivana na postrojenjima novih blokovskih jedinica imaju funkciju prikupljanja i izračunavanja energetskih pokazatelja, a rijeđe i funkciju upuštanja i zaustavljanja. Najčešće se primijenjuju rješenja IBM i »Siemens« s modelima 301 do 305.

4.3. Pregled primjene procesnih računala u istočnoevropskim zemljama

Primjena DPR u istočnoevropskim zemljama počela je zapravo tek od 1965. god. kada je u SSSR-u instaliran računski stroj nazvan I. V.-500 na blokovskoj jedinici od 300 MW. Od tog vremena do danas u SSSR-u je instalirano ukupno oko 30 DPR na postrojenjima termoelektrana, i to oko 20 na termoelektranama na ugljen, a oko 80% na termoelektranama loženim plinom ili lož-uljem. Također je došlo do razvoja novih sistema DPR u SSSR-u, i to »Dnjepar 2« i »Kompleks« (10). Ovi računski strojevi imali su funkcije prikupljanja i obrade podataka, izračunavanje energetskih pokazatelja, te upuštanje i zaustavljanje blokovskih jedinica. Svi sistemi DPR primijenjeni su na blokovskim jedinicama od 200 MW i većih snaga, s tim da je na blokovskim jedinicama od 500 MW i 800 MW obvezna oprema sa DPR-om. Tendencija primjene DPR u termoelektranama u SSSR-u je veoma izražena i ne dovodi se u pitanje, što je posebno istaknuto na IV zasjedanju Stalne komisije SEV-a za termoelektrane, u lipnju 1971. godine u Torunu, Poljska. Instaliranje DPT na blokovskim jedinicama većih snaga od 200 MW u SSSR-u je ograničeno jedino mogućnostima proizvodnje spomenutih sistema »Dnjepar 2« i »Kompleks«.

Valja spomenuti da je na ovom zasjedanju istaknuto da primjena DPR na postrojenjima termoelektrana snage 200 MW i više predstavlja tehničku nužnost, jer je rad operatora već na jedinicama od 200 MW u slučajevima havarije i drugih poremećaja toliko otežan (veliki broj mjernih i kontrolnih točaka) da prelazi granicu mogućnosti uspješnih intervencija. Do istih zaključaka došlo se i u ostalim istočnoevropskim zemljama: Poljska, Istočna Njemačka, ČSSR i Rumunjska, tako da je razrađen plan za uvođenje DPR na novim blokovskim jedinicama. U SR Rumunjskoj već je 1968. godine instaliran prvi DPR na blokovskoj jedinici 300 MW francuske proizvodnje i time je prihvaćeno da sve jedinice od 300 MW koje budu instalirane, budu opremljene sa DPR, koji ima funkciju prikupljanja podataka, izračunavanje energetskih karakteristika, te upuštanje i zaustavljanje. Vrijedno je istaći orijentaciju SR Rumunjske na vlastitu proizvodnju blokovskih jedinica snage 330 MW, pa se očekuje da će prva jedinica od 330 MW vlastite konstrukcije biti puštena u eksploataciju 1974. god., a bit će opremljena DPR-om vlastite proizvodnje po japanskoj licenci. Sve mašine rumunjske proizvodnje od 300 MW imat će kao sastavni dio opreme DPR.

U ostalim zemljama članicama SEV-a predviđeno je da se DPR uvede u sve blokovske jedinice od 200 MW i većih snaga, pa se može očekivati da će blokovske jedinice nakon 1975. godine biti uglavnom opremljene DPR-om.

Literatura

1. G. Kimich, R. V. Klösterlinen, G. Schwab, G. Schwertner: *Der Prozesrechner im praktischen Einsatz im Dampfkraftwerk*, »Energie« 1966. No 5.
2. Ch. Grünberger: *Emploi dun calculater numerique dans la conduite des centrales thermiques*, Comunication presentee an colloque Hispano-Francalsa Madrid.
3. C. Ayers: *The art of automating unit and station — a review of current united kingdom practice*, Power Stations Applications Committee of the British Electrical and Allied Manufactures Association, Copenhagen, 1968.
4. E. P. Stefani: *Kompleksnaja avtomatizacija električeskih stancij pol'soj možnosti s ispol'zovaniem upravljajuščih vyčislitel'nyh mašin*, »Teploenergetika«, 1962. No 7.
5. E. S. Savas: *Computer Control of industrial Processes*, Mc. Graw-Hill Book Company, New York, 1965.
6. M. P. Sauvina: *Osnovnye napravlenija razvitija teploenergetiky*, »Teploenergetika« No 7 1970.
7. *Energy System Design Survey* Power: 1961. — 1970. god.
8. *Controle thermique Obrenovac traitement centralise des informations*, Bologne, octobre 1968.
9. G. A. Darve: *Uticaj uslova za automatizaciju mini računala*, Zagreb, 1971.
10. E. P. Stefani: *Sovremenoe sostojanie i tendencii razvitja sistem avtomatičeskogo upravlenija dlja teplovyh elektrostancij*, »Teploenergetika«, 1965. No 4.

Naslov pisca: Mr Duško Čorak, dipl. ing.
Elektroprivreda — Zagreb

ZAGAĐIVANJE ZRAKA ULJEM ZA LOŽENJE

Hrvoje Brkić, Zagreb

Opisane su štetne sastojine dimnih plinova nastalih izgaranjem ulja za loženje, a naročito štetno djelovanje sumpornog dioksida na ljude, životinje, bilje i materijale. Iznesene su mjere koje treba poduzeti da bi se zagađivanje zraka svelo na najmanju moguću mjeru.

DK 621.311.22

Uvod

Održavanje života ljudi na zemlji vezano je za korištenje okolišne prirode i njezinih bogatstava, i to neposredno bez ikakve prerade, ili posredno nakon pripreme i transformacije. Ovakve pripreme i prerade prirodnog bogatstva vezane su uz stvaranje izvjesnih količina otpadaka, koji opet djeluju na život ljudi i prirode. Otpaci ne zagađuju samo najbližu okolicu, već ugrožavaju i okolišne podzemne i nadzemne vode, zemlju i toliko važnu atmosferu.

Osobito velike količine otpadnih plinova dolaze u zemljinu atmosferu iz postrojenja koja služe za proizvodnju topline iz klasičnih goriva: iz peći kućanstava, kotlovnica centralnih grijanja i iz industrijskih i elektroprivrednih kotlova. Tako npr. blok snage oko 200 MW ložen uljem za loženje, pri punom opterećenju izbacuje preko pola milijuna Nm^3/h, odnosno oko 700—800 t dimnih plinova na sat. Godišnje količine izbačenih dimnih plinova kod bloka ove veličine iznose, ovisno o broju radnih sati, i do 4—5 milijuna tona, što je već osjetna količina, naročito ako se elektrana sastoji od više takvih, ili čak većih blokova. Sastav dimnih plinova kod suvremenih kotlova pažljivo loženih uljem za loženje, iznosi:

Ugljični dioksid	CO_2	13,0 — 14,0 %
Vodena para	H_2O	10,0 — 12,0 %
Dušik	N_2	74,0 — 75,0 %
Kisik	O_2	0,1 — 0,5 %
Sumporni dioksid	SO_2	0,1 — 0,3 %

U prikaz nisu uneseni plinovi koji se pojavljuju u vrlo malim količinama, dušični oksidi, i sl.

Sastav dimnih plinova neće se bitno promijeniti ni kod loženja drugim gorivima, tj. ugljenom ili plinom. Izvjesne prividne promjene mogu nastupiti pri loženju s povećanim pretičkom zraka, pri čemu će se povećati udio kisika i dušika, koji su i tako osnovni sastav okolišnog zraka. Međutim, apsolutne količine emitiranog ugljičnog dioksida, vodene pare ili sumpornog dioksida, ostat će i nadalje jednake, iako će se njihov udio u postocima izmijeniti. Razlike mogu nastupiti u sadržaju prašine u dimnim plinovima, što ovisi o gorivu koje se upotrebljava za sagorijevanje u kotlovima.

Iz prikaza sastava dimnih plinova se vidi, da su svi prethodno navedeni sastojci dimnih plinova, što se pojavljuju u većim količinama, neotrovni, pa prema tome i potpuno neopasni za ljude, biljni i životinjski svijet.

Valja međutim spomenuti, da se pri sagorijevanju u kotlovima stvaraju vrlo male količine dušikovih oksida, kojima se, kao i sumpornom dioksidu, pripisuju nepovoljna svojstva.

Provedene analize su pokazale, da mnogo veće količine dušikovih oksida dolaze u ispušnim plinovima motornih vozila, nego u dimnim plinovima iz kotlova. Za sada se ne poduzimaju mjere kojima bi se stvaranje dušikovih oksida u parnim kotlovima svelo na manju mjeru.

Kako je prethodno navedeno, volumski udio sumpornog dioksida u prostorima je vrlo malen i iznosi nešto oko 0,1 do 0,3%. Međutim, godišnje emitirane količine su već osjetne i u prethodno iznijetom slučaju bloka od 200 MW kreću se od 5—15.000 tona, ovisno o sadržaju sumpora u gorivu kao i o količini spaljenog goriva. Ukoliko su meteorološke prilike loše, a dimnjaci nedovoljno visoki, područje oko emitenta može biti osjetno zagađeno sumpornim dioksidom.

Ranije izneseni problem zagađenja sumpornim dioksidom postaje sve više i više interesantan, jer se udio električne energije proizvedene uljem za loženje, sve više povećava. Tako je npr. porasla potrošnja ulja za loženje za proizvodnju električne energije u SR Njemačkoj sa 372.000 t u 1960, na 6,400.000 u 1969. godini, a slični porast je zabilježen i u nekim drugim zemljama.

Potrošnja ulja za loženje u termoelektranama Jugoslavije, također se naglo povećava. U 1970. godini je iznosila oko 230.000 tona, dok je 1965. bila tri puta manja. Prema nekim ocjenama, potrošnja ulja za loženje u 1975. mogla bi se povećati za oko 3,5 puta, 1980. za oko pet puta, a 1985. godine za oko osam puta u odnosu na potrošnju u 1970.

Bez obzira na to, da li će trend upotrebe ulja za loženje biti onakav kakav je ovdje iznesen, ili će biti nešto sporiji ili brži, u elektroprivredi i industrijskoj energetici Jugoslavije, a napose Hrvatske, ulje za loženje će zauzimati sve veću i važniju ulogu. Količine dimnih plinova nastale sagorijevanjem ulja za loženje bit će višestruko povećane, a isto tako i oni sudionici koji uzrokuju zagađenje.

Djelovanje sumpornog dioksida na ljude

Sumporni dioksid u većim koncentracijama (na primjer 25 do 250 mg/m^3) manifestira se jakim prodornim mirisom i neugodnim okusom, uzrokuje probadanje i bolove u sluznicama dišnih putova i očima. Kod duljeg djelovanja dolazi do

bronhitisa, te većeg ili manjeg oticanja pluća. Ovakve koncentracije tjeraju na napuštanje zatrovanih prostorija, tako da su slučajevi trovanja rijetki. Prethodno navedeni podaci utjecaja sumpornog dioksida na ljudsko zdravlje, odnose se na visoke koncentracije, kakve se mogu pojaviti samo iznimno i vremenski ograničeno u prostorijama ili uskim područjima u nekim tvornicama (npr. kod proizvodnje bakra). U normalnim okolnostima ovako visoke koncentracije se ne pojavljuju ni u specijalnim industrijama, a posebice ne u normalnoj industriji ili naseljenim mjestima. Međutim već i relativno male koncentracije sumpornog dioksida izazivaju suženje dišnih putova, što uzrokuje poteškoće bolesnicima astme i bronhitisa. Prema dosadašnjim rezultatima ispitivanja, na radnim mjestima, gdje je koncentracija sumpornog dioksida iznosila oko 13.0 mg/m^3, nisu opažena nikakva oštećenja zdravog ljudskog organizma. Radi toga su u nekim zemljama (npr. u SR Njemačkoj) odredili ovu vrijednost kao najvišu dozvoljenu koncentraciju sumpornog dioksida na radnim mjestima. Pri tome valja uočiti, da se na radnim mjestima provodi 20 do 25% ukupnog vremena godišnje. Međutim, za stambena naselja, gdje se provodi osjetno više vremena, određene su u većini inozemnih propisa osjetno niže dozvoljene granice.

Uloga sumpornog dioksida i njegovih naknadnih produkata u vezi s oboljenjem dišnih organa, nije još u potpunosti objašnjena. Tako su se npr. 1952. godine, za vrijeme razdoblja smoga s koncentracijom sumpornog dioksida od 3,3 mg/m^3 pojavile osjetne poteškoće u disanju, a broj smrtnosti bio je iznad normalnog prosjeka. Međutim, kod pojave zimske temperaturne inverzije zraka u Bochumu 1962., kod oko 50% više koncentracije sumpornog dioksida, nisu opažena nikakva oštećenja, koja bi mogla biti uzrokovana pretjeranim zagađenjem atmosfere. U SR Njemačkoj zabilježeni su naknadno neki slučajevi ekstremnog povećanja koncentracije sumpornog dioksida bez primjetljivih kliničkih posljedica.

Na osnovi prethodnog čini se, da je sumporni dioksid otrovniji kada se pojavljuje istovremeno u većim koncentracijama s još nekim sudionicima. Neke države, (naročito USA) uvele su stroga ograničenja emisije sumpornog dioksida.

Djelovanje sumpornog dioksida na životinje

Otpornost nekih životinja na sumporni dioksid prilično se razlikuje, ne samo u odnosu na pojedine vrste, nego i u odnosu na starosnu dob. Općenito, starije životinje su otpornije na djelovanje sumpornog dioksida nego mlađe. Kućne životinje su jednako otporne kao i ljudi.

Djelovanje sumpornog dioksida na bilje

Biljni svijet općenito pokazuje visoku osjetljivost i neotpornost na sadržaj sumpornog dioksida. Već nakon nekoliko sati i pri koncentracijama sumpornog dioksida od oko 2,5 do 5,0 mg/m^3 dolazi do akutnih oštećenja. Ona su naročito vidljiva na listovima u obliku razaranja tkiva, što je popraćeno i promjenom boje oštećenih mjesta. Kao daljnja posljedica slijedi odumiranje listova, što može dovesti i do usporenog rasta ili čak odumiranja čitave biljke. Veću osjetljivost na sumporni dioksid pokazuju četinjače, djetelina, lucerna i žitarice, a naročito ječam.

Djelovanje sumpornog dioksida na materijale

Plinoviti sumporni dioksid gotovo i ne utječe na materijale koji su u stakodnevnoj upotrebi. Međutim, sumporasta kiselina, kao neposredni produkt sumpornog dioksida, pri normalnim atmosferskim temperaturama i pritiscima utječe jače i nepovoljno. Njenom agresivnošću neposredno su napadnuti metalni predmeti pa je potrebno bojanje ili neki drugi način zaštite. Građevni materijali se pod djelovanjem sumporaste kiseline raspadaju, a naročito su neotporni mramor i vapnenac. Posredno ili neposredno utječe na gumene materijale, kožu, sintetske materijale, boje, tekstil, itd.

Prema procjenama u Velikoj Britaniji za 1954. godinu, neposredni gospodarski gubici zbog zagađivanja atmosfere kretali su se oko 250 milijuna funti. Od toga je na oštećenje tekstilnih i građevinskih materijala, korozije metala, oštećenje boja kao i ostale troškove održavanja, otpalo oko 150 milijuna funti godišnje. Prema novijim procjenama, ovi gubici se penju i do 300 milijuna, odnosno preko 5 funti po stanovniku. Ovakvi gubici procijenjuju se u Sjedinjenim Američkim Državama na 4 do 12 milijardi godišnje, odnosno 20 do 60 dolara po stanovniku.

Utjecaj goriva i sagorijevanja na zagađivanje okoliša

Sastav i ostale kemijske i fizičke osobine goriva, pored količine spaljenog goriva, igraju odlučujuću ulogu u vrsti i količini zagađenog zraka kod svih termičkih postrojenja koja ih spaljuju. Kod kotlova loženih ugljenom osobito je važan sadržaj pepela, njegove kemijske i fizičke karakteristike, ukupna količina sagorivog i nesagorivog sumpora, i stupanj vezivanja sumpora na krute ostatke sagorijevanja. Naime, jedan dio sumpora iz ugljena veže se na krute ostatke sagorijevanja tako, da se u okolišnu atmosferu u obliku plina izlučuje preostala količina sumpora u obliku sumpornih oksida.

Kod kotlova loženih uljem za loženje, količine pepela su izvanredno male i za sve tehničke kalkulacije gotovo potpuno zanemarive. Sumpor, međutim, kod ovakvog loženja nema mogućnosti vezivanja na krute ostatke sagorijevanja, pa gotovo sav sagorijeva u sumporne okside.

U našoj zemlji je JUS propisima određen maksimalni sadržaj sumpora u ulju za loženje kako slijedi:

specijalno ulje za loženje (B.H2.430)	2,0 %
lako i srednje ulje za loženje (B.H2.440 i B.H2.441)	3,5 %
teško ulje za loženje (B.H2.442)	—

Naže rafinerije u Sisku i Rijeci proizvode teška ulja za loženje sa sadržajem sumpora:

iz nafte domaćeg porijekla	do 1 %
iz nafte stranog porijekla	oko 3 %

Pri sagorijevanju ulja za loženje u kotlovima najveće količine sumpora sagorijevaju u sumporni dioksid, dok preostala osjetno manja količina sumpora sagori u sumporni trioksid. I dok se praktički sve količine sumpornog dioksida izlučuju kroz dimnjak u atmosferu, najveći dio sumpornog trioksida se izluči iz dimnih plinova još na putu do dimnjaka, zbog relativno niskih temperatura stijenki na kraju kotla i niske temperature rošenja sumporne kiseline, u koji se sumporni trioksid veže.

Stoga se u kalkulacijama, što su vezane uz zagađivanje atmosfere sumpornim spojevima, najčešće pretpostavlja da cjelokupna količina sagori u sumporni dioksid.

Kao slijedeći sudionik zagađivanja okoliša iz kotlova loženih uljem za loženje, pojavljuje se čađa. U prethodnom izlaganju je pretpostavljeno, da pri ispravnom sagorijevanju goriva ne smije doći do pojave čađenja. Ovo je tek djelomično ispravno, jer se kod svakog sagorijevanja pojavljuje manja ili veća količina čađe, a njezino stvaranje se ne može izbjeći ni u najsavršenijim postrojenjima. Stoga pod pojmom sagorijevanja bez čađe valja smatrati ono sagorijevanje, pri kojem su dimni plinovi na oko bezbojni, a kontrolna mjerenja specijalnim mjernim aparatima pokazuju zatamnjenja dimnih plinova koja se smatraju dopustivima.

Čađa stvorena u parnom kotlu hvata se djelomično po zagrijanim površinama u zadnjem dijelu kotla. Kod temperatura koje su niže od 350°C, čađa upija SO_3 i vodenu paru, pa se stvara sumporna kiselina i snažno djeluje na metalne površine. Međutim, ipak se gotovo sva stvorena čađa izlučuje kroz dimnjak u atmosferu. Kontinuirano se izlučuje onaj dio čađe koji se nije uhvatio na površini kotla, a postepeno preostali dio, koji se uhvatio na površini kotla i izlučuje se prilikom čišćenja kotla duvačima čađi.

Budući da su težinski udjeli čađe i pri lošijem sagorijevanju razmjerno mali, nije za sada razvijen komercijalni uređaj, koji bi izdvajao čađu iz dimnih plinova, kao što je to na primjer s letećim pepelom kod kotlova loženih ugljenom.

Nadalje se zagađuje okolišna atmosfera produktima sagorijevanja pepelom koji je sadržan u ulju za loženje. Količine pepela u ulju za loženje su vrlo male i iznose najviše do 0,2%, tako da se u tehničkim kalkulacijama najčešće zanemaruju. Ove količine pepela su osjetno manje od onih, što se pojavljuju kod loženja kotlova ugljenom, i nakon pročišćavanja dimnih plinova u najboljim i najsuvremenijim elektrofilterima u normalnim pogonskim izvedbama.

Utjecaj konstrukcije kotla i njegove opreme na intenzitet zagađivanja

Ulje za loženje sagorijeva u kapljicama u koje je raspršeno. U kapljici se izdvajaju plinovi, dok ne dođe do popuštanja vanjskog sloja, i dok ona ne eksplodira. Zbog površinske napetosti ponovo se formiraju kapljice promjera polovice prijašnje veličine. Ovaj proces se nastavlja tako dugo dok ne ostanu kuglasti kruti dijelovi koji izgaraju čistom površinskom reakcijom. Ukoliko svi dijelovi u međuvremenu dođu u hladniji dio ložišta ili u hladniju struju plinova, oni mogu nastaviti svoj put nepotpuno sagorjeli, bilo u obliku elementarne čađe, bilo u obliku koksa. Pri tome, ako je koksiranje čestica završeno prije taloženja na ogrjevne površine, nastaje relativno rahli oblog, kojeg struja dimnih plinova polagano odnosi. U slučaju da se na ogrjevne površine talože još tekuće ili još nepotpuno krekirane kapljice goriva, tada se u pravilu stvara čvrsti talog koji se teško odstranjuje. Iz taloga još isparavaju ugljikovodici, dok na kraju uz stijenku ne ostane čvrsto prionuti koks. Taj sloj koksa može, u odnosu na mjesto gdje se uhvatio, još i dalje površinski gorjeti, a često, zbog svoje slabije toplinske vodljivosti, smanjuje i prijelaz topline.

Kako iz prethodnog proizlazi, potpuno sagorijevanje nastupit će tek onda, kad su za to osigurani uvjeti, kao što su npr.:

- dovoljno visoka temperatura u prostoru za sagorijevanje,
- dovoljne količine zraka za sagorijevanje,
- dobro rasprskavanje goriva,
- dobro miješanje zraka za izgaranje s gorivom,
- jednoliko i dobro odmjeren privod zraka i goriva,
- ispravno dimenzioniran prostor za sagorijevanje, te
- homogeno gorivo, bez stranih primjesa koje dolaze u plamenike u obliku čepova (npr. vode i najtežih otpadnih frakcija rafinerije i sl.).

Osiguranje svih prethodno iznesenih uvjeta za ispravno sagorijevanje zahtijeva čitav niz tehničkih zahvata, uređaja, automatske i ručne manipulacije i nadzora. Oni počinju već kod pretovara i uskladištenja goriva u višednevne i dnevne rezervoare, sve do konačne kontrole sagorijevanja na izlazu iz ložišta.

Skladištenje i doprema goriva do kotla

Teško ulje za loženje najteži je ostatak pri rafinaciji sirove nafte. Jedino uz dodatak lakših aromata, može se ova smjesa osposobiti za transport pomoću pumpi. U ovoj smjesi nalazi se još

i voda, unesena bilo putem kondenzacije vodene pare, bilo kod pretovara i transporta i često izmiješana s uljem u emulziju.

Emulzija, zajedno s najtežim ostacima u obliku mulja, uvijek je prisutna u ostacima rafinacije i treba se istaložiti u višednevnom rezervoaru. Međutim, pri nepovoljnim okolnostima, ove primjese mogu prodrijeti, bilo pojedinačno, bilo u smjesi, u sistem opskrbe gorivom i uzrokovati osjetne pogonske poteškoće u cijevima, filterima, zagrijačima i plamenicima. One mogu uzrokovati naljepine na sapnicama plamenika, što dovodi do koksiranja sapnica, neispravnog rada plamenika i čađenja, a u najnepovoljnijim slučajevima, kad se pojavljuju u obliku putujućih čepova, mogu uzrokovati čak i prekidanje plamena, što opet dovodi do osjetnih pogonskih poteškoća. Prethodno spomenute primjese ne smiju biti unesene u sistem za sagorijevanje, naročito ne u obliku gruda, nakupina ili čepova. Radi toga se taložnici rezervoara goriva moraju povremeno isprazniti, a sve primjese i nečistoće ukloniti.

U novije vrijeme problem zagađivanja goriva može se riješiti i ubacivanjem takvih dodataka (aditiva) koji isključivo svojim prisustvom razrijede i homogeno izmiješaju gorivo, uključujući u njemu i sve sadržane primjese. Budući da je ukupna količina nečistoće malena u odnosu na gorivo, kada je potpuno i jednoliko razrijeđena u gorivu, u daljnjem toku transporta ne dolazi do čepljenja filtera i sapnica, odnosno bilo kakvih pogonskih poteškoća. Ovakav način rješavanja neželjenih primjesa u gorivu naročito je pogodan tamo gdje postoji problem njihovog odstranjivanja i odlaganja.

Isto tako je nužno filtriranje, kao i povremeno čišćenje filtera pri transportiranju goriva do kotla, a kod zagrijavanja goriva (kod srednjih i većih kotlova automatizirano) valja osigurati i propisani viskozitet goriva pred plamenicima.

Plamenici. Ovom dijelu kotlovske opreme posvećena je posljednjih godina osobita pažnja, a postignut je i veliki, iako ne još i u potpunosti zadovoljavajući napredak.

Suvremeni plamenik mora danas zadovoljiti dva osnovna zahtjeva:

— dostehiometričko sagorijevanje s najmanjim mogućim pretičkom zraka (od oko 1,01 do 1,05) i
— povećanje kapaciteta do maksimuma u odnosu na kotlovsku jedinicu.

Dostehiometričkim sagorijevanjem smanjuje se stvaranje sumpornog trioksida, smanjuje se korozija na izlaznim kotlovskim površinama pa su tako smanjeni i gubici dimnim plinovima. Povećavanjem kapaciteta plamenika osjetno se pojednostavljuje rukovanje i olakšava regulacija i automatizacija.

Tako se, konsrukcijom plamenika, nastoji postići:

— što finije rasprskavanje goriva
— što točniji omjer zraka i goriva za svaki plamenik i pri promjenljivom opterećenju kotla, i
— pravilno usmjeravanje zraka radi dobrog miješanja goriva i zraka.

Ložište. Ložište mora imati takve dimenzije, da plamen u svim prilikama ne dodiruje suprotne stijenke kao i stijenke sa strane. Udaranjem plamena na ekranske cijevi dolazi do lokalnog zahlađenja jednog dijela dimnih plinova, odnosno neizgaranja još nesagorivih dijelova, naročito elementarnog ugljika. Nadalje, ložište mora imati dovoljno visoku temperaturu, kako bi se proces spaljivanja uspješno obavljao, a u dosadašnjoj praksi nastojalo se da se temperatura ložišta povisi (npr. predgrijavanjem zraka) čime se postizavala i visoka toplinska opterećenost ogrjevnih površina. Međutim, neki noviji projekti kotlogradnje u SAD ponovo snizuju temperaturu ložišta, kako bi se smanjilo stvaranje dušičnih oksida, o kojima je već bilo govora ranije.

Suvremeni visokotlačni kotlovi izrađuju se bez ozida i u zabrtvljenoj izvedbi nepropusnoj za dimne plinove. Na ovaj način se potpuno sprečava ulaz štetnog (hladnog) zraka u ložište, pa se i na taj način sprečava lokalno pothlađivanje dimnih plinova, odnosno nesagorijevanje još nesagorjelih čestica.

Mjerenje i automatizacija. Da bi zagađivanje okolišne atmosfere bilo minimalno, što je istovremeno povezano i s ispravnim i ekonomičnim vođenjem kotlovskog postrojenja, ugrađuju se na svim srednjim i većim jedinicama odgovarajuća mjerenja i automatizacija. Pri tome važniju ulogu imaju:

— automatsko održavanje viskoziteta goriva ispred plamenika
— automatsko doziranje zraka u odnosu na količinu goriva koje se spaljuje
— kontrolna analiza dimnih plinova na kraju kotla (najčešće ispred zagrijača zraka), time da se mjeri sadržaj ugljičnog dioksida ili kisika ili oboje
— kontrola sadržaja sumpornog dioksida i sumpornog trioksida
— kontrola »gustoće dima« s obzirom na sadržaj krutih čestica u dimnim plinovima. Ovo mjerenje najčešće radi na principu mjerenja propustljivosti svjetla kroz dimne plinove i može ukazati ložaču na pojavu stvaranja čađe u kotlu.

U najnovije vrijeme ugrađuju se u SAD i mjerni instrumenti za mjerenje dušikovih oksida (iako se on pojavljuje u izvanredno malim količinama).

Mjere za ublažavanje zagađenja

U uvodu je bilo izneseno da emisija sumpornog dioksida bloka od oko 200 MW iznosi godišnje 5 — 15000 t/h, ovisno o sadržaju sumpora u

gorivu i vremenu rada samoga bloka, dok pri potpunom opterećenju bloka vršno emitiranje sumpornog dioksida može iznositi i preko 3 t/h. Ovako velike količine sumpornog dioksida, zajedno sa utjecajem ostalih emitenata i pri lošim geografskim i meteorološkim uvjetima, mogu povremeno osjetno zagaditi neke dijelove okolice. Zato se poduzimaju mjere za ublažavanje, koje se mogu svesti na dvije osnovne grupacije:

— neposredne mjere kojima se nastoji smanjiti osnovna emisija sumpornog dioksida i
— posredne mjere kojima se pokušava emisija dioksida nekog područja svesti na podnošljivu mjeru.

Prema tome je pretpostavljeno, da je prethodnim ispravnim izborom opreme i ispravnim vođenjem pogona zagađivanje svedeno na najmanju mjeru.

Neposredne mjere kojima se nastoje smanjiti emisije sumpornog dioksida svode se:

— na zamjenu goriva koje sadrži mnogo sumpora
— na odsumporavanje goriva prije upotrebe
— na odsumporavanje dimnih plinova nakon što je izgaranje provedeno.

Zamjena ulja za loženje bogatog sumporom mogla bi se načelno provesti sa bilo kojim gorivom koje ne sadrži sumpor ili ga sadrži tek u maloj mjeri. Praktički se, međutim, izbor takvih goriva osjetno smanjuje.

Načelno postoji mogućnost da se umjesto teškog ulja za loženje s visokim sadržajem sumpora koristi ugljen s malim sadržajem. Međutim, pregradnja kotlova konstruiranog za loženje tekućim gorivom na loženje ugljenog je teška, a često puta i neizvediva s obzirom na unutrašnju konstrukciju kotla, raspored temperatura dimnih plinova unutar kotla, raspoloživi prostor unutar i izvan kotlovnice, mogućnost dovoza i pretovara goriva i investicije. Osim toga, iako se emisija sumpornog dioksida može smanjiti, i pored izvedenih dodatnih filtera dimnih plinova, emisija leteće prašine se povećava, pa se u ukupnoj bilanci zagađivanja atmosfere više gubi nego li dobiva. Stoga se takve zamjene ne izvode.

Zamjena teškog ulja za loženje s puno sumpora, teškim uljem za loženje s malo sumpora je provediva bez ikakvih tehničkih zahvata. Ova varijanta zamjene goriva je vrlo povoljna, no provediva je jedino, ako takvog goriva ima. Međutim, u našim uvjetima, takvog ulja za loženje s malim sadržajem sumpora ima na tržištu malo i vjerojatno će ga u budućnosti biti u ograničenim količinama.

Zamjena teškog ulja za loženje lakšim uljima za loženje, npr. specijalnim ili lakim, jednostavna je i tehnički lako provediva bez dodatnih investicija. Takva ulja na našem tržištu sada imaju mali sadržaj sumpora. Međutim, kako je prethodno spomenuto, sadržaj sumpora u takvim uljima ograničava se prema JUS na 2,00% odnosno 3,5%, pa postoji mogućnost da se stvarni sadržaj sumpora u budućnosti poveća. Osim toga valja naglasiti da su cijene takvim uljima osjetno više i za normalni pogon srednjih i većih kotlovskih jedinica se ne upotrebljavaju.

Uobičajeno je da se upotreba ovakvih goriva svodi u prvom redu na ložišta koja jedino mogu koristiti goriva takvih svojstava, kao npr. ložišta kućanstava, manjih centralnih grijanja, dizel-motori, i sl.

U inozemstvu se ponekad kao gorivo upotrebljava i sirova nafta i to prvenstveno u razdobljima kad je zagađivanje sumpornim oksidima u određenim predjelima pretjerano veliko. Upotreba sirove nafte u kotlovima zahtijeva izvjesne manje tehničke zahvate i to prvenstveno iz sigurnosnih razloga. Međutim, u našim uvjetima proizvodnja nafte se nalazi pod strogom društvenom kontrolom, a upotreba u kotlovima se ne predviđa.

Iz svega ovog slijedi, da u sadašnjim uvjetima kod nas ne postoje dovoljne količine odgovarajućih tekućih goriva po prihvatljivim cijenama, koje bi zamijenilo u stalnom pogonu teška ulja za loženje sa višim sadržajem sumpora. Njihova primjena može doći u obzir za povremenu i kratkotrajnu upotrebu samo u onim klimatskim uvjetima kad je emisija sumpornog dioksida u okolini prešla dozvoljenu granicu, pa se čistoća zraka pretpostavlja ekonomiji i proizvodnji električne energije, odnosno topline. Međutim, za takve slučajeve moraju biti osigurana dodatna skladišta goriva s odgovarajućim sistemima za dopremu do kotla, dok će se plamenici i ostale instalacije moći upotrijebiti bez ikakvih adaptacija.

Zamjena ulja za loženje plinovitim gorivima u kotlovima ima smisla samo onda, ako je u njima sadržaj sumpora minimalan, kao što je to slučaj sa zemnim plinom iz nalazišta Panonskog bazena. Unutrašnji dovod plina do kotla je relativno jednostavan, a ugradnja reduciranih stanica i plinsko-uljnih plamenika je lako izvediva. U ovakvim slučajevima ponekad treba izvoditi manja preuređenja na kotlu zbog izvjesne promjene temperature dimnih plinova unutar njega. Međutim, ovakva zamjena doslazi u obzir samo onda, ako su osnovni plinovodi dovedeni do objekta o kome je riječ.

Kako iz svega iznesenog slijedi, zamjena teškog ulja za loženje zemnim plinom je u našim uvjetima jedno od najpovoljnijih rješenja.

Odsumporavanje teškog ulja za loženje prije njegovog sagorijevanja je tehnički izvedivo, i već se provodi u SAD gdje su određene vrlo stroge granice sadržaja sumpora u ulju za loženje. Takva odsumporena goriva su odgovarajuće (ponekad dvostruko) skuplja od neodsumporenih, što znatno utječe ne samo na razvoj energetike već i na razvoj ostale industrije u kraju gdje se koriste.

Odsumporavanje dimnih plinova nalazi se još uvijek, manje ili više, u eksperimentalnoj fazi i do sada nije u široj upotrebi.

Intenzivna istraživanja provode se u Japanu i SR Njemačkoj, a posebice u SAD, a izgledi na uspješno rješenje su povoljni, iako uz povećane troškove pogona.

Posrednim mjerama nastoji se da se emisija sumpornog dioksida svede na podnošljivu mjeru, U ove mjere ubraja se:

— Izgradnja emitenata sumpornog dioksida daleko izvan naseljenog područja. Takav je slučaj s kondenzacionim termoelektranama koje se u pravilu ne izgrađuju u blizini većih stambenih naselja.

— Smještaj emitenata sumpornog dioksida, tako da u odnosu na godišnju ružu vjetrova najmanje ugrožavaju stambena naselja i okolišnu kulturu. Ovakav smještaj dolazi u obzir u prvom redu za toplane i industriju koja ne smije biti udaljena od svojih potrošača.

— Izgradnja novih stambenih naselja na takvim mjestima da su, s obzirom na lokalne meteorološke uvjete, što manje ugrožena postojećim emitentima zagađenosti. U ovu mjeru ubraja se i podizanje zaštitnih pojaseva, npr. šumaraka i drvoreda. Ova mjera može povoljno djelovati, naročito ako stambena naselja nisu izvedena kao visokogradnje.

— Podizanje tako visokih dimnjaka, da emitirana zagađenja prelaze iznad stambenih naselja, odnosno dolaze do njih dovoljno razrijeđena. Ovaj način zaštite provodi se bez obzira na to da li se može primijeniti još koji od već opisanih posrednih ili neposrednih načina zaštite.

Najbolji rezultati postižu se kombinacijama svih navedenih mjera pri čemu se naročita pažnja posvećuje izgradnji dovoljno visokih dimnjaka, naročito ako područje već nije zagađeno, kao što je to slučaj u nekim predjelima SAD.

Određivanje visine dimnjaka polazi od tri osnovne postavke:

— ukupne najviše dozvoljene koncentracije štetne materije
— stvarne koncentracije štetnih materija na tom području prije nego što se emitent zagađenja podiže, i
— o rasprostiranju plinova i prašine iz dimnjaka koji emitiraju štetnu materiju.

Naime, ukupna emisija sumpornog dioksida ili neke druge štetne materije sastoji se od:

— primarne količine sumpornog dioksida u atmosferi prouzrokovane svim ostalim izvorima onečišćenja, koja je označena sa C_G, te
— dodatne emisije sumpornog dioksida, koje će biti prouzrokovane puštanjem u pogon objekta čija se visina dimnjaka treba odrediti, a označena je sa C_M.

Visina dimnjaka novog emitenta treba biti tako odabrana, da $C_G + C_M \leqq$ od koncentracija štetnih, odnosno zakonom propisanih.

Prema Pravilniku o tehničkim mjerama i uvjetima za projektiranje u stambenim zgradama (Službeni list SFRJ br. 35 od 13. kolovoza 1970) maksimalna, dozvoljena koncentracija sumpornog dioksida u atmosferi naselja smije iznositi najviše 0,5 mg/m³
dok prosječno dnevno smije iznositi najviše, i to svedeno na 0°C i 760 Torr 0,15 mg/m³
Sadržaj čađe u stambenim naseljima određen je prethodno spomenutim Pravilnikom trenutno na 0,15 gr/m³
a prosječno dnevno na 0,05 gr/m³
dok je inertna, netoksična prašina određena sa 0,5 gr/m³
trenutno, odnosno prosječno dnevno 0,15 gr/m³

Slične vrijednosti propisane su i u SSSR-u i DR Njemačkoj, dok su odgovarajući propisi u SR Njemačkoj nešto blaži, a u SAD stroži.

Iz dosadašnjih teoretskih razmatranja i praktički provedenih ispitivanja utvrđeno je, da je maksimalna koncentracija štetnih materija na određenoj vodoravnoj ravnini (npr. na nivou tla) ovisna

$$C_M = f_M (H, Q, E, M)$$

a udaljenost nastupanja maksimalne koncentracije štetnih materija

$$X_M = f_X (H, M)$$

gdje su:

H — geodetsko nadvisivanje dimnjaka nad računskom ravninom
Q — emitirana količina štetnih materija npr. SO_2
E — emisiona vrijednost m²/h koja obuhvaća početni impuls i termički uzgon plinova što izlaze iz dimnjaka i
M — fiktivna sumarna vrijednost meteoroloških utjecaja.

Na osnovi ovih ovisnosti izvedeno je više jednadžbi o rasprostiranju odnosno razrjeđivanju plinova i prašine u zraku, no točnost dobivenih predviđanja koleba od slučaja do slučaja. Ova predviđanja komplicira izgrađenost okoliša (posebice visoke zgrade), pa neravnine zemljišta i sl., što sve utječe na jednolikost predviđenih strujanja i rasprostiranja. Utjecaj ovih poremećaja pokušava se više ili manje uspješno korigirati dodatnim koeficijentima.

Nadalje valja napomenuti da se dosadašnje teorije o rasprostiranju osnivaju na nekim pretpostavljenim meteorološkim uvjetima koji mogu biti odabrani za prosječno ili neko drugo nepovoljno stanje. Takvo odabrano stanje pretpostavlja da se temperatura zraka snizuje s porastom visine iznad tla. Drugim riječima, prethodno navedeno znači, da jedan specifično teži sloj hladnog zraka u visinama leži na jednom toplijem, specifično lakšem sloju zraka što se nalazi odmah iznad tla.

U takvim uvjetima se topliji zrak uspinje na određenim mjestima u visinu, dok hladniji zrak na drugim mjestima ponire prema tlu.

Međutim, u slučajevima kada dolazi do temperaturne inverzije zraka, tj. do takvog meteorološkog stanja, kada nema intenzivne okomite cirkulacije zračnih masa, teorija o rasprostiranju plinova, odnosno prethodno opisane ovisnosti, gube svoju praktičku vrijednost.

U takvim slučajevima stvara se stabilna zračna masa koja leži na tlu, dimni plinovi se akumuliraju u bližoj okolici dimnjaka i ne mogu se probiti u više slojeve, a zagađenje zraka može postati nedopustivo veliko.

Velike termoelektrane, budući čistioci zraka?

Velike termoelektrane, budući čistioci zraka?

U SAD koje su naročito pogođene zagađenjem zraka, provedene su vrlo interesantne studije radi proučavanja mogućnosti upotrebe otpadne topline termoelektrana za probijenje inverzionog sloja zraka. Razmatranja su provedena za bazen Los Angelesa gdje je instalirano preko 8.000 MW uglavnom na 5 mjesta, svako sa više od 1.000 MW. Provedene kalkulacije su pokazale da sami dimni plinovi nisu u stanju probiti temperaturnu inverziju zraka. Međutim, ako se u račun doda još i ostala otpadna toplina (kondenzacija pare), raspoloživa energija je dovoljna ne samo da probije inverziju zraka, već i da odstrani zagađenu količinu zraka iz drugih izvora za nekoliko tjedana.

Naravno, da bi to bilo skopčano s izvjesnom izmjenom investicione opreme, kao i dodatnim troškovima što bi se moralo uračunati u cijenu koja se već plaća.

Literatura

Brkić: *Aerozagađenje uzrokovano emisijom SO_2 termoelektrana pri korištenju ulja za loženje.* Institut za elektroprivredu, Zagreb, svibnja 1971.

Lucati: *Upotreba ulja za loženje kao goriva suvremenih termoelektrana,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, srpnja 1970.

Christian: *Teshnische Wärmelehre II,* Leipzig 1968.

——: *»Emissionen 1968«,* Niederschrift über die VGB-Fachtagung

——: *Reinhaltung der Luft,* VDI. Handbuch, Band 1—4.

Tschupp: *Pumping smog out of air basin,* Power, lipanj 1972.

Hansen: *Ölfeuerungen,* Berlin 1970.

Naslov pisca: Hrvoje Brkić, dipl. ing., Institut za elektroprivredu, Zagreb

RACIONALIZACIJA PROJEKTIRANJA INDUSTRIJSKIH I DISTRIBUTIVNIH ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA POMOĆU RAČUNALA[1]

Nikola Čupin, Zagreb

Razmatra se projektiranje pomoću računala (Computer aided Desing) koje se, s obzirom na uključenje računala u proces projektiranja, dijeli na Off-line, On-line i automatsko projektiranje. Nakon toga se razmatraju današnje mogućnosti uključenja računala u proces projektiranja i na kraju, ekonomska opravdanost takvog uključenja.

DK 621.316.1 : 681.3

1. Uvod

Digitalno elektroničko računalo, kao viši stupanj kibernetskog stroja, nesumnjivo je unijelo revoluciju u život čovjeka. Mnogobrojna područja tehničke znanosti u kojima računalo nalazi korisnu primjenu i dalje se proširuju.

U ovom radu će se obraditi mogućnosti koje pruža elektroničko računalo (kompjutor) pri racionalizaciji projektiranja važnih elektroenergetskih sistema — industrijskog i distributivnog.

Važnost inustrijskih elektroenergetskih sistema daleko premašuje njihovu veličinu. Osim što takvi sistemi apsorbiraju, u industrijski razvijenim zemljama, oko 70% ukupno proizvedene električne energije, pouzdanost njihovog pogona naročito utječe na pouzdanost odvijanja industrijskog tehnološkog procesa jer je, slikovito rečeno, elektroenergetski sistem osnovni krvotok industrijskih sistema. Svaka smetnja u elektroenergetskom sistemu industrije neposredno se reflektira na odvijanje tehnološkog procesa.

S druge strane, distributivni sistemi su u naše vrijeme, uz plinske sisteme i sisteme za snabdijevanje gorivom, osnovni sistemi za dobavu energije ljudskim naseljima. Snaga takvih sistema ovisi o veličini naselja (gradova, sela) i stupnju civilizacije žitelja, a osnovna razlika prema industrijskim sistemima je u manjoj gustoći snage (KW/m^2). Karakteristike industrijskih sistema ovise o tehnološkom procesu i vrsti potrošača, a distributivnih o stupnju razvoja civilizacije i kulture žitelja.

Današnje projektiranje ovakvih sistema, s obzirom na njihovu važnost, zahtijeva osim iskustva i primjenu suvremenih znanstvenih metoda, te korištenje modernih tehničkih sredstava u procesu projektiranja. Sve to osigurava veću kvalitetu projektiranja, čemu teži svaka projektna organizacija. Poznato je, da je kvaliteta projektiranja od ogromne važnosti pri eksploataciji elektroenergetskih sistema, jer se, prilikom ekonomske valorizacije, mora uzeti u obzir utjecaj kvalitete projektiranja elektroenergetskih sistema, ne samo na te sisteme, nego i na sisteme kojima oni dobavljaju električnu energiju.

[1] Zahvaljujem se kolegi Vjekoslavu Filipoviću, dipl. ing. asistentu Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu koji me je, za vrijeme rada u Institutu für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft u Aachenu, uputio na L 5.

2. Projektiranje elektroenergetskih sistema

Projektiranje tehničkih sistema možemo definirati kao misaoni proces koji ima za cilj stvaranje projekta, tj. tehničke dokumentacije nužne za materijalnu realizaciju takvog sistema.

Taj se proces sastoji u osnovi iz tehničkih i organizacionih poslova.

Govoreći o procesu projektiranja industrijskih i distributivnih elektroenergetskih sistema možemo reći da se tehnički poslovi odnose na: tehničke proračune (na osnovi kojih se donose važnije odluke), izbor materijala i stvaranje shema postrojenja, a organizacioni poslovi na: kalkulacije, prikupljanje ponuda, crtanje i recenziju.

Čitav proces projektiranja elektroenergetskog sistema, gledajući sa stajališta projektne organizacije, možemo podijeliti u slijedeće faze:

1. Analiza projektnog zadatka s obzirom na realnost zahtjeva i potpunost polaznih podataka.
2. Analiza potrošača s obzirom na potrebnu energiju i snagu i s obzirom na kritičnost.
3. Izbor koncepcije električne mreže. Izbor se obavlja na osnovi tehničko-ekonomskih proračuna uzimajući u obzir specifične uvjete (npr. priključak na već postojeću mrežu). Izbor se odnosi na vrst mreže, naponske nivoe, veličinu struja kratkog spoja, pouzdanost opskrbe kritičnih potrošača, itd.
4. Stvaranje jednopolne sheme elektroenergetskog sistema, uzimajući u obzir potrebnu pouzdanost rada sistema kao i mogućnost rada u slučaju kvara.
5. Dimenzioniranje elemenata elektroenergetskog sistema na osnovi tehničkih proračuna. Npr. dimenzioniranje i izbor kabela, transformatora, sabirnica i sl. u normalnom pogonu na osnovi provedene bilance snage.
6. Specifikacija opreme, prikupljanje i analiza ponuda dobavljača opreme i izvođača, te kalkulacija cijene koštanja.
7. Obrada projektne dokumentacije i crtanje nacrta.
8. Recenzija projekta, uvažavanje eventualnih primjedbi i završetak projekta.

Racionalizirati taj proces značilo bi pronaći skup mjera kojima će se proces ubrzati i pojefti-

niti i kojima će se povećati kvaliteta procesa u smislu povećanja točnosti konačnog produkta — projekta.

U svakoj projektnoj organizaciji ili birou, ovisno o tehničkim mogućnostima i kreativnim sposobnostima, više ili manje je racionalan proces projektiranja. Pri tom se nastoji, da se rutinski poslovi obavljaju po uzorcima (šprancama), a tehnički proračuni što više pojednostavne, često na uštrb točnosti. Tako je postavljen sistem definiranih i uhodanih poslova koji međutim, s vremenom, predstavlja prepreku uvođenju novog, jer novo zahtijeva izmjenu uhodanog sistema.

Digitalno elektroničko računalo, primjer je pomagala koje pruža izvanredne mogućnosti racionalizacije procesa projektiranja, ali istovremeno donosi sobom nov način mišljenja i rada, drugačiju sistematizaciju u procesu projektiranja te, posebno, zahtijeva od projektanata privikavanje i upoznavanje s novim metodama rada.

3. Projektiranje pomoću računala

Rješavanje nekog zadatka pomoću računala uvjetuje poznavanje njegovog algoritma, osim toga, opseg tog zadatka mora biti dovoljno velik da se ekonomski isplati koristiti računalo. Drugim riječima, mogućnost upotrebe računala u rješavanju određenog problema ovisi o prilagodljivosti problema računalu.

Analiziramo li cjelokupni proces projektiranja elektroenergetskih sistema možemo reći da, osim čisto tehnološko-tehničko-ekonomskih faktora, utječu na taj proces i društveno-ekonomski faktori koji su osnovni razlog da ekonomski nije opravdano, niti moguće, naći jedan opći algoritam kojim bi se opisao čitav proces projektiranja, što bi omogućilo da se kompletan proces prepusti obradi na računalu.

Uzmimo npr. samo izbor opreme električnog postrojenja. Za čiju će se opremu odlučiti projektant često nisu presudne tehničke karakteristike, već mogućnosti nabavke, plaćanja, rok isporuke, poslovne veze, politički odnosi sa zemljom isporučiocem, itd. Dakako da je onda, u najmanju ruku, nesvrsishodno sve te kriterije programirati i prepustiti odluku računalu.

Opravdano je, međutim, uključiti računalo u proces projektiranja na taj način da se računalu prepuste oni poslovi koji su ekonomski opravdani. Tako može čovjek — projektant, koji vodi čitav proces projektiranja, za vrijeme procesa komunicirati s računalom, koristeći ogroman broj informacija koje računalo može primiti i brzinu kojom ih može obrađivati.

Projektiranje pomoću računala, poznato pod nazivom »Computer aided design« (CAD), najprije se primjenjivalo u projektiranju elektroničkih sklopova, dok se u posljednje vrijeme sve više primjenjue pri projektiranju ostalih sistema.

Razlikujemo tri načina projektiranja pomoću računala:

1. Računalo nije uključeno direktno u proces projektiranja (Off-line CAD),
2. Računalo jeste uključeno u proces projektiranja (On-line CAD),
3. Automatsko projektiranje (Automated design engineering — ADE).

Na sl. 1 prikazan je prvi način projektiranja pomoću računala. Čovjek, kao glavni subjekt, pronalazi rješenje postavljenog zadatka pomoću računala i potrebnih informacija. Prednosti takvog načina projektiranja su:

— mali troškovi programiranja, jer se mogu primijeniti standardni programi,
— velika prilagodljivost (projektiranje nije uvjetovano egzistencijom povoljnih algoritama),
— relativna nezavisnost o opremi računala (Hardware),
— moguće je korištenje manjih računala, jer nisu spremljeni procesni podaci.

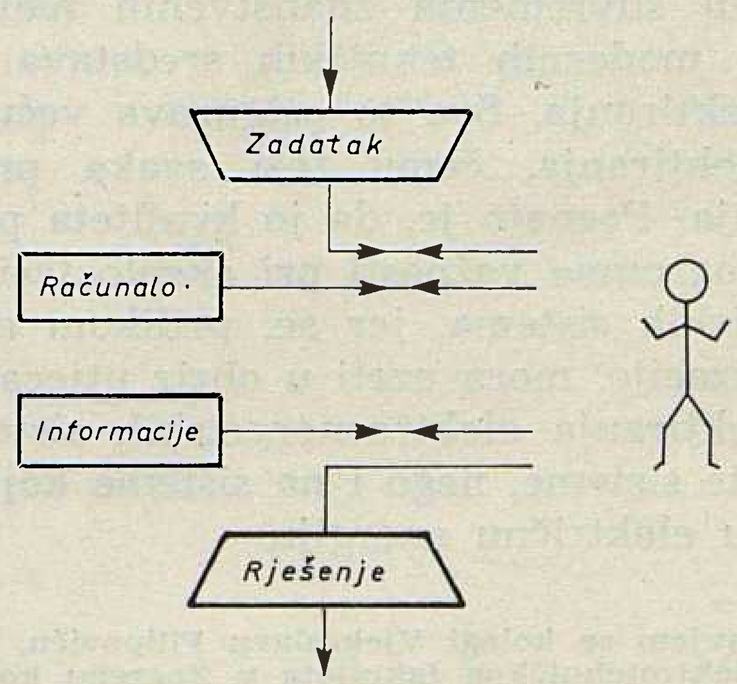
Suprotno tome postoje manjkavosti:

— proces projektiranja je diskontinuiran,
— iskustva, nužna u projektiranju, nisu spremljena u računalu već u čovjeku koji vodi proces, pa ovakav proces može voditi samo čovjek koji to iskustvo posjeduje,
— ovakav način ne smanjuje bitno rutinske poslove u projektiranju,
— pouzdanost rješenja nije velika, jer tokom podataka upravlja sam čovjek.

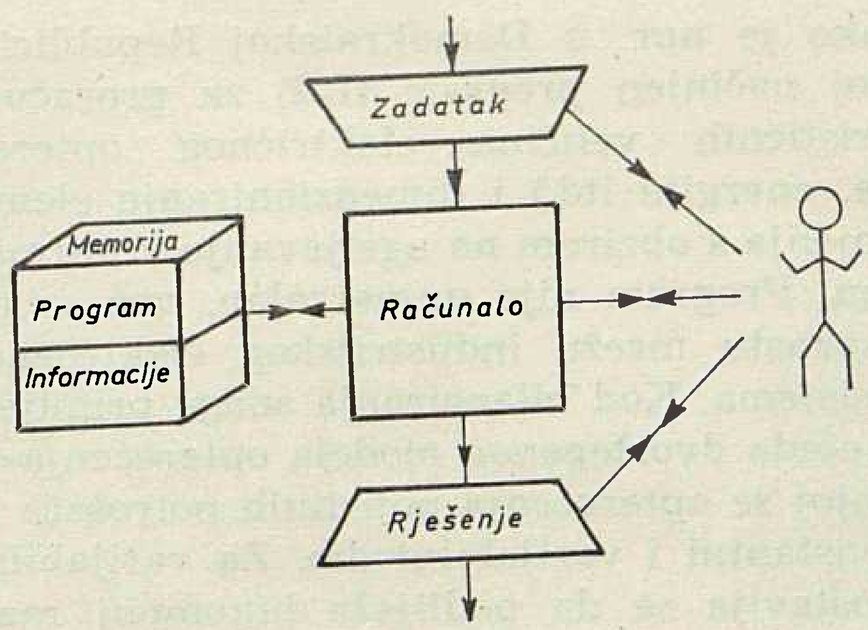
Drugi način projektiranja pomoću računala predstavlja kontinuiran proces počevši od postavljenog zadatka do rješenja. Na njega čovjek može utjecati, tražeći najpogodnije rješenje (sl. 2).

Iako ovaj način ima »veći stupanj automatizacije« i time dopušta manju angažiranost čovjeka, ipak su mu mane:

— što je orijentiran na određeni problem, pa se s jednim programom može projektirati samo jedan određeni sistem, odnosno razviti samo jedan produkt,
— troškovi programiranja su veliki jer program mora sadržati sve mogućnosti,
— olgoritam, strategija i iskustvo moraju se točno poznavati,



Sl. 1 Off-line projektiranje pomoću računala



Sl. 2 On-line projektiranje pomoću računala

— troškovi računanja su veliki, jer računalo preuzima na sebe gotovo svu obradu informacija i memoriranje.

Treći način projektiranja, tzv. automatsko projektiranje u većini slučajeva je danas samo želja. Kod takvog načina projektiranja čovjek bi trebao samo postaviti računalu zahtjeve, na osnovi kojih bi računalo sâmo izabralo odgovarajuće programe, te ulazne i izlazne podatke.

4. Mogućnosti racionalizacije

4.1 Obrada ponuda

Iako obrada ponuda ne spada u proces projektiranja definiran u toč. 3, ipak je ona jedan od relativno čestih poslova projektnih organizacija a, osim toga, svaka ponuda predstavlja, u neku ruku, pojednostavljeni projekt. Uzme li se još u obzir da je u većim organizacijama na obradi ponuda zaposlen priličan broj visokokvalificiranih ljudi, te da uživaju ugled one organizacije koje veoma brzo mogu dostaviti ponudu mušteriji, a posebno da je obrada ponuda proces koji se veoma često ponavlja a rutinskog je karaktera, ili se, u najmanju ruku, sastoji iz rutinskih operacija — onda je razumljiva pomisao da se taj proces programira na računalu.

Kao primjer spomenimo obradu ponuda srednjenaponskih rasklopnih postrojenja na računalu (L 2). Da bi računalo moglo shvatiti želje mušterije koja traži ponudu, moraju se, osim jednopolne sheme postrojenja, točno definirati i brojčano zadati želje mušterije, što se radi u tzv. specifikacionim listama. Primjer takve liste, koja se odnosi na čitavo postrojenje, prikazan je na sl. 3.

U listi su navedeni opći i konkretni podaci postrojenja — u ovom slučaju radi se o postrojenju nazivnog napona 10 kV, snage kratkog spoja 350 MVA, itd. Osim toga za svako polje rasklopnog postrojenja zadaje se posebna specifikaciona lista. Na sl. 4 prikazana je specifikaciona lista jednog odvodnog polja. Npr. u ovom se slučaju traži ponuda za odvodno polje s ugrađenim zavisnim prekostrujnim relejom, kao prekostrujnom zaštitom, podnaponska zaštita nije predviđena, a od mjerenja je predviđeno mjerenje struje u fazi R i napona između faza R-S.

Na osnovi tako definiranih želja mušterije računalo samo odabire tip aparata, između raspoloživih, prema parametrima potrebnim za takav izbor. Npr. parametri za izbor prekidača su: nazivna snaga, nazivni napon i nazivna struja.

Nakon izbora aparata i ostalih elemenata koji se ugrađuju, ili sačinjavaju postrojenje, izdaje se Izlazna specifikaciona lista u kojoj su navedeni

Parametar	Opće stanje parametra	Kod	Konkr. stanje parametra
Nazivni napon kV	10		10
	20		
	30		
Snaga kratkog spoja MVA	250		
	350		350
	500		
	750		
	1000		
Nazivna struja sabirnica A	630		
	1250		
	1600		1600
	2500		
Upr. napon V	110		
	220		220
	380		
Vrsta upr. napona	Izmjenični	1	
	Istosmjerni	2	2
Nazivna frekvencija	50		50
	60		
Pogon	—	1	
(Rastavljač i prekidač)	Ručni	2	2
	Motorni	3	
	Kompr. zrak	4	
Uklapanje prekidača	—	1	
	Ručno	2	
	Motorno	3	3
	Kompr. zrak	4	
Broj polja			12

Sl. 3 Opća specifikaciona lista postrojenja

Parametar	Opće stanje parametra	Kod	Konkr. stanje parametra
Vrst polja	Odvodno sa sklopkom	3	3
Količina polja			1
Redni broj polja			1
Forma polja	Čvrsto	1	1
	Izvlačivo	2	
Rastavljač	—	1	
za uzemljenje		2	2
Nazivna struja I_n A	≤ 1600		630
Prekostrujna	—	1	
zaštita	Strujno nezavisna	2	
	Strujno zavisna	3	3
Podnaponska	—	1	1
zaštita		2	
Mjerenje struje	—	1	
	Jednofazno (R)	2	2
	Trofazno	3	
Mjerenje napona	—	1	
	Međufazno (R-S)	2	2
	Razno i međufazno	3	
Mjerenje radne	—	1	1
energije		2	
Dojava zemljospoja	—	1	1
		2	

Sl. 4 Specifikaciona lista odvodnog polja sa sklopkom

svi ugrađeni aparati s pojedinačnom cijenom, dok je na kraju liste navedena ukupna cijena postrojenja. Osim toga tiska se tehnički opis postrojenja kojim se dopunjuje jednopolna shema.

Kako smo spomenuli nije, barem zasad, ekonomično čitav proces projektiranja programirati na računalu. Nabrojimo stoga neke programe koji u većoj ili manjoj mjeri mogu racionalizirati proces projektiranja.

4.2 Memorija tehničko-ekonomskih podataka

Podaci, tehnički i ekonomski, što su potrebni kod projektiranja nalaze se obično u prospektima pojedinih firmi, odakle ih projektant prema potrebi uzima. Kada se radi o velikom broju podataka, korisno ih je spremiti u memoriju računala — načiniti, dakle, datoteku, — odakle se potrebni podaci mogu prema potrebi, pomoću jednostavnih programa, uzimati. Neka je npr. potrebno izvršiti izbor mjernih transformatora, moguće je pomoću jednostavnog programa dobiti listu svih transformatora koji dolaze u obzir, s navedenom tvorničkom cijenom. Pogotovo je takva memorija korisna ako je i sam izbor pomoću računala, budući da se tada ne moraju za svaki element posebno zadavati raspoloživi elementi između kojih se vrši izbor, već se svi podaci sa cijenom koštanja mogu uzeti iz memorije.

Razumije se da memoriju valja stalno dopunjavati svježim podacima, što se također čini s posebnim programima.

4.3 Jednostavniji programi

Ako se jednostavniji tehnički proračuni veoma često ponavljaju korisno ih je povjeriti računalu. To je slučaj pretežno kod niskonaponskih postrojenja, gdje se obično radi o velikom broju elemenata, odvoda, itd. za koje je potrebno provesti uvijek isti proračun. Kao primjer spomenimo:

1. Program za provjeru uvjeta nulovanja u niskonaponskom postrojenju.
2. Program za provjeru dozvoljenog pada napona prilikom upuštanja motora.

Kod prvog programa valja za mnogobrojne strujne krugove provjeriti da li će u slučaju kvara (spoja s masom) pregoriti osigurač, tj. da li je odnos struje kratkog spoja i nominalne struje osigurača, u određenom strujnom krugu, dovoljno velik da osigurač sigurno pregori.

Drugi program je dobro upotrijebiti, kod projektiranja industrijskih sistema, u slučaju velikog broja motorskih odvoda, kada je za svaki odvod potrebno provjeriti da li će kod upuštanja motora pad napona na priključnicama motora i pad napona na sabirnicama ostati u dozvoljenim granicama.

4.4 Kompleksni programi

Kada se želi (i kada je to ekonomski opravdano) veći dio projektantskog procesa povjeriti računalu potrebno je prići izradi većih programa.

Tako je npr. u Demokratskoj Republici Njemačkoj načinjen program (L 2) za proračun karakterističnih veličina električnog opterećenja (snage, energije itd.) i dimenzioniranje elemenata postrojenja s obzirom na ugrijavanje u normalnom pogonu. Program nije univerzalan, već se odnosi na zrakastu mrežu industrijskog elektroenergetskog sistema. Kod bilanciranja snage primijenjena je »metoda dvostepenog modela opterećenja«, prema kojoj se opterećenja pojedinih potrošača dijele na konstantni i varijabilni dio. Za varijabilni dio pretpostavlja se da podliježe binomnoj razdiobi, tj. da je nastup varijabilne snage slučajna varijabla binomne razdiobe. Polazeći odatle dobije se vjerojatni (s određenom vjerojatnošću sigurni) dijagram opterećenja, na osnovi kojega se, uzevši u obzir vremensku konstantu zagrijavanja odgovarajućeg elementa (npr. kabela), dobije tzv. »nadomjesna struja« mjerodavna za izbor elemenata s obzirom na uvjete u normalnom pogonu.

Takav kompleksni program u sebi uključuje manje programe kao što su npr.: program za računanje impedancija elemenata mreže, program za proračun struja kratkog spoja, programe za izbor različitih elemenata mreže, itd. Nastavljajući dalje dograđivati takav program, programom za provjeru izabranih elemenata na uvjete koji vladaju u kratkom spoju, mogao bi se izgraditi kompleksan program kojim bi se, pomoću računala, u potpunosti izvela peta faza projektnog procesa definiranog u točki 2.

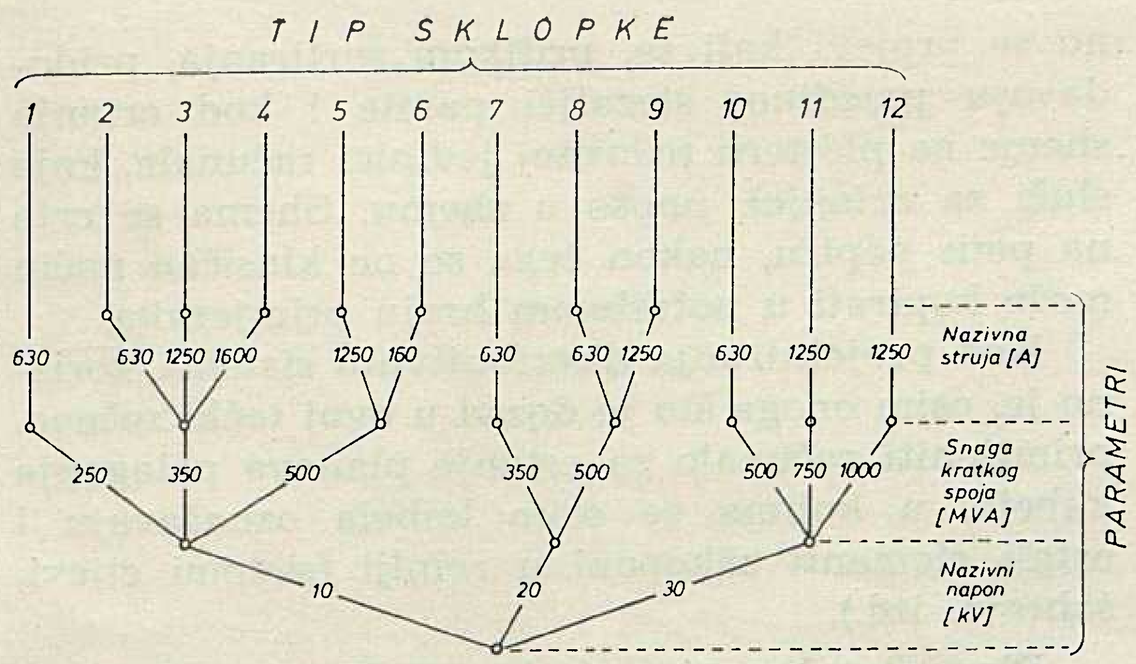
Osim ovog programa spomenimo na ovom mjestu i program za projektiranje transformatorske stanice na računalu (L 3). To je kompleksni program, kojeg možemo svrstati u grupu on-line programiranja, jer se pomoću njega može kontinuirano projektirati čitav jedan sistem — transformatorskih stanica.

4.5 Programi za izbor

Veoma česti posao kod projektiranja je izbor nekog elementa između raspoloživih, pri čemu se moraju zadovoljiti opći uvjeti koji pri tom izboru vladaju. Ukoliko se taj posao često ponavlja ekonomično je da se programira na računalu. Takav uvjet ispunjava npr. »Program za izbor materijala i aparata niskonaponskog postrojenja«.

Kod niskonaponskog postrojenja obično se radi o većem broju odvoda, za koje je potrebno odabrati: sklopnik, bimetal, mjerni transformator (instrument), osigurač, kabel itd. Ako su ormari (ploče), u koje se ugrađuje oprema, tipizirani, moguće je, nakon izbora opreme, uprogramirati da računalo samo izvrši izbor tipa ormara, odnosno razvodne ploče. Ako se tome još doda cijena koštanja niskonaponskog postrojenja, koju se jednostavno može dobiti iz pojedinačnih cijena elemenata, onda ovako koncipirani program može biti od znatne pomoći projektantu.

Što se tiče načina izrade programa dovoljno je kod jednostavnih programa, izbor izvršiti uvjetnim naredbama (npr. u FORTRANU naredba IF),



Sl. 5 Metoda grananja

Parametri	Moguća stanja	Konkretna stanja											
U_n kV	10	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
S_k MVA	250	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	350	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	500	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0
	750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
I_n A	630	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
	1250	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1
	1600	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
TIP		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Sl. 6 Metoda uvjetnog uzorka

dok je u slučaju kompliciranijih programa korisno primijeniti jednu od metoda za izbor, od kojih ćemo spomenuti dvije osnovne (L 4, 5, 7).

4.5.1 *Metoda grananja*

Metodu grananja (Verzweigungsmethode, Branching Method) pokazat ćemo na primjeru izbora sklopke srednjeg napona.

Na sl. 5 grafički je prikazan način izbora. Izbor se vrši s obzirom na parametre za izbor, koji su u ovom slučaju: nazivni napon (kV), nazivna snaga (MVA), i nazivna struja (A). Svaki od parametara može poprimiti dazličite vrijednosti. Tako npr. parametar »nazivni napon« može poprimiti vrijednosti: 10 kV, 20 kV ili 30 kV.

Uzevši u obzir sve parametre i sve vrijednosti, koje parametri mogu poprimiti, moguće je, kako se vidi iz sl. 5, nacrtati grane koje će, uzevši u obzir parametarske vrijednosti u konkretnom slučaju, dovesti do izbora tipa sklopke za taj slučaj.

Uzmimo da su parametarske vrijednosti za izbor sklopke u nekom postrojenju:

10 kV, 350 MVA, 1250 A,

tada će se izabrati tip 3.

4.5.2 *Metoda uvjetnog uzorka* (Bedingungsmustermethode, Condition — Pattern Method)

Ova metoda koristi Boolovu algebru ili Algebru sklopova (L 6). Obradit ćemo isti primjer kao u točki 4.5.1, tj. izbor sklopke. Parametar se u ovoj metodi pojavljuje kao binarna varijabla, tako da za svaku veličinu parametra koja zadovoljava određeni tip sklopke, parametar poprima vrijednost »1«, a za svaku veličinu koja ne zadovoljava, vrijednost »0«. Na sl. 6, gdje je prikazana ova metoda, može se vidjeti da će se npr. tip 8 izabrati u slučaju da veličine parametara budu:

20 kV, 500 MVA, 630 A.

Uspoređuju se, dakle, stupci i u onom stupcu u kojem svi parametri, kao binarne varijable, imaju vrijednost »1«, nalazi se traženi tip, što se može, koristeći algebru sklopova, napisati u formi:

$$\text{TIP} = U_n \cdot S_k \cdot I_n \qquad (1)$$

Drugim riječima, od svih uzoraka (tipova), kojih u ovom slučaju ima 12, odabrat će se upravo onaj koji zadovoljava postavljene uvjete.

Obje spomenute metode zahtijevaju kod većeg broja varijanti izvedbe, elementa koji se bira, i većeg broja parametara, opsežan posao, zbog čega se kod takvih slučajeva nastoji da se postupak, primjenom pogodnijih metoda, dalje pojednostavi.

4.6 Obrada projektne dokumentacije

Obrada projektne dokumentacije, koju smo u procesu projektiranja definirali kao sedmu fazu, pretežno je rutinski posao, koji se sastoji općenito iz crtanja jednopolnih shema, shema djelovanja ili strujnih shema, shema vezivanja, zatim tehničkog opisa, specifikacione liste, itd.

Osnovni zadatak projektne dokumentacije jeste da na pogodan način pruži jasne, pregledne i točne informacije o elektroenergetskom sistemu koji se projektira.

Najčešći oblik projektne dokumentacije su nacrti koji se u današnje vrijeme nastoje crtati na manjim formatima, zadržavajući posebnosti svake projektne organizacije u načinu obrade i prikazivanju elemenata nacrta. Nastojeći i bez računala smanjiti troškove u izradi projektne dokumentacije, neke su projektne organizacije, npr. izbacile iz upotrebe sheme vezivanja, zamjenjujući ih priključnim planovima, pomoću kojih se na jednostavniji način daju upute monteru kako valja spojiti koju stezaljku.

Osim toga, u suvremenim projektnim uredima gotovo su ispale iz upotrebe klasične sheme djelovanja koje su zamjenjene nadopunjenim strujnim shemama. Takve strujne sheme imaju osnovnu prednost što se, uz zadržavanje svih informacija koje su davale prijašnje sheme, crtaju na formatu A3.

S obzirom na današnji razvoj obrade projektne dokumentacije na računalu, ekonomično je prepustiti računalu:

— crtanje strujnih shema,
— obradu priključnih planova i
— ispisivanje priključnih planova.

To su tipični rutinski poslovi u obradi projektne dokumentacije. Nasuprot njima, koncipiranje strujne sheme, gdje se moraju zadovoljiti zakoni funkcionalnosti strujnog kruga i sistema koji se projektira, nije zasad ekonomično prepustiti računalu.

Takvi programi bili bi suviše opsežni, dakle skupi, a osim toga nedovoljno općeniti, pa bi se mogli primijeniti samo za one slučajeve projektiranja, koji su u njima predviđeni. Ipak s vremenom, kako se razvija kompjutorska tehnika, za očekivat je i takve programe koji će u još većoj mjeri zamijeniti inženjera u projektiranju.

U tom slučaju morat će se svi oni algoritmi (znanje) koje projektant ima »u glavi« ili koji se nalaze u priručnicima (knjigama), i koji pomažu u projektiranju, spremiti u memoriju računala i pozivati prema odlukama koje će, s obzirom na sistem koji se projektira, donositi u prvo vrijeme projektant, a kasnije samo računalo — što bi u konačnoj fazi trebalo dovesti do automatskog projektiranja.

Primjer:

Neka je u nekom postrojenju potrebno mjerenje snage. Odluku za to donio je projektant, i odlučio da to bude baš mjerenje Aronovim spojem. Na osnovi toga projektant može nacrtati shemu za mjerenje snage Aronovim spojem bilo »iz glave«, bilo pomažući se priručnikom. Pri tome projektant znade koji su sve elementi potrebni da bi se omogućilo takvo mjerenje (dva strujna transformatora, dva naponska transformatora, ako je mjerenje u v. n. postrojenju, itd.). Ako bi se za taj posao upotrijebilo računalo onda bi, kod automatskog projektiranja, projektant donio odluku i saopćio je kodiranim putem računalu koje bi, koristeći iz svoje memorije shemu i elemente za mjerenje snage Aronovim spojem, samo moglo nacrtati shemu i dodati kao informaciju sve elemente, potrebne za ostvarenje tog mjerenja, ostalim elementima postrojenja koje se projektira, radi popune specifikacione liste i ostalih potreba.

Za automatsko projektiranje potrebno bi bilo izraditi takav program, kojim bi računalo samo donijelo odluku za potrebe mjerenja snage i da to bude baš mjerenje u Aronovom spoju. Svi elementi potrebni za donošenje takve odluke morali bi se unaprijed točno poznavati i spremiti u memoriju računala.

U sadašnje vrijeme je, kako smo rekli, ekonomično crtanje strujnih shema, obrada i ispisivanje priključnih planova. Da bi se ovaj problem prilagodio računalu, potrebno je strujnu shemu u olovci nacrtati na posebnom, za tu svrhu priređenom, obrascu, i kodirati je, kako bi računalo moglo shvatiti shemu. Nakon toga učitavaju se kodirani i ostali, uobičajeni, podaci sheme u računalo.

Posebnim programom moguće je ispisivanje priključnih planova, uvažavajući pravila za sortiranje stezaljki na priključnoj ljestvici. Istovremeno se brojevi koji se, prilikom sortiranja, pridodavaju pojedinoj stezaljci pamte i kod crtanja sheme na plotteru (izlaznoj jedinici računala, koja služi za crtanje), unose u shemu. Shema se crta na paus papiru, nakon čega se na klasičan način može kopirati u potrebnom broju primjeraka.

Kod projektiranja distributivnih sistema korisno je, osim onoga što je dosad u ovoj točki rečeno, primijeniti računalo za crtanje planova polaganja kabela, u kojima se osim kabela označavaju i ostali elementi zakopani u zemlji (sistemi cijevi, šahtovi, itd.).

Planovi polaganja kabela naročito su važni kod velikih gradova, gdje je broj informacija o onome što se nalazi u zemlji relativno velik.

U Hamburgu se npr. 1967. god. (L 8) počelo s radovima na pripremi obrade spomenute dokumentacije na računalu. Razvijen je program koji je na podloge, izvađene iz katastra — u kojima su označeni tlocrti kuća, ulica itd. — unosio informacije o kabelskim trasama, kućnim priključcima, kabelskim spojevima, šahtovima i slično. Ukoliko se podloge nisu nalazile u katastru pripremale su ih posebne ekipe, koje su na licu mjesta, pomažući se i strojevima (Redukcioni tahometar na kojega je bio priključen okretni stol za crtanje gradskih planova — Kartiertisch), premjeravale ulice i zgrade, stvarajući tako podloge u mjerilu 1 : 500 ili 1 : 1000. Na tako pripremljene podloge računalo je unosilo informacije o kabelskim trasama, i ostalim predmetima položenim u zemlji.

Planovi polaganja kabela potrebni su ne samo prilikom projektiranja ili gradnje elektroenergetskih sistema, već i prilikom drugih razloga iskopa — koji su uzgred rečeno relativno česti — kako bi se izbjeglo oštećenje, u prvom redu, električnih kabela.

5. Opravdanost uvođenja računala u proces projektiranja

Nastojeći pomoću računala racionalizirati proces projektiranja, svaka će projektna organizacija u prvom redu razmotriti korist, koju od toga može imati. Prema tome, troškovi rada po novom načinu moraju biti manji od troškova rada po starom načinu (bez računala).

Za svaki problem, kojega je ekonomično obrađivati pomoću računala, možemo postaviti da vrijedi:

$$T_p + k \cdot T_{gr} < k \cdot T_{gs} \qquad (2)$$

gdje su:

T_p troškovi programiranja,
T_{gr} godišnji troškovi rada računala,
T_{gs} godišnji troškovi rada na stari način,
k broj godina na koji se računa isplata uloženih sredstava,

sve za konkretni problem.

Osim te, čisto ekonomske, koristi potrebno je uzeti u obzir i slijedeće:

1. Angažiranje računala u projektiranju oslobađa kapacitete projektanta za kvalitetnije poslove.
2. Rutinske, s vremenom dosadne, poslove računalo radi točnije od projektanta.
3. Upotrebom računala mogu se kod tehničkih proračuna primijeniti kompliciranije, ali zato točnije, metode.
4. Računalo omogućuje, pri izboru koncepcije mreže, uspoređivanje više varijanti, na relativno jednostavan način.
5. Računalo otklanja subjektivan utjecaj projektanta, čime se osigurava jedinstven način projektiranja.
6. Vrijeme potrebno za projektiranje se, upotrebom računala, u pravilu smanjuje.
7. Iskustva boljih projektanata se mogu, ugrađujući ih u programe, koristiti i nakon njihovog odlaska iz projektne organizacije.
8. Osposobljavanjem kadrova za rad s računalom priprema se projektna organizacija za uvođenje većeg stupnja automatizacije u projektiranju koji će bez sumnje, razvojem kompjutorske tehnike (ne zaboravimo da je ona u početnom razvoju), rasti sve brže.

Kada se uzmu u obzir i spomenute činjenice onda je očito da je i u slučaju prijelaza nejednadžbe (2) u jednadžbu, opravdano uvesti računalo u proces projektiranja.

Na kraju, uzimajući u obzir današnju primjenu računala pri projektiranju industrijskih i distributivnih sistema u svijetu, mogućnosti za takvu primjenu i koristi koje od toga već sada može imati projektna organizacija — može zaključiti, da je racionalizacija projektnog procesa pomoću računala jedan od osnovnih zadataka u razvoju projektnih organizacija, jer ona sobom donosi veću kvalitetu, brzinu i manje troškove projektiranja.

Literatura

1. N. Čupin: *Korištenje digitalnog elektroničkog računala u projektiranju industrijskog elektroenergetskog sistema*, Mag. rad, Elektrotehnički fakultet Zagreb.
2. Autorenkollektiv: *Methoden zur Bestimmung elektrischer Belastungen in Industriebetrieben*, Der VEM — Elektro-Anlagenbau 5 (1969) 1.
3. Schönfeld: *Die Anwendung der Rechentechnik bei der Entwicklung und Projektierung elektrotechnischer Systeme und Geräte*, Elektrie 24 (1970) H. 11.
4. Habermann: *Über die automatisierte Bearbeitung von Angeboten für Mittelspannungs — Schaltanlagen*, ETZ-A Bd 93 (1972) H. 4.
5. Habermann: *Über den Einsatz elektronischer Datenverarbeitungsanlagen im Angebotswesen von elektrischen Schaltanlagen*, Diss. TU Braunschweig 1971.
6. N. Čupin: *Osnovi Algebre sklopova i njezina primjena*, Energija 11—12, Zagreb 1972.
7. Wortman, Gallimore, Waller, Davis: *Assembled Switchgear designed by Computer*, IEEE Transaction on Power App. and Syst. 82 (1963) S. 798—801.
8. Schulze: *Einsatz einer numerisch gesteuerten Zeichenanlage für die Herstellung von massstäblichen Leitungsplänen*, Elektrizitätswirtschaft 70 (1971) H. 26.

Naslov pisca: Mr Nikola Čupin, dipl. ing.
Elektrotehnički fakultet, Zagreb

PRORAČUN KABELA I VODIČA NA TERMIČKU ČVRSTOĆU

Andrija Miličević, Zagreb

Pri određivanju presjeka kabela i vodiča u rasklopnim uređajima uzimaju se u obzir i struje kratkog spoja, pa se ponekad dobivaju presjeci, znatno veći od potrebnih za redoviti pogon. Osim toga izraz, kojim se određuje presjek s obzirom na struju kratkog spoja, sadrži članove, kod kojih su moguće krive procjene i razlike prema stvarnom stanju. Izveden je novi jednostavniji i povoljniji izraz, a upotreba toga izraza prikazana je na nekoliko primjera.

DK 621.315.2

1. Uvodna objašnjenja

Pri projektiranju električnih postrojenja za distribuciju i transformaciju električne energije, redovito dolaze u obzir kabeli ili vodiči u kojima odabrani minimalni presjeci, s obzirom na termičku izdržljivost u kratkom spoju, ponekad znatno premašuje presjek potreban za normalno pogonsko stanje. Potreba za termičkom čvrstoćom u slučaju kratkog spoja, tj. za izdržljivošću u slučajevima koji vrlo rijetko ili nikada ne nastupaju, ima za posljedicu ne samo veća ulaganja u projektirani objekt, nego i konstruktivno-montažne poteškoće zbog rada s većim presjecima vodiča i kabela. Nadalje, ovako odabrani veliki presjeci, npr. kabela, u normalnom trajnom pogonu nisu dovoljno opterećeni. S obzirom na netom navedeno, dolazimo u dilemu, da li je u cijelosti ispravan postupak za kontrolu odabranog presjeka kabela prema već tako udomaćenoj formuli

$$S = C J_k \sqrt{t} \qquad (1)$$

što smo je dobili izjednačavanje poznate formule za razvijenu toplinu s formulom koja nam daje povećanje temperature vodiča.

Analizom navedene formule (1), najprije za konstantu C, dolazimo do zaključka da se već ovdje može napraviti propust, jer ova konstanta sadrži vrijednosti dozvoljenih maksimalnih temperatura u kratkom spoju koje se mogu znatno razlikovati s obzirom na proizvođača kabela i na vrstu kabela. Isto tako, propisi raznih zemalja, dozvoljavaju osjetljive razlike dopuštenih maksimalnih temperatura u kratkom spoju.

Da bismo odredili minimalno dozvoljeni presjek prema prethodnoj formuli (1), moramo još izračunati i trajnu struju kratkog spoja i vrijeme njegovog trajanja. Određivanje trajne struje kratkog spoja posebno je složen zadatak s obzirom na podatke kojima moramo raspolagati ili ih ocijeniti. To znači, da se ne mogu izbjeći subjektivne pogreške kod računa. Struja kratkog spoja mjerodavna za zagrijavanje dana je izrazom

$$I_k = I_k'' \sqrt{m^2 + n^2},$$

a faktori m i n funkcije su drugih veličina tj. I_{km} je određen istosmjernom komponentom udarne struje kratkog spoja, a faktor $n = f(I_k/I_n)$. Početna struja kratkog spoja I_k'' nije dana za sva mje-

	Najviša dopuštena temperatura kod kratkog spoja ϑ_k · max °C		
	Prema FKS	Prema »Pravila ustrojstva elektroustanovkov«	Prema VDE
1. CU-vodiči	170°C[2]	250/200°C[1]	200/170°C[3]
2. Al-vodiči	130°C	200/160°C	180/130°C
3. Aldrej	155°C		160°C
4. Alučelik 6 : 1	130°C	200°C	160°C
5. Plosnati Cu-vodiči	—	300°C	300°C[4]
6. Plosnati Al-vodiči	—	200°C	250°C
7. Plosnati Če-vodiči	—	400°C	—
8. Visokonaponski kabel sa izolacijom od papira 10 kV Cu i Al	120C°	200°C 200°C	140°C 140°C
9. Visokonaponski kabel sa izolacijom od papira za napon 20 kV Cu i Al	100°C	175°C	140°C
10. Isto samo preko 30 kV za Cu i Al	100°C	125°C	120°C

[1] Prema Sovjetskim preporukama u koloni 1 navedene ne temperature odnose se na vodiče naprezanja < od 2 kp/mm² i veće od 2 kp/mm². U koloni 2 podaci su za naprezanje Al < 1 kp/mm² i > od 1 kp/mm². Prema: *Pravila ustrojstva elektroustanovak 1964*, tablica 1-4-1.

[2] Podaci u koloni 1—4 za vodiče uzeti su iz knjige *Aluminijski nadzemni vodovi* — Tehnička knjiga, Zagreb, 1959.

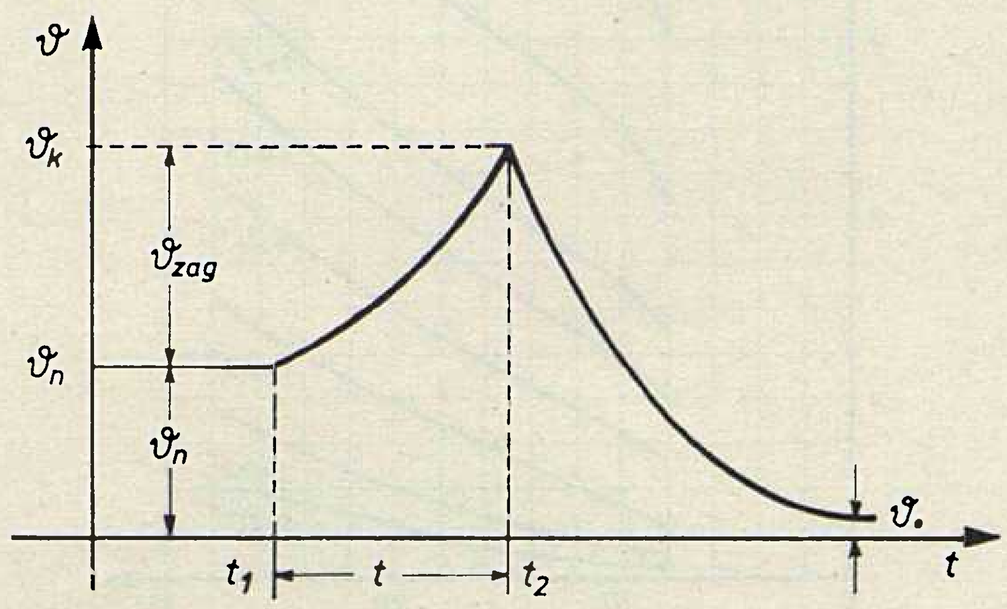
[3] Podaci za kolonu 1—4 uzeti su iz knjige B. FLECK *Hochspannungs- und niederspannungs schaltanlagen* 5 Auslage — 1965. Essen. Prva brojka u koloni 1 odnosi se na Cu vodiče s naprezanje < 1kp /mm², a druga za naprezanja ≥ 1 kp/mm². Ovo se također odnosi na kolonu 2 za Al.

[4] U koloni 5 i 6 navedeni podaci nisu iz VDE propisa, nego prema Siemens, *Formel- und Tabellenbuch für Starkstrom — Ingenieure.*

sta što se pojavljuju u mreži kao mjesta priključka za projektirana postrojenja. Udarni faktor možemo očitati iz dijagrama na osnovi odnosa R/x strujnog kruga u kratkom spoju. Da bismo izračunali I_k valja poznavati i trajnu struju kratkog spoja, a za to nam je potreban omjer I_k/I_n. Vidimo dakle, da za izračunavanje struje I_k moramo poznavati niz faktora koji utječu na njezinu vrijednost, a često smo prisiljeni, u nedostatku vjerodostojnih podataka, pribjeći njihovoj subjektivnoj ocjeni. To vodi gubitku egzaktnosti računa. U prethodnom izrazu (1) za S_{min} u kojega dolazi vrijeme t moramo za njega uvrstiti vrijeme djelovanja prekidača i zaštite. Očito je da vrijeme t bitno utječe na izbor presjeka, jer povećanjem vremena od 0,5″ na 1″ presjek se povećava za 41%. Kao vrijeme djelovanja zaštite valja uzeti zbir vlastitih vremena svih releja što su uključeni u krug djelovanja zaštite. Obično valja na ovo dodati toleranciju, redovito + 10% zbog rasipanja podešene vrijednosti vremenskog releja, pa se izračunana vremena zaokružuju na više, što je opet jedna proizvoljnost u računu. Ova kratka analiza veličina, u navedenoj formuli, ukazuje samo na subjektivnost ovoga računa. U ovom članku je dano tumačenje ovog računa, uobičajenog u niskoj literaturi. Vidimo da je ovakav način računa daleko pojednostavljen i dovoljno točan.

2. Određivanje fiktivnih vremena

Temperatura zagrijavanja vodiča i kabela, te ostalih uređaja u normalnim uvjetima rada ϑ_n, određuje se kao zbroj temperature okoline o i nadtemperature vodljivog dijela nad tj. $n = \vartheta_o + \vartheta_{nad}$. Nadtemperatura je definirana iz uvjeta, da je količina oslobođene topline jednaka određenoj toplini. Za struju kratkog spoja koja traje neznatno vrijeme, zagrijavanje vodiča ϑ_k se određuje kao zbroj temperature vodiča do kratkog spoja n i njegove temperature zagrijavanja tijekom kratkog spoja zag tj. $\vartheta_k = \vartheta_n + \vartheta_{zag}$. Vrijeme trajanja kratkog spoja nije dugo i može trajati najdulje nekoliko sekundi, dakle ne dolazi u obzir odvod topline, nego se oslobođena energija pretvara u povišenje temperature samoga vodiča — adiabatski proces zagrijavanja.



Sl. 1 Promjena temperature vodiča kod kratkog spoja

Na slici 1. prikazan je tok promjene temperature vodiča u slučaju kratkog spoja. Do nastanka kratkog spoja vodič je imao temperaturu ϑ_n. Kratki spoj je nastao u vremenu t_1, nakon čega se temperatura vodiča povećava do vrijednosti ϑ_k u momentu t_2, kada se bolesni dio isključuje.

Nakon isključenja bolesni dio se hladi do temperature okoline. Najveća temperatura vodiča u kratkom spoju ϑ_k vrlo je kratkotrajna (vršna temperatura) i zbog toga se dozvoljava, kod kratkog spoja, mnogo veće zagrijavanje vodiča od onoga u normalnom pogonu. Maksimalno dozvoljeno zagrijavanje vodljivih dijelova, za vrijeme kratkog spoja, određuje se toplinskim svojstvima, uvjetima izolacije i održavanja mehaničkih svojstava vodiča.

U tablici 1 navedene su maksimalne temperature koje se dozvoljavaju, ali koje nisu određene jugoslavenskim propisima, nego samo preporukama proizvođača kabela. Ujedno se daju ove temperature prema Sovjetskim pravilima i VDE propisima, odnosno njemačkoj praksi:

Zadatak kontrole vodljivih dijelova (vodiča, kabela, sabirnica) na temperaturu kratkog spoja, svodi se na određivanje najveće temperature zagrijavanja strujom kratkog spoja ϑ_k i uspoređivanjem ove temperature s maksimalno dozvoljenom temperaturom $\vartheta_{k.max}$. Učinski kabel (ili neki drugi vodljivi dio) zadovoljava kontrolu termičke izdržljivosti ako je ispunjen uvjet

$$\vartheta_k \leq \vartheta_k \cdot max. \qquad (2)$$

Vrijeme kratkog spoja t (računsko vrijeme djelovanja kratkog spoja sl. 1) usvaja se prema slijedećoj jednadžbi

$$t = t_{zaš} + t_{isklj} \qquad (3)$$

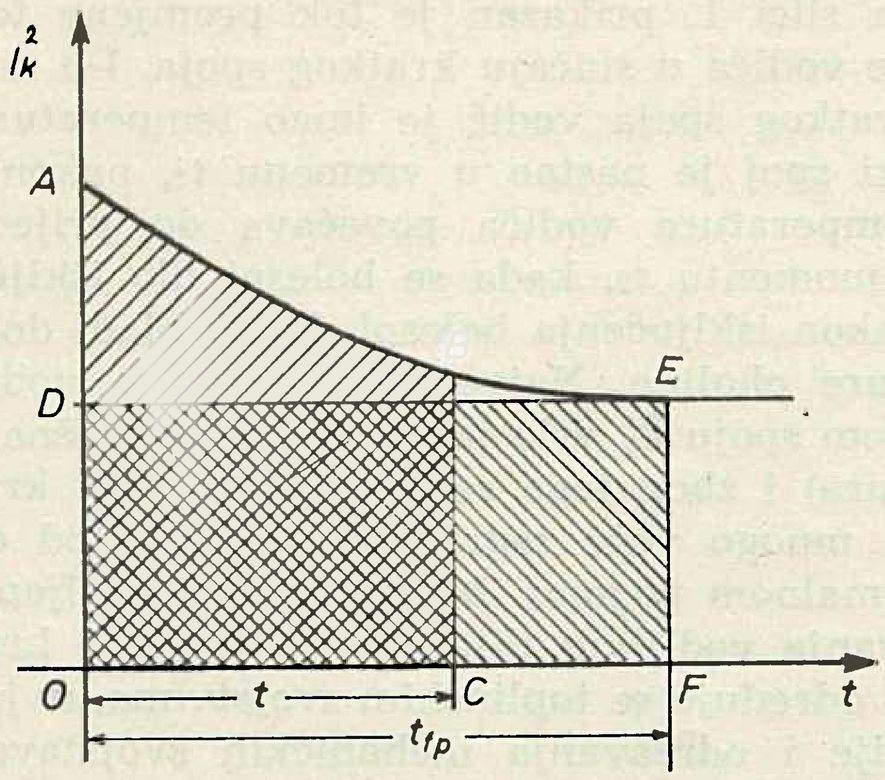
U jednadžbi (2) označili smo sa t — vrijeme trajanja kratkog spoja, sa $t_{zaš}$ — vrijeme djelovanja zaštite od momenta nastupa kratkog spoja do davanja impulsa za isključenje prekidača koji je najbliži mjestu kratkog spoja, i sa t_{isklj} — vrijeme isključenja prekidača od prijema impulsa za isključenje do potpuno ugašenog luka u prekidaču.

Obično aktivno vrijeme djelovanja struje kratkog spoja u ovisnosti o zaštiti i konstrukciji prekidača leži u granici od 0,2 do 5—7 sek. Pri određivanju termičkog djelovanja struje kratkog spoja djeluje izmjenična a za $t < 1''$ i istosmjerna komponenta kratkospojne struje. Količina topline proizrokovane izmjeničnom i istosmjernom komponentom struje određuje se jednadžbom

$$R = Q_p + Q_a \qquad (4)$$

U jednadžbi (4) Q_p označuje toplinu oslobođenu djelovanjem izmjenične komponente struje kratkog spoja i Q_a oslobođenu toplinu djelovanjem istosmjerne komponente struje kratkog spoja.

Oslobođenu toplinu Q_p možemo definirati kako slijedi: Pretpostavimo da nam je zadana krivulja promjena pozitivne vrijednosti komponente struje u funkciji vremena za strujni krug predstavljen



Sl. 2 Krivulja promjene kvadrata pozitivnih veličina izmjenične komponente struje kratkog spoja za generator bez automatske regulacije uzbude

jalovim induktivnim otporom x. Na temelju te krivulje možemo konstruirati krivulju kvadrata pozitivnih vrijednosti izmjenične komponente struje kratkog spoja ovisnoj o funkciji vremena.

Nanesimo na os apscise vrijeme t koje nam predstavlja trajanje struje kratkog spoja. Tada površina OABC u nekom mjerilu predstavlja oslobođenu toplinu izmjenične komponente struje kratkog spoja sl. 2,

$$\text{OABC} = Q_p = 0{,}24 \int_0^t I^2 R \, dt \qquad (5)$$

Računanje proizvedene topline prema formuli (5) veoma je komplicirano, jer se Zakon promjene izmjenične veličine kratkospojne struje, osobito kod postojanja regulatora napona generatora, izražava vrlo složenim formulama. (Radi lakšeg računa, prikazana krivulja promjene struje, odnosi se na generator bez automatske regulacije uzbude). Prema tome, za pojednostavljenje računa postupamo na slijedeći način. Površinu OABC možemo zamijeniti pravokutnikom iste površine ODEF s visinom ravnom kvadratu stacionarnog stanja struje kratkog spoja i dužinom ravnoj tzv. f i k t i v n o m v r e m e n u izmjenične komponente kratkospojne struje t_{fp} u čijem vremenu utvrđujemo struju kratkog spoja i gdje se oslobođena toplina može prikazati prema jednadžbi

$$0{,}24 \, I_k^2 R \, t_{fp} = 0{,}24 \, R \int_0^t I_k^2 \, dt \qquad (6)$$

Na taj način poznavajući iz računa kratkospojnu struju stacionarnog stanja I_k i odredivši veličinu fiktivnog vremena, lako možemo naći oslobođenu toplinu u slučaju kratkog spoja. Očigledno je da veličina fiktivnog vremena t_{fp} ovisi o trajanju struje kratkog spoja t i o karakteru njezinog prigušenja. S druge strane, prigušenje struje kratkog spoja ovisi o veličini jalovog otpora strujnog kruga i generatora x do mjesta kratkog spoja (čim je bliže mjesto kratkog spoja generatoru tim je prigušenje jače). Prema tome, bit će odnos koji određuje prigušenje struje kratkog spoja, tj. omjer između udarne struje kratkog spoja i trajne struje kratkog spoja $\beta'' = I''/I_k$ potpuno karakteriziran računatim otporom i možemo prihvatiti da je fiktivno vrijeme izmjenične komponente $t_{fp} = f(t, \beta'')$.

Za pojednostavljenje određivanja fiktivnog vremena dajemo odgovarajuću krivulju koja prikazuje ovisnost $t_{fp} = f(\beta'')$ iz koje se može odrediti veličina vremena t, slika 3.

Budući da gotovo svi generatori imaju automatsku regulaciju uzbude, to za udaljene kratke spojeve vrijede odnosi $\beta'' = I''/I_k < 1$ i $t_{fp} < t$, što grafički izgleda kako je prikazano na slici 4.

Krivulje fiktivnog vremena sastavljene su pretpostavljajući vrijeme kratkog spoja $t \leqq 5''$, a za $t \geqq 5''$ fiktivno vrijeme se izračuna prema formuli

$$t_{fp} = t_{fp5} + t - 5 \qquad (7)$$

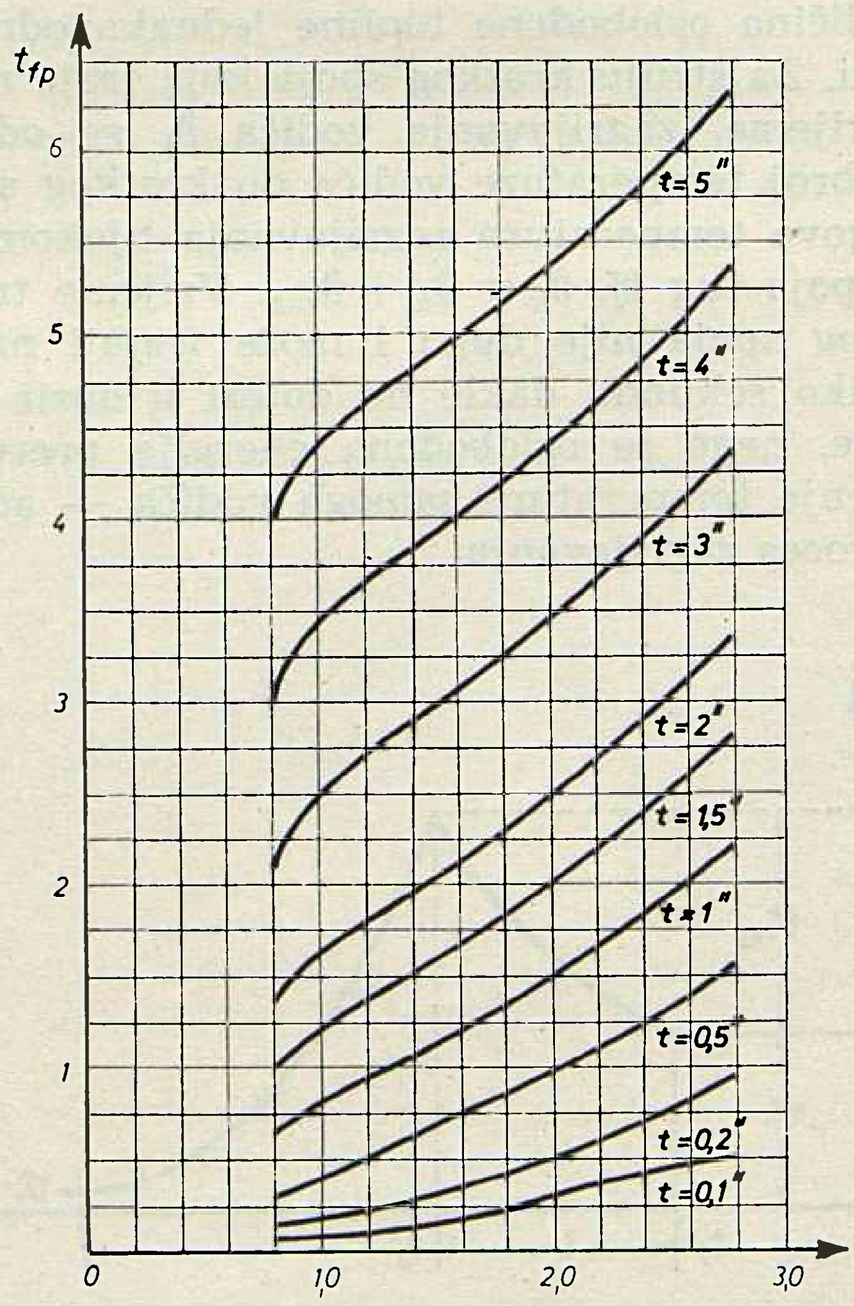
U jednadžbi (7) t_{fp5} označuje nam fiktivno vrijeme uzeto za 5″.

Za određivanje oslobođene topline Q_a, odvojeno računamo istosmjernu komponentu struje kratkog spoja, nalazeći fiktivno vrijeme t_{fa}, jednako vremenu za koje je oslobođena toplina istosmjerne komponente i stacionarnog stanja struje kratkog spoja ista, tj.

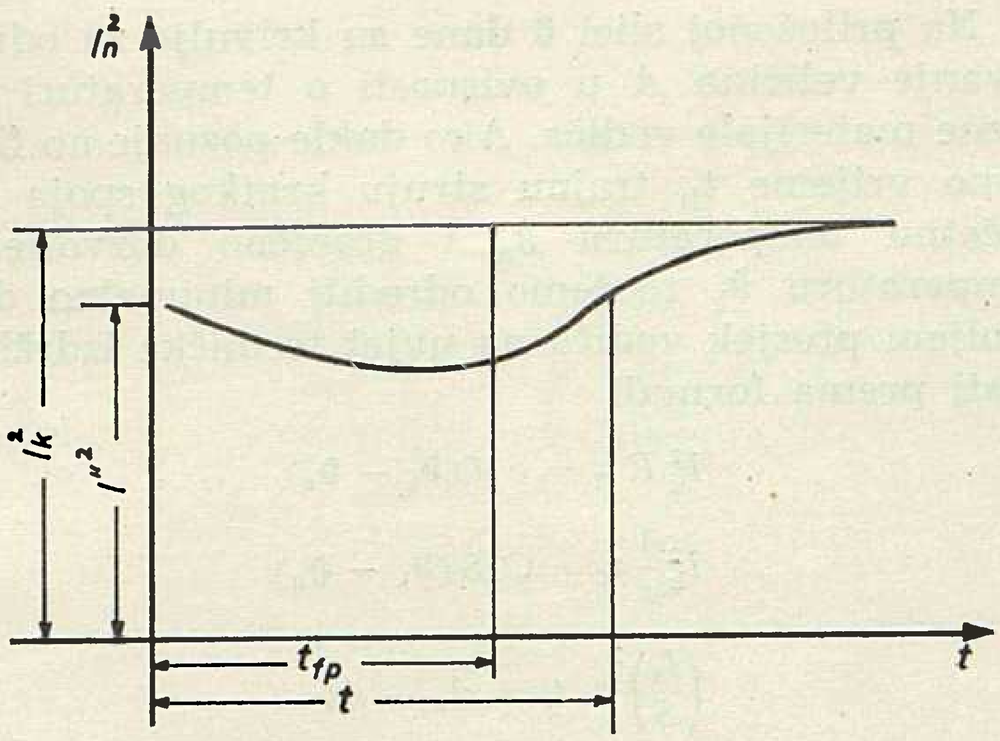
$$Q_a = 0{,}24 \, R \int_0^t i_{at}^2 \, dt = 0{,}24 \, I_k^2 R \, t_{fa} \qquad (8)$$

Istosmjernu komponentu struje kratkog spoja možemo prikazati formulom

$$t_{at} = i_{atv} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \qquad (9)$$



Sl. 3 Krivulje fiktivnog vremena



Sl. 4 Krivulja promjene izmjenične komponente struje kratkog spoja za generator s automatskom regulacijom uzbude kod udaljenih kratkih spojeva

pa prema tome, možemo napisati

$$i_{at} = i_{ato}\, e^{-\frac{t}{T_a}} = \sqrt{2}\, I''\, e^{\frac{t}{T_a}}$$

i

$$Q_a = 0{,}24\, I''^2\, R\, 2 \int_0^t e^{-\frac{2t}{T_a}} dt = 0{,}24\, I''^2\, R\, T_a\, (1 - e^{-\frac{2t}{T_a}})$$

odavde je

$$0{,}24\, I''^2\, R\, T_a\, (1 - e^{-\frac{2t}{T_a}}) = 0{,}24\, I_k^2\, R\, t_{fa}$$

Iz ove jednadžbe možemo izračunati

$$t_{fa} = T_a\, \beta''\, (1 - e^{\frac{2t}{T_a}})$$

gdje je $\beta'' = I''/I_k$.

Za slučajeve s kojima mi računamo možemo uzeti da je omjer između jalovog induktivnog otpora i djelatnog otpora

$$T_a = \frac{x}{314\, R} \approx 0{,}05\,,$$

Uz pretpostavku da će kratki spoj biti isključen za vrijeme $t = 0{,}1''$, dobivamo

$$t_{fa} = 0{,}05\, \beta''^2 \qquad (10)$$

budući da je

$$e - \frac{2 \cdot 0{,}1}{0{,}05} = e\frac{1}{4} \approx 0\,.$$

Ukupna razvijena toplina za vrijeme kratkog spoja bit će:

$$Q = Q_a + Q_p = 0{,}24\, I_k^2\, (t_{fa} + t_{fp})$$

$$t_f = t_{fa} + t_p\,. \qquad (11)$$

Istosmjerna komponenta struje kratkog spoja nestaje za vrijeme 0,1—0,2 s i njezino toplinsko djelovanje možemo zanemariti na ukupno zagrijavanje vodljivih dijelova za trajanje kratkog spoja veće od 1 s. Prema tome možemo uzeti za mjerodavno u našim računima

$$f_f = t_{fp}\,. \qquad (12)$$

Toplinsko djelovanje struje kratkog spoja moguće je izraziti pomoću ekvivalentne jednosekundne struje kratkog spoja.

Stvarno, neka nam je zadan graf kvadrata izmjenične komponente struje kratkog spoja dan na slici 5.

Površina OABC navedenog grafa bit će proporcionalna oslobođenoj toplini za vrijeme t kratkog spoja. Nadomjestimo ovu površinu pravokutnikom s osnovicom OP ravnom 1″. Za takav uvjet imamo

$$I_k^2\, t_f = I_{1s}^2\,, \qquad (13)$$

gdje nam je I_{1s} jednosekundna struja koja oslobađa toplinu za vrijeme jedne sekunde, ekvivalentna toplini stvarne struje za vrijeme t. (U formuli 13 pretpostavljamo da je $t > 1''$ i $t_{fp} = t_f$).

Rješenjem jednadžbe 13 dobivamo

$$I_{1s} = I_k \sqrt{t_f}\,. \qquad (14)$$

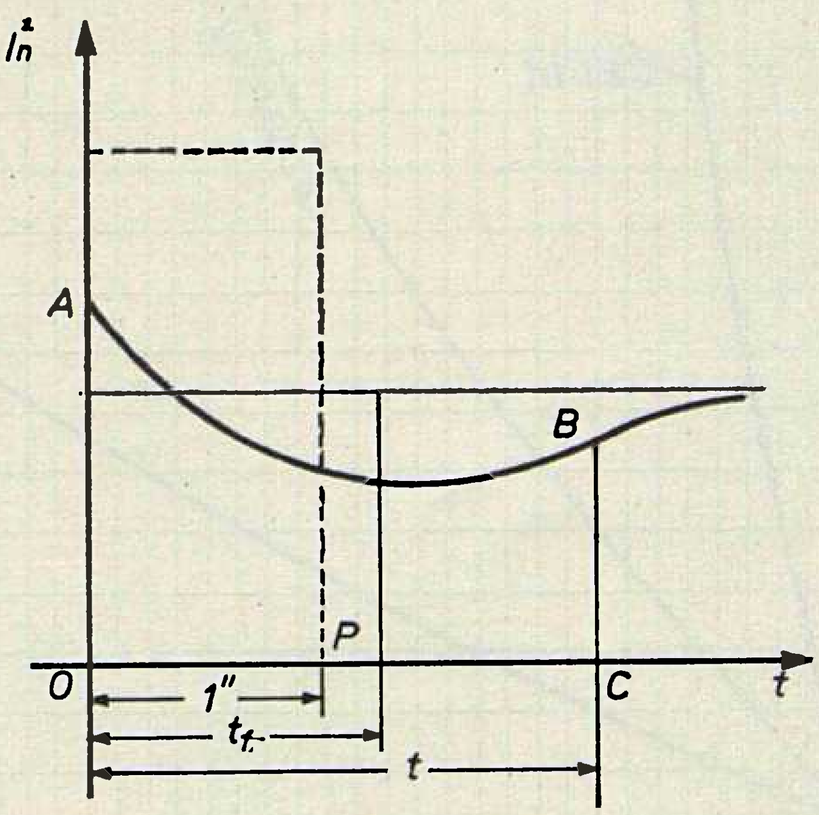
Ovim razmatranjem obrazloženo je značenje fiktivnog vremena čija veličina čini bitni dio računa.

3. Određivanje optimalnog presjeka

Vodiči se na termičku čvrstoću provjeravaju ili uspoređivanjem povišenja temperature i dozvoljenim zagrijavanjem prema tablici ili, što je isto, prema granici jednosekundne gustoće struje j_{1doz} koja mora biti jednaka ili veća od računske struje $j_{1sdoz} = j_{1s}$. Računska jednosekundna gustoća struje iznosi

$$j_{1s} = \frac{I_{1s}}{S} = \frac{I_k \sqrt{t_f}}{S}\,. \qquad (15)$$

Granicu dozvoljene jednosekundne gustoće struje možemo odrediti na slijedeći način. Označimo temperaturu vodiča do kratkog spoja s n i granicu dozvoljene temperature na kraju kratkog spoja s k. Budući da je vrijeme kratkog spoja veoma kratko, sva toplina stvorena u vodiču za vrijeme kratkog spoja, utroši se na njegovo zagrijavanje. Označimo sa I_{1sdoz} jednosekundnu do-



Sl. 5 Krivulja promjene kvadrata efektivne vrijednosti izmjenične komponente struje kratkog spoja i jednosekundna struja

zvoljenu struju kratkog spoja, koja je dozvoljena za vodiče prema uvjetima zagrijavanja. Možemo napisati da je

$$I^2_{1s\,doz} \cdot R = c\,V\,(\vartheta_k - \vartheta_n)\,. \qquad (16)$$

Budući da je $R = \rho \cdot 1/s$ uvrštavanjem u 16 dobivamo

$$I^2_{1s\,doz}\,\frac{\rho \cdot l}{S} = c\,1\,s\,(\vartheta_k - \vartheta_n)\,. \qquad (17)$$

U formuli 16 označili smo sa c specifičnu toplinsku vodljivost, a sa v smo označili volumen vodiča. Nakon sređenja formule 17 dobivamo

$$\frac{I^2_{1s\,doz}}{S \cdot 2} = \frac{c}{\rho} \cdot (k - n) = j^2_{1s\,doz}\,.$$

U konačnom obliku možemo napisati

$$j_{1s\,doz} = \sqrt{\frac{c}{\rho}(\vartheta_k - \vartheta_n)}\,. \qquad (18)$$

Ako veličina specifičnog otpora ne ovisi o temperaturi, odnos između dozvoljene gustoće struje j_{1sdoz} i dozvoljenog povećanja temperature vodiča za vrijeme kratkog spoja bio bi jednostavan. U stvarnosti specifični otpor ρ mijenja se zagrijavanjem vodiča i taj odnos između gustoće struje i povećanja struje postaje složeniji. Za izraz tasve ovisnosti moramo se poslužiti određenim grafom pomoću kojega, znajući veličine ϑ_k i ϑ_n možemo odrediti odgovarajuće vrijednosti

$$A_k = \frac{c}{\rho}\,\vartheta_k \quad \text{i} \quad A_n = \frac{c}{\rho}\,\vartheta_n \qquad (19)$$

i poslije, uvrštavajući u formulu 18 nalazimo granicu dozvoljene gustoće jednosekundne struje kratkog spoja

$$j_{1h\,doz} = \sqrt{A_k - A_n}\,. \qquad (20)$$

Na priloženoj slici 6 dane su krivulje za određivanje veličina A u ovisnosti o temperaturi za razne materijale vodiča. Ako dakle poznajemo fiktivno vrijeme t_f, trajnu struju kratkog spoja I_k, početnu temperaturu ϑ_n i granično dozvoljenu temperaturu ϑ_k možemo odrediti minimalno dozvoljeni presjek vodiča na uvjet termičke izdržljivosti prema formuli

$$I^2_k\,R\,t_f = c\,V\,(\vartheta_k - \vartheta_n)$$

$$I^2_k\,\frac{1}{s}\,t_f = C1S\,(\vartheta_k - \vartheta_n)$$

$$\left(\frac{I_k}{S}\right)^2 \cdot t_f = A_k - A_n$$

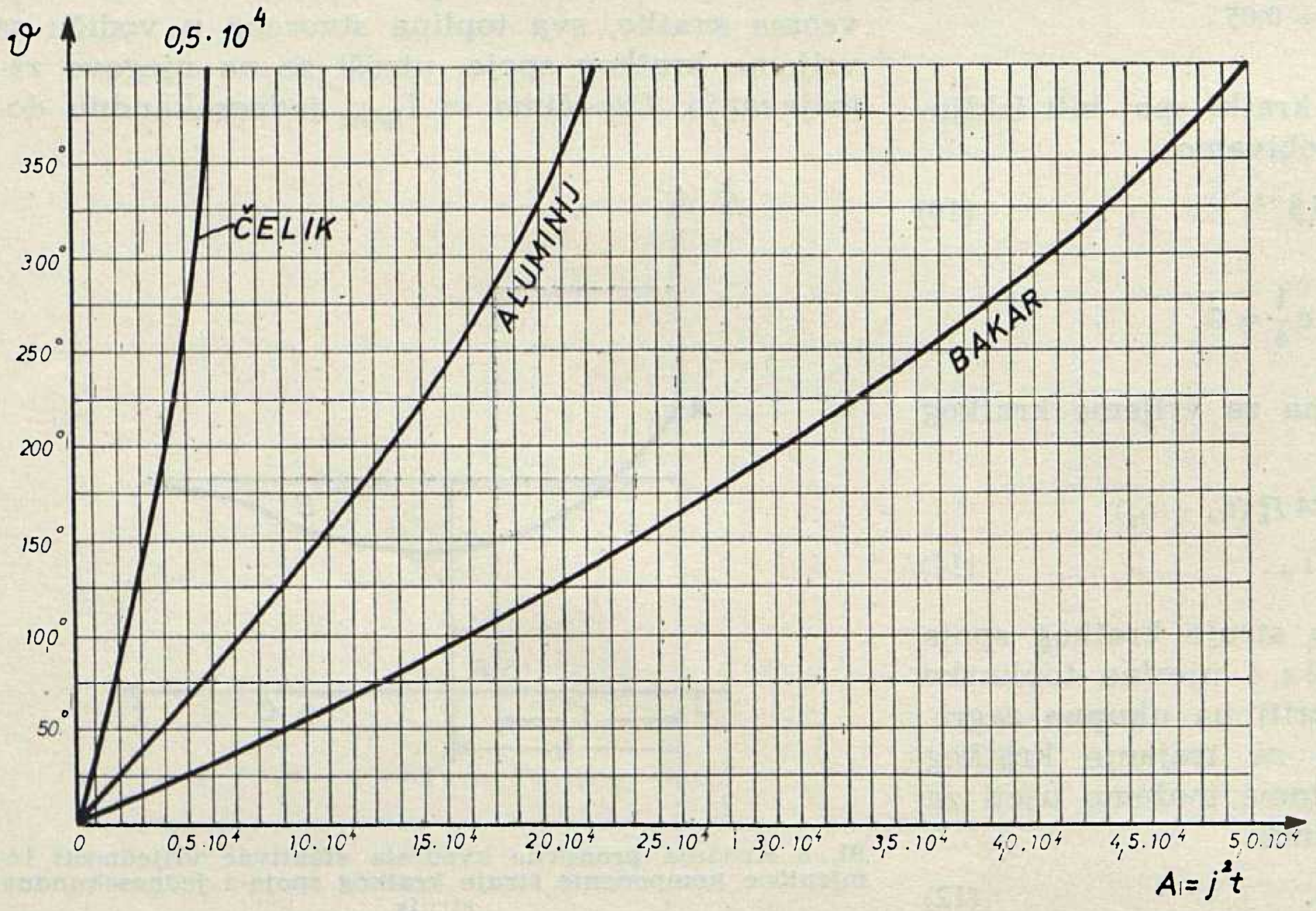
$$S_{min} = I_k\sqrt{\frac{t_f}{A_k - A_n}}\,. \qquad (21)$$

Vidimo da je ova formula 21 daleko jednostavnija od formule 1. Veličine koje ulaze u formulu 21 možemo veoma jednostavno izračunati. Da uočimo jednostavnost ovog računa navest ćemo nekoliko primjera.

4. Primjeri

1. Valja provjeriti na termičku čvrstoću učinski kabel za napon 10 kV sa žilama od aluminija $3 \times 95\ mm^2$ i slijedećim podacima $\vartheta_n = 60^0C$, $I'' = 12$ kA, $I_k = 8$ kA, $t_{zaš} = 0{,}6''$, vlastito vrijeme prekidača $t_{isklj} = 0{,}2''$. Prema tome je ukupno vrijeme $t = 0{,}6 + 0{,}2 = 0{,}8''$.

Budući da je $t < 1''$ uzimamo u obzir i istosmjernu komponentu struje kratkog spoja. Prema krivulji sl. 3 nalazimo $\beta'' = 12/8 = 1{,}5$ i $t = 0{,}8$ sek. nalazimo $t_f\rho = 1$ sek. Prema formuli 10 dobivamo $t_{fa} = 0{,}05\ \beta''^2 = 0{,}05 \cdot 1{,}5^2 = 0{,}1$ sek, slijedi da je $t_f = 1 + 0{,}1 = 1{,}1$ sek. Koristeći krivulje na sl. 6 za aluminij kod temperature $\vartheta_n = 60^0$ nalazimo $A_n = 0{,}4 \cdot 10^4$.



Sl. 6 Dijagram za određivanje temperature zagrijavanja vodljivih dijelova za slučaj kratkog spoja

Sada možemo izračunati faktor A_k prema jednadžbi (21)

$$A_k = A_n + \left(\frac{I_k}{S}\right)^2 t_f = 0{,}41 0^3 \left(\frac{8000}{2}\right)^2 \cdot 1{,}1 = 1.2.10^4$$

Po krivulji na sl. 6 za aluminij nalazimo $\vartheta_k = 175^0C$ što je manje od maksimalno dozvoljene temperature $\vartheta_{k\,max} = 200^0C$ tj. kabel zadovoljava termičkoj čvrstoći (prema Sovjetskim preporukama na graničnu temperaturu).

2. Prema uvjetima na termičku čvrstoću treba odabrati učinski aluminijski kabel za nekog potrošača ako je $I'' = 12$ kA, $I_k = 9{,}7$ kA, $t = 2''$, $\vartheta_n = 65^0C$, $\vartheta_k = 150 + 65 = 215^0C$.

Odredimo

$$\beta'' = \frac{I''}{I_k} = \frac{12}{9{,}7} = 1{,}24\,.$$

Iz slike 3 nalazimo $t_f = 1{,}7''$. Iz slike 6 nalazimo $A_n = 0{,}5 \cdot 10^4$ i $A_k = 1{,}40 \cdot 10^4$. Prema formuli 21 imamo:

$$S_{min} = 9{,}7 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{1{,}7}{(1{,}4 - 0{,}5)\,10^4}} = 136 \text{ mm}^2\,.$$

Uzimamo prvi veći standardni presjek kabela 3×150 mm².

3. Valja odabrati aluminijske sabirnice postavljene u horizontalnom položaju za mrežu sa slijedećim podacima:

$$U = 6{,}3 \text{ kV},\ I_n = 1800 \text{ A},\ I'' = 35 \text{ kA},\ I_k = 27 \text{ kA},$$

$$t = 0{,}2'',\ T = 4500 \text{ sati},\ \vartheta_o = 35\,^\circ C\,.$$

a) Odabiremo presjek sabirnica prema uvjetu na zagrijavanje. Na temelju opće formule

$$I = I_{30} \sqrt{\frac{\vartheta_n - \vartheta_o}{\vartheta_n - 30}} = I_{30}\,k\,.$$

Uvrštavajući zadane veličine i pretpostavljajući da je $\vartheta_n = 60^0C$.

$$k = \sqrt{\frac{60 - 35}{60 - 30}} = 0{,}91\,.$$

Znači da je struja s kojom moramo računati, uzimajući u obzir okolnu temperaturu

$$I = 1800/0{,}91 = 1900 \text{ A}\,.$$

Kako su sabirnice položene horizontalno oslabljeno je hlađenje i uzimamo povećanje računske struje za 8% tj.

$$I = 1900 \cdot 1{,}08 = 2050 \text{ A}\,.$$

Prema tablicama za okolnu temperaturu 30^0C nalazimo da bi trebali sabirnice sa dvije šine 100×10 mm po jednoj fazi sa dozvoljenom strujom 1950 A.

b) Možemo provjeriti sabirnice i na ekonomsku gustoću struje. Prema zadanom vremenskom trajanju od 4500 sati možemo uzeti da je ekonomska gustoća struje $j = 1{,}1$ A/mm².

$$\text{Sek} = 1800/1{,}1 = 1635 \text{ mm}^2\,,$$

što odgovara odabranom presjeku.

c) Prema navedenom računu, odredimo minimalni presjek sabirnica, koristeći priložene dijagrame.

$$\beta'' = I''/In = 35/27 = 1{,}3\,.$$

Fiktivno vrijeme istosmjerne komponente struje kratkog spoja iznosi

$$t_{fa} = 0{,}05\,\beta''^2 = 0{,}05 \cdot 1{,}3^2 = 0{,}085''\,.$$

Ukupno fiktivno vrijeme iznosi

$$t_f = t_{fp} + t_{fa} = 0{,}63 + 0{,}085 = 0{,}715''\,.$$

Temperatura sabirnica kod punog tereta:

$$\vartheta = \vartheta_o + (\vartheta_d - \vartheta_o) \cdot \left(\frac{In}{Id}\right)^2 = 45 + 30 \cdot \left(\frac{1800}{1950}\right)^2$$

$$\vartheta = 65\,^\circ C\,.$$

Prema tablici 1 maksimalno dozvoljena temperatura aluminijskih plosnatih vodiča prema Sovjetskim preporukama dozvoljena je 200^0C.

Na temelju poznavanja ovih temperatura, prema tablici 5 možemo očitati, $A_n = 0{,}5 \cdot 10^4$ i $A_k = 1{,}4 \cdot 10^4$, otuda je optimalni presjek:

$$S\text{min} = 27000 \sqrt{\frac{0{,}715}{(1{,}4 - 0{,}5)\,10^4}} = 240 \text{ mm}^2\,,$$

tj. odabrani presjek $2 \times (100 \times 10)$ zadovoljava termičku čvrstoću.

Naslov pisca: Andrija Miličević, dipl. ing.
Elektroprenos, Zagreb

Proizvodnja električne energije u Evropi 1970. godine

Nedavno je služba Organizacije ujedinjenih naroda objavila službene podatke o proizvodnji električne energije u evropskim zemljama 1970. godine. U podatke o ukupnoj proizvodnji dani su podaci o proizvodnji u hidro i termoelektranama, a posebno za proizvodnju u nuklearnim elektranama (osim u SSSR-u, gdje je ujedno proizvodnja u klasičnim i nuklearnim elektranama iskazana u rubrici termo — proizvodnje). Pored ostalih podataka dani su podaci o uvozu i izvozu električne energije. Radi komparacije dani su isti podaci i za Sjedinjene Američke Države. Objavljene podatke iskazat ćemo u slijedećoj tablici:

Država	Proizvodnja GWh				GWh	
	Ukupno	Termo	Hidro	Atom.	Uvoz	Izvoz
Austrija	30.011	8.783	21.227	—	1.382	6.807
Bugarska	19.513	17.361	2.152	—	101	210
Vel. Britanija	230.867	202.413	5.661	22.793	556	6
Mađarska	14.537	14.448	89	—	3.681	287
DDR	67.650	...	...	...	...	...
Grčka	9.399	5.769	2.630	—	41	19
Danska	18.865	18.865	Ø	—	4.194	—
Irska	5.653	4.855	795	—	—	—
Španjolska	53.904	27.540	27.540	858	213	1.727
Italija	112.922	66.185	41.189	3.001	4.671	707
Cipar	580	580	—	—	—	—
Nizozemska	39.148	38.801	Ø	347	27	368
Norveška	57.204	196	57.008	—	800	1.636
Poljska	59.871	57.995	1.876	—	1.560	1.506
Portugal	7.217	1.506	5.711	—	61	43
Rumunjska	35.051	32.279	2.772	—	28	2.430
SSSR	740.926	616.549	124.549	...	...	...
Zap. Njemačka	226.919	203.771	17.480	5.668	14.075	6.324
Finska	21.258	11.920	9.338	—	...	...
Francuska	137.646	77.117	55.381	5.148	4.363	4.857
Čehoslovačka	41.540	37.892	3.648	—	4.525	1.129
Švicarska	34.886	3.613	31.273	—	3.705	9.730
Švedska	60.646	19.051	41.539	56	6.613	2.555
Jugoslavija	26.121	11.379	14.742	—	311	163
SAD	1.552.299	1.298.937	253.363	13.898	3.347	4.877

Oznaka ... znači da podatak nije dostavljen službi OUN. Zemlje koje nisu na popisu, nisu poslale podatke.

Prema: Bull. OUN 1972.

J. Moser

Utjecaj električkog polja na posadu stanice

Na ovogodišnjem (1972.) zasjedanju CIGRE u Parizu raspravljalo se, među ostalim, i o problemu štetnog utjecaja električkog polja u transformatorskim stanicama na članove posade. Sovjetski stručnjaci su iznijeli, da su se, prema učinjenim ispitivanjima u stanicama 500 kV i 750 kV, pokazala opasnim polja preko 5 kV/m. Kako u takvim postrojenjima polja dostižu i maksimalno 27 kV/m, moraju se poduzeti posebne mjere zaštite osoblja.

Slični su pokusi pravljeni i u drugim zemljama, ali se nisu mogli konstatirati nikakvi štetni utjecaji.

U USA su vršena ispitivanja devet godina, s posadom koja je po 100 sati godišnje provela pod utjecajem polja od 12 kV/m. Tijekom navedenog vremena izvršeno je 7 liječničkih pretraga ispitivanih osoba za tri i po dana boravka u specijalnoj bolnici, no nisu pronađene nikakve bolesne pojave.

U kanadskim postrojenjima 735 kV izmjerene su jakosti polja od 13,7 kV/m, a osoblje se nije tužilo na neke poteškoće.

Ispitivanja u njemačkim postrojenjima 380 kV i 220 kV su pokazala da su opasna polja ispod 5 kV/m, dakle ispod granice što su je sovjetski stručnjaci označili kao opasnu.

B. Markovčić

Najveći dizelski generator na svijetu

Dizelski motori počeli su se uvoditi kao pogonski strojevi za električne generatore između 1920. i 1925. godine. Najveće dizelske generatorske jedinice prije Drugog svjetskog rata imale su do 5 MVA. Nakon rata dizelski su se motori dalje razvijali povećavajući snage jedinica i brzine motora. Nakon što su sagrađene jedinice od 10 do 20 MVA, njemačka tvrtka AEG — Telefunken je izgradila najveći na svijetu dizelsko generatorski agregat snage 39,1 MVA. Agregat će biti ugrađen u vršnu elektranu grada Gent-a u Belgiji. Pripadni dizelski deset-cilindrični motor izgradila je belgijska tvrtka ACEC.

Pri gradnji dizelskih generatora poteškoća je u tome, što se moraju prilagoditi brzini vrtnje pogonskog dizelskog motora. Ovaj generator ima 56 polova i 107 o/min.

Kao kod svih klipnih strojeva, tako i kod dizelskog motora pogonski moment je nejednolik. Da pogon bude jednolik valja kod ovakvih malih brzina, kao što je to slučaj kod generatora za Gent, znatno povećati zamašnu masu. Rotor generatora težak je 45 t, promjera 6,5 m, četverodjelne konstrukcije od lijevanog čelika. Svaki od 56 polova teži 1 tonu. Zamašnjak je također četverodjelan težine 48 t, promjera 8,75 m. Kompletni rotor ima masu od oko 290 t.

Uređaj se stavlja u pogon komprimiranim zrakom. Vrijeme zaleta do sinhronizacije traje 2 min.

Ovakvi uređaji su vrlo upotrebljivi zbog svoje ekonomičnosti, mogućnosti brzog stavljanja u pogon za potrebe sigurnosti i svoje pogonske spremnosti za pokrivanje vodova opterećenja.

Prema: *Ein Gigant aus Berlin*
ETZ B 1972, br. 18, str. 465

B. Markovčić

VI. REDOVNA SJEDNICA SKUPŠTINE POSLOVNOG UDRUŽENJA ELEKTROPRIVREDNIH ORGANIZACIJA SR HRVATSKE

Na sjednici održanoj 21. studenoga 1972. godine u Zagrebu u cijelosti je usvojen predloženi

DNEVNI RED:

1. Izbor i imenovanje direktora Biroa poslovnog udruženja i njegovog pomoćnika za sektor proizvodnje i prijenosa;
2. Prijedlog za utvrđivanje najviših cijena električne energije na prijenosnoj i distributivnoj mreži;
3. Prethodna rasprava o načelima za određivanje tarifnog sistema za prodaju električne energije;
4. Informacija o rezultatima provedbe Samoupravnog sporazuma o udruživanju dijela sredstava društvene reprodukcije radi sudjelovanja u financiranju izgradnje elektroenergetskih objekata i postrojenja;
5. Informacija i zauzimanje stava u odnosu na Nacrt Samoupravnog sporazuma o udruživanju elektroprivrednih organizacija u ZJE;
6. Informacija o zaključivanju Samoupravnog sporazuma o uvjetima stjecanja dohotka i osnovama i mjerilima za raspodjelu sredstava za osobne dohotke;
7. Razno.

Izbor i imenovanje direktora Poslovnog udruženja i pomoćnika direktora za djelatnost proizvodnje i prijenosa

1. Jednoglasno je usvojen izvještaj natječajne komisije djelatnosti proizvodnje i prijenosa i djelatnosti razvoda i distribucije, i za direktora Poslovnog udruženja elektroprivrednih organizacija SR Hrvatske izabran *Pavelić Ivica*, dipl. ecc., dosadašnji vršilac dužnosti direktora Biroa.

2. Direktor Poslovnog udruženja je dužan najkasnije do kraja siječnja 1973. godine podnijeti Skupštini akcioni program rada strogo određen zadacima i obvezama što iz tog programa proizlaze. Program treba da se odnosi na razdoblje mandata za koji je direktor izabran.

3. Za pomoćnika direktora djelatnosti proizvodnje i prijenosa, na prijedlog Upravnog odbora djelatnosti izabran je *Božin Ivo*, dipl. ing., uz ove rezultate glasanja:

— od 19 prisutnih članova djelatnosti proizvodnje i prijenosa glasalo je 13 »za«, jedan »protiv«, a dva »uzdržana«.
— od 18 prisutnih članova djelatnosti razvoda i distribucije, svih 18 glasalo je »za«.

4. Zadužen je direktor Poslovnog udruženja da, u dogovoru s direktorima udruženih organizacija, a u duhu preporuke s ove Skupštine, inicira sastanak sa sekretarima organizacija SK elektroprivrede, što ga valja održati najkasnije do 10. XII 1972. godine, da bi se aktualna problematika elektroprivrede mogla kompleksno razmotriti.

Prijedlog za utvrđivanje najviših cijena električne energije na prijenosnoj i distributivnoj mreži

Nakon izvještaja o rezultatima prethodnih kalkulacija korekture cijena električne energije s primjenom od 1. I 1973. zaključeno je:

a) Republičkom zavodu za cijene valja podnijeti na odobrenje nove korigirane tarifne stavove za prodaju električne energije djelatnosti proizvodnje, prijenosa, razvoda i distribucije u prvoj varijanti koja, na temelju prethodnih proračuna daje ukupni efekat povećanja cijena za sve potrošače električne energije na području SR Hrvatske od oko 11,33 p/kWh.

b) Biro udruženja mora odmah pozvati predstavnike udruženih elektroprivrednih organizacija, da na dogovorenim obrascima podnesu svoje definitivne prijedloge novih tarifnih stavova i efekte povećanja cijena električne energije zajedno s tekstualnim dijelom tarife.

c) Organi Biroa udruženja zajedno s predstavnicima udruženih elektroprivrednih organizacija treba da sastave sumare definitivnih prijedloga udruženih članova i globalne efekte predloženog povećanja cijena električne energije od 1. I 1973. i s potrebnim obrazloženjima sve ove prijedloge upute pismeno, što je moguće prije Republičkom zavodu za cijene.

Prethodna rasprava o načelima za određivanje tarifnog sistema za prodaju električne energije

Prihvaćen je tekst Nacrta Uredbe o načelima za određivanje tarifnog sistema i tarifnih stavova za prodaju električne energije, koji se prilaže ovim zaključcima.

Ovaj Nacrt valja uputiti Republičkom sekretarijatu za industriju, trgovinu i zanatstvo.

Informacija o rezultatima provedbe Samoupravnog sporazuma o udruživanju dijela sredstava društvene reprodukcije radi sudjelovanja u financiranju izgradnje elektroenergetskih objekata i postrojenja

1. Prihvaćena je informacija o rezultatima Samoupravnog sporazuma o udruživanju dijela sredstava društvene reprodukcije radi sudjelovanja u financi-

ranju izgradnje elektroenergetskih objekata i postrojenja.

2. Skupština Poslovnog udruženja konstatira, u skladu s članovima 16. i 18. Samoupravnog sporazuma, da Samoupravni sporazum nije zaključen, odnosno da samoupravno sporazumijevanje nije uspjelo.

3. Zadužuje se Biro poslovnog udruženja da predloži i zatraži od predsjedništva Republičke privredne komore da, u skladu s članovima 16. i 18. Samoupravnog sporazuma konstatira sa svoje strane da Samoupravni sporazum nije zaključen.

4. Također je potrebno zatražiti od Republičkog sekretarijata za industriju, trgovinu i zanatstvo da se putem već postojeće komisije za izradu prijedloga mjera za osiguranje sredstava za izgradnju elektroenergetskih objekata odmah razmotri i predloži kojim će se putem osigurati sredstva što su se trebala osigurati ovim Sporazumom.

Informacija i zauzimanje stava u odnosu na nacrt Samoupravnog sporazuma o udruživanju elektroprivrednih organizacija u zajednicu Jugoslavenske elektroprivrede

Skupština je primila na znanje i prihvatila informaciju o Nacrtu Samoupravnog sporazuma o udruživanju elektroprivrednih organizacija u Zajednicu jugoslavenske elektroprivrede, koju je izradila posebna radna grupa, s prijedlogom stavova u odnosu na taj nacrt i zaključila:

1. da predloženi Nacrt Samoupravnog sporazuma ne može poslužiti za izradu konačnog teksta Samoupravnog sporazuma o udruživanju u ZJE, kojeg bi u skladu sa Zakonom trebale zaključiti udružene elektroprivredne organizacije;

2. s obzirom na to, valja zatražiti da se postupak izrade ovog akta obnovi i da se njegovoj izradi priđe na način kako je to predloženo u informaciji, i to:

a) da se najprije formira grupa od zainteresiranih elektroprivrednih organizacija, s predstavnicima koje će one same odrediti (rok 15. XII 1972. godine);
b) da grupa izradi, u skladu sa zakonom, teze o osnovama na kojima bi se Samoupravni sporazum zasnivao (rok izrade 31. siječnja 1973. godine);
c) da se te teze dadu na diskusiju svim zainteresiranim organizacijama (rok za dovršenje diskusije i dostavu stavova 15. III 1973);
d) da se taj prednacrt dade na diskusiju (rok 10. svibnja 1973. godine);
e) da se, nakon te diskusije, izradi definitivni nacrt koji bi verificirali stručni predstavnici zainteresiranih organizacija i zatim ga, kao prijedlog, uputili nadležnim organima na usvajanje (rok 10. lipnja 1973. godine);
f) da se zatim pristupi zaključivanju, odnosno potpisivanju samog Sporazuma (rok 30. lipnja 1973. godine);
g) da se paralelno, u navedenim orijentacionim rokovima, pristupi i izradi teza, odnosno prednacrta, nacrta i prijedloga ostalih akata (posebno samoupravnih sporazuma koji se predviđaju, odnosno koje će još trebati posebno zaključiti, kao i samog statuta i akata o organizaciji i sistematizaciji radnih mjesta u Zajednici, i to uz pomoć drugih, za tu svrhu posebno formiranih, radnih grupa, koje bi svoj rad obvezno koordinirale s radnom grupom za izradu ovog Samoupravnog sporazuma o udruživanju elektroprivrednih organizacija u Zajednicu jugoslavenske elektroprivrede). U sklopu tog posla Nacrt što ga je predložio Upravni odbor ZJE, mogao bi biti vrlo korisno upotrebljen za sagledavanje širine problematike, a u nekim njegovim dijelovima i konkretno upotrebljen.

3. Zajednici jugoslavenske elektroprivrede i udruženim elektroprivrednim organizacijama valja dostaviti informaciju u kojoj su sadržani i ovi zaključci, s naznakom da ih je Skupština Poslovnog udruženja u cijelosti prihvatila zajedno s ovom informacijom Zajednice o slabostima i nedostacima predloženog nacrta Samoupravnog sporazuma.

Informacija o zaključivanju Samoupravnog sporazuma o uvjetima za stjecanje dohotka i osnovama i mjerilima za raspodjelu sredstava za osobne dohotke

1. Prihvaća se izvještaj o izradi i registraciji Samoupravnog sporazuma o uvjetima za stjecanje dohotka i osnovama i mjerilima za raspodjelu sredstava za osobne dohotke.

2. Budući da je Sporazum registriran privremeno, tj. do 30. VI 1973. godine, potrebno je odmah — u najkraćem roku — izabrati komisiju od 11 članova (iz poduzeća: Elektroslavonije — Osijek, Elektre — Zagreb, Elektrodalmacije — Split, Elektroprimorja — Rijeka, Elektroistre — Pula, Elektre — Karlovac, Elektre — Sisak, Elektroprivrede — Rijeka, Elektroprivrede Dalmacije — Split, Elektroprivrede — Zagreb i Poslovnog udruženja — po jednog člana) sa zadatkom da prate primjenu Samoupravnog sporazuma o uvjetima za stjecanje dohotka i osnovama i mjerilima za raspodjelu sredstava za osobne dohotke.

3. Ujedno je potrebno da poduzeća djelatnosti proizvodnje, prijenosa i razvoda i distribucije u roku od 8 dana dostave imena svojih predstavnika u komisiju za izradu novog Sporazuma o uvjetima za stjecanje dohotka i osnovama i mjerilima za raspodjelu sredstava za osobne dohotke. U ovu komisiju poduzeća treba da dadu po jednog člana, a poduzeća Elektroprivreda — Rijeka, Elektroprivreda Dalmacije — Split i Elektroprivreda — Zagreb — po dva, tako da ukupan broj članova komisije bude 14.

4. Komisija za izradu novog prijedloga Sporazuma treba da novi tekst nacrta Sporazuma uputi sudionicima sporazumijevanja najkasnije do 31. III 1973. godine.

Razno: a) Rasprava o načinu rada u elektroprivredi

Nakon rasprave o zaključcima što ih je o ovom predmetu donio Upravni odbor djelatnosti razvoda i

distribucije i zatražio da ih potvrdi Skupština, zaključeno je:

1. Upravni odbor prima na znanje zaključke Upravnog odbora djelatnosti razvoda i distribucije, održanog 26. X 1972. u Puli.

2. Zaključke navedene sjednice Upravnog odbora, u kojima se ukazuje na neke nepravilnosti u radu, između ostalog i spor između »Elektroprivrede« Zagreb i »Elektre« Zagreb u vezi s izgradnjom dalekovoda prema Tvornici cementa Podsused, potrebno je da razmotre stručne službe Poslovnog udruženja, te da — na osnovi Zakona o elektroprivredi i Društvenih dogovora predviđenih tim Zakonom — izradi za jednu od idućih sjednica Skupštine informaciju o toj problematici s prijedlogom stavova, odnosno zaključaka Skupštine u odnosu na te slučajeve.

3. Stručne službe mogu po potrebi, radi kompleksnog i objektivnog sagledavanja problematike, o kojoj je riječ, zatražiti potrebna objašnjenja i dokumentaciju od udruženih elektroprivrednih organizacija kojih se ta problematika tiče.

b) Informacija o radu na donošenju zakona o najvišim iznosima naknada za priključenje, odnosno za povećanje priključne snage trošila električne energije

Skupština je primila na znanje informaciju o radu na donošenju Zakona o najvišim iznosima naknada za priključenje, odnosno povećanje priključne snage trošila električne energije, s time da elektroprivredne organizacije i dalje stoje na zaključcima donesenim na II i V sjednici Skupštine Poslovnog udruženja elektroprivrednih organizacija, što se odnose na raspodjelu sredstava dobivenih iz ovog naslova.

Na završetku sjednice, konstatirajući da su predstavnici »Elektroprivrede« Zagreb u Skupštini Poslovnog udruženja napustili sjednicu Skupštine prije njenog završetka, izuzevši zamjenika člana Juričić Mladena, predsjednik je izrazio svoje negodovanje na takav postupak, istakavši da će to, kao i neke druge odnose u elektroprivredi, trebati razjasniti.

S ovakvim stavom predsjednika složili su se i svi ostali članovi Skupštine.

Ispravak:

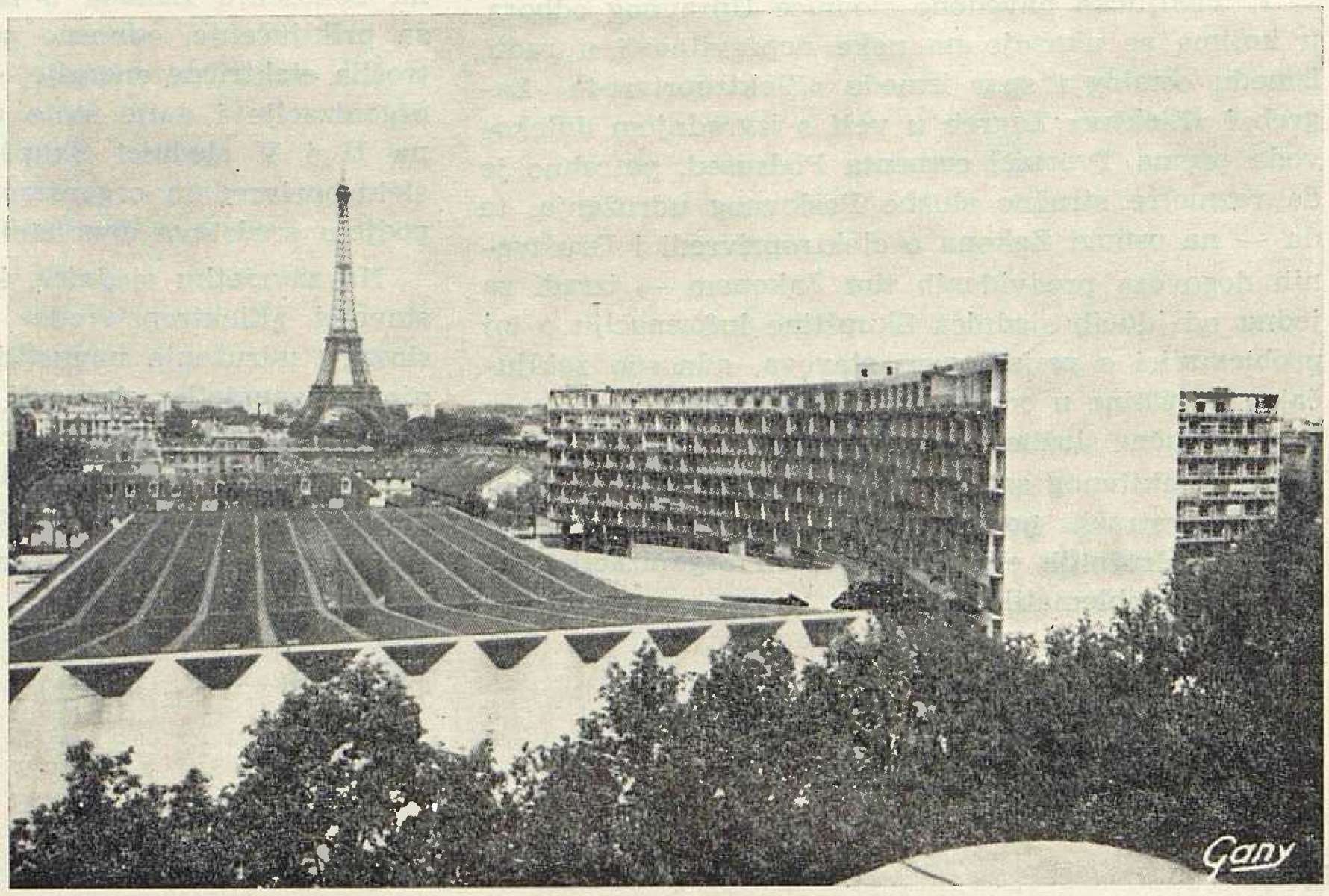
Članak *»Stavljanje u pumpni pogon grupe strojeva reverzibilnim pumpnim turbinama i pumpama«*, inž. Fedora Jelušića, otisnut je u broju 11—12/72. s nekoliko pogrešaka.

1. Na strani 354 drugi red u desnom stupcu mora biti ispred posljednjeg reda u lijevom stupcu.
2. Kliše na strani 356 (sl. 3) valja zamijeniti klišeom sa strane 358 (sl. 5).
3. Na strani 355 u 3. i 11. redu lijevog stupca otisnuto je $Q = \Phi$ a mora biti $Q = \emptyset$ (nula).
4. U legendi slike 1 (str. 355) piše M_p zaokretne, a mora biti M_p — zakretne.

Molimo čitatelje, da uvaže ovaj ispravak.

Uredništvo

XXIV. ZASJEDANJE CIGRE U PARIZU



Sl. 1 Paris, pogled na palaču UNESCO-a

U znaku pedesetogodišnjice postojanja organizacije, održano je u Parizu od 28. VIII. do 6. IX. 1972. XXIV. Zasjedanje CIGRÉ (Conférence Internationale des grande Réseaux Electriques à Hante Tensien).

Od zasjedanja do zasjedanja broj prisutnih sve više raste, pa je ove godine sastanku prisustvovalo oko 2180 stručnjaka iz pedeset zemalja. Prema popisu prisutnih proizlazi da je iz Jugoslavije bilo 34 učesnika.

I ove je godine zasjedanje održano u vrlo lijepim i klimatiziranim dvoranama palače UNESCO.

Svečano otvorenje bilo je u ponedjeljak 28. VIII, a zatim je slijedio rad po grupama referata, kako je to već uobičajeno.

Diskusije su se odvijale simultano u dvije dvorane u ovim grupama:

11. *Rotacioni strojevi*
12. *Transformatori*
13. *Aparati za sklapanje*
14. *Uređaji za konverziju izmjenične u istosmjernu struju*
15. *Materijal za izolaciju*
21. *Kabeli visokog napona*
22. *Nadzemni vodovi*
23. *Transformatorske stanice*
31. *Prijenosne mreže*
32. *Planiranje i pogon mreže*
33. *Prenaponi i koordinacija izolacije*
34. *Zaštita, automatizacija i uređaji telekomande*
35. *Telekomunikacije*
36. *Perturbacije*

Rad je trajao 7 dana ujutro i popodne. Za vrijeme zasjedanja, i nakon njega, bile su organiziranje kraće tehničke i turističke ekskurzije.

Na kraju radnog dijela održana je 6. IX. glavna skupština organizacije CIGRÉ, a potom je obavljeno svečano zatvaranje priredbe.

Kratak pregled problematike o kojoj se diskutiralo u pojedinim grupama iznesen je u slijedećem prikazu.

Grupa 11. Rotacioni strojevi (7 referata)

Problematika rotacionih strojeva podijeljena je u tri grupe:

a. Nenormalni uvjeti rada velikih sinhronih strojeva,
b. Veliki četveropolni strojevi, njihov razvoj u vezi s izgradnjom velikih nuklearnih elektrana,
c. Veliki izmjenični motori i sinhroni kompenzatori.

Najprije se diskutiralo o problemu kontroliranog asinhronog rada generatora. Isticana je dosadašnja praksa i stečena iskustva, kao i prednosti i nedostaci takvog pogona s obzirom na mrežu. Dotaknuto je također pitanje zaštite i regulacije uzbude.

Američki i evropski konstruktori strojeva iznijeli su svoja mišljenja u pogledu konstrukcije rotora kao monobloka ili polibloka. Osim toga iznesena su iskustva i pogledi na sistem hlađenja rotora, tj. hlađenja vodikom, odnosno vodom.

Veliki (345 MVA) sinhroni kompenzatori potpuno hlađeni tekućinom, kao i njihova primjena u prijenosnoj mreži, bili su također predmet rasprave.

Dobivena su obavještenja o novim konstrukcijama i stremljenjima u gradnji velikih rotacionih strojeva. Predstavnik SSSR-a je npr. izvjestio da je kod njih od 1969. u pogonu pokusni stroj 45 MVA, statorskog napona 103 kV i da radi besprijekorno.

Grupa 12. Transformatori (11 referata)

I ova je problematika svrstana u tri grupe:

a. Problem ugrijavanja i razdiobe temperature u transformatoru,
b. Ponašanje velikih transformatora snage kod kratkog spoja,
c. Problemi transformatora vrlo velike snage i napona preko 1000 kV.

U okviru problema ugrijavanja transformatora, diskutiralo se o metodama utvrđivanja dopustivog maksimalnog ugrijavanja unutar namotaja transformatora i ulja na vrhu. Obuhvaćena je pojava pregrijanja pojedinih točaka transformatora uslijed dodatnih gubitaka.

I ovog je puta ponovno došlo na red mnogo diskutirano pitanje ponašanja i ispitivanja djelovanja snaga kratkog spoja na transformator. Prikazani su rezultati ispitivanja na maketama i transformatorima u naravnoj veličini. Pri tom su naročito istraživana dinamička djelovanja i uloga izolacije.

Iznesena su dugogodišnja francuska iskustva djelovanja kratkog spoja kod transformatora 60 kV i 90 kV veće snage, a različitih konstrukcija.

Prijelaz na vrlo visoke napone iznad 1000 kV nameće i transformatorskoj tehnici nove probleme, pa su tri referata posvećena tim pitanjima. Naročito je interesantan problem graničnih snaga takvih transformatorskih jedinica, kako s obzirom na transportne mogućnosti, tako i na ekonomičnost.

Grupa 13. Aparati za sklapanje (11 referata)

Klasifikacija sadržaja primljenih referata provedena je u četiri skupine:

a. Problemi u vezi s prijelaznim sklopnim prenaponima.
   — Snaga kratkog spoja i oblik prijelaznih napona što se pojavljuju u stvarnoj mreži,
   — Sklopni prenaponi u mrežama visokog i ultravisokog napona.
b. Pojave kod sklapanja kad se struja kreće oko nule;
   — sintetička ispitivanja
c. Pouzdanost prekidača
d. Pojave u vezi sa sklapanjem u mrežama istosmjernog visokog napona.

Diskutiralo se o utjecaju oblika prijelaznog povratnog napona na mogućnost prekidanja, naročito u području vrlo velikih struja od nekoliko desetaka kA, te o poznavanju dovoljnog broja parametara mreža, koji utječu na sklopne prenapone.

Razmotreni su problemi prenapona koji se javljaju kod stavljanja pod napon neopterećenih vodova i isklapanja paralelnih prigušnica i transformatora s priključenim prigušnicama.

Premda je teoretski i eksperimentalno već mnogo učinjeno na razjašnjavanju fenomena vezanih na prolaz struje kroz nulu (vrijeme gašenja luka), problem još nije potpuno razjašnjen, pa je i to pitanje bilo predmet diskusije.

Dosta se diskutanata pozabavilo pitanjem pouzdanosti prekidača zaključivši da treba nastaviti s radovima, kako bi se bolje osvjetlili brojni aspekti tog opsežnog problema.

Grupa 14. Uređaji za konverziju (8 referata)

Kao i u dosadašnjim diskusijama u ovoj grupi se najobimnija i najinteresantnija diskusija vodila o pogonskim iskustvima na usmjerivačkim uređajima koji su u pogonu.

Govoreno je o novim projektima istosmjernih prijenosa, prvenstveno onih u Kanadi.

Upotreba tiristora za usmjerivače velikih snaga biva sve aktuelnija, pa su iznešena iskustva usporedbe i tendencije razvoja tiristorskih i živinih usmjerivača.

Kontrolni i upravljački uređaji usmjerivačkih jedinica predstavljaju vrlo važne i osjetljive elemente prijenosnog istosmjernog uređaja, pa se o njima posebno diskutiralo.

Grupa 15. Materijali za izolaciju (6 referata)

Prva grupa problema odnosila se na nove izolacione materijale i njihovo ponašanje u upotrebi.

Prvenstveno se diskutiralo o izolacionim sistemima termoplastični film-plin i termoplastični film-tekućina, i o ponašanju tih sistema u električnim poljima kod najviših napona.

Također se diskutiralo i o kombiniranoj izolaciji papir-polipropilen za upotrebu kod kondenzatora, a spomenute su i metode za utvrđivanje kvarova na polipropilenskom filmu. U okviru navedenog, govorilo se općenito o modernim sintetskim izolacionim materijalima, koji sve više prodiru u upotrebu.

Grupa autora pripremila je posebni referat o sintetičkim smolastim izolacionim materijalima za upotrebu i kod najviših napona. Međutim, zaključeno je, valja još riješiti daljnje probleme kako bi se polje primjene sintetske izolacije još više proširilo.

Grupa 21. Kabel visokog napona (10 referata)

Prioritetne teme određene za ovo zasjedanje bile su slijedeše:

a. Kabeli za istosmjernu struju
b. Kabeli sa sintetskom izolacijom
c. Problem prijenosa visokim i najvišim naponima.

U vezi s prvom grupom prioritetnih problema govorilo se prvenstveno o podmorskim istosmjernim kabelima i o ponašanju istosmjernih kabela sa sintetičnom izolacijom.

Mnogo se diskutiralo o izmjeničnim kabelima sa sintetičnom izolacijom i to iz tri aspekta: ponašanja izolacije, vrste i kvalitete izolacije i graničnih kabela s obzirom na visinu napona.

Kod kabela najviših napona iznesene su nove, poboljšane metode za rješavanje termičkih problema kabela.

Prikazan je razvoj kabela najviših napona u različitim zemljama svijeta, i istaknut osobit napredak u razvoju plinskih kabela.

Grupa 22. Nadzemni vodovi (5 referata)

Diskusije su se vodile o tri grupe problema vezane na: fundiranje, stupove i vodiče.

Kod fundiranja, glavni je predmet diskusije bila metoda ispitivanja tla i korištenje tom metodom dobivenih podataka kod proračuna temelja stupova dalekovoda, prema prijedlogu EdF. Govoreno je također o načinu temeljenja u lošim i močvarnim terenima.

Rasprava je vođena i o redukciji troškova gradnje i estetskom izgledu stupova. Osobito je istaknuta prednost trokutnog presjeka stupa temeljenog na tri temelja od specijalnih profila.

Rasprave o vodičima bile su prvenstveno vezane na aerodinamičko ponašanje snopova vodiča. Obuhvaćen je problem oscilacija užeta ovisno o razmaku i konstrukciji odstojnika. U vezi s tim izneseni su rezultati različitih mjerenja u ispitnim stanicama širom svijeta.

Grupa 23. Transformatorske stanice (11 referata)

O problemima transformatorskih stanica diskutiralo se na temelju triju grupa pitanja.

Prva grupa pitanja odnosila se na blindirane stanice, izolirane plinom SF_6, njihovu konstrukciju, područje i granice primjene, iskustva dobivena kod razvojnih ispitivanja i u eksploataciji.

U drugoj se grupi pitanja diskutiralo o konstrukciji stanica. Kao i u različitim drugim područjima, tako je i ovdje primijenjeno elektroničko računalo za računanje tehničke i ekonomske optimizacije stanica. Dva referata ove grupe pozabavila su se problemom prilagođavanja stanica okolišu, naročito u urbaniziranim područjima.

Široku je diskusiju izazvao problem opasnog djelovanja električnog polja na zdravlje osoblja, no o stupnju te opasnosti bila su mišljenja stručnjaka prilično oprečna.

Grupa 31. Prijenosne mreže (15 referata)

Pitanja vezana za prioritetne teme, odnosno primljene referate, raspoređena su u četiri skupine, prema kojima se razvila diskusija.

a. Studij budućih prijenosnih mreža, problem izbora superponiranog napona, koncepcije vodova najvišeg napona.
   Prikazane su studije o odabiranju superponiranih naponskih nivoa u nekoliko zemalja.
   Na temelju studija i rezultata danih u referatima mogu se utvrditi osnovne koncepcije i dimenzije vodova najvišeg napona. U diskusiji se ipak nije došlo do zaključka, koji bi se slijedeći najviši pogonski napon mogao standardizirati. Stručnjaci SSSR-a dali su npr. parametre za prijenosne vodove 1200 kV, a stručnjaci Francuske, Italije i V. Britanije 1050 kV i 1300 kV.
b. Raspoloživost, pouzdanost i sigurnost elemenata prijenosnog sistema. Na temelju postavki talijanskog i švedskog referata raspravljalo se o utjecaju ispada pojedinih elemenata mreže, te o pouzdanosti i sigurnosti prijenosa u usporedbi s proizvodnjom. Raspravljalo se i o metodama za utvrđivanje pouzdanosti sistema uzimajući ispad snage kao osnovu.
c. Uvjeti postavljeni u toku studija mreže najvišeg napona na materijal.
   Ovdje su obuhvaćeni problemi veličine struja kratkog spoja i mjere za njihovo ograničenje, karakteristike unutarnje izolacije transformatora, paralelne regulacione prigušnice, prekidači za istosmjernu struju te konstrukcije linija koje daju suženi pojas trase.
d. Prijenosna mreža i uklapanje novih izvora proizvodnje električne energije.
   Taj je problem obradio jedan referat u vezi sa specifičnosti uklapanja nuklearne elektrane u mrežu.

Grupa 32. Planiranje i pogon mreža (22 referata)

Ova je grupa imala najveći broj referata i diskutanata, a obrađeni su problemi podijeljeni u dvije skupine:

a. Primjena računala u programiranju, nadzoru i regulaciji pogona elektroenergetskih sistema
b. Filozofija planiranja elektroenergetskih sistema i kriteriji sigurnosti.

Diskusija o grupi problema navedenih pod a. pokazala je koliko se mnogo radi u svijetu na uvođenju računala u upravljanju sistemom. Istaknuto je da na tome valja još mnogo raditi, jer određivanje stanja neke mreže traži vrlo mnogo podataka. Nastojanja idu s jedne strane za tim da se poveća ekonomija rada sistema, a s druge strane da se poveća sigurnost. Izvjesnu poteškoću predstavlja upravo obuhvaćanje dinamičkih pojava na čemu je mnogo učinjeno posljednih godina. Prikazane su vrlo interesantne mogućnosti komuniciranja između računala i osoblja na primjerima modernih dispečerskih centrara. Osim toga, posebno se govorilo o regulaciji napona i uzbude kao i o zaštiti mreže mini kompjutorima.

U drugoj, pak, grupi pitanja diskutirano je o koncepcijama i metodama planiranja elektroenergetskog sistema, kao i primjeni tih metoda pri razvoju nacionalnih i internacionalnih sistema. Naročiti su interes pobudile metode računanja pouzdanosti sistema, a mnogo su spominjali i upotrebu metode Markova i metode Montecarlo.

Diskutiralo se također o metodama za predviđanje opterećenja, te o kriterijima za sigurnost i ocjenu varijanti plana. Na kraju je raspravljeno pitanje planiranja miješanog sistema termo i hidroelektrana.

Grupa 33. Prenaponi i koordinacija izolacije (15 referata)

Najprije su razmatrani sklopni udarni prenaponi. Diskutiralo se o metodama njihovog utvrđivanja i karakteristike što proizlaze iz njihove statističke obrade (frekvencija, distribucija, itd.), faktor prenapona, kao i oblik prenaponskog vala. Nadalje je govoreno o odnosu sklopnih i povremenih prenapona.

Daljnja se grupa pitanja odnosila na problem povremenih prenapona, njihov izvor i klasifikaciju kao i pitanje zaštitne uloge odvodnika prenapona u trofaznim i istosmjernim mrežama.

Problemi zagađenih izolatora bili su treća grupa pitanja.

Četvrta i konačna grupa obuhvatila je dielektričnu čvrstoću izolatora na otvorenom, i to prvenstveno prema sklopnim prenaponima. Tretirano je pitanje načina ispitivanja takve izolacije s obzirom na upotrebljeni oblik udarnog vala.

Grupa 34. Zaštita, automatizacija i telekomanda (15 referata)

Za ovu su grupu prioritetne tri teme:

a) Zaštita velikih generatora
b) Ustrojstvo i zaštita pomoćnih uređaja elektrana, odnosno stanica, vodeći računa o sigurnosti u normalnim i anormalnim prilikama
c) Koncepcija i realizacija zaštitnih uređaja u mreži.

O velikim generatorima govoreno je najprije o zaštiti protiv zemnog spoja. Iznesena su dosadašnja iskustva i kvaliteta zaštite. Nadalje se govorilo o problemu inverzne komponente struje u vezi sa zaštitom rotora kod nesimetrija i zaštiti protiv gubitaka uzbude.

Kod pomoćnih uređaja posebno se raspravljalo o sigurnosti snabdijevanja i zaštiti krugova istosmjerne struje, a posebno izmjenične.

U trećoj grupi pitanja dominirali su problemi frekventnih releja i tehnika sekcioniranja mreže u vezi s promjenom frekvencije. Vrlo su interesantni bili podaci o smještanju i udešenju frekventnih releja što su ih iznijeli stručnjaci pojedinih zemalja.

Grupa 35. Telekomunikacije (5 referata)

I u ovoj su grupi tri skupine prioritetnih tema o kojima je diskutirano i to:

a) Potreba novih kanala za teletransmisiju
b) Razvoj uređaja za prijenos nosećom frekvencijom
c) Visokofrekventni prijenos na vodovima.

Kako je primljeno razmjerno malo referata, diskusija se vodila prema njihovom sadržaju, a ne prema prije postavljenim temama.

Prvi je referat obradio problem telekomunikacija u sistemima za prijenos istosmjernom strujom. Zatim se raspravljalo o upotrebi kompandora i o mjerama za zaštitu od smetnji podataka koji se prenose za potrebe elektroničkog računala, te o višekanalnim vezama na prijenosnim vodovima.

Na kraju se diskutiralo na osnovi podnesenog njemačkog referata, o telekomunikacionim kabelima na elektroenergetskim linijama visokog napona.

Grupa 36. Perturbacije (5 referata)

Diskusija se najprije vodila o akustičnim pojavama (buci) koje nastaju kod pojave korone na vodičima vrlo visokog napona. Iznesen su utjecaji veličina električkog polja, i meteorološki utjecaji na njihov intenzitet.

Zatim su predmet diskusije bile radio smetnje uzrokovane onečišćenjem izolatora. Diskusija je pokazala da je teško definirati neki tip umjetnog normaliziranog zagađenja koje bi odgovaralo i s obzirom na radio smetnje i s obzirom na preskok izolatora.

Na kraju se raspravljalo o utjecaju povećanja potencijala zemlje na pomoćne električne krugove u stanicama. Povećanje struja kratkog spoja i osjetljivost aparata otežava sve više ovaj problem.

B. Markovčić, dipl. ing.

XI. STRUČNO SAVJETOVANJE ENERGETIČARA JUGOSLAVIJE

Sl. 1 Radno predsjedništvo

Od 1. do 6. listopada 1972. održano je na Ohridu XI. stručno savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije.

Savjetovanje je započelo u nedjelju, 1. listopada poslije podne svečanim otvaranjem, a zatim su uslijedila tri radna dana. U četvrtak, 5. listopada, bile su ekskurzije, a posljednji dan, 6. listopada, održana je skupština organizacije JUNAKO CIGRÉ i zatvaranje savjetovanja.

Broj stručnjaka na savjetovanjima se stalno povećava, pa je ovom zasjedanju prisustvovalo oko 900 učesnika, što je rekord u odnosu na dosadašnja savjetovanja.

Za savjetovanje je podneseno 152 što referata, što informacija, dok ih je nekoliko podijeljeno na samom savjetovanju. Diskusije o referatima su se vodile ujutro i popodne po grupama, simultano u dvije dvorane. Na kraju diskusije svaka je grupa sastavila zaključke, a također su predložene prioritetne teme za slijedeće savjetovanje.

Zaključci savjetovanja svrstani po grupama su slijedeći:

Grupa 11 — ROTACIONE MAŠINE

1. Potrebno je i nadalje proučavati pitanja optimalnog elektromagnetskog, toplinskog i mehaničkog dimenzioniranja visoko iskorištenih strojeva, unapređujući metode optimiranja što ih omogućuje digitalno računalo. Naročitu pažnju valja posvetiti prilikama u čeonom području aktivnog dijela stroja, gdje, posebno u poduzbuđenom stanju, nastaju značajni dodatni gubici i lokalna zagrijavanja od odlučujuće važnosti. Moraju se pažljivo proučiti ograničenja do kojih dolazi uslijed ovih pojava i unijeti ih u pogonsku kartu stroja.
2. Pitanja mehaničkog hoda i nadalje zaslužuju pažnju, kako u redovnim pogonskim stanjima, tako i u vanrednim režimima. Pri tome se kao najznačajnija ističu pitanja vibracija i mehaničke stabilnosti.
3. U razvoju sistema uzbude izrazito se afirmiraju rješenja s tiristorima. Takva rješenja zahtijevaju novi pristup i metode razvoja i projektiranja, što unatoč već postignutim rezultatima valja i dalje proučavati. Naročitu pažnju valja posvetiti izboru sistema uzbude i njegovih parametara, da se osigura ispravan rad i puna pouzdanost u svim pogonskim stanjima uz optimalna ekonomska rješenja. U tom smislu valja pažljivo analizirati svojstva samouzbudnog sistema s tiristorima koji je ekonomičniji od sistema nezavisne uzbude. Na području regulacije uzbude potrebno je, pored ostalog, istražiti opravdanost i kriterije za uvođenje raznovrsnih višeparametarskih regulatora uzbude, sa stanovišta prilika i zahtjeva u našem elektronenergetskom sistemu. Potrebno je nadalje, unapređivati matematičke modele raznih vrsta generatora, uzimajući u obzir i prilike zasićenja, koje su kod visoko iskorištenih strojeva naročito izražene.
4. Izbor parametara sinhronog generatora i njegovog uzbudnog sistema mora biti predmet trajne suradnje stručnjaka iz elektroprivrede i elektroindustrije. Potrebno je proučavati utjecaj pojedinih odlučujućih parametara (posebno zamašne mase i tranzijentne reaktancije) na ekonomičnost konstrukcije generatora i analizirati opravdanost njihovog izbora s obzirom na zahtjeve mreže. Treba omogućiti da suvremene koncepcije projekta generatora i uzbudnih sistema (direktno hlađenje vodom, uzbudni sistemi s tiristorima) dođu do punog izražaja i birati parametre prema potrebama mreže. Potrebno je da na ovim pitanjima Studijski komitet 11 surađuje sa Studijskim potkomitetom 311 (Prijenosne mreže).
5. Potrebno je posvetiti naročitu pažnju agregatima za pumpno-akumulacione elektrane. Ovakva se rješenja već počinju ostvarivati u našem sistemu. Posebnu pažnju valja posvetiti pitanjima zaleta: izboru sistema zaleta, elektromehaničkim karakteristikama i naprezanjima u stroju.
6. U eksploataciji generatora potrebno je redovno pratiti stanje izolacije, naročito visokonaponskih namota. Preporuča se da se analiziraju i usaglase metode ispitivanja i mjerne veličine i da se u tom radu okupe predstavnici proizvođača, ispitivača i korisnika opreme.
7. Potrebno je unapređivati metode mjerenja i ispitivanja svih karakterističnih veličina i pojava u rotacionim strojevima. U daljnjem radu valja usaglašavati opseg prijemnih ispitivanja rotacionih strojeva. Na ovom se području predlaže suradnja s Jugoslavenskim elektrotehničkim komitetom (JEK).
8. Asinhroni rad generatora zanimljiv je kako zbog proširenja područja dinamičke stabilnosti na tzv. rezultirajuću stabilnost, tako i kao moguće rješenje u slučaju viškova jalove snage u sistemu. Potrebno je proučavati primjenjivost asinhronog rada u pojedinim elektranama, kako sa stanovišta sistema (njihanje napona i snage), tako i sa stanovišta generatora (gubici i zagrijavanja u čeonom dijelu, gubici u namotu statora, gubici u rotoru, vibracije). Potrebno je da na ovim pitanjima Studijski komitet 11 surađuje sa Studijskim potkomitetom 311 (Prijenosne mreže).
9. Potrebno je posvetiti još veću pažnju pogonima s velikim motorima, posebno sa stanovišta njihovog utjecaja na mrežu, izbora vrste motora, uklapanja, zaleta i ponovnog uklapanja.

Prioritetne teme za XII. savjetovanje

1. Elektromatgnetski problemi velikih suvremenih generatora. Optimalno dimenzioniranje. Gubici i zagrijavanje u čeonom području aktivnog dijela stroja i njihov utjecaj na pogonsku kartu.
2. Strojarski problemi velikih suvremenih generatora (mehanički, toplinski, tehnološki). Vibracije, ventilacija, mehanička naprezanja, mehanička stabilnost, direktno hlađenje vodom.
3. Sistemi uzbude i regulacije generatora. Višeparametarska regulacija uzbude i kriterij za njezinu primjenu. Modeliranje raznih vrsta generatora, uzbudnih sistema i regulatora.

4. Izbor parametara sinhronih generatora s obzirom na zahtjeve mreže i njihov utjecaj na tehnička i ekonomska rješenja stroja.
5. Reverzibilni agregati.
6. Praćenje stanja izolacije velikih strojeva.
7. Metode mjerenja i ispitivanja velikih strojeva.
8. Asinhroni rad generatora sa stanovišta energetskog sistema i samog stroja.
9. Pogoni s velikim motorima: utjecaj na mrežu, izbor, uklapanje, zalet, ponovno uklapanje.

Grupa 12 — TRANSFORMATORI

1. tema: Stanovišta u pogledu potrebnih parametara transformatora za buduća 380 kV postrojenja, uzimajući u obzir i problematiku konstrukcije i ispitivanja.

Zaključak:

Obrazloženi su parametri i karakteristike transformatora za mrežu 380 kV. Uočen je brzi napredak na ovom području u našoj zemlji. Prihvaćeno je formiranje radne grupe Studijskog komiteta 12 za razradu tehničkih karakteristika i tipskih upitnika za nabavku energetskih i mjernih transformatora najviših napona.

2. tema: Utjecaj odnosa gubitaka transformatora na njegovu cijenu.

Zaključak:

Za određenu koncepciju distributivnih transformatora postoje određene prirodne vrijednosti (odnos gubitaka, napon kratkog spoja) kod kojih je nabavna cijena transformatora najniža.
Iznos gubitaka, međutim, ima znatni utjecaj na cijenu transformatora, ali ima i svoju cijenu u eksploataciji. Valja konstatirati da valorizacija tih gubitaka u nas nije razrađena niti općenito prihvaćena. Zbog toga se, do rješenja ovog problema, smatra korisnom inicijativom JEK-a da putem prijedloga standarda propiše gubitke i napon kratkog spoja za distributivne transformatore do Si 24 i 1600 kVA.
Iz istih razloga smatra se korisnim i standardiziranje karakteristika većih transformatora, pa se u tom smislu upućuju sugestije JEK-u. Standardizirane karakteristike (gubici, napon kratkog spoja) pružaju niz prednosti u izboru, proizvodnji i eksploataciji transformatora.
Predlaže se Studijskom komitetu 41, da u svoje prioritetne teme ponovo uvrsti valorizacije gubitaka.

3. tema: Iskustva iz eksploatacije energetskih i mjernih transformatora u jugoslavenskim mrežama.

Zaključak:

Kontrola izolacije mjernih transformatora u pogonu ocjenjuje se vrlo korisnom. Dosadašnja iskustva ukazuju na opravdanost primijenjenog postupka.
Preporuča se intenzivna kontrola na onom području, gdje to još nije učinjeno. Za efikasno provođenje kontrole potrebna je suradnja elektroprijenosnih poduzeća i proizvođača, kao i zainteresiranih instituta, odnosno ustanova.
Smatra se korisnim, da Studijski komitet 12 (Transformatori) formira radnu grupu koja će prikupljati podatke i na osnovi većeg broja mjerenja predložiti mjerne metode i kriterije za ocjenjivanje stanja izolacije.

4. tema: Karakteristike i svojstva transformatora i prigušnica s obzirom na moguće uvjete rada u pogonskim uvjetima.

Zaključak:

Način pravilnog terećenja transformatora obrađen je u prijedlogu JUS-a — »Smjernice za terećenje uljnih energetskih transformatora« što ih priprema JEK, a na temelju novo objavljenih IEC preporuka.
Vjeruje se da bi publiciranje ovog dokumenta bilo vrlo korisno, kako za projektiranje postrojenja, tako i za racionalno korištenje transformatora u pogonu.

5. tema: Nove tendencije u razvoju transformatora u pogledu koncepcije, konstrukcije, tehnologije i ispitivanja.

Zaključak:

Ocjenjuje se da je orijentacija na primjenu aluminija u gradnji transformatora, a naročito distributivnih, opravdana pogotovo s obzirom na postojeće zalihe aluminija u našoj zemlji. Ova orijentacija je to opravdanija što današnja konstruktivna rješenja transformatora s aluminijskim namotom pružaju pogonski jednako sigurne i ekonomski barem jednako konkurentne transformatore.
Potrebno je proširiti primjenu suhih transformatora koji mogu pridonijeti boljim tehničkim i povoljnim ekonomskim rješenjima i smanjiti opasnost od požara.

Grupa 13 — SKLOPNI APARATI

1. Potrebno je obratiti više pažnje na nedovoljno korištene metode putem matematičkih modela za rješavanja problema sklopne tehnike.
2. Predlaže se proširenje rada na istraživanju elektrodinamičkih sila i na druge tipove kontaka, koji nisu bili obuhvaćeni ovogodišnjim referatima.
3. Iz niza mogućih načina zaštite oklopljenih sklopnih postrojenja od proboja plina ili preskoka po odstojnom izolatoru navedeno je nekoliko rješenja. Diskusija nije dala definitivan odgovor o pitanju izbora najefikasnije zaštite, ali se sada čini da prednost valja dati primjeni brze sklopke za premoštenje zemnog spoja.
Što se tiče predloženih načina aktiviranja sklopke valja još detaljnije razmotriti prednosti i mane pojedinih sistema.

4. Vođena je diskusija o veličinama sklopnih prenapona na osnovi provedenih ispitivanja na prijenosnom sistemu 400 kV Đerdap-Beograd. O ovom problemu će se konsultirati s grupom 33, gdje treba da se donese definitivan zaključak.
5. Iznijeti podaci o potrebnim prekidnim snagama prekidača u mreži 110 kV ukazuju na to, da će se u pretežnom broju slučajeva zadovoljiti aparati do 3500 MVA, odnosno 16 kA.
   U stanicama 380/110 kV dolaze u obzir prekidači od 5000 MVA, a u iznimnim slučajevima i 7500 MVA.
6. U najbližoj budućnosti valja očekivati potrebu izgradnje punoizoliranih sklopnih postrojenja sa SF6 na 110 kV.

Što se tiče izbora jednopolnih shema smatra se, da će kao osnovno rješenje doći u obzir izvedba s jednim sistemom sabirnica. Predviđa se za svako polje po jedan prekidač s pripadajućim rastavljačima.

Grupa 14 — IZOLACIONI MATERIJALI

Diskusija je usmjerena u četiri područja:

A — kontrola električnog proizvoda u eksploataciji;
B — starenje izolacionih ulja;
C — rezultati ispitivanja izolacionih materijala;
D — suvremeni sistemi izolacije proizvoda.

U diskusiji pod A konstatirano je da su podneseni referati veoma značajni, jer pružaju obilje konkretnih podataka o primijenjenim mjernim metodama i vrijednostima izmjerenih parametara. Bilo bi poželjno da se ovakvi referati vide i ubuduće, jer se samo na osnovi brojnih mjerenja a putem uspoređenja može doći do potrebnih kriterija koji će biti osnova za donošenje smjernica od opće važnosti. Sve ovo je potrebno zato da se unificiraju mjerni postupci i ujednače kriteriji u vezi s procjenom stanja izolacionih sistema.

Odlučeno je da se moraju razmatrati problemi izolacionih sistema u okviru grupe 14, mada pojedini referati mogu, i moraju, biti interesantni i za druge grupe (npr. 11, 12 itd.).

U diskusiji pod B je zaključeno da treba težiti uspostavljanju jedinstvenih kriterija za procjenu kvaliteta izolacionih ulja. Također je preporučeno da se posveti posebna pažnja utvrđivanju veze između karakteristika ulja transformatora u pogonu i čvrste izolacije transformatora.

U diskusiji pod C je ukazano na značaj kompleksnih komparativnih ispitivanja izolacionih materijala i na koristi koje rezultati ovakvih ispitivanja mogu pružiti proizvođačima i korisnicima izolacionih materijala. Preporučeno je da se pokuša s daljim sistematskim radovima na ovom području objedinjavanjem sredstava iz privrede namijenjenih u ove i slične svrhe, kako bi se osigurala neophodna materijalna osnova za ovu djelatnost.

U diskusiji pod D je ukazano na potrebu da se domaći proizvođači izolacionih materijala usmjere ka suvremenim izolacionim materijalima visokih toplotnih klasa.

Sastanak je zaključen preporukom da se putem intenzificiranja rada stručnog komiteta za izolacione materijale pripomogne rješavanje aktuelnih problema postavljenih u diskusiji a prije svega:

— da se unificiraju metode ispitivanja i definiraju karakteristični parametri;
— da se donesu preporuke za referentne vrijednosti ovih parametara;
— da se organizira što veći broj usporednih mjerenja na izolacionim materijalima i sistemima;
— da se sva problematika u vezi s izolacionim materijalima i sistemima razmatra u okviru grupe izolacionih materijala.

Grupa 22 — NADZEMNI VODOVI

1. Zaštitna užad predstavlja i dalje izvor smetnji i na njoj se dešavaju česte havarije, naročito u području s nepovoljnim klimatskim uvjetima. Potrebno je nastaviti rad na traženju povoljnijih materijala i konstrukcija užeta. Također valja razmatrati i način učvršćenja zaštitnog užeta pomoću visećih stezaljki na nosnim stupovima, kao i primjenu kompresionih zateznih stezaljki kod nosnih stupova u izuzetnim slučajevima, uz njihovo odgovarajuće dimenzioniranje. To je ujedno i prioritetna tema za slijedeće savjetovanje.
2. Neophodno je intenzivnije i s više sistematičnosti raditi na proučavanju hidrometeoroloških uvjeta na postojećim dalekovodima i na trasama budućih vodova. Radi toga valja, pored intenziviranja suradnje s hidrometeorološkom službom, izgrađivati sistem manjih hidrometeoroloških stanica i uz nabavku priklanih instrumenata i uređaja, prikupljati podatke naročito za terene koji se nalaze u meteorološkim uvjetima različitim od najbližih hidrometeoroloških stanica. Ova aktivnost treba da obuhvati: atmosferska električna pražnjenja, zaleđivanje, udare vjetra i zagađenje zraka. To su također prioritetne teme za slijedeće savjetovanje.
3. Iskorištavanje računala kod projektiranja i izgradnje dalekovoda predstavlja interesantnu oblast, pa stečena iskustva i postignute rezultate valja i ubuduće objavljivati radi što šireg korištenja.
4. Već sada je uočena potreba za uvođenjem specijalnih konstrukcija užadi za vodiče koja bi se primjenjivala kao zamjena snopa kod velikih raspona i nepovoljnih klimatskih uvjeta na dalekovodima 380 kV. Odabiranjem ovakvih konstrukcija valja omogućiti da se grade i sabirnice jako opterećenih transformatorskih stanica. I ovo je prioritetna tema za slijedeće savjetovanje.
5. Radi povećanja prijenosne moći dalekovoda proučiti mogućnosti njihovog iskorištenja do maksimalno dozvoljenih trajnih struja opterećenja. Ovu problematiku valja kompleksno sagledati sa stanovišta propisanih sigurnosti razmaka, ekonomike, ubrzanog starenja materijala itd.
   I ovo je također prioritetna tema za slijedeće savjetovanje. Osim tema obuhvaćenih zaključcima prioritetnih tema za slijedeće savjetovanje je:
6. Pojava havarija većeg obujma uslijed djelovanja vjetra i leda ukazuje na potrebu temeljitijeg pro-

učavanja koordinacije koeficijenata sigurnosti pojedinih dijelova dalekovoda (stupovi-temelji, stablo, konzole, nosač zaštitnog užeta, vodiči, izolatori i ovjesni materijal).

Grupa 23 — RAZVODNA POSTROJENJA

Diskusija u ovoj grupi vodila se u slijedećim podgrupama:

Podgrupa I — Postrojenja visokog napona

1. Upotreba tercijara, velikih transformatora za napajanje vlastitih potreba velikih mrežnih razvodnih postrojenja i transformatorskih stanica nameće se kao potreba u onim slučajevima, kada je nemoguće napajanje iz mreža srednjih napona s dovoljnom pouzdanošću i uz razumna ulaganja. Budući da se u našoj zemlji tek otpočelo s ovim načinom korištenja tercijara preostaje dalji rad na rješavanju određene problematike koja se pri tom pojavljuje. Valja zato koristiti iskustva, dosada stečena kod primjene tercijara u sličnim postrojenjima za priključak sinhronih kompenzatora. Pri tome je potrebna primjena sredstava — ekranizacije i drugog — koja sprečavaju da dođe do višepolnih kratkih spojeva, a također valja usavršiti selektivnu zaštitu od jednopolnih kvarova na cjelokupnom sektoru od izvora tercijara do niskog napona.
2. Prljanje izolacije u kombinaciji sa kondenzacijom vlage u rasklopnim postrojenjima u zatvorenom predstavlja isto tako složeni problem kao i slična pojava u postrojenjima na otvorenom, ukoliko se ne vodi računa o klimatizaciji. Na rješavanju ovog problema prvenstveno treba da rade korisnici ovih postrojenja. Sistematski rad na prikupljanju dosadašnjih i budućih iskustava u postrojenjima, koja su u pogonu u određenim ugroženim područjima uz primjenu odgovarajućih metoda proučavanja pojava i korištenja rezultata drugih disciplina izvan elektrotehnike trebalo bi da dovede do utvrđivanja vlastitih normi za optimalno dimenzioniranje izolacije postrojenja, pa i karte zagađenosti atmosfere, koje bi se koristile za projektiranje budućih postrojenja.
3. Kod velikih nuklearnih elektrana naročitu pažnju valja posvetiti vlastitoj potrošnji i nadalje pratiti njen razvoj u skladu sa dostignućima u svijetu. Za sada se može primijetiti da rezervno tercijarno napajanje iz 110 kV mreže valja pouzdanije izvesti nego što je prikazano u predloženoj shemi.
4. S obzirom na dosadašnji razvoj visokonaponskih mreža u izvjesnim točkama se pojavljuje potreba za tronaponskim transformatorskim stanicama. Kako se predviđa postepena stagnacija 220 kV mreže ovakva postrojenja valja koncipirati tako da bude osiguran nesmetani prijelaz na direktnu transformaciju 380/110 kV, vodeći računa o proširenju svih napona u postrojenju. Tamo gdje se očekuje ovakav prijelaz transformacije od 220/110 kV na 380/110 kV, postrojenja za vlastite potrebe valja predvidjeti unaprijed za napon 30 kV.
5. Ograničene prostorne mogućnosti za smještaj razvodnih postrojenja u slučajevima nekih hidroelektrana, kao i jezgra velikih gradova koje su naročito prisutne posljednjih godina, nameće i kod nas potrebu za sistematskim radom na prikupljanju podataka i stranih iskustava radi upotrebe suvremenih konstrukcija postrojenja visokog i najvišeg napona u oklopljenoj izvedbi s plinskom izolacijom. Ovakva postrojenja, koja su u stranoj praksi realnost prema dosadašnjim iskustvima predstavljaju put rješenja problema prostora, prljanja atmosfere i pogonske pouzdanosti.
6. Sistematsko prikupljanje podataka, njihova obrada uz objašnjenje pojava u pogonu razvodnih postrojenja i njihovih elemenata, a naročito iskustvo u primjeni suvremenih metoda nadzora nad stanjem postrojenja, kao što je termovizijska kontrola, pokazale su se veoma korisnim indikatorima kvarova, pa se s ovakvom praksom mora nastaviti na svim elementima postrojenja.

Podgrupa II — Primjena modeliranja kod projektiranja razvodnih postrojenja

1. Metode fizičkog i matematičkog modeliranja pojava u sistemima uzemljivača razvodnih postrojenja i transformatorskih stanica, kako u uvjetima složenih sistema uzemljivača uz ograničene prostorne mogućnosti i u uvjetima uzemljivača u tlu čije karakteristike variraju u širokom opsegu, već su dovoljno razvijene i daju rezultate s dovoljnom točnošću da bi se optimalno koncipirali uzemljivači, i predstavljaju put kojim valja ići pri projektiranju budućih sličnih uzemljivača uz neophodnu korekciju na pojedinim dijelovima nakon izvođenja, ako mjerenja pokažu potrebu za tim.

Podgrupa III — Distributivna postrojenja

1. S obzirom na skučenost prostora u područjima gradova valja nastaviti s gradnjom jednostavnih stanica uz optimalno korištenje prostora. Uz već usvojene tipove klasičnih i blindiranih stanica koristiti i prerađene stanice u kučištu od suvremenih građevinskih materijala. To se odnosi na stanice 20 i 10 kV u naseljima.
2. Valja težiti pojednostavnjenju distributivnih stanica svih napona počevši od 110 kV do 0,4 kV, ali pri tome se mora imati u vidu pogonska sigurnost i ekonomski efekt, uključujući mjesne uvjete kod lokacije u urbanim područjima.

Podgrupa IV — Izolacioni materijali

1. Kod postrojenja srednjih napona sa čvrstom izolacijom, naročito u teškim uvjetima i s visokim zahtjevima u pogledu pogonske sigurnosti, valja težiti razvoju tehnike novih izolacionih materijala elemenata postrojenja, i tamo gdje je to svrsishodno primjenjivati uz dalje povećanje pogonske sigurnosti.

Prioritetne teme

1. Rad na standardizaciji opreme 380 kV u koordinaciji s organizacijama koje su se dosad time bavile.

2. Vlastita potrošnja termoelektrana, hidroelektrana i velikih mrežnih postrojenja.
3. Dalje obrađivati stanice 110/10 kV i 220/110 kV u urbanim područjima uz primjenu najmodernije opreme i materijala.
4. Upotreba napona 20 kV za postrojenja područnih mreža, manjih gradova i sela i obrada stanice 110/20 kV.
5. Koordinacija presjeka vodiča vodova najvišeg napona i sabirnica postrojenja priključenih na ove vodove radi unifikacije uz suradnju s komitetom za vodove.
6. Racionalizacija dimenzioniranja snage sekundarnih namota mjernih transformatora.

Grupa 31 — PLANIRANJE I POGON ELEKTRIČNIH MREŽA

Podgrupa 311 — Prijenosne mreže

1. Za rješavanje prilika u našem elektroenergetskom sistemu vrlo je važno raspolagati modernim metodama računanja, prikladnim za naše prilike. Potrebno je stoga i nadalje proučavati i razvijati takve metode i ići u korak s razvojem u svijetu.
2. Valja razvijati metode ispitivanja i ispitivati na živoj mreži, kako bi se upoznale njene karakteristike korisne za vođenje pogona.
3. Pratiti tehniku istosmjernog prijenosa u svijetu s obzirom na specifični položaj Jugoslavije između dva velika evropska sistema (UCPTE i SEV) i eventualne primjene takve tehnike.
4. Utvrđenu osnovnu mrežu 380 kV valja ispitati na temelju elektroenergetskih podloga i proučiti njenu planiranu etapnost izgradnje.
5. Nakon što je utvrđena osnovna jugoslovenska mreža 380 kV, valja načiniti sistematske studije i istraživanja, kako za pojedina područja, tako i za Jugoslaviju u cjelini. Istraživanje bi valjalo provesti s obzirom na budući pogon i s obzirom na daljnji perspektivni etapni razvoj. Budući da ne postoji utvrđena dinamika izgradnje izvora, ispitivanja bi morala biti u varijantama.
6. Zbog tehničkih i ekonomskih razloga nužno je nastaviti s ispitivanjima paralelnog rada jugoslovenskog sa susjednim elektroenergetskim sistemima i time što brže ostvariti besprijekoran međusoban paralelan rad.
7. Valja provesti daljnje studije sekundarne regulacije u sistemu Jugoslavije i prilagoditi ih postojećim prilikama i zahtjevima, s obzirom na međusobno povezivanje.

Prioritetne teme za slijedeće savjetovanje

1. Problem jalovih snaga i promjena napona u Jugoslavenskoj visokonaponskoj mreži u normalnom i poremećenom stanju.
2. Iskustva o eksploataciji jugoslavenske mreže visokog i najvišeg napona.
3. Problemi paralelnog rada jugoslavenskog elektroenergetskog sistema s inozemstvom.
4. Uvjeti što se postavljaju na mrežu visokog napona prilikom planiranja za normalan rad i rad u poremećenom stanju.
5. Perspektivni planovi visokonaponske mreže, kako parcijalni, tako i kompleksni za Jugoslaviju u cjelini.

Grupa 31 — PLANIRANJE I POGON ELEKTRIČNIH MREŽA

Podgrupa 312 — Distributivne mreže

1. Studije iz područja dugoročnog planiranja mreža moraju se raditi kontinuirano a isto tako se moraju stalno kontrolirati planirani i postignuti rezultati. Na osnovi dugoročnih — koncepcijskih studija, za pojedine konzume valja obraditi parcijalne studije, uzimajući u obzir dugoročnu politiku definiranu općom studijom. Odluka o ekonomičnosti nekog rješenja ne može se donijeti na osnovi djelomične studije.
2. Za prognozu potreba za električnom energijom i snagom valja koristiti matematičko-statističke metode, vodeći računa da se pri dugoročnom planiranju mogu dobiti nepouzdani rezultati i da se radi toga mora dobijeni rezultat korigirati na osnovi iskustva i procjene energetičara, uzimajući u obzir sve utjecajne faktore.
3. Kućanstvo i električni uređaji u njima značajan su potrošač električne energije distributivnog konzuma. Pojava novih aparata i primjena uređaja za usmjeravanje potrošnje (ton-frekventna komanda) mogu znatno utjecati na dnevni dijagram opterećenja, a time i na dimenzioniranje mreže. Opterećenje aparata u kućanstvu može se procijeniti matematičko-statističkom metodom, pri čemu ih treba definirati sa dva osnovna parametra: instaliranom snagom i vjerojatnošću upotrebe.
4. Provedene analize potvrđuju da se turističkom konzumu mora posvetiti posebna pažnja s obzirom na odnos maksimalnog prema minimalnom opterećenju, odnosno vrlo malom godišnjem vremenu upotrebe. Već sadašnja istražianja potvrđuju da bi prema turističkim potrošačima trebalo voditi posebnu tarifnu politiku.
5. Sadašnji sistemi elektroničkih računala omogućuju njihovu široku primjenu u domeni projektiranja gradskih distributivnih i industrijskih mreža. Iskustva i rezultate iz ovog područja valja ubuduće što više publicirati, da bi se dao poticaj uvođenju računala i u ovu djelatnost, i omogućilo kvalitetnije projektiranje.
6. Analiza je pokazala da se proizvođači aparata za kućanstvo i izvođači električnih instalacija ne pridržavaju tehničkih propisa. Prijelazom na pogon sistema 10 kV s uzemljenom nul-točkom još će se više potencirati opasnosti od nekvalitetne opreme i loše izvedenih instalacija.
7. Zaključeno je da je problem uzemljenja nul-točke sistema 10 kV na dosadašnjim, i ovom zasjedanju, teoretski dovoljno obrađen. Za slijedeće zasjedanje se očekuju prvi rezultati i iskustva pogona sa uzemljenom nul-točkom.
8. Prihvaćaju se zaključci koji su definirani u referatima iznijetim na ovom zasjedanju, o čemu će studijski komitet voditi računa o radu između dva zasjedanja.

9. Zaključuje se da je radi boljeg korištenja elektroenergetskih kapaciteta (ristributivne i prijenosne mreže, i izvori) potrebno hitno uspostaviti suradnju svih elektroprivrednih poduzeća i proizvođača trošila, i na taj način usmjeravati ekonomsku politiku tarifa.

Prioritetne teme

1. Tehničko-ekonomski aspekti u planiranju razvoja distributivnih mreža.
2. Problemi upravljanja distributivnim mrežama.
3. Kvaliteta električne energije (naponske prilike, kontinuitet opskrbe, metode za procjenu kvalitete isporuke i sigurnost).
4. Problematika napona 110 kV u distributivnim mrežama.
5. Praktična iskustva u uvođenju i primjeni uzemljenja nul-točke sistema 10 (20) kV.

Grupa 32 — ZAŠTITA I AUTOMATIKA

1. U našoj mreži valja za zaštitu transformatora upotrebljavati takve diferencijalne releje, koji neće proraditi prilikom uklopa na mrežu, i garantiraju da neće doći do otkazivanja prilikom zemnih spojeva u mreži. Važna je i brzina djelovanja, koje mora biti nekoliko milisekundi. Današnja poluvodička tehnika omogućuje realizaciju takvih zahtjeva, time da upotrebljeni elementi budu pouzdani u pogonu.
2. Za slučajeve kvara na mjernim transformatorima u elektranama bi bilo potrebno, da sve elektrane izrade upute za pogon sa minimalnom zaštitom, kao što je izrađeno za HE Senj. Za grupu elektrana bilo bi korisno da se rezerva nalazi za više generatorskih grupa ukoliko je to tehnički moguće. Za prijenosnu mrežu takve upute nisu toliko bitne, jer je zbog velikog broja istovrsnih mjernih transformatora dovoljna rezerva za cijelu mrežu.
3. Problematika zaštitnih uređaja gradskih kabelskih mreža 110 kV veoma je aktualna za veće gradove, pogotovo zbog direktne transformacije 110/10 kV. Problem valja i dalje proučavati i prikupiti inozemna iskustva. Proučiti se moraju i drugi načini zaštite, ukoliko je to moguće.
4. Veće opterećivanje i preopterećivanje izvjesnog broja nadzemnih prijenosnih vodova predstavlja za našu elektroprivredu veoma aktualan i interesantan problem. Skupljaju se podaci o pogledu na ovo pitanje u zemlji i inozemstvu, pa treba sačekati na konačni pregled. Produžiti valja daljnje studiranje tog problema pogotovo sada kada se upotrebom elektroničkih računala pružaju veće tehničke mogućnosti u pogledu realizacije. Studijski komitet za zaštitu i releje neka prouči takvu vrstu zaštite koja bi zadovoljila sve zahtjeve u pogledu djelovanja uključujući temperaturu okoline rada, temperaturu vodiča i brzinu vjetra, itd. Isti problem dat će se na proučavanje studijskom komitetu grupe 22 (Vodovi) i grupi 31 (Mreže).
5. Primjena procesnih računala u vođenju termoelektrana predstavlja grupu aktualnih problema kojima valja posvetiti veliku pažnju, sa rastućom važnošću termoelektrana u našem sistemu valja što prije sve pripremiti, da bi se u danom trenutku moglo bez odlaganja pristupiti primjeni računala. Njihovu primjenu valja uzimati u obzir već u prvoj fazi projektiranja agregata i pomoćnih uređaja, jer naknadno usklađivanje predstavlja velike dodatne probleme i troškove.
6. Automatizacija transporta ugljena u termoelektranama pokazala je na izvedenom postrojenju, koje je automatizirano uređajem sa integriranim uklopima, dobre rezultate. Primjena takvih uređaja za automatizaciju transporta može se preporučiti s jedne strane zbog povećanja pogonske sigurnosti, a s druge strane zbog ekonomičnosti cijelog postrojenja.
7. Realizacija automatike upravljanja agregatima hidroelektrana s jednostavnijim funkcijama u kontaktnoj tehnici ima za sada prednosti pred realizacijom u poluvodičkoj tehnici. Kod kompleksnijih funkcija agregata i cijele elektrane više mogućnosti pružaju beskontaktna tehnika ili manja procesna računala.
8. Automatskim upravljanjem zatvarača brane u hidroelektranama prilikom ispada agregata potrebno je posvetiti pažnju posebno u slučajevima, gdje su postavljeni oštri dinamički i statički uvjeti na režim rada elektrana i stanja u akumulacionim bazenima.
9. U gradovima s razvijenim mrežama podzemnih instalacija (vodovodne mreže, plinovod, podzemni PTT vodovi, energetski kabelski vodovi) valja težiti ka povezivanju svih metalnih dijelova tih instalacija s uzemljivačima elektroenergetskih objekata elektroditributivne mreže.
   Za svaki konkretan slučaj potrebno je ustanoviti napone dodira i koraka.
   Razdvajanje zaštitnog i pogonskog uzemljenja neka se primjenjuje samo u onim slučajevima kada se s maksimalnim ograničenjem struje zemljospoja i sa skraćenjem vremena djelovanja zaštite ne mogu svesti naponi dodira, ili eventualno koraka, u dozvoljene granice.
10. Problematika usklađivanja, odnosno promjene propisa, u vezi s dozvoljenim naponima dodira i koraka, te utjecaja na PTT vodove valja nadalje rješavati zajedno sa studijskim komitetom za vodove i studijskim potkomitetom za perturbacije.

Grupa 33 — PRENAPONI I KOORDINACIJA IZOLACIJE

1. Novi principi koordinacije izolacije zahtijevaju da se za njihovu primjenu raspolaže s iscrpnim podacima, između ostalog i o prenaponskim pojavama i dielektričnoj čvrstoći izolacije aparata i opreme. Zbog toga je neophodno intenzivirati rad na prikupljanju ovih podataka. Statističke metode interpretacije rezultata valja usvojiti kao osnovu za budući rad.
2. Radi boljeg upoznavanja prenaponskih pojava moraju se razvijati i koristiti metode kako teoretsko-analitičke, tako i brojčane, analogne kao i direktna mjerenja u mreži.

3. Da bi se došlo do podataka o izolaciji neophodno je aktivnije koristiti postojeće ispitne kapacitete i razvijati one s kojima naša zemlja još ne raspolaže, posebno za utvrđivanje komutacione dielektrične čvrstoće izolacije.
4. Iz priloženih referata i diskusija proizlazi da je nužno pristupiti razmatranju usvojenih nivoa izolacije za mrežu 400 kV, sa stanovišta eventualnog smanjenja izolacionih nivoa za slijedeće etape gradnje.
5. Ubrzana urbanizacija i industrijski razvoj čini sve aktuelnijim problem zagađivanja zraka, pa je u tom pogledu neophodno osvojiti metode i razviti ispitne kapacitete za rješavanje ovog problema. Elektroprivredna i elektroindustrijska poduzeća morala bi dati pun doprinos sistematizaciji podataka i istraživanja u ovoj oblasti.
6. U vezi s pokrenutim pitanjima o uvjetima ispitivanja prekidača snage za 400 kV, u smislu definiranja dopustivih vrijednosti faktora komutacionih prenapona, zaključeno je da se oni razmotre na zajedničkom sastanku studijskih komiteta 33 i 13. Na ovom sastanku bi se razmotrila i druga pitanja vezana za ovu materiju uz prisustvo predstavnika radne grupe JUGEL-a za izradu tendera.
7. Istaknut je problem pravilne prenaponske zaštite bloka generator-transformator velikih snaga, pa se predlaže studijskom komitetu da ovu problematiku uvrsti, kao vrlo aktuelnu, prioritetnu temu, za svoj budući rad.

Grupa 34 — KOMUNIKACIJE I PERTURBACIJE

Podgrupa 341 — Telekomunikacije

1. Proučiti brzine prijenosa informacija sa stanovišta količina informacija, vremena osvježenja i mogućih tehnoloških rješenja u elektroprivredi.
2. Proučiti i izvršiti odgovarajuća mjerenja kvalitete prijenosnih putova što ih koristi elektroprivreda iz aspekta prijenosa podataka sa raznim brzinama.
3. Valja nastaviti s radom na problematici proračuna parametara dalekovoda radi dobivanja vlastitih preporuka za primjenu pri projektiranju veza. Preporučuje se svim elektroprivrednim organizacijama da izmjere parametre dalekovoda radi verifikacije teoretskih dobivenih vrijednosti. (Ovo se predlaže kao prioritetna tema.)
4. Preporučuje se proizvođačima elektroprivrednih automatskih telefonskih centrala da svoje uređaje planiraju i razvijaju uz punu suradnju korisnika, uvažavajući njihove specifične zahtjeve.
5. Preporučuje se rad na izboru frekventnog opsega i naponskog nivoa za injektiranje komandne učestalosti u distributivnim mrežama, radi donošenja propisa u ovoj oblasti.
6. Uviđa se potreba hitnog proučavanja i definiranja koncepcionih osnova, operativnog upravljanja u elektroprivredi za razdoblje 1975. do 1985. jer ove osnove predstavljaju preduvjet za daljnje studije i projektiranje informacionih sistema, a i sa reperkusijama na projektiranje elektroprivrednih objekata.

Podgrupa 342 — Perturbacije

1. Jedan od osnovnih preduvjeta za rješavanje problematike oko reguliranja utjecaja dalekovoda na telekomunikacione vodove su realni propisi osnovani na iskustvu u drugim zemljama, s uvažavanjem specifičnih uvjeta u našoj zemlji, uz maksimalnu koordinaciju rada između elektroprivrednih organizacija i vlasnika vodova elektro-veza. Pri tom valja uvažiti etapnost izgradnje objekata i racionalnost postepenog investiranja uz kontrolu promjene obima mreže i jasne pravne i financijske odgovornosti.
2. Valja na svaki način razmotriti mogućnost da se izvrše potrebna mjerenja radi dobivanja parametara vezanih za vodljivost zemljišta. S ovim podacima, što se za proračun mogu koristiti i po postojećim propisima o utjecaju visokonaponskih vodova na telekomunikacione vodove, mogle bi se izvršiti potrebne provjere kod odabiranja trasa za nove dalekovode, kao i kod njihovog projektiranja. Kao drugo, ovakva mjerenja bi poslužila i za izradu karte specifične vodljivosti zemljišta koja bi se mogla staviti i u buduće propise. (Ovo se također predlaže kao prioritetna tema.)
3. Proračuni i načini određivanja struja zemljospoja i njihov raspored duž visokonaponskih vodova, što se sada primijenjuje radi provjere utjecaja na telekomunikacione vodove, valja kritički razmotriti naročito s aspekta uvođenja realnijih osnova s obzirom na stvarne uvjete, što se mogu pojaviti i u najvećem broju slučajeva pri zemljospoju.
   Dosadašnja praksa uzimanja u obzir koincidencije svih najnepovoljnijih faktora, tehnički je neopravdana i dovodi do nepotrebnih investicionih ulaganja.
   Valja proučiti načine proračuna što se primijenjuju kod drugih elektroprivreda, naročito u vezi s uvođenjem »faktora očekivanja«. (Također se predlaže kao prioritetna tema.)
4. Oživiti rad postojeće mješovite koordinacione komisije od zvaničnih predstavnika JUGEL-a i JPPT za perturbacije.
5. Proračun i mjerenje utjecaja električnih na telefonske instalacije položene u zajedničke limene kanale pokazuje, da je u postrojenjima i u kućnim instalacijama upotreba zajedničkih limenih kanala moguća.
   Za proračun, projektiranja i izvođenja ovakvih instalacija nema odgovarajućih propisa, pa se rad na tome predlaže kao prioritetna tema.
6. Čečća oštećenja podzemnih telekomunikacionih kabela od udara groma i zbog korozije navode na zaključak, da se adekvatnoj zaštiti kabela ne poklanja dovoljno pažnje. U budućnosti valja raditi na iznalaženju optimalnih mjera zaštite kabela od atmosferskog pražnjenja i korozije. Ovaj problem se predlaže kao prioritetna tema.

Prioritetne teme:

1. Proučavanje radio-smetnji kao posljedice rada mreže i postrojenja 380 kV (naročito u odnosu na utjecaj korone).

2. Proučavanje parametara odlučujućih za projektiranje informacijskih sistema elektroprivrede.
3. Analizirati parazitne pojave na dijelovima informacijskih sistema u visokonaponskim sistemima.
4. Studija radi donošenja tehničkih uvjeta za elemente zaštite vodova i uređaja informacijskog sistema u elektroprivredi.

Grupa 41 — ELEKTRANE I ENERGETSKI SISTEMI

1. Zadovoljenje konzuma u slijedećim godinama nameće potrebu izbora novih elektrana. Današnji razvoj tehnike omogućuje da se grade: konvencionalne termoelektrane ložene ugljenom ili tekućim gorivima, hidroelektrane, nuklearne termoelektrane, termoelektrane s plinskim turbinama, pumpno-akumulacione hidroelektrane i toplane različitih tipova. Da bi se pravilno izabrale nove elektrane, ne smiju se promatrati izolirano od sistema, i tako — uz određene pretpostavke — odrediti ekonomičnost i opravdati izgradnju. Nužno je provesti analizu utjecaja izgradnje takve elektrane na sistem, jer svaka nova elektrana ima određeni veći ili manji utjecaj na sve ostale elektrane sistema (smanjenje ili povećanje upotrebe, smanjenje ili povećanje preljeva i sl.).
2. Da bi se mogao utvrditi pravilan izbor elektrane za slijedeća razdoblja, potrebno je:
   a) definirati dugoročnu ekonomsku politiku u okviru planova razvoja, to znači s obzirom na elektroenergetiku, utvrditi buduću strukturu industrijske proizvodnje s obzirom na izgradnju industrije s velikom specifičnom potrošnjom električne energije, definirati izvore financiranja investicije u elektroprivredi, definirati politiku cijena energije, a posebno cijena električne energije.
   b) Definirati dugoročnu energetsku politiku zemlje, što znači, u okviru planova privrednog razvoja odrediti optimalnu strukturu primarnih oblika energije (ugljen, vodne snage, nafta, zemni plin, nuklearna goriva), i optimalnu strukturu kapaciteta za transformaciju oblika energije (gasifikacija ugljena, prerada nafte, postrojenje za pripremu i preradu nuklearnih goriva).
3. Razrada dugoročne projekcije razvoja elektroprivrede, na prethodnim principima, omogućila bi pravilan izbor parametara elektrana svih vrsta, jer parametri elektrana ovise o stanju u sistemu, ali i o parametrima svih izgrađenih elektrana, što u krajnjoj liniji znači da ovise o razvoju sistema.
4. Metode za određivanje potrebne rezerve u sistemu, što su prikazane u referatima, omogućuju objektivno određivanje potrebnog nivoa rezervi, što je odlučujući elemenat sigurnosti opskrbe potrošača. Vjerodostojnost proračuna ovisi o raspoloživosti podataka o kvarovima i ispadima, te o načinu njihove obrade. Stoga je potrebno na pogodan način srediti postojeće podatke i utvrditi metodu za njihovo daljnje praćenje. Bilo bi korisno — s obzirom na veliki broj podataka — proučiti upotrebu računala za takvo praćenje.
5. Potrebno je također razvijati koncepcije upravljanja elektroenergetskim sistemima, da bi se povećala sigurnost i da bi se smanjili troškovi eksploatacije. Osim toga je potrebno međusobno uskladiti koncepcije upravljanja među pojedinim područjima, kako bi se omogućila uspješna koordinacija rada u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije.
6. Danas ima dovoljno razvijenih metoda za određivanje optimalne raspodjele opterećenja u elektroenergetskim sistemima, a ima već i dovoljno kompjutora, što omogućava i praktičnu primjenu u okviru dispečerskih službi. Preporučuje se elektroprivrednim organizacijama da spomenute metode uvedu u redovnu primjenu u dispečerskim službama, radi smanjenja eksploatacionih troškova. Osim toga se preporuča, da se srede, ako takvi podaci postoje, odnosno da se snime karakteristike agregata, što je neophodno za uvođenje ekonomskog dispečinga.
7. U diskusiji je naglašeno da za mnoge analize ne postoje potrebni podaci, ili da podaci nisu sređeni na pogodan način. Preporuča se da elektroprivredne organizacije, u međusobnom dogovoru, utvrde način praćenja pogonskih događaja i njihovu obradu.

SAVJETOVANJE O ELEKTRODISTRIBUTIVNIM MREŽAMA KAO FAKTORU DALJNJEG RAZVOJA ELEKTRIFIKACIJE POLJOPRIVREDE I SELA

U Novom Sadu je od 30. svibnja do 3. lipnja 1972. god. održano savjetovanje na temu »Elektrodistributivne mreže kao faktor daljnjeg razvoja elektrifikacije poljoprivrede i sela«. Organizator savjetovanja bio je Jugoslavenski centar za elektrifikaciju poljoprivrede i sela pri SMEIT-u Jugoslavije, a domaćin distributivno poduzeće »Elektrovojvodina«, Novi Sad. Pokrovitelj savjetovanja bio je generalni direktor Zajednice Jugoslavenske Elektroprivrede Lazar Ljubiša, dipl. ing. Savjetovanju je prisustvovalo više od 120 učesnika iz svih republika i pokrajina.

Na savjetovanju su bile prezentirane tri skupine referata: prva je govorila o stanju elektrificiranosti poljoprivrede i sela i obuhvatila je 6 referata, u drugoj grupi referata bilo je govora o korištenju električne energije u poljoprivredi, u 9 referata, a o opremi i racionalizaciji korištenja električnih mreža za elektrifikaciju sela, bilo je 10 referata. Ovih 25 referata otisnuto je u Zborniku referata, što je prije savjetovanja dostavljen svim učesnicima.

Na savjetovanju su doneseni ovi zaključci:

1. Dosadašnja elektrifikacija sela, gledana u cjelini, provedena je uglavnom uspješno.

2. Radi pomanjkanja sredstava sela su se često elektrificirala uz pomoć odbora za elektrifikaciju, pa

većina mreža, što su izvedene bez suradnje s distribucijom, ne zadovoljava osnovnim tehnološkim uvjetima. Ove mreže naglo propadaju, i neophodno je da mjesne zajednice, komunalne i šire društveno-političke organizacije, osiguraju sredstva za saniranje takvog stanja, jer ovakve mreže predstavljaju i opasnost za građane.

3. Dobar dio seoskih mreža, tehnički ispravnih, valja hitno rekonstruirati i interpolirati neke transformatorske stanice, jer su građene u početnoj fazi elektrifikacije i predviđene su za vrlo malu specifičnu potrošnju. Zaostale investicije u ove mreže ne mogu riješiti sama distributivna poduzeća bez sredstava i druge pomoći komuna, pokrajine i republike.

Ove mreže i njihova kratkotrajna vršna preopterećenost i gotovo redovito dugotrajna nedovoljna iskorištenost, predstavljaju poseban problem za elektrifikaciju neelektrificiranih kućanstava u već elektrificiranim selima.

4. Ovakvo stanje elektrifikacije uvjetovano je i time što u SFRJ ne postoji institucija koja bi se na nivou zemlje, ili bar republike ili pokrajine, bavila planskim razvojem elektrifikacije poljoprivrede i sela.

5. Loše stanje stupnja elektrifikacije proizvedenih poljoprivrednih organizacija (farmi, dobara i sl.) dobrim je dijelom uvjetovano slabom suradnjom tih organizacija s elektrodistributivnim poduzećima, kao i onim organizacijama koje se bave proizvodnjom i prodajom električne energije i projektiranjem energetskih objekata za poljoprivredne organizacije.

6. Kadrovi koji se bave održavanjem elektrodistributivnih uređaja i razvojem energetki na gazdinstvima, u većim slučajevima nisu dovoljno stručni za ove poslove, što je kočnica za usvajanje novih dostignuća primjene električne energije. Stručni kadrovi mogu mnogo pridonijeti racionalnoj potrošnji električne energije.

7. U našoj zemlji ne postoje potpuno elektrificirane farme i dobra koja bi služila kao uzorna kućanstva i mjesta za praktično provjeravanje kvalitete domaće i uvozne opreme.

8. Veći broj elektrodistributivnih organizacija nema stručnu savjetodavnu službu koja može poljoprivrednim organizacijama i ostalim potrošačima pružiti stručnu pomoć i savjet pri kupovini i racionalnijem korištenju raznih aparata i trošila električne energije.

9. I pored nastojanja nekih elektrodistributivnih organizacija da osiguraju pokazatelje o razvoju potrošnje i trošila na svom području, konstatirano je da u našoj zemlji ni jedna institucija znanstveno ne pravi analize konzuma i trošila u upotrebi, koje bi služile kao podloga za solidno planiranje i razvoj elektrifikacije i potreba elektroenergetske opreme na nivou zemlje.

10. U nastavnim planovima osnovnih i poljoprivrednih srednjih i viših škola nedovoljno je zastupljena materija iz područja poznavanja suvremene primjene električne energije.

11. Savjetovanje konstatira, da na opće jugoslavenskom planu ne postoji tipizacija elemenata mreža i transformacije. U vezi s tim valjalo bi analizirati postojeće tehničke propise koji često sputavaju jeftiniju i moderniju gradnju.

12. Daljnju elektrifikaciju neelektrificiranih naselja valja obaviti planski i organizirano, a izgradnju novih mreža valjalo bi izvesti tipizirano, po mogućnosti iz standardiziranih elemenata u skladu s tehničkim propisima.

13. Što je moguće više seoskih individualnih kućanstava koja imaju optimalne obradive površine (4—10 ha), valja usmjeravati na elektrifikaciju do najveće moguće mjere — da bi se osposobile za robne proizvođače.

14. Preporuča se distributivnim poduzećima da pristupe organiziranijem i studioznijem izračunavanju problema poljoprivrednih kućanstava i potrošača na selu. U vezi i tim, Centar za elektrifikaciju poljoprivrede i sela mora ostvariti punu suradnju s koordinacijom elektrodistribucije Jugoslavije i republičkim udruženjima, čije bi stručne komisije razmatrale probleme elektrifikacije i organizirale konkretne akcije za izvršavanje zaključaka ovog savjetovanja.

15. Savjetovanje smatra da Centar u suradnji sa distributivnim organizacijama i zainteresiranim institucijama, što se bave unapređenjem poljoprivredne proizvodnje — mora organizirati kraće tečajeve i seminare za osposobljavanje postojećih kadrova iz redova poljoprivrednih tehnologa i energetičara u poljoprivredi, kako bi što prije ovladali metodama racionalnog korištenja električne energije i osigurali njihovo uvođenje u tehnološke procese poljoprivrede.

16. Centar treba nastojati — da korištenjem sredstava informacija osigura veću obavještenost poljoprivrednika o prednostima elektrificiranih domaćinstava — radi čega valja postići bolju suradnju distributivnih poduzeća, poljoprivrednih organizacija i ustanova koje se bave obrazovanjem poljoprivrednih stručnjaka.

17. Zadužuje se Centar da upozna sve zainteresirane institucije s tematikom, konstatacijama i zaključcima ovog savjetovanja.

Nakon savjetovanja održana je godišnja skupština Centra i izabrani njegovi organi upravljanja. Zatim je za učesnike savjetovanja organiziran stručni izlet do poljoprivrednog dobra Panonija i nekih ogledniih dobara u NR Mađarskoj.

J. Moser

STATISTIČKI PREGLED

ELEKTROPRIVREDE SR HRVATSKE U SKLOPU ELEKTROPRIVREDE JUGOSLAVIJE

OSNOVNI PODACI

Osnovni podaci elektroprivrede Hrvatske

po stanju od 31. XII 1971. [2]

Tablica 1

Naziv postrojenja		1945.	1960.	1965.	1970.	1971.
Hidroelektrane	broj	7	11	15	17	17
	snaga MW	69	286,6	650,0	777,7	777,7
	od toga Udružene MW	66	282,9	632,0	761,6	761,6
Termoelektrane	broj	10	48	41	40	40
	snaga MW	48	184,7	244,8	556,4	568,4
	od toga Udružene MW	33	86,3	144,4	479,4	491,4
Ukupno elektrane	MW	177	471,3	894,8	1334,1	1346,1
Transformatorske stanice:						
220/110 kV	broj stanica	—	—	2	5	5
	broj transformatora	—	—	3	7	7
	snaga MVA	—	—	400	1000	1000
110/35—50 kV	broj stanica	1	20	29	34	36
	broj transformatora	2	32	45	57	68
	snaga MVA	20	678	982	1441	1586
30—50/3—10 kV	broj stanica	17	119	. . .	241	250
	broj transformatora	29	253	. . .	449	461
	snaga MVA	88	1673	. . .	1732	1824
3—10 kV / niski napon	broj stanica	990	3911	. . .	10480	11320
	broj transformatora	1217	4223	. . .	11763	12610
	snaga MVA	187	858	. . .	2220	2370
Dalekovodi:						
220 kV	km	—	50	594	874	949
110 kV	km	83	1314	1697	2062	2110
50—30 kV	km	493	2199	2711	3305	3482
10— 3 kV	km	1691	8149	. . .	16967	17038
niski napon	km	4376	18011	. . .	34749	35820
Vršno opterećenje SRH	MW	82	382	605	1004	1126

Mrežni transformatori u HE i TE uključeni u transformatorskim stanicama 220/110 i 110/35—50 kV.

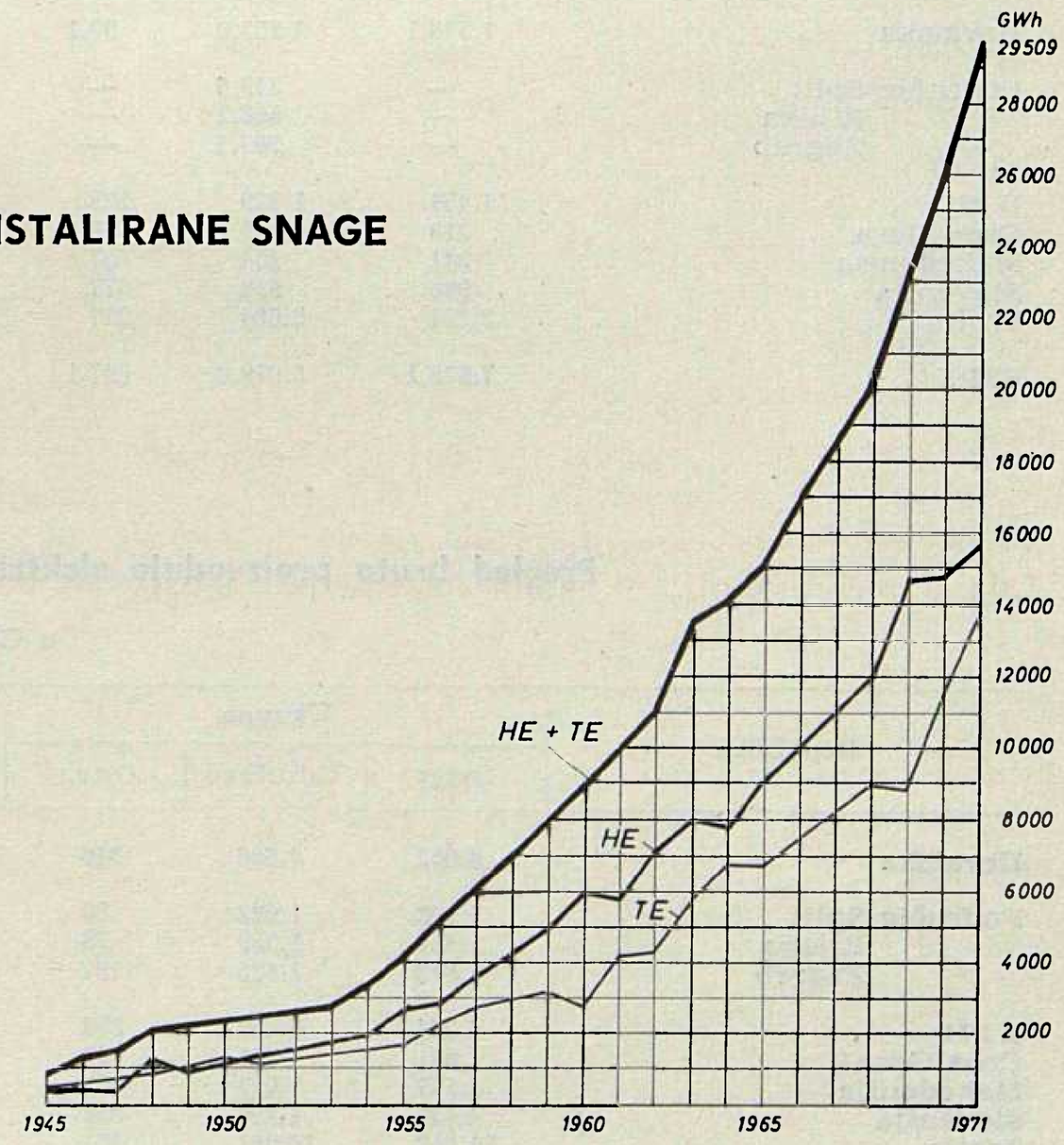
PROIZVODNJA I INSTALIRANE SNAGE

Razvoj instalirane snage i proizvodnje električne energije u Jugoslaviji

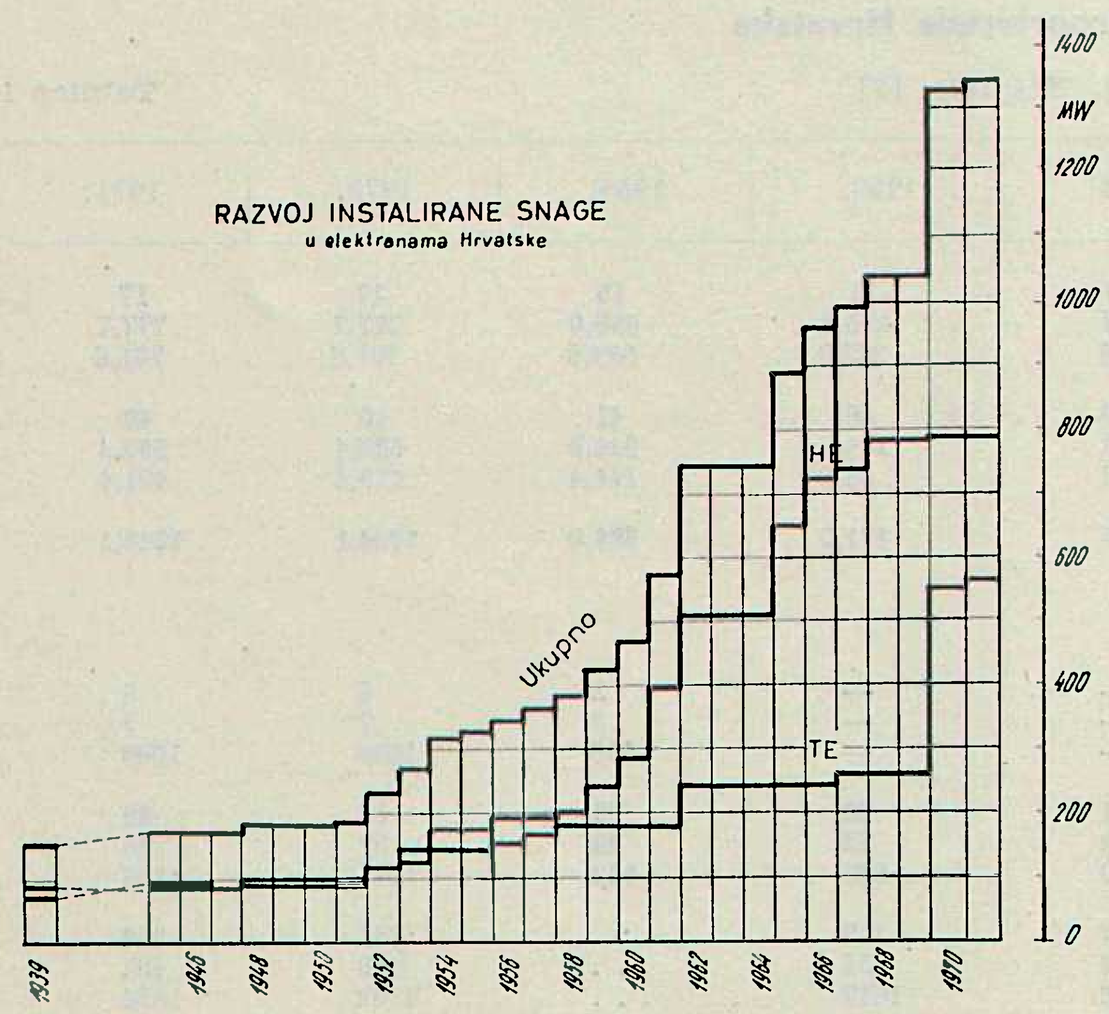
[4]

Tablica 2

Godina	Instalirana snaga u MW			Proizvodnja u 10^6 kWh		
	ukupno	HE	TE	ukupno	HE	TE
1939	505	174	331	1 174	567	607
1945	524	211	313	817	316	501
1950	673	290	383	2 408	1 175	1 233
1955	1 220	639	581	4 340	2 610	1 730
1960	2 468	1 391	1 077	8 928	5 984	2 944
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



Sl. 1 Razvoj instaliranih snaga u SFRJ 1945—1971.



Sl. 2 Razvoj instalirane snage u elektranama Hrvatske

Razvoj instalirane snage i proizvodnje električne energije u Hrvatskoj

[4] Tablica 3

Godina	Instalirana snaga u MW			Proizvodnja u 10^6 kWh		
	ukupno	HE	TE	ukupno	HE	TE
1939	158	72	86	419	249	170
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	890	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	1 393	798	595	4 622	3 656	966
1971	1 393	798	595	4 957	3 232	1 725

Instalirane snage elektrana 1971. po republikama

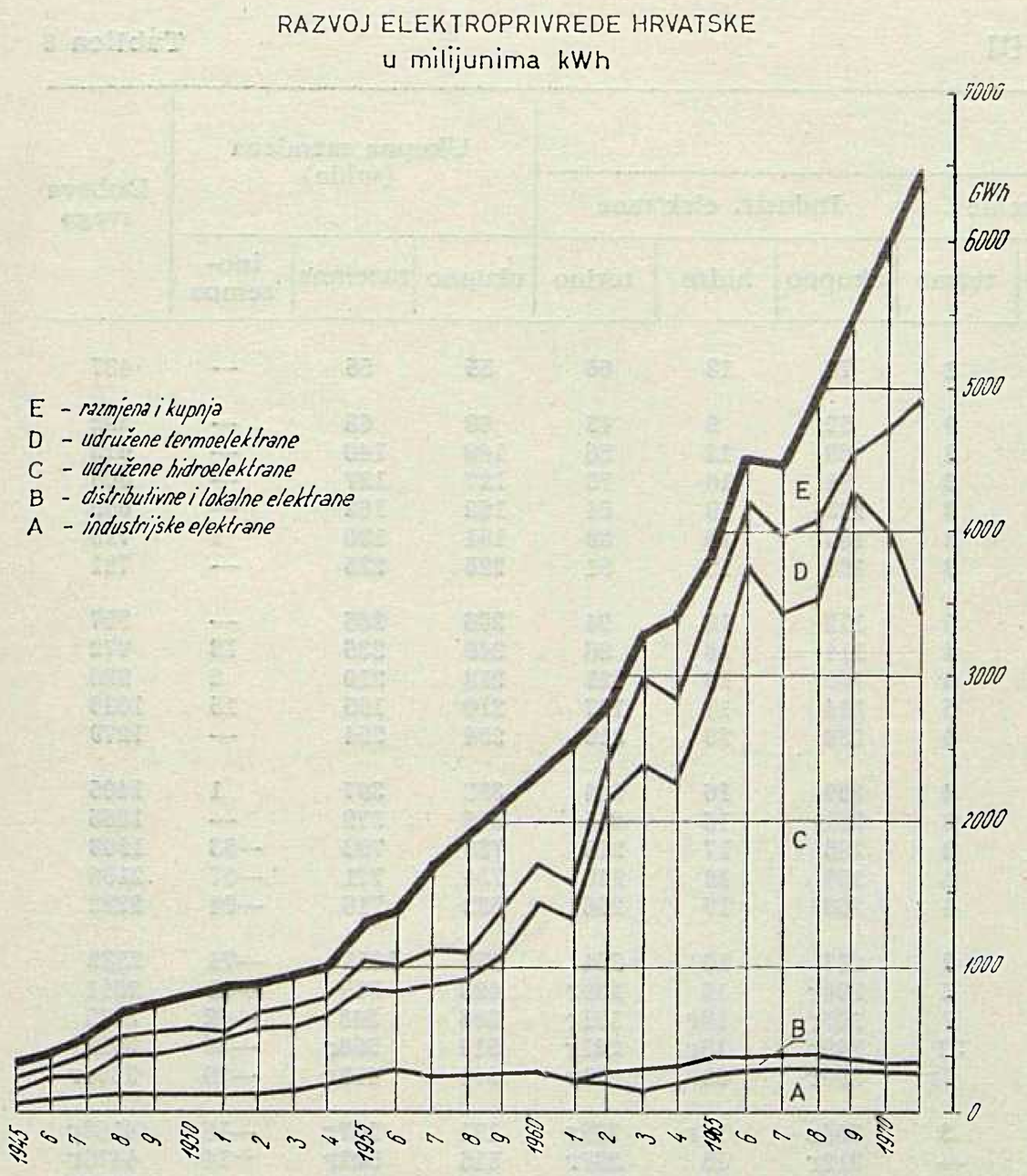
u MW [1] Tablica 4

Republika	Ukupno			Hidroelektrane			Termoelektrane		
	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale
Hrvatska	1.346,1	1.253,0	93,1	777,7	761,6	16,1	568,4	491,4	77,0
Područje Split	—	349,6	—	—	349,6	—	—	—	—
Rijeka	—	506,2	—	—	364,0	—	—	142,2	—
Zagreb	—	397,2	—	—	48,0	—	—	349,2	—
B i H	1.454	1.329	125	722	706	16	732	623	109
Crna Gora	218	190	28	197	190	7	21	—	21
Makedonija	341	284	57	285	268	17	56	16	40
Slovenija	996	919	77	533	505	28	463	414	49
Srbija	3.221	3.004	217	1.445	1.417	28	1.776	1.587	189
SFRJ	7.576,1	6.979,0	597,1	3.959,7	3.847,6	112,1	3.616,4	3.131,4	485,0

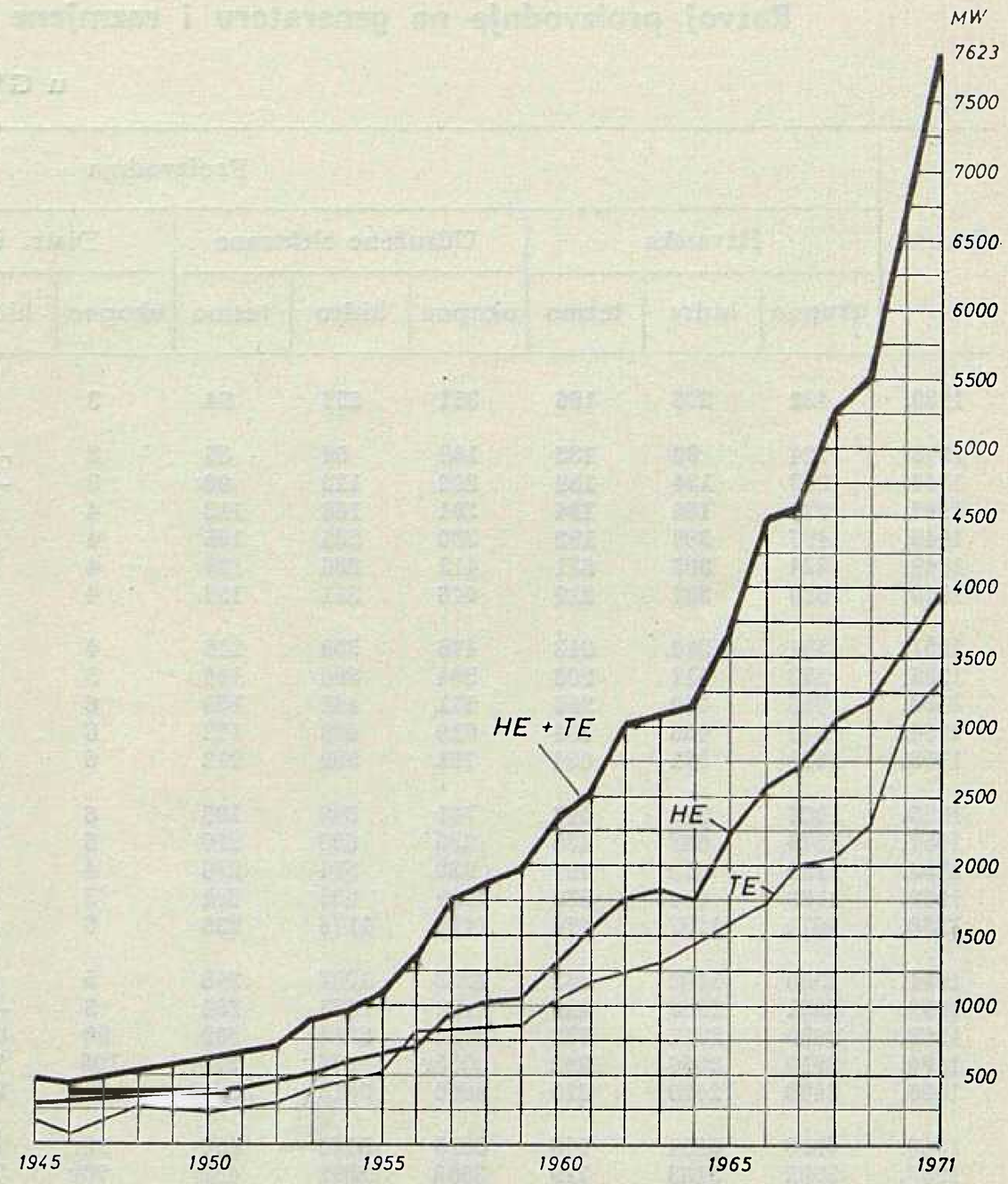
Pregled bruto proizvodnje električne energije 1971. po republikama

u GWh [1] Tablica 5

Republika	Ukupno			Hidroelektrane			Termoelektrane		
	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale
Hrvatska	4.952	4.606	346	3.228	3.152	76	1.724	1.454	270
Područje Split	1.702	1.622	80	1.662	1.622	40	40	—	40
Rijeka	1.438	1.359	79	972	961	11	466	398	68
Zagreb	1.812	1.625	187	594	569	25	1.218	1.056	162
B i H	6.374	5.782	592	3.469	3.360	102	2.905	2.415	490
Crna Gora	891	791	99	818	791	27	73	—	73
Makedonija	1.197	1.029	168	1.084	1.011	73	113	18	95
Slovenija	4.439	4.106	334	2.065	1.945	120	2.374	2.161	213
Srbija	11.652	10.801	851	4.976	4.891	85	6.676	5.910	766
SFRJ	29.505	27.115	2.390	15.640	15.156	483	13.865	11.958	1.907



Sl. 3 Kretanje ukupne proizvodnje električne energije u SFRJ 1945—1971.



Sl. 5 Razvoj elektroprivrede Hrvatske 1945—1971. u GWh [1]

Specifična neto proizvodnja i potrošnja električne energije u Jugoslaviji 1965. do 1971.

kWh po stanovniku [1]

Tablica 6

Područje	1965.		1966.		1967.		1968.		1969.		1970.		1971.	
	Proizvodnja	Potrošnja	Proizvodnja	Potrošnja	Proizvodnja	Potrošnja	Proizvodnja	Potrošnja	Proizvodnja	Potrošnja	Proizvodnja	Potrošnja	Proizvodnja	Potrošnja
Hrvatska	771r	749r	906r	814r	890r	872r	916r	964r	1 011	1 055	1 036	1 271	1 096	1 317
Područje Split	2 845	1 294	2 541	1 444	2 430	1 609	2 210	1 639	2 460	1 632	2 276	1 856	2 089	1 830
Područje Rijeka	618	1 322	2 330	1 356	2 261	1 384	2 560	1 461	2 970	1 524	3 190	2 001	2 457	1 626
Područje Zagreb	287	555	308	615	326	679	398	749	341	832	401	1 012	566	1 118
B i H	850	517	915	518	1 015	526	1 201	639	1 255	659	1 466	783	1 640	923
Crna Gora	1 692	551	1 766	567	1 572	582	1 769	720	2 060	786	1 891	1 114	1 637	1 160
Makedonija	389	518	418	580	513	659	436	965	550	1 105	748	1 207	734	1 505
Slovenija	2 177	1 927	2 137	2 089	2 197	2 194	2 354	2 451	2 600	2 520	2 075	2 803	2 472	2 962
Srbija	506	484	587	532	694	598	778	718	807	775	972	973	1 297	1 079
Jugoslavija	796	679	870	733	937	794	1 024	883	1 100	978	1 216	1 168	1 379	1 305

Specifična bruto proizvodnja električne energije u Jugoslaviji po stanovniku

kWh po stanovniku [4]

Tablica 7

Godina	SFRJ	B i H	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
1939	75	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
1946	75	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
1950	147	91	15	130	37	636	89
1955	247	219	59	253	94	1 014	132
1960	484	561	304	404	295	1 692	290
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

Razvoj proizvodnje na generatoru i razmjene električne energije SR Hrvatske 1939—1971.

u GWh [1]

Tablica 8

Godina	Proizvodnja												Ukupna razmjena (saldo)			Dobava svega
	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	56	—	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.	1139	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	2811
1963.	3089	2311	778	2792	2212	580	90	83	7	207r	16r	191r	286	348	—62	3375
1964.	2910	2068	842	2555r	1976r	579r	106	74	32	249r	18r	231r	519	558r	—39	3429r
1965.	3430	2620	810	3040	2513	527	90r	86	4r	300r	21	279r	374	413r	—39	3804r
1966.	4000	3254	746	3616	3158	458	80r	77r	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

* Od 1965. uključeno 22% sistema HE Trebišnjice

RAZMJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Međurepublička razmjena električne energije 1971.

u MWh [4]

Tablica 9

Primila / Predala	Ukupno	B i H	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
Ukupno	4 942 466	141 473	76 080	2 128 851	1 250 416	992 853	352 793
B i H	2 495 365	—	14 378	2 023 024	—	326 571	131 392
Crna Gora	313 486	8 972	—	47 523	—	48 895	2 080 096
Hrvatska	587 241	2 853	—	—	—	584 388	—
Makedonija	13 305	—	—	—	—	—	13 305
Slovenija	33 484	—	—	33 484	—	—	—
Srbija	1 499 585	129 648	61 702	24 820	1 250 416	32 999	—

Razmjena između područja unutar Hrvatske

u MWh [1]

Tablica 10

Godina	Split			Rijeka			Dubrovnik	Zagreb
	daje	prima	saldo	daje	prima	saldo	daje	prima
1965.	—	—	—	—	—	—	53 904	53 904
1966.	688 723	16 465	672 258	309 946	184 983	124 963	174 522	971 743
1967.	763 610	19 863	743 747	452 181	222 894	229 287	156 357	1 129 391
1968.	422 680	80 823	341 857	476 431	39 679	436 752	328 697	1 107 306
1969.	541 961	9 711	532 250	666 311	1 962	664 349	425 325	1 621 924
1970.	397 780	57 158	340 622	817 467	120 497	669 970	457 907	1 495 499
1971.	707 083	69 211	637 872	502 524	29 890	472 643	435 712	1 546 218

Razmjena između područja unutar Hrvatske vodi se tek od osnivanja združenih poduzeća u Splitu, Rijeci i Zagrebu 1966. godine.

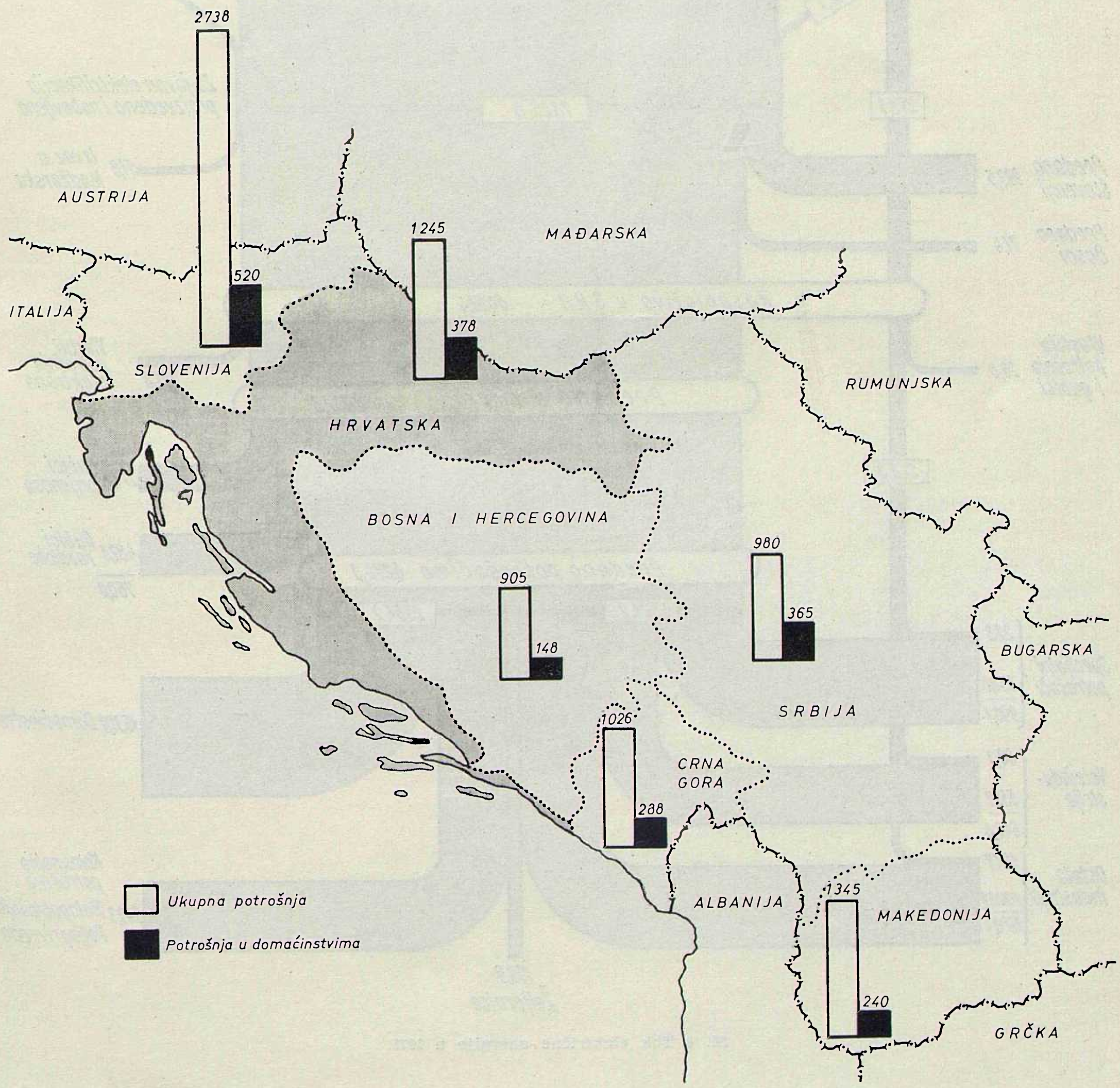
Razvoj razmjene električne energije SRH

[2]

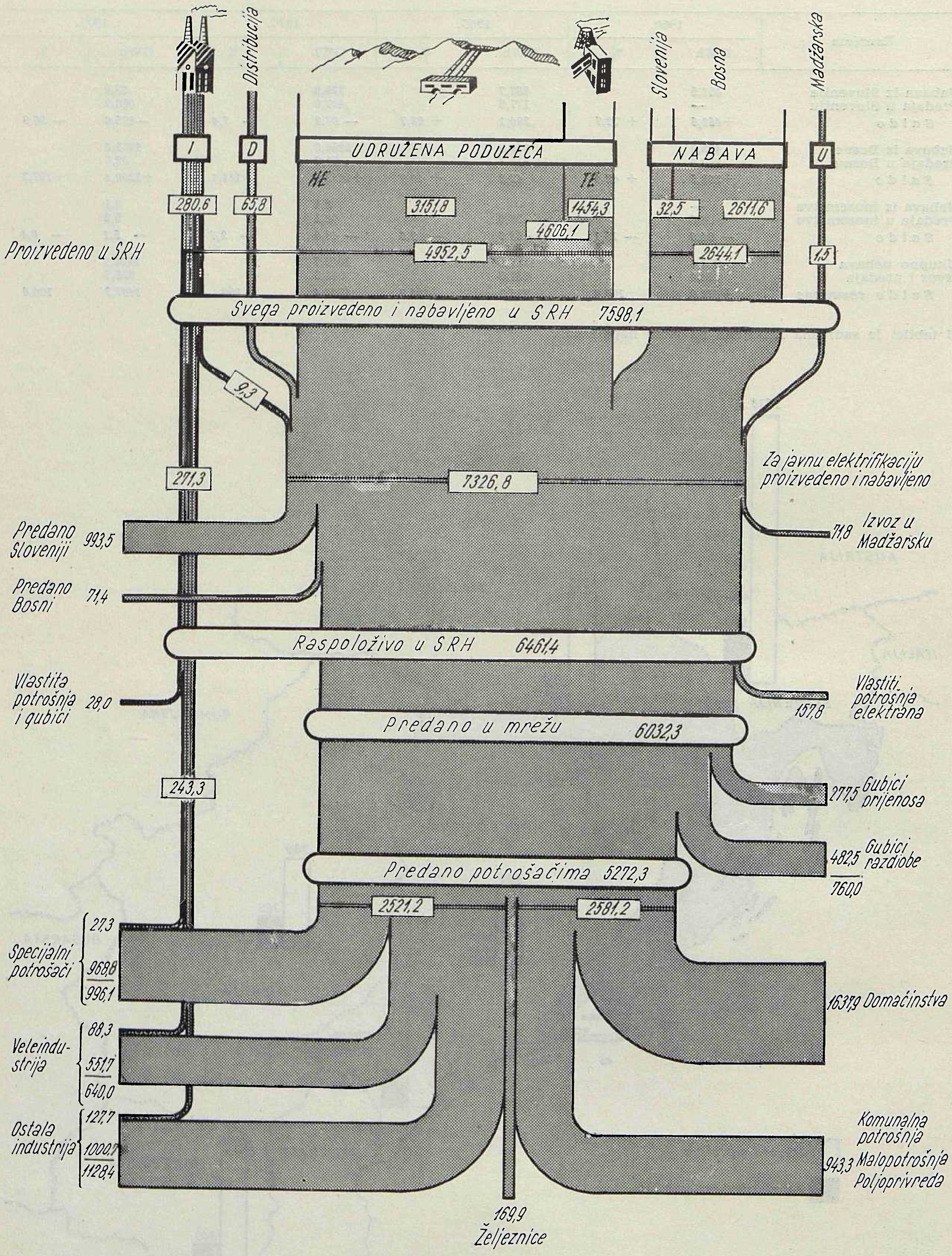
Tablica 11

Razmjena	1960.		1965.		1970.		1971.	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%
Nabava iz Slovenije	452,5		567,7		324,8		33,3	
Predaja u Sloveniju	—		177,6		422,0		868,9	
Saldo	*+452,5*	*+ 72,7*	*390,1*	*+ 98,7*	*— 97,2*	*— 7,4*	*—835,6*	*— 56,9*
Nabava iz Bosne	473,9		458,9		1254,8		2371,0	
Predaja u Bosnu	210,4		415,7		71,2		62,6	
Saldo	*+263,5*	*+ 42,4*	*43,2*	*+ 10,9*	*+1453,6*	*+111,1*	*+2308,4*	*+157,3*
Nabava iz inozemstva	—		—		0,1		0,1	
Predaja u inozemstvo	94,0		38,0		48,1		5,2	
Saldo	*— 94,0*	*— 15,1*	*— 38,0*	*— 9,6*	*— 48,0*	*— 3,7*	*— 5,1*	*— 0,4*
Ukupno nabava	926,4		1026,6		1849,7		2404,4	
Izvoz i predaja	304,4		631,3		541,3		936,7	
Saldo razmjene	*+622,0*	*100,0*	*395,3*	*100,0*	*1308,4*	*100*	*1467,7*	*100,0*

U tablici je sadržana razmjena na svim naponima.



Sl. 5 Potrošnja električne energije Jugoslavije po stanovniku u 1971.



Sl. 6 Tok električne energije u 1971.

Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije u Jugoslaviji

u GWh [4] Tablica 12

	1960.	1965.	1970.	1971.
Proizvodnja na generatoru	8 962	15 523	26 023	29 509
Potrošnja u elektranama	317	643	1 256	1 484
Proizvodnja na pragu elektrane	8 645	14 880	24 767	28 025
Uvoz	30	498	361	104
Gubici prijenosa i razvoda	1 221	2 016	2 980	3 220
Raspoloživo za potrošnju	7 453	13 362	22 148	24 909
Izvoz	123	104	152	266
Domaćinstva (osvjetljenje i aparati)	1 271	2 876	6 082	6 911
Poslovne i društvene prostorije	259	620	968	871
Motori i aparati ostalih potrošača	266	544	928	1 083
Javna rasvjeta	79	158	242	279
Vodovod	121	187	273	310
Tramvaji i trolejbusi	56	75	80	73
Elektroželjeznička vuča	34	103	301	460
Poljoprivreda	—	83	168	301
Industrija i građevinarstvo	5 245	8 612	12 954	14 355
Od toga elektrometalurgija i elektrokemija	(1 863)	(3 361)	(5 259)	(5 799)

Proizvodnja i potrošnja električne energije Udružene elektroprivrede Hrvatske

u MWh [1] Tablica 13

Godine	1965.	1966.	1967.	1968.	1969.	1970.	1971.
Proizvodnja na generatoru	3 039 571	3 615 920	3 580 555	3 707 099	4 154 663	4 362 092	4 606 147
Vlastiti potrošak	78 162	62 693r	64 129r	65 489	51 537	89 996	156 548
Proizvodnja na pragu	2 961 409	3 553 227r	3 516 426r	3 641 610	4 103 126	4 272 096	4 449 599
Razmjena saldo	+360 938	+163 392	+505 473r	809 595r	+ 900 756	+1 302 564	+1 503 437
sa Slovenijom	+389 969	—158 216	—249 712	— 326 471	— 153 510	— 99 675	— 960 733
sa Bosnom	+ 10 347	+337 897	+741 292r	+1 137 522r	+1 070 816	+1 450 290	+2 534 449
sa inozemstvom	— 39 377	— 16 289	+ 13 893	— 1 459	— 16 550	— 48 051	— 70 279
Nabava od:							
distributivnih elektrana	9 109	—	—	—	—	—	—
industrijskih elektrana	12 072	—	6 365	—	6 375	2 842	4 804
Razmjena i nabava, ukupno	382 119	163 392	511 838r	809 595r	907 131	1 305 406	1 508 241
Ukupno raspoloživo	3 343 528	3 716 619r	4 028 264r	4 451 205r	5 010 257	5 577 502	5 957 840
Predano:							
distributivnim poduzećima	2 512 910	2 755 609	3 026 526r	3 319 450r	3 726 509	4 219 109	4 596 338
direktnim potrošačima	602 152	726 699	790 811	907 025	1 002 755	1 088 536	1 084 034
Svega predano	3 115 062	3 482 308r	3 817 337	4 226 475r	4 729 264	5 307 645	5 680 372
Gubici u prijenosu na 220 i 110 kV	228 466	234 311r	210 927r	224 730r	280 993	269 857	277 468
Ukupno predano	3 343 528	3 716 619	4 028 264	4 451 205	5 010 257	5 577 502	5 957 840

Količine označene sa »+« Udružena elektroprivreda Hrvatske prima, a označene sa »—« predaje.

Bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije distributivnih poduzeća Hrvatske

u GWh [1] Tablica 14

Godine	1965.	1966.	1967.	1968.	1969.	1970.	1971.
Proizvodnja distrib. elektrana — ukupno na generatoru	89 700r	76 593r	69 691r	77 463	84 514	73 394	65 776
od toga HE	86 005r	74 021r	69 670r	77 442	84 335	73 394	65 776
TE	3 695r	2 572	21r	21	179	—	—
Vlastiti potrošak, ukupno	1 912r	1 567	989r	1 415	1 236	1 270	1 305
od toga HE	1 665r	1 339	989r	1 415	1 236	1 270	1 305
TE	247	228	2r	—	—	—	—
Neto proizvodnja: HE	84 340r	72 682r	68 683r	76 027	89 099	72 124	64 471
TE	3 448r	2 344	19r	21	179	—	—
Svega na pragu	87 788r	75 026	68 702	76 048	83 278	72 124	64 471

nastavak tablice 14

Godine	1965.	1966.	1967.	1968.	1969.	1970.	1971.
Nabava od:							
udruž. poduzeća	2 512 910	2 755 609	3 026 526	3 319 450r	3 726 509	4 219 109	4 596 338
saldo direktne nabave	19 063r	13 298r	10 932r	10 121r	7 029	8 891	9 850
Ukupna nabava	2 531 973r	2 768 907r	3 037 458r	3 329 571r	3 733 538	4 228 000	4 606 218
Ukupno raspoloživo	2 619 761r	2 843 933r	3 106 160r	3 405 619r	3 816 816	4 300 124	4 670 689
Predano potrošačima	2 344 869r	2 507 787r	2 722 628r	3 019 450r	3 390 984	3 794 267	4 188 167
Gubici u mreži distribucije	274 892r	336 146r	383 532r	386 169	425 832	505 857	482 492
Ukupno predano:	2 619 761r	2 843 933r	3 106 160r	3 405 619r	3 816 816	4 300 124	4 670 659

Struktura potrošnje električne energije u Hrvatskoj 1971. po vrstama potrošnje i područjima

(uključeni gubici u distributivnoj mreži)

u MWh [1]

Tablica 15

Područje	Industrija		Domaćinstvo	Ostala potrošnja		Gubici u distribut. mreži		Ukupno
	visoki napon	niski napon		Visoki napon	niski napon	MWh	%	
Potrošnja distribucije*								
Elektrodalmacija	240 070	21 131	396 665	49 227	179 630	110 349		997 072
Područje SPLIT	240 070	21 131	396 665	49 227	179 630	110 349		997 072
Elektroprimorje	189 232	9 062	172 760	20 217	80 665	48 252		520 188
Elektroistra	97 082	5 522	95 495	19 506	49 104	25 517		292 226
Elektrolika	14 891	838	14 066	2 962	7 455	5 707		45 919
Područje RIJEKA	301 205	15 422	282 321	42 685	137 224	79 476		858 338
Elektra, Zagreb	546 916	44 984	652 421	35 611	399 737	196 315		1 875 974
Elektra, Karlovac	27 283	26 372	49 988	25 801	26 061	14 902		170 407
Elektra, Sisak	38 217	4 856	23 633	14 132	43 152	17 709		141 699
Elektroslavonija	206 329	8 508	232 914	40 026	75 656	63 714		627 174
Područje ZAGREB	818 745	84 720	958 946	115 570	544 606	292 667		2 815 254
SRH — DISTRIBUCIJA	1 360 020	121 273	1 637 932	207 482	861 460	482 492		4 670 659
Direktni potrošači								
Područje SPLIT	549 602			6 208				555 810
Područje RIJEKA	42 257			—				42 257
Područje ZAGREB	376 934			109 033				485 967
SRH — DIREKTNI	968 793			115 241				1 084 034
Ukupna potrošnja elektroprivrede								
Područje SPLIT	789 672			55 435				1 552 882
Područje RIJEKA	343 462			42 685				900 590
Područje ZAGREB	1 195 679			230 658				3 301 221
Svega	2 328 813			322 723				5 754 693
Ukupno po vrstama potroška u %	40,5	2,1	28,4	5,6	15,0	8,4		100,0
Potrošak industrijskih elektrana								
Područje SPLIT		26 935						26 935
Područje RIJEKA		65 070						65 070
Područje ZAGREB		151 299						151 299
SRH — INDUSTR. ELEKTRANE		243 304						243 304
Ukupan potrošak u Republici, uključivo gubici u distributivnoj mreži								
Područje SPLIT								
Područje RIJEKA								
Područje ZAGREB								
SVEGA	2 328 813	364 577	1 637 932	322 723	861 460	482 492		
SRH — SVEUKUPNO PO VRST. POTROŠKA	2 693 390			1 184 183		482 492		5 997 997
— u postocima %	44,9		27,3	19,9		8,1		100 %

Razvoj neto specifične proizvodnje i neto specifične potrošnje

[1] Tablica 16

Godina	Stanovništvo × 1000	Proizvodnja u Hrvatskoj GWh	Potrošnja u Hrvatskoj GWh	Specifična proizvodnja kWh/stanovnik	Specifična potrošnja kWh/stanovnik
1939.	4 062	432	422	106	104
1945.	3 674*	224	255	61	69
1946.	3 722*	273	342	73	92
1947.	3 758	379	435	101	126
1948.	3 700	497	565	131	149
1949.	3 820	524	627	137	164
1950.	3 851	556	669	144	174
1951.	3 882	591	732	152	188
1952.	3 913	623	741	159	189
1953.	3 946	716	783	181	198
1954.	3 978	810	844	204	212
1955.	4 013	1 025	1 076	255	268
1956.	4 040	1 007	1 180	249	292
1957.	4 067	1 076	1 404	264	345
1958.	4 089	1 169	1 577	268	384
1959.	4 115	1 392	1 767	338	429
1960.	4 140	1 671	1 943	404	469
1961.	4 169	1 555	2 132	373	511
1962.	4 198	2 234	2 380	555	567
1963.	4 229	2 948r	2 853r	697r	677
1964.	4 252	2 793r	2 903r	657r	683r
1965.	4 281	3 308r	3 204r	772r	749r
1966.	4 312	3 903r	3 508r	906r	814r
1967.	4 340	3 861r	3 783r	889r	872r
1968.	4 364	3 996r	4 200r	917r	964r
1969.	4 406	4 447r	4 650r	1 009r	1 055
1970.	4 411	4 692	5 596	1 043	1 269
1971.	4 346	4 767	5 723	1 096	1 317

* Procjena stanovništva za ove dvije godine provedena grafičkom ekstrapolacijom.

Stanovništvo prema podacima Statističkog godišnjaka Elektroprivrede SFRJ 1970., Beograd.

Bilanca električne energije udružene Jugoslavenske elektroprivrede 1971.

u MWh [4] Tablica 17

	Elementi energetske bilance	SFRJ	B i H	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
Proizvodnja i nabava energije	1. Ukupna bruto proizvodnja	27 114 800	5 782 236	791 347	4 606 147	1 029 231	4 105 437	10 800 402
	a) ukupna proizvodnja udruženih HE	15 156 762	3 367 398	791 347	3 151 849	1 011 358	1 945 195	4 889 615
	b) ukupna proizvodnja udruženih TE	11 958 038	2 414 838	—	1 454 298	17 873	2 160 242	5 910 787
	2. Ukupna vlastita potrošnja	1 267 001	229 464	13 703	156 548	5 191	221 819	640 276
	a) vlastita potrošnja HE	75 670	17 924	13 703	13 961	3 253	11 837	14 992
	b) potrošnja za pumpanje vode u akumulacioni bazen	—	—	—	—	—	—	—
	c) vlastita potrošnja TE	1 191 331	211 540	—	142 587	1 938	209 982	625 284
	3. Ukupna neto proizvodnja	25 847 799	5 552 772	77 644	4 449 599	1 024 040	3 883 618	10 160 126
	a) neto proizvodnja udruženih HE	15 081 092	3 349 474	777 644	3 137 888	1 008 105	1 933 358	4 874 623
	b) neto proizvodnja udruženih TE	10 766 707	2 203 298	—	1 311 711	15 935	1 950 260	5 285 503
	4. Ukupno primljena energija od drugih prijenosnih poduzeća	25 847 799	5 552 772	777 644	2 603 605	1 250 415	992 889	352 793
	5. Ukupno nabavljena energija od distributivnih elektrana	3 700	—	—	3 700	—	—	—
	6. Ukupno nabavljena energija od ind. elektrana	5 965	—	330	4 804	—	—	831
	7. Ukupan uvoz energije iz inozemstva	104 180	785	—	1 494	15 269	14 625	72 007
	8. Ukupno raspoloživa energija	31 281 683	5 572 279	879 589	7 063 202	2 289 724	4 891 132	10 585 757
Raspodjela energije	9. Ukupno prodana energija drugim prijenosnim poduzećima	(5 361 553)	(2 376 526)	(339 143)	(1 100 839)	(13 304)	(32 156)	(1 499 585)
	10. Ukupno prodano distributivnim poduzećima	18 108 260	1 952 228	380 653	4 596 338	980 453	3 110 990	7 087 598
	11. Ukupno prodana energija direktnim potrošačima	6 218 493	935 970	144 412	1 084 034	1 215 055	1 604 665	1 234 357
	12. Ukupan izvoz energije u inozemstvo	265 844	67 308	—	4 523	10 317	23 325	160 371
	13. Ukupno isporučena energija	24 592 597	2 955 506	525 065	5 684 895	2 205 825	4 738 980	8 482 326
	14. Gubici energije u prijenosu	1 327 533	240 247	15 381	277 468	70 595	119 996	603 846

Potrošnja električne energije u Hrvatskoj

[2]

Tablica 18

Potrošači	1960. GWh	1960. %	1965.* GWh	1965.* %	1970. GWh	1970. %	1971. GWh	1971. %
Elektrokemija	183,6	8,0	230,1	6,1	494,8	8,2	449,6	7,0
Elektrometalurgija	289,7	12,6	270,6	7,1	326,0	5,4	313,8	4,9
Ostali ind. dir. pot.	95,8	4,2	101,5	2,7	180,7	3,1	182,6	2,8
Dir. ind. potr. ukupno	569,1	24,8	602,2	15,9	1001,5	16,7	946,0	14,7
Neindustr. dir. potroš.	—	—	—	—	87,0	—	119,1	—
Ugljenokopi	21,1	0,9	6,2	0,1				
Cementare	117,2	5,1	116,0	3,1	1333,3	22,2	1421,9	22,2
Ostala industrija	333,4	14,5	871,3	20,6				
Industr. vlast. snabd.	212,4	9,3	(279,6)	—	250,9	4,2	280,8	4,4
Ukupna industrija	*1253,2*	*54,6*	*1505,7*	*39,7*	*2585,7*	*43,1*	*2648,7*	*41,3*
Električne željeznice	20,7	0,9	53,5	1,4	140,0	2,3	198,5	3,1
Domaćinstva	409,2	17,8	842,6	22,3	1496,8	24,9	1622,5	25,3
Komunalna potrošnja	165,2	7,2	148,8	3,9				
Poljoprivreda	9,1	0,4	16,0	0,5	911,1	15,2	987,5	15,3
Ostali	67,5	3,0	380,5	10,0				
Široka potrošnja	651,0	28,4	1441,4	38,1	2407,9	40,1	2808,5	43,7
Ukupno potrošači	*1924,9*	*83,9*	*2947,1*	*77,8*	*5133,6*	*85,5*	*5457,2*	*85,0*
Vlastit potrošnja	61,5	2,7	76,5	2,0	91,3	1,5	156,4	2,4
Gubici razvoda	175,9	7,7	274,9	7,3	505,9	8,5	548,9	8,6
Potrošnja u SRH	*2162,3*	*94,3*	*3298,5*	*87,1*	*5730,8*	*95,5*	*6162,5*	*96,0*
Gubici prijenosa	131,0	5,7	487,7*	12,9	269,9	4,5	254,6	4,0
Raspoloživo bruto	*2293,3*	*100,0*	*3786,2*	*100,0*	*6000,7*	*100,0*	*6417,1*	*100,0*

Pojedine stavke su djelomično procijenjene. 1965.* u gubitke prijenosa (262,8) uključena prodaja izvan SRH

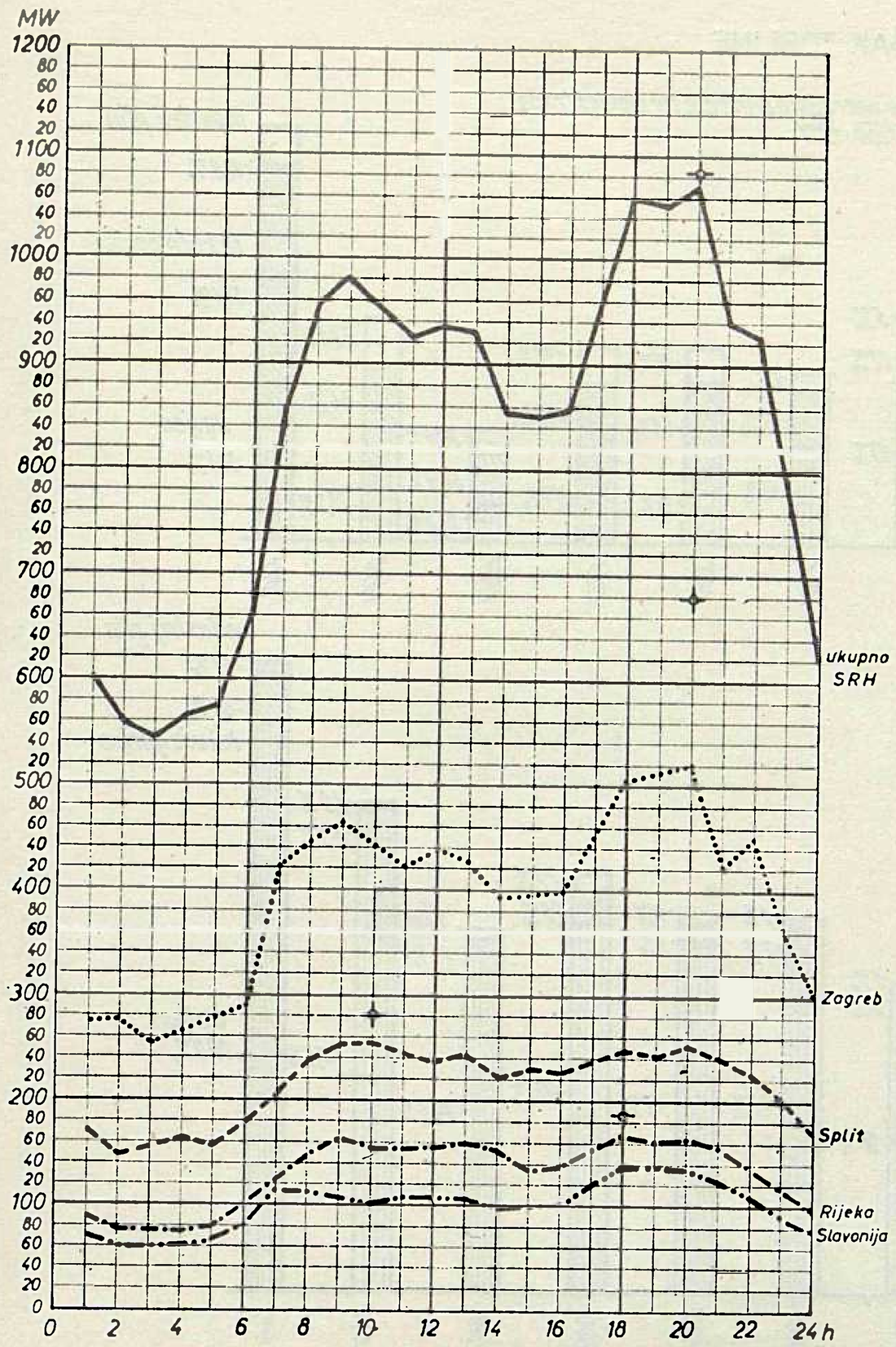
Potrošnje električne energije SR Hrvatske prema tehnološkoj namjeni[1]

u MWh [3]

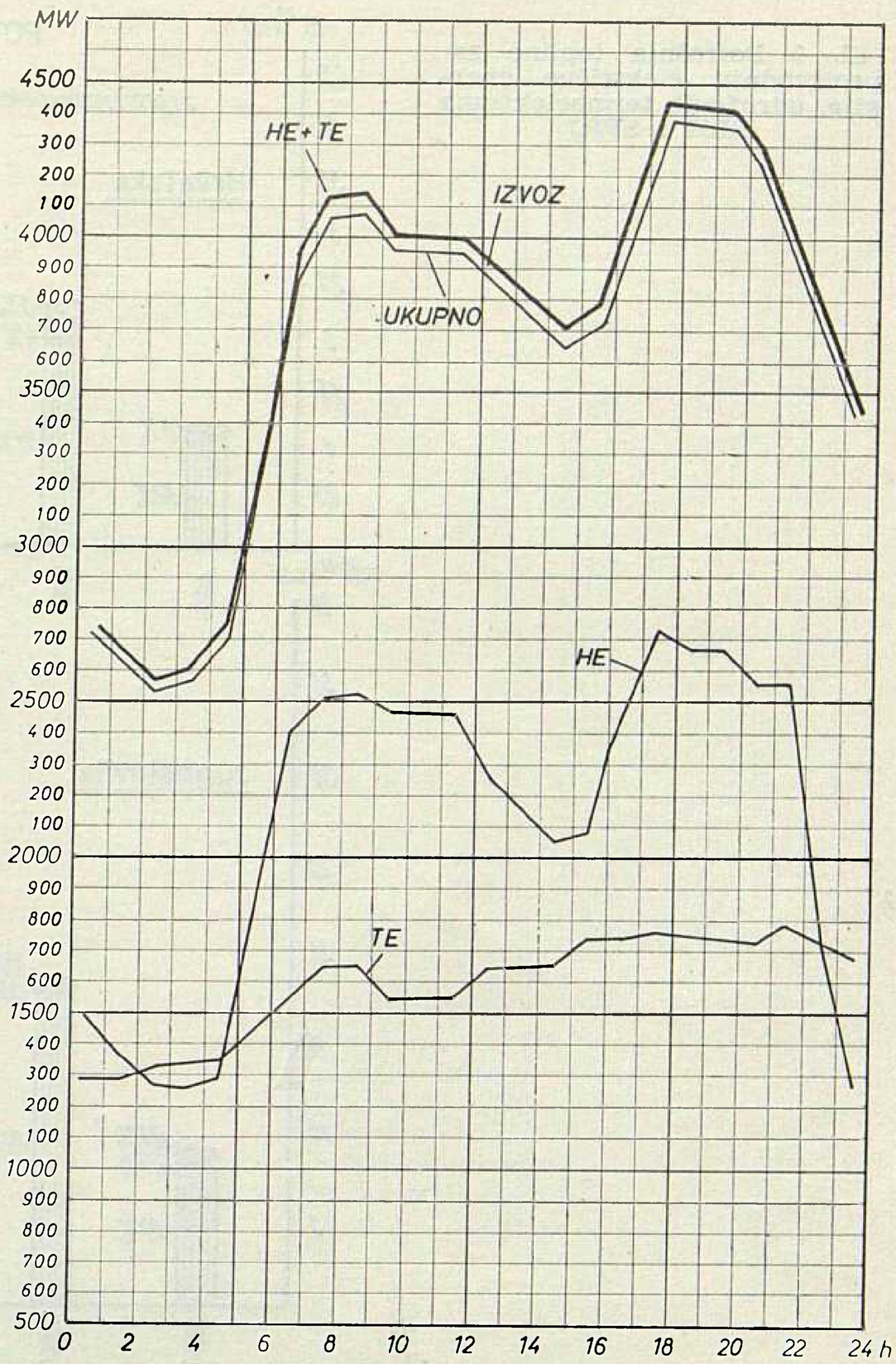
Tablica 19

	Ukupno	Za termičke svrhe	Za elektrolizu i galvanizaciju	Za elektromotore	Ostalo
		1965			
UKUPNO	1 954 747	401 992	153 412	1 284 849	114 494
Elektroenergija	83 735	3 540	—	73 546	6 649
Ugljen i prerađevine	97 728	368	—	95 489	1 871
Nafta iprerađevine	82 609	230	—	74 715	7 664
Crna metalurgija	90 154	21 998	—	62 296	5 860
Obojena metalurgija	258 310	114 760	101 648	40 404	1 498
Nemetali	43 442	14 170	33	27 339	1 900
Metalna industrija	146 285	39 510	4 422	86 281	16 072
Brodogradnja	57 535	2 150	20	50 564	4 801
Elektroindustrija	33 705	6 899	1 187	21 343	4 276
Kemijska industrija	350 874	181 748	45 187	117 840	6 099
Građevni materijal	165 520	1 617	—	159 291	4 612
Drvna industrija	64 457	1 114	1	57 339	6 003
Industrija papira	99 906	160	—	92 270	7 476
Tekstilna industrija	159 429	6 748	—	134 038	18 643
Industrija kože i obuće	18 478	275	156	16 387	1 660
Industrija gume	23 620	2 370	24	15 841	5 385
Prehrambena industrija	142 940	2 640	520	128 424	11 356
Grafička industrija	13 368	1 497	84	9 890	1 897
Industrija duhana	1 347	18	—	1 035	294
Filmska industrija	494	—	—	346	148
Rudarska istraživanja	18 624	—	—	18 510	114
Ostala industrija	2 187	180	130	1 661	216
		1970			
UKUPNO	2 664 822	549 581	168 445	1 794 232	152 564
Elektroenergija	73 457	2 015	—	57 386	14 056
Ugljen i prerađevine	52 640	364	—	51 656	620
Nafta iprerađevine	166 106	2 409	—	152 225	11 472
Crna metalurgija	145 934	35 572	—	100 909	9 453
Obojena metalurgija	313 914	159 685	111 930	38 201	4 098
Nemetali	71 688	35 595	—	32 488	3 605
Metalna industrija	178 348	49 124	4 466	112 396	12 362
Brodogradnja	86 963	2 770	—	77 730	6 463
Elektroindustrija	49 078	10 315	2 041	32 162	4 560
Kemijska industrija	645 438	231 081	48 325	348 046	18 006
Građevni materijal	208 031	2 003	—	203 163	2 865
Drvna industrija	83 628	804	3	74 837	7 984
Industrija papira	111 117	327	—	101 511	9 279
Tekstilna industrija	206 001	6 892	—	182 210	16 899
Industrija kože i obuće	17 977	712	—	15 139	2 126
Industrija gume	33 473	2 166	90	22 404	8 813
Prehrambena industrija	179 806	5 194	1 095	158 595	14 932
Grafička industrija	16 775	2 272	162	11 232	3 109
Industrija duhana	2 454	109	—	1 826	519
Filmska industrija	416	32	—	218	166
Rudarska istraživanja	19 018	—	—	18 020	998
Ostala industrija	2 540	150	333	1 878	179

1 Izvjesna manja odstupanja od podataka objavljenih u ostalim tablicama posljedica su drugog izvora podataka, kao i činjenice da je raspored potrošnje električne energije po tehnološkoj namjeni najčešće dobiven na temelju procjene stručnjaka u poduzeću.



Sl. 7 Dnevni dijagram opterećenja za SRH, Srijeda 15. 12. 1971.



Sl. 8 Dnevni dijagram opterećenja za SFRJ, Srijeda 15. 12. 1971.

POTROŠNJA GORIVA U TERMOELEKTRANAMA

Potrošnja goriva u udruženim termoelektranama Jugoslavije

[4] Tablica 20

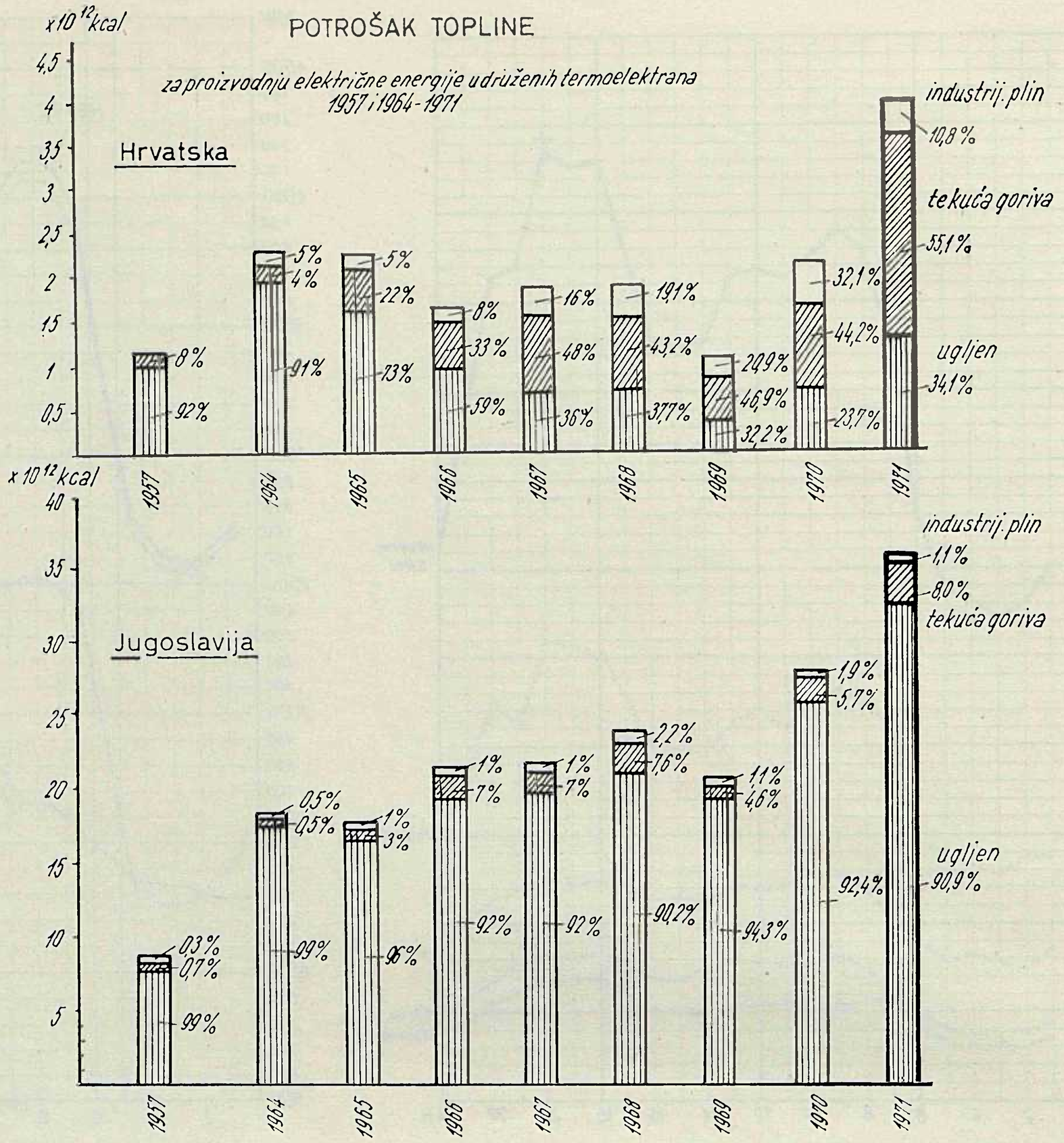
	Ugljen - tona				Tekuća goriva - tona	Prirodni plin u 000 Nm³
	ukupno	kameni	mrki	lignit		
1960	3 529 182	35 343	1 041 033	2 452 806	4 548	58 861
1965	7 769 741	18 482	1 649 573	6 101 686	49 378	74 285
1966	9 081 378	11 712	1 496 021	7 573 645	154 938	112 849
1967	8 936 287	13 923	1 692 459	7 229 905	148 667	76 858
1968	9 641 152	51 091	1 899 347	7 690 714	184 449	53 529
1969	9 192 455	26 630	1 821 527	7 344 298	102 768	35 823
1970	11 821 034	192 240	2 580 283	9 048 511	203 350	68 556
1971	14 921 590	250 808	2 781 331	11 889 451	284 029	49 619

Potrošnja goriva u Udruženim termoelektranama Hrvatske

[2] Tablica 21

Gorivo		1960.	1965.	1970.	1971.
Ugljen: kameni	t	33 234	12 861	91 484	200 100
mrki	t	32 143	8 142	—	—
lignit	t	391 324	662 196	75 975	92 325
Ukupno	t	457 201	683 199	167 459	292 425
Tekuće gorivo	t	2 854	47 188	96 580	222 797
Zemni plin	10³ Nm³	—	10 746	51 964	42 056
Svega kalorija	10⁶	1 066 130	2 168 020	2 119 571	3 584 848
kcal/kWh — prag		5 193	4 114	2 935	2 465
kg/kWh		2,3	1,70	1,2	. . .

Sl. 9 Potrošnja topline za proizvodnju električne energije, udruženih termoelektrana SRH i SFRJ

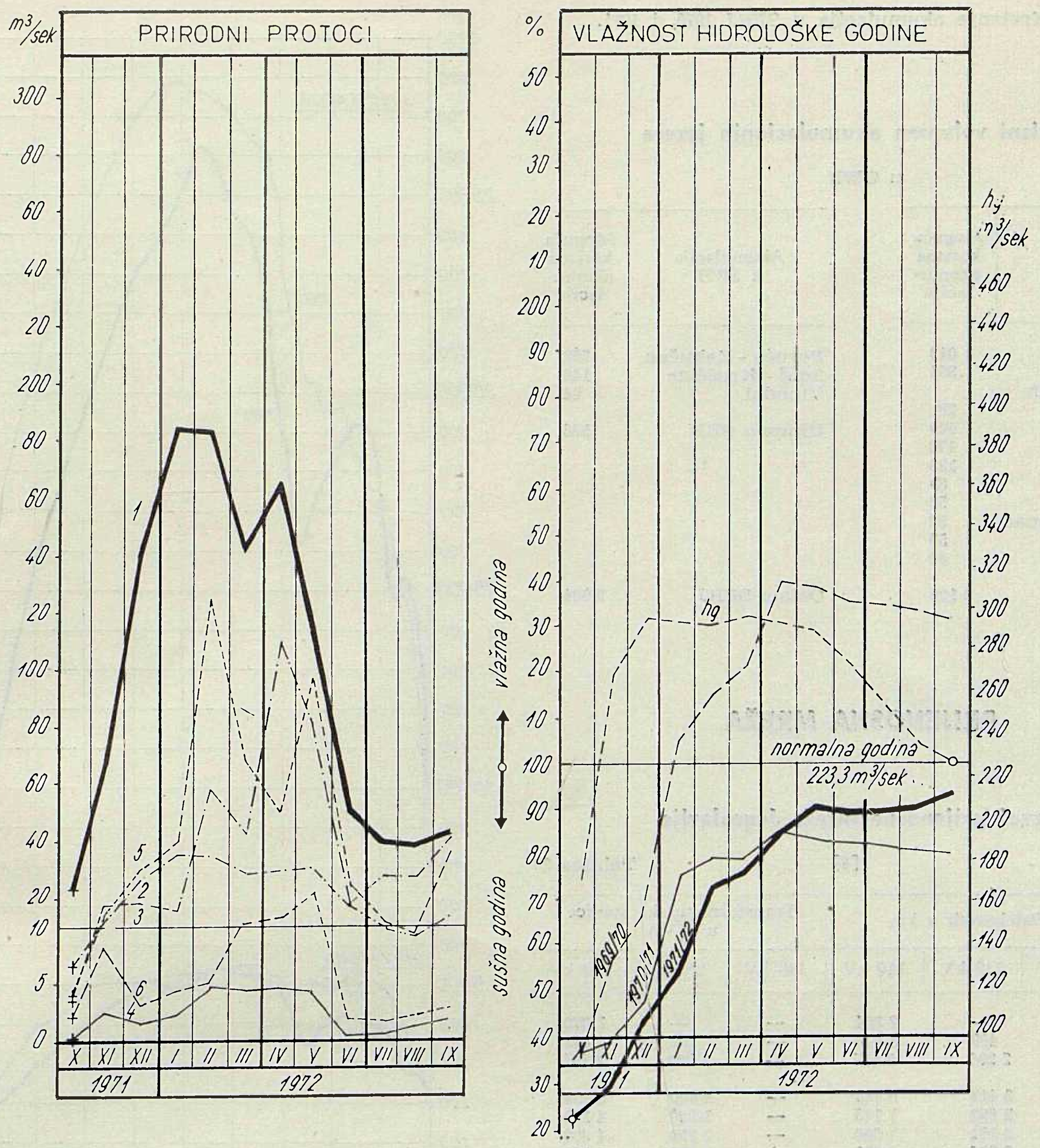


PROTOCI U HIDROELEKTRANAMA

Srednji mjesečni i godišnji prirodni protoci rijeka, u razdoblju 1970. do 1972.

m^3/sek. [1] Tablica 22

Vodotok	Godina	Prosjek	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Cetina profil Gard. Mlinica	1970.	150,7	348,2	234,2	242,9	369,9	194,4	94,9	42,0	28,3	22,5	21,0	88,6	121,6
	1971.	97,6	242,2	144,0	142,0	190,8	94,3	58,8	24,7	20,6	24,7	23,1	66,8	139,6
	1972.	—	182,5	181,4	141,9	163,9	113,1	49,6	39,5	38,0	42,6	—	—	—
Krka profil Mataše	1970.	28,6	49,9	39,5	46,0	86,7	32,0	18,5	11,2	8,6	7,6	6,4	13,5	23,2
	1971.	19,7	51,1	26,9	24,6	31,5	18,8	18,6	8,5	6,6	6,1	6,3	11,5	26,1
	1972.	—	34,1	33,7	28,5	28,7	29,7	16,2	9,9	9,3	12,9	—	—	—
Mrežnica + Dobra	1970.	39,1	83,7	69,8	59,2	118,3	46,8	9,7	6,9	18,6	4,4	25,8	11,6	14,7
	1971.	22,5	65,3	38,2	36,3	49,8	11,0	15,6	9,5	1,8	2,1	3,5	17,5	18,9
	1972.	—	14,6	57,4	42,4	109,0	81,2	17,1	27,2	27,5	50,1	—	—	—
Ličanka-Lokvarka Križ	1970.	3,3	7,3	5,2	5,2	8,8	1,5	0,5	0,9	0,5	0,3	0,7	6,1	3,1
	1971.	2,0	6,3	1,9	3,1	4,1	1,4	2,3	0,7	0,2	0,2	0,2	2,5	1,5
	1972.	—	2,2	4,6	4,4	4,5	4,2	0,4	0,6	1,5	2,4	—	—	—
Lika i Gacka	1970.	49,8	130,4	101,4	115,8	97,4	36,7	21,0	15,3	10,2	8,7	6,2	14,7	39,7
	1971.	28,3	81,9	51,5	36,6	58,3	26,6	15,6	9,2	7,2	6,0	3,6	14,1	28,8
	1972.	—	39,1	123,8	67,2	49,4	97,0	24,8	11,0	9,6	35,5	—	—	—
Rječina	1970.	9,3	20,5	6,8	10,6	19,9	14,9	6,9	2,9	2,1	2,5	0,9	16,1	8,1
	1971.	6,1	13,6	5,6	10,1	16,0	7,2	6,8	0,9	0	—	2,1	7,9	2,9
	1972.	—	3,9	5,1	11,0	12,8	21,6	2,1	1,7	2,2	3,1	—	—	—



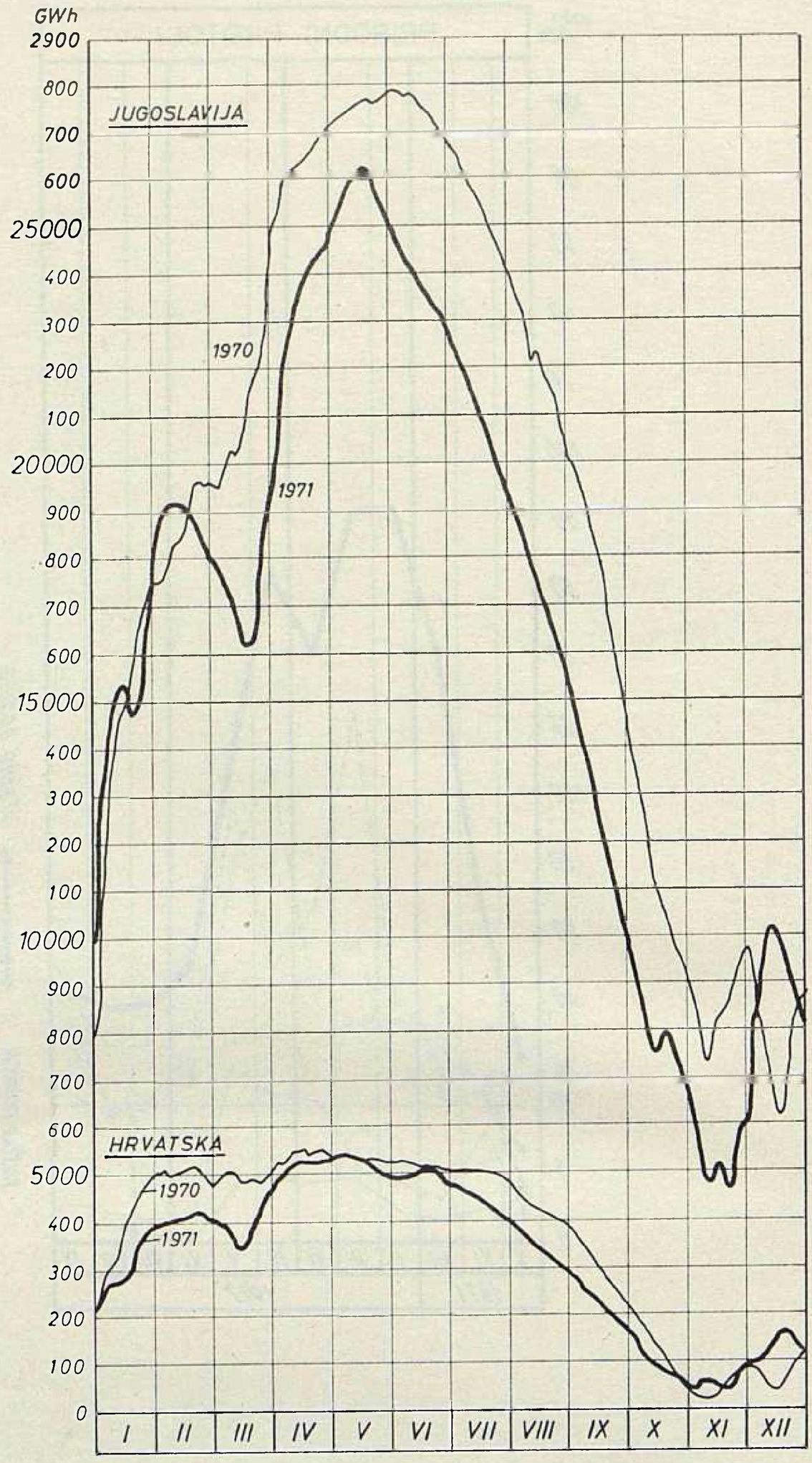
1 Cetina
2 Krka
3 Dobra - Mrežnica
4 Ličanka - Lokvarka
5 Lika - Gacka
6 Rječina

Vlažnost	Hidrološke godine 1970/71.			Hidrološke godine 1971/72.		
Vodotok:	Zimsko razdoblje	Ljetno razdoblje	Godišnje razdoblje	Zimsko razdoblje	Ljetno razdoblje	Godišnje razdoblje
Cetina	88,6%	94,8%	90,7%	85,6%	102,6%	91,3%
Krka	73,4%	74,6%	73,7%	70,4%	88,6%	77,1%
Dobra-Mrežnica	75,1%	68,7%	73,2%	59,6%	239,2%	120,6%
Ličanka-Lokvarka	63,6%	60,0%	62,5%	45,5%	92,0%	60,0%
Lika-Gacka	62,1%	81,3%	67,7%	73,7%	151,0%	96,3%
Rječina	82,0%	50,1%	67,0%	49,5%	72,3%	60,4%
Ukupno	78,8%	82,6%	80,1%	75,6%	126,0%	92,8%

Vlažnost se računa u postocima prosječnog hidrauliciteta, a ovaj je određen mjerenjem vodnih količina kroz 30 godina. Vlažnost se ustanovljuje za hidrološku godinu od 1. X do 30. IX iduće godine svakog mjeseca kumulativno od početka X mjeseca do razmatranog mjeseca.

Sl. 10. Hidraulicitet vodotoka u hidrološkoj godini 1971/1972.

Sl. 11. Kretanje akumulacija u SFRJ 1970. i 1971.



Korisni volumen akumulacionih jezera

u GWh

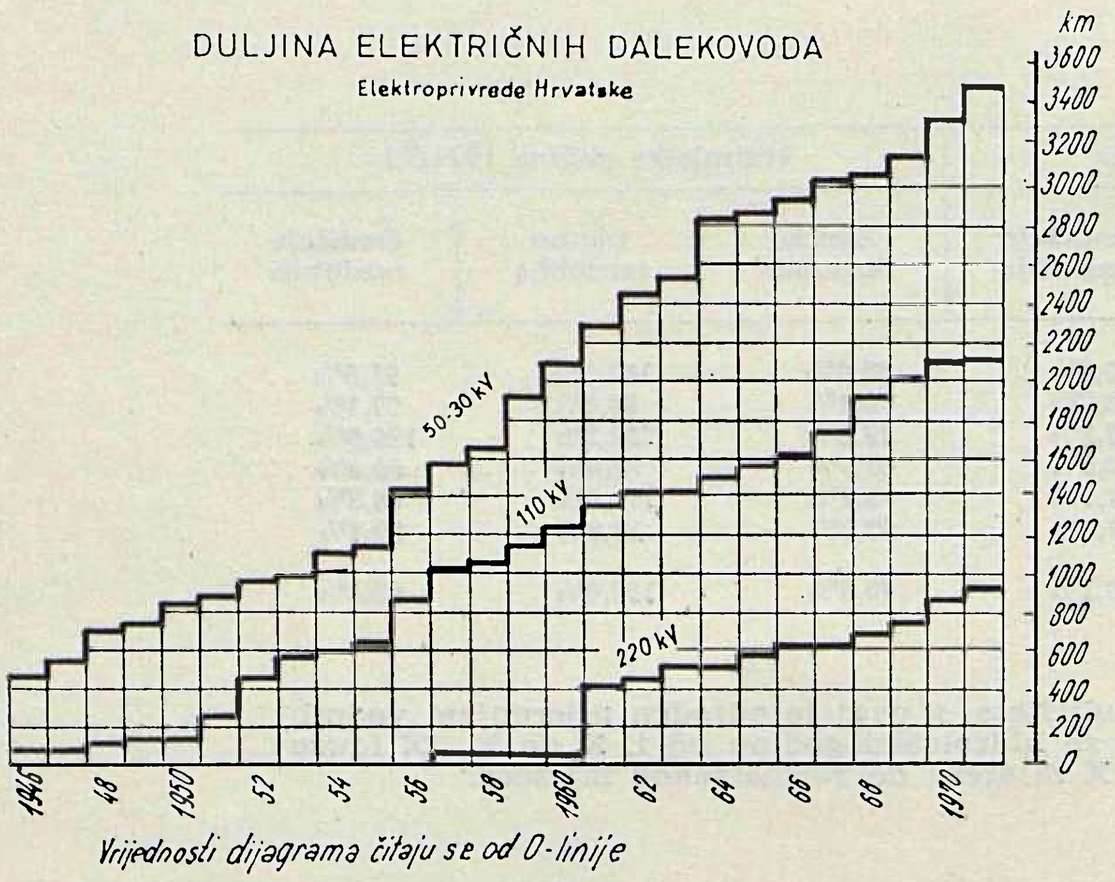
Akumulacija u SFRJ	Moguća korisna akomulacija	Akumulacija u SRH	Moguća korisna akumulacija
Bileća	1 013	Peruća - Zakučac	352
Mavrovo	365	Senj - Kruščica	140
Bistrica - Kokin Brod	201	Vinodol	44
Rama	400	Ukupno SRH	536
Vlasina	178		
Slano	138		
Vrtac	89		
Jablanica	58		
Perućica - Krupac	52		
Tikveš	50		
Špilje	40		
Svega SFRJ	3 120	Ostale SFRJ	2 584

PRIJENOSNA MREŽA

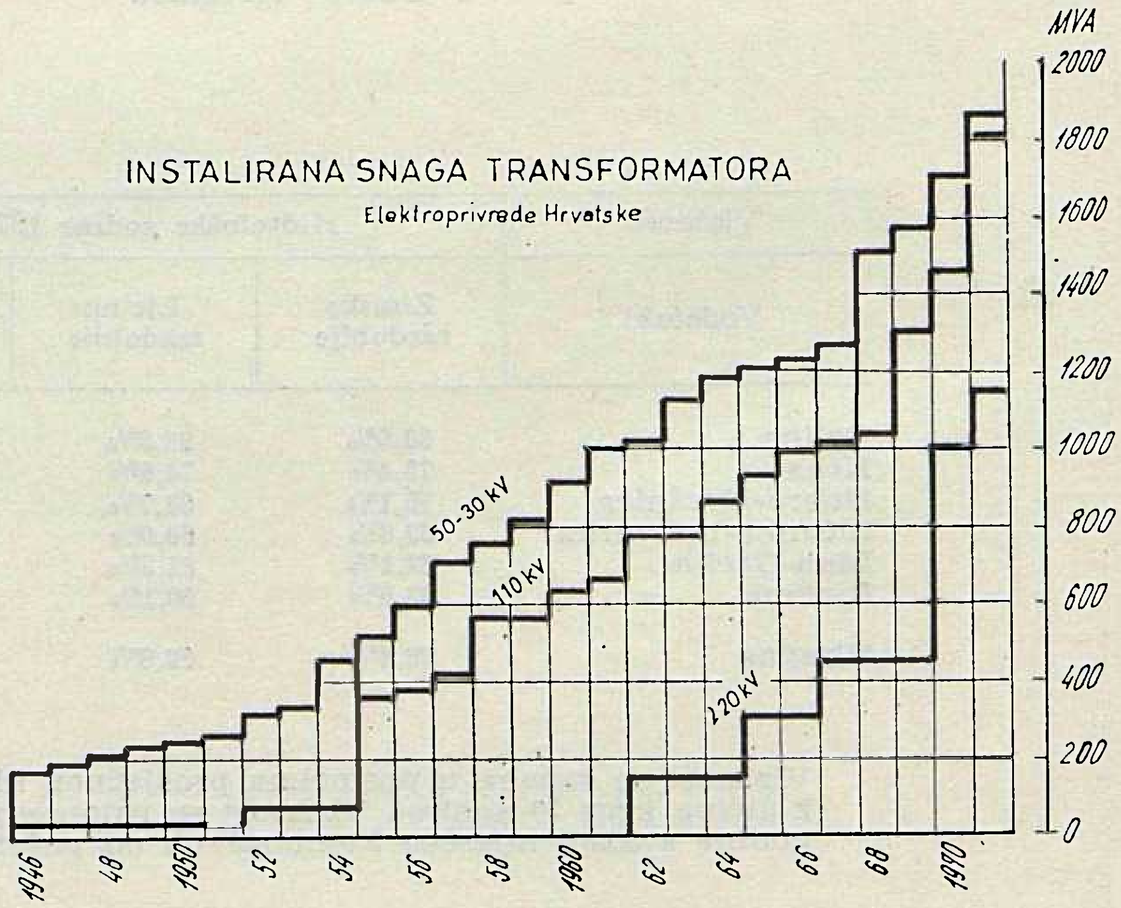
Razvoj prijenosne mreže Jugoslavije

[4] Tablica 23

	Dalekovodi u km			Transformatorske stanice u MVA		
	380 kV	220 kV	110 kV	380 kV	220 kV	110 kV
1955	—	—	2 884	—	—	1 070
1960	—	409	5 428	—	150	2 361
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	8 290	800	2 800	5 683
1971	286	4 050	8 950	1 100	4 550	7 974



Sl. 13. Duljina električnih dalekovoda elektroprivrede Hrvatske



Sl. 12. Instalirana snaga transformatora elektroprivrede Hrvatske

ELEKTRIFIKACIJA HRVATSKE

Elektrificiranost naselja i domaćinstava po područjima distributivnih poduzeća

Tablica 24

Područje poduzeća	Postotak elektrificiranosti													
	naselja %							domaćinstava %						
	1965.	1966.	1967.	1968.	1969.	1970.	1971	1965.	1966.	1967.	1968.	1969.	1970.	1971.
Elektrolika Gospić	—	—	—	—	—	—	85	—	—	—	—	—	—	73
Elektra Karlovac	67	72	76	84	89	92	98	63	67	74	76	80	84	94
Elektroslavonija Osijek	69	74	80	85	89	91	91	64	71	76	77	80	82	83
Elektroistra Pula	86	88	94	95	98	98	98	95	95	96	97	98	99	99,5
Elektroprimorje Rijeka	72	88	89	90	91	93	93	94	95	95	96	97	98	98
Elektra Sisak	67	72	84	88	94	96	97	56	60	65	68	74	79	80
Elektrodalmacija Split	65	67	72	78	84	88	90	71	75	78	81	88	89	92
Elektra Zagreb	93	95	97	97	99	99,7	99,8	87	89	89	92	96	96	97
SR Hrvatska	80	83	87	90	93	95	96	81	82	83	85	89	92	93

Pregled općina SR Hrvatske svrstanih po postotku elektrificiranosti domaćinstava

[1]

Tablica 25

Postotak elektrificiranosti domaćinstava												
0 – 75 %		76 – 85 %		86 – 95 %		96 – 99 %		99 – 100 %		100 %	
Obrovac	39	Drniš	77	Križevci	86	Biograd n/M	96	Z. Bistrica	99,1	Brač	100
Benkovac	50	Đakovo	77	Zadar	86	Duga Resa	96	Poreč	99,2	Dubrovnik	100
Gračac	57	Knin	78	Daruvar	88	Vis	96	Hvar	99,3	Dugo Selo	100
Senj	61	Pod. Slatina	78	Sinj	88	Čakovec	97	Klanjec	99,3	Jastrebarsko	100
Slunj	68	Županja	79	D. Miholjac	89	Čazma	97	Umag	99,3	Korčula	100
T. Korenica	71	Pag	81	N. Gradiška	90	Buje	98	Đurđevac	99,4	Omiš	100
Beli Manastir	73	Valpovo	81	Vrgorac	90	Čabar	98	Novigrad	99,4	Opatija	100
Donji Lapac	73	Vinkovci	81	Bjelovar	91	Delnice	98	Zabok	99,4	Ploče	100
Vrgin Most	73	Dvor	82	Garešnica	91	Ivanec	98	Krapina	99,5	Pula	100
Gospić	74	Našice	82	Virovitica	91	Lastovo	98	Varaždin	99,5	Rab	100
Glina	75	Sisak	82	Vojnić	91	Ludbreg	98	Labin	99,6	Rijeka	100
		Vukovar	82	Vrbovec	91	Ogulin	98	Rovinj	99,6	Samobor	100
		Otočac	83	Mali Lošinj	92	Split	98	Krk	99,7	Zagreb	100
		Sl. Požega	83	Metković	92	Trogir	98	D. Stubica	99,8	Zaprešić	100
		Kostajnica	84	Osijek	92	Vel. Gorica	98			Zelina	100
		Orahovica	84	Kutina	93	Buzet	99				
		Petrinja	84	Šibenik	93	Imotski	99				
		Sl. Brod	84	Novska	94	Karlovac	99				
		Grub. Polje	85	Pakrac	94	Makarska	99				
				Crikvenica	95	Novi Marof	99				
				Ivanić Grad	95	Pazin	99				
				Koprivnica	95	Vrbovsko	99				
				Ozalj	95						

ZAPOSLENO OSOBLJE U ELEKTROPRIVREDI

Zaposleno osoblje u udruženoj elektroprivredi i distribuciji Jugoslavije

[4]

Tablica 26

	1960.	1065.	1066.[1]	1967.[1]	1968.[1]	1969.[1]	1970.[1]	1971.[1]
I Radnici	20 049	23 969	7 811	8 177	8 350	8 810	9 364	9 364
II Tehničko osoblje	2 219	3 375	1 610	1 781	2 109	2 315	2 519	2 619
III Ostalo stručno osoblje	6 869	8 039	1 532	1 819	1 749	1 862	1 961	2 011
IV Učenici u privredi	1 242	2 038	257	185	166	187	216	216
Ukupno zaposleno osoblje	28 906	37 421	11 210	11 962	12 374	13 174	14 060	14 210

[1] Obuhvaća samo zaposleno osoblje udružene elektroprivrede i JUGEL-a

Zaposleno osoblje u udruženoj elektroprivredi, distribuciji i poduzećima u izgradnji Hrvatske

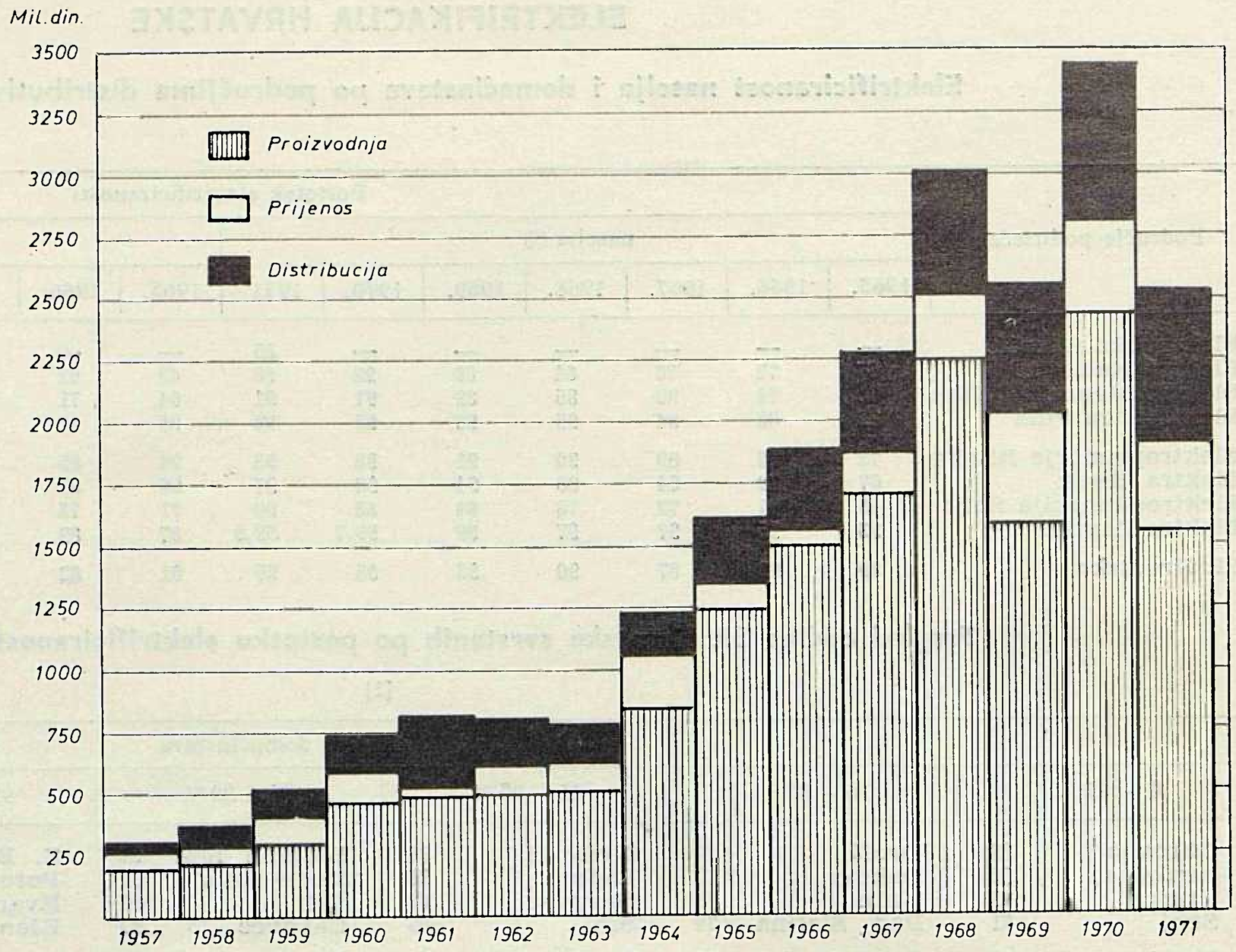
[2]

Tablica 27

Osoblje	1960.	1965.	1966.	1967.	1968.	1969.	1970.	1971.
Radnici, svega	4 978	5 790	5 871	6 164	6 283	6 311	6 501	6 800
Tehničko osoblje, svega	565	645	756	841	949	965	1 082	1 159
Ostalo osoblje, svega	1 447	1 955	1 888	1 713	1 836	1 934	2 037	2 156
Pomoćno osoblje, svega	489	276	374	460	308	256	254	331
Učenici u privredi, svega	290	418	384	369	355	360	319	309
Ukupno:	7 769	9 084	9 273	9 547	9 731	9 826	10 193	10 755

Podaci se odnose na udružena i distributivna poduzeća i poduzeća u izgradnji, na zadnji dan u godini.

INVESTICIJE



Sl. 14. Investiciona ulaganja u Elektroprivredu Jugoslavije 1957—1971.

Investiciona ulaganja u elektroprivredne kapacitete SFRJ 1960—1971. godine

mln din [4] Tablica 28

Godina	Proizvodnja	Prijenos	Svega	Distribucija	Ukupno	Učešće elektroprivrede u investijama industrije u %
1960	434	128	562	180	742	23,9
1961	470	139	509	297	806	20,1
1962	485	114	599	193	792	17,7
1963	502	104	606	169	775	14,6
1964	889	159	1 043	173	1 221	18,2
1965	1 239	106	1 345	265	1 610	23,1
1966	1 464	84	1 548	325	1 873	22,6
1967	1 702	170	1 872	391	2 263	28,5
1968	2 244	262	2 506	511	3 017	29,8
1969	1 635	400	2 035	521	2 556	25,2
1970	2 420	390	2 810	640	3 450	27,9
1971	1 550	350	1 900	620	2 520	. . .

NEKI PODACI IZ SVJETSKE ELEKTROPRIVREDE

Specifična neto potrošnja električne energije po stanovniku u nekim zemljama Evrope i SAD

kWh/stanovnik [4] Tablica 29

Zemlja	1938.	1960.	1965.	1970.	Zemlja	1938.	1960.	1965.	1970.
Austrija	316	1 640	2 155	2 832	Norveška	3 110	7 671	11 284	13 145
Belgija	573	1 467	2 022	2 862	Poljska	. . .	819	1 119	1 659
Bugarska	. . .	513	1 025	1 864	Rumunjska	63	340	710	1 272
Čehoslovačka	. . .	1 496	2 107	2 865	Španjolska	. . .	485	799	. . .
Danska	284	1 010	1 711	2 663	Švedska	1 134	3 921	5 517	7 039
Istočna Njemačka	. . .	2 044	2 718	3 213	Švicarska	1 138	2 896	3 372	3 945
Finska	766	1 832	2 818	4 298	Turska	. . .	86	134	208
Francuska	400	1 436	1 924	2 563	Vel. Britanija	609	2 242	3 085	3 838
Grčka	54	227	447	965	S A D	965	4 310	5 470	7 358
Mađarska	126	669	1 026	1 470	S S S R	203	1 193	2 040	2 790
Italija	310	964	1 402	1 968	Zapadna Njemačka	. . .	1 960	2 597	3 544
Holandija	365	1 278	1 805	2 821	Jugoslavija	. . .	393	679	1 071

Maksimalna neto snaga elektrana u nekim zemljama Evrope i SAD

u 1938, 1969. i 1970. godini — u MW [4]

Tablica 30

Zemlja	1938.			1969.				1970.			
	Ukupno	Hidro	Termo	Ukupno	Hidro	Termo	Nuklearne	Ukupno	Hidro	Termo	Nuklearne
Austrija	1 157	738	419	7 469	5 176	2 293	—	7 976	5 467	2 509	—
Belgija	2 152	24	2 128	6 220	62	6 158	11	6 257	62	6 184	11
Bugarska	85	44	41	4 019	810	3 209	—	4 117	816	3 301	—
Čehoslovačka	. . .	. . .	. . .	9 548	1 448	8 010	—	10 141	1 447	8 694	—
Istočna Njemačka	. . .	. . .	. . .	11 179	652	10 452	75	12 067	653	11 339	75
Danska	552	9	543	3 888	8	3 880	—	4 488	8	4 480	—
Finska	750	430	320	4 749	2 106	2 643	—	4 822	2 135	2 687	—
Francuska	6 300	3 000	3 300	35 525	14 438	19 462	1 625	36 139	14 916	19 577	1 646
Grčka	196	14	182	2 318	1 042	1 276	—	2 488	1 038	1 450	—
Italija	5 012	4 082	930	28 247	13 153	14 488	606	30 055	13 355	16 149	551
Mađarska	. . .	. . .	. . .	2 252	18	2 234	—	2 477	20	2 457	—
Holandija	1 741	—	1 741	9 645	—	9 595	50	10 197	—	10 147	50
Norveška	2 055	1 938	117	. . .	. . .	.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
Poljska	. . .	. . .	. . .	12 761	477	12 284	—	13 710	740	12 970	—
Rumunjska	501	48	453	6 432	850	5 582	—	7 346	1 200	6 146	—
Španjolska	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
Švedska	1 650	1 650	—	14 797	10 529	4 258	10	15 308	10 863	4 435	10
Švicarska	2 090	1 960	130	9 880	8 970	560	350	10 540	9 620	570	350
Turska	. . .	. . .	. . .	1 881	736	1 145	—	2 292	723	1 569	—
Vel. Britanija	11 722	323	11 399	57 459	2 155	51 332	3 972	62 065	2 153	56 485	3 427
S A D	46 873	11 682	35 191	331 904	53 375	274 549	3 980	359 534	55 755	297 286	6 493
SSSR	8 941	1 173	7 768	183 435	29 645	153 790	. . .	166 150	31 368	134 782	. . .
Zap. Njemačka	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	47 540	4 700	41 950	890
Jugoslavija	505	174	331	5 541	3 277	2 264	—	6 873	3 630	3 243	—

Neto proizvodnja električne energije u nekim zemljama Evrope i SAD

u GWh [4]

Tablica 31

	Austrija			Belgija			Bugarska			Čehoslovačka			Danska			Istočna Njemačka		
	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE
1938.	2994	2408	586	5132	44	5088	207	140	67	4052	493	3559	1144	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
1960.	15919	11844	4075	14120	172	13948	4657	1886	2771	22589	2479	20110	5242	—	5242	40305	617	39688
1965.	22203	16046	6157	20363	270	20093	10445	2005	8440	34190	4454	29736	7394	—	7394	48581	. . .	. . .
1970.	30036	21240	8796	30523	246	30277	19513	2152	17361	45163	3670	41493	18864	37	18827	67650	1251	65399

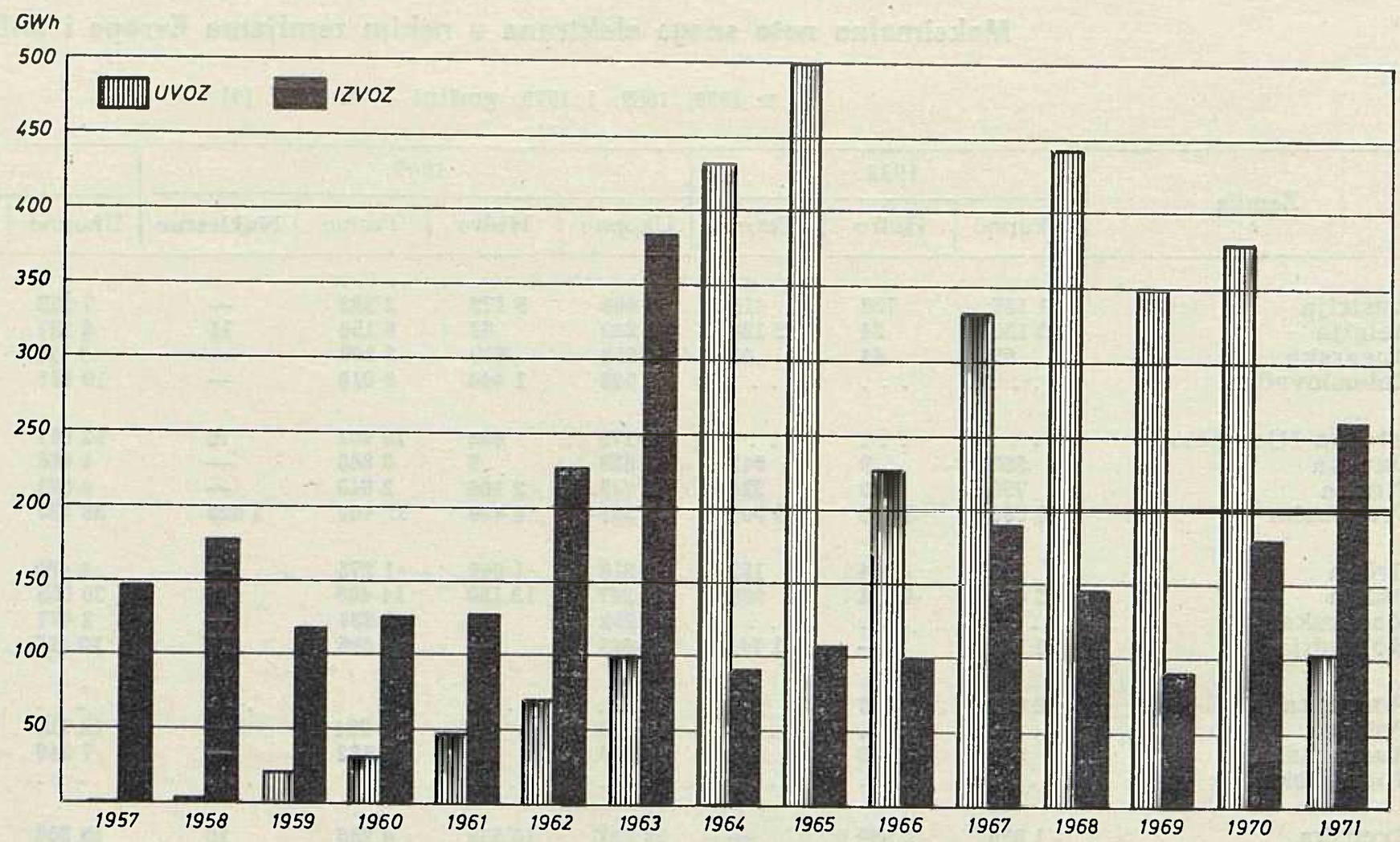
	Finska			Francuska			Grčka			Mađarska			Italija*			Holandija		
	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE
1938.	3110	2460	650	18770	10026	8744	427	25	402	1315	. . .	. . .	15544	14585	761	3472	—	3472
1960.	8339	5119	3220	69601	39591	30810	2130	442	1688	7431	93	7338	54282	45389	8895	15515	—	15515
1965.	13989	9487	4502	98532	45435	53097	4361	759	3602	10977	74	10903	79230	42367	36863	23653	—	23653
1970.	22161	9428	12733	146837	57183	89654	9820	2636	7184	14537	88	14449	117423	41300	76123	40859	—	40859

	Norveška			Poljska			Rumunjska			Španjolska			Švedska			Švicarska		
	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE
1938.	9927	9820	107	3699	. . .	. . .	1130	148	982	. . .	. . .	. . .	8162	7307	855	7043	7010	33
1960.	30963	30745	218	26851	654	26197	7626	397	7229	17582	14871	2711	34794	31143	3651	20672	20504	168
1965.	48757	48630	77	39737	905	38832	17202	1011	16191	30472	19379	11093	49093	46431	2662	25280	24797	491
1970.	57204	57009	195	64530	1886	62644	35088	2773	32315	56484	27540	28944	60646	41539	19107	33173	29330	3843

	Turska			Velika Britanija*			SAD*			SSSR*			Zapadna Njemačka*			Jugoslavija		
	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE	Svega	HE	TE
1938.	312	. . .	. . .	31822	985	30837	141955	48395	93651	39366	5084	34282	32430	7180	25250	1173	566	607
1960.	2887	1026	1861	129700	3130	126570	830458	149063	691395	292520	51024	241496	108945	12817	96128	8917	5952	2945
1965.	4937	2169	2768	183750	4621	179129	1157391	197002	960389	506709	81431	425278	160554	15145	145409	15485	8945	6540
1970.	8617	3039	5588	232703	5654	227049	1638010	250611	1387399	749926	124377	626549	242606	17758	224848	26023	14741	11282

* U koloni TE obuhvaćena je i proizvodnja nuklearnih elektrana

Sl. 15 Razmjena električne energije sa susjednim zemljama



Izvoz i uvoz električne energije u nekim zemljama Evrope u 1970. godini

u GWh [4]

Tablica 32

Zemlja izvoznica \ Zemlja uvoznica	Austrija	Belgija	Bugarska	Čehoslovačka	Danska	Istočna Njemačka	Finska	Grčka	Francuska	Mađarska	Italija	Luksemburg	Holandija	Norveška	Poljska	Rumunjska	Španjolska	Švedska	Švicarska	Vel. Britanija	SSSR	Zap. Njemačka	Jugoslavija
Austrija				229						264	212											5885	174
Belgija									78			727										20	
Bugarska																							37
Čehoslovačka	134					881				45					64						1		
Danska																		3890				890	
Ist. Njemačka				164											623							34	
Finska																		832					
Francuska		917									1140								982	557		1600	
Grčka																							19
Mađarska	164			463																			10
Italija									314										439				6
Luksemburg																						806	
Holandija		176																				900	
Norveška							2											1891					
Poljska				1120		350																	
Rumunjska																							115
Španjolska																							
Švedska					541		959							805									
Švicarska	209								2065		3319											3940	
Vel. Britanija									6														
SSSR				2546			389			3064				2	873								
Zap. Njemačka	833	208			29				122			1622	27						3014				
Jugoslavija	32		17					41		85	1												

UGLJEN I NAFTA

Proizvodnja ugljena, koksa i nafte u Jugoslaviji

[5] Tablica 33

		1939.	1946.	1960.	1965.	1966.	1967.	1968.	1969.	1970.	1971.
UGLJEN I KOKS											
Ugljen ukupno	hilj. tona	7 032	6 652	22 713	29 957	29 292	26 467	26 732	26 496	28 422	30 902
Kameni ugljen	hilj. tona	1 410	757	1 283	1 169	1 133	909	835	681	643	707
Mrki ugljen	hilj. tona	4 132	3 824	9 628	10 509	10 080	9 023	9 508	9 422	8 989	9 333
Lignit	hilj. tona	1 210	2 072	11 801	18 279	18 080	16 535	16 389	16 373	18 790	20 862
Koks koksara	hilj. tona	—	—	1 083	1 253	1 226	1 219	1 234	1 226	1 309	1 297
Koks plinara	hilj tona	35	21	20	14	11	7	2	—	—	—
NAFTA I PLIN											
Sirova nafta	hilj. tona	1,1	29	944	2 063	2 222	2 374	2 494	2 699	2 854	2 961
Prirodni plin	mil. m³	2,6	8,5	53	330	402	461	584	730	977	1 151
Benzin	hilj. tona	65	2,2	277	546	788	886	935	1 003	1 233	1 472
Gazolin	tona	—	104	5 771	14 882	17 042	18 020	22 578	22 836	24 560	27 959
Petrolej za osvjetljenje	tona	38 784	3 428	15 003	15 613	14 428	15 592	15 689	12 479	11 854	10 511
Petrolej za motore	tona	1 000	—	59 013	66 083	79 236	81 473	103 762	133 603	151 356	204 205
Vajt špirit	tona	—	498	8 846	15 619	16 288	16 870	17 871	18 764	20 540	21 043
Plinsko ulje	hilj. tona	49	3,1	354	890	1 890	1 389	1 380	1 722	2 092	2 665
Ulje za loženje	hilj. tona	36	9,1	396	1 148	1 764	1 816	1 847	1 967	2 509	2 930
Propan-butan	hilj. tona	...	...	13	36	49	54	68	78	95	105
Maziva ulja	hilj. tona	24	2,0	61	134	158	138	103	88	103	114
Parafin	tona	200	—	2 102	1 138	1 005	830	667	509	547	3 704
Bitumen	hilj. tona	25	0,0	72	112	140	771	245	314	358	376
Čađa	tona	207	215	3 862	5 099	6 560	12 423	8 936	15 531	13 469	15 685

Proizvodnja ugljena, nafte i plina u Hrvatskoj

[3] Tablica 34

	1960.	1965.	1966.	1967.	1968.	1969.	1970	1971.
UGLJEN I PRERAĐEVINE								
Ugljen ukupno, hilj. tona	2 530	1 957	1 771	1 302	1 174	916	718	640
Kameni ugljen, hilj. tona	802	751	765	611	506	381	363	422
Mrki ugljen, hilj. tona	538	468	403	280	283	191	81	21
Lignit, hilj. tona	1 190	738	603	411	384	344	274	197
Koks plinara, tona	8 931	9 686	7 600	3 326	1 721	—	—	—
Plin plinara, mil. m³	32	50	51	55	63	74	86	94
NAFTA I PLIN								
Sirova nafta, hilj. tona	770	1 414	1 545	1 702	1 818	1 934	2 057	2 142
Zemni plin, mil. m³	34	156	189	232	330	404	476	547
Benzin, hilj. tona	198	467	681	749	755	667	826	991
Gazolin, hilj. tona	3	3	8	10	13	13	13	12
Petrolej za osvjetlj., hilj. tona	11	9	8	8	9	9	8	7
Petrolej za motore, hilj. tona	56	64	70	68	88	105	114	151
White špirit,hilj. tona	6	12	14	14	15	14	13	11
Plinsko ulje, hilj. tona	256	714	1 019	1 176	1 108	1 076	1 327	1 617
Ulje za loženje, hilj. tona	261	805	1 340	1 399	1 253	703	1 093	1 513
Propan-butan hilj. tona	11	24	35	40	50	48	51	50
Maziva ulja, hilj. tona	43	111	133	116	83	69	77	84
Parafin, hilj. tona	2	1	1	1	1	1	1	4
Bitumen, hilj. tona	38	70	105	128	198	215	211	196
Čađa, propan-butan, hilj. tona	4	5	7	12	9	16	13	16

Potrošnja električne energije i goriva u industrijskim poduzećima i pogonima SR Hrvatske

[3]

Tablica 35

	Antracit	Koks	Kameni ugljen	Mrki ugljen	Lignit	Tekuće gorivo	Mazut	Zemni plin	Elektro-energija
	u tisućama tona							mln m³	GWh
1960	57	232	171	1 028	852	79	65	30	1 264
1961	68	238	156	999	882	91	60	...	1 385
1962	64	232	163	977	876	97	59	...	1 456
1963	70	243	181	1 037	1 415	109	75	...	1 680
1964	69	241	234	1 045	1 355	195	130	...	1 716
1965	81	226	229	916	1 191	296	109	98	1 888
1966	76	234	179	831	854	280	311	...	2 054
1967	74	196	130	778	645	293	416	...	2 196
1968	87	203	108	700	627	278	490	...	2 339
1969	89	190	91	692	513	230	538	...	2 524
1970	81	194	157	669	396	246	634	443	2 661
1971	74	195	255	666	371	270	783	492	2 846
Elektroenergija	—	—	200	2	81	7	314	55	168
Ugljen i prerađevine	—	—	4	0	1	4	—	31	49
Nafta i prerađevine	—	0	—	—	0	118	34	96	195
Crna metalurgija	6	133	—	—	2	—	39	54	192
Obojena metalurgija	5	0	—	14	12	1	6	—	310
Nemetali	—	0	0	4	40	8	34	10	74
Metalna industrija	0	28	1	30	14	9	11	6	178
Brodogradnja	—	2	2	1	1	3	3	—	90
Elektroindustrija	—	0	—	2	8	1	5	1	46
Kemijska industrija	7	19	0	68	1	92	34	211	608
Građevni materijal	56	1	43	200	28	8	188	7	243
Drvna industrija	—	6	—	41	9	2	7	4	107
Industrija papira	—	—	—	51	1	0	19	—	92
Tekstilna industrija	—	—	0	70	84	3	28	2	213
Industrija kože i obuće	—	—	1	6	1	0	3	—	19
Industrija gume	—	0	—	65	—	—	5	—	39
Prehrambena industrija	—	6	4	110	88	14	51	14	201
Grafička industrija	—	—	0	2	0	0	0	0	16
Industrija duhana	—	—	—	0	—	0	2	—	3
Filmska industrija	—	—	—	—	—	—	0	—	0
Ostala industrija	—	—	—	—	—	0	0	1	3

Literatura:

1. Godišnjak elektroprivrede Hrvatske 1971. (rukopis)
2. Statistički pregled elektroprivrede SRH 1971.
3. Statistički godišnjak SRH 1972.
4. Statistički godišnjak elektroprivrede SFRJ za 1971.
5. Statistički godišnjak SFRJ 1972.

D A L E K O V O D

ELEKTRO — PRIVREDNO PODUZEĆE ZA PROJEKTIRANJE, GRADNJU, MONTAŽU I PROIZVODNJU — ZAGREB

ZAGREB, PROLETERSKIH BRIGADA 37

Račun kod Nar. banke u Zagrebu 301-1-553 Brzojav: Dalekovod Zagreb — Tel. 511-455 i 513-822 — Pošt. pret. 208

PROJEKTIRA

dalekovode, transformatorske stanice svih napona, mreže niskog napona za seosku elektrifikaciju u zemlji i inozemstvu

Izrađuje kalkulacije za sve radove

GRADI

dalekovode, električne mreže, transformatorske stanice, industrijske objekte i niske gradnje u zemlji i inozemstvu s materijalom i opremom, koje nabavlja odnosno izrađuje u svojim radionicama

MONTIRA

industrijske, elektroprivredne i saobraćajne elektroobjekte

PROIZVODI

u svojim pogonima električno montažni osvjesni i spojni materijal, čelične i druge konstrukcije za električne vodovodne i transformatorske stanice, industrijske odkivke, te razne kovane i presane alate

SPECIJALIZIRANO

za polaganje svih vrsta podvodnih i podzemnih kabela

PODNE INSTALACIJE JAKE I SLABE STRUJE

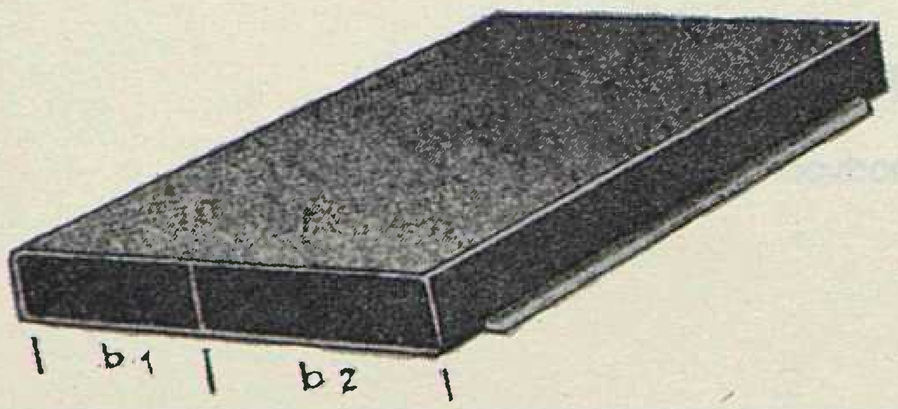
Moderna organizacija poslovanja u uredima, projektnim biroima, računskim centrima, laboratorijima, saobraćajnim i informativnim centrima, bankama, bolnicama, fakultetima i u drugim poslovnim objektima, zahtijevaju najsuvremenije sisteme električnih instalacija u tim objektima. Instalacije jake i slabe struje moraju ispunjavati slijedeće uvjete:

— zauzimati malo prostora,
— da su primjenljive u svim vidovima gradnje,
— omogućavati proizvoljnu adaptaciju prostorija u bilo kojem momentu,
— brzu i jeftinu montažu,
— sigurnu izvedbu u mehaničkom i električnom pogledu,
— kapacitet instalacije mora biti dovoljno dimenzioniran i za buduće potrebe,
— mreža priključnih mjesta mora biti fleksibilna, tj. mora postojati mogućnost da se broj i mjesto priključka može uvijek prilagoditi potrebama i željama korisnika instalacije,
— priključci instalacija jake i slabe struje terbaju biti, po mogućnosti koncentrirani na istim mjestima, da se mogu istovremeno koristiti,
— priključna mjesta moraju biti takva da se mogu proizvoljno kombinirati priključci za jaku struju i telefoniju, i da mogu biti zaštićeni zajedničkim ili odvojenim poklopcima.

Svi ovi zahtjevi mogu se danas postići isključivo i sigurno uz primjenu podnih instalacija koje se sastoje, uglavnom, od slijedećih elemenata:

A. Jednodjelnih ili dvodjelnih kanala iz čeličnog pocinčanog lima

Širina jednodjelnih kanala iznosi 90, 150 i 190 mm, a dvodjelnih ($b_1 + b_2$) : 90 (45 + 45) mm; 150 (60 + 90) mm; 190 (80 + 110) mm; 250 (110 + 140) mm i 350 (160 + + 190) mm. Visina kanala može biti 18 mm; 23 mm; 28 mm; 33 mm; 38 mm, 43 mm i 48 mm. Ovisno o visini kanala i izvedbi priključnih mjesta, vidi točku C, visina premaza ili izolacionog poda koji dolazi iznad betonske deke mora biti 50 do 80 mm.



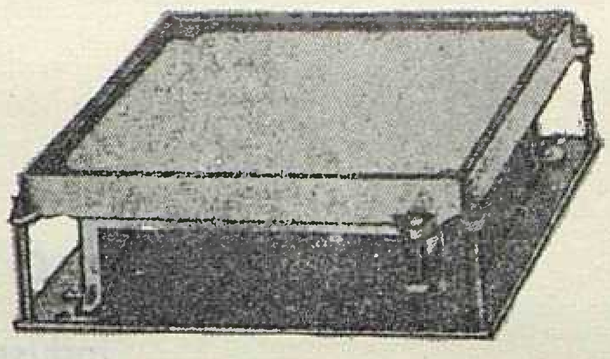
Sl. 1. Dvodjelni limeni kanal

Dvodjelni kanali su jednim svojim poljem predviđeni za vodove jake struje, a drugo polje za vodove slabe struje (telefoni, interfoni i sl.). U sastavu kanala se isporučuju pripadajući spojni elementi kao i koljena za priključak kanala na razvodne uređaje, odnosno na sistem zidnih-parapetnih instalacionih kanala.

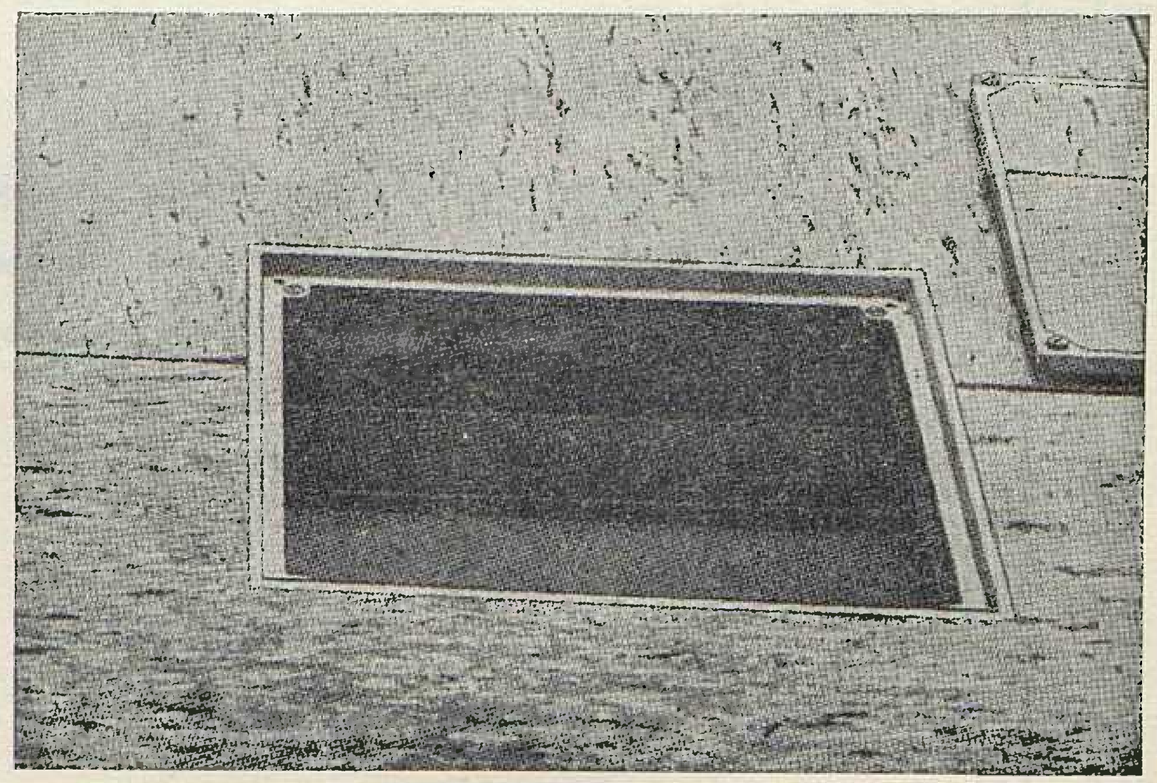
B. Razvodne kutije iz silumina

Kutije iz silumina su predviđene za nastavljanje, odvajanje i završavanje kanala i to ovisno o planu polaganja i spajanja vodova. Prema potrebi se u razvodne kutije mogu ugraditi priključne stezaljke za vodove jake struje, odnosno priključne letvice i reglete za vodove slabe struje i telefonije. U sastavu kutije se isporučuju posebni poklopci koji se isključivo koriste za potrebe transporta i monate, kao i pregradne pločice koje služe kao mehaničke pregrade na mjestu gdje se križaju vodovi jake struje s vodovima telefonskih instalacija.

Prema potrebi može se na poklopac razvodnih kutija ugraditi i priključni stupić, vidi točku C/c.



Sl. 2



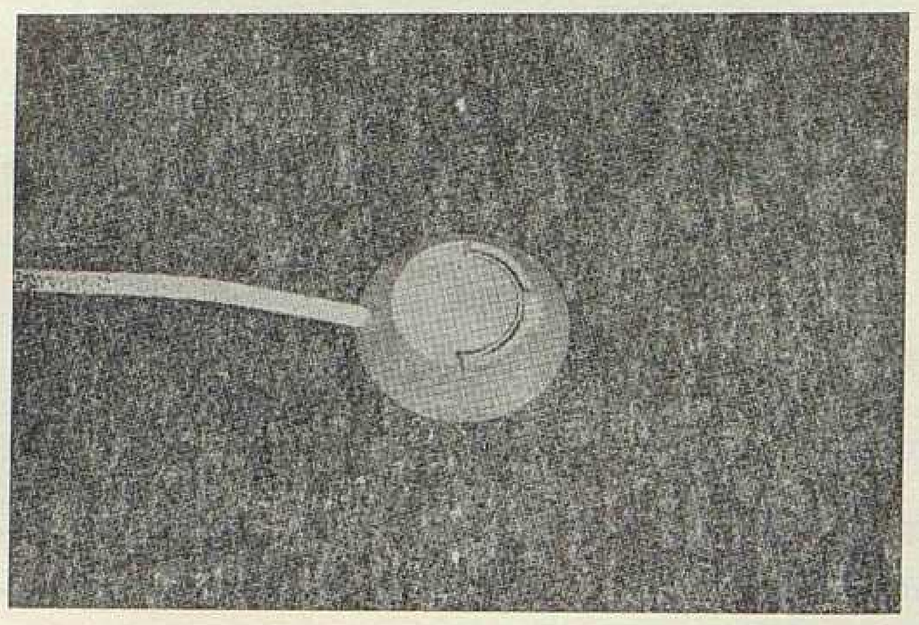
Sl. 3

Na sl. 2 i 3 — Razvodne kutije (dimenzije u skladu sa širinom i visinom kanala)

C. Priključna mjesta

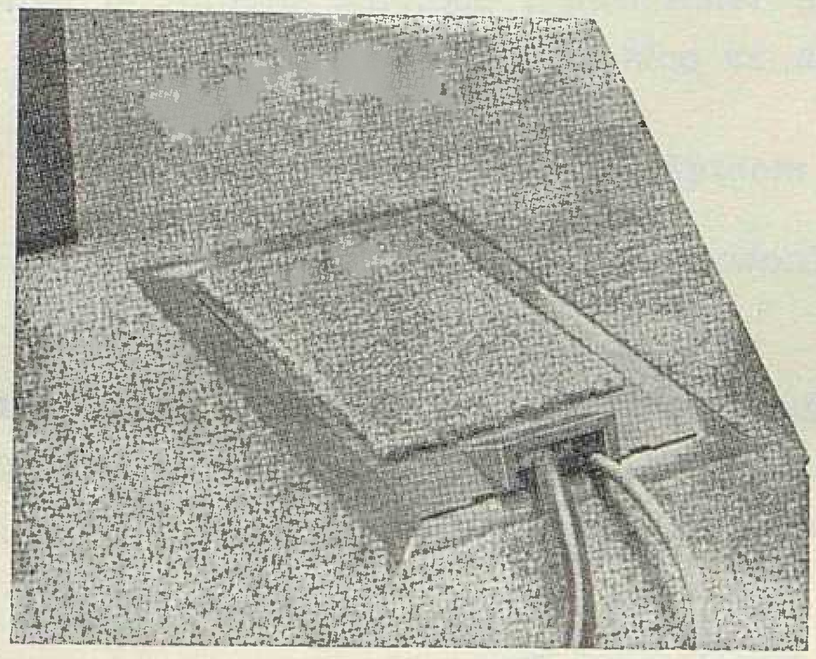
Podne instalacije predviđene su za tri različite izvedbe priključnih mjesta, s time da svaka izvedba omogućava mnogo kombinacija raznih izvedbi priključaka za instalacije jake i slabe struje.

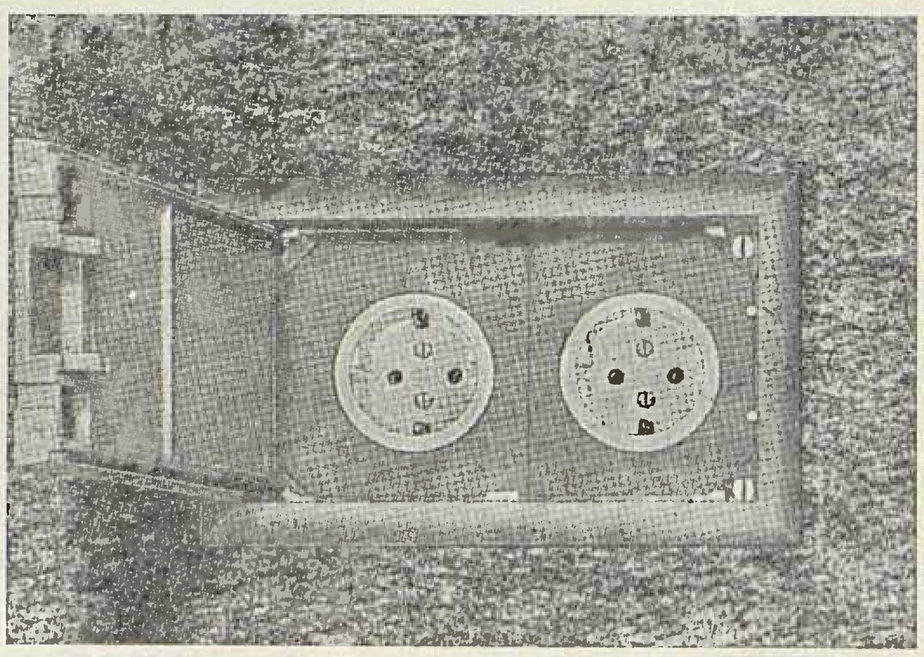
Pregled izvedbi priključnih mjesta:



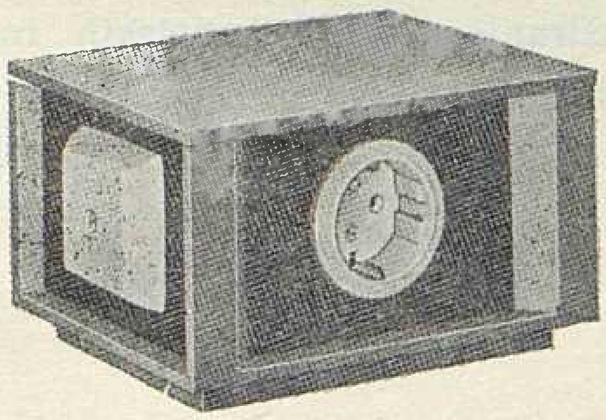
a) Priključno mjesto u visini poda, s jednim priključkom (za jaku ili slabu struju).

Mogu se i naknadno ugraditi. U tu svrhu se koristi odgovarajući alat za bušenje poda i limenih kanala.





b) Priključno mjesto u visini poda s dva ista ili različita priključna gnijezda.



c) Priključno mjesto iznad poda tzv. priključni stupić, u više izvedbi s mogućnosti 12 priključnih gnijezda.

Potpune tehničke podatke o sistemu podnih instalacija i pripadajućim razvodnih ormarima možete dobiti u prodajno-tehničkoj službi tvornice.

Zagreb

Tvornica TEP

ELKA

TVORNICA ELEKTRIČNIH KABELA ZAGREB — JUGOSLAVIJA

TELEFONSKI KABELI IZOLIRANI TERMOPLASTIČNIM MASAMA

»Elka je potpuno usvojila proizvodnju najkvalitetnijih telefonskih kabela za centrale, telefonskih razvodnih (instalacionih) kabela, telefonskih kabela za mjesne mreže, i telefonske montažne i instalacione žice.

KABELI I VODOVI IZOLIRANI PVC-OM

Za centrale i signalne uređaje izrađuje ove tipove kabela sa izolacijom i plaštem od PVC-a:

TC-40 i
TC-46 prema JUS M.C4.140

Osnovne izmjerene karakteristike izolacije ovih kabela su:

Relativna dielektričnost	$\varepsilon' = 4$
Dielektrični faktor gubitaka	$tg\delta = 0{,}08$
Specifični izolacioni otpor	$r = 10^{15}\Omega$ cm

Osnovne izmjerene karakteristike gotovog kabela su:

Izolacioni otpor min.	R = 500 MΩ km
Radni kapacitet max.	C = 90 nF/km
Srednja kapacitivna veza	C′ ≦ 150 pF/500 m
Gušenje preslušavanja	a = 8 nepera
Dozvoljena temperatura kabela u upotrebi	— 20° C do 70° C
Temperatura polaganja	— 5° C do 50° C.

Kabeli TC-40 i TC-41 proizvode se u konstrukcijama od 5 do 50 parica, trojki i četvorki s promjerima vodiča 0,5 i 0,6 mm.

Telefonski razvodni instalacioni kabeli

TR-40, prema JUS N. C4. 240.

Minimalni izolacioni otpor je 200 MΩ km, a maksimalni radni kapacitet 100 nF/km. Proizvodi se u konstrukcijama od 5 do 50 parica, trojki i četvorki s vodičima promjera od 0,5, 0,6 i 0,8 mm. Ovaj kabel se upotrebljava za telefonske i signalne uređaje u suhim prostorijama, za polaganje u cijev i zidove.

Telefonska montažna žica

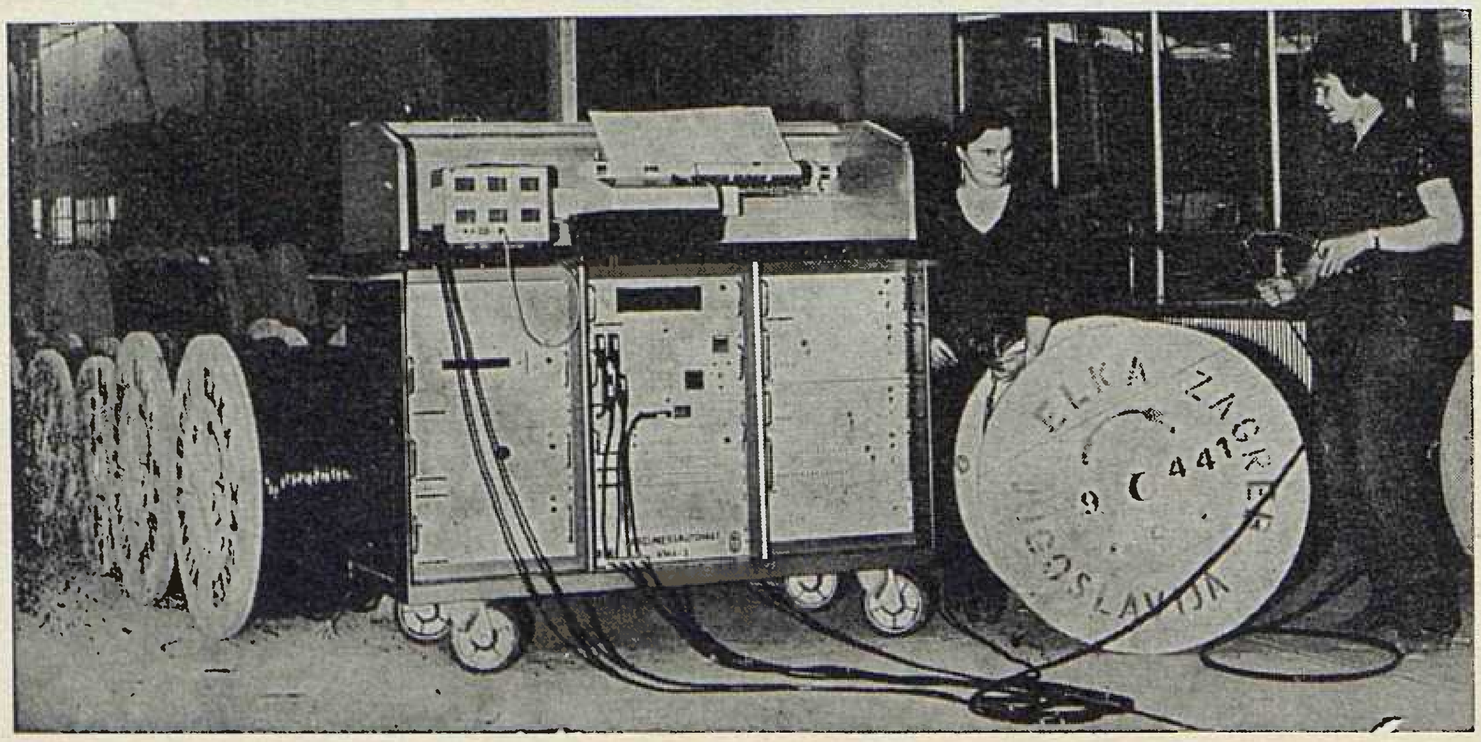
TM-20, jednobojna, dvobojna ili použena u snop od pet žica,

upotrebljava se za unutrašnje veze u telekomunikacionim uređajima i aparatima i za međusobno povezivanje telekomunikacijskih uređaja.

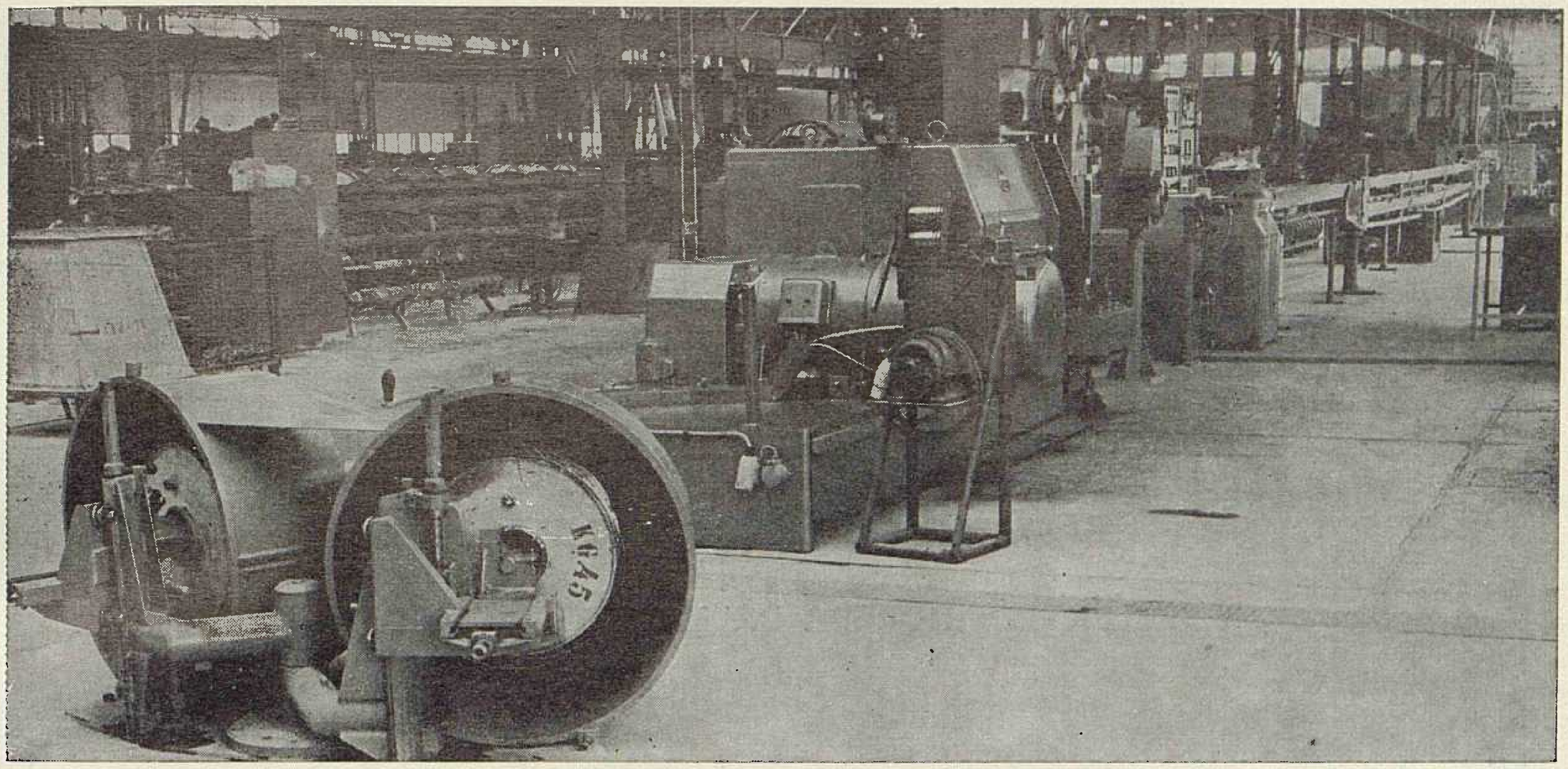
Telefonska instalaciona žica

TI 20,

upotrebljava se za telefonske kućne instalacije u cijevima i po zidu, za priključak zvučnika i signalnih uređaja, za ranžiranje glavnih kabelskih razdjelnika i međurazdjelnika.



Ispitivanje telefonskih kabela na najsuvremenijem uređaju tipa kabelmessautomat



Detalj iz pogona za proizvodnju telefonskih kabela

KABELI IZOLIRANI POLIETILENOM

Telefonski kabeli za mjerne telefonske mreže s izolacijom i plaštem od polietilena:

TK-30, TK-31 i TK-32, prema JUS N.C4.330
i TK-31, TK-32 i TK-33E, prema propisima JZPTT.

Osnovne izmjene karakteristike izolacije:

relativna dielektričnost	$\varepsilon' = 2{,}3$, kod 1000 Hz
dielektrički faktor gubitaka	$tg\delta = 0{,}003 \div 0{,}005$, kod 1000 Hz
dielektrična čvrstoća	F = 25 kV/mm kod 50 Hz

Osnovne izmjerene karakteristike gotovog kabela:

Radni kapacitet za zvijezda- četvorke
$C_{IV} \leqq 50$ nF/km
a za paricu
$C_{II} \leq 60$ nF/km.

Izolacioni otpor gotovog kabela.

R = 10.000 MΩ km

Kapacitivna veza maksimalna

$c' \leq 500$ pF/500 m

Dozvoljena temperatura u eksploataciji

$t_0 = -30°$ C do 50° C₂

Dozvoljena temperatura pri polaganju

$t_p = 0°$ C do 40° C₂

Primjena:

TK- 30 za polaganje u kabelske kanale mjesnih telefonskih mreža,

TK- 31 za polaganje u kabelske kanale mjesnih telefonskih mreža gdje se zahtjeva zaštita od smetnji,

TK- 32 za polaganje u zemlju, po zidovima, preko mostova i svagdje gdje je potrebna i povećana mehanička zaštita.

TK- 32* i TK- 33E su samonosivi telefonski kabeli za ovjesno polaganje na različita uporišta na zemlji, krovovima, stupovima, posebno u industrijskim centrima sa zagađenom atmosferom, selima, prigradskim, naseljima i primorskim mjestima.

Svi se ovi kabeli proizvode u konstrukcijama od 5 do 50 parica i četvorki.

---

* TK-33 razlikuje se od TK-33E samo po tome što mu je plašt od PVC-a.

»ELEKTROPRENOS«

ORGANIZACIJA ZA PRIJENOS ELEKTRIČNE ENERGIJE U SASTAVU ZDRUŽENOG PODUZEĆA »ELEKTROPRIVREDA DALMACIJE« — SPLIT

VRŠI TRANSFORMACIJU I PRIJENOS ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA VELEPOTROŠAČE NA PODRUČJU DALMACIJE

»ELEKTROPRENOS« — SPLIT

DRVARSKA 5

TELEFON 44-566 i 41-663

GOD. 22 (1973) energija BROJ 3 — 4

ČASOPIS ZA STRUČNA I ORGANIZACIONO DRUŠTVENA PITANJA ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

NUKLEARNA ENERGIJA U ELEKTROPRIVREDI

Ivo Božin, Zagreb

Prikazana je uloga i uklapanje buduće nuklearne elektrane Krško u jugoslavenski elektroenergetski sistem. Iznesene su glavne karakteristike elektrane kao i problem zagađivanja okoline.

DK 621.039 : 621.31

1. Razvoj potrošnje energije i električne energije u svijetu

Povećani broj stanovništva, te porast standarda traži u svim oblastima privrede i društva sve više energije. Razvoj energetskih kapaciteta, te odgovarajućih transportnih putova zahtijeva ogromna financijska sredstva (25 do 30% od ukupnih ulaganja u industriju), pa je prema tome razumljivo da se velika pažnja poklanja utvrđivanju optimalnih rješenja u zadovoljenju energetskih potreba.

Srednji godišnji porast potreba za energijom iznosi oko 5% u svjetskim razmjerima. Drugim riječima znači da se za oko 14 godina udvostručuju energetske potrebe. Samo u ovom stoljeću energetske potrebe u Evropi porasle su za oko četiri puta, a potrošnja energije u svijetu za oko sedam puta.

Struktura potrošnje primarnih oblika energije naglo se mijenja. Dok je 1860. godine 80% ukupnih energetskih potreba čovječanstva bilo zadovoljeno drvom i biljnim otpacima u 1900. godini učešće drva iznosi 40%, u 1970. godini 8%, a predviđa se da će u 1985. godini iznositi samo 4%. S druge strane učešće ugljena bilo je dominantno u zadovoljenju energetskih potreba u razdoblju 1900—1965. godine, a nakon 1965. vodeću ulogu preuzima nafta koja u zadovoljenju energetskih potreba svijeta u 1970. učestvuje sa 44%.

Potrebno je konstatirati da u strukturi zadovoljenja energetskih potreba u svijetu obnovljivi izvori primarne energije (drvo, voda) u 1970. godini učestvuju sa oko 10%, dok je 90% ukupnih energetskih potreba bilo podmireno iz energetskih izvora kao što su ugljen, nafta i plin, a čije su zalihe iscrpljive.

Svjetske rezerve goriva (ugljen, sirova nafta, tekuće gorivo iz bituminoznih škriljaca, zemni plin) danas se ocjenjuje na 3.400 mlrd tona ekvivalentnog ugljena. Prema današnjim saznanjima 88% od ukupnih rezervi otpada na ugljen, 6% na bituminozne škriljce, 3% na sirovu naftu, 3% na zemni plin. Daljnjim istraživanjima mogu se očekivati otkrića novih nalazišta uglavnom tekućeg goriva i plina, ali je sasvim sigurno da neće doći do takvih otkrića koja bi bitno poremetila dosadašnja predviđanja o rezervama ovih goriva. Ukupno poznate rezerve svih navedenih goriva bile bi potrošene u roku od 600 godina, kad bi potrošnja energije ostala na nivou iz 1970.

Otkrivanje ruda sa sadržajem urana, kao i utvrđivanja količina urana, te uvjeta njegove eksploatacije (cijena eksploatacije) obavljalo se donedavno uglavnom sa stajališta vojnih potreba. Danas poznate rezerve urana (U_3O_8) sa troškovima eksploatacije do 22$ USA/kg iznose oko 700.000 tona. Prema procjenama gotovo su isto tolike rezerve u rudama sa siromašnim sadržajem urana a sa trožkovima eksploatacije od 22 do 33$ USA/kg. Energetska vrijednost nuklearnih sirovina što se upotrebljavaju u termalnim i brzim reaktorima, znatno je veća od rezervi konvencionalnih goriva.

Nabrajajući, raspoložive potencijalno moguće izvore energije valja spomenuti da se danas vode značajna istraživanja na razvoju tehnologije koja bi omogućila korištenje sunčeve energije, geotermičke energije, energije plime i oseke, a naročito energije što se oslobađa spajanjem (fuzijom) izotopa vodika (deuterium, tricium). Neograničene količine energije bit će na raspologanju kada se riješe tehnološki problemi koji će omogućiti praktičnu upotrebu energije fuzije. Ilustracije radi navodim, da će nuklearna elektrana snage 2.000 MW, koja radi na principu fuzije, za proizvodnju s punom snagom za 24 sata trebati približno 14 kg deuteriuma i 21 kg triciuma.

Potrošnja električne energije u svijetu raste brže od porasta ukupnih energetskih potreba. Iako je razvoj potrošnje električne energije u raznim

Uvodni referat održan na savjetovanju »Današnje stanje tehnologije nuklearnih reaktora i razvoj brzih oplodnih reaktora« u Zagrebu od 22. do 24. XI 1972.

zemljama različit, ovisno o mnogim elementima koji vladaju u nekom društvu, vidljive su zakonitosti u razvoju potrošnje, koje bi se mogle definirati:

— da se u razvijenijim zemljama srednja godišnja stopa porasta potrošnje kreće od 5 do 9%, a uobičajeno je da se u prosjeku uzima 7%, što odgovara udvostručenju proizvodnih i prijenosnih kapaciteta u vremenu od 10 godina;
— da u nerazvijenim zemljama i zemljama u razvoju godišnji porast potrošnje električne energije raste po stopi od 9 do 20%, a kao srednji postotak često puta se uzima 10% ili udvostručenje kapaciteta za 7 godina.

Porast potrošnje električne energije na sadašnjem nivou potrošnje razvijenih zemalja ne pokazuje veće znakove zasićenja što upućuje na zaključak da se primjećene zakonitosti u porastu potrošnje električne energije mogu koristiti kod približnog projiciranja razvoja potrošnje u budućnosti, naročito za nerazvijene zemlje i zemlje u razvoju.

Krajem 1971. bilo je u 15 država u pogonu 112 nuklearnih energetskih reaktora s ukupnom instaliranom snagom nuklearnih elektrana od 26.850 MW, što je predstavljalo nešto više od 2% kapaciteta svih elektrana u elektroprivredi. Postoje prognoze raznih autora o razvoju potrošnje i stukturi proizvodnje električne energije za razdoblje do 2000.

Prema statističkim podacima Ujedinjenih naroda i studijama i procjenama o razvoju nuklearne energije što su rađene u okviru Komisije za atomsku energiju SAD potrošak električne energije u svijetu (osim NR Kine) i udio nuklearnih elektrana u proizvodnji električne energije procjenjuju se:

	Godine			
	1950.	1970.	1980.	2000.
— Broj stanovnika - u mln	1.970	2.870	3.600	5.300
— Ukupna potrošnja - TWh	950	4.750	10.000	33.000
— Angažirana snaga po stanovniku - kW/stanovnik	0,1	0,4	0,6	1,4
— Potrošnja po stanovniku - kWh/stanovnik	500	1.700	2.900	6.200
— Udio nuklearnih elektrana u instaliranoj stazi - %	0,0	2,0	15	50
— Udio nuklearne elektrane u proizvodnji - %	0,0	2,0	20	65

Prema najnovijim podacima iz studije koja je nađena u okviru Međunarodne atomske agencije u Beču, 40% svih novih elektrana u razvijenim zemljama u razdoblju 1970—1980. bit će nuklearne elektrane, a u zemljama u razvoju to će iznositi oko 20%.

Sigurno postoje i drugačije procjene tempa razvoja potrošnje energije i električne energije, i strukture korištenja primarnih izvora energije. No, bez obzira na to mislim da je došlo vrijeme kad nuklaerne elektrane sve više postaju »klasične«, i da će u budućnosti ovi kapaciteti imati sve značajniju ulogu u zadovoljenju elektroenergetskih potreba u svijetu.

2. Razvoj potrošnje energije i električne energije u Jugoslaviji

Potrošnja primarnih oblika energije u Jugoslaviji iznosila je 1937. 4,8, a 1970. godine 25 mln tona ekvivalentnog ugljena. Srednji godišnji porast potrošnje energije u tom razdoblju iznosio je 6,5%. Prema izrađenim studijama očekuje se da će 1985. godine potrošnja iznositi 80 mln ekvivalentnog ugljena.

Struktura potrošnje primarnih izvora iznosila je u postotku:

	ugljen	nafta	plin	voda	nuklearna energija
— 1937. godine	92,5	5,9	0,1	1,5	—
— 1970. godine	51,6	35,9	5,4	7,1	—
a predviđa se — 1985. godine	33,1	50,0	9,2	6,9	0,8

Hidro-potencijal Jugoslavije iznosi 62.000 GWh godišnje proizvodnje. Hidro elektrane, u pogonu i u izgradnji proizvest će 1975. godine oko 23.000 GWh, što predstavlja iskorištenje ukupnog vodnog potencijala od 37%. Prema ocjenama korištenja vodnog potencijala očekuje se da će 1985. godine biti iskorišteno daljnjih 20.000 GWh, pa bi u toj godini iskorištenje hidropotencijala iznosilo oko 70%. Ocijenjeno je nadalje, da radi manjih padova i mogućnosti instaliranja malih kapaciteta, a prema tome i manje ekonomičnosti takvih objekata, oko 20.000 GWh neće biti iskorišteno u skoro vrijeme. Smatram da bi bilo korisno izvršiti noveliranje ekonomske vrijednosti preostalog hidropotencijala, gdje bi trebalo uvažiti porast investicionih ulaganja, interes drugih partnera te spremnost zajedničkog ulaganja pri kompleksnim vodoprivrednim rješenjima. Na osnovi podataka o prilikama u SRH kao i na osnovi saznanja o tempu energetskog iskorištenja hidropotencijala u svijetu, pretpostavljam, da su iznesene procjene tempa energetskog korištenja hidropotencijala preoptimističke.

Rezerve goriva (ugljen, sirova nafta i zemni plin) iznose u Jugoslaviji 3,4 milijarde tona ekvivalentnog ugljena. Od tih rezervi 87% otpada na ugljen (45% nalazi se na lokaciji Kosovo, a 42% na svim ostalim ugljenim bazenima), 9% na sirovu naftu i 4% na zemni plin. Navedene rezerve dovoljne su da zadovolje sadašnji nivo potrošnje energije u Jugoslaviji, za oko 130 godina. Na osnovi analiza o mogućnostima izgradnje termoelektrana na ugljenim bazenima, ocijenjeno je da bilančne rezerve na dnevnim kopovima omogućavaju izgradnju termoelektrane snage najviše 12—13.000 MW. Rezerve ugljena su dovoljne za eksploataciju tih kapaciteta termoelektrana u trajanju od 50 godina.

Duži niz godina vršena je prospekcija terena u cijeloj zemlji sa ciljem da se utvrde rude sa sadr-

žajem urana, količine urana, te uvjeti njegove eksploatacije. Rezultati istraživanja pokazuju da rezerve urana (U_3O_8) iznose:

— 5.200 tona u rudači sa sadržajem urana do 0,1%
— 2.318 tona u rudači sa sadržajem urana od 0,01 do 0,1%.

Indicirane količine urana na osnovi istraživanja procijenjene su na daljnjih 12.625 tona. Tu se svakako radi o rudama s manjim sadržajem urana, a prema tome, i većom cijenom eksploatacije.

Energetičari znaju kakva je energetska vrijednost ugljena, plina i drugih oblika primarne energije ali se još uvijek nema osjećaj za energetsku vrijednost urana. Izvršena je procjena o energetskoj vrijednosti navedenih količina urana (na osnovi pretpostavki o strategiji korištenja nuklearnog goriva, tempu izgradnje nuklearnih elektrana, te tipovima korištenih reaktora), iz koje proizlazi da je energetska vrijednost navedenih količina urana u Jugoslaviji približno jednaka energetskoj vrijednosti ugljena.

Na osnovi iznijetih podataka o raspoloživosti primarnih oblika energije može se zaključiti da se u doglednoj budućnosti ne pojavljuje problem energetske opskrbljenosti. Osnovni je problem, prema tome, utvrditi optimalnu strukturu korištenja primarnih oblika energije, a prema tome i strukturu izgradnje elektrana, a to je pitanje diktirano isključivo ekonomskim kriterijima.

Kao što je već spomenuto, ne postoji dugoročna (do 2000. godine) projekcija razvoja energetike, pa prema tome, ni dugoročni planovi razvoja elektroprivrede. U takvoj situaciji pokušat ću iznijeti približnu sliku stanja u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije do kraja ovog stoljeća koristeći se pri tome elaboratima i studijama, što sam ih imao na raspolaganju. Za vremensko razdoblje koje nije obuhvaćeno studijama iznijet ću neke vlastite procjene.

Prema globalnoj projekciji dugoročnog razvoja udružene elektroprivrede Jugoslavije za razdoblje do 1985. godine koju je izradila Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, potrošnja električne energije iznosi:

— 1960. godine	8.900 GWh	(ostvareno)
— 1970. „	26.000 „	„
— 1975. „	41.600 GWh	(procijenjeno)
— 1980. „	60.500 „	„
— 1980. „	87.500 „	„

U spomenutom elaboratu predložena struktura proizvodnje u elektroenergetskom sistemu izrađena je na osnovi usvojenih pretpostavki i definirana kao poželjna struktura proizvodnih kapaciteta, kako slijedi:

— u GWh —

	Hidroelektrane	Termo + nuklearne elektrane	Ukupno
— 1975. godine	24.300	17.300	41.600
— 1980. „	29.700	30.800	60.500
— 1985. „	38.700	48.800	87.500

Institut za elektroprivredu u Zagrebu, na traženje i prema definiranom zadatku udružene elektroprivrede SRH, izradio je u 1969. godini studiju o razvoju potrošnje i strukturi proizvodnje lektrične energije za zapadni dio zemlje za razdoblje do 1985. godine. Rezultati studije upućuju na to da je već od 1975. godine nadalje potrebno u sve većoj mjeri uključivati nuklearnu elektranu u elektroenergetski sistem.

U pomanjkanju projekcija o razvoju potrošnje i mogućoj strukturi proizvodnje za razdoblje 1985. do 2000. godine, ocjenit ću, na osnovi zapaženih zakonitosti u razvoju potrošnje električne energije, te raspoloživih primarnih izvora hidroenergije i ugljena, situaciju u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije krajem ovog stoljeća.

Ako pretpostavimo da će u razdoblju nakon 1985, godine srednji godišnji porast potrošnje električne energije iznositi 7%, što odgovara današnjem porastu razvijenih zemalja, proizlazi da bi potrošnja električne energije, odnosno instalirana snaga iznosila:

— 1990. godine	125.000 GWh	25.000 MW
— 1995. „	175.000 „	35.000 „
— 2000. „	245.000 „	49.000 „

Nivo potrošnje električne energije u 2000. godini oznosio bi prema ovoj ocjeni 8.000 kWh/stanovnik.

Da bi provjerili nije li planirana potrošnja u Jugoslaviji za 2000. godinu dobivena na taj način previsoka, bit će korisno usporediti nivo potrošnje električne energije po stanovniku u SAD i u Jugoslaviji:

— kWh/stanovnik —

Godina	1940.	1970.	2000.
Jugoslavija	80	1.300	8.000
SAD	1.300	8.000	33.000

Iz ovih podataka slijedi da je ostvareni nivo potrošnje električne energije po stanovniku u Jugoslaviji u 1970. godini bio postignut u SAD 30 godina ranije. Ako i za budući razvoj potrošnje zadržimo isti vremenski pomak te ostvareni nivo potrošnje u SAD u 1970. godini planiramo ostvariti u Jugoslaviji u 2000. godini, dobivene veličine o razvoju potrošnje mogu se smatrati prije skromnim nego optimističkim.

Uzimajući u obzir da će iskorištenje preostalog hidropotencijala rasti, ali sa nešto nižom stopom nego što je predviđeno u ranije spomenutoj projekciji, tako da iskorištenje u 1990. godini iznosi 72%, a u 2000. godini 78%, te uvažavajući ranije spomenutu procjenu da rezerve ugljena na dnevnim kopovima omogućuju izgradnju termoelektrana ukupne snage od maksimalno 13.000 MW s godišnjom proizvodnjom od oko 65.000 GWh, struktura proizvodnje i hidro i termo elektrana, te manjak električne energije iznosili bi:

— u GWh —

Godina	Hidro-elektrane	Termo-elektrane	Ukupno	Manjak
— 1990.	44.000	65.000	109.000	16.000
— 1995.	47.000	65.000	112.000	63.000
— 2000.	48.000	65.000	113.000	132.000

Relativno manji dio navedenog manjka bit će moguće zadovoljiti termoelektranama na uvozno tekuće gorivo i plin, pa proizlazi da već u 1990. godini moraju biti u pogonu i značajni kapaciteti nuklearnih elektrana. Ako k tome dodamo:

— da je korištenju nuklearnih elektrana potrebno pristupiti prije iscrpljenja konvencionalnih energetskih izvora, čak i uz pretpostavku da su termoelektrane ekonomski povoljnije rješenje od nuklearnih elektrana,
— da su konvencionalni izvori energije vrlo neravnomjerno raspoređeni na teritoriji zemlje (područja sa najintenzivnijom potrošnjom električne energije nalaze se blizu granice ekonomskog iskorištenja ovog potencijala),
— da su nuklearne elektrane na nekim lokacijama već danas konkurentne termoelektranama, i da razvoj tehnologije i tendencije u kretanju cijena idu u prilog nuklearnih elektrana,
— da su već danas nafta, plin i nuklearna goriva predmet normalne međunarodne razmjene, gdje su troškovi transporta na naftu i plin podnošljivi, a za nuklearno gorivo praktično zanemarivi, jasno je, da će se naći ekonomsko opravdanje da se nuklearne elektrane grade i ranije.

3. Eksploatacija elektrana i problemi zaštite prirode

Nagli razvoj industrij u ovom stoljeću omogućio je brzi porast standarda stanovništva. Istovremeno s porastom industrijske proizvodnje javljaju se i problemi onečišćenja okoline produktima koji nastaju u tehnologiji proizvodnje. Onečišćenost vode i atmosfere u tolikoj je mjeri aktualna da je na nekim područjima već danas dovedena u pitanje biološka ravnoteža koja postoji u prirodi. Zaštita čovjekove okoline postaje tema dana i sasvim je sigurno da je ona jedan od problema koji će imati značajan utjecaj na tempo razvoja nekih industrija, kao i na strukturu proizvodnje električne energije.

Budući da se hidroelektrane smatraju »čistim« energetskim izvorima zadržat ću se na problemima vezanim s eksploatacijom termoelektrana i nuklearnih elektrana. Iznijet ću samo neke osnovne podatke o onečišćenju vode, zraka, i radijaciji, do čega dolazi eksploatacijom nekih elektrana.

Onečišćenje vode

Pod onečišćenjem vode podrazumijeva se zagrijavanje vode koja se upotrebljava za hlađenje kondenzatora turbine. Stupanj djelovanja suvremenih termoelektrana iznosi oko 40%, što znači da se 60% topline dovedene u kotao nekorisno odvodi na okolinu oko 62% i ostalim mediima oko 5%. To prenosi se na zrak i okolne objekte). Kod današnjeg stanja tehnologije nuklearnih elektrana korisna toplina iznosi oko 33%, dok se putem vode prenosi na okolinu oko 62% i ostalim mediima oko 5%. To znači da su zahtjevi za količinu rashladne vode teži kod nuklearnih elektrana, i da ova postrojenja zahtijevaju, na današnjem stepenu tehnološkog razvoja, oko 40% rashladne vode više od konvencionalnih termoelektrana. Međutim valja spomenuti, da dazvoj tehnologije nuklearnih elektrana, u prvome redu razvoj visokotemperaturnih reaktora kao i primjena brzih reaktora, obećava značajno poboljšanje stupnja djelovanja, pa bi nuklearne elektrane u budućnosti u tom pogledu bile izjednačene s klasičnim termoelektranama.

Iznijet ću još nekoliko podataka koji ilustriraju ove probleme. Za svaki proizvedeni kWh u termoelektrani s protočnim hlađenjem potrebno je 125 lit. rashladne vode, što kod nuklearnih elektrana iznosi oko 180 lit. Uz dodatne investicije za rashladne tornjeve, količina rashadnne vode se bitno smanjuje (oko 15 puta), pa se i problem lokacije elektrana ublažuje.

Potrebno je konstatirati da u našim prilikama, za sada, ovaj problem nije igrao značajnu ulogu, a da i sama činjenica što postoje veće rijeke, a naročito što postoji duga morska obala i u budućnosti olakšavaju rješenja ovog problema.

Onečišćavanje atmosfere

Eksploatacijom termoelektrana izbacuju se u atmosferu: pepeo, CO, CO_2, N i SO_2. Pretpostavljajući da postoje ugrađeni tehnički uređaji za uklanjanje čestica i da je tehnička regulacija kotla besprijekorna, količine ovih produkata, osim SO_2, su relativno male, pa ćemo se u daljnjem izlaganju zadržati samo na utjecaju sumpora koji se radom termoelektrana oslobađa iz upotrebljenog goriva i izbacuje u atmosferu.

Sadržaj sumpora u ugljenu varira u svjetskim razmjerima od 1—7% (u našim prilikama to iznosi 2—3% iznimno i do 9% — Raša). Sadržaj sumpora u tekućem gorivu kreće se od 0,3 do 5,2%. Tekuće gorivo koje se upotrebljava u elektranama ima nažalost sadržaj sumpora na gornjoj granici navedenog iznosa. Za svaki 1% sumpora u gorivu ispušta se u atmosferu po proizvedenom kWh u termoelektranama na ugljen 6,5 gr, a kod termoelektrana na tekuće gorivo 4,6 gr SO_2. Na osnovi ovih podataka utvrđeno je da termoelektrane ispuštaju godišnje u atmosferu 22 milijuna tona SO_2 što predstavlja 36% od ukupne količine sumpora koja se ispušta u atmosferu (potrošak goriva sa sadržajem sumpora u industriji, kućanstvu, itd., pridonosi 64% sadržaju sumpora u atmosferi). Poznato je štetno djelovanje sumopra na sve žive organizme i mrtvu prirodu, pa je i zbog toga većina industrijskih zemalja propisima regulirala granice zagađenosti zraka sa SO_2. U našoj zemlji pri projektira-

nju termoelektrana primjenjuju se njemački propisi. Međutim, može se konstatirati da se kontroli zagađivanja ne pridaje dovoljna pažnja i da nas već današnja zagađenost zraka prisiljva da se nešto više učini na zaštiti prirode u kojoj živimo.

Radijacija

Eksploatacijom nuklearnih elektrana stvorene su potencijalne opasnosti radioaktivnog zagađenja ljudi i okoline. Ovaj problem posebno je osjetljiv zato što je nuklearna energija u širim razmjerima bila prvi puta predstavljena čovječanstvu svojom velikom snagom u uništavanju ljudi i njihovih materijalnih dobara. Upravo zato ne postoji slučaj u povijesti razvoja industrije da su prije praktične primjene bile tako detaljno razrađene i poduzete sigurnosne mjere kao što je to slučaj kod nuklearne energije. Eksploatacijom nuklearnih elektrana stvaraju se plinoviti, tekući i kruti reaktivni produkti. Ugrađeni tehnički uređaji omogućuju, a sigurnosni propisi reguliraju rukovanje i odlaganje ovih produkata bez opasnosti za ljude koji njima rukuju, kao i za okolinu. Spomenimo i to da radijacija nije fenomen važan samo za korištenje nuklearne energije. Bit će vrlo interesantno pogledati pregled izvora i intenzivitet zračenja kojem su izloženi ljudi u nekim područjima što ga je izradila atomska komisija SAD za 1870. godinu, i to:

— od kozmičkog zračenja i prirodne radiaktivnosti u ljudskim tijelima, stanovima, zemlji i zraku, za prosječnog amerikanca	70—200	millirem/god.
— isto, ali za ljude koji žive na vulkanskom područjima u Brazilu	1.600	„
— isto, ali za ljude koji žive na priobalnom području Indije	1.300	„
— dodatno za ljude koji žive u kućama koje su građene od matrijala u kojima ima radioaktivnih elemenata	50—150	„
— dodatno o eksperimentima s nuklearnim oružjem — prosječno za amerikanca	2	„
— dodatno od rentgenskih pregleda — prosječno za amerikanca	75—100	„
— dodatno od zračenja (kozmičko zračenje za vrijeme leta u avionu, lumiscentni satovi, TV u boji, i dr.) — prosječno za amerikanca	2	„
— od radioaktivnih produkata iz nuklearnih elektrana u 1970. godini — prosječno za amerikanca	0,001	„
— od radioaktivnih produkata iz nuklearnih elektra za one koji žive 4 milje od kruga nuklearne elektrane u 1970. godini	manje od 1	„
— od radioaktivnih produkata iz nuklearne elektrane za one koji žive neposredno uz elektrane — prosječno u 1970. godini	5	„

Iz ovih podataka može se zaključiti da su opasnosti od radijacije za vrijeme pogona nuklearnih elektrana minimalne. Nesagledive su međutim posljedice do kojih bi došlo u slučaju razaranja nuklearne elektrane, ili ako bi radioaktivni produkti koji se nalaze u jezgri reaktora izašli u atmosferu i okolinu. Propisi o sigurnosnim mjerama koji se moraju poštivati kod projektiranja i izgradnje nuklearnih elektrana, osiguravaju ljude od takvih tragedija.

4. Uključivanje nuklearne elektrane u elektroenergetski sistem

a) Ekonomska konkurentnost nuklearnih elektrana

Opće je poznato da su investiciona ulaganja u nuklearne elektrane 1,5 do 2 puta veća nego u termoelektrane iste snage koje koriste ugljen. Također je opće prihvaćeno i poznato da je udio goriva u cijeni proizvedenog kWh znatno niži kod nuklearnih elektrana nego što je to slučaj kod termoelektrana. Cijena goriva u ukupnoj cijeni proizvodnje učestvuje sa približno:

— termoelektrane na ugljen na dnevnim kopovima	50%
— termoelektrane na mazut	66%
— nuklearne elektrane	25%

Uvažavajući upravo iznesenu konstataciju nuklearna elektrana može biti ekonomski povoljnije rješenje kad je *ušteda na gorivu u toku životne dobi elektrane, veća od ukamaćene razlike investicija između nuklearne i konvencionalne termoelektrane.*

O kretanju cijena investicija i cijena goriva ovisi sadašnja i buduća konkurentnost nuklearnih elektrana, pa će biti interesantno, makar približno, vidjeti kakve su tendencije u kretanju ovih veličina.

Zalihe nuklearnih sirovina, kao što je prethodno navedeno, svrstane su u kategorije s obzirom na troškove eksploatacije. Danas se eksploatiraju povoljnija nalazišta rude s većim sadržajima urana,

a sve većom primjenom nuklearne energije u proizvodnji električne energije, bit će neophodno koristiti uranom siromašniju sirovinu, pa će to utjecati na povećanje cijene goriva. U cijeni gorivog elementa sirovina učestvuje s oko 30%, pa će povećanje cijene urana imati tri puta manji utjecaj na povećanje cijene gorivog elementa.

Kod današnjih energetskih reaktora koji rade na principu termalnih neutrona koristi se oko 1% nuklearnog goriva. Postoje tendencije da se poveća iskorištenje goriva razvojem naprednijih tipova termalnih reaktora. Međutim, značajnije poboljšanje iskorištenja postići će se primjenom brzih oplodnih reaktora kod kojih poboljšanje u odnosu na postojeće reaktore iznosi i do 50 puta. Upravo to je razlog zašto se danas tolika pažnja poklanja razvoju brzih reaktora i zašto se s pravom tvrdi da će udio goriva u cijeni proizvodnje nuklearnih elektrana u budućnosti biti manji nego što je to danas.

Investiciona ulaganja u nuklearne elektrane za vrijeme posljednje četiri godine pokazala su tendenciju porasta za veći postotak nego što je to slučaj kod cijene investicionih ulaganja u klasične termoelektrane. Osnovni razlozi za takvo stanje su u prebacivanju na nuklearne elektrane dijela infrastrukturnih ulaganja na nuklearnom području (postrojenja za obogaćivanje urana, prerada goriva i dr.), radi povećanih zahtjeva u pogledu sigurnosti, te radi tehnološkog razvoja nekih elemenata nuklearnih elektrana. Navedeni razlozi su osim toga utjecali na produženje izgradnje nuklearnih elektrana, a to je utjecalo na dalje povećanje troškova angažiranog kapitala. Sve veća izgradnja nuklearnih elektrana omogućit će u neposrednoj budućnosti da se izvrši standardizacija pa i serijska proizvodnja nekih elemenata opreme što može utjecati na smanjenje investicija i do 10%.

Radi dobivanje približne slike o strukturi investicija nuklearne elektrane, te jedne konvecionalne termoelektrane, daju se približni podaci za nuklearnu elektranu Krško i Termoelektrane Sisak II:

	Nuklearna elektrana Krško %	Termoelektrana Sisak II %
1. Građevinski dio	12,2—14,0	10,3
2. Oprema s prijevozom do gradilišta	59,8—60,7	56,0
3. Carina	8,8— 9,6	14,6
4. Montaža	5,1— 5,9	11,7*
5. Ostalo	3,6— 4,8	7,4
6. Prvo punjenje goriva	7,6— 8,0	—
Ukupno:	100,0%	100,0%
7. Interkalarni kamati i troškovi osiguranja kredita	19,4	6,2*

* Investiciona ulaganja su bez obrtnih sredstava i bez eskalacije u toku izgradnje. Kod TE Sisak valja uzeti u obzir da se radi o drugoj etapi izgradnje. Interkalarni kamati kod TE Sisak nisu mjerodavni, jer ih na sovjetski zajam nema, pa je postotak ispao jako malen. Kod TE Sisak u stavci »montaža« uključen je i transport opreme i osiguranje u transportu i montaži.

Cijena reaktora iznosi oko 16% ukupnih investicionih ulaganja, a učešće domaće industrije kod nuklearne elektrane Krško iznosi oko 40% ukupne investicione vrijednosti.

b) Izbor jedinične veličine agregata i tipa reaktora

Veličina agregata koja se može instalirati u elektrani diktirana je veličinom elektroenergetskog sistema, izgrađenošću visokonaponske prijenosne mreže, te povezanošću sa susjednim sistemima. Naime, kontinuirano i kvalitetno snabdijevanje potrošača električnom energijom mora biti osigurano i za slučaj neplaniranog izlaska iz pogona najveće pogonske jedinice koja je bila u pogonu opterećena nominalnom snagom. Prema tome veća jedinična snaga agregata zahtijeva veću rotirajuću rezervu u sistemu kao i odgovarajuće mogućnosti prijenosa. Rađene su mnoge studije koje su se bavile ispitivanjem maksimalne snage agregata koja se može ugraditi u elektroenergetski sistem, a da se sigurnost snabdijevanja potrošača ne dovede u pitanje. Rezultati nisu jednoznačno definirani i snaga agregata se kreće od 6—20% postignutog vršnog opterećenja u sistemu. Institut za elektroprivredu u Zagrebu izradio je tokom 1972. godine studiju pod naslovom »Visokonaponska mreža zapadnog dijela Jugoslavije u 1975, 1978. i 1982. godini«, prema kojoj izgradnjom planiranih objekata mreže i elektrana ne treba očekivati veće poteškoće u pogonu 1978. godine kada na mrežu bude priključena nuklearna elektrana Krško sa snagom agregata 600 MW. Razvoj tehnologije u industriji omogućio je da se snaga agregata povećava brže nego što sada može primiti elektroprivreda. Mogućnost i interes industrije i elektroprivrede za izgradnju većih jedinica naročito je došao do izražaja izgradnjom nuklearnih elektrana. Radi ilustracije navodim da je u SAD prva jedinica od 250 MW bila naručena u 1952. godini, a već 1961. godine jedinična snaga bloka iznosi 1000 MW. U Njemačkoj je tek 1954. godine ušla u pogon prva jedinica snage 150 MW, a tek nakon deset godina snaga najvećeg bloka iznosila je 300 MW. Postoje zaključni ugovori za jedinicu 1.300 MW u Americi i 1.200 MW u Evropi. Industrija već danas radi na konstrukciji jedinice 1.500 MW, a još prije 1980. na osnovi postojeće tehnologije, bit će u stanju da ponudi jedinice snage 2.000 MW.

Osnovni tipovi nuklearnih reaktora koji se danas primjenjuju u izgradnji komercijalnih nuklearnih elektrana su lakovodni reaktori sa obogaćenim uranom (2—4% U-235), i to sa dvije mogućnosti rješenja:

— reaktorski sud pod pritiskom (PWR)
— kipuća voda u reaktoru (BWR)

Kanada razvija reaktore s teškom vodom i prirodnim uranom (0,73% U-235).

Intenzivno se radi na daljnjem razvoju termalnih reaktora. Nazveću novost u tehnološkom razvoju predstavljaju brzi oplodni reaktori koji se danas grade u eksperimentalne svrhe. Procjenjuje

se da će oko 1985. godine brzi reaktori biti prihvaćeni kao komercijalni objekti u elektroprivredi.

Znatno više o tipovima reaktora rečeno je u ostalim referatima napisanim za ovo savjetovanje.

c) Izbor lokacije

Lokacija nuklearnih elektrana diktirana je u prvom redu potrebama električne energije na nekim područjima, a bitno ograničenje predstavlja raspoloživost rashladne vode. Troškovi transporta goriva su zanemarivi, a to se najbolje može zaključiti iz podatka da za nuklearnu elektranu snage 1.000 MW godišnje treba dopremiti samo oko 30 tona goriva.

Iako se može konstatirati da je razvoj tehnologije gradnje nuklearnih elektrana već danas udovoljio osnovnim zahtjevima u pogledu sigurnosti, treba očekivati da će ovi problemi u izvjesnoj mjeri ograničavati mogući izbor lokacije. Postoji i niz drugih zahtjeva koji moraju biti uvaženi kod izbora lokacije i projektiranja nuklearnih elektrana kao što su seizmologija, geologija, i dr.

d) Ostala pitanja

Postoji čitav niz pitanja što su usko vezana s izgradnjom nuklearnih elektrana, a u ovom materijalu gotovo nisu spomenuta. To su:

— uključivanje domaće industrije u izgradnju nuklearnih elektrana
— strategija korištenja nuklearnih sirovina
— fleksibilnost i pouzdanost eksploatacije nuklearnih i konvecionalnih elektrana
— konstrukcija financiranja izgradnje nuklearnih i konvecionalnih elektrana, i s tim u vezi mogućnost zaduženja u inozemstvu.

Mnoge od razmatranih problema, kao i prije spomenutih pitanja, valja proučiti i realno sagledati te optimalno riješiti. To će se postići ako elektroprivreda pokaže potreban interes da na tome radi. Ako ovo savjetovanje pridonese povećanju elektroprivrede i drugih zainteresiranih organizacija i institucija da se proučavaju mnoga praktična pitanja vezana za izgradnju i eksploataciju nuklearnih elektrana, u što ne sumnjam, onda će biti postignut cilj ovog savjetovanja. Nadam se da će nakon ovog savjetovanja s vrlo širokim pristupom i temama slijediti intenzivan stručni rad, razmjena mišljenja i zauzimanje stavova o konkretnim pitanjima vezanim s korištenjem nuklearne energije u našoj elektroprivredi. Jer, ma koliko da iskustva drugih zemalja, kao i opće tendencije u svijetu predstavljaju interesantno i korisno saznanje, optimalna rješenja se u svakoj zemlji, pa čak i u nekim područjima, pronalaze detaljnim analiziranjem konkretnih prilika uvažavajući pri tome sve mogućnosti što ih nudi razvoj tehnologije.

5. Zaključak

1. Krajem 1971. godine u 15 zemalja je instalirana snaga komercijalnih nuklearnih elektrana u pogonu iznosila 26.850 MW. Očekuje se da će do kraja ovog stoljeća nuklearna elektrana postati osnovni proizvodni kapacitet u elektroprivredi;
2. Elektroprivreda je pozvana i dužna da bude inicijator u izučavanju i realnom sagledavanju i rješavanju svih pitanja vezanih s izgradnjom i eksploatacijom nuklearnih elektrana;
3. Potrebno je da se što prije izradi dugoročni program razvoja energetike i elektroprivrede polazeći od konkretnih potreba i mogućnosti, kako pojedinih područja, tako i cijele zemlje. Kod utvrđivanja optimalne strukture korištenja primarnih izvora, te strukture proizvodnje u elektroprivredi, potrebno je u realnoj ekonomskoj mjeri dati prednost korištenju vlastitih sirovinskih izvora. U izradi programa i planova izgradnje, kod izučavanja optimalnih rješenja, potrebno je valorizirati i izgradnju konvencionalnih i izgradnju nuklearnih elektrana.

Naslov pisca: Ivo Božin, dipl. ing., savjetnik u »Udruženoj elektroprivredi SRH«, Zagreb, Ul. proleterskih brigada 37

TEHNIČKE KARAKTERISTIKE NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO

Janez Dular, Ljubljana

U članku je prikazano kompletno postrojenje nuklearne elektrane u Krškom. Opisan je reaktor s pomoćnim sistemima, turbogeneratorsko postrojenje, generator i električna oprema. Prikazane su dvije moguće alternative izgradnje nuklearnog sistema za proizvodnju para: PWR i BWR.

DK 621.039

1. Uvod

U vrijeme pisanja ovog članka, nije još bila donesena konačna odluka o izboru glavnog dobavljača opreme za nuklearnu elektranu Krško, pa prema tome time ne bih želio prejudicirati taj izbor.

Budući da je poznato da su u užem izboru ostala četiri reaktora triju velikih firmi, i to dva tipa, predstavit ću u ovom članku oba tipa: PWR i BWR.

Osnovni dijelovi nuklearne elektrane su: nuklearni sistem za proizvodnju pare, turbogeneratorsko postrojenje i električna oprema. Osnovna razlika između oba tipa je u sistemu za proizvodnju pare, pa ću tome posvetiti i veću pažnju.

Turbogeneratorski dio je gotovo jednak kod oba tipa, a isto je i sa električnom opremom za koju je najvažnija ona koncepcija na osnovi koje je projektirana.

1.1. PWR — nuklearni sistem za proizvodnju pare

U slučaju da se odlučimo za PWR sistem, elektrana će imati osnovnu koncepciju kako slijedi:

Energija se proizvodi u slabo obogaćenim gorivnim štapovima, koji sačinjavaju jezgro reaktora. Reaktorsko jezero je smješteno u reaktorskoj posudi napunjenoj lakom (običnom) vodom, koja služi i za hlađenje i za moderiranje (sl. 1.1.1.).

Gorivi štapovi tvore gorive elemente. Za kontrolu reaktora, su u tim elementima i kontrolne šipke. One obavljaju mehaničku kontrolu. Voda u reaktoru struji odozno kroz gorive elemente nagore.

Mehanički kontrolni sistem dopunjava i kemijski kontrolni sistem reaktivnosti. U te svrhe upotrebljava se borna kiselina koja ima absorpcioni koeficijent za termalne neutorne i dodaje se u sredstvo za hlađenje. Toplina koja se proizvodi u jezgri prenosi se u generatore pare potpuno demineraliziranom vodom koju tjeraju glavne pumpe.

Pojne pumpe sekundarnog dijela opskrbljuju vodom sekundarnu stranu parogeneratora gde se ona grije do temperature ključanja i uparava.

Sistem za hlađenje reaktora i pomoćni sistemi su projektirani za maksimalne temperature i tlakove koji mogu nastati u nenormalnim pogonskim uvjetima.

Reaktorski sistem za hlađenje je potpuno odijeljen od sistema pare i sistema pojne vode. Ta odijeljenost ima nekoliko projektnih i pogonskih prednosti:

— svi problemi radioaktivnosti su reducirani u zatvoreni sistem reaktora i neposrednih pomoćnih naprava, i
— moguće je upotrijebiti neutronski absorber (borna kiselina) u vodi za hlađenje.

1.1.1. Reaktor

Reaktorsku jezgru sačinjavaju gorivi elementi. Ako su sastavljeni od gorivih štapova 15 × 15 tada je to 225 gorivih štapova. Međutim, 20 od njih je upotrebljeno za kontrolne štapove, što su simetrično raspoređeni uz gorive štapove.

Mehanizam za pogon kontrolnih štapova sastavljen je: dio za podizanje, sistem za regulaciju i za držanje. Sve je to u cijevima pod tlakom koje su dio reaktorske posude. Voda za hlađenje ulazi u reaktorsku posudu kroz posebne otvore, spušta se uz njezin zid i ponovo se diže kroz jezgru i napušta rektorsku posudu (sl. 1.). Na posudi nema otvora ispod ulaznih i izlaznih prolaza, tako da se može održati jezgra pod vodom iz sistema za sigurnosno ubacivanje vode, ako pukne jedna od glavnih cijevi.

Struktura jezgre služi kao okvir koji ima slijedeće zadatke:

— mora nositi težinu gorivih elemenata,
— mora zadržati položaj i orijentaciju gorivih elemenata i dozvoliti vođenje kontrolnih štapova, i
— mora usmjeravati protok vode kroz reaktorsku posudu.

Generatori pare su postavljeni vertikalno. (Sl. 2). U njima su cijevi u obliku slova »U«. Glavni dijelovi su ploče na koje su pričvršćeni snop »U« i cilindrični omotač. Proizvodnja pare se osniva na temelju prirodne konvekcije. Zato je na kraju »U« cijevi centrifugalni separator pare i sprava za njezino sušenje.

Glavne pumpe su centrifugalne i postavljene su vertikalno. Tlak u pumpi zadržavaju dupli sistemi za brtvljenje. Kućište pumpe je vareno za cjevovode. Svi pomoćni dijelovi su konstruirani tako, da se mogu izvaditi, popraviti ili zamijeniti.

Posebna posuda i *sistem za održavanje tlaka*, mora održavati tlak u reaktoru što konstantniji i što više smanjiti fluktuaciju zbog promjene opterećenja elektrane. To se postiže grijanjem vode u tom sistemu ili upuštanjem vode u paru. U slučaju udara pare kroz sigurnosne ventile, para se kondenzira u posebnoj posudi sistema.

1.1.2. Reaktorski pomoćni sistemi

Sistem kemijske kontrole i volumena sastoji se iz:

— sistema za kontrolu volumena,
— sistema za ubacivanje kemikalija,
— sistem za pročišćavanje,
— rezervoara vode, i
— sisema za obnovu bora.

Glavne funkcije sistema su da:

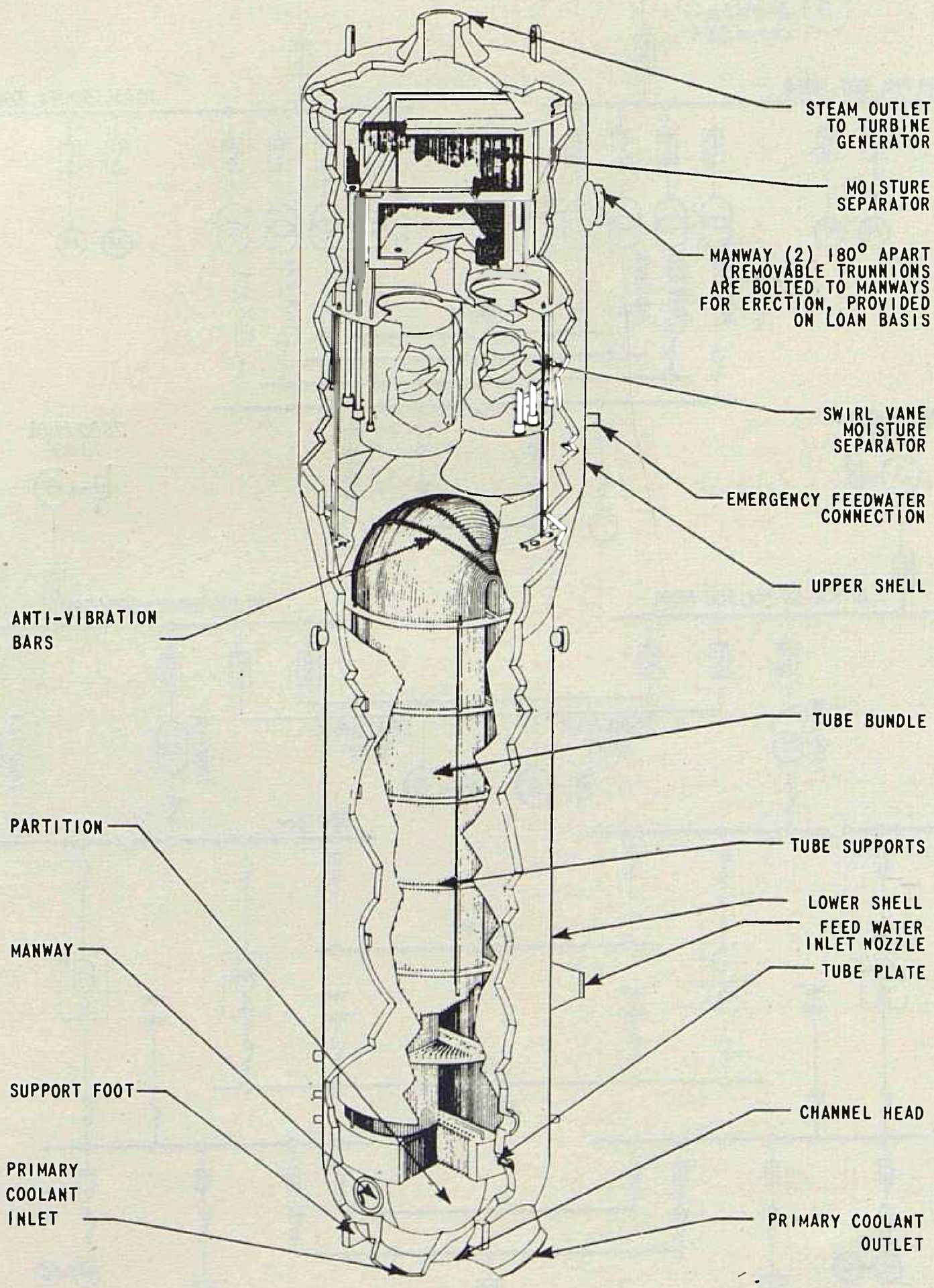
— opskrbljuje vodom glavni sistem za hlađenje,
— prilagođuje koncentraciju bora u vodi,
— opskrbljuje vodu za brtvljenje u glavnim pupama,
— reducira fisione i korozivne produkte u sistemu,
— štiti sistem od korozije ubacivanjem određenih tvari, i
— obnavlja vodu za hlađenje poslije promjene koncentracije borne kiseline, i obnavlja bornu kiselinu za ponovnu upotrebu.

Predviđen je posebni zatvoren *sistem za hlađenje svih sistema* i komponenata u kojima ima aktivne vode.

Sistem za sigurnosno ubacivanje vode je projektiran tako da:

— zaštiti reaktorsku jezgru u slučaju pucanja cijevi vezanih za sistem za hlađenje reaktora, i da
— hladi jezgru u slučaju pucanja glavnih cjevovoda.

Funkcije *sistema za ventilaciju* i klima uređaja su da:



Sl. 1 Presjek parogeneratora

Primary Coolant Inlet — Ulaz primarne vode
Steam Outlet to Turbine Generator — Izlaz pare
Moisture separator — Fini odvajač vlage
Swirl Vane Moisture Separator — Grubi odvajač vlage
Emergency Feedwater Connection — Voda za napajanje
Tube Bundle — Grejne cijevi
Tube Supports — Nosač cijevi
Primary Coolant Outlet — Izlaz primarne vode

— održava željene uvjete u reaktorskoj zgradi,
— odstranjuje radioaktivnost iz zraka u zgradi,
— zaštiti zaposlene i okolinu radioaktivnih aerosola i
— održava traženi podtlak u reaktorskoj zgradi.

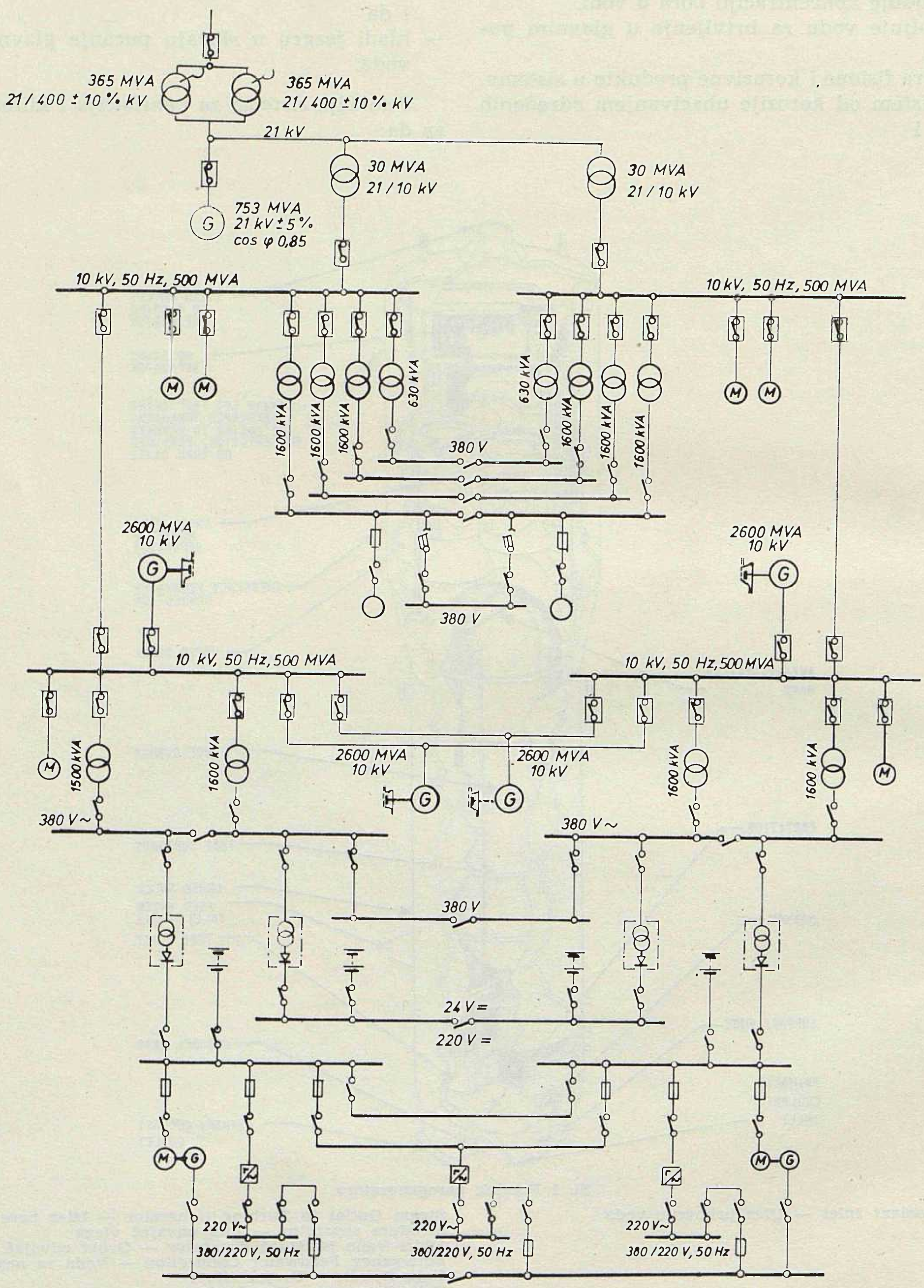
Poseban *sistem odvodi toplinu iz biološkog štita* zbog toplinskog, neutronskog i gama zračenja.

Jedan drugi *sistem* osigurava kontinuirano *provjeravanje rada* svih reaktorskih sistema.

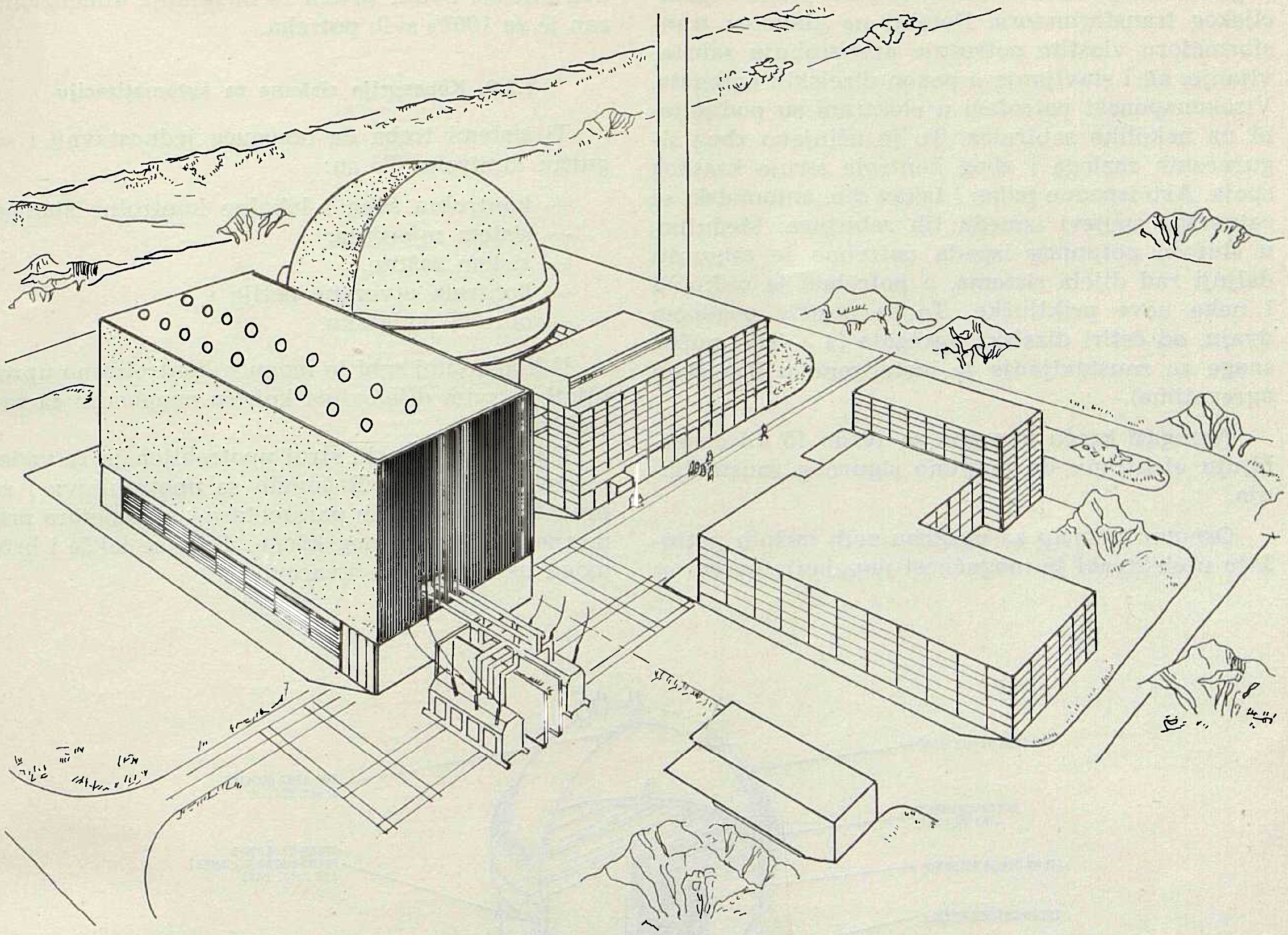
1.1.3. Reaktorski dodatni sistemi

Sistem za rukovanje gorivim elementima svježim i upotrebljenim, *sistem za sakupljanje i tretman otpadaka* i to plinovitih, tekućih i čvrstih.

Kontaminent služi za zaštitu osoblja protiv direktne radijacije i radioaktivnih fisionih produkata u svim slučajevima defekata, posljedica čega su gubici primarne vode za hlađenje.



Sl. 2 Električna jednopolna shema



Sl. 3 HE Krško nuklearna elektrana sa PWR reaktorom

1.2. Turbogeneratorsko postrojenje

1.2.1. Turbogeneratorsko postrojenje

Turbogeneratorsko postrojenje je gotovo isto kao kod termoelektrana na fosilna goriva. Sačinjavaju ga turbogenerator, pregrijači i pripadajuće pumpe. Sve to čini kod PWR-a tako zvani, sekundarni dio, koji je potpuno odvojen od sistema za hlađenje reaktora. Ta oprema je u turbinskoj zgradi.

Pored toga su u elektrani i dizelski agregati za nužne pogone, pomoćna kotlovnica, kemijska priprema vode i potrebne radionice. Zahvat i ispust vode i pumpe za recirkulaciju smještene su uz rijeku.

1.2.2. Turbogenerator

Turbina je izvedena iz jednog visokotlačnog i tri niskotlačna dijela, a ponuđene su i druge izvedbe. Para u turbini se pregrijava svježom parom. Tako se postiže smanjenje vlažnosti pare na izlazu iz niskotlačnog dijela na ispod 10%, znači na vrijednost koja je gotovo ista i kod klasičnih turbina.

Generator je hlađen vodikom i to stator i rotor. Uzbuda je bez četkica, s rotirajućim diodama. Imat će vlastiti sistem za hlađenje zrakom.

1.2.3. Sistem voda-para

Tlak i temperatura radne pare su određeni maksimalnim dozvoljenim temperaturama u reaktorskoj jezgri i veličinama grijanih površina u parogeneratorima.

Pojna voda se grije parom koja izlazi iz turbine. Da bi izbjegli koroziju na cijevima parogeneratora, mora se spriječiti da preko cijelog intervala opterećenja elektrane pojna voda absorbira kisik iz atmosfere. Zato tlak mora biti uvijek i svuda veći od normalnog.

1.2.4. Sistem vode za hlađenje

Cjelokupna potrebna voda uzimat će se iz Save.

1.2.5. Pomoćni sistemi

U nuklearnoj elektrani su normalni kao i za sve termoelektrane, pa ih posebno ne navodim.

1.3. Električna oprema

1.3.1. Osnovni krugotoci

Osnovno uređenje je prikazano na shematskom prikazu (Sl. 3). Generator daje energiju za vlastiti

pogon za vrijeme normalnog pogona preko regulacijskog transformatora. Defekti na glavnom transformatoru vlastite potrošnje prouzrokuju zaustavljanje, ali i stavljanje u pogon dizelskih agregata. Visokonaponski potrošači u elektrani su podijeljeni na nekoliko sabirnica. To je učinjeno zbog sigurnosnih razloga i zbog kontrole struje kratkog spoja. Ako ispadne jedan i takav dio, automatski se zatvaraju spojevi između tih sabirnica. Međutim, u slučaju potpunog ispada potrebno je osigurati daljnji rad dijela sistema, a potrebno je uključiti i neke nove priključke. To se postiže pogonom dvaju, od četiri dizelska agregata (4 × 50% nužne snage za zaustavljanje je instalirano u dizelskim agregatima).

Agregati kreću u pogon za 10 do 15 s i opskrbljuju elektranu do potpuno sigurnog zaustavljanja.

Osnovni princip za opskrbu svih nužnih potrošača u elektrani je mogućnost napajanja barem sa dva mjesta. Svaki sistem za napajanje dimenzioniran je za 100% svih potreba.

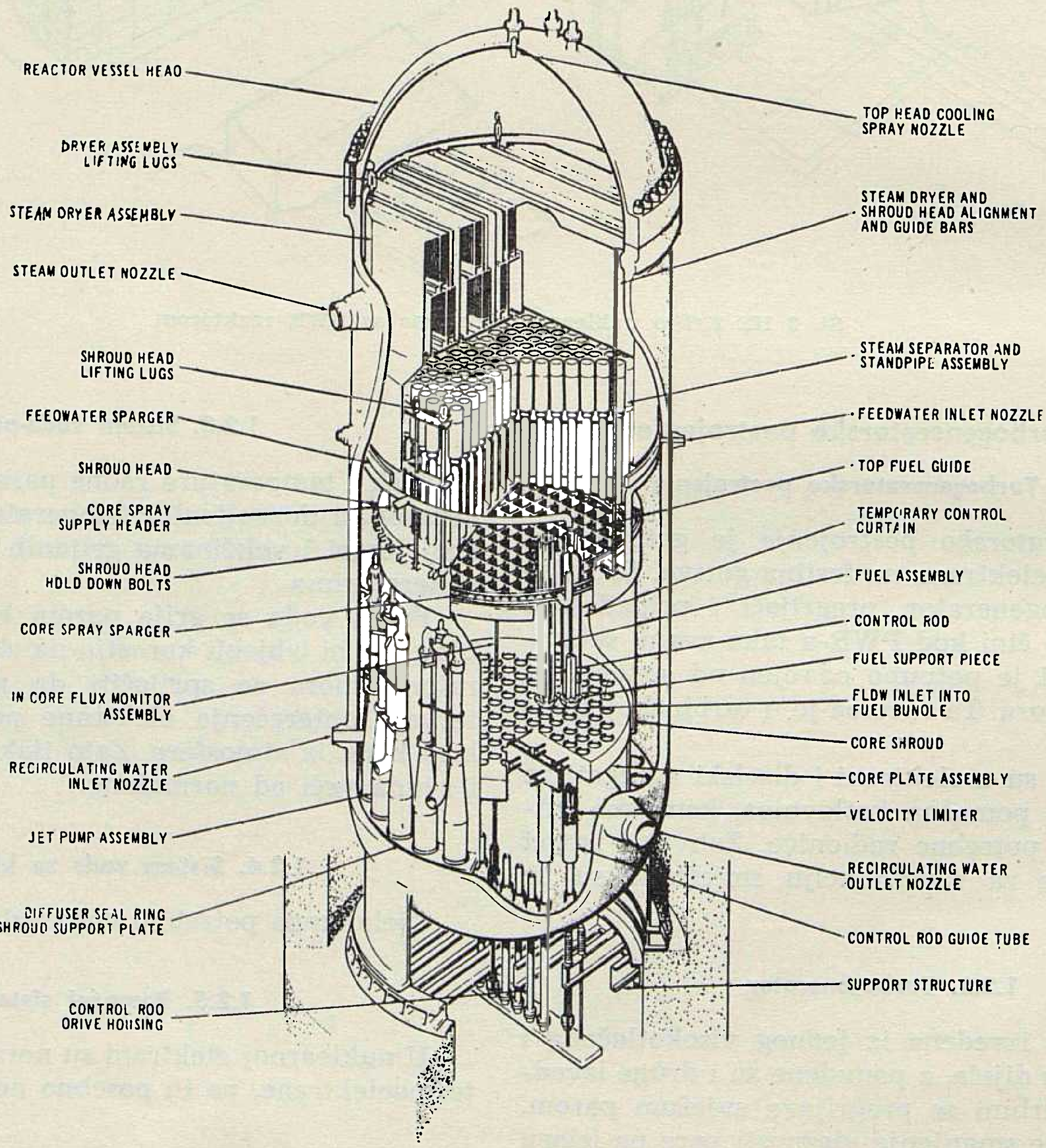
1.3.2. Koncepcija sistema za automatizaciju

Ti sistemi treba da omoguće jednostavnu i sigurnu kontrolu. To su:

— kontrolna soba i lokalne kontrolne stanice,
— sistem mjerenja,
— sistem zaštite,
— kontrola otvorene petlje i
— obrada podataka.

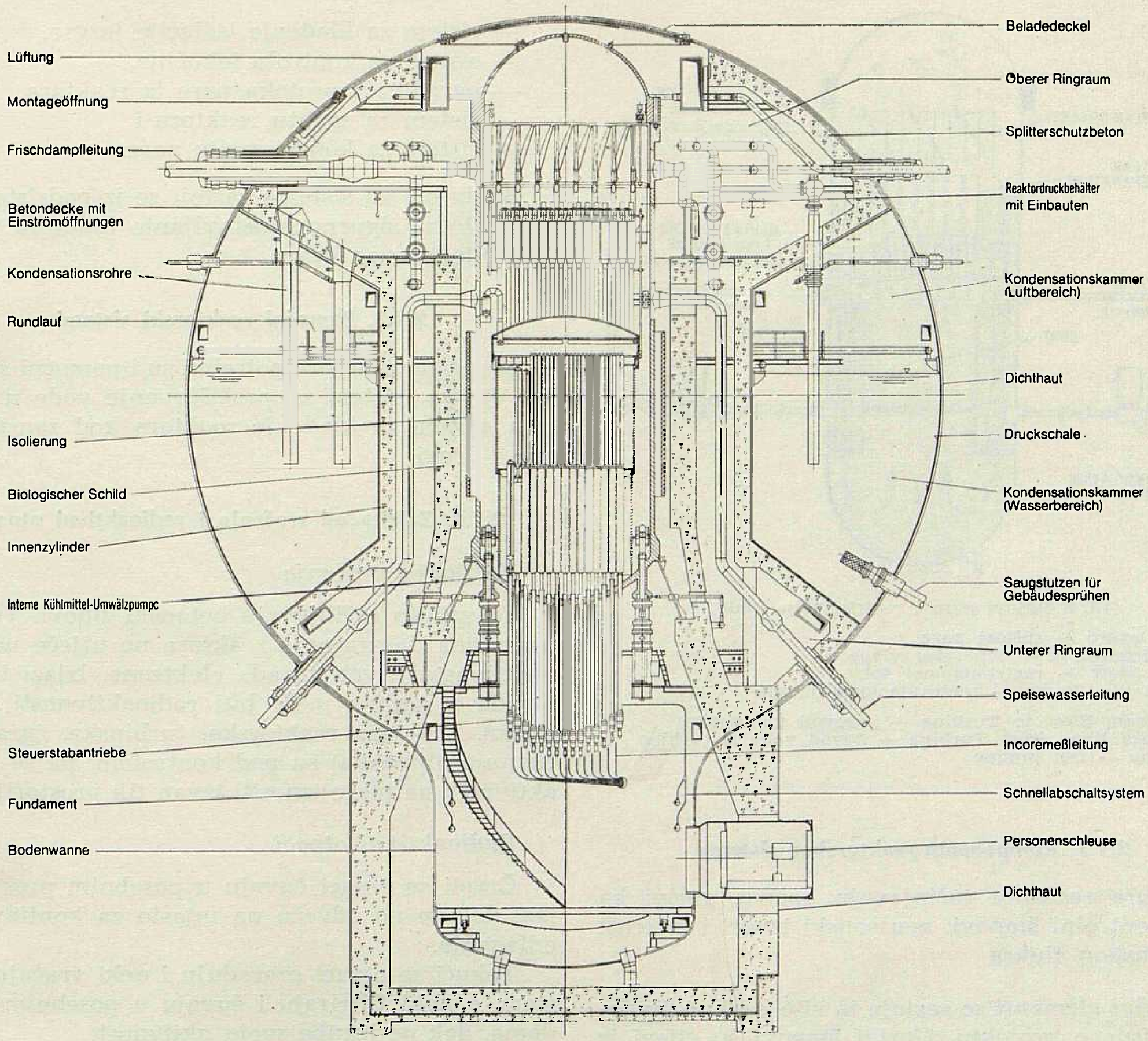
U kontrolnoj sobi je moguće kontrolirano upravljati sa svim dijelovima koji su neophodni za rad elektrane.

Digitalni računski stroj upotrebljen je za vođenje svih mjerenja. Računalo se upotrebljava i za proračun reaktorskih parametara i parametara primarnog i sekundarnog kruga. Tako se lakše i brže mogu ustanoviti svi kvarovi.



Sl. 4 Tipski BWR sa mlaznim pumpama

Reactor Kessel Head — poklopac reaktorskog suda
Steam Dryer Assembly — Sušioc pare
Steam Ontlet Nozzle — Izlaz pare
Shrond Head Lifting Lugs — Separator vlage
Jet Pumpe — Đet pumpe
Feedwater Inlet Nozzle — Ulazak vode
Top Fuel Guide — Gornji nosač gorivih elemenata
Fuel Assembly — Gorivi elementi
Control Rod — Kontrolne šipke
Core Shrond — Donji nosač gorivih elemenata
Control Rod Guide Tube — vođica kontrol. šipki
Suport Strukture — Noseća konstrukcija



Sl. 5 Nuklearna elektrana s BWR reaktorom

Betondecke mit Einströmöffnungen — beton. strop s otvorima
Isvolierung — termalni štit
Biologischer Schild — biološki štit
Innenzylinder — vanjski plašt
Fundament — temelj
Bodenwanne — Dno reakt. suda
Beladedeckel — poklopac reakt. posude
Reactxor Reactor druckbehälter — reaktorska tlačna posuda
Druckschale — tlačni plašt
Dichthaut — Brtvena presvlaka

1.4. Zgrade

Lokacija elektrane je na lijevoj obali rijeke Save. Mjesta ima dovoljno, tako da je moguće raspoređiti osnovne elemente elektrane na temelju slijedećih kriterija:

— atraktivni arhitektonski izgled,
— podjela na nuklearni i klasični dio,
— kratki i odijeljeni tokovi energije i materijala,
— centralno smještena kontrolna soba,
— odijeljeni temelji za pojedine zgrade,
— dobre transportne mogućnosti za izgradnju, montažu i pogon,
— mogućnost proširenja elektrane prema zapadu.

Saobraćajnice se priključuju sa sjevera. Put je predviđen i za dovoz vrlo teških tereta. Željeznička pruga je na istoj trasi kao i put i ulazi u turbinsku zgradu. Zgrade za opskrbu vodom su uz branu na Savi. Linije 380 kV idu prema severu.

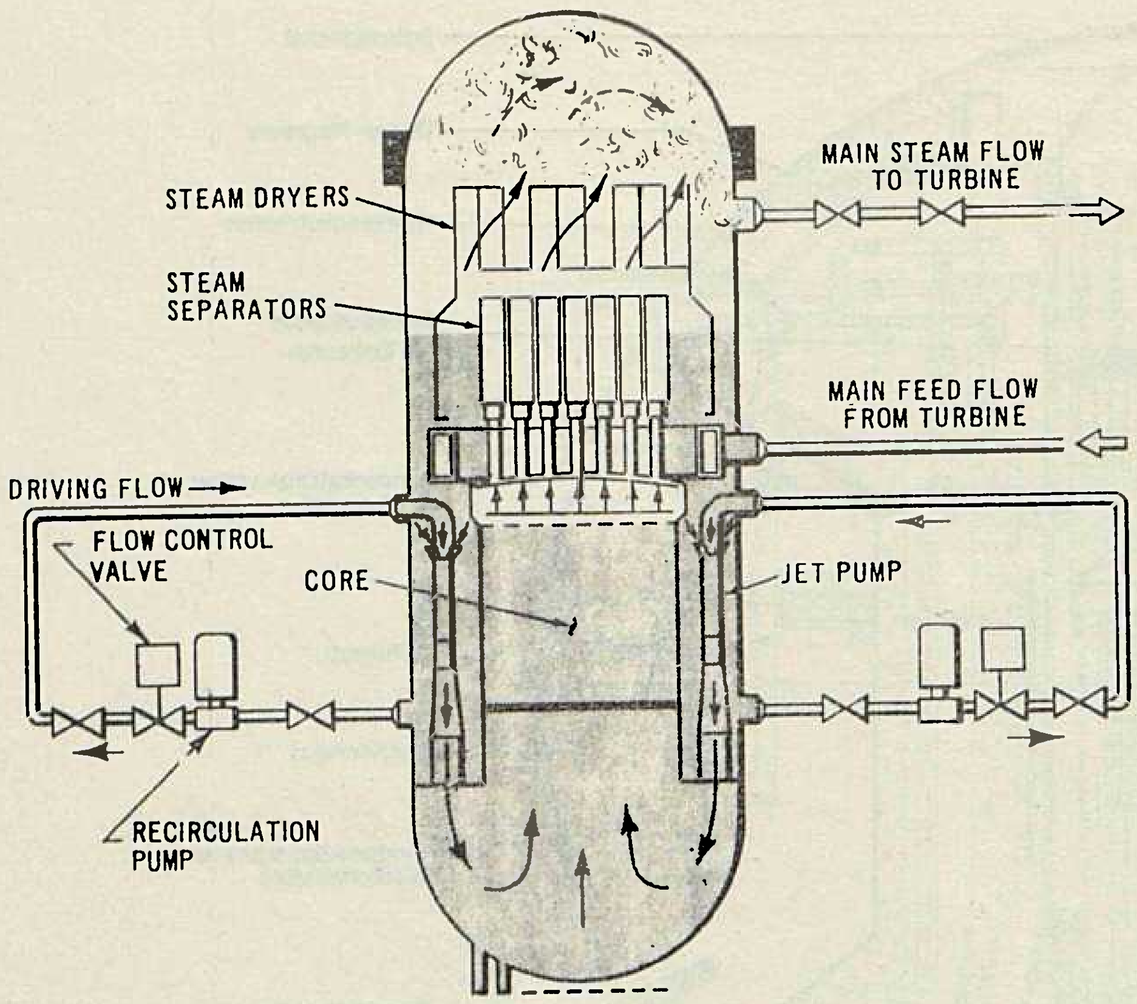
2.1. BWR — nuklearni sistem za proizvodnju pare

U slučaju da se odlučimo za BWR sistem, elektrana će imati slijedeću osnovnu koncepciju:

Energija nastaje u slabo obogaćenim gorivim štapovima koji sačinjavaju jezgru. Jezgra je u reaktorskoj posudi. Laka voda se upotrebljava i za moderator i za hlađenje (Sl. 4). Vodu recirkuliraju u kotlu bilo interne pumpe, bilo posebne vanjske pumpe (ovisno o dobavljaču).

Voda ulazi u jezgru odozdo, pa se pri prolazu grije i djelomično uparuje do dvofazne mješavine vode i pare koja ide u separatore pare, a nalazi se iznad jezgre u reaktorskoj posudi.

Para prolazi kroz sušioce i na kraju izlazi iz reaktora sa tlakom od oko 70 ata i temperaturom od oko 280 °C. Vlažnost pare je ispod 0,2%, pa je vjerojatnost da bi nosila sa sobom čvrste ili tekuće aktivne čestice vrlo mala.



Sl. 6 Putovi pare i recirkulacija vode

Steam Dryero — sušioci pare
Steam Separators — separator vlage
Driving Flow — recirkulacioni tok
Recirkulation Pump — recirkulaciona pumpa

Main Steam Flow to Turbine — parovod na turbinu
Main Feed Flow from Turbine — dovod vode iz turbine
Jet Pump — Đet pumpe

2.1.1. Komponente reaktorskog sistema

Jezgre reaktora sačinjavaju gorivo, gorivi kanali, kontrolni štapovi, neutronski izvori i mjerači neutronskog fluksa.

Gorivi elementi se sastoje iz više gorivih štapova, ovisno o projektu. Gorivi štapovi su cijevi iz zirkaloy-a u kojima su tablete UO_2. Posebni monitori u jezgri mjere fluks neutrone. Tako se u svako vrijeme definira gustoća snage na svakom mjestu i uravnava kompjutorom.

Reaktorska posuda može se napraviti u djelovima u tvornici i variti u cjelini na gradilištu.

Snaga se regulira pokretanjem kontrolnih štapova ili promjenom protoka vode kroz jezgru.

Kontrolni štapovi pokreću se elektromotorima i ulaze u reaktor ispod njega. Za brzo zaustavljanje reaktora postoji i hidraulični sistem za pogon štapova.

Sistem za suzbijanje tlaka

Reaktor je okružen čeličnim kontaimentom koji onemogućuje izlaz aktivnosti u reaktorsku zgradu i okolinu, u nenormalnim prilikama. Tlak koji bi nastao u slučaju maksimalnog prava svladao bi sistem za suzbijanje tlakom (Sl. 7.).

2.1.2. Sigurnosni sistemi

— Pored sistema za suzbijanje tlaka postoje slijedeći sistemi za sigurnost:
— sistem za hlađenje jezgre,
— sistem za hlađenje izolacije jezgre,
— sistem za kontrolu tekućina,
— ograđivači protoka pare iz reaktora,
— sistem za zaštitu reaktora i
— sistem za kondenzaciju pare.

Svaki od tih sistema sastoji se iz podsistema, a svi služe za sigurno zaustavljanje reaktora u slučaju bilo kakvog kvara.

2.1.3. Pomoćni reaktorski sistemi

Za pogon reaktora potrebni su i pomoćni sistemi kao što su: sistem za pročišćavanje vode u reaktoru, sistem za hlađenje reaktora kod zaustavljanja, i drugi.

2.1.4. Zaštita od zračenja i radioaktivni otpaci

Zaštita od zračenja

Tu zaštitu sačinjavaju betonski zidovi. Tako je usavršena da zračenje reaktora ne utječe na nivo reaktivnosti izvan zgrada elektrane. Izlazi iz svih zgrada u kojima može biti radioaktivnosti (reaktorska, pomoćna reaktorska, turbinska, zgrada za čuvanje otpadaka) su pod kontrolom, pa se radioaktivnost ne može iznositi izvan tih prostorija.

Radioaktivni otpaci

Čvrsti se otpaci čuvaju u posebnim prostorijama, dok se ne odvezu na mjesto za kontinuirano odlaganje.

Tekući se otpaci prerađuju i neki vraćaju u sistem, a neki filtriraju i čuvaju u posebnim posudama, dok ne izgube svoju aktivnost.

Plinoviti, radioaktivni otpaci idu s parom u kondenzator gdje se kontinuirano izvlače. Ovdje se vodik i kisik rekombiniraju. Ostali plinovi idu kroz posebne filtre (ugljen) gdje se zadržavaju do gotovo potpune neaktivnosti.

2.2. Turbogeneratorsko postrojenje

Turbina je ovdje priključena direktno na reaktorsku posudu Sl. 6. Para ulazi direktno na turbinu. Turbogenerator, pojne pumpe, pregrijavanje, i drugo, smješteno je u turbinskoj zgradi. Temperatura i tlak pare su određeni jedino dozvoljenom maksimalnom temperaturom u jezgri reaktora.

2.3. Ostala oprema

Svi ostali dijelovi, funkcije elektrane i koncepciona rješavanja bit će gotovo isti, kao u slučaju PWR elektrane.

Razlika je jedino u ventilacionom sistemu. Princip kruženja zraka je iz prostorija manje aktivnosti, ka većoj. U svim prostorijama održavat će se određeni tlak, što će onemogućavati bilo kakav gubitak u okolinu.

Naslov pisca: Janez Dular, dipl. ing.
»Savske elektrane«, Ljubljana

GORIVI CIKLUS I POGONSKE KARAKTERISTIKE NUKLEARNE ELEKTRANE S PRIMJENOM U NE KRŠKO

Danilo Feretić, Zagreb

U vezi s izgradnjom prve jugoslavenske nuklearne elektrane u Krškom prikazan je rad elektrane u sistemu. Obrazložen je njen gorivi ciklus i njegov ekonomski aspekt. Zatim je iznesen tok izrade gorivih elemenata, iskorištenje ozračenog goriva, kao i ukupna cijena gorivog ciklusa.
Na kraju su iznesene pogonske karakteristike elektrana.

DK 621.039

1. Rad nuklearne elektrane u sistemu

Mjesto i uloga nuklearne elektrane u sistemu određeni su slijedećim faktorima:

a) Ekonomski parametri, prvenstveno odnos cijena goriva nuklearne elektrane i cijena goriva termoelektrana u elektroenergetskom sistemu,
b) Tehnički uvjet pogona nuklearne elektrane (brzina ulaza u pogon, karakteristike regulacije, tehnički minimum).

Poznato je, da je izgradnja nuklearne elektrane praćena relativno visokim ulaganjima. Odnos specifičnih investicija nuklearne elektrane i termoelektrane je 1,5 : 1 do 2 : 1. Osnovni razlog za ekonomični rad nuklearnih elektrana leži u niskim troškovima. Odnos troškova goriva nuklearne elektrane s lakovodnim reaktorom, i termoelektrana je 1 : 3 do 1 : 4 u korist nuklearne elektrane (ovisno o vrsti goriva kod klasičnih termoelektrana: ugljen na dnevnom kopu, rovni ugljen, tekuća goriva).

Rentabilnost izgradnje nuklearne elektrane s lakovodnim reaktorima tipa BWR ili PWR, u odnosu na alternativna rješenja za snabdijevanje konzuma sjeverozapadne Hrvatske i Slovenije u razdoblju do 1985. godine, dokazana je nizom studija Instituta za elektroprivredu-Zagreb, Instituta »Milan Vidmar« u Ljubljani, »Energoprojekta«-Beograd, te elektroprivrednih organizacija SR Hrvatske i SR Slovenije.

Svrha ovog referata je da pobliže osvijetli neke pokazatelje bitne za detaljnije razumijevanje kompleksne problematike pogona nuklearne elektrane. To su prvenstveno:

— gorivi ciklus nuklearne elektrane i
— kretanje nuklearne elektrane u pogonu i reguliranje snage.

2. Gorivi ciklus nuklearne elektrane

Problematika gorivog ciklusa nuklearne elektrane obuhvaća posebno područje nuklearne energetike. Osnovna obilježja koja karakteriziraju nuklearno gorivo u odnosu na klasično gorivo su:

— velika investiciona ulaganja prije upotrebe goriva,
— dugo vrijeme trajanja pojedinih faza gorivog ciklusa, i
— relativno vrelika vrijednost goriva nakon izgaranja u reaktoru.

U priloženoj shemi prikazan je gorivi ciklus nuklearne elektrane. Ciklus se odnosi na gorivo od obogaćenog urana, dakle na vrstu goriva koja će biti zastupljena kod naše nuklearne elektrane.

Na shemi je gorivi ciklus podijeljen u 6 faza:

a) Priprema sirovine
b) Obogaćenje urana
c) Prerada gorivih elemenata
d) Upotreba gorivih elemenata
e) Prerada obogaćenog goriva
f) Odlaganje produkata prerade.

Shema naznačuje i mogućnost recikliranja plutonija i urana dobivenog preradom. Taj uran sadrži još izvjesno obogoćenje u izotopu U-235 (09—1%).

Samo 4. faza gorivog ciklusa odvija se u nuklearnoj elektrani, a sve ostale izvan elektrane. Za našu prvu nuklearnu elektranu vjerojatno i izvan naše zemlje. Vrijeme ulaganja u pojedine faze gorivog ciklusa karakterizirano je znatnim vremenskim pomacima između pojedinih faza. Za tipični lakovodni reaktor (tip PWR), plan ulaganja kapitala može se vremenski aproksimirati vrijednostima:

Tablica 1

	Vrijeme od ulaska goriva u reaktor (mjeseci)	Postotak ukupnog ulaganja %
Kupovina koncentrata U_3O_8	13	30
Konverzija U_3O_8 u UF_6	10	4
Obogaćenje	7	33
Proizvodnja gorivih elemenata	— 12	21
Ulazak goriva u reaktor	0	0
Transport ozračenog goriva	+ 43	1
Prerada ozračenog goriva	+ 45	10
Vrijednost preostalog urana	+ 46	— 9
Vrijednost dobivenog plutonija	+ 46	— 13

Ukupno vrijeme vezanog kapitala u ciklusu iznosi, prema prethodno navedenom, 59 mjeseci — dakle oko 5 godina, tako da će kamati na uložena sredstva sačinjavati znatan dio troškova gorivog ciklusa.

Iz priloženih podataka, vidljiva je nadalje, cijena svježeg goriva (koja se kreće oko 5.500—6.000 d/kg). Sastoji se od cijene koncentrata, cijene obogaćenja, te cijene prerade, sa konverzijom, u približno jednakim udjelima.

Prema dosadašnjoj praksi, postoji nekoliko varijanti podjele odgovornosti između vlasnika elektrane i isporučioca reaktora u pojedinim fazama gorivog ciklusa. Ispunjavanje garantnih perfomansi reaktora, praktički zahtijeva da isporučilac gorivih elemenata prvog punjenja, a obično i za nekoliko narednih punjenja, bude isporučilac reaktora.

Moguće varijante podjele odgovornosti su:

Tablica 2

	A	B	C	D
Dobava koncentrata	I	I	V	V
Konverzija U_3O_8 u UF_6	I	I	V	V
Obogaćenje	V	V	V	V
Konverzija UF_6 u UO_2	I	I	V	I
Proizvodnja gorivih elemenata	I	I	V	I
Pogon reaktora	V	V	V	V
Odležavanje ozračenog goriva	V	V	V	V
Transport ozračenog goriva	I	V	V	V
Prerada ozračenog goriva	I	V	V	V
Raspolaganje s produktima prerade	I	V	V	V

I = isporučilac reaktora
V = vlasnik elektrane

Gorivi ciklus nuklearne elektrane

1. *Priprema sirovine*

   Prospekcija
   Vađenje rudače
   Prerada rudače
   u konc. U_3O_8
   Konverzija
   U_3O_8 u UF_6

2. *Obogaćenje*

   Obogaćenje UF_6
   Stokiranje osiromašenog urana
   Recikliranje urana
   Recikliranje plutonija

3. *Proizvodnja gorivih elemenata*

   Konverzija UF_6 u UO_2
   Izrada gorivih elemenata
   Transport svježeg goriva

4. *Gorivo u nuklearnim elektranama*

   Ozračivanje goriva u reaktoru
   Odležavanje ozračenog goriva

5. *Prerada ozračenog goriva*

   Transport ozračenog goriva
   Kemijska prerada goriva

6. *Odlaganje produkata prerade*

   Prodaja plutonija i urana
   Prodaja drugih izotopa
   Odlaganje otpadaka

Varijanta A znači najveću ovisnost vlasnika elektrane o isporučiocu reaktora. Za elektroprivredno poduzeće ta varijanta znači preuzimanje svježeg goriva i predaja ozračenog goriva isporučiocu reaktora u elektrani. Obogaćenje u svim varijantama ostaje u odgovornosti vlasnika, ukoliko se radi o dobavi goriva iz zapadnih zemalja, jer za usluge obogaćenja treba posebni sporazum vlade zemlje vlasnika elektrane i vlade SAD.

Varijanta B se razlikuje od prethodne utoliko, što se vlasnik sam brine za ozračeno gorivo. Odgovornost isporučioca reaktora prestaje isporukom svježeg goriva elektrani.

Varijanta C može doći u obzir za elektroprivredne organizacije sa dužom praksom u eksploataciji nuklearnih elektrana. Kod te varijante vlasnik elektrane preuzima odgovornost za sve faze gorivog ciklusa, pa je kod organizacije dobava i usluga nuklearnog goriva neovisna o isporučiocu reaktora.

Varijanta D. Ovdje se odgovornost isporučioca reaktora ograničava na konverziju UF_6 — UO_2 i proizvodnju gorivih elemenata.

Jasno je, da je za vlasnika elektrane varijanta A u pravilu najskuplja, a varijanta C najjeftinija. Danas se elektroprivredna poduzeća u svijetu većinom odlučuju za varijantu B ili D. Mi ćemo se, za našu prvu nuklearnu elektranu, vjerojatno odlučiti za varijantu D. Koliko je poznato, varijanta A se primjenjuje u istočnoevropskim zemljama, time da i obogaćenje urana ostaje u odgovornosti isporučioca reaktora.

U varijantama C i D osnovna odgovornost vlasnika elektrane leži u osiguranju povoljnih aranžmana za nabavu koncetrata urana. To se postiže ugovorima za dugoročne sporazume utvrđenih količina urana u određenim rokovima, uz unaprijed ugovoreni način obračuna cijene koncentrata.

Ugovor s proizvođačem koncentrata obično uključuje i konverziju U_3O_8 u UF_6. Mjesto isporuke uranovog heksafluorida je jedno od postrojenja za obogaćenje, a kvalitet sirovine mora zadovoljiti specifikacije tog postrojenja, odnosno specifikacije A E C, ukoliko se radi o postrojenju za obogaćenje urana SAD.

Proizvođač gorivih elemenata preuzima obogaćeni UF_6 u postrojenju za obogaćenje, i prevozi ga do svoje tvornice. Nakon toga slijedi konverzija UF_6 u UO_2, izrada tableta, cirkonijevih cijevi, montaža gorivih elemenata, ispitivanje i transport do elektrane.

Posebni problem za elektroprivredno poduzeće predstavlja osiguranje povoljnih aranžmana za tretiranje izračenog goriva. Za sada još nisu sa naše strane proučene konkretne mogućnosti takvih aranžmana, jer će to za našu prvu nuklearnu elektranu biti aktualno tek nakon 1980. godine.

3. Ekonomski aspekti osnovnih elemenata gorivog ciklusa

3.1. Koncentrat urana

Procjena potreba količina koncentrata u narednom desetljeću počiva na procjenama buduće instalirane snage nuklearnih elektrana (Slika 1). Iz slike proizlazi da će u svijetu (Bez Kine, SSSR-a i istočnoevropskih zemalja) do 1985. god., biti instalirano oko 600.000 MWe nuklearnih elektrana, pretežno s lakovodnim reaktorima. Potrebne godišnje količine uran-koncentrata za navedeni program izgradnje nuklearnih elektrana prikazane su na slici 2.

Potrošak koncetrata u lakovodnim reaktorima je:

0,5 — 0,6t U_3O_8/MWe za prvu jezgru

0,15 — 0,16t U_3O_8/MWe godišnja za naredna punjenja.

Kumulativne potrebe koncentrata u zapadnim zemljama do *1980. god.* iznose oko 400.000 t U_3O_8.

A — Atomic, E — Energy, C — Commission

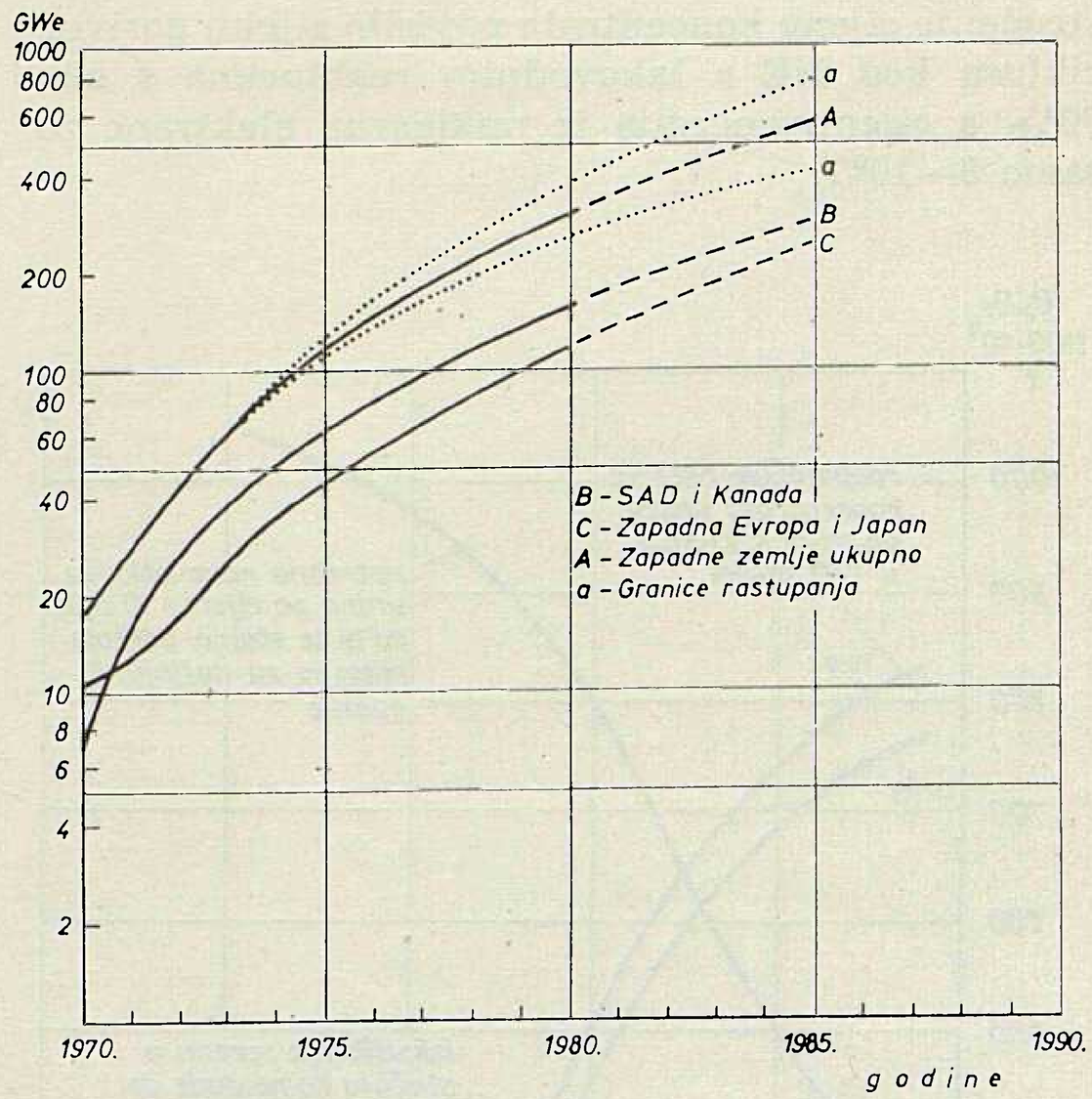
Do danas utvrđene rezerve koncetrata sa cijenama ispod 10$/1b dane su u slijedećoj tablici

Tablica 3

Zemlje	U_3O_0 hilj. tona
USA	309
Kanada	210
Južna Afrika	182
Australija	20
Francuska	41
Nigerija	24
Ostali	58
Ukupno:	844

Valja uzeti u obzir da bi intenziviranje istraženih radova sigurno dovelo do daljnih otkrića rentabilnih nalazišta. Međutim, tendencija opadanja cijene koncentrata, koja je na svjetskom tržištu zabilježena tijekom posljednih godina (Sl. 3), nije stimulirala intenzivnu prospekciju uranove rudače.

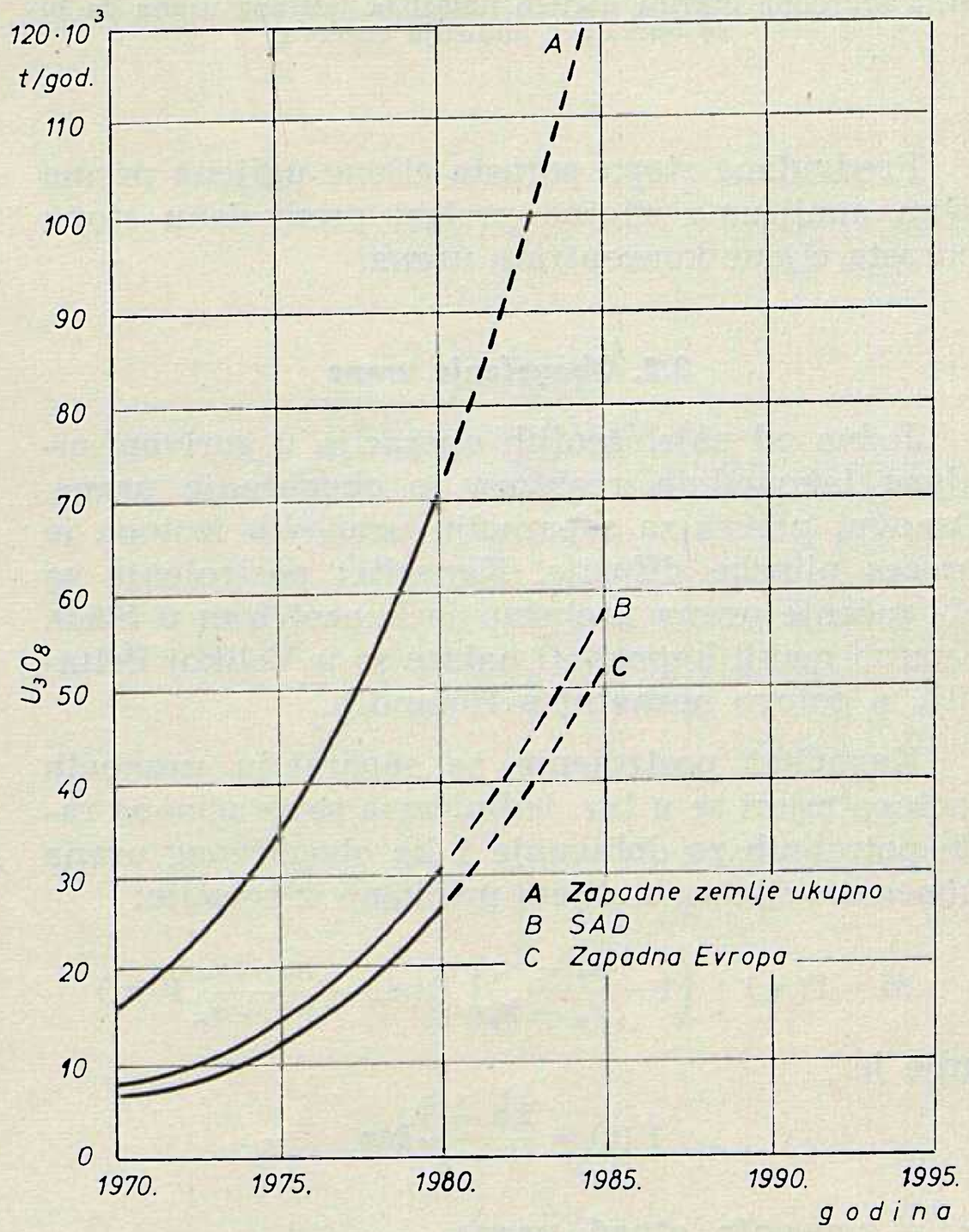
Brzina iscrpljivanja danas utvrđenih rezervi jeftinog urana (do 10$/1b), uz uvjet da ne dođe do daljnjih otkrića, prikazana je na sl. 4. Prikazana je također dinamika otkrića uranove rudače u navedenoj kategoriji cijene, uz uvjet da neprestano bude raspoloživa 8-godišnja rezerva. Iscrpljenje jeftinih uranovih nalazišta uzrokovalo bi u budućnosti tendenciju povišenja cijena urana, što bi s druge strane rezultiralo povišenjem rentabilnosti ulaganja u istražne radove. Daljnja otkrića djelovat će na stabilizaciju cijene, barem se na američkom tržištu ne predviđa bitnije povišenje cijene koncentrata.



Sl. 1 Predviđene instalirane snage nuklearnih elektrana

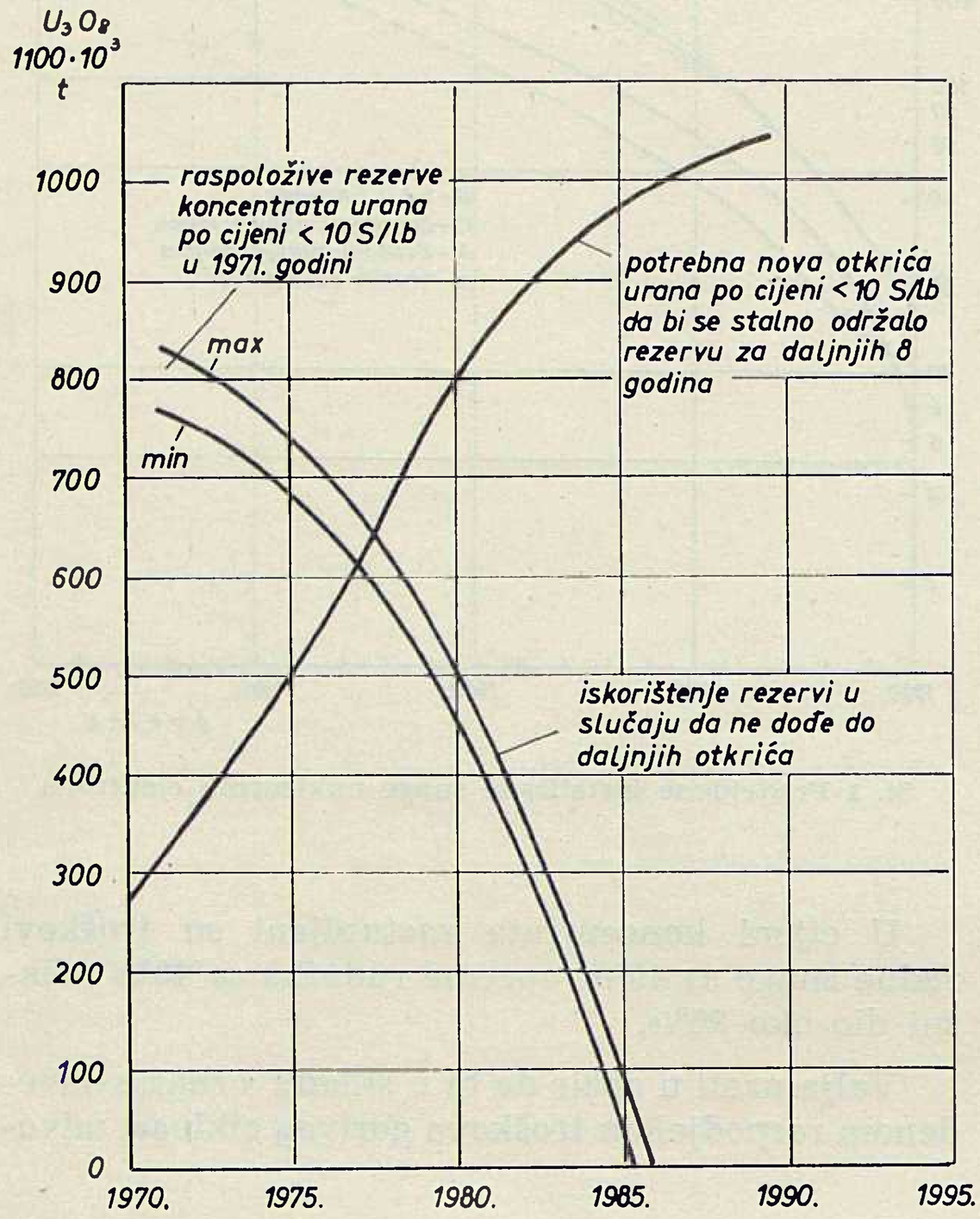
U cijeni koncentrata zastupljeni su troškovi radne snage sa 40%, opreme rudnika sa 40% i fiksni dio oko 20%.

Valja uzeti u obzir da bi u skladu s ranije navedenom raspodjelom troškova gorivog ciklusa, udvo-



Sl. 2 Predviđene godišnje potrebe koncentrata urana

stručenje cijene koncentrata povisilo cijenu gorivog ciklusa kod NE s lakovodnim reaktorima s oko 30%, a cijenu energije iz nuklearne elektrane za samo 8—10%.



Sl. 3 Potrebna otkrića daljnih nalazišta jeftinog urana da bi se održala 8 godišnja rezerva

Predviđena stopa porasta cijene ugljena prema svim analizama znatno prelazi predviđenu stopu porasta cijene koncentrata urana.

3.2. Obogaćenje urana

Jedna od najsloženijih operacija u gorivom ciklusu lakovodnih reaktora je obogaćenje urana. Osnovni proces za separaciju uranovih izotopa je proces plinske difuzije. Kapacitet postrojenja za obogaćenje urana pretežno je koncetriran u SAD. Znatno manji kapaciteti nalaze se u Velikoj Britaniji, a gotovo neznatni u Holandiji.

Kapacitet postrojenja za separaciju uranovih izotopa mjeri se u tzv. jedinicama separacionog rada potrebnih za dobivanje 1 kg obogaćenog urana koncentracije x_0, a slijedi približno iz relacije:

$$M = F(x_o) + \left(1 - \frac{x_o - x_w}{x_w - x_p}\right) F(x_w) - \frac{x_o - x_w}{x_w - x_p} F(x_p)$$

gdje je:

$$F(x) = \frac{2x - 1}{1 - x} \ln x$$

x_w = koncentr. otpad. urana
x_p = koncentr. prir. urana

Količina prirodnog urana potrebna za dobivanje 1 kg. obogaćenog urana, teoretski iznosi:

$$\frac{x_o - x_w}{x_w - x_p}.$$

Očigledno je da kod povećanja koncentracije otpadnog urana raste utrošak prirodnog urana, no istovremeno pada potreban broj jedinica separacionog rada za dobivanje određene količine urana zadanog obogaćenja. Cijena obogaćenja urana izražena je kroz jedinicu separacionog rada.

Iz prethodno navedenog proizlazi, da uz određenu cijenu separacionog rada i određenu cijenu koncentrata, cijena obogaćenog urana mora imati najnižu vrijednost kod neke vrijednosti koncentracije otpadnog urana.

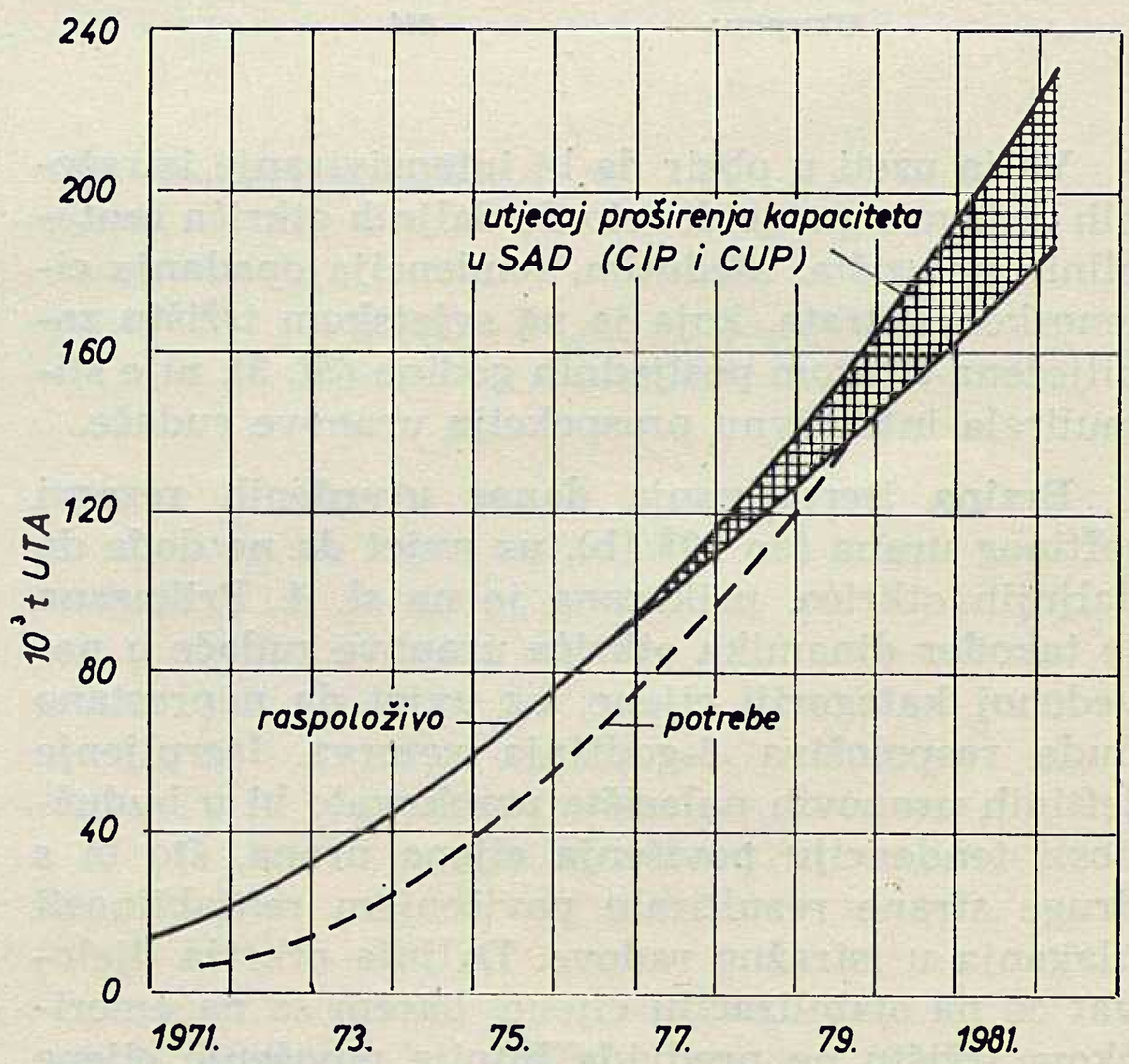
Cijena obogaćenog UF_6 izražena u \$/kg U za 3% obogaćenja iznosi:

Tablica 4

	Koncentracija otpadnog urana			
	0,25 %	0,3 %	0,35 %	0,4 %
Cijena koncentrata 5,5 \$/1b U_3O_8	224,18	222,14	225,30	234,36
Cijena koncentrata 7,5 \$/1b U_3O_8	255,38	256,50	263,69	278,08

Navedene cijene vrijede, uz današnju cijenu jedinice separacionog rada od 32\$/kg sep. rada.

Optimalna koncentracija otpadnog urana, kod kod cijene koncentrata od 5,5\$/1b iznosi 0,3% a kod cijene od 7,5\$/1b 0,25% ili niže. Postojeći kapaciteti će zadovoljiti potrebe do oko 1979. godine, nakon čega je neophodno pustiti u rad dodatna postrojenja za separaciju izotopa urana. USAEC je aktivnost na tom području razvila u dva smjera:



Sl. 4 Potrebe i raspoloživost kapaciteta za obogaćenje urana

1. Poboljšanje iskorištenja i snage plinskih puhaljki u postojećim postrojenjima (Cascade Improvement Program i Cascade Uprating Program), čime će se navedeni kapaciteti postrojenja za difuziju u SAD povisiti sa sadašnjih 17.000 t sep. rada na preko 26.000 t sep. rada. Očekuje se da će takav zahvat na postojećim postrojenjima stajati oko 750 milijuna dolara.
2. Stimuliranje većih, privatnih industrijskih poduzeća za izgradnju takvih postrojenja na temelju licencnih ugovora za AEC.

Poznato je da je jedan konzorcij takvih poduzeća, preko Reynolds Metals Co već ponudio izgradnju difuzionog postrojenja kapaciteta 8.750 t sep. rada na području Bufala (Woming), čija se investicija zajedno sa pripadajućom elektranom (oko 2.000 MWe), cijeni na 2,2 milijarde dolara.

Potrebne količine separacionog rada za nuklearne elektrane s lakovodnim reaktorima iznose:

— za početno punjenje 190—210 kg sep. rada/MWe
— za ravnotežna punjenja 90—100 kg sep. rada/MWe.

Kumulativne potrebe separacionog rada za program izgradnje nuklearnih elektrana u zapadnim zemljama, SAD i Japanu, u komparaciji s postojećim kapacitetom, prikazane su na sl. 4. Postojeći kapaciteti zadovoljili bi do 1979. god., a uz ranije navedeno proširenje kapaciteta postrojenja u SAD do 1982. godine. U Evropi postoji veliki interes za izgradnju postrojenja za obogaćenje urana.

4. Izrada gorivih elemenata

Izrada gorivih elemenata je jedna faza gorivog ciklusa koju je, barem u toku prvih godina pogona, neophodno povjeriti isporučiocu reaktora. Obično se odmah ugovori isporuka prve jezgre i nekoliko narednih punjenja. Cijena izrade gorivih elemenata veoma bitno ovisi o kapacitetu postrojenja za izradu, pa se u budućnosti, usprkos eskalaciji cijena, predviđa značajni pad cijene za taj dio gorivog ciklusa.

Za nuklearne elektrane s ulaskom u pogon iza 1975. cijena izrade gorivih elemenata je, za desetak slijedećih pogonskih godina, reda:

— za PWR tip $100—120(t-1)^{-0,2}$\$/kg. urana
— za BWR tip $70—80(t-1)^{-0,16}$\$/kg. urana

gdje je: t — broj god. nakon ulaska elektrane u pogon.

Kod dovoljno velike instalirane snage izgrađenih nuklearnih elektrana u našoj zemlji (reda 2.000 MWe) ovaj dio gorivog ciklusa bio bi rentabilno realizirati u nas. Minimalni kapacitet postrojenja za rentabilnu proizvodnju je preko 100 t/godišnje.

5. Korištenje ozračenog goriva

Ozračeno nuklearno gorivo ostaje oko 3 mjeseca u bazenu za odležavanje, radi početnog smanjenja aktiviteta na oko 10%, a nakon toga treba ga otpremiti na preradu.

Dugoročno stokiranje ozračenog nuklearnog goriva u elektrani ne dolazi u obzir, jer je kapacitet bazena za odležavanje ekvivalentan jednoj jezgri plus jedna izmjena (tj. 30% veći od kapaciteta reaktorske jezgre).

U bazenu mora uvijek biti mjesta za smještaj cijele reaktorske jezgre u slučaju potrebe.

Ozračeno gorivo sadrži približno:

0,9—1% U^{235}
0,8—0,9% Plutonija
3% Fisionih produkata

Ostatak je U^{238}

Flutonijski izotopi su Pu 239, Pu 240, Pu 241, Pu 242. Izotopi sa neparnom atomskom težinom su fisioni izotopi. Takvih izotopa ima u plutoniju ozračenog goriva 70—80%. Budući da stokiranje ozračenog goriva ne dolazi u obzir, vlasnik nuklearne elektrane stoji pred alternativom:

a) Stokirati plutonij do njegove šire upotrebe u reaktorima oplođivačima, kada će cijena tog materijala na svjetskom tržištu vjerojatno biti viša,
b) Reciklirati plutonij u termalnom reaktoru. Stokiranje plutonija bi moglo biti rentabilno radi prognoza o vjerojatno većoj budućoj cijeni, no s druge strane nepovoljno je zbog:

— nesigurnosti predviđanja o budućem trendu cijena,
— potencijalne opasnosti za okolinu,
— povišenje sadržajne cijene gorivog ciklusa,
— kod dugogodišnjeg odležavanja, plutonija Pu 241 se raspada u Am 241 (za 20 godina 62% početnog iznosa), pa takav plutonij treba kemijski pročistiti prije izrade gorivih elemenata.

Današnju vrijednost plutonija vlasnik elektrane može odrediti jedino na osnovi ekvivalentne cijene obogaćenog urana koji zamjenjuje plutonij u vlastitom reaktoru. Tako određena cijena plutonija kod lakovodnih reaktora danas leži između 8 i 9\$/gr.

Ekonomski efekt upotrebe ozračenog goriva je u konkretnom slučaju uvjetovan slijedećim elementima troškova:

— cijena transporta ozračenog goriva (danas oko 5\$/kg),
— cijena prerade ozračenog goriva (danas oko 30\$/kg),
— cijena plutonija,
— cijena urana dobivenog preradom,
— cijena fisionih produkata.

Na osnovi sadašnjih cijena, korištenje produkata dobivenih preradom ozračenog goriva se isplati, jer ovo korištenje rezultira sniženjem cijene gorivog ciklusa za 10—12% (reda 0,3 p/kWh).

Za nuklearnu elektranu Krško je predviđeno, da će već 3. ili 4, šarža imati dio gorivih elemenata iz plutonijevog oksida. Cijena izrade takvih elemenata je nešto viša od cijene izrade uranovih elemenata, što se uzima u obzir kod definiranja cijene plutonija.

6. Ukupna cijena gorivog ciklusa

Cijena gorivog ciklusa nuklearne elektrane je viša za prvu jezgru nego u ravnotežnom ciklusu, zbog slabijeg iskorištenja prve jezgre. Uobičajeno je računati troškove gorivog ciklusa nuklearne elektrane na 2 načina:

— godišnji troškovi gorivog ciklusa, i
— usrednjeni troškovi gorivog ciklusa u životnoj dobi NE.

Godišnji troškovi variraju zbog vrste ciklusa (prva jezgra ili ravnotežni ciklus), te zbog eskalacije cijena pojedinih elemenata ciklusa. Ovim načinom računa troškova gorivog ciklusa ne uzimaju ne u obzir investicije u gorivi ciklus, prije ulaska nuklearne elektrane u pogon. Usrednjeni troškovi gorivog ciklusa zasnivaju se na računu sadašnjih vrijednosti svih troškova u toku životne dobi nuklearne elektrane. Ova metoda je prikladnija kod komparacije cijena gorivog ciklusa između nuklearnih elektrana. Današnja usrednjenja gorivog ciklusa lakovodnih reaktora snage reda 600 MWe, kreću se oko 1,5—1,8 mills-a(kWp) ili 2,5—3 p/kWh.

7. Rukovanje nuklearnim gorivom u reaktoru

U ravnotežnom ciklusu predviđeno je mijenjati gorivo u reaktoru jednom godišnje. Mijenja se 1/3 ili 1/4 punjenja reaktora, a ozračeno gorivo postiže dubinu izgaranja:

— za PWR oko 32.000 MWd/t ili (770 MWh/kg) i
— za BWR oko 72.000 MWd/t ili (620 MWh/kg)

U novije vrijeme obavljali su se pokusi za produženje vremena između punjenja goriva do 18 mjeseci.

Produženje razdoblja izmjene goriva sa 12 na 18 mjeseci lako se provodi u elektronoenergetskim sistemima s termalnim izvorima. Međutim, ako sistem sadrži veliki postotak hidro-izvora, obustavu valja uskladiti sa stanjem vodotoka.

Sigurno je, da je u takvim sistemima (među koje spada i naš) racionalnije se odlučiti za 12-mjesečni ciklus izmjene goriva. Vrijeme obustave nuklearne elektrane zbog izmjene goriva iznosi 14 do 18 dana, uz uvjet da se rad obavlja u 3 smjene. Proces izmjene može se podijeliti u 5 faza.

kod nuklearne elektrane s reaktorom tipa PWR raspored tih faza je slijedeći:

I faza	Hlađenje sistema i otvaranje	1 dan
II faza	Priprema reaktorske posude za otvaranje (demontaža priključaka za instrumentaciju jezgre i pogona kontrolnih šipki), otvaranje i odstranjivanje poklopca reaktorske posude	3 dana
III faza	Izmjena goriva	5 dana
IV faza	Zatvaranje reaktora i montaža svih priključaka	5 dana
V faza	Ispitivanje pred ulazak u pogon	2 do 3 dana

Kod nuklearnih elektrana s reaktorom tipa BWR, faze pripreme reaktorske posude za otvaranje i zatvaranje su nešto duže, zbog potrebe demontaže i montaže separatora pare i sušionika vlage, ali je vrijeme izmjene goriva kraće, tako da vrijeme obustave pogona zbog izmjene goriva u oba tipa elektrane ispada približno jednako.

8. Pogonske karakteristike nuklearne elektrane

Za ocjenu efikasnosti rada nuklearne elektrane u elektroenergetskom sistemu bitni su slijedeći parametri:

— vrijeme kretanja u pogon iz hladnog i vrućeg stanja,
— fleksibilnost rada u toku pogona, i
— tehnički minimum.

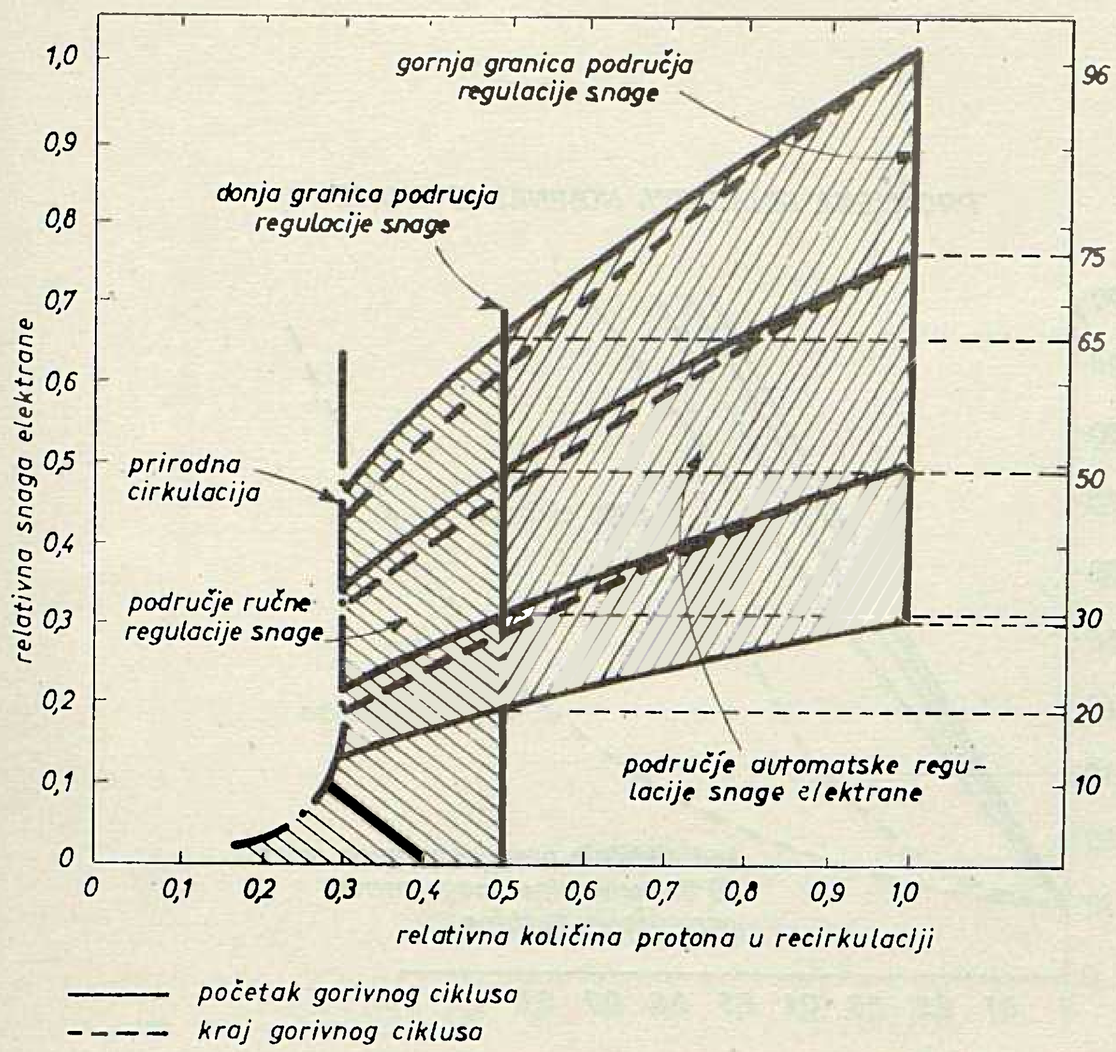
8.1. Kretanje nuklearne elektrane u pogon

Vrijeme potrebno za kretanje nuklearne elektrane u pogon (NE sa lakovodnim reaktorom) bitno ovisi o okolnosti da li se *radi o kretanju* u pogon iz vrućeg i hladnog stanja i da li se radi o nuklearnoj elektrani s reaktorom tipa PWR ili BWR. Utjecaj početka i kraja gorivog ciklusa na to vrijeme je znatno manji.

Kretanje u pogon iz hladnog stanja odnosi se na kretanje u pogon nakon duže obustave (npr. nakon izmjene goriva), pri čemu je temperatura rashladnog fluida reaktora jednaka, ili nešto viša, od temperature okoline.

Kretanje u pogon iz vrućeg stanja odnosi se na slučaj ponovnog starta neposredno nakon ispada turboagregata, pri čemu su parametri rashladnog fluida reaktora približno jednaki radnim parametrima.

Tip PWR zahtijeva, naime, prije kritičnosti postizavanja izvjesnih preduvjeta u parametrima radnog fluida. Svrha toga je zahtjev da pritisak u sistemu nikad ne padne ispod atmosferskog, kako ne bi došlo do uvlačenja zraka u sistem. Budući da reaktor nije kritičan za zagrijavanje, sistem koristi snagu rashladnih pumpi, a za regulaciju pritiska grijača u sudu za regulaciju pritiska, dakle toplinske izvore čija je snaga mnogo manja od snage reaktora. Kod NE s reaktorom tipa BWR odmah se koristi snaga reaktora. Vrijeme kretanja u po-



Sl. 5 Ovisnost snage nuklearnog reaktora tipa BWR o količini protona u recirkulaciji

gon iz hladnog stanja je više od dva puta kraće kod reaktora BWR nego kod reaktora PWR. Sličan odnos vremena se dobiva i kod zaustavljanja reaktora, jer proces obustave pogona obuhvaća iste operacije, samo s obrnutim trendom promjene snage reaktora.

8.2. Regulacija snage nuklearne elektrane u pogonu

Rrgulacija snage nuklearne elektrane omogućuje vrlo fleksibilno prilagođavanje izlazne snage elektrane sa zahtjevima mreže.

Tehnika regulacije snage elektrane ovisi o tipu reaktora. Kod nuklearne elektrane s reaktorom *tipa BWR*, regulacija snage može biti na dva načina:

— regulacijom protoka vode koja recirkulira kroz reaktor, i
— regulacijom položaja regulacionih šipki.

Kod nuklearne elektrane *tipa PWR*, snaga se može regulirati:

— promjenom položaja regulacionih šipki, i
— promjenom koncentracije bora u reaktorskoj vodi.

Kod reaktora tipa BWR se oba načina koriste u prilagođavanju snage u skladu s potrebama konzuma. Svakom rasporedu položaja sistema regulacionih šipki odgovara određeni raspon snage reaktora, koji se može kontinuirano mijenjati promjenom protoka recirkulacije vode kroz reaktor (sl. 5.).

Brzina promjene snage iznosi:

— kod promjene položaja regulacionih šipki u području snage 10—100%, ± 10%/min, i
— kod promjene recirkulacionog protoka u određenom području snage 1%/s.

Brzina promjene snage kod reaktora tipa PWR je nešto manja, pa u cijelom području snage u kojem djeluje automatsko reguliranje 20—100%, iznosi oko 5%/min.

Kod oba tipa nuklearnih elektrana kretanje u pogon je upravljano ručno, a održavanje NE na određenom nivou snage, prema unaprijed zadanom voznom redu, može se obavljati automatski ili ručno. Navedene brzine promjene snage mogu se realizirati kod reaktora sa svježim gorivom. Na kraju gorivog ciklusa postoji izvjesno ograničenje u brzini ponovnog podizanja snage, nakon smanjenja opterećenja NE. Ta ograničenja su uzrokovana manjom reaktivnošću jezgre, koja nije dovoljna za potpuno kompenziranje zatrovanja reaktora ksenonom.

Utjecaj tog zatrovanja je to jači, što je smanjenje snage veće, naročito ako je potrebno ponovo podići snagu u vrijeme kada je koncentracija ksenona u jezgri najviša.

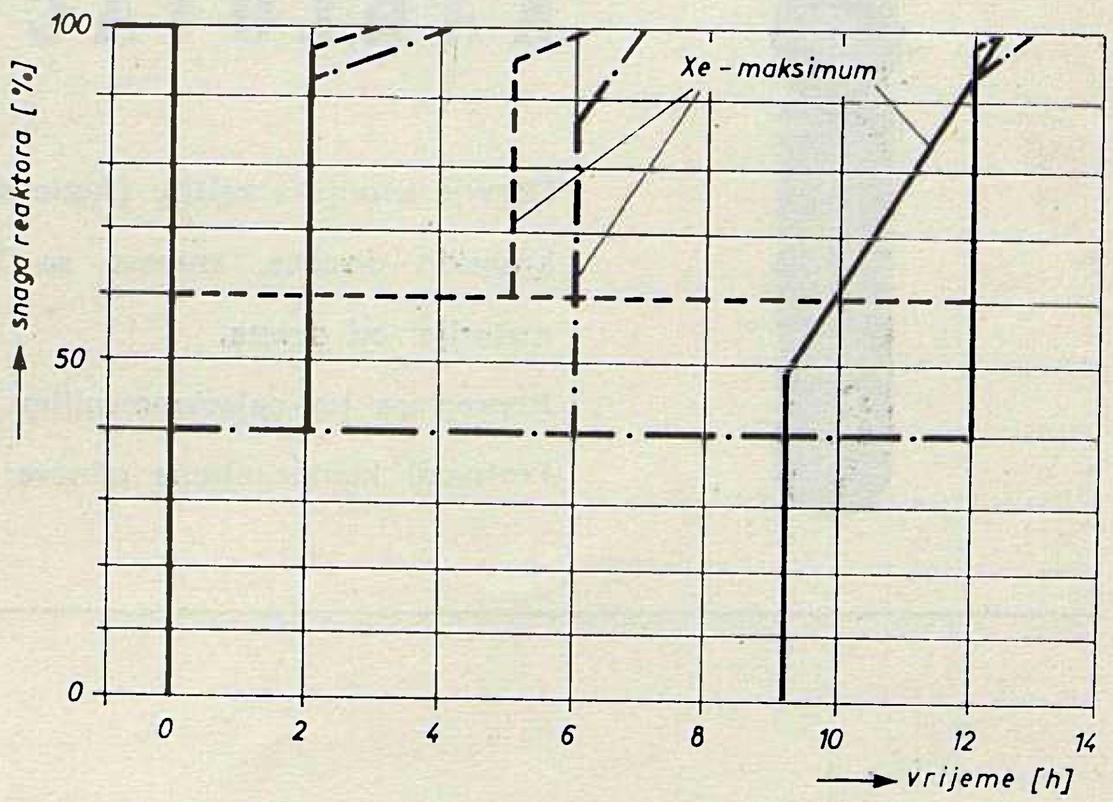
Ograničenja u ponovnom podizanju snage NE s reaktorima tipa PWR na kraju gorivog ciklusa, navedena su na sl. 6.

Iz slike je vidljivo, da se u najnepovoljnijem slučaju obustave reaktora s istrošenom šaržom goriva i ponovnim kretanjem u pogon iza 8 sati, 50% snage može postići bez ograničenja. Brzina porasta snage između 50% i 100% je ograničena, time da se taj porast može ostvariti za 3 sata.

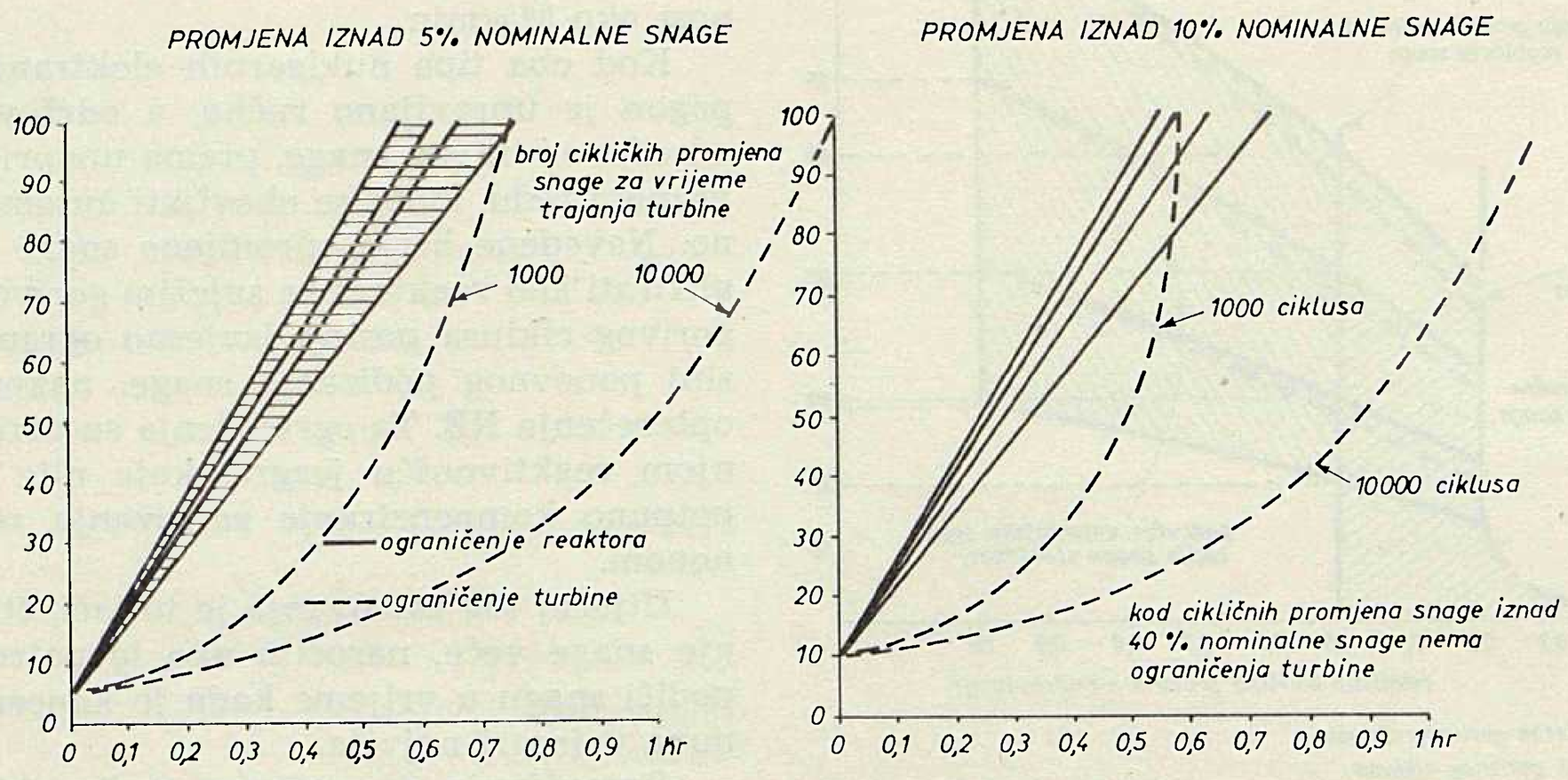
Za ostale slučajeve prikazane na slici, ograničenje u brzini ponovnog podizanja snage nastaje tek kod oko 90% nominalne snage, a daljnji porast je moguć za oko 1 sat.

Poznato je da cikličke izmjene snage elektrane (bilo klasične ili nuklearne) izazivaju termalna naprezanja u elementima opreme tih elektrana. Kod reaktora, u tom su pogledu najviše osjetljivi gorivi elementi, a u klasičnom dijelu elektrane — turbina.

Na slici 7 prikazano je ograničenje porasta snage NE koje diktira reaktor i turbina. Vidljivo je, da je ograničenje turbine vezano za režim rada elektrane na mreži, odnosno za broj ciklusa izmjene snage u toku životne dobi turbine. Ako turbina treba izdržati 10.000 ciklusa izmjene snage, brzina ko-



Sl. 6 Ograničenja u ponovnom podizanju snage nuklearne elektrane sa reaktorom tipa PWR zbog zatvaranja reaktora ksenonom



Sl. 7 Ograničenje reaktora (tipa PWR) i turbine u brzini podizanja snage elektrane

jom se može mijenjati snaga u širokim je granicama s obzirom na ograničenje turbine, daleko je manja od one koju dopušta reaktor. Porast snage od 10% do 50% ograničen je turbinom na minimum 45 min, dok reaktor dopušta 3 puta bržu izmjenu snage.

U području 50% do 100% nominalne snage, ograničenje turbine bitnije ne utječe na brzinu dozvoljene promjene opterećenja nuklearne elektrane.

Naslov pisca: Dr Danilo Feretić, dipl. ing., »Elektroprivreda«, Zagreb

PODUZEĆE ZA IMPREGNACIJU DRVA
I PROIZVODNJU KOMPRIMIRANIH PLINOVA
KARLOVAC

Obavlja kemijsku zaštitu (kotlovsku impregnaciju) svih vrsti željezničkih pragova, pragova za smještaj kranskih dizalica, stupova za TT i EV vodove, kocaka za hale, rudno drvo i ostali građevinski materijal od drveta.
Impregnira po najsuvremenijim metodama.
Proizvodi komprimirane plinove: kisik, disuplin i dušik.

NUKLEARNA ELEKTRANA I OKOLIŠ

V. Knapp, Zagreb

Prikazan je utjecaj zračenja nuklearne elektrane na čovjekovu okolinu uzimajući u obzir sve radioaktivne materijale što ih izbacuje nuklearna elektrana u normalnom pogonu i u kvaru. Uspoređen je stupanj opasnosti od nuklearnih elektrana, prema stupnju opasnosti od prirodnog i ostalih izvora zračenja.

DK 621.039

Uvod

Svaka aktivnost čovjeka je skopčana s izvjesnim rizikom, a i svaki način produkcije energije predstavlja određenu opasnost, bilo za osoblje zaposleno na energetskom objektu, u njegovoj blizini ili na dobivanju goriva, odnosno njegovom transportu. Velike brane hidroelektrana predstavljaju riziko, što su već pokazale nesreće pred nekoliko godina. Kopanje ugljena za termoelektrane odnosi u svijetu godišnje stotine života. Nema energije bez određenim žrtava. Nuklearna energija se povezuje s opasnošću radioaktivne kontaminacije, s emisijom tvari koje čovjek svojim osjetilima ne može zamijetiti, a ipak mogu ugroziti njegovo zdravlje i život. S jedne strane nepoznavanje ove nove opasnosti, a s druge strane nemogućnost direktnog osjeta daju joj ponekad i iracionalne dimenzije. To i nije sasvim nerazumljivo, i razvoj opozicije prema nuklearnoj energetici ukazuje na određene psihološke izvore. Uvjeravanja da ne postoji opasnost nekog zračenja daju se tehničkim argumentima i terminima koji većinom nisu razumljivi, te se na kraju svode na povjerenje u stručnjaka. No, i stručnjak može pogriješiti, a i nije uvijek prisutan, oboružan aparatima kako bi informirao o eventualnoj pojavi radioaktivne opasnosti. Osim toga javnost je sudionik diskusije o nuklearnoj energiji u kojoj su stručnjaci angažirani na obje strane.

Izvjesno odsustvo oduševljenja za nuklearnu elektranu, pa i izvjesta strah u javnosti, ne iznenađuje. Uporno uvjeravanje u sigurnost nuklearne elektrane može izazvati još veće nepovjerenje, a to bi bilo iz više razloga nepovoljno i nepoželjno. Valja nastojati da javnost prihvati nuklearnu elektranu ne na osnovi uvjeravanja da ona ne predstavlja rizik, već na osnovi poznavanja i prihvaćanja određenog rizika, koji je neizbježan ako želimo osigurati dovoljno jeftine energije za privredu. Kako su izvori hidroenergije ili iscrpeni ili ograničenog kapaciteta, to su u današnjoj fazi tehnologije upravo neoplodivi izvori nuklearne energije i energije iz fosilnih goriva. Iako se danas odluke za nuklearnu elektranu umjesto termoelektrane donose u prvom redu na temelju ekonomskih razmatranja, važno je znati ocijeniti te alternative i sa stajališta sigurnosti i utjecaja na okoliš. Termoelektrane na ugljen i naftu predstavljaju ozbiljan izvor zagađivanja atmosfere (1). U nuklearnoj elektrani nema sagorijevanja i njoj nije potreban kontakt s atmosferom, pa se može tehnički gotovo sasvim isključiti, tako da ostaje jedini značajniji efekat na biosferu pri normalnom pogonu nuklearne elektrane preko otpadne topline.

Normalan pogon

Ne bi bilo u redu tvrditi da nuklearna elektrana ne predstavlja nikakvu opasnost, već i zbog toga što sadrži veoma velike količine radioaktivnosti, bez obzira na to što veoma mali dio te aktivnosti odlazi u okoliš. Da bi mogli brojke kojima se izražava oslobođena aktivnost staviti u korektnu perspektivu važno je imati predodžbu o zračenju kojemu smo izloženi iz prirodnih izvora, tz. iz kozmičkih zraka, iz prirodnih radioaktivnosti tla ili građe, te o zračenju što ga primamo iz dijagnostičkih razloga. Kao kvantitativan izraz za intenzitet označenja, odnosno dozu zračenja upotrebljava se jedinica rad, odnosno rem.*. Za dozu što je dobivamo iz prirodnih izvora možemo navesti samo tipične vrijednosti jer variraju sa lokalitetom. Intenzitet kozmičkih zraka raste s nadmorskom visinom, počevši od 35 m rem/godinu na morskom nivou do 250 m rem/godinu na visini od 3000 metara. Od prirodnih radioaktivnosti što se nalaze u tijelu, u prvom redu od K^{40}, primamo oko 25 m rem/godinu. Zračenje zemljišta ovisi o sastavu i pokazuje veoma velike varijacije od 25 m rem/godinu do više tisuća m rem/godinu na nekim područjima. Ovako visoke vrijednosti ipak su iznimne, pa se kao tipična vrijednost može uzeti 50 m rem/godinu. Suma je prema tome oko 125 m rem/godinu. Ona raste za 20—30 m rem/godinu, ako živimo na visini od 500 m, a za brđane koji žive na 1500 m povećanje doze uslijed porasta intenziteta kozmičkih zraka iznosi oko 70 m rem/godinu. Razliku od nekoliko desetaka unosi, na primjer, već materijal kuće u kojoj živimo.

Tipična struktura doza primljenih privrednim zračenjem.

Kozmičke zrake	50
Radioaktivnost tla	50
Interna aktivnost tijela	25
	125 m rem/godinu

* Rad je mjera za apsorbiranu energiju pri ozračenju definirana disipacijom energije od 0.01 J po kg. S obzirom na ovisnost biološkog djelovanja o vrsti i energiji upadnog zračenja, kao mjera za dozu zračenja na čovjeka uvodi se jedinica *rem* (*r*ad *e*quivalenat *m*an). Doza u rad pretvara se u dozu u rem množenjem s faktorom relativnog biološkog djelovanja, koji iznosi jedan za gama i x-zrake, a veći je od jedan za ostala zračenja.

Pri ocjeni efekta dodatnog zračenja iz izvora što su produkt aktivnosti čovjeka, smjernice su dane u preporukama Međunarodne komisije za zaštitu od zračenja (International Commission on Radiation Protection — I C R P) osnovane još 1928. Može se slobodno reći, da zračenje predstavlja jedan od najbolje istraženih faktora čovjekove okoline, dobrim dijelom zahvaljujući desetljećima upotrebe zračenja u dijagnostičke i terapeutske svrhe.

Na osnovi preporuka I C R P donašane su detaljnije preporuke Međunarodne agencije za atomsku energiju, (M.A.A.E.), Svjetske zdravstvene organizacije (W.H.O.), te propisi pojedinih zemalja, uz pomoć njihovih nacionalnih komiteta i komisija.

I C R P preporučuje da dodatna doza uslijed po čovjeku uzrokovanog ozračenja bude po mogućnosti što manja i da ne pređe granicu od 5.000 m rem u 30 godina, odnosno 170 m rem/godinu. Granična vrijednost predstavlja otprilike dozu uslijed prirodnih radioaktivnosti. Nacionalni propisi za nuklearne elektrane su različiti. U SR Njemačkoj, na primjer, nuklearne elektrane se projektiraju tako da doza stanovništvu na granici elektrane ne prekorači 30 m rem/godinu, tj. svega 1/4 doze koju daju prirodne radioaktivnosti. Stvarni efekat na okolicu bio je kod novijih nuklearnih elektrana još mnogo manji, pa je stanovište Američke atomske komisije da se današnjim stadardima sigurnosnih uređaja, a u smislu preporuke I C R P da doza bude što je moguće niža (»al low as practicable«), nuklearne elektrane mogu projektirati tako da doza na granici ne prelazi 5 m rem/godinu. Ta se preporuka primjenjuje u SAD od 1971. godine. S udaljavanjem od elektrane doza naglo pada u odnosu na njenu vrijednost na njenoj granici, pa je na udaljenosti od 10 km već reducirana za faktor veći od deset. Rezultirajuće su vrijednosti, npr. manje od razlika koje nastaju pri prijelazu iz zgrade od jednom materijala u zgradu drugog, znatno manje od lokalnih ili visinskih varijacija doze prirodnog zračenja. Kako do danas nisu nađeni biološki efekti ovih daleko većih varijacija, bilo bi to veoma teško ustvrditi za doze zračenja koje se dobivaju pri normalnom pogonu nuklearne elektrane.

Međutim, s obzirom na diskuzije i polemike što se u svijetu vode, relavantno je ipak dati i procjenu efekta dodatnog zračenja. Pođimo od doze od 30 m rem/godinu uz najpesemističnije polazne postavke. To je u prvome redu tzv. linearna hipoteza, po kojoj nema praga za efekte zračenja, tj. postavke prema kojoj je svako zračenje štetno. Iako ta hipoteza nije dokazana, nije ni oborena, pa je za sada korektan i odgovoran prikaz računati s tom nepovoljnom mogućnošću. Na osnovi takve politike sigurnosti određene su i današnje preporuke i propisi o nuklearnim elektranama.

Leukemija predstavlja najvažnije pojedinačno somatsko radijacijsko oštećenje. Kvantitativna veza između doze i njenog efekta dobivena je za relativno velike doze iz podataka o žrtvama atomskih eksplozija u Hirošimi i Nagasaki, iz iskustva u medicinskoj primjeni zračenja i na osobama koje rade sa zračenjem. Doza zračenja od 1 rem po čitavom tijelu rezultira u pojavi leukemije s vjerojatnošću od 2:1,000.000, tj. sa 2 slučaja u 1,000.000 kroz idućih 10 godina. Permanentno ozračavanje dozom od 1 rem/godinu dovodi do ravnotežnog stanja s vjerojatnošću pojave leukemije od 20: 1,000.000, tj. sa 20 slučajeva u milijun. (2, 3). Izvršimo li *linearnu* ekstrapolaciju na stalne doze od 30 m rem/godinu broj dodatnih slučajeva leukemije bio bi 0,6 na godinu.

Taj broj valja usporediti s učestalošću leukemije koja iznosi 50—70 slučajeva u milijunu u SAD i oko 50 u Evropi. I uz nepovoljnu linearnu pretpostavku dodatak je tako malen, da se u odnosu na znatno veće lokalne i statističke varijacije može teško utvrditi.

Nije nađena veza između lokalno većeg prirodnog zračenja i povećanja broja oboljenja koju bi iz nepovoljnih pretpostavki trebalo očekivati. Postoje lokaliteti (Indija, Juž. Amerika) u kojima su doze prirodnog zračenja iznad 1000 m rem/godinu. Postoje i obrnute indicije. Tako je na primjer broj slučajeva leukemije u Edinburgu za 50% veći nego u Dundee, iako je prirodno zračenje u Dundee-u intenzivnije (63 m rem/godinu, prema 48 m rem/godinu) (4).

Kako je s ostalim formama raka izazvanim zračenjem? Iako kontraverzija nije još završena, uzima se da je vjerojatnost za bilo koju vrstu raka pri ozračenju čitavog tijela s dozom od 1 rem pet puta veća od vjerojatnosti za leukemiju (2). No dok riziko leukemije traje do oko 10 godina iza ozračenja, riziko za neku drugu vrstu raka raspoređuje se na znatno duže razdoblje, 30 ili više godina. Na ukupno 20 slučajeva leukemije došlo bi 100 slučajeva raka po milijunu stanovnika, s time što bi se ti slučajevi rasporedili do starosne dobi. Računajući s dozom od 30 m rem/godinu do starosti od 70 godina ukupna doza iznosi 2 rem, pa bi, zanemarujući vjerojatno postojeće latentno vrijeme za izbijanje bolesti, broj slučajeva raka uslijed ovog ozračavanja bio 200/milijunu.

Današnje statistike o raku pokazuju da je učestalost raka 200.000/milijun, to je dodatak reda promila. Valja ponovno istaknuti da su procjene načinjene s pesimističkim pretpostvakama o efektu zračenja kao i sa vrijednošću doze znatno iznad one koja se može očekivati izvan najuže okoline nuklearne elektrane, pa predstavljaju vrlo sigurnu *gornju granicu* u odnosu na stvarne efekte. Što se genetskog efekta zračenja tiče, može se ocijeniti polazeći od utvrđenih efekata velikih doza zračenja. Smatra se (3) da pri kroničnoj ekspoziciji doza od 100 rad izaziva udvostručenje broja mutacija, odnosno da 10% spontanih mutacija valja pripisati efektu prirodnog zračenja. Ukupne doze koje se mogu dobiti u blizini nulearne elektrane kroz nekoliko desetljeća su ispod 1 rem-a, pa bi doprinos mutacijama mogao biti svega do 0,1%. Da je i ova procjena suviše pesimistična indicira istraživanje

genetskih efekata stanovništva u Kerali, Indija, gdje je prirodno zračenje do 20 puta intenzivnije od tipičnih vrijednosti (6). Nisu nađeni genetski efekti kod stanovništva koje je trajno izloženo značenju sa dozom od više od 500 m rem/godinu. Tek kod malobrojne grupe u kojoj su doze bile čak 20 puta iznad normalne (iznad 2 rem/godinu) uočena je povećana smrtnost djece i veći indeks neplodnosti.

Kvarovi i radijacijsko opterećenje što iz njih proizlazi

Procjene se osnivaju na studijama, simulacijama, eksperimentima i pogonu desetaka reaktora i elektrana. Osnovni su elementi procjene emisije radioaktivnosti pri kvaru i vjerojatnost nastupa kvara. Razmatraju se kvarovi lakih s malom emisijom, do tzv. najtežeg mogućeg (maximum credible accident).

Posljednji predstavljaju prsnuća cijevi najvećih profila kod kojih reaktor gubi rashladno sredstvo, a radioaktivnosti se iz reaktorske posude šire u okoliš.

Pomnoži li se maksimalno radioaktivno opterećenje u rem, koje slijedi kao posljedica kvara s vjerojatnošću tog kvara, dobiva se maksimalan riziko izražen u rem/godinu, a predstavlja ne stvarno već potencijalno radijacijsko opterećenje.

Promatraju li se najprije one posljedice kvarova koje ne dovode do akutnih ozračenja s letalnim efektima, procjene različitih autora (5) kreću se oko vrijednosti (za jednu elektranu):

Ozračenje štitne žlijezde kod djece:	2·5 m rem/godinu
Ozračenje čitavog tijela:	0·15 m rem/godinu

Vrijednosti su malene u odnosu na radijacijsko opterećenje normalnog pogona, a ta su opet malena prema prirodnom. Prethodna analiza nema dakako, smisla kod akutnih ozračenja sa smrtonosnim posljedicama. Da bi se ocijenila vjerojatnost kvara u kojima se mora računati i s gubicima života, valja poći od informacija o dosadašnjim nesrećama. Za osoblje zaposleno na nuklearnim instalacijama svih tipova — vjerojatnost iznosi oko 2:1,000.000. Ovaj podatak valja usporediti sa 600:1,000.000,* što je vjerojatnost za gubitak života u nesreći bilo koje vrste. Dodatan riziko je vrlo malen čak i kada uzmemo da se u okolici nalazi više elektrana i dolazi do multipliciranja rizika. Sigurno je, međutim, da treba nastojati daljnjim tehničkim razvojem da ne bude malen samo prosječan riziko, nego da se reduciraju dimenzije i posljedice najvećeg mogućeg kvara, bez obzira na to kako je malo vjerojatan.

Bez sumnje svaki je ljudski život dragocjen i ulaženje u riziko u kojem su i ljudski životi u pitanju ne može biti bez svjesnog prihvaćanja onih na koje se takav riziko odnosi. To što svakodnevno prihvaćamo opasnosti civiliziranog života, kao na primjer, daleko veće opasnosti u prometu, ne znači još i svijestno prihvaćanje nove opasnosti. Javnosti mora biti sasvim jasno da izbor lež između prihvaćanja određenih rizika stvorenih proizvodnjom energije, ili u manjoj proizvodnji energije sa svim posljedicama za privredu i standard. Izbor je taj, a ne između konvencionalnih i nuklearnih izvora, jer mnoštvo analiza pokazuje da su nuklearne elektrane znatno manja opasnost za okoliš.

Što se ljudskih žrtava tiče, valja pogledati statistike o nesrećama u rudnicima, pa će se vidjeti da nuklearna elektrana kao zamjena za termalnu elektranu spašava ljudske živote. Termoelektrana kao zamjena za nuklearnu elektranu troši, prema kvaliteti ugljena, od 2 do 7 milijuna tona godišnje po snazi od 1000 MW. U Jugoslaviji je stopa nesreća na radu u rudnicima ugljena oko 0,40/1000 zaposlenih godišnje.* Vidi se, nažalost, da potrebna proizvodnja ugljena odnosi po nekoliko života svake godine. Kod nuklearne elektrane, ranije navedeni riziko od 2:1,000.000 mogao bi se odnositi samo na njenu najužu okolicu, pa bi i za urbanu sredinu broj izloženih tom riziku bio malen. Za današnje lokacije taj se riziko odnosi praktički isključivo na osoblje elektrane.

Poznato je, nadalje, da termoelektrana može u ovisnost o vrsti ugljena, predstavljati ridioaktivno opterećenje podjednako onom nuklearne elektrane (7, 8). Naravno, problemi termoelektrana u odnosu na okoliš su u plinovima koji nastaju pri izgaranju, u prvome redu SO_2. Na Ženevskoj konferenciji podnesen je referat u kome se uspoređuje opterećenje okoliša pogonom nuklearne elektrane (9). S određenim pretpostavkama o visinskom rasporedu SO_2 i njegovom zadržavanju u atmosferi, autori zaključuju da je za reduciranje SO_2 koncentracije na dozvoljenu, potreban 10^3 do 10^4 puta veći volumen nego za redukciju koncentracije Kr^{85} na graničnu dozu. Naravno, da je priroda oštećenja različita. Oštećenje sa SO_2 ne mora biti trajno, a nisu poznati ni genetski efekti. Međutim, brojčani faktor je tako velik, da uz sve rezervacije u komparaciji, izlazi vrlo nepovoljno za termoelektrane.

Dosadašnje iskustvo s pogonom nuklearnih instalacija i nuklearnih elektrana

Vrlo često se o dosadašnjim iskustvima nuklearnih elektrana čuju ili djelomične informacije ili takve koje dokazuju već postojeće stavove, a ne predstavljaju osnovu za objektivno formiranje gledišta. S obzirom uredno vođene statistike Američke atomske komisije, (A.E.C.) kao i s obzirom na kontrolu koju A.E.C. ima nad eksploatacijom nuklearnih elektrana u SAD, kao i s obzirom na najduži staž nuklearne energetike u SAD, izvještaji A.E.C. pružaju najbolji uvid u stupanj sigurnosti reaktora počevši od 1943. godine, tj. već tri desetljeća (10, 11). Od 1943. do 1967, radilo je u okviru aktivnosti američke atomske komisije u prosjeku 120.000 ljudi. Veoma je iscrpan pregled dao M. Eisenbud (12).

* podatak za Zap. Njemačku, slične su vrijednosti i u ostalim evropskim zemljama.

* Statistički godišnjak SFRJ 1970.

Za to vrijeme tri su osobe izgubile život i to na vojnim, odnosno razvojnim radovima. Od 1954. kada počinje američki nevojni program, A.E.C. je odobrila puštanje u pogon 125 raznih reaktora uključujući i nuklearne elektrane. Ni u jednom od tih reaktora nije došlo do gubitka života, ni do ozračenja okolnog stanovništva preko dozne granice (izvještaj A.E.C. na IV Ženevskoj konferenciji 1971, ref. 11). Dakako, mnogo je manjeg opsega izvještaj o pogonu nuklearnih elektrana u Zap. Njemačkoj (250 MW Gundremmingen, 250 MW Lingen i 320 MW Obrigheim) (13) koje su ušle u pogon 1967. i 1968, ali je interesantan za ocjenu ponašanja novijih nuklearnih elektrana. Doze u okolišu nuklearne elektrane daleko su manje od 30 m rem/godinu, u stvari, osim u 1969. godini pri elektrani Obrigheim, niže su od 5 m rem/godinu.

Dugoročni efekti

Pri preradi ozračenog goriva oslobađaju se u atmosferu plemeniti plinovi koje pri današnjem stanju tehnologije nije moguće vezati i zadržati jednostavnim i jeftinim metodama. Najvažniji je, s obzirom na vrijeme poluraspada od 10,7 godina, Kr^{85}. Kr^{85} ispušta se u atmosferu kroz visoke dimnjake, kako bi se osiguralo miješanje s atmosferom mogućeg kontakta s populacijom. Međutim ozračenje od Kr^{85} uz predviđeni razvoj nuklearne energetike doseći će oko 1 m rem/godina do godine 2000 (14). Nema sumnje da će do tog vremena biti moguće reducirati emisiju kriptona u atomosferu i zaustaviti daljnji porast, koji, ni uz najekstremnije pretostavke ne bi mogao doseći neke zabrinjavajuće vrijednosti (15). (Za 80—100 godina, pri snazi nuklearnih elektrana od 50 milijardi kW doza od Kr^{85} dosegla bi 7 m rem/godinu). Apsorpcija pri niskim temperaturama predstavlja perspektivnu metodu kontrole Kr^{85}. Emisija tricija, izotopa vodika i prema tome neizdvojivog iz vode, predstavlja još daleko manje opterećenje.

Problem radioaktivnog otpada

Ovo je pitanje koje porastom prerade ozračenog goriva i akumulacijom otpadaka, te prirode postaje sve važnije. Može se reći da je to vjerojatno i najvažniji problem buduće široke primjene nuklearne energije. On se međutim ne mora postaviti posjedovanjem jedne ili nekoliko nuklearnih elektrana, kad se prerada može internacionalnim aranžmanima obaviti u malom broju centara za preradu, ali u dugom roku svaka će zemlja trebati te instalacije. Danas već postoje tehnički dovoljno sigurna rješenja za dugoročno pohranjivanje otpadnih radioaktivnosti. Po svojim karakteristikama tu se na prvom mjestu nalaze depoziti soli, svojim termičkim i mehaničkim osobinama, te odsustvom vodenih tokova. Kapaciteti su tih depozita dovoljni za mnogo budućih desetljeća.

Termalni efekti

Kritičari nuklearne energije upotrijebili bi termin termalna polucija. Međutim nema opravdanja za takav stav, iako nesumnjivo valja voditi računa o biološkim efektima otpadne topline. Pri tom, naravno, problem otpadne topline nije specifično nuklearni, iako ga nuklearne elektrane svojim veličinama zaoštravaju. Današnje elektrane imaju, nadalje, nešto slabiji termički stupanj djelovanja od termalnih, no u razvoju su tzv. visokotemparturni reaktori koji će ih nadmašiti. Problem otpadne topline je širi problem okoliša koji nastaje dijelom uslijed toga što se toplina dovodi u rijeke *zagađene industrijskim i urbanim otpacima.* Proces samočišćenja voda počiva u biti na bakteriološkoj razgradnji. Ona troši kisik, i kod intenzivnih zagađenja količina kisika može biti nedostatna. Povišenje temperature vode otpadnom toplinom ubrzava procese razgradnje i trošenje kisika, a u situacijama, kada je količina već vrlo malena, to može dovesti koncetraciju kisika ispod nivoa potrebnog za održavanje života u vodi. Problemi se nerijetko bez prethodnog zagađenja voda ne bi pojavili i sigurno je da njihovo rješenje traži i manje zagađivanje rijeka.

Kako je nesumnjivo da bi povećanje temperature vode preko određenih granica imalo štetne efekte na organizme u vodi potreban je studij radi upoznavanja granica ispod kojih takvih efekata nema, odnosno postaju beznačajni. Te će granice ovisiti o nizu faktora, stupnju zagađenosti, lokalnoj flori i fauni, pa ih je teško generalno definirati. One su istovremeno važan faktor u određivanju mogućih lokacija, odnosno, mogućih rashladnih sistema nuklearnih elektrana koje svojim velikim snagama postaju do sada najveći izvori otpadne topline.

Istraživanju termalnih efekata posvećuje se sve veća pažnja, osobito u SAD (16, 17, 18). Štetan utjecaj na plankton i na lokalno vezane vrste riba nađen je u blizini izlaznih kanala rashaldne vode i u zoni miješanja gdje je temperatura vode dosizala 35 °C. Izvan ovog vrlo ograničenog područja nisu nađeni efekti na organizme (19).

Zaključak

Iz prethodnog izlaganja može se doći do zaključka da suvremena nuklearna elektrana ne samo da nije opasnost za okoliš, već može bitno pridonijeti smanjenju zagađenosti okoliša. Problem dugoročnog uskladištenja radioaktivnog otpada može se već sada na zadovoljavajući način riješiti, jednako kao i problem Kr^{85}, bude li to potrebno. Valja, dakako, računati i s tim da će se u budućnosti ne samo pojaviti bolja rješenja za današnje probleme, nego i novi problemi. Jedan takav bit će kontrola plutonija u plodnim reaktorima. Međutim, dosadašnja iskustva u razvoju nuklearne energetike ne opravdavaju pesimizam ni u tom pogledu. Bitno je međutim voditi računa o jednoj vrlo važnoj činjenici. Pouzdanost i sigurnost nije nešto što je inherentno nuklearnoj energetici. Upravo obrnuto, današnje, u tom pogledu izvrsne karakteristike, rezultat su posebne pažnje što se posvećuje studiju sigurnosti nuklearnih elektrana od samog početka.

U zemljama što uvode nuklearnu energiju formirane su institucije koje studiraju sigurnost nuklearnih elektrana, prate i kontroliraju njihov rad i izdaju građevne i operativne dozvole tek nakon iscrpnih analiza aspekata sigurnosti. Tek stalnom budnošću i kontrolom došlo se do današnjeg statusa sigurnosti, pa je i za budućnost jasno da su efikasne forme nadzora i kontrole sigurnosti neophodan, sastavni dio zadovoljavajuće upotrebe nuklearne energije. Njihovo stvaranje u Jugoslaviji tek predstoji.

Literatura:

1. — :*Man's Impact on the Global Environment.* Report of the Study of Critical Environmental Problems , M. I. T. Press 1970.
2. O. Hug, K. Rüdiger Trott: *Die Wirkung ionisirender Strahlen auf den Menschen.* Kernenergie, Entfesselung und Bändigung der Atomkraft, Rowohlt 1972.
3. H. F. Henry: *Fundamentals of Radiation Protection.* Wiley — Interscience 1969.
4. E. Sauter: *Grundlagen des Strahlenschutzes.* Siemens Aktiengesellschaft, 1971.
5. K. H. Lindackers, H. Kiefer, O. Hug: *Die Sicherheit for Kernkraftwerken.* Kernenergie, Entfesselung und Bändigung der Atomkraft, Rowohlt 1972.
6. A. R. Gopal — Ayengar i drugi: *Evaluation of long-term effects of high background radiation on selected population groups on the Kerala coast.* Proceedings of the Fourth International Conference, Geneva 1971, Vol. 11.
7. J. E. Martin et al.: *Radioactivity from Fossil-Fuel and Nuclear Power Plants,* IAEO — USAEC Symposium on Environmental Aspects of Nuclear Power Stations, New-York, 1970.
8. M. Eisenbud, H. G. Petrov: *Radioactivity in the Atmospheric Effluents of Power Plants that Use Fossil Fuel.* Science 144, p. 289, 1964.
9. I. A. Izrael, E. N. Teverkovsky: *Prospects of wide peaceful use of atomic energy with radiation safety of population.* Proceedings of the Fourth International Conference, Geneva 1971, Vol. 11.
10. — : *Operational Accidents and Radioactive.* Exposure Experience within the USAEC 1943—1967.
11. C. K. Beck, H. R. Denton, P. A. Morris, D. Thompson — USAEC: *Regulatory Perspectives and Emphasis and Safety Experience for Nuclear Power Reactors.* Proceedings of the Fourth International Conference Geneva, 6—16. September 1971, Vol. 3.
12. M. Eisenbud: *Review of USA Power Reactor Operating Experience.* IAEO — USAEC Symposium on Environmental Espects of Nuclear Power Stations, NewYork 1970.
13. K. Traube, W. Braun: *Safety of German Designed Light Water Reactors.* Proceedings of the Fourth International Conference. Geneva, 6—16. September 1971, Vol. 3.
14. T. W. Fowler, P. E. Voit: *A Review of the Radiological and Environmental Aspects of* Kr^{85}. Rep. NF — 69 — 16, US Dep. E and W. (Sept. 1969).
15. M. M. Hendricskon: *The Dose from* Kr^{85} *released to the Earth's Atmosphere.* IAEO — USAEC Symposium on Environmental Espects of Nuclear Power Stations, New-York, 1970.
16. R. E. Nakatani, D. Miller, I. V. Tokar: *Thermal Effects and Nuclear Power Stations in the USA.* IAEO — USAEC Symposium on Environmental Aspects of Nuclear Power Stations, New-York, 1970.
17. T. W. Philbin, H. D. Philipp: *Thermal Effects Studies in the New York State.* IAEO — USAEC Symposium on Environmental Aspects of Nuclear Power Stations, New-York, 1970.
18. W. L. Templeton, C. C. Coutant: *Studies on the Biological Effects of Thermal Discharges from Nuclear Reactors to Columbia River at Hanford.* IAEO — USAEC Symposium on Environmental Aspects of Nuclear Power Stations, New-York, 1970.
19. R. F. Foster, R. T. Jaske, W. L. Templeton: *The Biological Cost of Disharging Heat to Rivers.* Proceedings of the Fourth International Conference, Geneva 1971, Vol. 11.

Naslov pisca: Prof. dr Vladimir Knapp, Elektrotehnički fakultet, Zagreb

UTJECAJ NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO NA OKOLINU

Jadranko Karuza — Petar Strohal, Zagreb

Prva jugoslavenska nuklearna elektrana bit će izgrađena kraj Krškog na rijeci Savi. Prikazane su osnovne karakteristike ove lokacije s obzirom na potrebe i zahtjeve za izgradnju i pogon nuklearne elektrane. Analiziran je, za konkretni slučaj, utjecaj različitih radioaktivnih otpadaka na okolinu i potrebne mjere za smanjenje zagađivanja.

DK 621.039

1. Uvod

Utjecaj nuklearnih elektrana na zagađivanje čovjekove okoline postaje sve veći problem, kako za zemlje u kojima se grade nuklearne elektrane, tako i za one zemlje gdje se radioaktivni otpaci iz tih elektrana mogu pojaviti putem rijeka, mora ili atmosfere. Ovi problemi svratili su pozornost svjetske javnosti još na Prvoj konferenciji Ujedinjenih naroda o mirnodopskoj primjeni atomske energije, što je održana 1955. godine u Ženevi.

Na osnovi opsežnijih radioekoloških i radioloških istraživanja, Internacionalna komisija za radiološku zaštitu (ICPR) donijela je veći broj preporuka o dozvoljenim dozama za interna i ekosterna ozračavanja, kao i koncentracijske limite za različite radionuklide u vodi i u zraku. Ovi podaci uzeti su kao osnova za stvaranje mnogobrojnih normativnih akata raznih zemalja za propisivanje »radnih nivoa« raznih radioaktivnih materijala, imajući pri tome u vidu osoblje koje radi s radioaktivnim supstancama, kao i stanovništvo na koje radioaktivnost i zračenje može djelovati. Daljim razvojem događaja, naročito na osnovi samostalnih istraživanja, kao i terenskih zapažanja, dolazi u nekim zemljama do još strožih propisa.

Iako su mjere predostrožnosti i kontrole apsolutno potrebne, mora se nažalost spomenuti da su ponegdje ovi propisi dovedeni do apsurda. Među takve zemlje spada i naša zemlja, gdje su Zakonom o ionizirajućem zračenju dozvoljene duže radioaktivnosti u površinskim vodama ponekad i niže od prirodne radiaktivnosti tih voda (koja najčešće potječe od kalija-40, radija, radona i dr.). Očito je da će se takvi zakonski propisi mijenjati, pa ih ne bi trebalo uzimati u obzir pri raspravi o izgradnji nuklearnih elektrana u Jugoslaviji.

Dosadašnja saznanja na području radioekologije jasno ukazuju da nije odlučujući faktor samo nivo radioaktivnosti u nekom sistemu, već da ugradnja radionuklida u organizme u mnogome zavisi i o fizikalno-kemijskom stanju u kojem se pojedini radionuklidi nalaze. Dakle, od posebnog je radiološkog interesa kemijski sastav neaktivnog dijela efluenta, te moguće interakcije odbačenih radioaktivnih otpadaka u čovjekovu okolinu. Upravo zbog tog neobično važnog faktora, za svaki se sistem nuklearnih elektrana, kao i za svaku lokaciju mora obaviti sistematsko ispitivanje sudbine odbačenih radionuklida u okolinu prije nego što se pristupi izgradnji nuklearne elektrane. Želimo ovdje naglasiti da nuklearna elektrana, za čiji okoliš su ova istraživanja solidno i sistematski provedena, ako se u toku njenog rada strogo poštuju propisi, može manje zagađivati čovjekovu okolinu od konvencionalnih termoelektrana s pogonom na treset, ugljen ili mazut.

Radi objektivnosti valja istaći, da i hidroelektrane predstavljaju veće narušavanje prirodnih uvjeta života u čovjekovoj sredini, jer sistem vodnih brana i akumulacionih jezera može bitno izmijeniti sastav ekoloških zajednica.

Izgradnja nuklearne elektrane u Krškom može utjecati na čovjekovu okolinu putem:

- zagađenja atmosfere otpuštanjem radioaktivnih plinova i volatizirajućih supstanci,
- zagađenja savske vode ispuštanjem radioaktivnih supstanci iz rashladnog sistema ili prilikom remonta elektrane, i
- povišenjem temperature savske vode, prouzrokovane spuštanjem većih količina tople vode iz rashadnih sistema elektrane.

2. Osnovne karakteristike lokacije Krško

Lokacija nuklearne elektrane Krško nalazi se na lijevoj obali Save 3 kilometra jugoistočno od Videm Krškog. Elektrana će biti smještena između pruge Zagreb—Ljubljana i rijeke Save.

Osnovni kriteriji za izbor lokacije Krško bili su:

- elektroenergetska potreba i zahtjev da lokacija bude što bliže centru konzuma,
- protočno hlađenje, odnosno zahtjev da elektrana bude u blizini veće rijeke,
- dobri transportni uvjeti, i
- karakteristike mikrolokacije uobičajene za energetska postrojenja.

Na osnovi tih kriterija bilo je izabrano nekoliko lokacija. Za njih su bili analizirani podaci o geologiji, geotehnici, hidrologiji, meteorologiji, seizmologiji, te demografiji. Kao najpovoljnija izabrana je lokacija Krško.

Lokacija nuklearne elektrane Krško nalazi se u aluvijalnoj dolini koja se prema jugoistoku otvara u Krško polje. Na sjeveru ove doline teče rijeka Sava. Na području lokacije aluvijalni nanosi debljine od 8—12 metara leže na podlozi mlađeg tercijara. Vodopropusnost aluvijalnih nanosa određuje direktnu ovisnost nivoa podzemne vode u blizini korita o vodostaju rijeke Save. Smjer toka podzemne vode je od sjeverozapada prema jugoistoku i presjeca Savu. Kod vrlo visokog vodostaja Save

tok podzemne vode skrene više prema brežuljcima na granici Krškog polja, dok je u slučaju niskog vodostaja okrenut prema Savi.

Na desnoj obali Save nalazi se na Krškom polju zahvat vode za vodoopskrbu Krškog. Na lijevoj obali rijeke nema nikakvog zahvata podzemne vode. Na taj je način onoemogućeno bilo kakvo zagađenje pitke vode za Krško i okolicu.

Predviđajući plato nuklearne elektrane nalazi se na nadmorskoj visini od 155,2 m. Prema mjerenjima vodomjerne stanice Krško najviša voda Save bila je 1933. godine i iznosila je 475 cm iznad normale.

Tada je na području lokacije voda poplavila teren na obje obale do visine od 153,85 m. Poslije 1933. bili su izvršeni neki zahvati i regulacija Save, tako da bi poplava uz iste količine vode kao i 1933. god. bila daleko manja. Predviđeni plato nuklearne elektrane je za 0,50 m viši od nivoa katastrofalno visoke vode.

Seizmološka analiza lokacije Krško pokazala je da lokacija spada u VIII potresno područje po MCS skali. U neposrednoj blizini lokacije, koju označuje radius od 30 km, nalazi se više tektonsko labilnih jedinica okarakteriziranih dosta jakim stupnjem seizmičnosti.

Za proizvodnju električne energije u nuklearnoj elektrani reda veličine 600 MWe potrebno je oko 25 m^3/s rashađene vode. Prosječni minimalni protok Save kod Krškog iznosi 70 m^3/s, srednij protok 245 m^3/s, dok je maksimalni protok oko 3053 m^3/s. Iz toga se može izvući zaključak da je količina vode u Savi dovoljna za normalno protočno hlađenje elektrane.

Meteorološka promatranja Krškog polja ukazuju na to, da prevladavaju zapadni vjetrovi, što vrijedi naročito za više slojeve zraka. Tišina na Krškom polju vrlo se rijetko javlja i iznosi oko 10% cjelokupnog promatranog vremena, tako da postoji dobro provjetravanje cijele uvale.

Na Kršnom polju, na mjestu lokacije javlja se jaka inverzija. Prosječna visina inverzne plohe iznosi od 40—50 metara. Predviđena 380 kV mreža Jugoslavije prolazi blizu lokacije nuklearne elektrane, pa će nuklearna elektrana Krško biti uključena u tu mrežu kao jedna od potpornih točaka.

Demografska ocjena lokacije Krško po američkim i engleskim kriterijima pokazuje, da lokacija ispunjava sve osnovne uvjete za elektrane velikih snaga.

Glavni transport moguć je željeznicom do stanice Videm—Krško i dalje priključnim kolosjekom. Cestovna veza je moguća postojećim mostom u Krškom na autoput Zagreb—Ljubljana.

3. Izvori zračenja u nuklearnoj elektrani i zaštita okoline

Radioaktivni materijal nastaje kao produkt razbijanja jezgre uhvata neutrona ili kao produkt raspadanja radioaktivnih izotopa. Taj se materijal formira u reaktoru i zraku koji neposredno okružuje reaktorsku posudu a širi se u glavni rashladni krug, pomoćne krugove i ventilaciona postrojenja.

Osim produkata razbijanja jezgre, kroz neutronsku aktivaciju nastaju uglavnom ovi izotopni plinovi:

H-3, N-13, N-16, N-17, O-15, F-18, O-19, Ar-37, i Ar-41

kruti:

Cr-51, Mn-54, Mn-56, Fe-59, Co-58, Co-60, Zn-65, Cu-64, i Z-95.

Plinoviti produkti neutronske aktivacije nastaju u reaktorskom rashladnom sredstvu (vodi) i zraku iz prstenastog prostora između reaktorske posude i biološkog štita. Iz reaktorske vode oni djelomično prelaze zajedno s parom u turbinu i kondenzator, odakle su stalno isisavani u sistem za preradu ispušnih plinova.

Uslijed veoma visokog neutronskog fluksa mali ostaci plinova se u vodi, usprkos njenoj veoma velikoj čistoći, a isto tako i tragovi korozivnih produkata aktiviraju, a i voda je jednim dijelom radiološki razdvojena na slobodni vodik i kisik.

Aktivnost vode i pare, koje izlaze iz reaktorske posude, određena je u prvih 100 s aktivnošću dušikovog izotopa N-16 i poluvremenom raspadanja od 7,13 s. Nakon što je aktivnost N-16 opala otprilike nakon 100 s, aktivnost primarne vode uglavnom ovisi o aktivnosti dugoživećih produkata korozije i otopljenih plinova.

Poluvremena raspadanja ovih produkata korozije su između nekoliko sati i nekoliko godina.

Para sadrži, kako su to ispitivanja na reaktorima u pogonu pokazala, za faktor 1000 manji dio korozivnih produkata nego voda.

Osim korozivnih produkata u vodi reaktora nalaze se i produkti razbijanja jezgre, koji zbog veoma malih ali praktički neizbježnih defekata na gorivim elementima, kao i onečišćenja uranom na vanjskoj strani gorivih elemenata, dolaze u reaktorsku vodu.

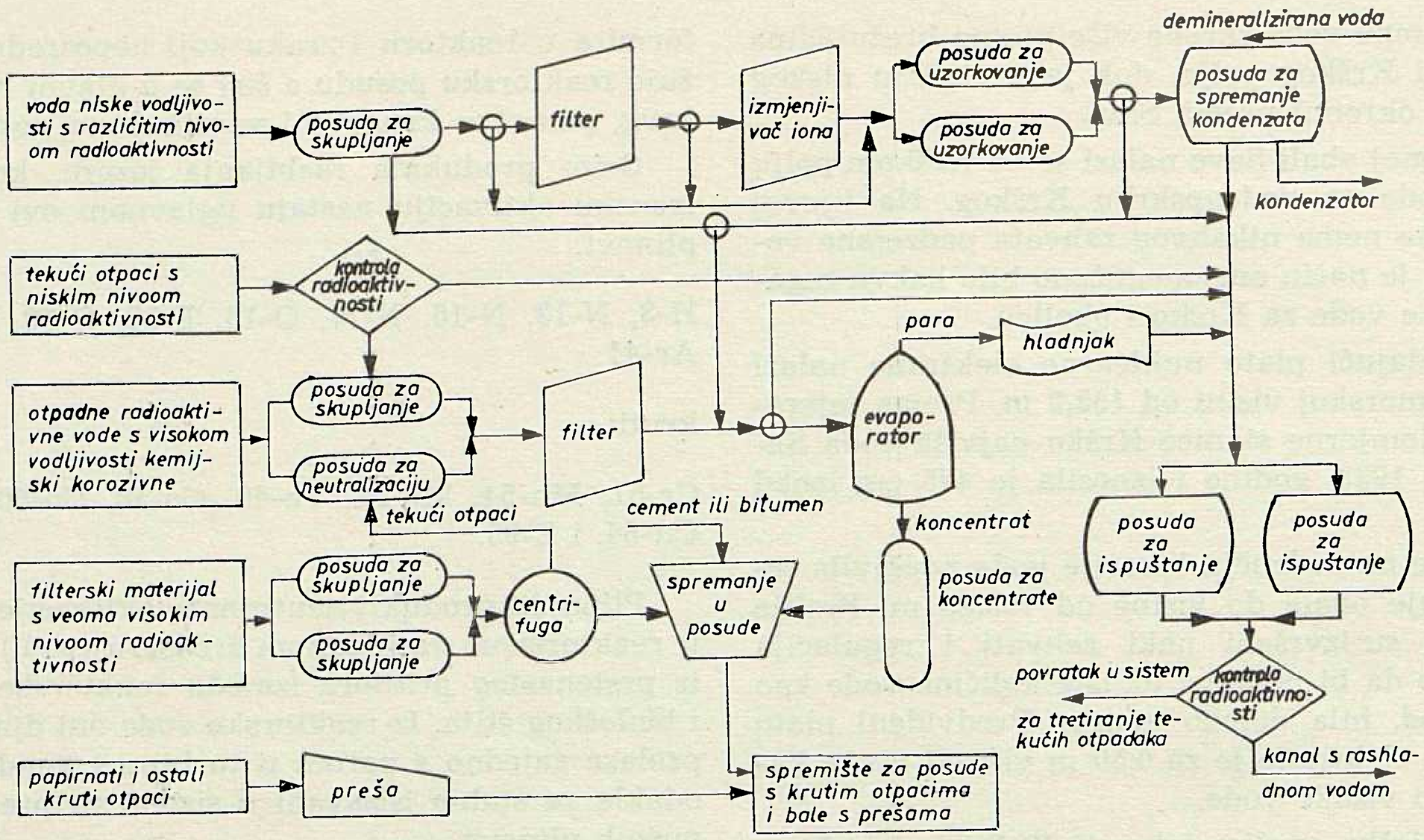
3.1. Radioaktivne vode

3.1.1. Izvori

Sve radioaktivne ili potencijalne radioaktivne otpadne vode dolaze u postrojenje za preradu vode. To su na primjer vode koje cure iz brtvi armatura ili pumpi, vode za ispiranje smola i filterskih masa, kanalizacija iz zgrada, vode iz praonice, laboratorija i uređaja za dekontaminaciju, i slično.

Ove otpadne vode se dovode iz raznih zgrada postrojenja i nastaju samo u kraćim vremenskim razdobljima i neredovito. Aktivnosti u otpadnim vodama, koje sve idu na preradu, leže u rasponu od 10^{-3} do 10^{-5} Ci/1.

Otpadne vode se skupljaju u posudama zgrada i odatle se odvode, već prema kvaliteti, na liniju



Sl. 1 NE Krško, Sistem za tretiranje tekućih i krutih radioaktivnih otpadaka

za uparavanje ili liniju za koncentriranje. Voda potrebna kod izmjene goriva u bazenu za izmjenu goriva, uzima se iz kondenzacione posude i nakon izmjene gorivih elemenata ponovo se tamo vraća. Prerada otpadne vode odvija se uparavanjem ili filtriranjem. Koncentrat, kao i upotrebljene filterske mase, nakon uparavanja, centrifugiraju se i osušene spremaju u prijenosnim posudama. Prerađene otpadne vode uglavnom se dovode ponovo u postrojenje posudama za spremanje kondenzata. Ostali dio otpadnih voda s niskom radioaktivnošću i većim kemijskim onečišćenjima, skuplja se u dvije posude za ispuštanje, odakle se neredovito, prema vremenski različitim potrebama postrojenja i tek nakon ponovnih ispitivanja u laboratoriju, ispušta zajedno s glavnom rashladnom vodom elektrane u Savu. Na taj način je nivo radioaktivnosti otpadne vode znatno smanjen.

Prerađena otpadna voda skupljena u posudama za ispuštanje ispituje se u laboratoriju na radioaktivnost, voljivost, pH vrijednost i zamućenje. Skupljena i ispitana voda ispušta se u šaržama pod kontrolom količine u izlaznu rashladnu vodu. Odvodi obiju posuda za ispuštanje su tako izvedeni da se istovremeno može ispustiti voda samo iz jedne posude. U odvodnom cjevovodu nalazi se i monitor, koji automatski zaustavlja ispuštanje, ako su prijeđene određene vrijednosti.

Vode koje se ispuštaju iz nuklearne elektrane sadrže mješavinu raznih izotopa. U ovoj se mješavini nalazi i tricij, međutim u njoj nema radija Ra-226 i Ra-228.

Prema pogonskim iskustvima s drugim nuklearnim elektranama tipa NE Krško, mogu se očekivati ove vrijednosti ispuštene aktivnosti u otpadnu vodu:

Mješavina izotopa	12 Ci/godinu
Tricij	1000 Ci/godinu

Tekuće ispuštanje na osnovi 1000 MWe nuklearne elektrane Tablica 1

Izotop	Poluvrijeme raspadanja	Aktivnost primarne vode (Ci)	Godišnje ispuštanje iz sistema za tretiranje otpadaka (Ci)	Koncentracija ispuštanja iz elektrane (Ci) m^3	MDK/voda/Ci/m^3
H-3	12,3y	2183	$5,68 \times 10^9$	$3,08 \times 10^{-6}$	5×10^{-3}
+Mn-54	300 d	0,20	1,19	$0,79 \times 10^{-15}$	8×10^{-4}
+Co-58	71 d	6,4	36,2	2.41×10^{-14}	4×10^{-4}
+Fe-59	45 d	0,27	—	—	—
+Co-60	5,2y	0,19	4,27	$2,85 \times 10^{-15}$	1×10^{-4}
Sr-89	50,5d	1,48	14,7	$9,80 \times 10^{-15}$	7×10^{-5}
Sr-90	27,7y	0,044	0,44	3×10^{-16}	4×10^{-7}
Y-90	64,8h	0,06	0,51	3×10^{-16}	3,0
Y-91	57,5d	0,26	25,9	$1,73 \times 10^{-14}$	0,2
Mo-99	67 h	1175	$1,08 \times 10^{-4}$	$0,72 \times 10^{-11}$	$8,10^{-4}$
I-131	81 d	828	$8,65 \times 10^3$	$0,58 \times 10^{-11}$	2×10^{-4}
Cs-134	2,3y	95,2	$3,19 \times 10^3$	$2,12 \times 10^{-12}$	9×10^{-6}
Te-132	78 h	91,5	$9,01 \times 10^2$	$0,0607 \times 10^{-12}$	5×10^{-4}
I-132	20,5h	1320	109×10^4	$0,72 \times 10^{-11}$	9×10^{-4}
Cs-136	13 d	14,1	$1 \times 38 \times 10^2$	$0,92 \times 10^{-13}$	9×10^{-5}
Cs-137	27 y	515	$5 \times 15 \times 10^3$	$3,43 \times 10^{-12}$	2×10^{-5}
Ba-140	12,8d	0,08	349	$2,33 \times 10^{-15}$	5×10^{-4}
La-140	40,5h	0,31	3,20	$2,13 \times 10^{-15}$	2,0
Ce-144	290 d	1,06	12,45	$0,83 \times 10^{-14}$	3×10^{-2}

U tablici 1 prikazane su vrijednosti ispuštanja aktivnosti za neke izotope za elektranu od 1000 MWe. Za NE Krško sa 600 MWe ove će vrijednosti biti nešto niže. U posljednjoj koloni tablice I. navedene su, za usporedbu, maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) za pitku vodu u bilo kojem području za cijelo tijelo prema ICRP-u (Međunarodna komisija za radiološku zaštitu, str. 11).

Opterećenje riječne vode kod prethodno navedenih vrijednosti ispuštanja, kod prosječnog godišnjeg protoka od 150 m^3/s ostaje ispod slijedećih vrijednosti:

Mješavina izotopa	3×10^{-9} Ci/m^3
Tricij	3×10^{-7} Ci/m^3

Ove vrijednosti su za mješavinu izotopa ispod 11%, a za tricij ispod 0,04% odgovarajućih maksimalno dozvoljenih koncentrata za vodu (1/30 vrijednosti. Tablice 1 i 3 ICRP preporuke).

Rashladna voda elektrane prolazi kroz kondenzatore turbine u kojima se primarna para kondenzira pod vakuumom. Prijelaz bilo koje radioaktivnosti u kondenzatoru na rashladnu vodu dvostruko je osiguran. Jedno osiguranje je mehaničko, jer su cjevovodi odvojeni, a drugo je uslijed vakuuma na strani elektrane, tako da je jedino moguć eventualni prodor rashladne vode u kondenzator ali bi u tom slučaju elektrana morala biti zaustavljena radi opasnosti od nečiste vanjske, savske vode.

Pogonska iskustva
Tekući otpaci u ispusnom kanalu

Tablica 2

Elektrana	Prosječne vrijednosti 1967, 68, 69 pikokiri po litri
Dresden - 1	30
Humbolt Bay	20
Big Rock Point	100
Garigliano	50
K R B	8

+ bez tricija

U tablici 2 navedene su vrijednosti koncentracija radioaktivnog materijala u ispusnim kanalima nekih elektrana u pogonu u razdoblju 1967—1969. Koncentracija u riječnoj vodi je za daljnji faktor 50 do 1000 niža od navedenih koncentracija.

Tricij u tekućinama

Tablica 3

Tekućina	Pikokiri po litri
Dozvoljeno u pitkoj vodi	3,000.000
Reaktorska voda i kondenzat	1,000.000
Ispusni kanal (Izlaz elektrane)	20
Voda iz nuklearnih pokusa	1.000
Voda i otpaci elektrane	1.004

Tablica 3 daje usporedni prikaz dozvoljenih koncentracija porijeklom iz elektrane i drugih izvora za tricij, dok je u tablici 4 taj prikaz dan za produkte razbijanja jezgre i korozivne produkte.

Korozivni i fizioni produkti u tekućinama

Tablica 4

Tekućina	Pikokiri po litri
Dozvoljeno u pitkoj vodi	15.000
Reaktor	150,000.000
Kondenzat	30.000
Ispusni kanal na izlazu elektrane	10.100
Pozadina u oceanskoj vodi	350
Rijeka i otpadne vode NE	14—120

3.1.2. Utjecaj na okolinu

Najveći problem zagađenja okoline izgradnjom nuklearne elektrane Krško, bit će puštanje radioaktivnih otpadaka u Savu. Iako će se poduzeti sve standardne mjere da to bude kontrolirano, potrebno je prije puštanja elektrane u pogon izvršiti opsežnija hidrološka i radiološka ispitivanja. Dvije činjenice pri tome moraju svratiti našu pažnju.

Iako će prilikom otpuštanja radioaktivnosti u Savi doći privremeno do njezinog razređenja, radioaktivnosti se mogu akumulirati u neke biljke i životinje fiziološkim putem. Također valja očekivati akumulaciju nekih radionuklida na osnovi fizikalno-kemijskih procesa sa sedimentima i nanosom Save. Ovi procesi posebno su definirani raznim kemijskim karakteristikama vodnog sistema, a taj se uz Savu vrlo često mijenja i osebujan je. Pri tome imamo u vidu da razne industrije odbacuju u Savu otpatke (kiseline, površinske aktivne supstance, čestice ugljena, razne organske i anorganske supstance — desorpcije pojedinih radionuklida. Zbog toga se i dio istraživanja sada usmjeruje na ispitivanje tih fizikalno-kemijskih karakteristika i određivanje kapaciteta nekih bioloških vrsta ili geoloških materijala za pojedine radionuklide koji mogu biti otpušteni u Savu. Sava doduše nije ekonomski osobito interesantna zbog količina riba koja se u njoj danas hvata, već mnogo veću pažnju zaslužuje pojava plavljenja većeg dijela Posavine — izrazitog poljoprivrednog područja. Na taj se način može radioaktivnost ugraditi i u širi spektar poljoprivrednih proizvoda.

Striktno udovoljenje međunarodnim propisima zahtijeva lokaciju nuklearnih elektrana uz takve rijeke čiji je vodotok reguliran od mjesta nuklearne elektrane do ušća. Ispitivanja što se provode radi izgradnje nuklearne elektrane Krško, uključuju pronalaženje kritičnih bioloških vrsta (tzv. bioindikatori) u koje se potencijalno mogu akumulirati neki radionuklidi, te studij karakteristika i kapaciteta sedemenata i dispergirane materije u Savi.

Nekoliko milijuna stanovnika SFRJ smješteno je uz rijeku Savu pa odbacivanje radioaktivnih otpadaka u nju može predstavljati potencijalnu opasnost. Posebnu pažnju pobuđuje lokacija naših dvaju gradova (Zagreb, Beograd) uz Savu, jer je

opće poznato da se vodovodne mreže tih gradova napajaju pretežno iz bunara koji koristi podzemne vode savske regije. Isto tako, pri procjeni opasnosti od radioaktivnosti sadržanih u vodi, ne smiju se isključiti ni manji gradovi (npr. Brežice, Sisak, Slavonski Brod i dr.), i naselja, koja također koriste direktno ili indirektno savsku vodu.

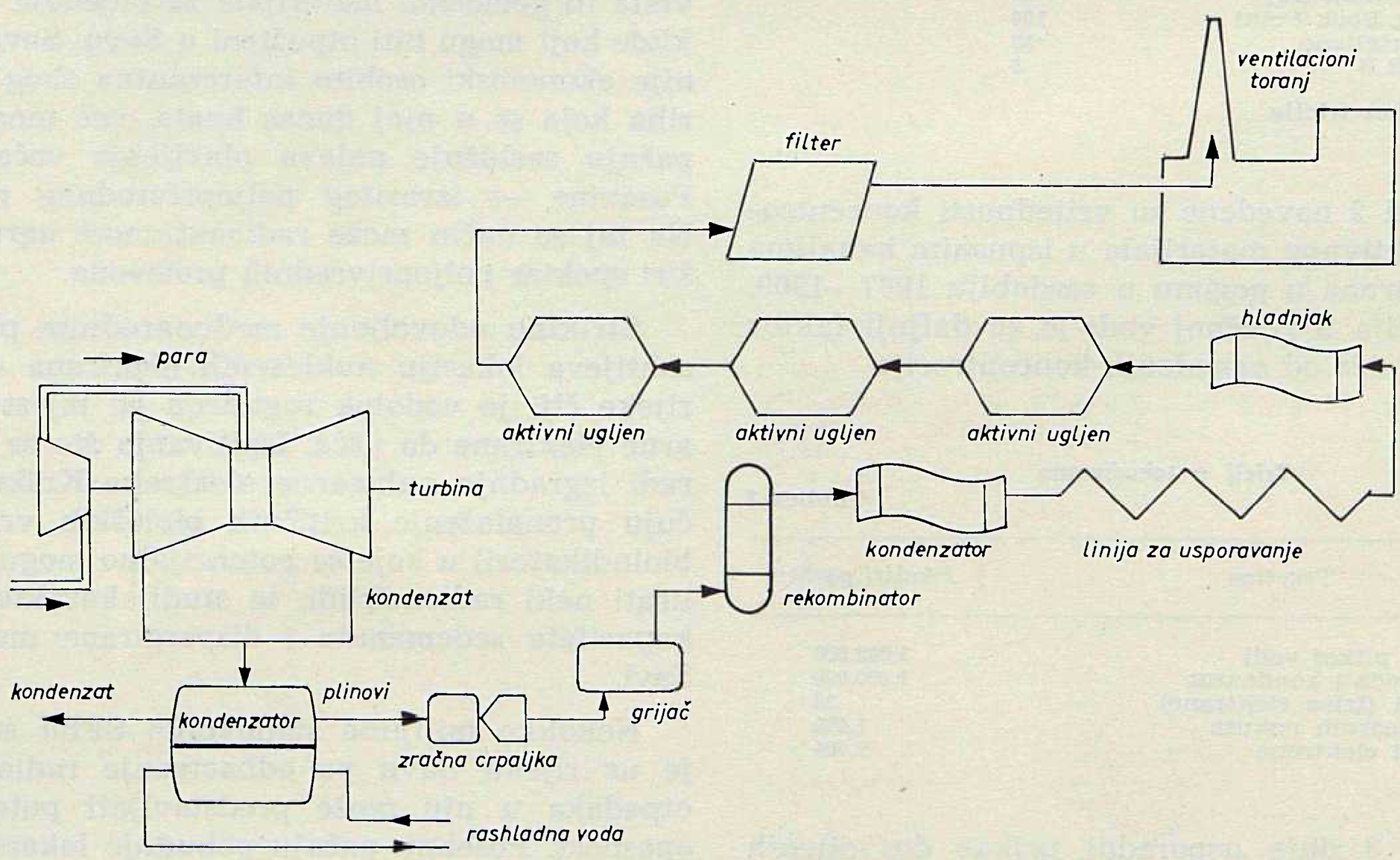
U dosad provedenim istraživanjima, posebna je pažnja bila posvećena studiji utjecaja nuklearne elektrane Krško na kvalitetu pitke vode u Zagrebu. Obavljena su opsežnija ispitivanja terena od Podsuseda do Male Mlake, gdje se nalaze crpilišta vodovoda grada Zagreba.

Budući da do danas nije određen tip reaktora za nuklearnu elektranu u Krškom, ne bi se mogla dati konačna ocjena utjecaja radiokontaminanata koji će biti pušteni u Savu, niti njihov utjecaj na kvalitetu podzemnih voda.

Ipak, na osnovi podataka kojima se danas raspolaže, mogu se dati određeni zaključci. Općenito uzevši, izvandredna hidrogeološka svojstva područja Male Mlake i hidrološke veze s rijekom Savom, omogućuju obnavljanje rezevi podzemne vode, ali u isto vrijeme pružaju veće mogućnosti zagađenja. Najveća mogućnost zagađenja pitke vode je u bunarima I, II i III. Udaljenost ovih bunara od Save u smjeru toka podzemne vode iznosi 4,5 km. Kad bi se radionuklidi kretali istom brzinom kao podzemne vode, prva bi se zagađenja pojavila već nakon 10 mjeseci. Međutim, razrijeđena s podzemnom vodom, ova zagađenja bi bila beznačajna. Zagađenje bi se postupno povećavalo i dostiglo bi svoj maksimum nakon 4 godine. Ako bi se nivo podzemne vode spustio, povećala bi se njezina brzina i zagađenja, a smanjile sorpcione sposobnosti vodonosnog sloja. Sava hrani područje s kojeg se ovi bunari opskrbljuju vodom i za niskih voda do — 104. Njezina obala, s koje se snabdijevaju vodom bunari IV i V, drenira se za vrijeme niskih vodostaja, pa je put koji radionuklidi moraju prijeći do ovih bunara dug preko 6,5 km. Maksimalna koncentracija bi se pojavila tek nakon 6 godina. Područja snabdijevanja vodom iz Save bunara VI, VII, VIII, IX i X su dovoljno udaljena, tako da bi se maksimalno zagađenje pojavilo, u najgorem slučaju, tek nakon 8 god. Kod još nižeg vodostaja, brzina podzemne vode bi se u području šireg zaštitnog područja crpilišta Mala Mlaka naglo povećala. Tako bi najveća brzina toka podzemne vode na granici kod bunara VII iznosila 19,09 m/dan.

Radi velikih udaljenosti ovih bunara od područja s kojeg se opskrbljuju — Save, povećanje brzine kod nižih vodostaja ne bi značajnije utjecalo na brzinu zagađenja. Ova ispitivanja izvršena su kod niskih vodostaja. Dalja ispitivanja valja usmjeriti ka pronalaženju puteva podzemnih voda, kao što su paleoriječni tokovi, nekadašnji meandri i neotektonski pokreti. Na ovim mjestima su brzine podzemnih tokova i propusnost tla vjerovatno veći. Nadalje, potrebno je ispitati sorpcione sposobnosti tla, jer o tome mnogo ovisi usporavanje transporta nekih radionuklida. Kao kritični radionuklidi mogu se očekivati tricij, stroncij-90, te neki korozivni produkti.

Slična ispitivanja bit će potrebno provesti i na drugim lokacijama, gdje stanovništvo koristi savske podzemne vode kao pitke. Potrebno je još provesti niz mjera na osnovi proširenih ispitivanja priobalnih terena i podzemnih voda. Tek na temelju tako dobivenih podataka moći će se prići efikasnijoj kontroli i zaštiti tog dijela čovjekove okoline.



Sl. 2 NE Krško, sistem za tretiranje radioaktivnih plinova

3.2. Radioaktivni plinovi

Zrak iz kontroliranog područja sadrži radioaktivne plinove i aerosoli koji se vode preko postrojenja za preradu plinova u ventilacioni toranj elektrane.

Plinoviti radioaktivni produkti nastaju uglavnom u štapovima gorivih elemenata kao produkt razbijanja jezgre, kao i uslijed aktiviranja reaktorske vode, te aktivacije zraka neposredno uz reaktorsku posudu.

Uslijed curenja, koja je nemoguće spriječiti iz komponenata elektrane ovi plinovi dolaze u prostorije unutar kontroliranog područja. Produkti raspadanja plinova dovode do toga da se u zraku prostorija nalaze i male količine aerosoli.

Plinovi koji nastaju u reaktorskoj posudi zajedno s parom prelaze u turbinu i kondezor. Odatle su stalno vođeni u postrojenje za preradu plinovitih otpadaka u kojem su tretirani preko linije za usporavanje, pješčanog filtera, uređaja za filtriranje s aktivnim ugljenom i filtera koji odstranjuju krute čestice iz plinova. Na kraju se tako očišćeni plinovi, zajedno s ventilacijom zgrada puštaju u ventilacioni toranj.

Plinovi iz turbinskih kondenzatora se najprije vode u postrojenje za rekombinaciju. Slobodni kisik i vodik izgaraju u ovom postrojenju i pretvaraju se u vodenu paru. Mješavina pare i plinova dolazi nakon toga u jedno ohlađeno postrojenje, gdje se para kondenzira, a s njom i jedan dio plinova. Kondenzat se ponovo vodi u proces, dok ostali plinovi, preko linije za usporavanje odlaze u postrojenje s filterima s aktivnim ugljenom.

Već u liniji za usporavanje dolazi do raspadanja najaktivnijih plinova, dok se u aktivnom ugljenu aktivnost smanjuje za više dekada. Filteri s aktivnim ugljenom imaju moć usporavanja za ksenon od 40 dana, a za kripton od 2,4 dana.

Zrak iz prostorija u kontroliranom području izvan kontejnmenta ispušta se kroz ventilacioni toranj. Zrak unutar kontejnmenta ventilira se samo u slučaju otvaranja kontejnmenta i to nekoliko sati nakon što je reaktor zaustavljen, a tada su se svi najaktivniji sastojci već raspali.

Za proračun doza potrebno je pobliže upoznati mjesto nuklearne elektrane kod Krškog. Područje elektrane karakterizira više kilometara duga i široka dolina Save u Krškom polju. Na sjeveru se na 1 do 1,5 km nalaze brežuljci, vjetar zapadni i sjeverni u smjeru doline Krškog polja.

Prema preliminarnim proračunima u kojima su upotrebljene karakteristične vremenske kategorije prema Pasquill-u, izračunate su maksimalne koncentracije na tlu i faktor širenja.

U osnovi proračuna upotrebljena je poopćena Gaussova raspodjela za kontinuirano ispuštanje. U obzir je uzeta i efektivna visina ventilacionog tornja od 100 m. Za proračun maksimalno dozvoljenih ispuštanja uzete su vrijednosti koncentracija koje bi izazvale dozu za cijelo tijelo od 150 mrem/ /god, što odgovara 1/30 vrijednostima, tablice 1 i 4 ICRP preporuka.

Posebno se razmatrao I-131, koji preko konzumacije mlijeka dospijeva u ljudski organizam.

Da bi se spriječilo zagađivanje atmosfere, kako u krugu same nuklearne elektrane tako i u njenom okolišu, uvodi se niz zaštitnih mjera. Zbog toga će i nuklearna elektrana Krško biti opremljena filterima za zrak, koji će zaustavljati radioaktivnost nošenu česticama prašine aerosoli, i dr. Ipak, neke od radioaktivnih supstanci teško će se u potpunosti ukloniti (npr. kripton, ksenon, tricij, jod). Podizanjem visokog dimnjaka kroz koji se otpuštaju ovi plinovi u atmosferu omogućuje se njihovo veliko razređenje u određenim slojevima atmosfere.

Dobra strana lokacije nuklearne elektrane u Krškom je i postojanje čestih strujanja zraka u savskoj dolini, što još više pridonosi razređenju radioaktivnosti, koje putem atmosfere zagađuju čovjekovu okolinu. Posebnu pažnju zaslužuje jod, čiji radionuklid I-131 može biti akumuliran u nekim prehrambenim proizvodima lokalnog poljoprivrednog stanovništva. Međutim, zbog svog relativno kratkog vremena poluraspada, (8 dana) kao i zbog fiziološkog ponašanja u čovjekovu organizmu, jod ne pravi veće radiološke probleme. Valja ipak stalno kontrolirati povrće i mlijeko na sadržaj I-131 u širem okolišu nuklearne elektrane. Zaštitne preventivne mjere i kontrolu zagađenja okoline treba provoditi na osnovi postojećih međunarodnih propisa.

Rezultati ovih proučavanja prikazani su u tabeli 5, u kojoj su navedena dozvoljena ispuštanja za plemenite plinove, aerosol i I-131, te paralelno, vrijednosti ispuštanja elektrane u pogonu.

Tablica 5

Plin	Dozvoljene vrijednosti ispuštanja (Ci/h)	Ispuštanja elektrana u pogouu (Ci/h)
Ispusni plinovi	138	10
Aerosoli	42	10
I - 131	0,19	0,1

3.3. Kruti radioaktivni otpaci

Pri preradi tekućih radioaktivnih otpadada u formi koncentrata nakon evaporacije ili upotrebljenih filterskih masa, u pogonu elektrane nastaje i nešto krutih otpadaka iz raznih izvora, od upotrebljenih papirnatih salveta, krpa, pa do zagađene zaštitne opreme. Svi ovi otpaci odlikuju se relativno niskom radioaktivnošću i dosta velikim volumenom.

Istrošeno nuklearno gorivo također predstavlja jedan vid krutih radioaktivnih otpadaka, no s veoma visokom ostatnom vrijednošću. Postupak prerade raznih krutih otpadaka elektrane započinje njihovim prešanjem i smanjivanjem volumena. Pri

tom se papirni otpaci slično prešaju u male bale, koje se stavljaju u posebne posude volumena oko 200 l. Koncentrati i filterske mase, čiji volumen nije moguće smanjiti, stavljaju se također u posude sličnog volumena i zalijevaju betonom ili asfaltom.

Predviđa se da će godišnja produkcija krutih otpadaka NE Krško iznositi od 100 do 300 ovakvih posuda. Za njihovu pohranu osigurano je mjesto u elektrani za pogonsko razdoblje od 5 godina. To je postrojenje u kojem se automatski pune posude i spremaju u hermetički zatvorene prostorije, iz kojih je nemoguće prodiranje bilo kakvog radioaktivnog materijala u okolinu elektrane.

Budući da se u Jugoslaviji predviđa izgradnja i drugih nuklearnih elektrana, i da naši nuklearni instituti imaju već sada veće količine sličnog krutog radioaktivnog otpadnog materijala, bit će potrebno u skoroj budućnosti razmisliti o otvaranju nekog centralnog skladišta za otpadni materijal ove vrste.

Već su poznati primjeri drugih zemalja s razvijenom nuklearnom industrijom, koje su prišle centralnom rješavanju ovog problema. Zapadna Njemačka, na primjer, svoje otpadke skladišti u napuštenom i za te svrhe posebno preuređenom rudniku soli.

Istrošeno nuklearno gorivo, zbog svoje veoma visoke ostatne vrijednosti (plutonij, uran, radioaktivni izotopi) valja preraditi. Postrojenja za preradu postoje u nekim zemljama Evrope i istrošeno gorivo NE Krško biti će transportirano tamo na preradu. Zbog velikih kapaciteta potrebnih za rentabilnost takvih postrojenja u Jugoslaviji se takva izgradnja ne predviđa.

Male količine od nekoliko gorivih elemenata prenose se u specijalnim posudama, otpornim na sudare, požare i ostale transportne nezgode, od nuklearne elektrane do postrojenja za preradu. Transport nuklearnog goriva također je reguliran propisom međunarodnih organizacija.

Pogonsko iskustvo 1967—70.

Tablica 6

Elektrana	Ispuštanja M C/s		Određena doza za najbližeg susjeda elektrane mrem/god
	Dozvoljeno	Prosječno 1967—70.	
Dresden I	560.000	18.000	3
Humboldt Bay	50.000	22.000	18
Rig Rock Point	1,000.000	8.000	1
Garigliano	1,000.000	9.000	1
KRB	68.000	1.000	1
Tarapur (2 Units)	580.000	14.000	3
Oyster Creek	300.000	3.500	1
Nine Mile Point	800.000	1.000	1
Tsuruga	50.000	1.000	1
Dresden II	700.000	8.600	1

4. Zagrijavanje rashladne vode

Rashladna voda u termalnim i nuklearnim elektranama potrebna je za hlađenje i kondenzaciju pare koja izlazi iz turbine. Od toplinske energije pare koja pokreće turbinu, mora se iz fizičkih razloga iskoristiti samo oko 40%. Ostalih 60% mora biti spovedeno preko kondenzatora elektrane na rashladnu vodu, koja se zagrijava u kondenzatoru na 8—10 °C.

Za ove granice zagrijavanja moderna elektrana treba oko 3 do 4 m^3/s rashladne vode po 100 MW instalirane snage. Voda potrebna za hlađenje uzima se iz rijeke. Nakon što je u kondenzatoru zagrijana, rashladna voda napušta elektranu bez ikakvih dodatnih zagađenja. Na izlazu iz elektrane ta je voda posebnom izvedbom izlaznog kanala usmjerena na riječni tok u kojemu je homogeno izmiješana.

Nuklearna elektrana Krško trebat će za hlađenje oko 25 do 30 m^3/s rashladne vode. Za jednu studiju utjecaja hlađenja na elektrani potrebni su podaci o riječnom protoku koji su navedeni u tablici 7, (strana 20).

Iz tablice 7 vidljivo je, da je minimalni protok rijeke Save reda veličine potreba za rashladnom vodom. Samo iz ovih podataka došli bi do krive slike o mogućnosti hlađenja elektrane vodom iz Save. Protoci Save ovog reda veličine nastupaju veoma rijetko. Prosječni minimalni protok iznosi 70,4 m^3/s, što je dovoljno da se osigura nesmetano hlađenje. U slučaju zaista malih protoka može se, bez daljnjega, reducirati snaga elektrane i na taj na in smanjiti potreba za rashladnom vodom. Minimalni protoci traju samo nekoliko dana godišnje, pa ta redukcija snage, uz mogućnost remonta elektrane u tom razdoblju, neće bitno utjecati na ekonomičnost elektrane.

Karakteristike Save kod Krškog

Tablica 7

Prosječni protok	234	m^3/s
Prosječni minimalni protok	70,4	m^3/s
Minimalni protok	29,9	M^3/s
Prosječni maksimalni protok	1705	m^3/s
Miksimalni protok	3,053	M^3/s
Prosječna godišnja temperatura	11	°C

Podaci od 1913. nadalje

Drugi aspekt rashladne vode, na koji valja obratiti pažnju je zagrijavanje riječne vode. Povećanje temperature utječe na gotovo sve fizičke karakteristike vode za čiju smo kvalitetu zainteresirani, uključujući: gustoću, viskoznost, tlak pare, površinsku napetost, mogućnost otapanja plinova i difuzije plinova.

Mogućnost zadražavanja otopljenog kisika je svakako najvažnija od ovih karakteristika, jer otopljeni kisik predstavlja osnovu za sve vrste života u rijeci. Prema sadašnjem stanju znanstvenih studija, temperature do 30 °C ne utječu na život u rijeci. Utjecati može samo pomanjkanje kisika u vodi, a tome pomanjkanju direktno suprotno djeluje obogaćenje vode kisikom, što nastaje u izlaznom kanalu elektrane uslijed povećanog strujanja.

Važan faktor utjecaja nuklearne elektrane na čovjekovu okolinu odnosi se na termalnu poluciju.

Odbacivanje veće količine zagrijane vode u Savu u mnogome može pridonijeti debalansu okoloških uvjeta. Kao prva posljedica zagrijavanja doći će do naglog smanjenja kisika u vodi Save, što može izazvati debalans bioloških vrsta. Time mogu biti stvoreni povoljni uvjeti za razvoj određenih mikroorganizma, što također utječe na kvalitetu riječne vode. Prema promatranjima na velikom broju elektrana u pogonu, neke vrste riba se dobro i naročito brzo razmnažaju u blizini izlaznih kanala elektrana. Temperaturno opterećenje Save nije moguće, zahvaljujući karakteristikama njenog vodotoka. Naime, minimalni se protoci vode javljaju u mjesecu rujnu, kad je voda hladnija. Maksimalne temperature oko 24 °C javljaju se u Savi u rujnu i kolovozu, kad je protok vode daleko od minimuma. Na taj način osigurano je da temperatura savske vode neće prijeći u vremenu minimalnog protoka temperatura koje se u vodi javljaju, prirodno, u najtoplijim mjesecima godine.

U veoma rijetkim kritičnim slučajevima, postoji uvijek alternativa redukcije snage elektrane, čime je onda problem riješen.

Naslov pisaca: Jadranko Karuza, dipl. ing., »Elektroprivreda«, Zagreb; Dr Petar Strohal, dipl. ing., Institut »Ruđer Bošković«, Zagreb

GRAĐANI I RADNE ORGANIZACIJE!

SUDJELUJTE I POMOZITE AKCIJE LIGE ZA BORBU PROTIV RAKA.

UČLANITE SE U LIGU ZA BORBU PROTIV RAKA

a svojim prilozima i darovima pomažete one, kojima je ljudska solidarnost potrebna.

DANAS POMAŽETE LIGI — SUTRA MOŽDA SEBI!

Vaši prilozi i pomoć omogućili su da se završi druga faza izgradnje Instituta za tumore i slične bolesti u Zagrebu, izgradnja Centra za ginekološki karcinom u Zagrebu, dovršenje Centra za tumore u Splitu i Slavonskom Brodu.

Sredstva koja će biti prikupljena od dobrovoljnih priloga i obveznica zajma za auto-cestu Split i tunel Učka bit će također upotrebljena za otvaranje novih centara za rano otkrivanje i liječenje raka, kao i nabavu opreme za liječenje tumora.

U perspektivnom programu Lige predviđeno je i unapređenje zdravstvenog odgoja naroda i znanstvenog istraživalačkog rada, izobrazbu stručnih i znanstvenih kadrova, te pružanje pomoći u akcijama ranog otkrivanja i njegovog liječenja.

Priloge i pomoć Ligi za borbu protiv raka SR Hrvatske možete doznačiti na žiro račun 30107-678-9310, devizni račun 301-620-1003-32009-10-234 a obveznice u vrijednosnom ili preporučenom pismu na adresu Lige, Zagreb, Ilica 197.

PREDSJEDNIK IZVRŠNOG ODBORA LIGE
Prof dr Ivo Padovan

MOGU LI SE DISTRIBUTIVNE TRANSFORMATORSKE STANICE GRADITI JEFTINIJE I BRŽE?

Branko Damjanović, Rijeka

Proširenja i perspektivni razvoj gradova, prigradskih i pokrajinskih naselja traži — s obzirom na visoka investiciona ulaganja, kao posljedice naglog povećanja opterećenja — elastičnija i efikasnija tehnička i ekonomska rješenja, a eventualno i izmjenu principa dosadašnjeg načina napajanja. Jedno se takvo rješenje daje i u ovom referatu, a sastoji se u pojednostavljenju transformatorskih stanica, naročito 35/10 kV, čime se ubrzava izgradnja i smanjuju troškovi investiranja. Pri tome se istodobno nastojala zadržati sigurnost pogona u prihvatljivim granicama, a potrošačima osigurati kvalitetna električna energija.

DK 621.311.42

1. Uvod

Izgradnja elektroenergetskih distributivnih postrojenja nakon drugog svjetskog rata stalno zaostaje za sve većim porastom opterećenja i potrošnje električne energije. Ovakav tempo razvoja nepovoljno se odrazio ne samo na pad kvalitete kod postojećih, nego se mnogim novim potrošačima nije na vrijeme mogao osigurati niti najnužniji minimum, a nekim niti priključak na distributivnu mrežu.

Izgradnjom složenih mreža i vrlo velikih transformatorskih stanica, naročito 35/10 kV, danas su se naša distributivna poduzeća suočila s vrlo krupnim problemima tehničke i ekonomske prirode. Dodamo li tome još i komplicirane administrativne pripremne radove koji znatno usporavaju građenje, onda dolazimo do zaključka da se mora nešto poduzeti kako bi se ti krupni problemi potpuno riješili i udovoljili sve veći zahtjevi industrije i široke potrošnje.

Da bi se ubrzala izgradnja i smanjili troškovi investiranja, istodobno zadržavajući sigurnost pogona, morao bi se promijeniti dosadašnji način shvaćanja o konfiguraciji elektroenergetskih distributivnih mreža s odgovarajućim transformatorskim stanicama primjenom novih, smjelijih, a time jeftinijih i efikasnijih rješenja. Jedno od takvih rješenja je izabrano na osnovi iskustava stečenih u posljednjih 25 godina, a sastoji se u usvajanju radijalnog napajanja potrošača preko više malih, jednostavnih transformatorskih stanica s jednom jedinicom, ili kraće JTS (jednotransformatorska stanica), kao zamjena za jednu veću, kvalitetniju i skuplju stanicu. Ovo se ne odnosi samo na stanice 35/10 i 10/0,4 kV nego i na 110/35 kV koje svakim danom sve to više postaju distributivne.

2. Nedostaci velikih stanica

Danas je u nas uobičajena izgradnja distributivnih transformatorskih stanica u koje se predviđa ugradnja više transformatora vrlo velikih snaga. Za takve stanice obvezno se moraju poduzeti sve raspoložive mjere sigurnosti kako bi postrojenje bilo što bolje zaštićeno i kako ne bi dolazilo do prekida s neželjenim posljedicama.

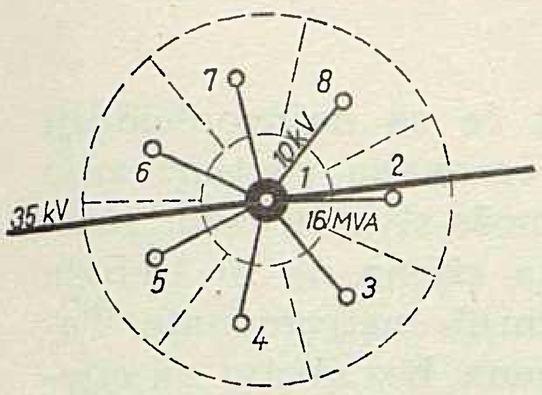
Koncentracija velikih snaga na jednom mjestu znači da su vodovi koji ove stanice napajaju relativno kratki, dok su nasuprot tome sekundarni, izlazni vodovi i kabeli vrlo dugi. Ili drugim riječima: izuzimajući područja s velikom gustinom opterećenja, električna se energija prenosi na malu udaljenost pri višem naponu, a predaleko pri nižem. Kao posljedica izvedbe takvog sistema, dugi vodovi nižeg napona moraju imati veće presjeke, ili se pak mora uzeti veći broj kako bi pad napona zadržali u ekonomskim granicama.

Drugi nedostatak uočen kod velikih stanica leži u izgradnji. One se prema svojoj prirodi moraju odmah kompletne izgraditi i opremiti za velike snage sa više rezervnih vodnih i transformatorskih polja na višem i na nižem naponu, s jednom ili više transformatorskih komora, s dvostrukim pa čak i s pomoćnim sabirnicama, kao i s velikom rezervom u građevinskom prostoru za komandne i relejne ploče, u nadi da će jednog dana doći do povećanja opterećenja i da će se sva rezervna oprema koristiti. Uzme li se u obzir da u prvoj fazi izgradnje stanice stoji neiskorišten jedan ili više učinskih transformatora (ili mjesta za njih), jedan par sabirnica i po nekoliko vodnih polja na višem i na nižem naponu, i ako se uzme u obzir da je za smještaj čitave opreme potrebno izgraditi veću zgradu izvan centra opterećenja, dolazimo do zaključka da je u jednoj zgradi smješteno više transformatorskih stanica od kojih je u početku samo jedna u pogonu i u potpunosti iskorištena. Drugi dio stanice, u koji je uložena prilična svota novaca, čeka da se dovrši i da se eventualno u neodređenoj budućnosti počne eksploatirati.

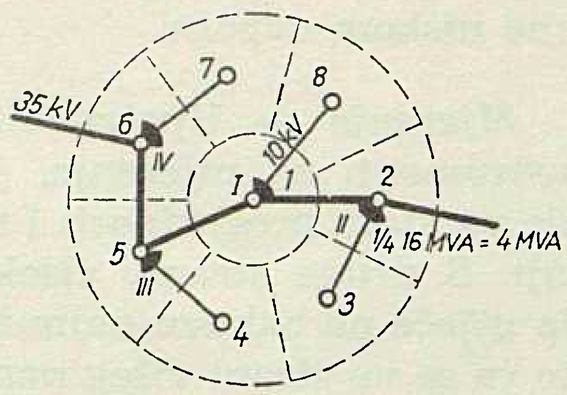
Analizom utrošenih sredstava vrlo se lako može dokazati da djelomičnom (etapnom) izgradnjom stanice postotak angažiranih sredstava nije proporcionalan kapacitetu iskorištenja, budući da se izveo i onaj građevinski, bravarski i elektromontažni dio koji će se koristiti tek u drugoj ili u trećoj etapi. Ovo ističemo radi toga da pokažemo kako će se sredstva preuranjeno uložena u kompletnu stanicu početi amortizirati nakon dugog niza godina, ili nikada, ako se u toku eksploatacije promjene energetski uvjeti napajanja potrošača.

3. Raščlanjivanje velike transformatorske stanice

Kako je dugogodišnja praksa pokazala, transformatorske stanice 110/35 i 35/10 kV mogu godinama raditi samo s jednom jedinom jedinicom bez naročitih zastoja i štetnih posljedica za normalno



Sl. 1a



sl. 1b

napajanje potrošača. Takvom bi se praksom moglo nastaviti, i dalje s tim da se izgradi samo ono što će se odmah potpuno koristiti, ne predviđajući nikakvu rezervu za naknadnu ugradnju opreme ili za naknadna proširenja. Npr., umjesto da se gradska transformatorska stanica projektira za dvije jedinice od 8 MVA i sa 8 izvoda 10 kV. sl. 1a), ona bi se mogla raščlaniti i projektirati 4 manje stanice sa po jednom jedinicom (JTS) od 4 MVA i sa najviše 2 izlaza 10 kV. Svaka bi od tih stanica odgovarala jednoj etapi izgradnje velike stanice tako da bi se u krajnjoj liniji, nakon definitivne izgradnje, dobila ista instalirana snaga i isti broj izlaznih vodnih polja 10 kV, samo s tom razlikom što se one nisu gradile u isto vrijeme i što čitava instalirana snaga i svi izlazi nisu koncentrirani u jednom već u 4 odvojena centra opterećenja (sl. 1b).

Prema važnosti (visini primarnog napona, snazi transformatora i opterećenju) usvojit će se stepen sigurnosti stanice. Npr., jedna stanica 110/35 kV od 2 × 20 MVA mora biti 2 puta više opremljena i imati 2 puta veću pogonsku sigurnost nego jedna JTS, jer ispadanjem iz pogona veće stanice ostaje bez napajanja 2 puta više potrošača nego kod ispadanja jedne stanice s jednom jedinicom.

Raspadanjem jedne velike stanice na više jednostavnih i njihovim priključivanjem na vod ili na kabel, one dobivaju sasvim nove dimenzije. Gubeći na važnosti, stanice se stapaju s vodom i postaju njegov sastavni dio, ili se pak vod pretvara u vrlo duge sabirnice na koje su priključena transformatorska polja malih stanica. Tako će vod sa stanicama, spojeni u »lanac« (sl. 2) tvoriti jednu jedinstvenu cjelinu »energetsku jedinicu«. Iz toga se može zaključiti da će vod koji se sada tretira kao vrlo duge sabirnice, postati osnovni elemenat u »lancu«, pa mu se mora ubuduće posvećivati mnogo veća pažnja. O transformatorskim stanicama moralo bi se povesti računa samo toliko, koliko to zahtijeva važnost potrošača.

Kako na svakom mjestu duž sabirnica teoretski postoji mogućnost priključka JTS, ali takvih čije se rasklopno postrojenje sastoji od samo jednog polja na višem naponu i par vodnih polja na nižem, to je nepotrebno iste sabirnice, odnosno »lanac« štititi na nekoliko mjesta, već ga je dovoljno osigurati na izlazu iz napojne stanice učinskom sklopkom za ponovno brzo ukapčanje i odgovarajućom zaštitom.

4. Uprošćenja na stanicama

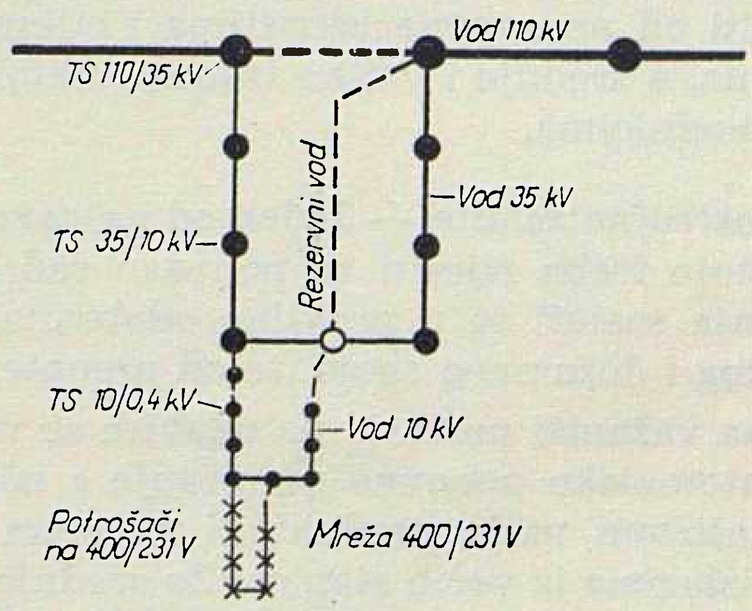
Podjelom jedne velike transformatorske stanice na više JTS, pojedini se elementi i sklopovi mogu pojednostaviti, reducirati ili sasvim ukloniti iz stanice, a da sigurnost pogona ostane i dalje u dozvoljenim granicama.

Zgrada — Visoki troškovi izgradnje građevinskog dijela stanice naveli su projektante da u zgradi ostave samo onu opremu čija bi montaža na otvorenom bila skuplja od unutarnje. Danas se smatra normalnim da se sva oprema 110 kV stanica 110/35 kV kao i učinski transformatori u stanicama 35/10 kV pokrajinskih područja montiraju pod vedrim nebom.

Već kod projektiranja zgrade stanice treba nastojati da dispozicija opreme bude tako raspoređena da zapremina objekta bude što manja i što racionalnije iskorištena. Samo se po sebi razumije da se neće usvojiti, radi uštede nekoliko centimetara na prostoru, minimalne dimenzije ćelija, hodnika, pogonskih prostorija i sl., već će se nastojati izbjeći mrtve površine, suvišni hodnici, rezervne prostorije, itd.

Dotjeranost objekta trebala bi da bude proporcionalna posjećenosti i mjestu lokacije. Iako mnogi polažu na reprezentativni izgled zgrade, za to nema nikakvog tehničkog, a još manje ekonomskog opravdanja. Stanica je strogo zatvoreni objekt koji povremeno posjećuje samo mali broj stručnog osoblja radi kontrole i manevra, a rjeđe radi popravaka. Pretjerano dotjerivanje nepotrebnih detalja valjalo bi izbjegavati. Tako npr. plafon i zidove stanice s unutarnje strane ne ožbukati, pregradne zidove ćelije izvesti samo limenom pregradom, zaštitna vrata na ćelijama visokog napona izraditi s okvirom od okruglog željeza i jake mreže, bojadisati samo najnužnije dijelove radi zaštite od korozije, itd.

I kod montirane opreme trebalo bi da glasi pravilo: najveća preglednost, jednostavnos i ekonomičnost. Suvremenijom se opremom može izbjeći ili potpuno eliminirati izrada krovića s provodnim izolatorima između sabirnica i rastavljača. Dalje se mogu izbjeći neki releji, dvostruke sabirnice, veći broj rezervnih ćelija, posebno betonirana uljna jama, itd.



Sl. 2

Daljnji se napredak postiže ako se dijelovi konstrukcije izrade u spjecijaliziranim radionicama kako bi montažu na licu mjesta sveli na minimum.

Sabirnice — Često se pogrešno shvaća cilj upotrebe dvostrukih sabirnica. Jedan sistem sabirnica ne treba da bude rezerva drugom sistemu, već se s pomoću sabirnica vrše odvajanja i prebacivanja. Ako u stanici postoji samo jedan transformator, onda nije moguće izvršiti električno rastavljanje i pored dvostrukih sabirnica, te upotreba dvaju sistema nije opravdana.

U važnijim postrojenjima, npr. 110/35 kV, umjesto dvostrukih sabirnica, tehnički će se više isplatiti izvedba veza s pomoću poprečnih rastavljača ili pomoćnih sabirnica.

Za mala postrojenja dovoljno je usvojiti samo jedan presjek sabirnica. Preporučuje se upotreba aluminija, kao jeftinijeg materijala.

Kabeli — Kod prijelaza zračnog voda na podzemni kabel i obrnuto, vrlo često dolazi do probijanja kabelskih glava uslijed atmosferskih pražnjenja, pa se preporučuje izbjegavati izlaze iz stanica kabelima. Ako se to ne može postići, valja uzeti kao završetke troolovnih kabela jednopolne kabelske glave višeg napona. Ovo skuplje rješenje se kompenzira sigurnošću.

Rastavljači — U postrojenjima visokog napona koji put će biti korisno upotrijebiti rastavljače s jednim ili čak sa dva reda provodnih izolatora, jer zauzimaju mnogo manje prostora u ćelijama nego obični rastavljači.

U svim stanicama valja upotrijebiti učinske rastavljače kao zamjenu za sklopke, a u važnijim postrojenjima i umjesto sabirničkih rastavljača.

Provodni izolatori — Provodni su izolatori, općenito uzevši, jače napregnuti od potpornih. Naročito oni kojima se uvodi dalekovod u zgradu izloženi su prenaponima i atmosferskim utjecajima. Zato je poželjno ograničiti ih samo na najpotrebniji broj, i tamo gdje se ne mogu zamijeniti drugima.

Prenaponska zaštita — Prenaponskim valovima mora biti omogućeno da se odvedu najkraćim putem u zemlju i na tome putu ne smiju biti spriječeni zaštitnim uređajima ili načinom izvedbe mreže. Zračne vodove i male transformatore potrebno je zaštititi od prenapona iskrištima i cijevnim odvodnicama, a srednje i velike transformatore katodnim odvodnicima.

Prekostrujna zaštita — Jedan od najvažnijih zadataka koje treba riješiti za pouzdan rad mreže i postrojenja sastoji se u pravilno odabranoj zaštiti od kratkog i dozemnog spoja, te od preopterećenja.

Prema važnosti postrojenja odabire se vrsta zaštite. Automatsko ponovno ukapčanje s odgovarajućom zaštitom valja predvidjeti na svim sekundarnim izlazima iz većih stanica. Za srednje stanice s kratkim vodovima i beznačajnim potrošačima dovoljna je jedna sklopka sa APU na više izlaza, a za manja postrojenja učinski osigurači na visokom i na niskom naponu.

Mjerenje — Upotrijebit će se najneophodniji instrumenti za mjerenje, jer svako pretjerivanje ide na štetu preglednosti i može stvoriti izvor smetnji. S druge strane, visoka cijena ne bi trebala da utječe na nabavu najnužnijih instrumenata. Tako će se na strani višeg napona, bez obzira na cijenu, montirati oni instrumenti kojima se na strani nižeg napona neće postići željeni efekat.

Za male učinske transformatore 10/0,4 kV ne trebaju nikakvi instrumenti, za transformatore srednje snage predvidjeti će se jedan voltmetar na strani nižeg napona (s preklopkom) i sa tri ampermetra ugrađena u sabirnice, a za velike valja uzeti kompletnu garnituru mjernih instrumenata.

Dolazećim i odlazećim vodovima male snage dovoljan je indikator napona i evenutalno ugrađeni ampermetar u sabirnice. Za vod srednje snage upotrijebit će se isti ampermetar, a za vrlo važan vod ampermetar i evenutalno vatmetar.

U sabirnice malih postrojenja ugradit će se indikator napona, a u velikim i srednjim, naponski transformatori s voltmetrima, te pokazivači zemljospoja.

Općenito indikatore napore valja ugraditi svagdje gdje se želi kontrola prisutnosti napona: na sabirnicama, odlazećim i dolazećim vodovima ispred rastavljača, itd.

5. Kratak opis JTS

Tipične sheme za sve distributivne transformatorske stanice s usvojenim snagama transformatora prikazane su na sl. 3.

Stanice su izvedene kao prolazne, a mogu se podijeliti na gradske, čije su primarne (izuzev 110 kV) i sekundarne strane izvedene kabelima, i na pokrajinske čije se obje strane uglavnom izvode zračnim vodovima.

Stanice na primarnoj strani, osim transformatorskog polja, imaju ulazno i eventualno izlazno vodno polje, a na sekundarnoj strani jedno, ali najviše 5 izlaznih vodnih polja. Ipak se preporučuje u stanicama 110/35 kV usvojiti 5 vodnih polja, u 35/10 kV tri, u gradskim 10/0,4 kV dva, a u pokrajinskim do tri izlaza na nižem naponu.

Koja će se oprema upotrijebiti na izlaznim i na ulaznim vodnim poljima višeg i nižeg napona, kao i na transformatorskim poljima, zavisit će o visini napona i o važnosti stanice.

5.1. JTS 110/35 kV

Na sl. 4 prikazano je najjednostavnije rješenje prolazne JTS 110/35 kV s instaliranom snagom transformatora 10 ili 20 MVA, opremljenog skolpkom za automatsku regulaciju napona pod opterećenjem.

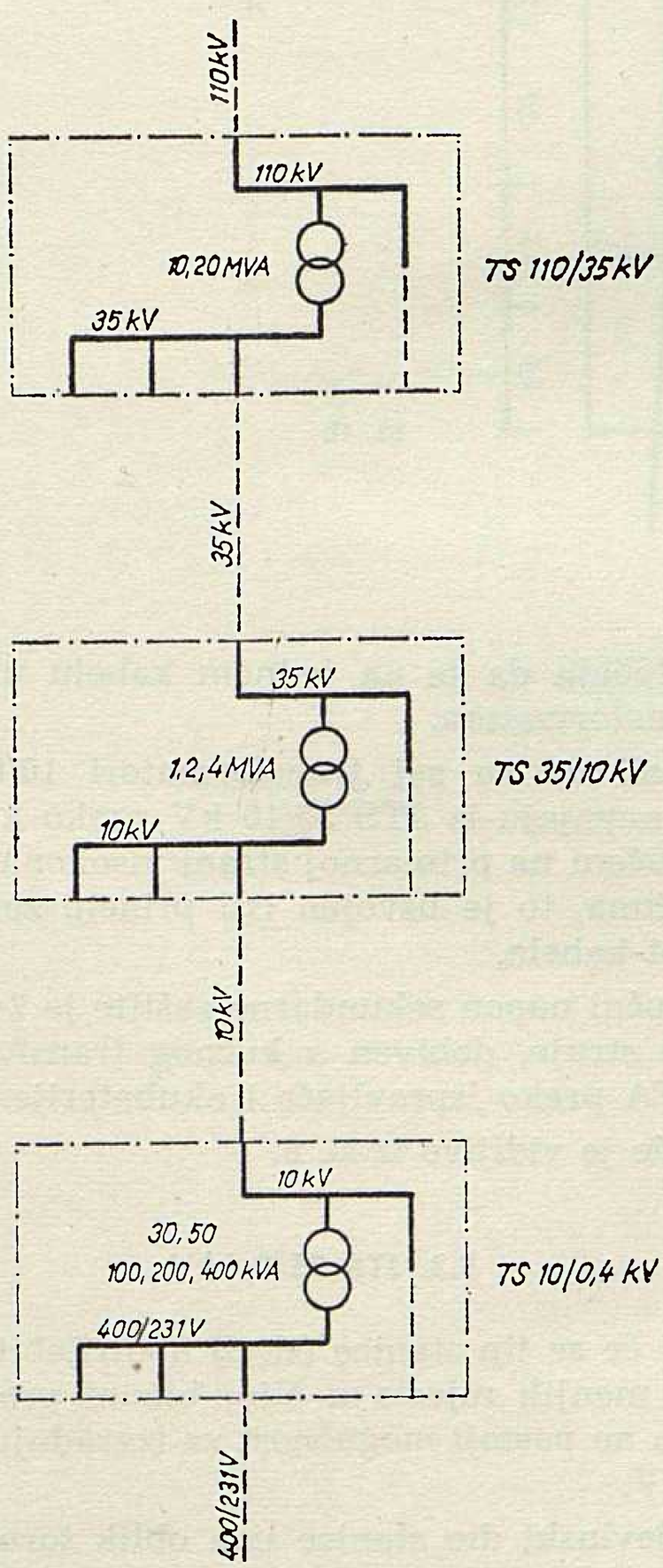
Čitavo postrojenje 110 kV s učinskim transformatorom je smješteno na otvorenom prostoru, a postrojenje 35 kV sa svim uređajima i pomoćnim prostorijama u zidanoj zgradi prizemne konstrukcije.

Stanica će se locirati pored rasteretnog stupa dalekovoda 110 kV umetanjem dvaju portala odgovarazuće visine, ili će se pak locirati na ulazu ili na izlazu podzemnih (podmorskih) kabela 110 kV. Također se i izlazi 35 kV mogu ostvariti zračnim vodovima, podzemnim i podmorskim kabelima.

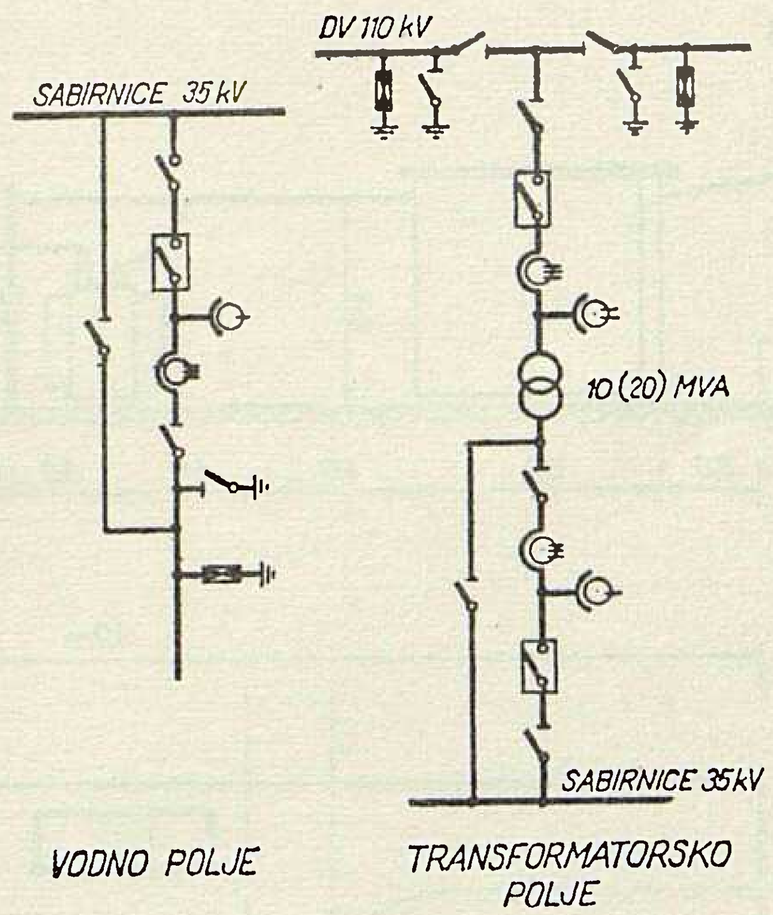
Odvajanje stanice od jednog dijela dalekovoda ili od kabela 110 kV obavlja se preko dva dalekovodna rastavljača.

Ukoliko se želi isključivanje jednog dijela voda ili kabela pod opterećenjem, ili ako postoji bojazan pojave velikih kapacitativnih struja, a s druge se strane želi uštedjeti na kompletnim vodnim poljima, onda se spoj sabirnica 110 kV može izvesti u »trokut« prema jednopolnoj shemi sa sl. 6, samo s tom razlikom što će se na mjestu dvaju učinskih rastavljača izvesti dva kompletna transformatorska polja.

Ispred linijskih rastavljača, odnosno izvan portala priključit će se na vod 110 kV katodni odvodnici.



Sl. 3



Sl. 4a

Trasformatorska se polja (110 i 35 kV) mogu izvesti kompletna prema uobičajenoj praksi.

Rukovanje rastavljačima 110 i 35 kV bit će ručno, a sklopkom 110 kV iz razvodnog ormarića smještenog pored.

Na strani 35 kV predviđeno je osim 5 vodnih polja, transformatorsko, mjerno i polje kućnog transformatora.

Umjesto dvostrukih sabirnica ovdje su predviđene jednostruke s obilaznim rastavljačima koji će se uključiti onda kada se želi izvršiti remont ili zamjena sklopke, strujnog ili naponskog transformatora, bez prekidanja pogona. Dok su zaobilazni rastavljači uključeni, osiguranje vodova je povjereno transformatorskoj sklopki. Poželjno je imati mehaničku blokadu između sabirničkog (učinskog) i obilaznog rastavljača.

Sve sklopke 35 kV moraju se opremiti uređajem za ponovno brzo ukapčanje.

Komandna prostorija je dimenzionirana prema minimalnom broju najnužnijih komandnih, signalnih i pomoćnih uređaja, uključujući eventualnu daljinsku komandu.

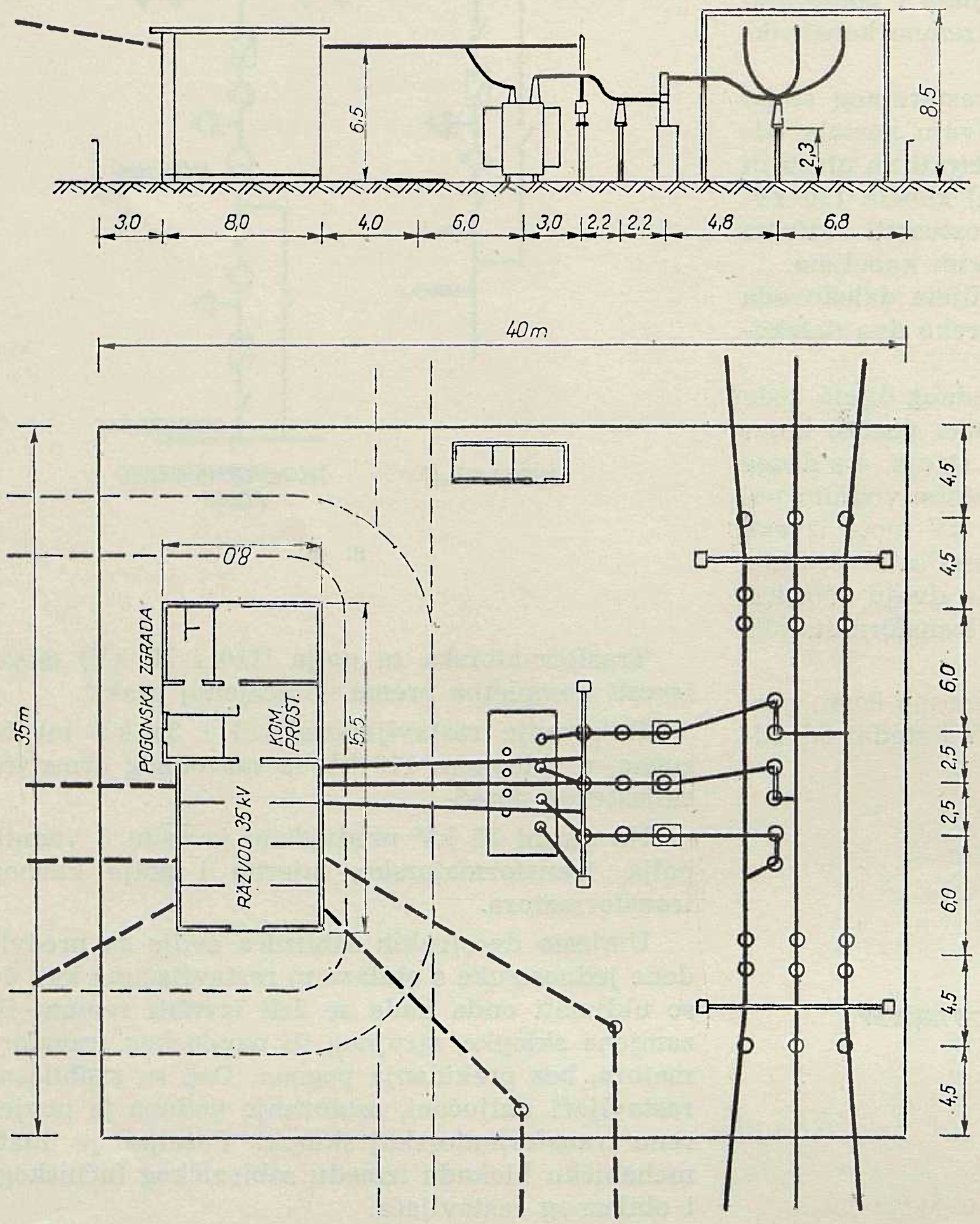
Za signalne će se kabele i cjevovode komprimiranog zraka izvesti kabelski kanali.

Za vanjsku i unutarnju rasvjetu, te za napajanje pomoćnih uređaja dovoljno je usvojiti jedan transformator od 50 kVA, koji će se montirati na otvorenom. Za pomoćne će se izvore koristiti akumulatorska baterija napona 110 V.

Budući da će se komprimiranim zrakom koristiti samo jedna sklopka, to je dovoljno upotrijebiti manji kompresor s većim rezervoarom. U slučaju kvara dovest će se prijevozni.

Veza s ostalim stanicama kao i dojava smetnji ostvarit će se radio-vezama ili telemehaničkim uređajima.

Iako će zgrada biti bez stalnog dežurnog osoblja, predviđaju se sanitarni uređaji.



Sl. 4b

5.2. Gradska JTS 35/10 kV

Da bi se stanica što više približila centru opterećenja, ona mora zauzimati ne samo malu površinu nego se mora prilagoditi i okolini (sl. 5).

Za transformator snage do 4 MVA građevinska površina stanice iznosi 6,00 × 7,50 m ako debljina zidova iznosi 25 cm.

Pretpostavljajući da su udaljenosti među gradskim stanicama male, a kvarovi na učinskim transformatorima i podzemnim kabelima vrlo rijetki, to se na ulazu i na izlazu kabela 35 kV neće usvojiti nikakva zaštita. Transformator će se osigurati od kratkog spoja na taj način da će prekostrujni relej isključiti skolpku 35 kV u stanici 110/35 kV preko pilot-kabela. Za vrijeme beznaponske pauze, isključuje se učinski rastavljač transformatora, a nakon toga dolazi do ponovnog uključenja sklopke. Čitava ova operacija može trajati nešto više od jedne sekunde.

Ako ne postoji pilot-kabel, mora se detaljnije ispitati funkcioniranje sklopke 35 kV u TS 110/35 kV u slučaju da je na jednom kabelu uključeno više transformatora.

Budući da su svi transformatori 10/0,4, kW, koji se napajaju iz JTS 35/10 kV preko kabela 10 kV, zaštićeni na primarnoj strani visokonaponskim osiguračima, to je usvojen isti princip zaštite, ali bez pilot-kabela.

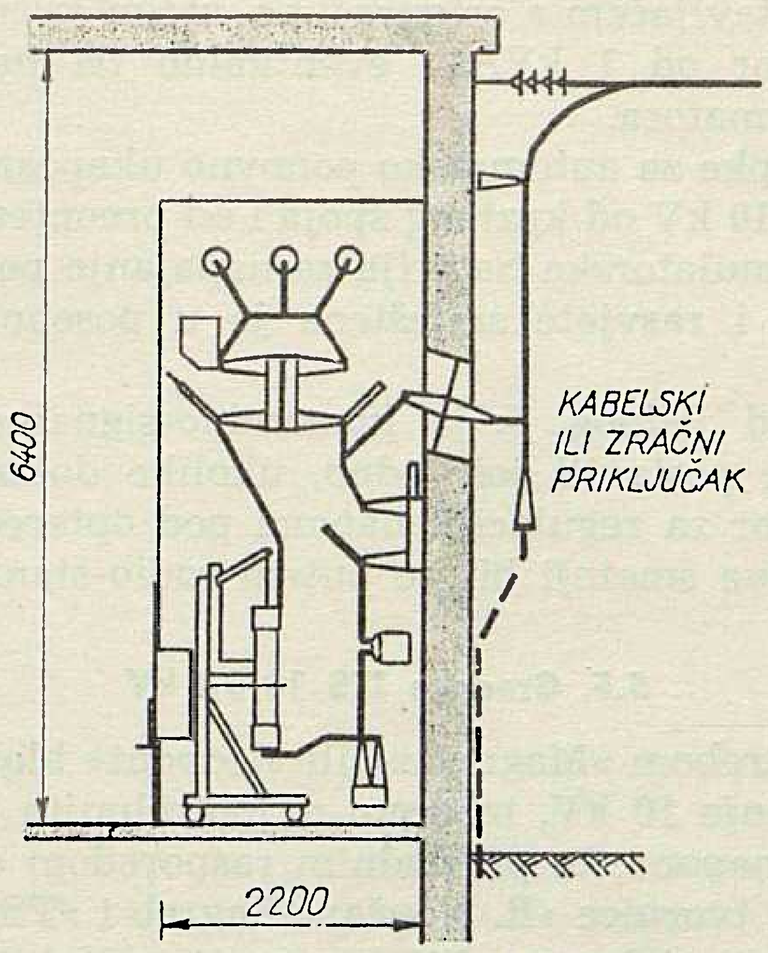
Pomoćni napon sekundarne zaštite je 24 V istosmjerne struje, dobiven s kućnog transformatora od 1 kVA preko ispravljača i akubaterije.

Ostalo je vidljivo iz sl. 5.

5.3. JTS 35/0,4 kV

Ovaj će se tip stanice (sl. 6) upotrijebiti za napajanje manjih mjesta u čijoj blizini prolazi vod 35 kV, a ne postoji mogućnost za izgradnju stanice 10/0,4 kV.

Građevinski dio stanice ima oblik tornjića kao i seoska 10/0,4 kV, samo s tom razlikom što joj je neto površina 3,5 × 3,75 m, umjesto 2,00 × 2,00 m.



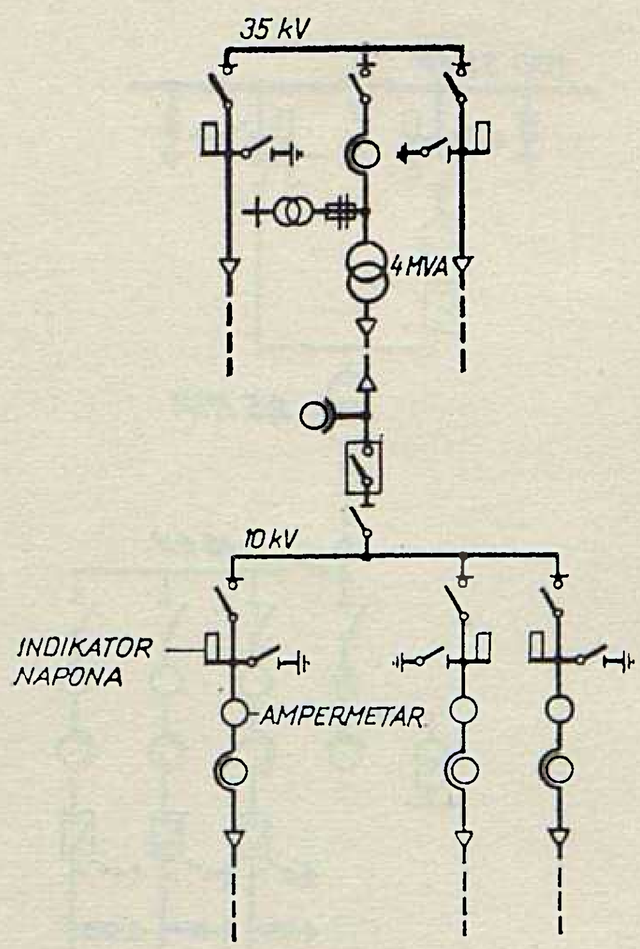
Sl. 4c

Zgrada stanice je predviđena za ugradnju transformatora snage 400 kVA, ali se može upotrijebiti kao otcjepna za zračni vod ili za podzemni kabel, kao kabelska kućica za prijelaz zračnog voda na kabel, ili obrnuto, kao JTS 35/10 kV s transformatorom 2 MVA (koji se montira na otvorenom), itd.

Umjesto penjalica za lakši pristup postrojenju 35 kV mogu se ugraditi betonske stepenice.

Želi li se montaža postrojenja 35 kV u prizemlju ili se izvodi 10 kV zračno, tada se dimenzije stanice povećavaju.

U ovisnosti o udaljenosti potrošača od voda 35 kV stanica 35/0,4 kV će se izvesti kao prolazna ili kao krajnja. U prolaznim stanicama sa dva učinska rastavljača i jednim običnim postoji mogućnost sekcioniranja voda i transformatora iz oba pravca. U normalnom je pogonu zatvoren jedan učinski i jedan obični rastavljač. Da bi učinski rastavljač

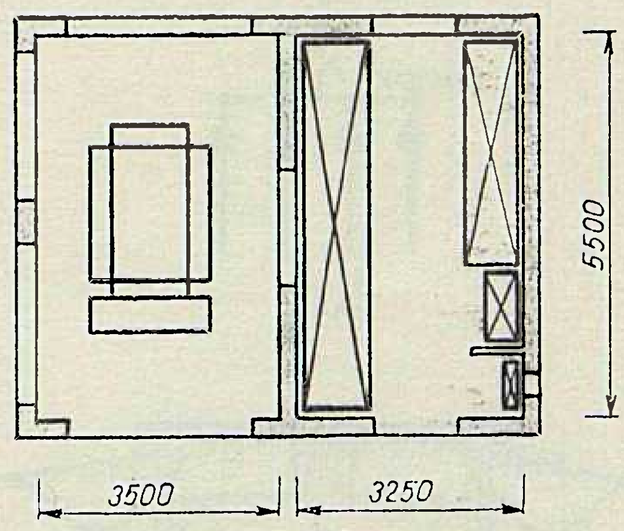


Sl. 5a

isključio kod pregaranja osigurača, mora postojati između njih pouzdana električna ili mehanička veza.

Na sabirnice se montiraju indikatori napona kojima je svrha pokazivanje prisutnosti napona u vodu, ali ne visine i variranje napona.

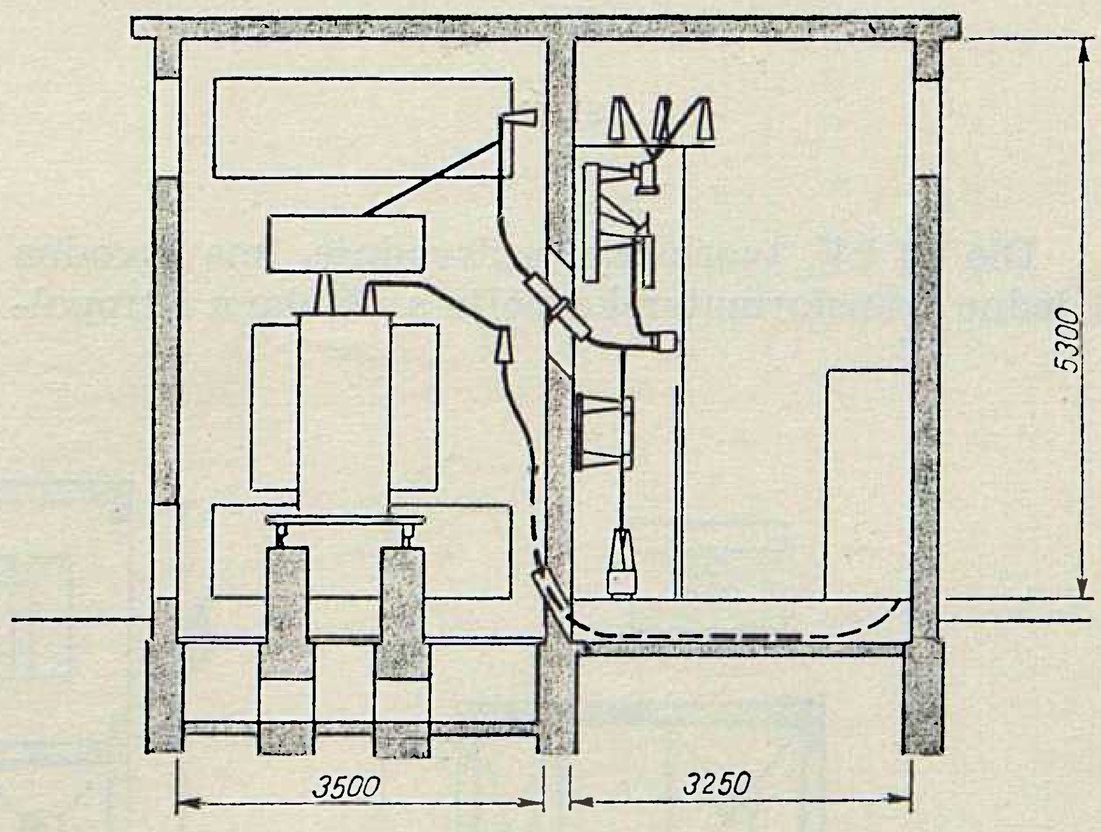
Oprema niskog napona će se montirati na željeznu konstrukciju razdjelnika koji će se prisloniti uza zid prizemlja desno ili lijevo od ulaza u stanicu, ali uvijek sa suprotne strane stepenica.



Sl. 5b

Razdjelnik je opremljen niskonaponskom automatskom sklopkom, minijaturnim osiguračima velike prekidne moći i eventualno sklopkom, osiguračima i uklopnim satom za noćnu rasvjetu.

Broj izlaza niskog napona ovisit će o veličini i rasprostranjenosti mreže.



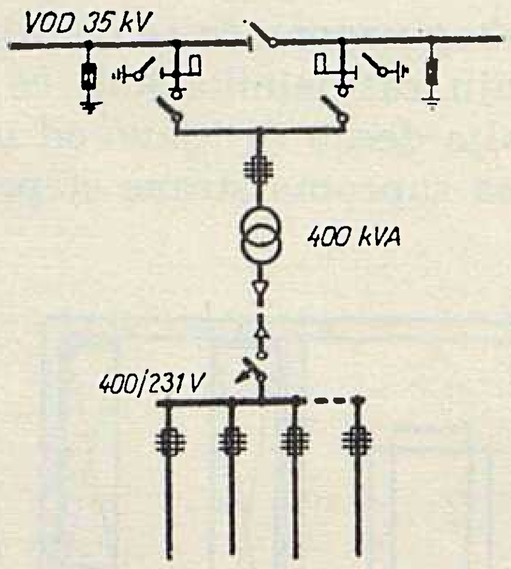
Sl. 5c

5.4. Pokrajinske JTS 35/10 kV

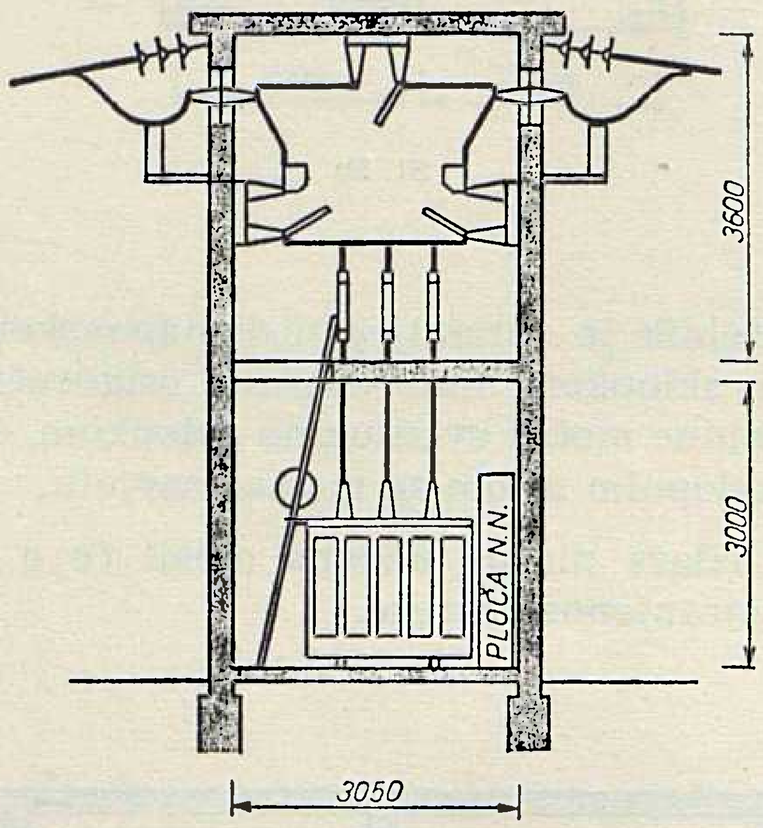
Na sl. 7 su prikazana dva tipa pokrajinskih stanica 35/10 kV: jedan sa zračnim izvodima 10 kV i s transformatorom do 2,5 MVA montiranim na otvorenom, i drugi s kabelskim izvodima 10 kV i s transformatorom u zgradi.

Kod oba tipa dispozicija elektroopreme je ista.

Sa tri rastavljača i s učinskom sklopkom na strani 35 kV obavlja se odvajanje stanice od jednog ili od drugog dijela napojnog voda. U normalnom pogonu je trokut, koji sačinjavaju rastavljači i sklopka, otvoren na rastavljaču 3.



Sl. 6a



Sl. 6b

Dio 10 kV, tvorničke proizvodnje, ima 3 vodna i jedno transformatorsko polje s učinkom i tropolnim rastavljačem s osiguračima, zatim kućni transformator od 1 kVA i eventualno tri naponska transformatora.

Sklopke za automatsko ponovno ukapčanje štite vodove 10 kV od kratkog spoja i od preopterećenja.

Akumulatorska baterija za napajanje pomoćnih uređaja i rasvjete smještena je u posebnoj prostoriji.

Pored jednog polja komandno-signalne ploče može se postaviti još jedno, ukoliko dolazi transformator za regulaciju napona pod opterećenjem.

Dojava smetnji bit će putem radio-stanica.

5.5. Gradske JTS 10/0,4 kV

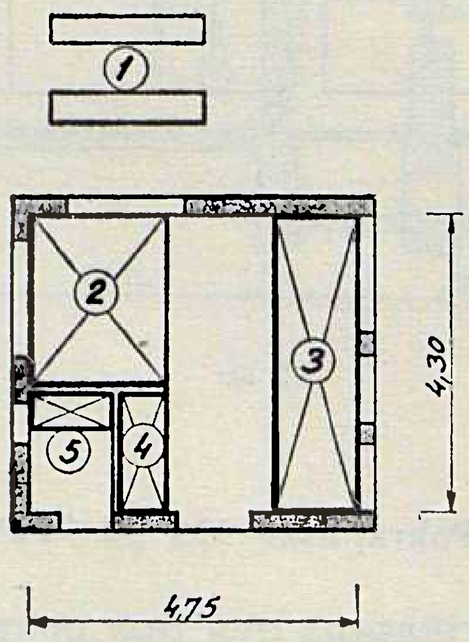
Upotrebom »Magnefix« ili »Isopont« blokova za postrojenje 10 kV, izborom najpotrebnijih aparata niskog napona, te prikladnim rasporedom elektroopreme, tvornice »R. Končar«-Zagreb i »TSN«-Maribor su uspjele smanjiti dimenzije gradskih distributivnih stanica toliko da se one mogu smjestiti i tamo gdje je klasičnom tipu to bilo nemoguće. Zapravo, čitava se oprema sastoji samo do tri osnovna, u potpunosti kompletno dovršena elementa: visokog i niskog napona, te transformatora koji su međusobno spojeni kabelima.

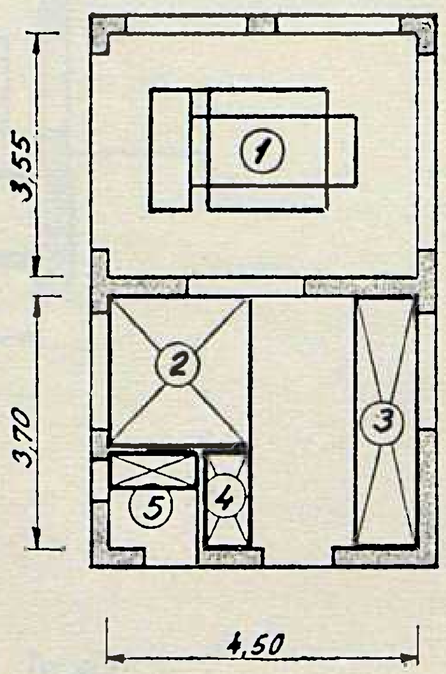
Prema smještaju stanice, važnosti, udaljenosti i veličini potrošača, određuje se broj priključenih kabela visokog i niskog napona, te snage transformatora (do 630 kVA).

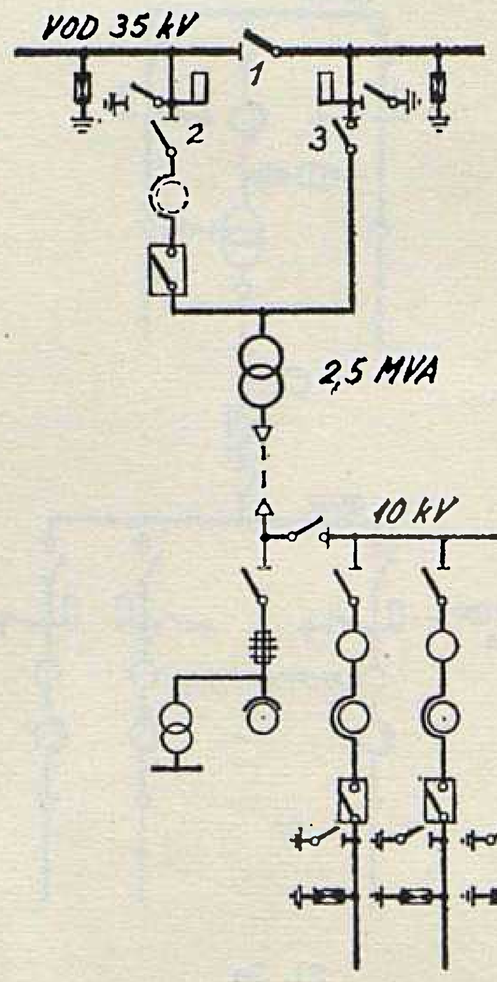
Želeći što više skratiti sekundarne kabele, smanjiti njihov broj i presjek, te time omogućiti i lokaciju stanice pored potrošača, transformator se može spustiti u jamu ispod elektroopreme (sl. 8) tako da čitav nadzemni dio ne zauzima veću površinu od 115 × 70 cm. Ako se upotrijebi transformator hlađen zrakom, stanica se može locirati na katu stambenih i poslovnih zgrada.

5.6. Pokrajinske JTS 10/0,4 kV

Kompletno u radionici izrađena željezna konstrukcija stanice postavi se na već pripremljeno

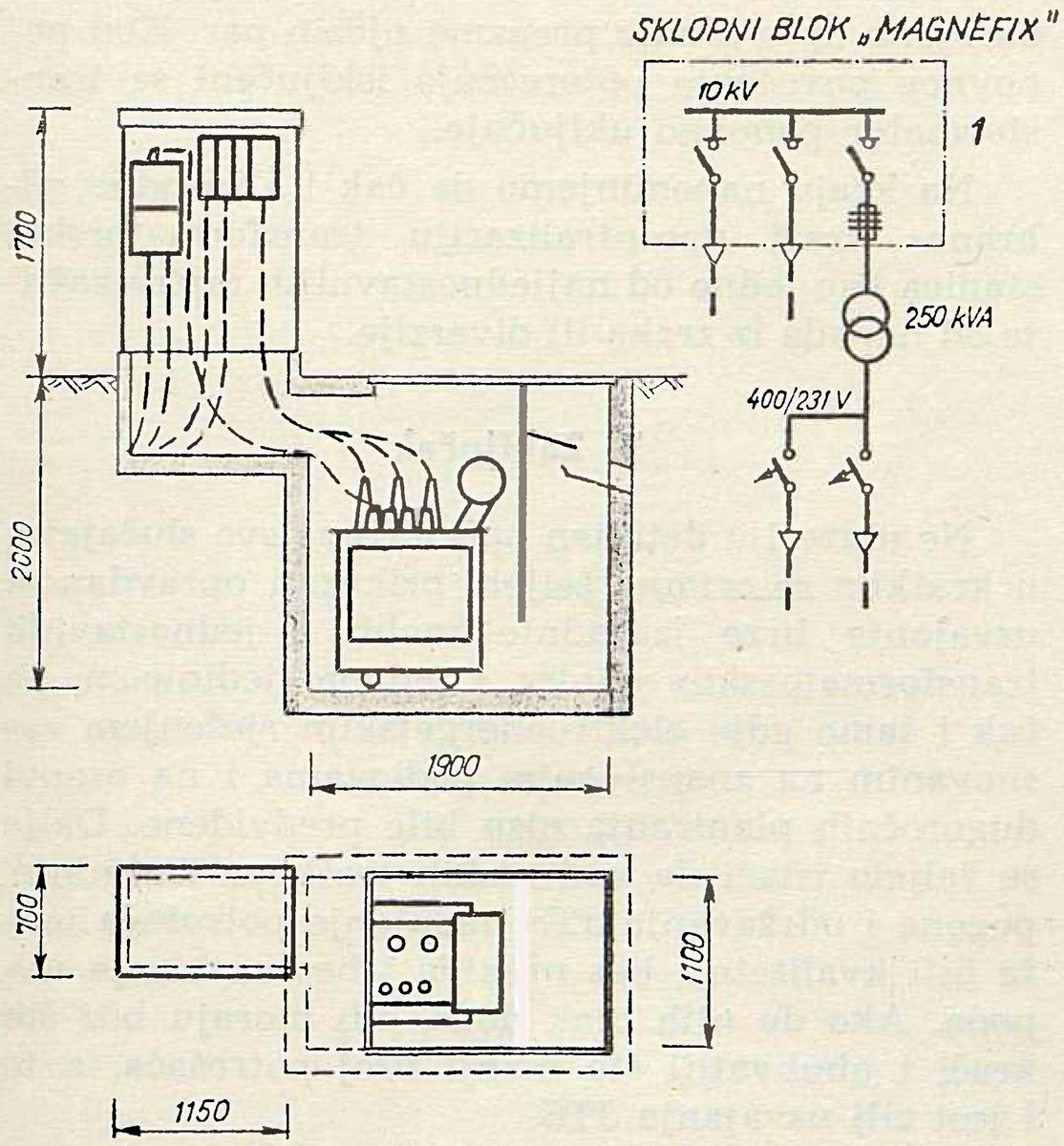






Sl. 7

1. Transformator 35/10 kV
2. Postrojenje 35 kV
3. Postrojenje 10 kV
4. Komandna ploča
5. Aku-baterija



Sl. 8

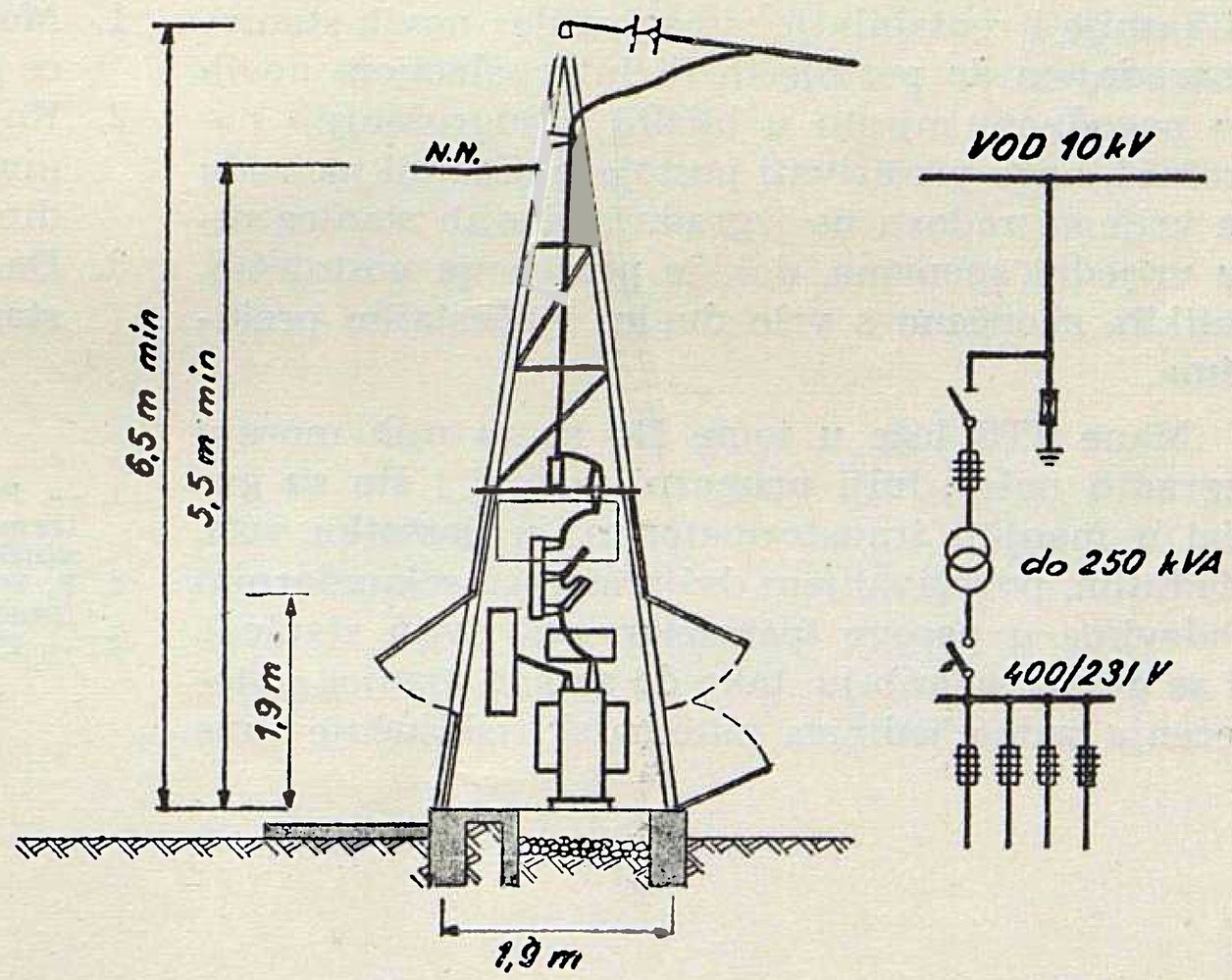
betonsko postolje. Nakon toga se ugrađuje razdjelnik niskog napona i spaja s transformatorom snage do 250 kVA (sl. 9a).

Mala, prolazna ili krajnja stanica s transformatorom snage do 30 kVA izvedena je kao portal s drvenim stupovima.

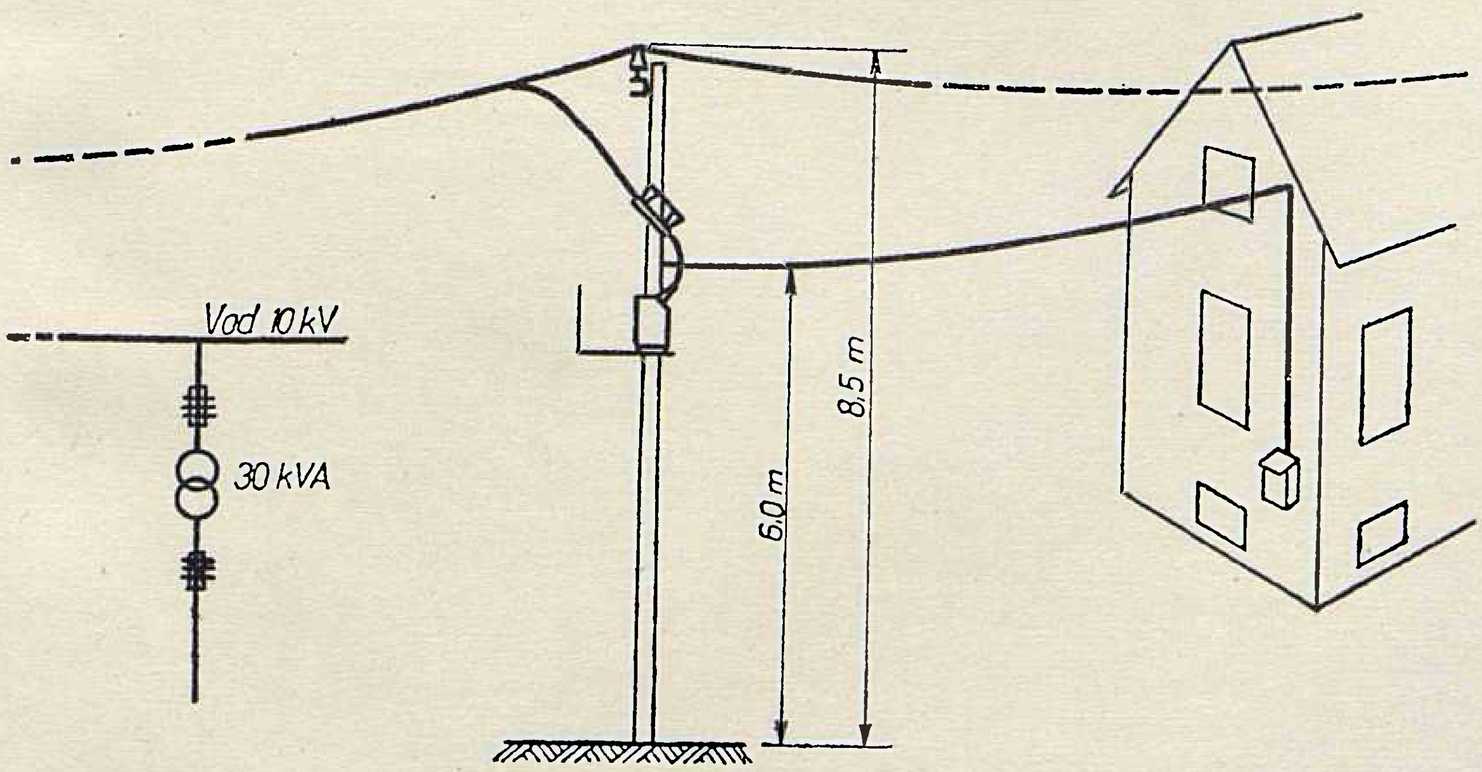
Stanica nema rastavljača sl. 9b). Stalo se na stanovište da više manjih stanica sačinjava jednu energetsku cjelinu koja se s otcjepom odvaja od voda linijskim rastavljačem. Ipak svaka stanica, na strani visokog napona, ima visokonaponske osigurače čija je funkcija da štiti transformator od kratkog spoja, a istodobno da odvaja stanicu od voda visokog napona.

6. Primjena JTS

Kompletno izvedene i opremljene JTS će se pokazati kao najekonomičnije rješenje za napajanje električnom energijom pokrajinskih i gradskih područja bez obzira na gustoću opterećenja po km². Dakle, prethodno opisana rješenja transformatorskih stanica (ili slična) će se primijeniti kod razbacanih i međusobno udaljenih potrošača, gdje bi se



Sl. 9a



Sl. 9b

upotrebom duljih vodova nižeg napona pojavio nenormalno veliki pad napona baš u vrijeme najvećeg opterećenja.

Zbog svoje male površine JTS se lako prilagođuju skučenom prostoru i u većim gradovima, te se mogu locirati i u samom centru opterećenja ili u njegovoj neposrednoj blizini, čime se osjetno ušteđuje na duljini i na presjeku kabela, pa regulacioni transformatori nisu potrebni. Osim što se time dobije jeftiniji razvod, potrošači imaju sigurnije napajanje.

Skraćivanjem zračnih vodova smanjuju se struje zemljospoja, tako da se može dobiti, npr. u JTS 10/0,4 kV, i veći otpor zaštitnog uzemljenja, čiju je povoljnu vrijednost do sada bilo teško postići na kamenitom terenu.

Zbog jednostavnosti, izgradnja se može vršiti brže i nekvalitetnijom radnom snagom, u kraćem se roku dobiva kvalitetnija električna energija, svi se montirani elementi odmah koriste, a investicije su znatno manje. Sve to u krajnjoj liniji povećava ekonomičnost, sigurnost i preglednost čitavog distributivnog sistema.

Bez obzira na to da li je porast opterećenja polagan ili nagao, u praksi se pokazalo da je mnogo efikasnije i rentabilnije »ubacivanje« novih stanica dogradnjom do postojećih ili interpolacijom novih na pogodnom mjestu u blizini najugroženijih potrošača, nego proširivati postojeće. Zastoji na vodu za vrijeme radova na izgradnji manjih stanica nisu vrijedni spomena, dok je proširenje postojećih, velikih, skopčano s vrlo dugim i učestalim prekidima.

Mane JTS leže u tome što se za njih moraju izgraditi nešto dulji primarni vodovi i što su gubici u manjim transformatorima u postotku veći. Međutim, povezivanjem dviju stanica sekundarnim vodovima u parove (paralelan rad dviju stanica), ti se gubici smanjuju, tako da se kod manjeg opterećenja jedna jedinica automatski isključuje time da njeno opterećenje preuzme njezin par. Kod ponovnog povećanja opterećenja isključeni se transformator ponovno uključuje.

Na kraju napominjemo da čak i »Narodna odbrana« traži decentralizaciju transformatorskih stanica kao jedno od najjednostavnijih mjera zaštite od napada iz zraka ili diverzije.

7. Zaključak

Ne ulazeći u detaljan opis JTS za sve slučajeve, u kratkim se crtama željela prikazati opravdanost usvajanja brze izgradnje malih i jednostavnih transformatorskih stanica s jednom jedinicom, pa čak i tamo gdje elektroenergetskim rješenjem zasnovanim na znanstvenim podlogama i na osnovi dugoročnih planiranja nisu bile predviđene. Dalje se željelo istaći da kod niskih troškova izgradnje, pogona i održavanja JTS napajanje potrošača može biti kvalitetno, bez prekida i bez variranja napona. Ako do njih ipak dođe, oni moraju biti što kraći i obuhvatiti što manji broj potrošača, a to i jest cilj usvajanja JTS.

8. Pitanja

1. Mogu li se distributivne transformatorske stanice graditi brže i jeftinije?
2. Koja se prednost postiže usvajanjem blindiranih umjesto zidanih stanica, također s jednom jedinicom?
3. Da li postoji interes za takve pojednostavljene stanice?

Literatura:

1. —, *Prenos i distribucija električne energije* (Electrical transmission and distribution — Westinghouse) — Građevinska knjiga, Beograd.
2. F. Weickert: *Razvodna postrojenja visokog napona* — Naučna knjiga, Beograd.
3. —, Prospekti tvornica.

Naslov pisca: Branko Damjanović, dipl. ing.
»Elektroprimorje« Rijeka

VEZA 400 kV SSSR — NR BUGARSKA

U kolovozu 1972. svečano je puštena u pogon veza 400 kV koja direktno spaja sistem Moldavije i Odese u Sovjetskom Savezu sa sistemom NR Bugarske.

Početak voda je u TE Moldaviji, gdje je preko dva transformatora 630 MVA vezan sistem 330 kV sa sistemom 400 kV. Nakon 159 km vod ulazi u transformatorsku stanicu Vulkanešči, gdje je ugrađen jedan transformator 250 MVA, 400/110 kV i tri direktno priključene prigušnice po 50 MVAr. Vod zatim prelazi Dunav i sovjetsko-rumunjsku granicu, bez vezanja na rumunjski elektro-sistem, i ulazi u NR Bugarsku. Nakon 287 km vod se priključuje na bugarsku transformatorsku stanicu Dobrudža kraj grada Tolbuhina. U stanici je ugrađen transformator snage 630 MVA, 400/231 — 17%/31,5 kV i tri prigušnice na tercijaru transformatora od po 50 MVAr. Kao slijedeća etapa trebala bi ući u pogon transformatorska stanica Mizija, jednake konstrukcije kao trafostanica Dodrudža. Dužina voda bila bi 288 km. Tako bi cijema trasa voda iznosila 734 km. Konstrukcija voda nije na cijeloj dužini jednaka, presjeci vodiča su slijedeći:

TE Moldavija — TS Vulkanešči	snop od tri užeta ACO-500
TS Vulkanešči — TS Dobrudža	snop od tri užeta ACO-400
TS Dobrudža — TS Mizija	snop od dva užeta ACO-500

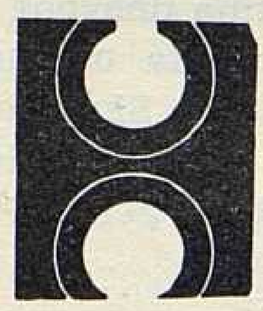
Stupovi su portalni, u sovjetskom dijelu je razmak faza 12,5 m (tip stupova za 500 kV), a na rumunjskom i bugarskom dijelu razmak iznosi 11 m. Interesantno je još iznijeti izvedbu prijelaza Dunava, koji je već blizu svoje delte vrlo širok. Prelazni raspon iznosi 902 m, a visina prijelaznih stupova do vrha 118 m.

Vod ima zaštitna užeta koja su izolirano zavješena jednim izolatorom, a 5 km pred stanicom su direktno uzemljena. Izolirano zavješenje učinjeno je zbog smanjenja gubitaka indukcije.

Prijenosna moć voda iznosi 600 MW, a pretpostavlja se godišnji prijenos od 3 milijuna kWh.

(Prema Energetika 1972. br. 7—8, str. 2.)

B. M.



Hidroelektra

GRAĐEVNO PODUZEĆE

ZAGREB, LESKOVAČKA 10, TEL. 512-122

IZVODI SVE VRSTE NISKOGRADNJE I INDUSTRIJSKE GRADNJE

Od osnutka 1. IV 1946. do danas izvodilo je u SR Hrvatskoj slijedeća energetska postrojenja:

- HIDROELEKTRANA »NIKOLA TESLA« (VINODOL)
- HIDROELEKTRANA »OZALJ II«
- HIDROELEKTRANA »ZAVRELJE« (MLINI)
- HIDROELEKTRANA »GOJAK«
- HIDROELEKTRANA »SPLIT I« (SUDJELOVANJE)
- HIDROELEKTRANA »SENJ« (SUDJELOVANJE)
- HIDROELEKTRANA »RIJEKA«
- HIDROELEKTRANA »ORLOVAC« (SUDJELOVANJE)
- HIDROELEKTRANA »VARAŽDIN« (U TOKU)
- TERMOELEKTRANA-TOPLANA ZAGREB (SUDJELOVANJE)
- TERMOELEKTRANA SISAK (SUDJELOVANJE)
- TERMOELEKTRANA PLOMIN (SUDJELOVANJE)

VII REDOVNA SJEDNICA POSLOVNOG UDRUŽENJA ELEKTROPRIVREDNIH ORGANIZACIJA SR HRVATSKE

Dana 27. X 1972. godine održana je u Zagrebu sjednica Skupštine Posl. udruženja elektroprivrednih organizacija. Sjednicu je otvorio drug Marušić i predložio dnevni red:

1. Konstituiranje organa upravljanja:
   a) članova Skupštine i njihovih zamjenika;
   b) članova dvaju upravnih odbora i njihovih zamjenika;
   c) izbor predsjednika Skupštine i njegovog zamjenika;
2. Izvršenje zaključaka donijetih na VI redovnoj sjednici Skupštine 21. studenog 1972;
3. Prijem »Elektroistre«, Buje, osnovne organizacije udruženog rada u sastavu »Elektroistre«, Pula i »Elektre«, Križevci u Poslovno udruženje;
4. Informacije:
   a) o donošenju Zakona o najvišim iznosima naknada za priključenje trošila novih potrošača električne energije i za povećanje priključne snage trošila postojećih potrošača;
   b) o donošenju Zakona o udruživanju sredstava društvene reprodukcije za izgradnju elektroenergetskih objekata i postrojenja;
   c) o prijedlogu za utvrđivanje najviših cijena električne energije na prijenosnoj mreži.
5. Donošenje odluke o prijedlogu Komisije za unutrašnju organizaciju i sistematizaciju radnih mjesta radne zajednice Biroa Poslovnog udruženja;
6. Donošenje odluke o zaključivanju Ugovora o samoupravnim pravima radne zajednice Biora Poslovnog udruženja i izbor osobe ovlaštene za potpisivanje ovog Ugovora u ime organizacije Poslovnog udruženja;
7. Prijedlog za imenovanje članova Stručne komisije za sistemsko-pravna i organizaciona pitanja;
8. Oproštaj od predstavnika članova udruženja koji odlaze u mirovinu, s drugovima Vojislavom Macokom, Ivanom Brausom i Petrom Vinskim;
9. Preporuka radnim organizacijama za raspisivanje zajma za sanaciju obrtnih sredstava;
10. Donošenje odluke o visini osobnih dohodaka radnika radne zajednice Poslovnog udruženja elektroprivrednih organizacija;
11. Izbor delegata za savjetovanje predstavnika SKJ elektroprivrede.

Prije definitivnog usvajanja dnevnog reda izvršena je, na temelju pismenih odluka organa upravljanja poduzeća, verifikacija članstva Skupštine koju sačinjavaju članovi Upravnog odbora Sektora razvoda i distribucije i Upravnog odbora Sektora proizvodnje i prijenosa.

1. *Upravni odbor Sektora razvoda i distribucije* sačinjavaju slijedeći članovi, imenovani na sastanku tog odbora, 26. XII 1972., i to:

	Članovi:	*Zamjenici:*
1. Elektrolika, Gospić	Krajnović Petar	Lazić Jovan
2. Elektra, Karlovac	Samardžija Vladimir, dipl. ing.	Dragojević Jovo, dipl. ing.
3. Elektroslavonija, Osijek	Zdjelar Uroš	Turković Vjekoslav
4. Elektroistra, Pula	Mišković Mario, dipl. ing.	Mrvoš Žarko, dipl .ecc.
5. Elektroistra, Buje	Treppo Ivan	Petrić Vjekoslav
6. Elektroprimorje, Rijeka	Primožić Ante, dipl. ing.	Mrakovčić Branko, dipl. ing.
7. Elektra, Sisak	Friganović Mate	Cvitan Ivan, dipl.ing.
8. Elektrodalmacija, Split	Vidović Hrvoje, dipl. ing.	Radica Josip, dipl. ing.
9. Elektrojug, Dubrovnik	Božinović Ante, dipl. ing.	Mihajlović Ivo
10. Elektra, Šibenik	Čulav Ivo, dipl. ing.	Barbača Božo
11. Elektra, Zadar	Gulin Žarko, dipl.ing.	Minak Stjepan
12. Elektra, Zagreb	Kuzele Petar, dipl.ing.	Sirovec Marko, dipl. ing.
13. Elektra, Bjelovar	Škarić Milivoj, dipl.ing.	Đurović Ilija, dipl. ing.
14. Elektra, Čakovec	Kadiev Dimitar, dipl. ing.	Ladašić Vladimir, dipl. prav.
15. Elektra, Koprivnica	Žigrić Branimir, dipl.ing.	Kopričanec Petar
16. Elektra, Križ	Sokolić Ivan, dipl.ing.	Pleše Dragutin
17. Elektra, Križevci	Konfic Slavko	Klanjec Luka
18. Elektra, Varaždin	Grabrovec Ćiril	Kramarić Izidor
19. Elektra, Zabok	Rimsa Miroslav, dipl.ing.	Tršinski Božidar, dipl. ecc.
20. Sektor razvoda i distribucije	Marušić Anđelko	Grubanović Đurđa, dipl. ecc.
	Tilić Boris, dipl. ing.	

Za predsjednika Upravnog odbora Sektora razvoda i distribucije jednoglasno je izabran Kadiev Dimitar, dipl. ing., direktor »Elektre«, Čakovec, a za njegovog zamjenika Krajnović Petar, direktor »Elektrolike«, Gospić.

Pravni savjetnik Poslovnog udruženja upozorio je, da izabranog predstavnika »Elektrolike«, Gospić — druga Krajnović, može delegirati samo »Elektroprivreda«, Rijeka, jer prema Zakonu o poslovnom udruživanju (član 1. stav 2.) ugovor o poslovnom udruživanju zaključuju poduzeća, odnosno ustanove, a osnovne organizacije udruženog rada samo ako je to predviđeno njihovim samoupravnim sporazumom o udruživanju, što u ovom slučaju još nije, jer takvi sporazumi još uopće nisu zaključeni.

Također je skrenuo pažnju da se njegova primjedba odnosi i na predloženu točku 3. dnevnog reda — »Prijem »Elektroistre«, Buje, osnovne organizacije udruženog rada u sastavu »Elektroistre«, Pula i »Elektre«, Križevci — u Poslovno udruženje.

2. *Upravni odbor Sektora proizvodnje i prijenosa* sačinjavaju slijedeći članovi, imenovani na sastanku Upravnog odbora, 27. XII 1972. godine:

	Članovi:	*Zamjenici:*
»Elektroslavonija«, Osijek:	1. Tomić Vladimir, dipl. ing.	Nikolić Đorđe, dipl. prav.
	2. Martinić Jure, dipl. prav.	Poznić Vladimir, dipl. ecc.
	3. Franjić Jakob, dipl. ing.	Čepl Alojz, dipl. ing.
	4. Crevar Milan, dipl. ecc.	Marković Stanko, dipl. ing.
	5. Podunavac Đuro, dipl. ecc.	Vujić Miloš, dipl. ecc.
»Elektroprivreda«, Rijeka:		
1. Kvarnerske elektrane, Rijeka	Divić Luka	Mohorović Otavio, dipl. ing.
2. HE »Nikola Tesla«	Car Luka, dipl. ing.	Vučić Čedo
3. Zajedničke službe	Karlović Radmilo, dipl. pravnik	Dobrila Branko, dipl. ing.
4. Elektroprenos, Matulji	Muškardin Oskar, dipl. ing.	nema zamjenika
5. HE Senj	Pavičić Krešimir, dipl. ing.	Lončarić Mladen
»Elektroprivreda Dalmacije«, Split:		
1. Elektroprenos, Split	Grubišić Petar	Ožegović Karlo, dipl. ing.
2. HE Peruča, Sinj	Horvat Drago	nema zamjenika
3. HE Kraljevac, Zadvarje	Šodan Drago	Krnić Mate
4. HE Zakučac, Omiš	Nadović Henrik, dipl. ing.	nema zamjenika
5. HE na Krki i Zrmanji, Knin	Vuletić Božidar, dipl. pravnik	Bračić Mato, dipl. ecc.
»Elektroprivreda«, Zagreb:		
1. Zajedničke službe	Vodopija Željko, dipl. ecc.	Šercl Stjepan, dipl. ecc.
2. TE-TO Zagreb	Širola Božidar, dipl. ing.	Dokmanović Vladimir, dipl. ing. (EL-TO Zagreb)
3. Elektroprenos, Zagreb	Cvetković Zorko, dipl. ing.	Mileusnić Egon, dipl. ing.
4. TE Sisak	Hlebar Rade	Božić Drago, dipl. upr. pravnik (TE Jertovac)
5. HE Varaždin — u izgradnji:	Bengeri Mirko, dipl. ing.	Juričić Mladen, dipl. ecc. (Zajedničke službe)
Sektor proizvodnje i prijenosa:		
1. Pomoćnik direktora za sektor proizvodnje i prijenosa:	Božin Ivo, dipl. ing.	
2. Savjet radne zajednice:	Zorić Anica, dipl. ecc.	Jalšovec Josip

Za predsjednika Upravnog odbora Sektora proizvodnje i prijenosa, na sjednici Upravnog odbora tog sektora, održanoj 27. o. mj. izabran je drug *Grubišić Petar,* direktor poduzeća »Elektroprenos« Split, a za njegovog zamjenika drug *Širola Božidar,* dipl. ing., direktor Termoelektrane-Toplane, Zagreb.

3. Za predsjednika Skupštine Poslovnog udruženja jednoglasno je izabran drug *Tomić Vladimir,* dipl. ing., direktor poduzeća »Elektroslavonija«, Osijek, a za njegovog zamjenika drug *Kuzele Petar,* dipl. ing., direktor »Elektre«, Zagreb.

Nakon što je novi predsjednik preuzeo vođenje sjednicom, utvrđen je dnevni red onako kako je prethodno predložen, osim što je točka 8. — »Oproštaj od predstavnika članova udruženja koji odlaze u mirovinu, s drugovima Macoko Vojislavom, Braus Ivanom i Vinski Petrom« — odgođena za jednu od narednih sjednica. Zatim se prešlo na razmatranje i donošenje zaključaka — prema dnevnom redu.

Izvršenje zaključaka donijetih na VI redovnoj sjednici Skupštine 21. studenoga 1972.

1. Prihvaća se izvještaj o izvršenju zaključaka sa VI redove sjednice Skupštine, što ga je podnio drug Marušić.

2. U vezi sa zaključcima VI sjednice, donesenim pod točkom »Razno« (zaključak 2.), zadužuje se direktor Pavelić Ivica, da do 15. I 1973. organizira sastanak sa direktorom »Elektroprivrede« Zagreb drugom ing. Bautovićem i direktorom »Elektre« Zagreb, drugom ing. Kuzele, na kojem je potrebno raspraviti spor između te dvije organizacije i o ishodu sastanka izvjestiti Skupštinu na narednom zasjedanju.

Prijem »Elektroistre«, Buje, OOUR u sastavu »Elektroistre«, Pula i »Elektre«, Križevci — u Poslovno udruženje

Usvojen je prijedlog Upravnog odbora razvoda i distribucije da OOUR »Elektroistra«, Buje i »Elektra«, Križevci naknadno pristupe u Poslovno udruženje elektroprivrednih organizacija SR Hrvatske.

Informacije

a) o donošenju Zakona o najvišim iznosima naknada za priključenje trošila novih potrošača električne energije i za povećanje priključne snage trošila postojećih potrošača;

b) o donošenju Zakona o udruživanju sredstava društvene reprodukcije za izgradnju elektroenergetskih objekata i postrojenja;

c) o prijedlogu za utvrđivanje najviših cijena električne energije na prijenosnoj mreži.

1. Prihvaćaju se informacije, navedene pod a), b) i c), što ih je usmeno podnio direktor Pavelić.

2. Zadužen je Biro Poslovnog udruženja, da — putem Republičkog sekretarijata za financije — uputi zahtjev Izvršnom vijeću Sabora SR Hrvatske, da se priliv 30%-tnog depozita na neprivredne i neproizvodne investicije u toku 1973. godine usmjeri za financiranje izgradnje elektroenergetskih objekata iz Plana izgradnje 1971—1975. godine.

Donošenje odluke o prijedlogu komisije za unutrašnju organizaciju i sistematizaciju radnih mjesta radne zajednice Biroa Poslovnog udruženja

Na osnovi diskusije o ovoj točki dnevnog reda i materijala kojeg su članovi Skupštine prethodno primili, konstatirano je i zaključeno:

1. Komisija je prihvatila prijedlog Upravnog odbora Sektora proizvodnje i prijenosa.

2. S obzirom na su u diskusiji — distributivna poduzeća izrazila bojazan — da će se formiranjem jednog zajedničkog većeg općeg sektora, u koji iz distribucije ulazi manji broj izvršilaca, a iz proizvodnje i prijenosa veći, troškovi dijeliti u odnosu 50 : 50, pa je dogovoreno slijedeće:

formiranje jednog zajedničkog općeg sektora, udružuju se opći poslovi jednog i drugog sektora tako da će svaki sektor snositi dio troškova koji na njega otpada prema broju izvršilaca. Ova odluka Skupštine vrijedi tako dugo dok se detaljno ne razradi organizaciona shema nakon primjedaba poduzeća, i dok se definitivno ne utvrdi ključ raspodjele troškova.

3. U pogledu broja radnih mjesta Biroa, usvojen je prijedlog da se broj izvršilaca ne povećava do definitivnog usvajanja organizacione sheme, nego da broj radnih mjesta ostane isti. Raspored osoblja na radna mjesta izvršit će odgovorni rukovodioci Biroa.

Iznimno se odobrava povećanje jednog radnog mjesta — inženjera za prijenos u Sektoru proizvodnje i prijenosa.

4. Zadužuju se poduzeća da do kraja siječnja 1973. godine dostave pismene primjedbe na organizacionu shemu i opis poslova, i da dadu prijedlog poslova koje treba da obavlja Biro Poslovnog udruženja.

5. Zadužuje se Upravni odbor distribucije da sastavi komisiju, koja će proanalizirati pismene primjedbe radnih organizacija distribucije.

Nakon toga će obje sektorske komisije proanalizirati prijedloge i primjedbe svojih sektora i najkasnije do 1. IV 1973. podnijeti Skupštini zajednički prijedlog radi prihvaćanja definitivne organizacione sheme.

6. Usporedno s izradom organizacione sheme potrebno je napraviti financijski plan za 1973. godinu i ključ raspodjele troškova, a do tog vremena poduzeća će davati akontaciju u visini financijskog plana za 1972. godinu.

Donošenje odluke o zaključivanju ugovora o samoupravnim pravima radne zajednice Biroa Poslovnog udruženja i izbora osobe ovlaštene za potpisivanje ovog ugovora od strane organizacije Poslovnog udruženja elektroprivrednih organizacija SRH

1. Jednoglasno je prihvaćen prijedlog Ugovora o samoupravnim pravima radne zajednice Biroa Poslovnog udruženja time, da se prilikom definitivne redakcije Ugovora uzmu u obzir slijedeće primjedbe dane na sjednici:

a) brisati čl. 14. Ugovora, jer je isključivo pravo radne zajednice, odnosno njenih radnika, da utvrđuju da li će i koje organe upravljanja imati, odnosno koje će svoje samoupravno pravo sami neposredno izvršavati, koje će, eventualno, prenijeti na te organe, u kom obujmu i pod kojim uvjetima;

b) status radne jedinice — uprava poslovne zgrade — valja riješiti Pravilnikom o organizaciji i sistematizaciji radnih mjesta, a u ovom Ugovoru radnike Biroa i uprave poslovne zgrade — tretirati kao jednu cjelinu;

c) izvršiti i neke daljnje — manje bitne korekcije — kao npr. da se u preambuli briše pozivanje na neke odredbe Ugovora o osnivanju Poslovnog udruženja i statuta, i sl.

2. Za potpisivanje Ugovora o samoupravnim pravima radne zajednice Biroa Poslovnog udruženja ovlašćuje se direktor Biroa Pavelić Ivica, dipl. ecc.

Prijedlog za imenovanje članova stručne komisije za sistemsko-pravna i organizaciona pitanja

1. U skladu s članom 25. Ugovora o osnivanju Poslovnog udruženja i članom 22. Statuta Poslovnog udruženja, u stalnu stručnu komisiju Skupštine za sistemsko-pravna i organizaciona pitanja, imenuju se slijedeći drugovi:

a) Crevar Milan, dipl. prav., »Elektroslavonija«, Osijek
b) Jurišić Marko, dipl. prav., »Elektroprivreda«, Zagreb
c) Margetić dr Lujo, »Elektroprimorje«, Rijeka
d) Marušić Filip, dipl. prav., »Elektroprivreda Dalmacije«, Split
e) Sirovec Marko, dipl. prav., »Elektra«, Zagreb
f) Šestan Šime, dipl. prav., »Elektroprenos«, Matulji
g) Čučuković dr Frano, Biro Poslovnog udruženja, kao stručni sekretar Komisije.

2. Do kompleksnog definiranja djelokruga rada te komisije u aktu o organizaciji i sistematizaciji, komisija obavlja poslove koji su joj stavljeni u zadatak članom 22. Statuta, tj. da prethodno razmatra stručna pitanja sistemsko-pravnog i organizacionog karaktera, koji su stavljeni na dnevni red Skupštine, i da Skupštini daje svoja mišljenja i prijedloge.

3. Za iduću sjednicu Skupštine valja pripremiti analogan prijedlog za imenovanje članova ostalih stalnih stručnih komisija Skupštine predviđenih Statutom, tj.:

— za energetsko-tehnička pitanja,
— za ekonomsko-financijska pitanja, i
— za tarifni sistem i tarifna pitanja;

4. Zadužuje se Biro da ubrza izradu prijedloga akta o organizaciji i sistematizaciji i da u tom aktu detaljnije razradi pitanja postojanja stalnih i povremenih komisija i drugih stručnih radnih tijela, odnosno postupka i nadležnosti za njihovo osnivanje, njihov djelokrug rada i imenovanja njihovih članova, te u tom okviru i pitanje djelokruga rada stalnih stručnih komisija Skupštine koje su predviđene već samim Statutom Poslovnog udruženja.

U vezi s time, Stalna stručna komisija Skupštine za sistemsko-pravna i organizaciona pitanja, valja razmotriti na svom prvom sastanku također i pitanje djelokruga svog rada i o tome dati prijedlog Komisiji koja izrađuje nacrt akta o organizaciji i sistematizaciji, odnosno svoje mišljenje i sugestije u odnosu na to pitanje.

Preporuka radnim organizacijama za raspisivanje zajma za sanaciju obrtnih sredstava

U načelu se prihvaća ideja o raspisivanju internog zajma u elektroprivredi za sanaciju obrtnih sredstava time, da Biro Poslovnog udruženja razradi prijedlog o visini, načinu upisa i vraćanju, te uvjetima takvog zajma i dostavi ga svim organizacijama na razmatranje. Nakon toga će se — na narednoj sjednici Skupštine — donijeti odluka, odnosno preporuka o raspisivanju zajma.

Donošenje odluke o visini osobnih dohodaka radnika radne zajednice Biroa Poslovnog udruženja elektroprivrednih organizacija SRH

Prosječni bruto osobni dohodak po uvjetno kvalificiranom radniku radne zajednice Poslovnog udruženja može u razdoblju od 1. XII 1972. do 30. VI 1973. godine za 11,5% biti veći od prosječnog bruto osobnog dohotka po uvjetno kvalificiranom radniku ostvarenom u elektroprivredi SR Hrvatske u 1972. godini.

Ovaj postotak (11,5%) je veći od postotka ostvarenog u 1971. godini (11,34%), pa osobni dohoci radnika radne zajednice Poslovnog udruženja ostaju u razdoblju od 1. XII 1972. do 30. VI 1973. godine ograničeni na nivou isplaćenog prosječnog osobnog dohotka u razdoblju od 1. I — 30. XI 1972. godine.

Izbor delegata za savjetovanje predsjedništva SKJ u elektroprivredi

Određuje se *Busatto Ante,* dipl. ing. (iz poduzeća »Elektroprivreda Dalmacije«, Split) da zastupa elektroprivredu Hrvatske na sastanku predsjedništva SKJ, koje će se održati u siječnju 1973. godine.

SAVJETOVANJE O NUKLEARNIM ELEKTRANAMA

U organizaciji Zajednice jugoslavenske elektroprivrede održano je u Zagrebu od 22. do 24. XI 1972. savjetovanje o današnjem stanju tehnologije nuklearnih reaktora i razvoju brzih oplodnih reaktora.

Na Savjetovanju je izneseno ukupno 10 referata podijeljenih u dvije tematske grupe.

a) Nuklearne elektrane s termalnim reaktorima

Referat 1. *»Tipovi energetskih nuklearnih reaktora s termalnim neutronima«*, Prof. Dr Jordan Pop-Jordanov

Referat 2. *»Razvoj i današnje stanje nuklearnih elektrana«*, Prof. Milorad Ristić

Referat 3. *»Iskorištenje nuklearnog goriva u elektroenergetskom sistemu«*, Prof. Dr Milan Čopič

Referat 4. *»Gorivi ciklus i pogonske karakteristike nuklearne elektrane s primjenom u NE 'Krško'«*, Prof. Dr Danilo Feretić

Referat 5. *»Tehničke karakteristike nuklearne elektrane KRŠKO«*, Janez Dular, dipl. ing.

Referat 6. *»Utjecaj nuklearne elektrane KRŠKO na okolinu«*, Jadranko Karuza, dipl. ing. i Prof. Dr Petar Strohal.

b) Nuklearne elektrane s brzim oplodnim reaktorima

Referat 7. *»Procesi u brzom oplodnom reaktoru«*, Prof. Dr Dragoslav Popović

Referat 8. *»Nuklearno gorivo za brze oplodne reaktore«*, Prof. Dr Nenad Raišić

Referat 9. *»Tehničke karakteristike elektrana s brzim oplodnim reaktorima«*, Prof. Dr Naim Afgan

Referat 10. *»Ekonomika nuklearnih elektrana s termalnim i brzim oplodnim reaktorima«*, Ljubomir Mojović.

Referati su podijeljeni učesnicima prije savjetovanja. Referentima je ostavljeno 45 min. da izlože svoj referat, dok je diskutantima određeno za diskusiju oko 30 min.

Savjetovanju je prisustvovalo 150 do 180 stručnjaka iz cijele Jugoslavije.

Na završetku savjetovanja dao je predstavnik domaćina i član organizacionog odbora dipl. inženjer Ivo Božin ovakvu završnu riječ:

»Bez pretenzija da dajem rezime savjetovanja, jer mi je to nemoguće, dozvolite, da ipak kažem nekoliko riječi.

Cilj savjetovanja bio je da se pokrene i stvori veći interes u elektroprivredi za ovu novu tehnologiju. Iako je prerano davati ocjene koliko se u tome uspjelo, mislim da broj učesnika savjetovanja, pokazani interes od prve do posljednje sjednice, kao i broj diskutanata, ipak govori o tome da se interes stvorio.

Na savjetovanju su uvodnim izlaganjem, referatima i diskusijom, pokrenuta mnoga pitanja, kao što su:

— potreba da elektroprivreda preuzme inicijativu u izučavanju svih pitanja vezanih za izgradnju i eksploataciju nuklearnih elektrana;

— potreba da se dugoročnom energetskom bilancom sagleda razvoj potrošnje električne energije, i utvrdi optimalna struktura proizvodnje, uvažavajući pri tome mogućnost i ekonomičnost korištenja kako konvencionalnih energetskih izvora, tako i nuklearnih elektrana;

— potreba što hitnijeg donošenja društvenih regulativa (propisi, zakoni) vezanih za izgradnju i eksploataciju nuklearnih elektrana;

— aktualnost razmatranja i reguliranja uskladištenja radioaktivnih otpadaka koji se već danas javljaju primjenom radioaktivnih izotopa u industriji, medicini i drugdje, što će naročito postati aktualno izgradnjom i eksploatacijom prve nuklearne elektrane;

— strategija iskorištenja nuklearne sirovine;

— pripreme i uključivanje domaće industrije u proizvodnji opreme za nuklearne elektrane;

— pogonska iskustva u radu izgrađenih nuklearnih elektrana;

— ekonomika nuklearnih elektrana u elektroenergetskom sistemu.

Navedena, kao i neka druga pitanja, mogu i treba da budu predmet razmatranja na posebno organiziranim savjetovanjima.

Na ovom savjetovanju posljednji referat se odnosio na ekonomiku nuklearnih elektrana, a nadam se da će na jednom od slijedećih savjetovanja to biti osnovna tema.

Pokretanje izučavanja i razmatranja navedenih pitanja na nivou elektroprivrede Jugoslavije, pretpostavlja intenzivan rad elektroprivrednih organizacija o ovom pitanju.

Na ovom savjetovanju bilo je pet referenata iz elektroprivrede, dok su sedmorica referenata koji rade na fakultetima i naučnim institucijama stručnjaci na ovom području. U daljnjem izučavanju navedenih problema s područja primjene nuklearne energije u elektroprivredi i dalje će biti neophodna pomoć eminentnih stručnjaka izvan elektroprivrede, ali s pravom valja očekivati sve veće učešće stručnjaka iz elektroprivrede.

Na kraju, dozvolite, da se u ime organizatora zahvalim svim referentima na uloženom trudu, a svim diskutantima kao i učesnicima savjetovanja na pokazanom interesu.

Zahvaljujem se i drugu Jalšovec Josipu, koji nam je besprijekornim radom tehničkih uređaja, omogućio normalan tok savjetovanja.

Još jednom hvala svima, i doviđenja na narednim savjetovanjima.«

Sveuč. prof. ing. Dragutin Domainko: **Okonomika i organizacija industrijskih poduzeća**

Dragutin DOMAINKO, redovni sveučilišni profesor i inženjer, poznati je stručnjak i znanstveni radnik s područja ekonomike i organizacije industrijskih poduzeća. Bio je više godina glavni tajnik Jugoslavenskog nacionalnog komiteta za naučnu organizaciju rada. Predavao je i na nekim visokim školama, odnosno fakultetima, u Zürichu, Grazu i Pragu. Bio je i član »The International University Contact for Management Education«. Objavio je mnogo svojih radova (publikacija, udžbenika, i sl.) Njegovi se udžbenici upotrebljavaju u praksi i na ekonomskim i tehničkim fakultetima.

Najnovija knjiga profesora Domainka *»Ekonomika i organizacija industrijskih poduzeća«* u izdanju Narodnih novina, Zagreb 1972. predstavlja peto izdanje te materije. Obuhvaća 542 stranice, a podijeljena je u šest poglavlja: I. Uvod u ekonomiku industrijskih poduzeća, II. Organizacija i naučna organizacija rada (racionalizacija), III. Upravljanje i rukovođenje, IV. Planiranje u industrijskom poduzeću, V. Investicije, tvornička postrojenja, VI. Proizvodnja.

U I. poglavlju ukratko se izlaže naše društveno-ekonomsko uređenje i govori općenito o industrijskoj proizvodnji, industrijskom poduzeću (osnivanje, poslovanje), sredstvima poduzeća, ukupnom prihodu, kapacitetu, troškovima s brojnim primjerima kalkulacije, zatim o ekonomičnosti, rentabilnosti i likvidnosti, a opširnije o proizvodnosti rada. Daje se i kratki prikaz poslovne politike industrijskog poduzeća.

U II. poglavlju opširno se obrađuje organizacija, a naročito znanstvena organizacija rada, njezin razvoj, suvremeno shvaćanje racionalizacije, osnovna teoretska načela, razne definicije racionalizacije, opća praktička načela i metode racionalizacije. Dosta su opširno obrađeni problemi mehanizacije, automatizacije i kibernetike (historija razvoja s razvojem industrijskih grana, posebno automatizacije, stupnjevi mehanizacije i automatizacije, problemi male automatizacije mehanografije s konkretnim primjerima prednosti i nedostataka automatizacije sa stanovišta ekonomike i organizacije).

U III. poglavlju je obrađeno upravljanje i rukovođenje. Izloženi su osnovni principi sistema našeg samoupravljanja prema ustavnim amandmanima XV i XXII. Posebna je pažnja posvećena organizacionoj izgradnji industrijskog poduzeća (radne grupe, veličina i broj radnih grupa, ekonomske radne jedinice, problemi rukovođenja i rukovodilaca s obzirom na određene organizacione tehničko-ekonomske i ekonomsko-komercijalne sposobnosti i osobine rukovodilaca). Iznijeti su problemi izobrazbe rukovodilaca i pojam »management«. Opširno je obrađena organizaciona podjela rada industrijskog poduzeća u službe prema osnovnim funkcijama (sektori, odjeli, odsjeci, itd.). Svaka od tih funkcija (autor ih dijeli u 10) obrađena je u podfunkcije odnosno pododjele. Obrađen je i problem znanstveno istraživačkog rada, kao i način izrade elaborata i znanstvenih radova.

U IV. poglavlju obrađuju se, općenito, pojam i cilj planiranja a posebno u industrijskim poduzećima. Tu su i informacije o novijim metodama planiranja (Pert, Monte Carlo i sl.). Izlažu se izrada pojedinačnih planova, analiza elemenata plana i nedostaci planiranja.

U V. poglavlju se obrađuju pitanja investicija i investiranja, izrade investicionog elaborata i ekonomike projektiranja (lokacija tvornica, orijentacioni pokazatelji, utvrđivanje vrijednosti investicija, investicioni program, vrste, izrada i sadržaj građevinskih projekata, organizacija izvođenja gradnje). Obrađena su i pitanja opreme, ekonomike pogonskih strojeva, energana općenito, i s primjerom u industrijskim poduzećima sa stajališta investicionih troškova i troškova proizvodnje. Dosta opširno se daju pronalasci i tehnička unapređenja.

U VI. poglavlju se obrađuje psihofiziologija rada (definicije, podjela psihofizičkog aparata, utrošak energije s raznim primjerima, problem umora i zamaranja kod fizičkog i umnog rada, borba protiv umora, uloga industrijskog psihologa u proizvodnji). Veći dio ovog poglavlja posvećen je racionalizaciji radnih procesa (analitička procjena radnih mjesta, metode procjene ličnosti, sistemi nagrađivanja, raspored rada i odmora, ritam u radu, radne kretnje, monotonija, itd.) i zaštiti radne snage (vrste oštećenja, ekonomski gubici, zaštitne mjere). U drugom dijelu ovog poglavlja obrađeni su ekonomika i organizacija materijala za proizvodnju, koeficijenti iskorištavanja pogonske energije, a u trećem dijelu organizacioni tipovi industrijske proizvodnje (pojedinačni, serijski, masovni, lančani itd.), organizacija pripreme rada, unutrašnjeg transporta, radnih normi, proizvodnih naloga i kontrole.

U četvrtom dijelu obrađeni su opširno standardizacija, specijalizacija i kooperacija, te konačno, posebni problemi komercijalnog i financijskog poslovanja industrijskog poduzeća.

Osnovna koncepcija ove knjige: suvremeno unapređivanje poslovanja naših industrijskih poduzeća skladnim povezivanjem ekonomike s organizacijom, tehnikom, psihofiziologijom i zaštitom pri radu. Autor se zalaže za uvođenje timskog rada, tj. uske povezanosti rada tehničara, ekonomiste, industrijskog psihologa, liječnika, sociologa i pravnika.

Iza svakog poglavlja navedena je upotrebljena literatura na našem i stranim jezicima, a u podtekstu i izvori podataka.

D F

D. Schaller: **Maschinelle Berechnung und Optimierung** (Računanje na stroju i optimiranje). Izdavač: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1972, 221 strana, 75 slika, 10 tablica.

Ova knjiga je treći dio kompleta *»Berechnung elektrischer Energieversorgungsnetze«* (»Proračun električnih mreža«) što ga njemački izdavač izdaje radi teorijskog tumačenja problema električnih mreža. U posljednjih deset godina obrada mreža na elektroničkom računalu i optimiranje elektroenergetskih sistema postigli su iznenađujuće brzi razvoj. Razvijene su metode dugoročnog planiranja u elektroenergetskim sistemima i proučavaju se stacionarna stanja i prelazne pojave u mrežama.

U prve dvije knjige ovog kompleta opisani su matematske osnove i parametri električnih mreža i proračuni prijenosa, pa ova treća knjiga, posvećena mogućnostima računanja mreža na elektroničkim računalima i optimiziranju, upotpunjuje prve dvije.

Općenito uzevši, obrada problema na elektroničkom računalu može se podijeliti u tri faze: matematičko-fizičko modeliranje, algoritmičko predstavljanje i programiranje. U ovoj knjizi važnost je dana matematskom modeliranju i algoritmičkom predstavljanju, dok programiranje nije obuhvaćeno. Smatra se da će to obaviti osobe specijalizirane za programiranje na elektroničkim računalima.

U prvom poglavlju opisani su osnovni principi obrade problema na elektroničkom računalu. Autor je želio opisati odvijanje cijelog postupka pri rješavanju jednog problema, zatim je opisan način primjene mrežnog modela po istosmjernom principu, kao analogni sistem. Opisan je osnovni princip digitalnog računala i matematski model mreže za obradu na njemu.

Drugo poglavlje ove knjige bavi se proračunom konstanti vodova, dok je u trećem poglavlju opisana transfiguracija mreže. Slijedi četvrto poglavlje u kojem je opisan tropolni kratkis poj sa i bez uvažavanja opterećenja mreže, uz koje je prikazan i dijagram toka jednog takvog proračuna.

U petom poglavlju opisan je proračun tokova snaga u jednoj simetričnoj mreži, i nakon teorijskog razmatranja opisana je mogućnost primjene računala. U šestom poglavlju opisana je metoda proračunavanja nesimetričnih mreža, način njihovog prikazivanja na modelu, i način upotrebe digitalnih računala. Sigurnost napajanja električnom energijom opisan je u poglavlju sedam, dok je osmo poglavlje posvećeno optimiziranju elektroenergetskog sistema, a u posljednjem poglavlju je opisan zajednički matematski model za problem tokova snaga i optimiranja u elektroenergetskom sistemu.

Autor je uz knjigu dao vrlo veliki popis literature, s oko 200 naslova, praktički sve ono što je u posljednjih deset godina objavljeno u stručnoj literaturi na ovu temu. Ovaj popis literature daje posebnu vrijednost knjizi.

Knjiga je vrlo lijepo i sistematično pisana, pa se može koristiti i kao priručnik i za osnovno upoznavanje s ovim problemom.

J. Moser

Kolektiv autora: **Fachkunde — Dampfturbinenbetrieb,** drugo znatno prerađeno i prošireno izdanje. Izdavač VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1972, 328 strana, 146 slika, format 24×16,5 cm, tvrdo ukoričeno, cijena na skladištu 18,— M.

Ova opširna knjiga namijenjena je izobrazbi strojara klasičnih termoelektrana, te plinskih i nuklearnih elektrana, a rađena je većinom na bazi najnovije sovjetske literature. Kao primjer, obrađeni su veliki blokovi od 210 MW, a dotaknut je i problem blokova od 500 MW. Materija je vrlo sistematski i pregledno dana u 7 poglavlja.

U prvom je poglavlju obrađena kondenzacija i dobava rashladne vode. Opisano je djelovanje i vrste kondenzatora, rashladne i kondenzatne pumpe i održavanje kondenzatora.

U drugom se poglavlju govori o turbini, vrstama načina rada i pojedinim dijelovima. Na kraju poglavlja su iznesene vrste i mjesta gubitaka u turbini.

Posebno je poglavlje posvećeno kruženju ulja, gdje su navedene potrebne karakteristike turbinskog ulja i njegova važnost i zadatak.

U četvrtom se poglavlju govori o regulaciji turbine, a obuhvaćen je opći princip razdiobe opterećenja u elektroenergetskom sistemu.

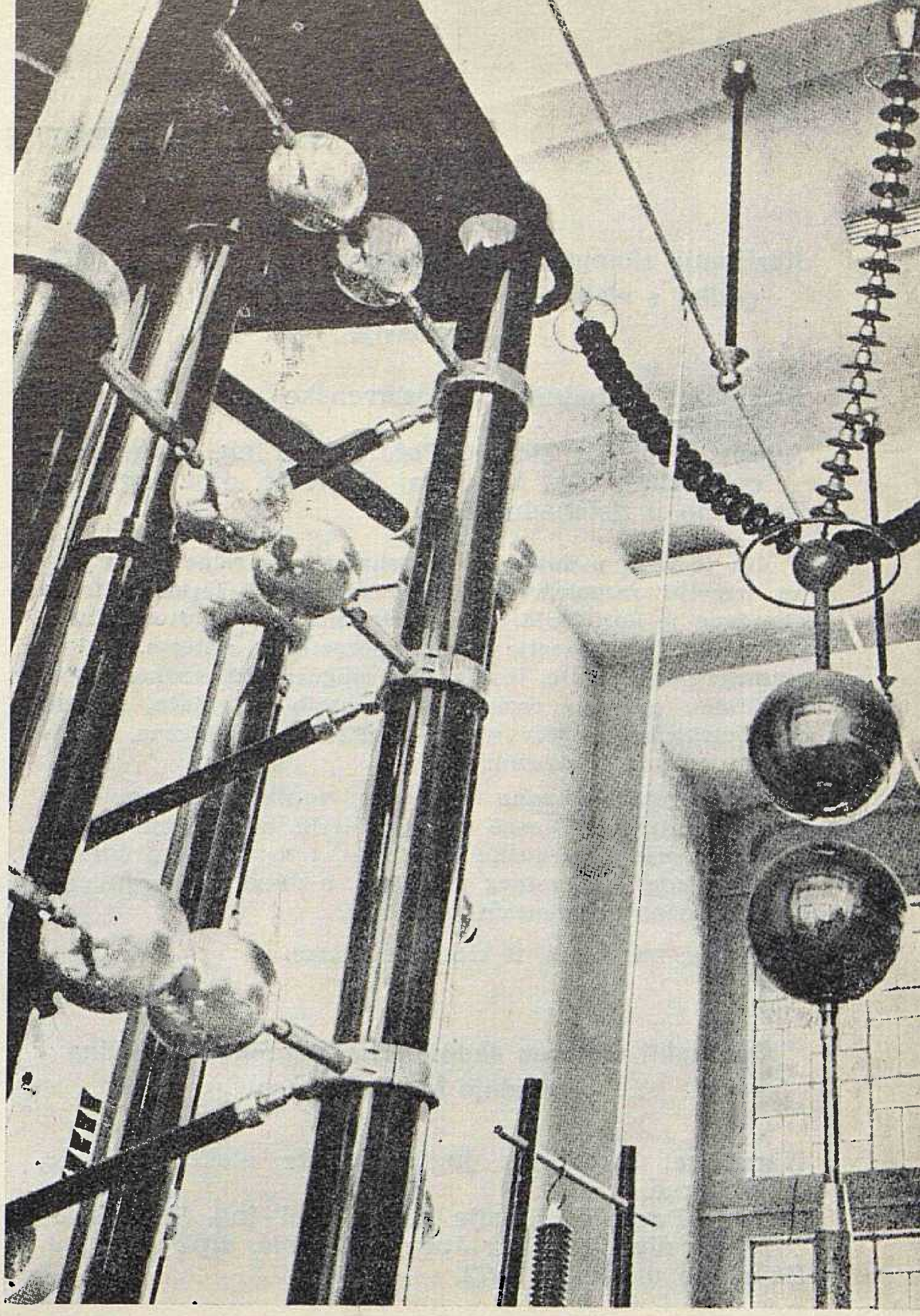
Iznesen je problem sigurnosti i opisani sigurnosni uređaji. Tu su također obuhvaćena sigurnosna ispitivanja i potrebne pogonske kontrole.

U šestom se poglavlju govori o održavanju i pogonu turboagregata. Znatna je pažnja posvećena radnjama potrebnim za stavljanje turbine u pogon, odnosno za njeno zaustavljanje.

Posljednje poglavlje je posvećeno kvarovima na turboagregatima.

Premda je knjiga namijenjena turbinskim strojarima ona je toliko sistematična i bogata materijalom da se može preporučiti svim stručnjacima koji se bave parnim turbinama.

B. M.



RAD INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU U 1972.

Institut za elektroprivredu u Zagrebu osnovan je 1953. sa zadatkom da znanstveno obrađuje probleme iz područja elektroprivrede i ostale energetike. Svojim razvojem i afirmacijom Institut je postao nosilac obrade važnih problema jugoslavenske elektroprivrede i energetike uopće. Naročito valja istaknuti aktivnost Instituta na znanstvenim istraživanjima metoda bilanciranja energetskhi sistema uspoređivanjem vrijednosti elektrana i stalni rad na studiji perspektivnog razvoja jugoslavenske mreže visokog i najvišeg napona. Svoju djelatnost obavlja Institut u suradnji s elektrotehničkim institutom u Beogradu i Ljubljani, podjelom rada u skladu sa specifičnostima pojedinih instituta.

Institut je osim uže problematike elektroprivrede, kao povezanog tehničkog i ekonomskog sistema, razvio rad i na tehnološkim elementima termoeenergetike, zatim u tehnici visokog napona, te u području električnih pojačala za specijalne svrhe. U pojedinim specijalnostima ovih područja Institut je vodeća ustanova u zemlji.

Institut je stručno znanstvena organizacija koja posluje po privrednim principima. Znanstveno istraživački rad se obnavlja prema unutarnjoj organizaciji, u devet posebnih grupa, od kojih svaka ima svoj zaokruženi djelokrug rada.

Studijske i laboratorijske grupe imaju kadar s dugogodišnjim iskustvom u struci i višegodišnjim stažom u svojoj radnoj grupi u Institutu.

Kao suradnici djeluju također i priznati stručnjaci izvan Instituta, među kojima i nekoliko istaknutih sveučilišnih profesora.

Studijske i laboratorijske grupe Instituta su:

1 Studijska grupa za elektroenergetske sisteme
2 Studijska grupa za prijenosne mreže
3 Studijska grupa za distributivne mreže
4 Studijska grupa za ekonomiku elektroprivrede
5 Studijska grupa za opću energetiku
6 Studijska grupa za termoenergetske sisteme
7 Laboratorij za toplinska mjerenja
8 Laboratorij za visoki napon i jaku struju
9 Laboratorij za elektroniku
10 Dokumentacija, izdavačka djelatnost, propaganda

U daljnjem tekstu su prikazani važniji radovi iz djelovanja pojedinih grupa u 1972. godini.

Korištenje akumulacionih bazena hidroelektrana u 1973. godini s elektroenergetskim bilancama u sistemu Jugoslavije

Naručilac: Zajednica Jugoslavenske elektroprivrede, Beograd
Autori: Prof. Dr Hrvoje *Požar*, dipl. ing., Božo *Udovičić*, dipl. ing., Mr Juraj *Keglević*, dipl. ing.
Završeno u listopadu 1972.

Na temelju podataka o potrebama električne energije, i na temelju raspoloživosti hidroelektrana i termoelektrana obrađeno je korištenje akumulacionih bazena hidroelektrana po metodi optimizacije elektroenergetskog sistema. Nakon izvršene optimizacije, izrađene su moguće proizvodnje hidroelektrana, određen remont konstantnih potrošača, remont termoelektrana, faktor raspoloživosti termoelektrana i rotirajuća rezerva u sistemu.

Odredivši prethodno navedene veličine, načinjene su elektroenergetske bilance za Jugoslaviju, za zapadni i istočni dio zemlje, i za svaku republiku, i to za slučaj određenog remonta konstantnog potrošača, a drugi put za procijenjeni remont konstantnih potrošača.

Opseg: 250 strana, 10 tablica i 4 slike.

Optimalni volumen akumulacije i optimalna veličina izgradnje hidroelektrana

Naručilac: Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Beograd
Autori: Prof. Dr Hrvoje *Požar*, dipl. ing. Božo *Udovičić*, dipl. ing., Mr Juraj *Keglević*, dipl. ing.
Završeno u ožujku 1972.

Na početku studije su razrađene teoretske osnove za određivanje optimalnog volumena akumulacije i veličine izgradnje hidroelektrana. Nakon razrađenog teoretskog pristupa definiran je elektroenergetski sistem (konzum, izvori) koji je poslužio kao osnovica za sve analize provedene u studijama. Kao prvo, analizirana je veličina izgradnje protočnih hidroelektrana. Analizirana su dva tipa protočnih hidroelektrana s obzirom na raspored protoka, a svaki od njih uz pretpostavku različitih dužina derivacije. Za iste elektrane rađene su analize veličine izgradnje uz pretpostavku da imaju bazen za tjedno izravnanje.

Veličina izgradnje i optimalni volumen akumulacije, akumulacione hidroelektrane, analizirani su za različite pretpostavke ukupnog i korisnog volumena akumulacije, te različite dužine derivacije. Nakon toga analizirane su veličine izgradnje i određene veličine akumulacionog bazena, sistema s čeonom akumulacijom. U sistemu su promatrane dvije hidroelektrane sa različitim veličinama instalacije i različitim volumenima akumulacije.

Sve analize učinjene su za tri nivoa konzuma uz uvjet minimuma troškova u sistemu.

Opseg: 130 strana i 40 slika.

Metoda za određivanje optimalne energetske strukture

Naručilac: Republički fond za naučni rad, Zagreb
Autor: Prof. Dr Hrvoje *Požar*, dipl. ing.
Završeno u svibnju 1972.

U prvom dijelu studije opširno je opisan i razrađen problem opskrbe energijom, ograničenja u opskrbi, odnos energije i snage, zatim je dan pregled oblika energije, a s tim u vezi korištenje i transformacija oblika. Na kraju poglavlja obrađeni su korisni oblici energije i grupe njezinih potrošača.

U drugom dijelu studije obrađena je metoda za određivanje optimalne energetske strukture na osnovi linearnog programiranja. Detaljno su razrađene jednadžbe zadovoljenja potreba po potrošačima i oblicima energije, zatim jednadžbe transformacija oblika energije i mogućnosti proizvodnje pojedinih oblika energije. Zatim jednadžbe i ograničenja s obzirom na uvoz i izvoz različitih oblika energije, mogućnosti transporta i oblika, i na kraju jednadžba cilja.

Jednadžba cilja daje minimalne troškove u sistem, a do minimuma se dolazi iterativnim postupkom.

Opseg: 200 strana, 2 tablice i 21 slika.

Pokusna primjena metode za određivanje optimalne energetske strukture na područje SR Hrvatske

Naručilac: Republički fond za naučni rad SRH, Zagreb
Autori: Prof. Dr Hrvoje *Požar*, dipl. ing., Božo *Udovičić*, dipl. ing., Vlado *Čulo*, dipl. ing., Boris *Kalan*, dipl. ing.
Završeno u lipnju 1972.

Na temelju teoretskih postavki u studiji »Metoda za određivanje optimalne energetske strukture« izrađenoj u našem Institutu, pokušala se odrediti energetska struktura (približna i gruba) za SR Hrvatsku, i to s namjerom da se prethodno navedena metoda ispita i provjeri.

SR Hrvatska podijeljena je na samo četiri područja, što je veoma grubo s obzirom na transport oblika energije, a optimalna energetska struktura uz uvjete minimalnih troškova, uz minimalne troškove ali ograničene investicije, uz minimalne devizne troškove, itd.

Na kraju studije analizirani su utjecaji pojedinih optimizacija na opskrbu pojedinim oblicima energije promatranih područja.

Opseg: 90 strana i 50 tablica.

Elektroenergetske podloge za visokonaponsku mrežu zapadnog dijela Jugoslavije u 1975., 1978. i 1982.

Naručioci: Udružena elektroprivreda SR Hrvatske — Zagreb, Savske elektrane — Ljubljana, Termoelektrana Šoštanj — Šoštanj
Autor: Božo *Udovičić*, dipl. ing.
Završeno u lipnju 1972.

S obzirom na izgradnju nuklearne elektrane »Krško« potrebno je ispitati mogućnost njenog uklapanja u visokonaponsku mrežu u 1978. godini. Budući da su nastale velike promjene za 1975. godinu s obzirom na ranije razvode (promjene u veličini konzuma, promjene u izvorima i prenosnoj mreži), pokazala se potreba analiza prilika u mreži u 1975. g. Isto tako je potrebno ispitati barem jednu situaciju nakon 1978. godine, kako bi se mogao ispravno odrediti razvoj visokonaponske mreže.

U razradi za mrežu uzeti su utjecaji povezivanja Jugoslavije sa SUDEL-ringom, i to uz pretpostavku da u svakom momentu možemo dobiti 200 MW od SUDEL-ringa kao pomoć u slučaju ispada u našoj mreži.

Opseg: 63 strane.

Osnovne karakteristike hidroelektrana Jugoslavije

Naručilac: Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Beograd
Autori: Prof. Dr Hrvoje *Požar*, dipl. ing., Slavko *Alerić*, dipl. ing., Božo *Udovičić*, dipl. ing.
Završeno u ožujku 1972.

U Institutu za elektroprivredu razvijena je metoda za točnije određivanje mogućnosti proizvodnje hidroelektrana. U dosadašnjim proračunima računalo se prema izvoru

W = 8 QHT, dok novi način računanja moguće proizvodnje uzima u obzir sve osnovne karakteristike hidroelektrane: stupanj djelovanja agregata, gubitke pada u dovodu i odvodu promjene nivoa gornje i donje vode, te mogućnosti gutanja turbine.

Sve ove ovisnosti mogu se dati u analitičkom obliku, što je vrlo jednostavno kod računanja na elektroničkim računalima.

Na temelju prikupljenih podataka o karakteristikama agregata, o gubicima u dovodu i odvodu, te o promjenama nivoa gornje i donje vode, načinjene su osnovne karakteristike i izvedeni analitički izvori za sve hidroelektrane Jugoslavije.

Opseg: 150 strana i 70 slika.

Tehnoenergetski i ekonomski položaj HE Dubrovnik kao dijela hidroelektrana na Trebišnjici i mogući međusobni odnosi dijelova tog sistema

Naručilac: Hidroelektrane na Trebišnjici — Pogon HE Dubrovnik — Dubrovnik
Autor: Prof. D Hrvoje *Požar*, dipl. ing.
Završeno u lipnju 1972.

Na početku studije detaljno su opisani mogući odnosi u elektroenergetskom sistemu i sam elektroenergetski sistem, kao i primjeri odnosa i organizacija u svijetu. Nakon toga opisan je i razrađen problem raspodjele prihoda među dijelovima elektroenergetskog sistema. Zatim su analizirani odnosi unutar elektroenergetskog sistema, priključak hidroelektrana na prijenosnu mrežu, automatizacija elektrana i mreže, te tehnološki proces u elektroenergetskom sistemu.

U drugom dijelu studije, koji je načinjen u stvari kao dodatak prvom dijelu studije, nalaze se proračuni i analize o valorizaciji električne energije, kao i mogući obračuni između pogona hidroelektrana na Trebišnjici.

Opseg: 45 strana.

Raspodjela prihoda u elektroenergetskom sistemu Dalmacije u 1975.

Naručilac: Elektroprivreda Dalmacije — Split
Autori: Prof. Dr Hrvoje *Požar*, dipl. ing., Mr Juraj *Keglević*, dipl. ing., Slavko *Alerić*, dipl. ing.
Završeno u listopadu 1972.

Izgradnjom HE Orlovac mijenjaju se elektroenergetski odnosi i utjecaji među hidroelektranama u elektroenergetskom sistemu Dalmacije. Isto tako dolazi do promjena izgradnjom HE Split II (drugi ritam pražnjenja, manja proizvodnja HE Kraljevac).

Opseg: 73 strane.

Raspodjela prihoda u sistemu regije Rijeka u 1971.

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka
Autori: Prof. Dr Hrvoje *Požar*, dipl. ing., Mr Juraj *Keglević*, dipl. ing., Božo *Udovičić*, dipl. ing.
Završeno u studenom 1972.

Uzimajući elektroenergetsku vrijednost elektrane kao osnovicu za učešće u raspodjeli ukupnog prihoda, načinjena je raspodjela prihoda u elektroenergetskoj regiji Rijeka za 1971. godinu. Najprije su načinjene prosječne energetske vrijednosti elektrana uz korekcije tih vrijednosti zbog nesposobnosti za pogon, ili zbog odstupanja od zadanog voznog reda. Nakon toga su načinjene energetske vrijednosti elektrana u 1971. godini. Na kraju studije načinjena je raspodjela ukupnog prihoda na elektrane, djelatnost prijenosa i zajedničke službe.

Opseg: 60 strana.

Optimalna instalirana snaga HE Obrovac

Naručilac: Elektroprivreda Dalmacije, Split
Autori: Prof. Dr Hrvoje *Požar*, dipl. ing., Božo *Udovičić*, dipl. ing., Mr Juraj *Keglević*, dipl. ing.
Završeno u siječnju 1972.

Određivana je veličina instalacije HE Obrovac u elektroenergetskom sistemu zapadnog dijela Jugoslavije. Analize su učinjene, jednom da se ne gradi kompenzacioni bazen, drugi put da se gradi. Veličina izgradnje određivana je uz uvjet postizanja minimuma troškova u sistemu. Na kraju studije analizirana je opravdanost izgradnje kompenzacionog bazena Štikada, kao i potrebna veličina kompenzacionog bazena na kraju tunela. Sve analize su učinjene za nekoliko nivoa potrošnje.

Opseg: 96 strana i 7 slika.

STUDIJ PRIJENOSNIH MREŽA

Problem jalove snage i njena kompenzacija u mreži Hrvatske

Naručilac: Udružena elektroprivreda SR Hrvatske
Autor: Boris *Markovčić*, dipl. ing.
Rad na el. računalu: Zdravko *Hebl*, dipl. ing.
Završeno u lipnju 1972.

II. dio: **Sredstva i mjesta kompenzacije**

Za prilike u Hrvatskoj proanalizirane su mogućnosti proizvodnje jalove snage u kondenzatorima, generatorima i kompenzatorima.

Provedena je ekonomska usporedba proizvodnje jalove snage u elektranama i kondenzatorskim baterijama. Utvrđene su granične daljine prijenosa vodovima 35 kV, 110 kV i 220 kV do kojih se u nekim slučajevima može prenositi jalova snaga uz različite faktore snage.

Na primjeru He Varaždin pokazan je način izbora najpovoljnijeg nazivnog faktora snage hidrogeneratora.

Za zagrebačko područje je provedena optimizacija izvora jalove snage i na temelju toga kontroliran plan ugradnje kondenzatora.

Na kraju elaborata su iznesena načela podjele kompenzacije između prijenosne i distributivne mreže za područje Zagreba i Slavonije.

Opseg: 60 strana, 20 tablica i 16 crteža.

III. dio: **Bilance jalovih snaga područja Rijeka**

Ovaj je dio, u stvari, morao biti razrađen u I. dijelu, ali kako zbog reorganizacije nije bilo na raspoloženju potrebnih podataka, rad je zakasnio.

Kako za područje Zagreba i Slavonije, tako je i za područje Rijeke, za karakteristične pogonske slučajeve (1971. god.) utvrđena su mjesta trošenja jalove snage (distribucija, rezervni transformatori, vodovi) i udjeli izvora u njenom pokrivanju.

Opseg: 4 strane, 6 tablica, 1 crtež.

Visokonaponska mreža zapadnog dijela Jugoslavije u 1975, 1978. i 1980.

II. dio: **Razrada mreže**

Naručilac: Udružena elektroprivreda SR Hrvatske — Zagreb, Savske elektrane — Ljubljana
Autor: Boris *Markovčić*, dipl. ing.
Rad na el. računalu: Zdravko *Hebl*, dipl. ing.
Završeno u travnju 1972.

Na temelju elektroenergetskih podloga iz I. dijela elaborata razrađene su prilike u mreži zapadnog dijela Jugoslavije, tj. SR Hrvatske i SR Slovenije za godine 1975, 1978. i 1980. Ukupno su učinjena 82 ispitivanja na elektroničkom

računalu IBM 1130. Za svako ispitivanje dano je obrazloženje s analizom, a na kraju odgovarajući zaključci.

Ispitivane su prilike normalnih režima rada i režima u kvaru, tj. slučaja ispada elektrana i vodova. Posebna pažnja posvećena je vodu 400 kV Obrenovac — Slavonija — Zagreb — Ljubljana (Maribor) i zamci 400 kV kroz Jugoslaviju. Pri analizi ispada najviše je promatran slučaj ispada vrlo velikih agregata kao TE Šoštanj IV, Nuklearna TE I i II. Pogonski slučajevi su uzimani alternativno s pomoći i bez nje iz SUDEL prstena.

Na kraju je uz zaključke dano aproksimativno vrijeme iskorištenja novih dalekovoda 220 kV i 380 kV.

Opseg: 65 strana, 15 tablica, 5 crteža.

Usporedba postupaka za proračun trajnih struja kratkog spoja pomoću sinhronih reaktancija i prema propisima VDE

Naručilac: Zajednica jugoslavenske elektroprivrede
Autor: Miroslav *Jung*, dipl. ing.
Završeno u svibnju 1972.

U sedam poglavlja studije obrađena je problematika proračuna trajnih struja kratkog spoja u elektroenergetskim mrežama, kao i posljedice dobivenih rezultata na proračun toplinski djelotvorne prosječne vrijednosti struje kratkog spoja (kraće: toplinske struje).

U prvom poglavlju prikazani su poznati postupci za proračun trajnih struja kratkog spoja među kojima se još uvijek ističe kao najtočniji Rüdenberg-ov grafički postupak iz godine 1925, čija je primjena prikazana primjerom kratkog spoja na stezaljkama turbogeneratora standardnih karakteristika.

U slijedeća dva poglavlja prikazane su osnove postupaka za proračun kratkog spoja prema američkim standardima (ANSI C 37.5-1969) i njemačkim propisima (VDE 0102/9.62 te 0103/1.1961).

U četvrtom poglavlju prikazan je proračun trajnih struja kratkog spoja u idealiziranoj mreži uz upotrebu sinhronih reaktancija prema našoj praksi, a u petom poglavlju ponovljen je isti proračun, ali prema propisima VDE, sve za jedno čvorište uz elektranu i jedno čvorište udaljeno od izvora, dok su u čestom poglavlju provedeni isti proračuni, ali za slučaj kvara na stezaljkama generatora.

U sedmom poglavlju dana je usporedba rezultata kao i osvrt na posljedice dobivenih rezultata za toplinska dimenzioniranja. Konstatira se da su toplinske struje određene na temelju najvećih struja trajnog kratkog spoja prema propisima VDE 0102 ovisno o mjestu, vrsti i trajanju kvara u prijenosnoj mreži za 10—30 posto više od istih struja određenih pomoću sinhronih reaktancija prema našoj praksi, te se predlaže izrada odgovarajućeg programa za proračun na digitalnom stroju uz prikupljanje stvarnih (mjerenih) vrijednosti parametara naše mreže. U prijelaznom razdoblju predlaže se da se toplinski proračuni provode na temelju raspoloživih rezultata proračuna kratkog spoja tako, da se kod kvarova dužeg trajanja u blizini elektrana izvrše dopunski proračuni najvećih trajnih struja kratkog spoja računajući sa stvarnim parametrima najbližih generatora, odnosno da se kod kvarova udaljenih od izvora uvede koeficijent sigurnosti 1,1 za toplinsku struju.

Opseg: 41 strana, 15 slika.

Minimalni kratki spoj

Naručilac: Udružena elektroprivreda SR Hrvatske
Autor: Miroslav *Jung*, dipl. ing.
Završeno u studenom 1972.

Za potrebe kontrole najvećih dozvoljenih nesimetričnih opterećenja u postrojenjima 110 kV na području sjeverozapadne Hrvatske i Slavonije, na koja su priključene željezničke elektrovučne podstanice na magistralnoj dionici Dobova — Tovarnik, izvršen je proračun najnižih vjerojatnih iznosa struja i snaga početnog tropolnog kratkog spoja, što ih valja očekivati neposredno nakon ulaska u pogon transformatorskih stanica 380/110 kV Zagreb i Osijek. Proračun je izvršen pomoću istosmjernog analizatora Instituta za elektroprivredu, a dobiveni rezultati su provedeni tablično.

Opseg: 5 strana, 16 tablica, 1 slika.

Proračun najvećih početnih struja jednopolnog kratkog spoja u mrežama 110 i 220 kV na području sjeverozapadne Hrvatske, oko godine 1982.

Naručilac: »Elektroprenos«, Zagreb
Autor: Miroslav *Jung*, dipl. ing.
Završeno u studenom 1972.

Izvršen je proračun raspodjele najvećih početnih struja tropolnog i jednopolnog kratkog spoja što se očekuju oko godine 1982. kod neistodobnih kvarova u svim čvorištima 110 i 220 kV na području sjeverozapadne Hrvatske, kao i u čvorištima susjednih područja, ako su izravno vezana sa spomenutim. Proračun je proveden pomoću računala ICL 1900, a rezultati su prikazani tablično i na slikama.

Opseg: 4 strane, 5 tablica, 3 slike.

Proračun početnog kratkog spoja u mrežama 220 i 380 kV SR Hrvatske, oko godine 1892.

Naručilac: »Elektroprenosi«-i Split i Zagreb te »Elektroprivreda«, Rijeka
Autor: Miroslav *Jung*, dipl. ing.
Završeno u listopadu 1972.

Za konfiguraciju mreža 220 i 380 kV Jugoslavije, što se očekuje oko godine 1982. izvršen je proračun raspodjele početnih struja tropolnog i jednopolnog kratkog spoja kod neistodobnih kvarova u čvorištima spomenutih mreža koja se nalaze na području SR Hrvatske, kao i na području susjednih republika, ako su s njime posredno povezana. Proračun je proveden pomoću računskog stroja ICL 1900, a pregled rezultata je prikazan tablicama i slikama.

Opseg: 3 strane, 7 tablica, 3 slike.

Proračun početnog kratkog spoja u TE Sisak oko godine 1982.

Naručilac: »Elektroprivreda«, Zagreb
Autor: Miroslav *Jung*, dipl. ing.
Završeno u rujnu 1972.

Za potrebe projektiranja druge etape izgradnje TE Sisak izvršen je proračun početnog tropolnog i jednopolnog kratkog spoja na sabirnicama 110 i 220 kV navedene elektrane, i to za stanje mreže koje se očekuje oko godine 1982. Ovdje je zanimljivo spomenuti da je ovom prilikom po prvi put upotrebljen elektronski računski stroj ICL 1900 »Elektre« u Zagrebu za potrebe proračuna kratkog spoja.

Opseg: 3 strane, 1 tablica, 2 slike i 10 strana priloga sa računala.

Proračuni raspodjele struja jednopolnog kratkog spoja u vodovima 110 i 380 kV

Naručioci: »Ralekovod«, Zagreb, »Elektroprenos«-i Zagreb i Split, »Elektroprivreda«, Rijeka, te Poduzeće PTT saobraćaja, Zagreb
Autor: Miroslav *Jung*, dipl. ing.
Završeno u listopadu 1972.

Ukupno šest elaborato u kojima je proračunata raspodjela struja jednopolnog kratkog spoja duž trasa vodova 110 kV: Rakitje — Vinodol, Rakitje — Podsused, Podsused — Zabok, Podsused — »Sloboda« i Meterize — Peruča, za stanje mreže što se očekuje oko godine 1978; kao i vodova 380 kV Krško — Zagreb, Zagreb — Osijek, Osijek — Obrenovac, Osijek — Tuzla, Divača — Meline, Meline — Konjsko i Konjsko — Mostar, za stanje mreže oko 1982.

Spomenuta raspodjela određena je radi dobivanja podataka za proračun napona opasnosti u žičanim dojavnim linijama različitih korisnika (JNA, JŽ, PTT i ostali), koje se nalaze u području utjecaja prethodno spomenutih vodova.

Opseg: 17 strana, 13 tablica, 46 slika.

Uzemljenje zvjezdišta mreže 35 kV »Elektroslavonije« i kabelske mreže 10 kV u Osijeku

Naručioci: »Elektroslavonija«, Osijek, »Elektroprivreda« Zagreb — Pogon Elektroprenos.
Autor: Ante *Sekso*, dipl. ing.
Završeno u studenom 1972.

Prijelaz srednjenaponskih mreža »Elektroslavonije« s pogona s izoliranim zvjezdištem na pogon sa zvjezdištem uzemljenim preko malog otpora, zahtijeva kontrolu i eventualne korekcije uzemljivača stanica i vodova, zbog znatno povećanih struja jednopolnih kvarova u odnosu na dosadašnje struje zemljospoja.

U elaboratu je najprije obrađeno pitanje pravilnog određivanja specifičnog otpora zemljišta, kao temelj ispravnog dimenzioniranja uzemljivača. Nadalje su obrađena pitanja izbora konfiguracije uzemljivača stanica u novim uvjetima uzemljenja zvjezdišta. Tu su obuhvaćena pitanja utjecaja dimenzija uzemljivača na njegova svojstva, pitanje izbora najpovoljnije konfiguracije uzemljivača, izbor struja kvara kroz uzemljivač, vrsta mjerodavnog kratkog spoja, itd. Nadalje su opisane metode za proračun karakteristika uzemljivača transformatorskih stanica i to empirijska metoda za brzu provjeru napona dodira i koraka, zatim su dane osnove analitičkog proračuna uzemljivača i najopširnije je opisan način proračuna primjenom rezultata modeliranja uzemljivača u elektrolitskoj kupki.

Kod uzemljivača TS 10/0,4 kV kabelske mreže Osijeka posebna je pažnja bila posvećena mjerenjima razdiobe struje kvara i potencijala uzemljivača. Ta su mjerenja bila osnova za izbor iznosa maksimalne struje jednopolnog kvara s obzirom na termičku opteretivost plašta kabela.

Na kraju je obrađeno pitanje uzemljivača stupova u novim uvjetima. Obrađena je originalna metoda za brzi izbor najpovoljnije vrste uzemljivača stupova.

Sve navedene metode proračuna praktički su primijenjene za slučaj većeg broj transformatorskih stanica 35/10 kV, kao i za nekoliko tipičnih vrsta uzemljivača stanica 10/0,4 kV. Metoda izbora uzemljivača stupova ilustrirana je na primjerima dvaju vodova.

Opseg: 83 strane, 52 slike i 7 tablica.

Studij različitih metoda za istraživanje unutarnjih prenapona

Naručilac: Sklad Borisa Kidriča u Ljubljani, Projekat »Kvaliteta električne energije«
Autori: Ante *Sekso*, dipl. ing., Ivo *Hrs*, dipl. ing.
Rad je u toku.

Elaborat predstavlja početnu fazu rada na projektu »Kvaliteta električne energije« u okviru kojeg se studiraju različite metode za proračun unutarnjih prenapona. Obrađena je slijedeća problematika:

- pregled tranzijentnih pojava koje dovode do prenapona u frekventnom opsegu od 10^{-2} do 10^{-6} s,
- pregled i opis matematskog modeliranja elemenata i sistema,
- utjecaj povezivanja elemenata elektroenergetskog sistema na rješavanje tranzijentnih pojava,
- pregled teoretskih pristupa za određivanje opisanih tranzijentnih pojava na pojedinačnim elementima mrežâ,
- opis postojećih matematskih metoda rješavanja navedenih tranzijentnih pojava prikladnih za upotrebu na digitalnim računskim strojevima.

Posebna pažnja je posvećena metodama za proračun sklopnih prenapona u višefaznim elektroenergetskim sistemima. Od tih metoda opisana je metoda valova različitih brzina u sistemima s više vodiča, zatim modelna analiza, metoda Uram-Miller, metoda modificirane Fourierove transformacije, zatim metoda karakteristika, numerička metoda, itd.

Izvedba uzemljivača TS 35/10 kV u težim uvjetima uzemljenja (I. dio)

Naručilac: »Elektroistra«, Pula
Autor: Ante *Sekso*, dipl. ing.
Završeno u prosincu 1972.

Ovaj elaborat, u kojem se obrađuje izbor uzemljivača u težim uvjetima uzemljenja u Istri je nastavak rada na studiranju uzemljivača TS 35/10 kV »Elektroistre« kod prijelaza na uzemljenje zvjezdišta preko malog otpora.

U elaboratu su obrađena slijedeća pitanja:

- pojava višestruke slojevitosti tla i njezina interpretacija u proračunima uzemljivača,
- određivanje faktora redukcije plašteva kabela, i to mjerenjima u stvarnoj mreži i na modelu,
- zagrijavanje kabelskih plašteva i spojnih mostova uslijed struje jednopolnog kratkog spoja,
- razdioba potencijala unutar nesimetrično izvedenih uzemljivačkih mreža.

Na kraju su dani praktični primjeri izbora i proračuna uzemljivača TS 35/10 kV u gradskoj kabelskoj mreži Pule (TS Centar, TS Stoja i TS Gregovica).

Opseg: 20 strana, 16 slika.

STUDIJ DISTRIBUTIVNIH MREŽA

Obrazloženje izgradnje dalekovoda 110 kV Zabok — Tuhelj — Kumrovec

Naručilac: »Elektroprenos« — Zagreb
Autor: Josip *Moser*, dipl. ing.
Završeno u veljači 1972.

Pojavom valjaonice betonskog željeza, i u drugoj fazi čeličane u Kumrovcu, bilo je potrebno preispitati mrežu 110 kV na području »Elektre« Zabok. Pokazalo se da je potrebno izgraditi 110 kV vod Zabok — Tuhelj — Kumrovec, i uklopiti ga u prsten 110 kV vodova na području Elektre, Zabok. Taj vod mora biti 240 mm² AlČe. U obzir je uzeta, kao izvor napajanja stanica, 220/110 kV Zlatar Bistrica, koja bi se trebala izgraditi između 1980. i 1985. g. Ukoliko ne dođe do te realizacije valja ovaj prsten napajati preko 110 kV veze sa energetskim područjem Zagreba.

Ovim obrazloženjem predložen je najpovoljniji način snabdijevanja konzuma Kumrovca, općine Klanjec i ostalih potrošača kojima će budući DV 110 kV Zabok — Tuhelj — Kumrovec služiti za redovno ili rezervno napajanje.

Opseg: 22 strane, 4 tablice, 23 slike.

Osnovno rješenje električne mreže na području općina Buje, Pazin i Buzet

Naručilac: »Elektroistra«, Pula
Autori: Ivan *Janić*, dipl. ing., Ernest *Mihalek*, dipl. ing. i Ladislav *Padjen*, dipl. ing.
Završeno u ožujku 1972.

Ova mreža je bila obuhvaćena u općem rješenju mreže čitave Istre, razrađenom u ovom Institutu godine 1960. Nagli razvoj turizma i širenje tvornica u Pazinu i u području Cerovlja, kao i predviđena izrada tunela kroz Učku, zahtijevali su izradu novog rješenja buduće mreže.

Na temelju novih podataka slijedi, da je već u najskorijoj budućnosti potrebno izgraditi transformatorsku stanicu 110/35 kV u Pazinu.

Predviđeno vršno opterećenje na kraju razmatranog razdoblja iznosit će u TS 110/35 kV Buje 37 MVA, a u TS 110/35 kV Pazin 47 MVA.

Rješenje predviđa i izgradnju 7 novih transformatorskih stanica 35/10 kV s oko 165 km nadzemnih vodova 35 kV, te 74 nove transformatorske stanice 10/0,4 kV s oko 135 km nadzemnih vodova 10 kV.

Mreže 10 i 35 kV bit će u pogonu otvorene s neuzemljenim zvjezdištem, a radi povećanja sigurnosti napajanja predviđa se u mreži 35 kV i na važnijim vodovima mreže 10 kV (npr. za hotele na morskoj obali) automatsko prekapčanje na vodove izvanrednog napajanja u slučaju ispada vodova redovitog napajanja.

Ustanovljeni su i približni troškovi i rokovi postupne izgradnje čitave mreže.

Opseg: 54 strane, 16 tablica i 48 slika.

Obrazloženje potrebe izgradnje TS 110 35 kV Pazin

Naručilac: »Elektroprivreda«, Rijeka
Autori: Ivan *Janić*, dipl. ing. i Ladislav *Padjen*, dipl. ing.
Završeno u travnju 1972.

U općem rješenju električne mreže na području općina Buje, Pazin i Buzet bila je predviđena izgradnja transformatorske stanice 110/35 kV u Pazinu. Ovdje su pregledno dani svi podaci koji obrazlažu i zahtijevaju brzu izgradnju te stanice.

Kako izneseni podaci trebaju poslužiti kao podloga za izradu projekata i osiguranje novčanih sredstava za izgradnju, u obrazloženju je naročito istaknuto, da bi ova stanica morala biti stavljena u pogon već 1973.

Opseg: 30 strana, 7 tablica i 10 slika.

Povezivanje Lapada i Šipčina s Komolcem kabelom 35 kV

Naručilac: »Elektrojug« — Dubrovnik
Autor: Ivan *Janić*, dipl. ing.
Završeno u travnju 1972.

Dan je pregled sadašnjeg stanja električne mreže i konzuma na promatranom području. Analizirana je mogućnost opskrbe električnom energijom.

Na temelju zadanog vršnog opterećenja izvršen je izbor vrsti, broja i presjeka kabela 35 kV.

U analizi su promatrani kabeli 35 kV s papirnom izolacijom s olovnim i aluminijskim plaštem, te kabeli s izolacijom od termoplastičnog i umreženog polietilena u trožilnoj i jednožilnoj izvedbi.

Također je prikazano i etapno polaganje kabela 35 kV.

Opseg: 27 strana, 1 tablica, 9 slika.

Osnovna rješenja električne mreže na području Velika Gorica — Klara — Samobor

Naručilac: Elektra — Zagreb
Autor: Nikola *Vagić*, dipl. ing.
Završeno u svibnju 1972.

Razradom zahvaćeno područje prema postojećoj teritorijalnoj podjeli obuhvaća površinu od 1057 km², a pripada općinama Samobor, Zagreb (pripadni vanjski južni dio općina) i Velika Gorica, te manjim dijelom općinama Sisak, Jastrebarsko i Karlovac. Ovdje je 1970. živjelo oko 103.500 stanovnika nastanjenih u 225 naselja. Proces elektrifikacije obuhvatio je sva naselja, a privodi se kraju i u kućanstvu.

Elektroenergetske potrebe područja dosegle su u 1969. oko 186 MW i oko 63,3 GWh/g. i površinsku gustoću opterećenja oko 18 kW/km².

Postojeći konzum područja obuhvaćenog razradom u napajanju je orijentiran na sistem 220 kV posredstvom TS 220/110 kV Mraclin. Na nivou 110 kV konzum se napaja iz TS 110/30 kV Rakitje (2 × 25 MVA) i iz TS 110/30 kV Klara (1 × 35 MVA), a na nivou 30 kV iz TS 30/10 kV Samobor (3 + 2,4 MVA), TS 30/10 kV Kalinovica (4 + 1,6 MVA), TS 30/3,4 kV Hrv. Leskovac (2 × 2,4 MVA), TS 30/10 kV Mala Mlaka (2 × 2,14 MVA), TS 30/10 kV Velika Gorica (4 + 2 MVA) i djelomično TS 30/10 kV Botinec (8 MVA).

U planovima razvoja do oko 2000. g. na ovom se području računa sa snažnim ekonomskim razvojem i sa oko 27.4000 stanovnika.

Buduće elektroenergetske potrebe područja procijenjene su u I. etapi razvoja (oko 1975. g.) na oko 40 MW i 140 GWh/g. i u daljnjem razvoju (oko 2000. g.) na oko 250 MW i oko 2400 GWh/g. Računa se da će gustoća konzuma do 1975. g. doseći iznos od 40 kW/km² i u 2000. g. oko 650 kW/km². Napajanje konzuma riješeno je u sistemu 110 — 20 — 0,4 kV, 110 — 35 — 10 — 0,4 kV, te je nakon njihovog međusobnog uspoređivanja na primjeru područja pogonskog okruga Velika Gorica odabrano povoljnije rješenje po sistemu 110 — 20 — 0,4 kV.

U I. etapi razvoja planiran je prijelaz od sistema 110 — 30 — 10 — 0,4 kV na sistem 110 — 20 — 0,4 kV i izgradnja TS 110/20 kV: Samobor, Stupnik i Velika Gorica.

U daljem razvoju (oko 2000. g.) predviđeni konzum je orijentiran na TS 110/20 kV: Samobor, Novaki, Stupnik, Zadvorsko, Jakuševac, Mičevec i Velika Gorica.

U mreži 110 kV predviđena je primjena vodova unificiranih presjeka 3 × 240 mm² Ač i tipiziranih TS 110/20 kV u I. etapi razvoja 2 × 20 MVA i u daljnjem razvoju 3 × 40 MVA.

U mreži 20 kV predviđeni su tipizirani presjeci vodova; u nadzemnoj izvedbi 95 mm² Ač za magistralne linije i 35 mm² Ač za periferne i odcjepne vodove, te u kabelskoj izvedbi 95 mm² Cu (ili 150 mm² Al) za magistralne linije i 35 mm² Cu (ili 50 mm² Al) za periferne ili odcjepne vodove.

Stanice 20/0,4 kV su unificirane — u izvedbi na seoske stanice (zidani tornjići i stupne sa željezno rešetkastim stupovima) i gradske stanice (kabelske i montažne limene ili prerađene betonske), te u instaliranoj transformaciji na 30, 50, 100, 160, 250, 400, 630, 2 × 400 i 2 × 630 kVA.

Opseg: 76 strana, 20 tablica i 47 slika.

Mreža 110 kV i 35 kV na području Like

Naručilac: Elektroprivreda« — Rijeka
Autor: Zvonimir *Kovačević*, dipl. ing.
Završeno u listopadu 1972.

Područje »Elektrolike« — Gospić, za koje je u ovoj studiji razrađen razvoj mreže 110 i 35 kV u perspektivi, obuhvaća područje 5 općina Like: Gospića, Gračaca, Donjeg Lapca, Otočca i Titove Korenice, te dijelove susjednih općina Senja, Slunja i Bihaća. Sveukupna površina područja razrade iznosi oko 5700 km², a prema popisu stanovnika 1971. g. na ovom području je živjelo 112.878 stanovnika.

Konzum promatranog područja dostigao je u 1971. godini:

vršno opterećenje	11,6 MW
i potrošnju električne energije	40 217 MWh

Područje »Elektrolike« — Gospić se danas snabdijeva električnom energijom preko TS 110/35/10 kV Lički Osik (1 × 20 MVA) i 9 TS 35/10 kV, od kojih je jedna transformatorska stanica 35/10 kV u vlasništvu potrošača (»M. Orešković« — Lički Osik). Ukupna dužina vodova 35 kV na području razrade iznosi 210,5 km.

Na osnovi podataka o broju stanovnika u perspektivi iz urbanističkih planova većih mjesta i »Smjernice za razvoj i prostorno uređenje užih područja« u regiji gornji Jadran, područja Like, te ankete provedene među većim potrošačima električne energije, dobiven je ukupni konzum u perspektivi. Oko 1976. g. predviđa se

vršno opterećenje	27 MW
potrošnja električne energije	98 540 MWh

a oko 2000. godine:

vršno opterećenje	80 MW
potrošnja električne energije	300 000 MWh.

Da bi se zadovoljilo konzum u perspektivi predviđa se izgradnja transformatorske stanice 220/110 kV Lički Osik (2 × 150 MVA) te izgradnja transformator. stanica 110/35 kV:

Otočac	(2 × 20 MVA)
Plitvice	(2 × 20 MVA)
Gračac	(2 × 20 MVA)

i vodova 110 kV u dužini 94 km. Zatim se predviđa izgradnja 11 transformatorskih stanica 35/10 kV i vodova 35 kV u u ukupnoj dužini 279, km.

Opseg: 45 strana, 40 tablica, 46 slika.

Glavni projekt elektroenergetskog napajanja i instalacija za »SRCE«

Naručilac: »Hidroelektra« za Sveučilišni računski centar — Zagreb
Projektanti: *Štengl* Vladimir, dipl. ing., *Hartl* Vladimir, dipl. ing., *Crnković* Josip, dipl. ing., *Matijević* Đuro, dipl. ing., *Mihalek Ernest*, dipl. ing.
Suradnici: Ivan *Vlahović* tehničar, Rudolf *Šimunec*, tehničar
Završeno u listopadu 1972.

Sveučilišni računski centar gradi novu zgradu u Engelsovoj ulici u Zagrebu. Objekt se gradi za smještaj elektroničkog računala UNIVAC 1110.

Na osnovi studije o izboru elemenata izrađeni su slijedeći glavni projekti: glavni projekt TS 10/0,4 kV, 2 × 500 kVA; glavni projekt Dizel-električne stanice 2 × 250 kVA, glavni projekt Elektroenergetskog zavoda, glavni projekt elektroenergetskih instalacija za kompjutor UNIVAC 1110; glavni projekt el. rasvjete i el. instalacije za utičnice, glavni projekt vatrodojavne instalacije, glavni projekt telefonske instalacije i glavni projekt gromobrana.

Opseg: 187 strana, 4 tablice i 108 crteža.

Obrazloženje potrebe izgradnje TS 110/35 kV Poreč

Naručilac: »Elektroprivreda« Rijeka
Autori: Ivan *Janić*, dipl. ing. i Ladislav *Padjen*, dipl. ing.
Završeno u listopadu 1972.

Osnovnim rješenjem električne mreže na području općina Poreč, Novigrad i Umag predviđena je izgradnja transformatorske stanice 110/35 kV u Poreču.

U ovoj su studiji dani svi energetski podaci, koji opravdavaju što brže stavljanje u pogon te stanice. Kako su ti podaci podloga za izradu projekata i za osiguranje sredstava za izgradnju naglašeno je u obrazloženju, da bi ova stanica morala biti u pogonu, po mogućnosti, već u godini 1974, a svakako prije kraja 1975.

Opseg: 34 strane, 6 tablica i 9 slika.

»Studija o izboru pomoćnih elektroenergetskih izvoda i organizacija pouzdanog napajanja kompjutora UNIVAC 1110"

Naručilac: »Hidroelektra«, Zagreb za Sveučilišni računski centar, Zagreb
Autor: Vladimir *Hartl*, dipl. ing. sa suradnicima
Završeno u prosincu 1972.

Zadatak ove studije je bio da za potrebe glavnog i idejnog projekta odredi karakteristike elemenata elektroenergetskog napajanja elektroničkog računala UNIVAC 1110 na prostoru između priključnog kabela 10 kV i priključnog mjesta kompjutorske elektroenergetske instalacije.

Kao osnova za izbor ovih karakteristika poslužile su analize:

— utjecaja kvalitete lektrične energije i prekida u dobavi električne energije na rad elektroničkog računala,
— problema osiguranja potrebnih elektroenergetskih uvjeta za efikasan i kvaliteta rad računala, te
— izračunatih primarnih i sekundarnih troškova nastalih zbog ispada mreže i etapne izgradnje postrojenja.

Opseg: 41 strana, 8 tablica, 8 slika.

Studija o izboru rasvjete i vatrodojavnog sistema za »SRCE«

Naručilac: »Hidroelektra« — Sveučilišni računski centar
Autori: Ernest *Mihalek*, dipl. ing. (Rasvjeta), Vladimir *Hartl*, dipl. ing. (Vatrodojava)
Suradnici: Rudolf *Šimunec*, tehn., Ivan *Vlahović*, tehn.
Završeno u prosincu 1972.

Prema zadatku studija je trebala dati osnovne elemente izbora električne rasvjete i vatrodojave u prostoru SRCA, koji će se koristiti u izradi projektne dokumentacije za ovaj objekt.

U prvom dijelu elaborata dan je opći osvrt na parametre rasvjete (jakost boja, sjajnost, treperenje svijetla, stroboskopski efekt, jednolikost i ekonomija rasvjete), obavljen je njihov izbor i dano opravdanje obavljenog izbora jakosti rasvjete, gustoće opterećenja, vrsti izabranih svjetiljki, boje svjetla, karakteristika svjetiljki i aproksimativni troškovi izvođenja rasvjete.

U drugom dijelu elaborata izneseni su opći aspekti, propisi, i iskustvena zapažanja o protupožarnoj zaštiti, obavljen je izbor sistema i uređaja protupožarne zaštite i dan je pregled aproksimativnih investicionih troškova za protupožarnu zaštitu.

U trećem dijelu — pri kraju elaborata, u formi priloga dani su grafički i tablični podaci.

Opseg: 18 strana, 3 tablice, 5 slika.

»Programi za analizu podataka o opterećenjima transformatorskih stanica — I dio«

Naručilac: Institut za elektroprivredu, SJ III — Razdjelne mreže, Zagreb
Autor: Mr Petar *Bodlović*, dipl. ing.
Završeno u prosincu 1972.

Studija daje programe za slijedeće grafičke prikaze podataka o opterećenju transformatorskih stanica na računskom stroju:

— grafički prikaz najvećih, srednjih i najmanjih 15 minutnih opterećenja transformatorskih stanica za odabrani niz od 12 mjeseci s posebnim podatkom za svaku treću srijedu u mjesecu.
— grafički prikaz 15-minutnih opterećenja i krivulja trajanja opterećenja za dan s najvećim opterećenjem u neprekinutom nizu od 12 promatranih mjeseci.
— grafički prikaz 15-minutnih registriranih opterećenja, očitanih srednjih satnih opterećenja, izračunatih faktora snage i krivulja trajanja ovih veličina za treću srijedu u mjesecu u kojem se javio dan s najvećim opterećenjem.

Kao primjer za ilustraciju primjene programa obrađena je TS 110/30 kV Resnik.

Opseg: 9 strana, 22 strane programa, 1 tablica i 5 slika.

STUDIJ EKONOMIKE ELEKTROPRIVREDE

Utjecaj kvalitete isporuke električne energije na tehnologiju i ekonomiku potrošača, utjecaj troškova električne energije na ekonomiku industrijskih i drugih potrošača, te stupanj njihove osjetljivosti na cijenu električne energije

Naručilac: Poslovno udruženje poduzeća za distribuciju električne energije SR Hrvatske, Zagreb
Autori: Božidar *Filipović*, dipl. ing., Boris *Tilić*, dipl. ing., Ivica *Čauš*, dipl. ing., Čedomil *Čavlina*, dipl. ing., Zvonko *Presečki*, dipl. ing., Branko *Škrlec*, dipl. ing., Šukrija *Berberović*, dipl. ing.
Završeno u prosincu 1972.

Studija obuhvaća istraživanje utjecaja odstupanja od kvalitetne isporuke električne energije na tehnologiju i ekonomiku potrošača u industriji i rudarstvu, električnom željezničkom prometu, ugostiteljsko-turističkoj djelatnosti, te na rad električnih trošila široke potrošnje.

Polazeći od definiranja kvalitete isporuke električne energije s obzirom na konstantnost dobave i kvalitetu dobavnog napona i frekvencije, uvažujući vrste odstupanja od kvalitetne dobave i sistemaciju oblika šteta, provedena je kvantifikacija tih šteta za poduzeća navedenih djelatnosti na području SR Hrvatske u god. 1970.

Za kvantifikaciju šteta industrije i rudarstva, primijenjena je metoda anketiranja 200 potrošača reprezentanata grana industrijske djelatnosti, uz projiciranje dobivenih rezultata na djelatnost adekvatnih industrijskih poduzeća SR Hrvatske. Anketa je provedena sa 10 anketnih grupa od po 3 ili više članova — predstavnika instituta, predstavnika poduzeća-dobavljača električne energije i 1 ili više članova anketiranog poduzeća. Potrošači reprezentanti obuhvatili su oko 72% ostvarene vrijednosti proizvodnje i 88% potrošnje električne energije ukupne industrijske djelatnosti SRH u god. 1970.

Štete uslijed prekida i redukcije u dobavi električne energije, uslijed nepropisnog napona i frekvencije procijenjene su na oko 400 milijuna dinara, što čini oko 1,1% ostvarene vrijednosti proizvoda. Od tih šteta otpada 92% na prekid u dobavi, 3% na ograničenje dobave, 2% na nekvalitetan napon i 3% na nekvalitetnu frekvenciju.

Za kvantifikaciju šteta nastalih za promet na elektrificiranim prugama Željezničkog transportnog poduzeća Zagreb, primijenjen je analogan postupak, prilagođen specifičnostima željezničke vuče.

Kvantifikacija šteta uslijed nekvalitetne dobave električne energije mogla je obuhvatiti, zbog pomanjkanja potrebnih osnova samo jedan dio šteta, a provedena je za god. 1971. odvojeno za monofazni i istosmjerni sistem električne vuče, te za signalno-sigurnosne uređaje elektrificiranih pruga. Procijenjena šteta obuhvatila je samo one, nastale zbog prekida u dobavi električne energije, jer ostala odstupanja u dobavi nisu došla do izražaja. Prekid dobave odrazio se je pretežno u zakašnjenju i pokretanju vlakova.

Djelatnosti ugostiteljstva i turizma uslovljavale su podesan pristup ocjeni utjecaja nekvalitetne dobave električne energije, a okolnost da je turizam u SRH vezan pretežnim dijelom na primorske krajeve, utjecao je na izbor potrošača reprezentanata ugostiteljske djelatnosti. Primjenjujući u principu istu metodu kvantifikacije šteta kao i za industrijsku djelatnost, procijenjena je šteta ugostiteljsko-hotelske djelatnosti SRH u god. 1970. zbog prekida i redukcije dobave električne energije u iznosu koji odgovara udjelu od 0,34% ostvarenog prometa.

Promatranja nekvalitetne dobave električne energije na rad trošila široke potrošnje odnosila su se pretežno na trajnost trošila i obuhvatila su trošila za rasvjetu, motorni pogon i proizvodnju topline. Konstatirano je da prevelika odstupanja od kvalitetne električne energije skraćuju dob trošila i time nanose štetu njihovim korisnicima.

Utjecaj cijene električne energije na ekonomiku potrošača procijenjen je za poduzeća industrije, željezničkog elektrificiranog prometa, te za hotelska i njima srodna poduzeća.

Na temelju energetskih i ekonomskih veličina iz godine 1970. proračunat je udio troškova električne energije u prihodu i u materijalnim troškovima navedenih djelatnosti. Za industriju i rudarstvo taj je udio prikazan i po granama djelatnosti.

Za procjenu osjetljivosti potrošača na promjenu cijene električne energije odabran je udio troškova te energije u materijalnim troškovima proizvoda, odnosno usluga, i razvrstan prema veličini u 4 stupnja osjetljivosti. Četvrti stupanj osjetljivosti s udjelom troškova električne energije većim od 10% obuhvatio je rudnike ugljena, tvornice čađi, tvornice ferolegura, tvornice karbida, a slijede ih neka poduzeća s trećim stupnjem osjetljivosti kao što su tvornice stakla, plastičnih masa, tvornice cementa i papira. U četvrti stupanj osjetljivosti ulazi i električna vuča.

Opseg: 156 strana, 99 strana tablica i crteža.

Prikaz i usporedba uvjeta snabdjevanja potrošača električnom energijom u zemljama Evrope

Naručilac: Poslovno udruženje »Udružena elektroprivreda SR Hrvatske«, Zagreb
Autor: Božidar *Filipović*, dipl. ing.
Završeno u prosincu 1972.

Prikaz i usporedba uvjeta isporuke električne energije elektroprivrede Austrije, Francuske, Italije, Švicarske, Sav. Rep. Njemačke, Poljske i Rumunjske.

Studije obuhvaćaju energetske, tehničke, financijske i pravne odnose opskrbe potrošača električne energije javnih elektroprivrednih poduzeća navedenih zemalja time, što istraživanja za Rumunjsku obuhvaćaju samo energetski dio. Studija sadrži i prikaz strukture bruto produkta, strukturu izvora financiranja i investiranja po elektroprivrednim djelatnostima. Težište studije odnosi se na strukturu proizvodnje i potrošnje električne energije, na opis primjenjivanih tarifnih oblika prodaje, te na prikaz ostvarenih jediničnih prodajnih cijena električne energije po glavnim kategorijama i grupama potrošača. Radi lakše usporedbe sve su cijene svedene na dolarsku valutu. U prikaz opskrbe potrošača električnom energijom stranih zemalja uključena je i elektroprivreda Jugoslavije i Hrvatske, da bi se omogućila usporedba opskrbe električnom energijom drugih zemalja sa odnosima u našoj zemlji. Energetski je obuhvaćen razvoj opskrbe potrošača električnom energijom od 1961. do zaključno god. 1968, a prikaz prodajnih cijena dan je za god. 1961. i 1968. time, da se dobije uvid u razvoj prodajnih cijena duljeg vremenskog razdoblja.

Prikaz o prosječnim jediničnim prodajnim cijenama cjelokupnog konzumnog područja nekih zemalja nadopunjuje opis relevantnih faktora i tarifnih osnova i tendencija tarifiranja, elementi koji su utjecali na veličinu i strukturu prodajnih cijena električne energije u pojedinim zemljama. Gdje je bilo moguće, dan je i prikaz prosječnih regionalnih cijena, kao i njihovo odstupanje od zemaljskog prosjeka prodajnih cijena električne energije.

Rezultati komparativne analize prodajnih cijena promatranih elektroprivreda pokazali su da postoje znatne razlike ne samo u veličini tih cijena, već i u opsegu njihovih degresija i raspona u vezi s povećanjem angažirane snage i trajanja njihovog korištenja kod istovjetnih grupa potrošača. Karakteristično je, da su neto cijene za visokonaponsku potrošnju u promatranom razdoblju, uz uvaženje valutarnih promjena, ostale u Italiji i Njemačkoj nepromijenjene, u Francuskoj i Švicarskoj su porasle, dok su se cijene u Poljskoj, Jugoslaviji i Hrvatskoj čak i smanjile. Trend cijena električne energije široke potrošnje različit je u pojedinim zemljama, s osnovnom karakteristikom porasta cijena za kućanstvo.

Značajno je, da je dinamika trenda prosječnih prodajnih cijena električne energije u promatranom razdoblju različita u pojedinim elektroprivredama i da se promjene cijena pojavljuju neovisno o promjenama intenziteta relevantnih faktora što na njih djeluju.

Opseg: 164 strana, 43 tablice.

STUDIJ OPĆE ENERGETIKE

Studija za projekciju dugoročnog razvoja energetike u SR Hrvatskoj

Naručilac: Republički fond za naučni rad SR Hrvatske (za Republički zavod za planiranje SR Hrvatske)
Autor: Ivo *Jamnicki*, dipl. ing.
Rad je u toku.

Nastavio se ranije započeti rad na izradi prijedloga za dugoročnu energetsku politiku Hrvatske u optimalnom razvoju energetike Jugoslavije, i na izradi projekcije dugoročnog razvoja energetike SR Hrvatske. Izrađeni su preliminarni planovi toga razvoja s detaljnim energetskim bilancama dobave i raspodjele energije i obavljene korekcije na temelju najnovijeg, stvarnog razvoja u nas i u svijetu.

Studija će se završiti u toku 1973.

Kompjutorski upravljana postrojenja elektrana

Naručilac: Udružena elektroprivreda SR Hrvatske
Autor: Jakob *Lucati*, dipl. ing.

Udružena elektroprivreda SR Hrvatske u okviru razvojno-istraživačke djelatnosti odlučila je da područje automatizacije i kompjutorskog upravljanja uzme kao prioritetan zadatak. Kao početni rad na tom opsežnom programu upravo je izrada ove predstudije povjerena trima specijaliziranim organizacijama i to:

— Elektrotehničkom institutu »Rade Končar«, Zagreb
— Institutu za elektroprivredu, Zagreb i
— Elektroprojektu, Zagreb.

Dio koji je obradio Institut za elektroprivredu obuhvaća tehničko-ekonomske probleme regulacije, automatizacije i kompjutorskog upravljanja termoelektranama, a sastoji se od slijedećih osnovnih poglavlja:

— Uvodne analize sadašnjeg stanja tehnike na području automatskog i kompjutorskog upravljanja
— Ekonomska analiza opravdanosti primjene automatskog upravljanja i kompjutora u elektranama našeg elektroprivrednog sistema za postojeće i za nove elektrane
— Izbor tehnoloških procesa za primjenu automatskog upravljanja za razne stupnjeve automatizacije za termoelektrane s protočnim kotlom i međupregrijanjem, a pri korištenju tekućeg goriva.

Opseg: 131 strana, 36 slika i dijagrama.

Investicioni program izgradnje TE Slavonija

Naručilac: »Elektroslavonija« — Osijek
Autor: Grupa autora

Povećanjem potrošnje električne energije pojavljuje se nužnost izgradnje novih izvora. Opravdanost i redoslijed izgradnje novih izvora uvjetovana je kompleksnom tehničko-ekonomskom opravdanošću, što se ne može utvrditi bez osnovnih tehničkih i financijskih podloga.

U tu svrhu izrađen je program koji razmatra izgradnju termoelektrana na području Slavonije, i to na osnovi opreme iz SSSR-a, snage 2 × 210 MW.

Ovaj rad rađen je zajedno s Elektroprojektom.

Opseg: 550 strana, 38 slika i dijagrama.

Problemi aerozagađenja s posebnom obradom TE Rijeka — Urinj

Naručilac: Kvarnerske elektrane
Autor: Jakob *Lucati*, dipl. ing., Hrvoje *Brkić*, dipl.ing.

Dimni plinovi iz termoelektrana koje koriste gorivo sa znatnim postotkom sumpora, mogu nepovoljno utjecati na okolinu zbog sadržaja sumpornog dioksida. Ovome problemu onečišćenja okolice dimnim plinovima odnosno SO_2, posvećuje se u posljednje vrijeme opravdano velika pažnja, i poduzimaju se odgovarajući koraci za ublaženje štetnog djelovanja.

Rad je izrađen u dva dijela. Prvi dio obrađuje općenita razmatranja djelovanja SO_2 na okolinu i specifičnosti u vezi s izgaranjem tekućeg loživa u ložištima kotlova termoelektrana.

Drugi dio obuhvaća specijalna razmatranja utjecaja SO_2 za buduću termoelektranu Urinj, gdje su na osnovi teoretskih razmatranja dani proračuni koncentracije SO_2 u prizemnom sloju, ovisno o atmosferskim prilikama i udaljenosti od termoelektrane.

Opseg: 107 strana, 10 slika i dijagrama.

Primjena procesnih računala u termoelektranama

Naručilac: Kvarnerske elektrane
Autor: Mr Duško *Čorak*, dipl. ing.

U okviru potreba izgradnje novih izvora električne energije predviđa se i izgradnja termoelektrane Urinj. Na osnovi investicionog programa i pretprojekta predviđa se da će snaga te termoelektrane iznositi 2 × 250 MW s time da se izgradnja obavlja u dvije etape.

Imajući u vidu razvoj novih metoda automatizacije i načina vođenja pogona velikih blokova termoelektrana radi povećanja ekonomičnosti proizvodnje i povećanja sigurnosti rada, imperativno se nameće i nužnost korištenja najnovijih dostignuća i za naša postrojenja.

U tu svrhu je izrađena ova studija, koja daje prikaz razvoja i primjene procesnih računala u termoelektranama. Nadalje su na osnovi iskustva u DPR u raznim termoelektranama u tehnički razvijenim zemljama, te na osnovi stručnog sagledavanja autora dani prijedlozi o korištenju DPR u TE Urinj.

Opseg: 164 strane i 31 slika i dijagram.

Investicioni program izgradnje TE Dalmacija

Naručilac: Elektrodalmacija — Split
Autor: Grupa autora

Za potrebe Elektrodalmacije izrađen je skraćeni investicioni program izgradnje termoelektrane. U programu je razmatrana potreba izgranje termoelektrane na tom području, te ostale tehničko-ekonomske podloge vezane uz izgradnju i eksploataciju.

Rad je rađen zajedno s Elektroprojektom.

Opseg: 163 strane i 10 slika i dijagrama.

Analiza povoljnosti izgradnje toplifikacionog bloka 120 MW za slučaj izgradnje na lokaciji TE-TO, odnosno na lokaciji EL-TO

Naručilac: »Elektroprivreda« — Zagreb
Autor: Grupa autora
Rad je u toku.

Razvoj toplinskog konzuma na području Zagreba, gdje je predviđeno u toplifikacione svrhe koristiti centralne izvore, zahtijeva izgradnju novih kapaciteta. S obzirom na razvoj toplinskog konzuma s jedne strane, a na potražnju električne energije s druge strane, usvojena je izgradnja toplifikacionog bloka 120 MW. Izgradnja ovoga bloka dolazi u obzir ili na lokaciji EL-TO ili na lokaciji TE-TO.

Zadatak studije je da utvrdi koja je od navedenih lokacija povoljnija, pri čemu je potrebno voditi računa, uz troškove izgradnje i eksploatacije, i o ostalim činiocima koji utječu na utvrđivanje povoljnosti.

Ispitivanja energetskih postrojenja

Naručioci: Razni
Autori: Kolektiv studijske grupe

Po narudžbi termoelektrana, industrijskih poduzeća i proizvođača energetske opreme, izvršen je niz primopredajnih i eksploatacionih ispitivanja kotlova, turboagregata, turbopuhaljki i druge energetske opreme.

Svrha ovih ispitivanja je bila provjeravanje garancija što su ih dali isporučioci opreme, te dobivanje osnove za otklanjanje nedostataka i poboljšanja pogona i optimizacije.

Razni radovi

Naručioci: Razni
Autor: Kolektiv studijske grupe

Na zahtjev industrijskih poduzeća obavljala su se razna ispitivanja i intervencije na energetskim postrojenjima radi poboljšanja rada i uklanjanja manjkavosti.

U okviru ovih radova obavljalo se:

— baždarenje i kontrola protočnih instrumenata za vodu, paru, plinove itd.,
— ispitivanja korozivnog djelovanja pri loženju ložnim uljem pomoću utvrđivanja SO_2, odnosno direktnog utvrđivanja pomoću korozivne sonde,
— kontrola čađenja utvrđivanjem dimnog broja,
— ispitivanja uređaja za pripremu pojne vode,
— kontrola kvaliteta pogonskih voda,
— kontrola i ispitivanje filtera za čišćenje dimnih plinova, itd.

LABORATORIJ ZA TOPLINSKA MJERENJA

Ispitivanja električnih radijatora

Intenzivni razvoj električnih tijela za grijanje prostorija u industriji rezultirio je opsežnim razvojnim ispitivanjima i ispitivanjima kontrole kvalitete u smislu standarda, provedenim u suradnji s razvojnim odjelima tvornica. Karakteristike ovih tijela, već prema namjeni i konstrukciji, veoma su različite: od čisto konvekcijskih (s prirodnom konvekcijom) do konvekcijsko-radijacionih i akumulacionih. Dok su propisi i standardi kod svih ovih ispitivanja bili zadovoljeni, osobine grijanja nisu u cijelosti adekvatne rezultatima istraživanja, koji pokazuju da električno grijanje ima određene prednosti, iako mu je djelovanje trenutno, što mogu postići jedino tijela s prisilnom konvekcijom ili radijacijom, čiji je maksimalni intenzitet neposredno u blizini granice tamnocrvenog žara, ili akumulacioni izvori. Ovako jasno lučena svojstva nije imao ni jedan od ispitivanih izvora grijanja.

Ispitivanje radijatora s medijem nosiocem

Pojava plošnih radijatora u našoj zemlji plod je suradnje s proizvođačima i razvojnog ispitivanja, koja su kod nas provedena za radijatore »MOL«, »OLT«, Utenzilija« i »Tehnomont«. Postignut je jednaki učinak grijanja kod znatno smanjenih površina i još znatnije smanjenih težina i gabarita, zahvaljujući smišljenom vučenju profila i povećanju površine prijelaza topline u okviru manjeg volumena, pri klasičnom rasporedu strujanja medija-nosioca.

Istraživanja pojava kod energetskih konverzija za termoenergetska postrojenja

Ovaj veliki projekt radi se u suradnji s još 5 istraživačkih organizacija i to: Naučno istraživačkim institutom »Đuro Đaković«, Slavonski Brod, Elektrotehničkim institutom »Rade Končar«, Zagreb, Razvojnim odjelom Tvornice parnih kotlova, Zagreb, Razvojnim odjelom »Jugoturbine«, Karlovac i Institutom za aerodinamička i termodinamička istraživanja, Zagreb.

U okviru ovog programa obrađen je u našem Institutu problem poboljšanja hlađenja generatora u eksploataciji, njihovo bolje iskorištenje u vezi s tim, zatim su izvršene osnovne pripreme za ispitivanja problema prijelaza topline i pratećih efekata pogonskih smetnji na vertikalnom termodinamičkom ispitnom kanalu za područje temperatura do 1600 °C. Radovi su sastavni dio petogodišnjeg projekta, što ga financira Republički fond za naučni rad SRH, Udružena elektroprivreda Hrvatske i još 6 privrednih organizacija. Program za 1972. godinu je izvršen, i prvi eksperimenti na kanalu kod povišenih temperatura priređeni su za 1973. godinu.

Žarenje skrokova na prekooceanskim trajektima

Ključni specifični problemi trajekata za visoko more jesu propelerske osovine koje strše daleko izvan plitkog dijela brodskog trupa, što zahtijeva ležaje na nosačima, skrokovima od lijevanog čelika, takvih gabarita i takvih kvaliteta, da ih mogu izraditi jedino ljevaonice specijalizirane za ovakve radove, i to u dijelovima.

Zavarivanje ovih dijelova u brodogradilištima međusobno i za brodsku konstrukciju predstavlja ozbiljan specifični problem, kako zbog samih tehnoloških poteškoća istodobnog kontroliranog predgrijavanja i zavarivanja, tako i zbog opasnosti deformacija brodskog trupa uslijed dilatacija izazvanih žarenjem. Ove deformacije imaju kao blažu posljedicu promjene odnosa statičkih i dinamičkih naprezanja u brodskoj konstrukciji, i na taj način ugrožavaju sigurnost broda i njegove hidrodinamičke karakteristike i neposredno teže posljedice, jer se gubi koaksijalnost svih ležajeva brodske osovine, što onemogućuje montažu te osovine i njen rad.

Studijske analize i operativna izvedba žarenja skrokova tako su uspješno provedeni da do deformacija trupa uopće nije došlo, a koaksijalnost ležajeva osovine leži duboko unutar dozvoljenih tolerancija. Time je iz tehnološkog aspekta domaćoj brodogradnji osiguran svjetski nivo u još jednom području izgradnje transportnih plovila.

LABORATORIJ ZA VISOKI NAPON I JAKU STRUJU

Radove su obavili:

Inženjeri: Blaž *Uzelac*, Josip *Mužny*, Josip *Kučak*
Tehničari: Svetolik *Subotić*, Đuro *Juretić*, Ivan *Konfic*

Među velikim brojem naručilaca prema opsegu posla najznačajniji su:

Tvornica elektrotehničkih proizvoda TEP — Zagreb, ŽTP — Zagreb, Elektroprenos — Zagreb, Elektroslavonija — Osijek, Elektroprivreda — Zagreba, Rijeke i Dalmacije, te razna druga elektroprivredna i elektrodistributivna poduzeća iz čitave države, Energoinvest — Sarajevo, Tovarna elektroporculana — Izlake, Dalekovod — Zagreb, Radio-televizija — Zagreb, Elektrokontakt — Zagreb, Rade Končar — Zagreb, INA — Zagreb, Telefonvod — Zagreb, Rafinerija nafte — Bos. Brod, Hidroelektrana Senj, Termoelektrana Sisak, »SVIT« — Kamnik, Vojna Pošta — Split.

Radovi:

Rješavanje prenaponske zaštite za napajanje objekata na nepristupačnim mjestima

Prenaponska zaštita napajanja RTV objekta na Biokovu, I. dio
Prenaponska zaštita napajanja RTV objekta na Biokovu, II. dio

Prenaponska zaštita napajanja RTV objekta
Lička Plješivica
Prenaponska zaštita zračno-kabelskog voda
Rizvanuša — Pakos.

U elaboratima su za određene zadatke dana konkretna rješenja u skladu s danom situacijom, te najboljim ekonomsko-tehničkim rješenjem.

Predložena tehnička rješenja pokazala su se u praksi na veoma zadovoljavajući način, efikasnošću i sigurnošću pogona.

Ispitivanje kabela

Ispitivani su kabeli radi utvrđivanja kvalitete i određivanja karakterističnih konstanti.

Mjerena su svojstva izolacije izmjeničnim, istosmjernim i udarnim naponima, kao i mjerenja dielektičkih gubitaka i pojave ionizacije. Rezultati mjerenja poslužit će za usporedbu različitih konstrukcija i izvedbe kabela.

Uz ispitivanja 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 nepropusnost na mjestima brtvljenja. Također su ispitivane kabelske mase i razna ulja.

Mjerenje napona koraka i dodira

Prilikom zemljospoja ili jednopolnog spoja na uzemljivaču i u njegovoj okolini mogu se pojaviti naponi dodira i koraka opasni za ljude. Radi toga su neophodna mjerenja kojima će se takvi naponi otkriti i otkloniti odgovarajućom rekonstrukcijom uzemljivača.

Unatoč visokom specifičnom otporu tla i visokom otporu uzemljivača, pogodnim oblikovanjem uzemljivača može se postići takva raspodjela potencijala, da se ne pojavljuju opasni naponi koraka i dodira.

Ispitivanja elektrotehničke opreme i materijala

Ispitivane su sklopke, priključni pribor, niskonaponski razvodni uređaji, kondenzatori snage, automatski regulatori, prekostrujni i diferencijalni releji, visokoučinski osigurači, zaštitna iskrišta, izolatori, ovjesni materijal, stezaljke, i dr.

Ispitivani su plastični materijali, razna ulja, kabelske mase, itd.

Ovakva ispitivanja su važna, jer se njima sprečava ugradnja loših proizvoda u elektroenergetska postrojenja i postiže sigurnost pogona.

Ispitivanje prototipova opreme

Ispitivani su prototipovi pojedine opreme. Pri tome je bila osobito uspješna suradnja između Laboratorija i proizvođača, jer se nije samo formalno ukazivalo 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. Poslije toga naručilac je od Instituta dobio atest za ispitani proizvod.

Primopredajna ispitivanja

Obavljena je kontrola ispitivanja kod preuzimanja visokonaponskih sklopki, učinskih i mjernih transformatora i ostale visokonaponske opreme za elektroenergetska postrojenja.

Laboratorij je surađivao s investitorima pri izboru odgovarajuće elektrotehničke opreme za postrojenja, kao i kod formuliranja karakteristika opreme prilikom sklapanja ugovora s tvornicama.

Ispitivanja za znak kvalitete

Za znak kvalitete opreme za široku potrošnju, koji podjeljuje Savez strojarskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara ispitivale su se grijače ploče za štednjake, termoregulatori, sklopke i bojleri.

Ispitivanja odvodnika prenapona

Povremeno ispitivanje odvodnika obuhvaća kontrolu izmjeničnog i udarnog proradnog napona.

Za ocjenu stanja odvodnika prenapona neophodna su ispitivanja izmjeničnim i udarnim naponom, jer se jedino na taj način može kontrolirati njegovo ponašanje u mreži pri pojavi prenapona.

Prilikom ovakvih ispitivanja odvajaju se dotrajali odvodnici prenapona koji ne bi više osiguravali efikasnu zaštitu od prenapona, ili bi mogli uzrokovati smetnje uslijed nesposobnosti gašenja popratne struje.

Osim ispitivanja Laboratorij je u svojim radionicama izrađivao i uređaje za ispitivanja i mjerenja.

Uređaji za ispitivanje kabela IPKN-10

Ispitivanje ovim uređajima obavlja se istosmjernom strujom, što ima prednost, jer je uređaj lakši, i podesniji za pronalaženje eventualne greške u kabelu. Za što točnije ustanovljenje mjesta greške potrebno je, naime, da na tom povređenom mjestu bude što manji otpor izolacije, tj. što bolji spoj. To se postiže tzv. propaljivanjem kabela tako, da se, nakon što je ispitivanjem, ili pak za vrijeme pogona ustanovljena greška u izolaciji kabela, sa dovoljno jakom strujom i dovoljno visokim naponom, propaljuje kabel, dok se na povređenom mjestu ne postigne karbonizirani spoj minimalnog otpora. Poslije toga nije teško odrediti mjesto greške bilo kojom poznatom metodom.

Prema tome uređaj služi za ispitivanje izolacije kabela poslije polaganja. Također omogućuje brzo i točno pronalaženje mjesta greške 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 izvjesnim slučajevima njime se mogu propaljivati i kabeli do 10 kV, a da prethodno nisu obrađivani visokonaponskim dijelom uređaja IPKN-10.

Uređaj za ispitivanje releja — IR-2S

Uređaj IR-2S služi za ispitivanje i udešavanje primarnih i sekundarnih nadstrujnih releja i njihovih vremenskih članova. Uređaj se sastoji od pet prenosivih dijelova.

Iz prvog dijela može se dobiti struja jakosti 0 do 30 A, koja se u tom opsegu može kontinuirano mijenjati. Ovaj dio služi za ispitivanje i podešavanje sekundarnih releja, a priključuje se na izmjenični napon 220 kV.

Drugi dio uređaja IR-2S izveden je također u prijenosnom obliku, a služi za proizvodnju jakih struja s kojima se ispituju i podešavaju primarni releji. S pet pari stezaljki mogu se oduzimati struje slijedećih vrijednosti: 1000, 500, 250, 100 i 50 A. Ovaj dio napaja se iz već opisanog dijela uređaja, a jakost struje može se kontinuirano mijenjati unutar pet navedenih područja. Mnogi korisnici IR-2S upotrebljavaju ovaj dio kao izvor jakih struja ne samo za ispitivanje releja, već i u druge svrhe.

Uređaj za ispitivanje releja IR-3

Ovaj uređaj služi za ispitivanje i podešavanje sekundarnih nadstrujnih releja i njihovih vremenskih članova, a sastoji se od 3 prijenosna dijela i priključnih gajtana.

Prvi dio služi za proizvodnju struja od 0 do 50 A, čija se vrijednost može kontinuirano mijenjati.

Ovaj dio uređaja IR-3 može se koristiti i kao izvor reguliranog napona od 0 do 260 V. Aparatura se priključuje na izmjenični napon 220 V.

Uređaj za ispitivanje releja — posebni

Osim spomenutih uređaja izrađeni su i posebni, prema posebnim željama naručilaca i za ispitivanje primarnih releja od 2000 A, i više.

Uređaj za mjerenje napona koraka i dodira

Izrađen je uređaj, koji se sastoji iz cijevnog voltmetra, mjernih elektroda i dopunskih zaštitnih sredstava za rukovaoca.

Elektronski voltmetar, osim za mjerenje napona koraka i dodira može se, s obzirom na veliku ulaznu impedanciju, koristiti za snimanje potencijalnih lijevaka, ekvipotencijalnih linija i za mjerenje otpora uzemljenja UI-metodom.

Uređaj je smješten u ukusno izrađenoj kutiji, koja se pomoću remena objesi tako da su ispitivaču slobodne ruke za manipuliranje, pa je uređaj zbog svoje funkcionalnosti i male težine, vrlo pogodan za terenska ispitivanja.

GOD. 22 (1973) energija BROJ 5—6

ČASOPIS ZA STRUČNA I ORGANIZACIONO DRUŠTVENA PITANJA ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

TEMELJNE ZNAČAJKE FISKALNE POLITIKE U JUGOSLAVIJI U RAZDOBLJU 1965. DO 1972. GODINE I UTJECAJ NJEZINIH INSTRUMENATA NA RASPODJELU DOHOTKA U ELEKTRODISTRIBUTIVNIM PODUZEĆIMA SR HRVATSKE[1]

Jure Šimović, Zagreb

Autor raspravlja o utjecaju instrumenata fiskalne politike na ekonomiku elektrodistributivnih poduzeća, o značaju ustupljenih kamata u sredstvima za proširenu reprodukciju elektrodistribucije i o posljedicama usmjeravanja sredstava tih kamata u druge svrhe.

DK 621.31.003

1. Uvod

Fiskalna politika je jedna od vrlo važnih komponenata ekonomske politike. Nju se može definirati kao plansko podešavanje strukture i veličine društvenih prihoda i rashoda radi djelovanja na nivo dohotka, cijena i zaposlenosti.[2]

Instrumentima fiskalne politike može se uspješno djelovati na uklanjanje, odnosno na ublažavanje, konjunkturnih oscilacija, kojima je podložna svaka privreda, te na podsticanje privrednog razvoja. Primjena instrumenata fiskalne politike u otklanjanju, odnosno ublažavanju konjunkturnih oscilacija ima za cilj stabilizaciju u kretanju nacionalnog dohotka, zaposlenosti i cijena.

Da bi instrumenti fiskalne politike djelovali stabilizaciono na privredna kretanja, oni se obično koriste:

a) kao mjere koje su ugrađene u sistem i djeluju automatski. U tom slučaju sistem društvenih prihoda i rashoda postavljen je tako da u uzlaznoj fazi privrednog ciklusa društveni prihodi rastu brže od porasta narodnog dohotka, dok u silaznoj fazi privrednog ciklusa društveni prihodi opadaju bržom stopom od narodnog dohotka. U vezi s društvenim rashodima djeluje obrnut slučaj. U uzlaznoj fazi privrednog ciklusa društveni rashodi se limitiraju na određenom nivou, dok u uvjetima depresije država automatski povećava rashode, posebno one čija je granična sklonost potrošnji velika (povećanje naknada na ime nezaposlenosti). Ove mjere nazivaju se ugrađenim automatskim stabilizatorima.

b) Kao mjere koje se donose ovisno o specifičnoj situaciji u privredi (diskrecione mjere). Diskrecione mjere uglavnom služe kao nadopuna ugrađenim automatskim stabilizatorima.

c) Kao mjere koje se unaprijed planiraju, a primjenjuju se samo u slučaju kad u privredi nastupe određena kretanja. (Npr. kod određenog postotka povećanja ili smanjenja narodnog dohotka automatski se mijenjaju porezne stope). Ove mjere nazivaju se i »formula flexibility«.

2. Značajke fiskalne politike u Jugoslaviji u razdoblju 1965—1972.

Da bi se sagledao značaj fiskalne politike, i njezin utjecaj na privredna kretanja u našoj zemlji, potrebno je vidjeti koliki se dio narodnog dohotka preraspodjeljuje posredstvom instrumenata fiskalne politike. Prema raspoloživim podacima, učešće društvenih prihoda od poreza i doprinosa u narodnom dohotku, što se ubiru posredstvom instrumenata fiskalne politike, iznosio je u razdoblju od 1965. do 1971. godine kako slijedi:

Tablica 1

u milijunima d

Godina	Narodni* dohodak	Bruto naplata** poreza i doprinosa	% (3 : 2)
1	2	3	4
1965.	73.573	—	—
1966.	91.740	—	—
1967.	94.426	38.203	40,4
1968.	101.573	43.897	43,2
1969.	119.690	51.326	42,8
1970.	142.835	64.131	44,8
1971.	185.830	76.617	41,2

* Statistički godišnjak Jugoslavije 1972, str. 116
** Statistički godišnjak Jugoslavije 1972, str. 248

[1] Ovaj rad je podnijet kao referat na Fakultetu ekonomskih nauka u Zagrebu iz znanstvenog područja: »Društvene financije Jugoslavije« u listopadu 1972. godine.

[2] Pero Jurković — Zoran Jašić: *»Neka zapažanja o stabilizacionom djelovanju fiskalne politike«*, Časopis Finansije — 3—4/1971, strana 201.

Iz podataka prethodne tablice vidljivo je da fiskalna politika znatno utječe na privredna kretanja u našoj zemlji. Njezinim instrumentima se preraspodjeljuje preko 40% narodnog dohotka s napomenom, da je udio društvenih prihoda u narodnom dohotku u svim godinama od 1967. do 1971. veći nego u samoj 1967. godini.

Ako promatramo postotke porasta narodnog dohotka i postotke porasta bruto naplata poreza i doprinosa vidimo da su u razdoblju od 1968. do 1972. godine imali ovakva kretanja:

Tablica 2

Godina	Postotak porasta narodnog dohotka	Postotak porasta prihoda od poreza i doprinosa
1968/1967.	7,5	14,9
1969/1968.	17,8	16,9
1970/1969.	19,3	24,9
1971/1970.	30,1	19,4

Podaci pokazuju da je u 1969. i 1971. godini vođena takva fiskalna politika koja je trebala podsticati privredni razvoj (brži porast dohotka od porasta društvenih prihoda), dok je ona u 1968. i 1970. imala restriktivni karakter (sporiji porast narodnog dohotka od porasta društvenih prihoda).

3. Utjecaj instrumenata fiskalne politike na raspodjelu dohotka u elektrodistributivnim poduzećima SR Hrvatske

Prije nego se daju analize o utjecaju instrumenata fiskalne politike na raspodjelu dohotka u elektrodistributivnim poduzećima potrebno je nešto reći o osnovnim karakteristikama elektroprivredne djelatnosti, tj. o elektroprivrednim poduzećima koja se bave proizvodnjom, prijenosom i posebno distribucijom električne energije.

Električna energija ima specifične potrošne karakteristike, koje se očituju u istodobnosti proizvodnje i potrošnje. Zbog svojih izvanrednih svojstava jednostavne pretvorbe u razne druge oblike energije i zbog svestranosti njezine primjene, električna energija sve više proširuje područje svoje primjene i postaje neizostavni i nezamjenjivi energetski faktor suvremenog društva.

S izrazitim infrastrukturnim obilježjima, te velikim investicionim sredstvima što ih zahtijeva njihov razvoj, elektroprivredna poduzeća igraju danas ulogu faktora koji umnogome određuje prirodu i intenzitet privrednog razvoja. Danas je električna energija prodrla duboko u privredni i društveni život, tako da je postala jedna od presudnih faktora daljnjeg uspješnog razvoja.

Elektrodistributivna poduzeća SR Hrvatske snabdijevaju više od 1,2 milijuna potrošača, počevši od velikih industrijskih na 35 kV napona, pa do brojnih potrošača kućanstva na 0,4 kV naponu. Nakon nepotpune revalorizacije u 1971. god., nabavna vrijednost osnovnih sredstava elektrodistributivnih poduzeća SR Hrvatske iznosila je 4,6 milijardi dinara, a broj zaposlenih radnika iznosio je 7.761. Prema tome, rad i razvoj elektrodistributivnih poduzeća usko je povezan s radom i razvojem svih društvenih aktivnosti, kako u velikim gradskim i industrijskim naseljima, tako i s onim najmanjim, seoskim. Rad i razvoj elektrodistributivnih poduzeća stoga nije neovisan, već je nužno uvjetovan privrednim i društvenim razvojem jedne sredine. Zbog toga je i razumljivo da se danas, kod međusobnog uspoređivanja stupnja razvoja pojedinih zemalja, potrošak električne energije po stanovniku uzima kao jedan od najvažnijih usporednih pokazatelja.

Prethodno navedeni podaci pokazuju da elektrodistributivna poduzeća karakteriziraju s jedne strane velika osnovna sredstva koja angažira njihov proces proizvodnje, a s druge strane, relativno mali broj zaposlenih radnika. Ova dva faktora čine da instrumenti fiskalne politike s nešto drugačijim intenzitetom i strukturom utječu na preraspodjelu njihovog dohotka.

Instrumenti fiskalne politike, kojima se preraspodjeljuje dohodak radnih organizacija radi pokrića općih društvenih potreba su slijedeći:

— kamate na poslovni fond
— porez na promet
— doprinos za obnovu i izgradnju Skopja odnosno Banje Luke
— dodatni doprinos za socijalno osiguranje
— doprinos za korištenje gradskog zemljišta
— vodni doprinos
— doprinos za zajedničke rezerve radnih organizacija
— doprinosi iz osobnih dohodaka, te
— ostale zakonske obveze.

Da bi vidjeli u kojoj mjeri neki od ovih instrumenata fiskalne politike djeluje na preraspodjelu dohotka u elektrodistributivnim poduzećima SR Hrvatske daju se analitički podaci za 1968. i 1971. godinu:

Podaci u tablici 3 i 4 pokazuju da je instrumentima fiskalne politike zahvaćeno u 1968. godini 32,99% dohotka elektrodistributivnih poduzeća, dok je taj postotak u 1971. godini iznosio 26,12%. Manje učešće fiskalnih obveza u dohotku elektrodistributivnih poduzeća u 1971. godini rezultat je uglavnom smanjenih stopa doprinosa iz osobnih dohodaka.

Isto tako je iz podataka vidljivo da instrumenti fiskalne politike zahvaćaju manji dio dohotka u elektrodistributivnim poduzećima od prosjeka tog zahvaćanja u ostaloj privredi. Koji su tome razlozi?

Da bi se dao odgovor na postavljeno pitanje potrebno je dati pojedinačan osvrt na najvažnije instrumente fiskalne politike, i utvrditi zašto baš oni u takvom intenzitetu djeluju na preraspodjelu dohotka u elektrodistributivnim poduzećima.

Raspodjela dohotka elektrodistributivnih poduzeća SR Hrvatske u 1968. godini uvjetovana instrumentima fiskalne politike

Tablica 3

000 D

Redni broj	Elementi	Elektrodistributivna poduzeća (odnosno pogoni)													Ukupno elektrodistribucija SRH	% učešća pojedinih obveza u dohotku
		Karlovac	Osijek	Pula	Rijeka	Sisak	Split	Zagreb	Bjelovar	Čakovec	Koprivnica	Križ	Varaždin	Zabok		
1.	Društv. proizvod	22.125	60.541	27.235	60.452	13.487	82.944	72.943	8.293	5.494	10.417	13.659	10.210	9.398	397.198	
2.	Prosječ. korištena osnov. sred.	79.594	157.578	66.640	148.148	45.853	239.421	167.822	29.624	15.621	34.646	58.824	31.440	30.274	1105.485	
3.	Prosječan broj zaposlenih	470	1.215	504	642	297	1.544	1.306	176	106	169	295	212	203	7.139	
4.	Dohodak (odnosno neto produkt)	15.810	44.113	19.814	38.442	9.842	62.560	51.052	5.370	3.944	7.295	8.351	6.952	6.641	280.186	100,00
5.	Porezi i doprinosi	5.604	9.201	5.805	13.211	4.543	21.005	18.459	2.135	1.444	2.542	3.440	2.898	2.148	92.435	32,99
—	kamate na poslovni fond	1.297	8	—	6.162	1.776	4.890	4.058	672	364	820	1.090	712	685	22.534	8,04
—	porez na promet	7	14	17	203	129	190	1.215	26	35	17	4	94	15	1.966	0,71
—	doprinos za Skopje (B. Luku)	140	204	209	383	78	618	497	44	38	70	60	60	61	2.462	0,88
—	dodatni doprinos za soc. osigur.	52	255	125	145	117	308	706	7	22	12	84	96	—	1.929	0,69
—	doprinos za korištenje grad. zemlj.	22	60	33	—	13	122	—	—	1	—	—	—	5	256	0,09
—	vodni doprinos	71	9	3	27	1	134	10	1	1	2	2	1	1	263	0,09
—	doprinos za zajed. rezerve	182	636	236	672	74	738	615	34	45	86	15	44	93	3.470	1,24
—	doprinosi iz osob. dohodaka	3.716	8.015	4.907	5.346	2.259	13.330	10.968	1.324	913	1.522	2.171	1.825	1.282	57.578	20,55
—	ostale zakon. obveze	117	—	275	273	96	675	390	27	25	13	14	66	6	1.977	0,70
6.	Neto osob. dohoci	6.798	15.965	9.299	10.437	4.046	26.321	21.067	2.556	1.700	2.863	3.928	3.329	2.527	110.836	39,56
7.	Izdvajanja za fondove (posl., rezervni i fond zajed. potr)	3.345	19.022	4.605	12.547	1.300	15.386	12.549	675	843	1.705	623	971	1.096	74.667	26,65

1. Podaci uzeti iz završnih računa poduzeća za 1971. godinu
2. Podaci za Split dani u sumaru sa pogonima Dubrovnik, Šibenik i Zadar

Raspodjela dohotka elektrodistributivnih poduzeća SR Hrvatske u 1971. godini uvjetovana instrumentima fiskalne politike

Tablica 4

000 D

Redni broj	Elementi	Ejektrodistributivna poduzeća (odnosno pogoni)													Ukupno elektrodistribucija SRH	% učešća pojedinih obveza u dohotku
		Karlovac	Osijek	Pula	Rijeka	Sisak	Split	Zagreb	Bjelovar	Čakovec	Koprivnica	Križ	Varaždin	Zabok		
1.	Društv. proizvod	37.938	96.972	45.186	77.107	24.648	140.889	131.169	12.904	8.665	19.086	21.339	19.137	15.156	650.196	
2.	Prosječ. korištena osnov. sred.	90.923	241.300	93.531	219.454	55.448	337.183	225.037	34.103	25.627	42.883	67.834	36.684	34.820	1504.727	
3.	Prosječan broj zaposlenih (sati rada)	551	1.361	545	675	339	1.779	1.328	177	102	185	305	210	204	7.761	
4.	Dohodak (odnosno neto produkt)	29.396	72.518	35.025	61.698	19.582	109.169	94.138	9.309	6.323	14.861	14.598	14.690	11.690	492.997	100,00
5.	Porezi i doprinosi	8.557	18.439	7.102	17.599	6.816	30.579	21.065	3.056	1.776	3.159	3.571	3.739	3.306	128.764	26,12
—	kamate na poslov. fond	847	4.700	—	8.095	2.587	8.024	5.485	805	547	564	16	965	882	33.517	6,80
—	porez na promet	7	—	11	25	—	74	346	32	68	—	—	99	—	662	0,14
—	doprinos za Skoplje (B. Luku)	127	292	130	180	80	417	332	41	23	47	72	53	50	1.844	0,37
—	dodatni doprinos za soc. osigur.	342	415													
—	doprinos za korištenje grad. zemlj.	24	151	96 37	503 14	295 59	1.239 92	596 137	140 6	71 1	89 4	121 20	152 —	1 13	4.060 558	0,82 0,11
—	vodni doprinos	60	10	5	24	1	122	10	1	1	1	1	2	1	239	0,05
—	doprinos za zajed. rezerve	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	doprinosi iz osob. dohotka	6.737	11.960	6.419	8.247	3.557	19.283	13.108	1.902	997	2.376	3.087	2.310	2.202	82.185	16,67
—	ostale zakonske obveze	413	911	404	511	237	1.328	1.051	129	68	78	254	158	157	5.699	1,16
6.	Neto osobni dohoci	13.149	27.971	13.667	19.019	8.222	48.993	33.070	4.529	2.515	4.826	6.756	5.368	5.001	193.086	39,17
7.	Izdvajanja za fond (poslov., rezervni i fond zajed. potr.)	5.157	15.004	11.213	22.425	2.107	24.678	36.305	1.214	1.587	5.361	1.678	4.016	2.226	132.971	26,97

1. Podaci uzeti iz završnih računa poduzeća za 1971. godinu
2. Podaci za Karlovac sadrže i podatke za »Elektroliku« Gospić
3. Podaci za Split dani u sumaru s pogonima Dubrovnik, Šibenik i Zadar

Porez na promet. Iako se ovim fiskalnim instrumentom skupljaju znatna sredstva društvenih prihoda, on kod elektrodistributivnih poduzeća predstavlja beznačajnu stavku. Razlog leži u tome što je osnovni predmet poslovanja elektrodistributivnih poduzeća — promet električne energije — oslobođen plaćanja poreza na promet. Porezne obveze koje elektrodistributivna poduzeća plaćaju odnose se na neke sporedne djelatnosti, kojima se bave, ali te obveze predstavljaju beznačajnu stavku u njihovom ukupnom poslovanju (0,14% u odnosu na dohodak u 1971. godini).

Doprinosi iz osobnog dohotka predstavljaju instrument fiskalne politike koji najjače djeluje na preraspodjelu dohotka u elektrodistributivnim poduzećima. Ovim instrumentom fiskalne politike preraspodjeljeno je 16,7% dohotka, što predstavlja 64% od ukupnih fiskalnih obveza elektrodistributivnih poduzeća u 1971. godini.

Valja napomenuti da ovaj instrument fiskalne politike teže pogađa radno intenzivnije grane i poduzeća, kao i ona poduzeća kod kojih je učešće osobnih dohodaka u dohotku veće, što se dobro može vidjeti iz tablica 3 i 4.

Kamate na poslovni fond

Ovim instrumentom fiskalne politike preraspodjeljeno je u 1968. godini 8,04%, a u 1971. godini 6,7% dohotka elektrodistributivnih poduzeća. To je predstavljalo 24% u 1968. i 26% u 1971. godini od ukupnih fiskalnih obveza, što su ih platila elektrodistributivna poduzeća.

Sredstva kamata na poslovni fond, koja su do kraja 1971. godine plaćala elektrodistributivna poduzeća, predstavljala su prihod općinskih budžeta, a namjena tih sredstava bila je uglavnom u rješavanju raznih komunalnih investicionih problema. Međutim, zbog stalnog rasta potrošnje električne energije, uzrokovane rastom i razvojem privrede i standarda, primoravalo je i elektrodistributivna poduzeća na stalna ulaganja znatnih sredstava u nova elektrodistributivna postrojenja. Ali, financijska sredstva kojima su raspolagala elektrodistributivna poduzeća, uključujući tu i kreditna, nisu bila dovoljna da prate porast potrošnje električne energije. Nedostatak financijskih sredstava dovodio je često puta do provizornih investicionih rješenja, u kojima su elementi sigurnosti i kvalitete snabdijevanja potrošača imali sporedni značaj.

Ovakva, samo provizorna energetska rješenja dovodila su nužno do čestih prekida snabdijevanja potrošača i odstupanja od nominalnog napona i frekvencije, što se negativno odražavalo na privredu kao cjelinu. Poremećaji u snabdijevanju električnom energijom stvaraju poremećaje u proizvodnji i ostalim društvenim aktivnostima, a njihove posljedice su veće ili manje privredne štete kod elektrodistributivnih poduzeća, i daleko veće kod brojnih potrošača električne energije. Zato se danas u svijetu, a to će biti nužno i kod nas, posebna pažnja posvećuje pitanju normalne* opskrbe potrošača električnom energijom.

Da bi se donekle prikazalo pravo energetsko stanje u kojem posluju elektrodistributivna poduzeća SR Hrvatske navode se samo dva elementa koja ilustriraju situaciju u 1968. godini:*

»1. Više od 50% transformatorskih stanica 35/10 kV napona, koje čine čvorne točke elektrodistributivne mreže i od kojih svaka snabdijeva po nekoliko tisuća potrošača, ima dovod energije samo s jedne strane, tako da svaki neočekivani prekid ili redoviti remont neminovno dovodi do prekida snabdijevanja velikog broja potrošača. Stvarna sigurnost snabdijevanja potrošača iz mreže 35 kV napona još je i znatno manja, jer oko 40% svih transformatorskih stanica na tom naponskom nivou ima ugrađen samo jedan transformator. Svaki kvar, ispad ili remont transformatora u tim stanicama ima iste posljedice kao i prekid dovoda energije do stanice.

2. Loše naponske prilike posebno karakteriziraju mrežu niskog napona na 0,4 kV. Rezultati mjerenja naponskih prilika u mreži niskog napona jednog velikog grada pokazuju da se od 100 izvršenih mjerenja na različitim mjestima, u 49 slučajeva minimalni napon kretao u granicama od 170 do 200 volti, a varijacije napona su iznosile 28%. U 32 slučaja minimalni napon je iznosio između 140 i 170 volti, a varijacije napona 36%. U ostalih 19 slučajeva zabilježene su još lošije naponske prilike.«

Uočavajući takvu energetsku situaciju, koja je rezultat neadekvatnih investicionih ulaganja, mnoge su općinske skupštine oslobađale — djelomično ili u cijelosti — elektrodistributivna poduzeća od plaćanja kamata na poslovni fond.

Da su elektrodistributivna poduzeća u 1971. godini plaćala obveze po kamatama na poslovni fond u punom iznosu (3,5% na iznos poslovnog fonda), one bi iznosile:

Prema podacima općinske skupštine su u 1971. god. ustupile 31.708 tisuća dinara elektrodistributivnim poduzećima SR Hrvatske ili 49% od ukupnih obveza po kamatama na poslovni fond. Neke općinske skupštine oslobodile su elektrodistributivna poduzeća plaćanja kamata na poslovni fond u cijelosti (Pula, Križ), dok je poduzeće u Sisku platilo ove obveze u cijelosti.

Potrebno je svakako naglasiti da su i sredstva koja su elektrodistributivna poduzeća uplaćivala u općinske budžete na ime obveza po kamatama na poslovni fond, vraćana kao dugoročna kreditna sredstva pod relativno povoljnim kondicijama elektrodistributivnim poduzećima.

* Pod normalnom opskrbom potrošača ne misli se ovdje na apsolutni kvalitet i sigurnost u snabdijevanju, nego takav stupanj kvalitete i sigurnosti, koji se može postići ekonomski opravdanim ulaganjem sredstava.

Tablica 5

000 Din

Redni broj	Poduzeće odnosno pogon	Prosječan iznos poslov. fonda u 1971. godini[1]	Iznos obveza po kamatama na poslovni fond u slučaju da ih poduzeća u cijelosti plaćaju	Stvarno uplaćen iznos kam. na poslovni fond u 1971.	Iznos ustupljenih kam. na poslovni fond u 1971. god. (4—5)
1	2	2	4	5	6
1.	Karlovac[2]	117.382	4.108	847	3.261
2.	Osijek	309.530	10.833	4.700	6.133
3.	Pula	104.103	3.643	—	3.643
4.	Rijeka	253.062	8.857	8.095	762
5.	Sisak	73.914	2.587	2.587	—
6.	Split[3]	384.132	13.444	8.024	5.420
6.	Zagreb	295.876	10.356	5.485	4.871
8.	Bjelovar	45.619	1.597	805	792
9.	Čakovec	30.369	1.063	547	516
10.	Koprivnica	61.685	2.159	564	1.595
11.	Križ	83.730	2.930	16	2.914
12.	Varaždin	54.458	1.906	965	941
13.	Zabok	49.789	1.742	882	860
14.	Elektrodistribucija Hrvatske	1.863.649	65.225	33.517	31.708

1 — Prosječan iznos poslovnog fonda u 1971. god. izračunat je na osnovi 12-mjesečnog prosjeka, bez efekata revalorizacije osnovnih sredstava provedene 31. 12. 1971. god.

2 — Podaci za Karlovac obuhvaćaju i podatke za Gospić.

3 — Podaci za Split obuhvaćaju i podatke pogona Dubrovnika, Šibenika i Zadra.

Međutim, kamate na poslovni fond su, kao fiskalni instrument, nestale u 1972. godini. Umjesto njih, sve privredne organizacije su dužne izdvojiti i plaćati sredstva zajma za kreditiranje bržeg razvoja privredno nedovoljno razvijenih republika i SAP Kosovo.

Osnovicu za godišnju uplatu zajma čine sredstva poslovnog fonda privredne organizacije prema stanju iskazanom u završnom računu godine za koju se zajam obračunava. Zbog visokog koeficijenta provedene revalorizacije osnovnih sredstava s 31. 12 1971. godine i zbog novih investicija u 1972. godini, elektrodistributivna poduzeća SR Hrvatske imat će u 1972. godini veliko povećanje poslovnog fonda, što će se nužno odraziti i na povećanje obveza po zajmu za nerazvijene republike i SAP Kosovo.

Iako se sredstva zajma za nerazvijene republike i SAP Kosovo bilančno prikazuju kao sredstva poduzeća, ona su zapravo otuđena, s tim da će se poduzećima početi vraćati tek nakon 3 godine od dana uplate u dvanaest jednakih godišnjih rata sa 4% kamata godišnje. To zapravo znači da će sredstva zajma, uplaćena u 1972. godini biti u cijelosti vraćena poduzećima u narednih 15 godina.

Ovaj fiskalni instrument će posebno teško pogoditi elektrodistributivna poduzeća. Prema proračunima, obveze elektrodistributivnih poduzeća na ime zajma za nerazvijene republike i SAP Kosovo iznosit će u 1972. godini 31.690 tisuća dinara. Iako na prvi pogled izgleda da je taj iznos nešto manji od stvarno uplaćenog iznosa po kamatama na poslovni fond u 1971. godini, on će se negativno odraziti na financiranje proširene reprodukcije elektrodistributivnih poduzeća.

Naime, sredstva kamata na poslovni fond koja su do 1972. godine uplaćivala komunalna poduzeća u općinske budžete, jednim velikim dijelom su bila usmjerena za financiranje proširene reprodukcije elektrodistributivnih poduzeća. Krediti koji su iz tih sredstava odobravani elektrodistributivnim poduzećima bili su često puta daleko veći nego što su iznosile njihove uplate, a odobravani su obično pod daleko povoljnijim kondicijama, nego ih se inače moglo dobiti od poslovnih banaka (rok otplate 10 godina uz 3% kamata godišnje).

4. Zaključak

Iz iznijetih razmatranja može se zaključiti slijedeće:

— Elektrodistributivna poduzeća karakteriziraju s jedne strane velika osnovna sredstva, koja angažira njihov proces proizvodnje, a s druge strane relativno mali broj zaposlenih. Ova dva faktora utječu da instrumenti fiskalne politike s nešto drugačijim intenzitetom i strukturom utječu na preraspodjelu njihovog dohotka. Zbog relativno malog broja zaposlenih i zbog relativno malog učešća osobnih dohodaka u dohotku elektrodistributivnih poduzeća, doprinosi iz osobnog dohotka vrše manju preraspodjelu dohotka elektrodistributivnih poduzeća, nego što je to slučaj kod radno intenzivnih radnih organizacija.

— Zbog neriješenog financiranja proširene reprodukcije elektrodistributivnih poduzeća, fiskalni instrument, kamata na poslovni fond, nije u potpunosti primjenjivan. Općinske skupštine, čiji prihod su predstavljala sredstva kamata na poslovni fond djelomično su, ili u cijelosti, oslobađala elektrodistributivna poduzeća od plaćanja ovih obveza.

— I onaj dio sredstava, koja su elektrodistributivna poduzeća plaćala na ime kamata

na poslovni fond, vraćena su elektrodistributivnim poduzećima kao dugoročna kreditna sredstva pod relativno povoljnim kondicijama.

— Usmjeravanjem kamata, na poslovni fond komunalnih poduzeća kao zajam za brži razvoj nedovoljno razvijenih republika i SAP Kosovo, teško će pogoditi cijelu komunalnu privredu, a time i elektrodistributivna poduzeća.

Literatura:

1. P. Jurković — Z. Jašić: *»Neka zapažanja o stabilizacionom djelovanju fiskalne politike«*, »Finansije« — 3—4/1971.
2. Z. Jašić: *»Budžet i fondovi kao instrumenti financiranja infrastrukture«*, »Ekonomski pregled« — 12/1971.
3. Z. Jašić: *»Uloga fiskalne politike u ostvarivanju ciljeva stabilizacione i razvojne politike«*, Zagreb, lipnja 1972.
4. P. Jurković: *»Neki elementi za ocjenu inflatornog djelovanja fiskalne politike u razdoblju 1964—1971«*, Ekonomski institut, Zagreb.
5. P. Jurković: *»Osvrt na neke slabosti fiskalnog sistema i fiskalne politike iz aspekta zapošljavanja«*, referat na savjetovanju »Stanovništvo, emigracija i zaposlenost u Hrvatskoj«, Zagreb, 12. i 13.. siječnja 1971.
6. J. Šimović: *»Osvrt na investiciona ulaganja u elektroprivredna postrojenja u razdoblju od 1965. do 1968«*, referat na »VI Savjetovanju ekonomista 1969.« i časopis »Energija« 11—12/1969.
7. *»Novi nivo i režim cijena električne energije na mreži razvoda i distribucije SR Hrvatske«*, Zagreb, listopada 1968. Poslovno udruženje poduzeća za distribuciju električne energije SR Hrvatske.
8. H. Požar: *»Valorizacija snage i energije elektrana kao osnova za raspodjelu prihoda sistema«*, Institut za elektroprivredu Zagreb, 1967.
9. J. Bendeković: *»Model proširene reprodukcije u elektroprivredi u samoupravnim društvenim odnosima«*, »Energija« 11—12/1969.
10. M. Weber: *»Posljedice nekvalitetne isporuke električne energije«*, Institut »Milana Vidmarja«, Ljubljana 1969.
11. *»Struktura investicija po fazama prerade električne energije na instalirani MW u elektrani«*, Zagreb 1967. Institut za elektroprivredu Zagreb.
12. *»Položaj i uloga elektroprivrede i mehanizam njenog funkcioniranja i reprodukcije u našem samoupravnom društveno-ekonomskom sistemu«* (drugo dopunjeno izdanje). Zagreb 1970. Poslovno udruženje elektroprivrednih organizacija SR Hrvatske i Poslovno udruženje energetike SR Slovenije.
13. *Završni računi elektrodistributivnih poduzeća SR Hrvatske za 1968. i 1971. godinu.*
14. *Statistički godišnjak Jugoslavije za 1972.*
15. *Zakon o sredstvima obvezatnog zajma za kreditiranje bržeg razvoja privredno nedovoljno razvijenih republika i SAP Kosovo* (Služb. list SFRJ, br. 33/1971).

Naslov pisca: Jure Šimović, dipl. ecc.
»Elektra« — Zagreb

Hidroelektra

GRAĐEVNO PODUZEĆE

ZAGREB, LESKOVAČKA 10, TEL. 512-122

IZVODI SVE VRSTE NISKOGRADNJE I INDUSTRIJSKE GRADNJE

Od osnutka 1. IV 1946. do danas izvodilo je u SR Hrvatskoj slijedeća energetska postrojenja:

- HIDROELEKTRANA »NIKOLA TESLA« (VINODOL)
- HIDROELEKTRANA »OZALJ II«
- HIDROELEKTRANA »ZAVRELJE« (MLINI)
- HIDROELEKTRANA »GOJAK«
- HIDROELEKTRANA »SPLIT I« (SUDJELOVANJE)
- HIDROELEKTRANA »SENJ« (SUDJELOVANJE)
- HIDROELEKTRANA »RIJEKA«
- HIDROELEKTRANA »ORLOVAC« (SUDJELOVANJE)
- HIDROELEKTRANA »VARAŽDIN« (U TOKU)
- TERMOELEKTRANA-TOPLANA ZAGREB (SUDJELOVANJE)
- TERMOELEKTRANA SISAK (SUDJELOVANJE)
- TERMOELEKTRANA PLOMIN (SUDJELOVANJE)

STVARANJE POGONSKE ORGANIZACIJE I IZOBRAZBA KADROVA U TERMOELEKTRANI SISAK

Drago Dragičević, Zagreb

Za novu TE Sisak instalirane snage 210 MW dana je organizaciona shema i prikazana izrada programa izobrazbe kadrova. Iznesene su poteškoće u popunjavanju kadrovima, a na kraju je prikazana struktura kadrova i konkretni troškovi izobrazbe.

DK 621.311.22.00

Uvod

Izgradnja TE Sisak započeta je polaganjem kamena temeljca 8. srpnja 1967. godine, a prvo uključenje elektrane u jugoslavenski elektroenergetski sistem obavljeno je 3. listopada 1970. Detaljni tehnički podaci o elektrani, kao i rezultati pokusnog pogona dani su u člancima objavljenim u Energiji 11—12, 1971. i Elektroprivredi, 5—6 1972. Formiranje pogonske organizacije je započeto 25. ožujka 1968.

Već se iz podataka vidi, da je formiranje pogonske organizacije počelo jednu godinu kasnije nego što je to uobičajeno i potrebno, pa je stoga trebalo uložiti dodatne napore, da bi se na vrijeme pronašli, odabrali i izobrazili radnici za poslove oko dovršenja elektrane, iskorištenja i održavanja postrojenja.

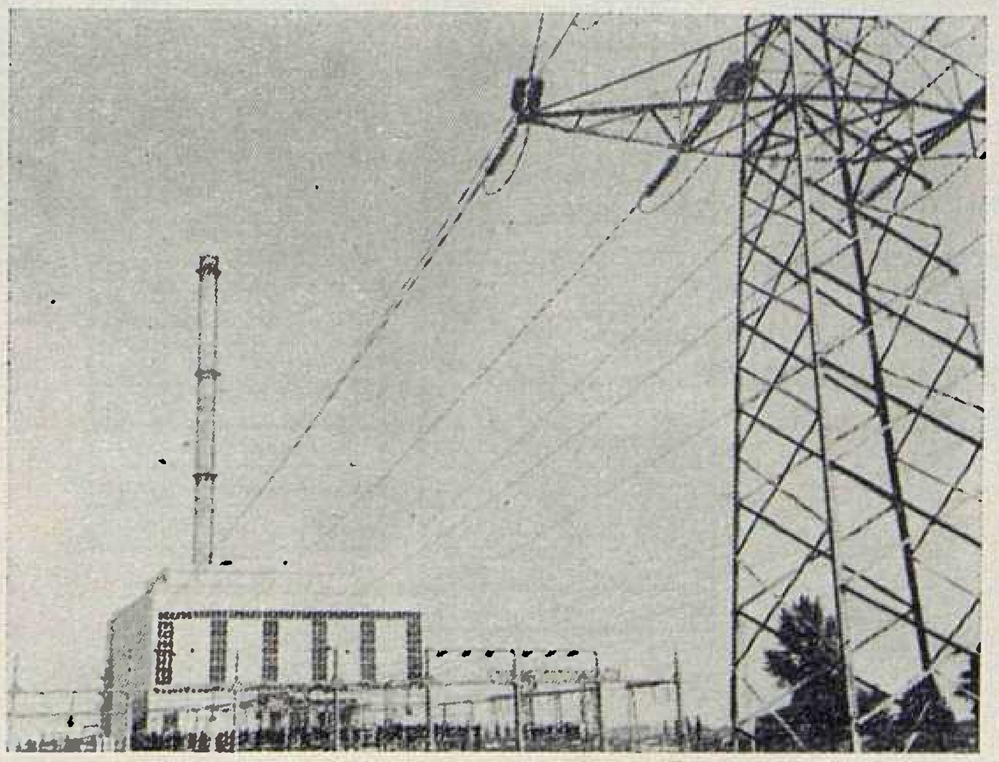
Drugi stjecaj nepovoljnih okolnosti, koji je otežao efikasnije i brže donošenje pojedinih odluka jest činjenica, da pogonska organizacija do 8. srpnja (kada je bio konstituiran Izvršni odbor TE Sisak s odgovarajućim nadležnostima) nije bila samostalna, već je u donošenju svih važnijih odluka bila vezana na odgovarajuće službe i organe u matičnom poduzeću, što je otežavalo ubrzaniji rad na formiranju pogonske organizacije. Daljni činitelj, koji je nepovoljno utjecao na odvijanje poslova izgradnje i formiranja pogonske organizacije je činjenica, da se u tim godinama naše poduzeće nalazilo u fazi integracije, tj. stvaranja centralnih službi, koje su se upravo tada uhodavale, pa nisu mogle efikasnije pomagati u rješavanju mnogobrojnih problema. Te probleme nije lako i jednostavno razrješavati, naročito u formiranju i izgradnji jedne nove organizacije. Konačno valja naglasiti, da organizacija koja je vodila izgradnju elektrane i pogonska organizacija, nisu bile objedinjene, što je ponekad otežavalo rad. Bez navođenja ovih činjenica nemoguće je ispravno ocijeniti sve poslove, teškoće i postignute rezultate, i dobiti zaokruženu sliku naših iskustava, koja će se korisno upotrijebiti u sličnim poslovima.

Osnovni zahtjev u tehničko-ekonomskom pogledu, koji se postavlja termoelektrani jest sigurnost proizvodnje električne energije. Termoelektrana mora razvijati električnu snagu u svakom momentu u skladu s veličinom električnog opterećenja, što ga preuzima. Za bilo koje razdoblje (mjesec, godina) termoelektrana mora proizvesti planom predviđenu količinu električne energije. Sigurnost rada postiže se prije svega stalnim radom njenih postrojenja bez kvarova i zastoja i pravovremenim uklanjanjem smetnji, koje bi uzrokovale smanjenje snage postrojenja.

Povećanju sigurnosti rada TE znatno pridonosi slijedeće:

- visoka kvaliteta svih postrojenja elektrane i kvalitetna montaža s pažljivom provedbom svih predviđenih ispitivanja;
- visoki tehnički nivo iskorištenja postrojenja elektrane, provedba kvalitetnog preventivnog održavanja i kapitalnog remonta;
- opremljenost elektrane suvremenim aparatima kontrole i automacije tehnološkog procesa;
- visoka kvalifikaciona struktura osoblja elektrane i
- pravovremeno posjedovanje rezervnih dijelova i potrošnog materijala.

Izvanredno značenje za veću sigurnost i ekonomičnost rada postrojenja ima neprekidno povećanje kulture iskorištenja postrojenja. Tamo gdje nema borbe za visoku kulturu održavanja i iskorištenja postrojenja, tamo ne može biti sigurnosti i visokoekonomičnog rada postrojenja. Visoka kultura iskorištenja postrojenja je prije svega održavanje cijelog postrojenja u ispravnom tehničkom stanju, bezuvjetno ispunjavanje svih tehničkih uputa i režima rada koji osiguravaju siguran i ekonomičan rad osnovnog i pomoćnog postrojenja, pri čemu radna disciplina mora uvijek biti



Pogled na TE Sisak

na visini, jer bez nje i stalnog obnavljanja i proširenja znanja svakog zaposlenog u elektrani ne može biti uspjeha koji se priželjkuje.

Rad u termoelektrani je složen, odgovoran, težak i relativno mali broj ljudi u jednoj smjeni rukuje postrojenjima velike osnovne vrijednosti. Suvremeni, veliki agregati karakterizirani su velikim brojem sastavnih dijelova koji podliježu kontroli, brizi i upravljanju pri normalnoj eksploataciji, i u prelaznim režimima rada. Tako veliki, suvremeni blok ima 500—600 kontrolnih točaka, 80—120 regulacionih krugova i oko 500 organa upravljanja.

Pitanje sigurnosti rada velikih kotlova i turboagregata dobiva danas veliko značenje. Iskustvo mnogih zemalja pokazuje da rastu teškoće osiguranja visokog stupnja spremnosti elektrane u odnosu na povećanje snage agregata i parametara pare. Uzroci sniženja sigurnosti rada agregata intenzivno se izučavaju.

Ovih nekoliko riječi o karakteristikama suvremenih termoelektrana upućuju prije svega na to, da se mora poklanjati izuzetna pažnja izboru i osposobljavanju zaposlenog kadra, jer je najveće dobro u svakom poduzeću, a posebno u energetici, radnik - stručnjak, majstor svog posla, o kojem direktno ovise svi naši radni rezultati u iskorištenju i održavanju postrojenja, tj. proizvodnji električne energije.

1. Definiranje organizacione sheme i izrada programa izobrazbe

Među prvim poslovima bili su: definiranje organizacione sheme, određivanje stručnog profila radnika, izrada programa izobrazbe pogonskog osoblja, prikupljanje i odabiranje potrebnih radnika, provedba programa izobrazbe, izrada uputa za rad na radnom mjestu, pogonskih uputa, izrada operativno-tehničke dokumentacije, formiranje radionica i laboratorija, određivanje i pribavljanje potrebnih rezervnih dijelova, stvaranje potrebnih uvjeta za rad radnika, kao što su stanovi, prehrana, zaštita na radu, prijevoz radnika na posao i s posla i mnogobrojni poslovi, što su uslijedili iz tehnologije rada.

S obzirom da u to vrijeme nije radila u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu ni jedna pogonska jedinica nazivne snage 210 MW, to nije postojalo nikakvo iskustvo o radu s tim jedinicama, pa je organizaciona shema sačinjena prema sl. 1 u minimalnom opsegu, kako bi se normalno mogao započeti i odvijati rad na izgradnji pogonske organizacije.

Plan izobrazbe kadrova mogao se naprotiv detaljnije izraditi, što je i učinjeno. Program je predviđao koje kadrove treba uputiti na specijalizaciju u SSSR, koje na praksu u naše TE. Predviđeno je održavanje internih stručnih seminara, direktno učešće u nadzoru izgradnje, učešće u montaži, pregledima, revizijama, ispitivanjima i vođenju pokusnog rada i pokusnog pogona postrojenja.

Plan i program izobrazbe, koji su detaljno predvidjeli sve tokove izobrazbe pogonskog osoblja, odobrio je Centralni radnički savjet poduzeća.

Početkom travnja 1968. osnovana je stručna komisija od najmjerodavnijih ljudi u poduzeću, koja je odabrala 15. svibnja 1968, zajedno s direktorom pogona, šefove odjela, poslovođe i tehničare, koji su kasnije na čelu s direktorom pogona nastavili obavljati sve poslove oko definira-

PRVA ORGANIZACIONA SHEMA TE SISAK PRIHVAĆENA 31.10.1967 god

DIREKTOR POGONA | VSS | 1

OPĆI ODJEL

1	Sekretar pogona	VSS	1
2	Referent za opće poslove	SSS	1
3	Referent za obračun	SSS	1
4	Režiser	SSS	1
5	Referent za HTZ	SSS	1
6	Stenodakhlograf	SSS	1
7	Tehničar za dokumentaciju	SSS	1
8	Skladištar	KV	1
9	Dostavljač	NK	1
10	Portiri	NK	5
11	Čistačice	NK	2

ODJEL PROIZVODNJE

	1	Šef odjela proizvodnje	VSS	1
*	2	Rukovodilac smjene	VSS SSS	5
	3	Referent za obračun i analizu	SSS	1
*	4	Rukovalac blok komande	VKV	5
*	5	Pomoć. rukovaoca blok komande	VKV	4
*	6	Pogonski strojobravar	VKV	5
*	7	Rukovalac elektro komande	VKV SSS	5
*	8	Pogonski elektro mehaničar	VKV	4
*	9	Pogonski elektro mehaničar RIM-a	VKV SSS	4
*	10	strojar napojnih pumpi i kondenz.	KV	4
*	11	Strojar u crpnoj stanici rashl. vode	KV	4
*	12	Rukovalac crpne stan. tekuć. goriva	KV	5
*	13	Rukovalac kem. pripreme vode	KV	3
*	14	Rukovalac odsolj. kond. Kondenz. elek.	KV	4
*	15	Pomoćnik rukov. kem. prip. vode i elektroli.	PK	3
	16	čistači GPO	NK	3

ODJEL STROJARSKOG ODRŽAVANJA

1	Šef strojarskog održavanja	VSS	1
2	Poslovođa stroj. održavanja	SSS VKV	1
3	Tehničar stroj. održavanja	SSS	1
4	Majstor za održav. kotlov. postrojenja	VKV	1
5	Majstor za održav. turb. postrojenja	VKV	1
6	Strojobravar za održav. pumpi	VKV	1
7	Strojobravar za održavanje	VKV	1
8	Elektro varilac	VKV	1
9	Autogeni varilac	VKV	1
10	Tokar	VKV	1
11	Vodoinstalater Limar	KV	1
12	Alatničar	KV	1
13	Pomoćni radnici	PK	3
14	čistač radionice	NK	1

ELEKTRO ODJEL

1	Šef elektro odjela	VSS	1
2	Poslovođa elektro odjela	SSS VKV	1
3	Tehničar elektro odjela	SSS	1
4	Majstor za visoki napon	VKV	1
5	Elektromehaničar za niski napon	VKV	1
6	Elektromehaničar za održavanje	KV	3
7	Pomoćni radnici	PK	2

SLUŽBA RIM-a

1	Rukovodilac službe RIM-a	VSS	1
2	Specijalista za RIM	SSS	1
3	Radiomehaničar	KV SSS	1
4	Finomehaničar	KV	1

GRAĐEVINSKA SLUŽBA

1	Rukovodilac građ. službe	SSS	1
2	Zidar-šamater	KV	1
3	Tesar-stolar	KV	1
4	Ličilac	KV	1
5	Vrtlar	KV	1
6	Pomoćni radnici	NK	3

KEMIJSKA SLUŽBA

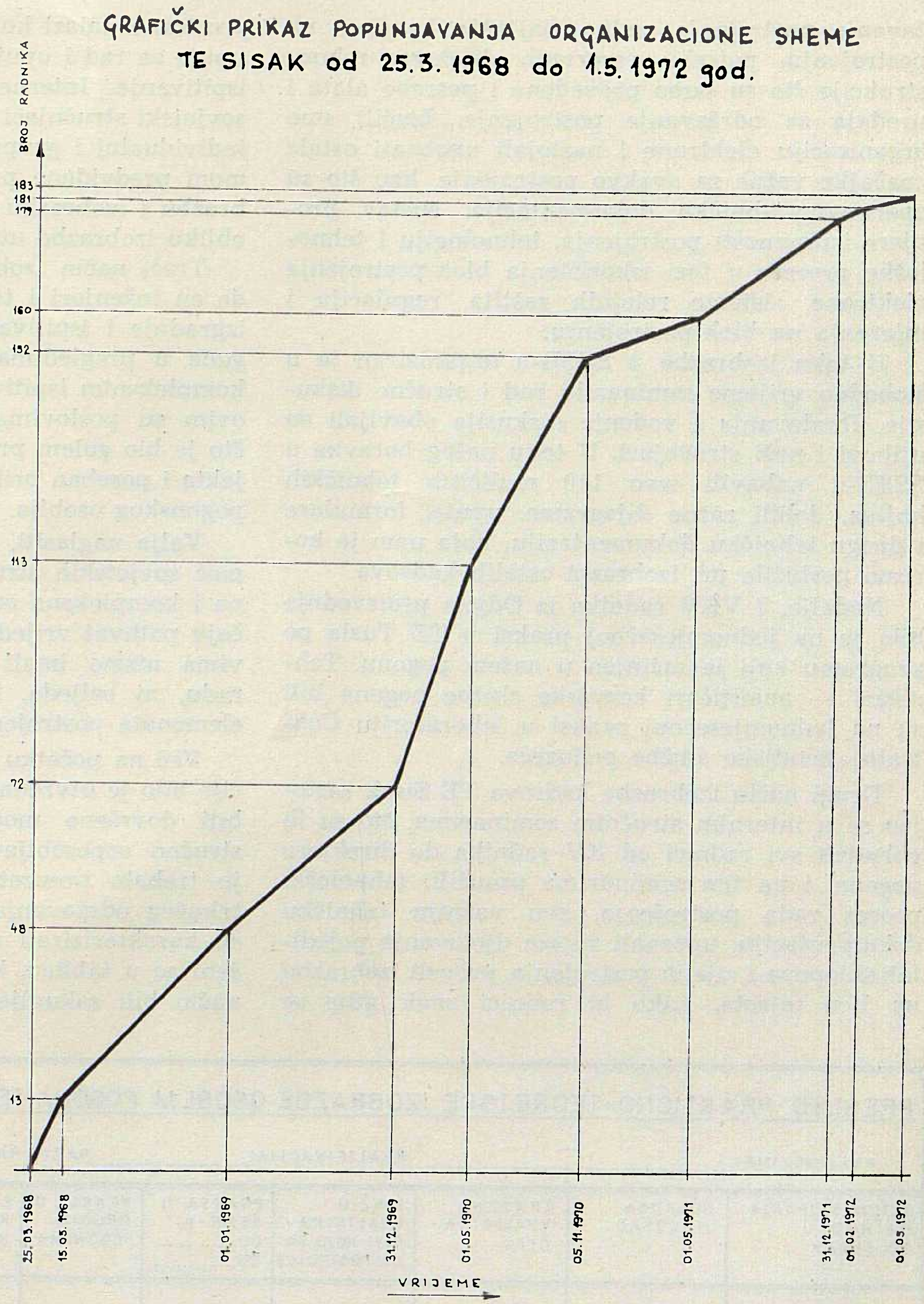
1	Rukovodilac kem. službe	VSS	1
2	Tehn.-laborant	SSS	2

* Smjensko osoblje

UKUPNO:

DIREKTOR	1		
OPĆI ODJEL	16	VSS	7
ODJEL PROIZVODNJE	63	VŠSS	5
ODJEL STROJARSKOG ODRŽAV.	16	SSS	15
ELEKTRO ODJEL	10	VKV	33
SLUŽBA RIM-a	4	KV	38
GRAĐEVINSKA SLUŽBA	8	PK	8
KEMIJSKA SLUŽBA	3	NK	15
UKUPNO:	121	UKUPNO:	121

Slika 1



Slika 2

nja, odabiranja i popunjavanja organizacione sheme TE Sisak. Tok popunjavanja i proširenja organizacione sheme prikazan je dijagramom na sl. 2.

2. Provedba programa izobrazbe

Program izobrazbe je predviđao dopunsku izobrazbu, koja se sastojala u tome, da šefovi odjela, rukovodioci smjene, tehničari, poslovođe i vodeći majstori (VKV radnici, ne svi) budu na izobrazbi 45 dana u TE u SSSR-u, koja ima slična postrojenja kao i TE Sisak. Po ovom programu bila su 33 stručnjaka iz pogona TE Sisak na 45-dnevnoj praksi u SSSR-u u Zainskoj TE, u Tatarskoj Sovjetskoj Socijalističkoj Republici. Bili su podijeljeni u dvije grupe. Prva grupa je bila na specijalizaciji od 17. listopada 1968. do 30. studenoga 1968, a druga od 3. prosinca 1968. do 23. siječnja 1969.

Za obje grupe je stručni kolegij TE Sisak izradio pismeni program izobrazbe u SSSR-u, kojega su u Zainskoj TE dopunili njihovi inženjeri. Obje grupe su bile pripremljene za odlazak u SSSR, pa su prije odlaska završili kratki tečaj ruskog jezika i stručni seminar na kojem su upoznali osnovne karakteristike projekta TE Sisak i tehničke karakteristike svih postrojenja elektrane.

U SSSR-u su našim stručnjacima dodijeljeni instruktori koji su bili od velike pomoći pri svladavanju predviđene izobrazbe. Osoblje eksploatacije iscrpno je proučilo, koliko je to bilo moguće s obzirom na vrijeme, sve značajnije manevre s glavnim i pomoćnim postrojenjem bloka. Naročita pažnja je posvećena problematici upuštanja bloka u pogon, obustavi i prelaznom režimu rada bloka. Osoblje održavanja postrojenja proučavalo je tekuće i kapitalne remonte i tzv. preventivno odr-

žavanje postrojenja, zatim najčešće kvarove na postrojenju, potrebu rezervnih dijelova, rekonstrukcije što su tamo provedene i potrebe alata i uređaja za održavanje postrojenja. Izučili smo organizaciju elektrane i nastojali upoznati ostale značajke važne za ovakvo postrojenje, kao što su operativno-tehnička dokumentacija, sustav provjere ispravnosti postrojenja, tehnologiju i tehnološke procese u fazi iskorištenja blok-postrojenja elektrane, sisteme relejnih zaštita, regulaciju i mjerenja na blok-postrojenju.

U toku izobrazbe u SSSR-u organiziran je u slobodno vrijeme seminarski rad i stručne diskusije. Predavanja i vođenje diskusija obavljali su njihovi i naši stručnjaci. U toku našeg boravka u SSSR-u nabavili smo 110 različitih tehničkih knjiga, dobili razne dijagrame, upute, formulare i drugu tehničku dokumentaciju, koja nam je korisno poslužila pri izobrazbi ostalih kadrova.

Nadalje, 7 VKV radnika iz Odjela proizvodnje bilo je na jednomjesečnoj praksi u TE Tuzla po programu koji je sačinjen u našem pogonu. Tehničari — analitičari kemijske službe pogona bili su na jednomjesečnoj praksi u laboratoriju Centralne kemijske službe poduzeća.

Drugi način izobrazbe kadrova TE Sisak sastojao se u internim stručnim seminarima, što su ih pohađali svi radnici od KV radnika do direktora pogona, i na tim seminarima proučili: tehnološki proces rada postrojenja, svu važniju tehničku dokumentaciju, upoznali sistem djelovanja pojedinih sklopova i cijelih postrojenja, proveli izobrazbu na licu mjesta, kako bi radnici znali gdje se prostorno nalazi koji element postrojenja, proučili upute za rad i upute za pojedinačno i kompleksno ispitivanje. Interne seminare vodili su pretežno sovjetski stručnjaci i povremeno naši. Proveden je individualni i grupni rad na proučavanju programom predviđene problematike. Na teoretsku izobrazbu i izobrazbu na licu mjesta u seminarskom obliku izobrazbe utrošeno je 20.000 radnih sati.

Treći način izobrazbe kadrova bio je u tome, da su inženjeri i tehničari učestvovali u nadzoru izgradnje i ispitivanju postrojenja, a radnici pogona u pregledima, revizijama i pojedinačnim i kompleksnim ispitivanjima do ulaska u pogon. Na ovim su poslovima odradili 200.000 radnih sati, što je bio golem prilog kvalitetnom dovršenju objekta i poseban prilog praktičnom dijelu izobrazbe pogonskog osoblja.

Valja naglasiti, da je pogonsko osoblje uz pomoć sovjetskih stručnjaka obavilo sva pojedinačna i kompleksna ispitivanja, što je u svakom slučaju pothvat vrijedan pažnje. U svim ovim poslovima nismo imali ni jedan nesretan slučaj na radu, ni ozljeda, kao ni oštećenih ili uništenih elemenata postrojenja.

Već na početku formiranja pogonske organizacije bilo je utvrđeno pravilo, da istovremeno mora biti dovršena montaža postrojenja elektrane i stručno osposobljavanje pogonskog osoblja, koje je trebalo preuzeti vođenje pokusnog pogona i tekućeg održavanja postrojenja. Svi podaci, koji su karakterizirali rad na izobrazbi kadrova unešeni su u tablicu, koja je dana na sl. 3. Na taj su način bili sakupljeni svi podaci na jednom mje-

PREGLED PRAKTIČNO-TEORETSKE IZOBRAZBE OSOBLJA POGONA TE SISAK

BR. KARTICE:_____

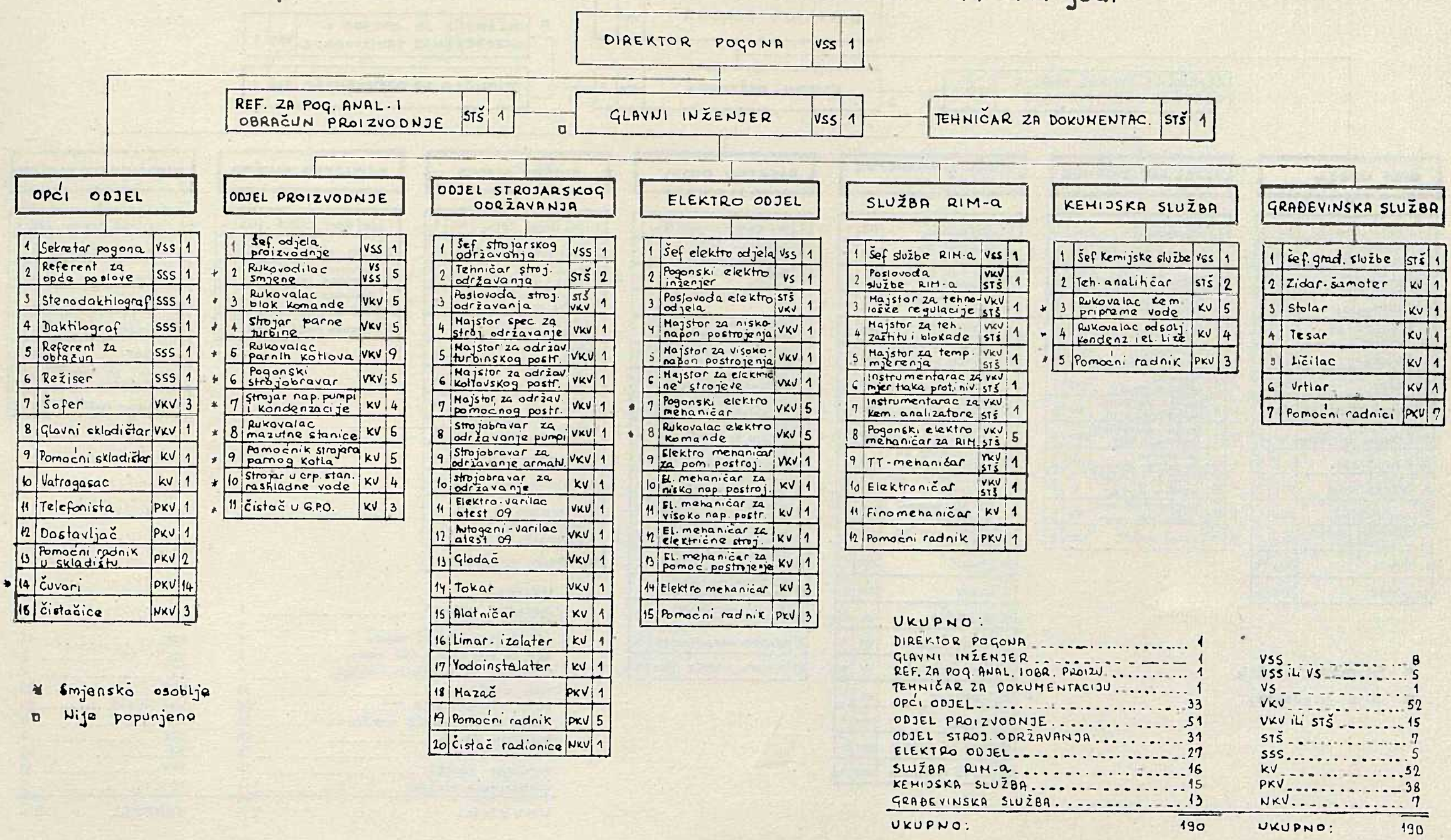
ODJEL:_____

PREZIME I IME:_____ KVALIFIKACIJA:_____ NAZIV RADNOG MJESTA:_____

DATUM STUPANJA NA RAD U TE SISAK	OD KUDA JE DOŠAO	TRAŽENA KVALIFIKACIJA	STAŽ U KVALIFIKACIJI KOJU SADA POSJEDUJE	PRAKSA U SSSR-u OD..... DO.....	PRAKSA U DRUGIM POGONIMA	EKSKURZIJE KUDA I KADA	BROJ SATI PROVEDENIH NA TEORETSKOJ NASTAVI

BROJ SATI PROVEDENIH NA INSTRUKTAŽAMA	BROJ ODRAĐENIH SATI NA REVIZIJAMA	BROJ ODRAĐENIH SATI NA ISPIT. POSTROJ.	DATUM PRISTUPA INTERNOM ISPITU I OCJENA ISPITA	POTPIS ČLANOVA ISPITNE KOMISIJE

Slika 3



Slika 4

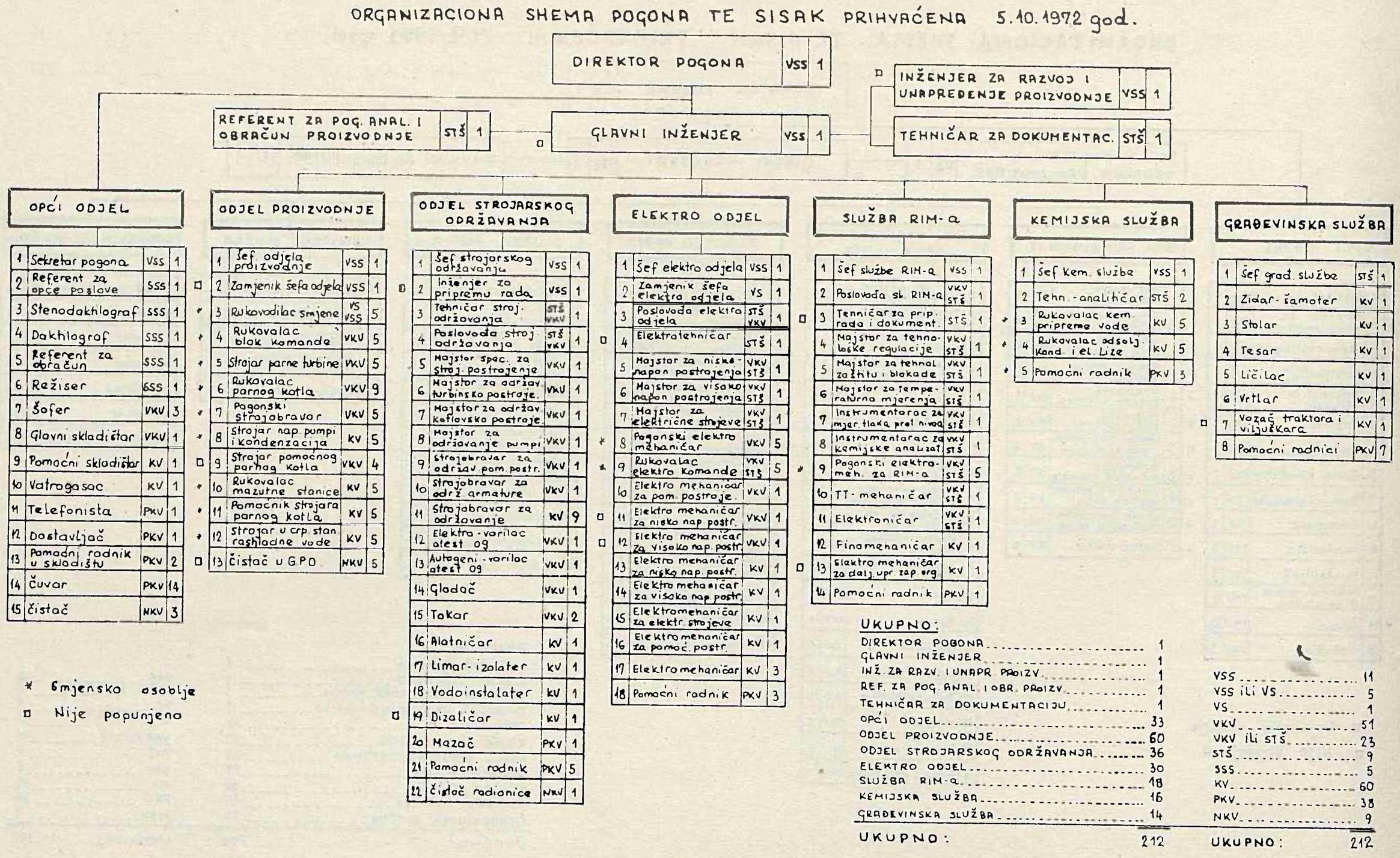
stu za svakog kandidata, koji je prolazio sistem stručnog osposobljavanja. U sistemu izobrazbe naročita pažnja se poklanjala proučavanju svih uputa isporučioca opreme, tvorničkih uputa, internih uputa, stjecanju laganog čitanja tehnoloških shema, shema djelovanja i razvijenih strujnih shema, koje smo, dobar dio, uz pomoć sovjetskih stručnjaka sami izradili. One nam omogućuju brzo pronalaženje kvarova i smetnji u sekundarnim strujnim krugovima. Putem predavanja, praktičkih vježbi i napisanih uputa upoznali smo pogonsko osoblje s mjerama koje valja poduzimati na području zaštite na radu i protupožarnih zahvata, kako bi se što efikasnije zaštitili radnici i postrojenja elektrane. No, zbog mnogobrojnih poslova nije još dovoljno učinjeno na ovim sektorima s obzirom na njihovu važnost i posljedice, koje se mogu pojaviti, ako se ovom poslu ne posvećuje dovoljna briga.

Sistem označavanja svih postrojenja i uređaja, što smo ga koncipirali i proveli, bio je također koristan za dobivanje jasne slike o rasporedu postrojenja, njihovoj funkciji i za eliminaciju eventualnih zabuna do kojih bi moglo doći u toku iskorištenja i održavanja postrojenja. Svi ispadi postrojenja iz pogona, poremećaji i smetnje do kojih je dolazilo stručno su analizirani i opisani u internim biltenima i nakon toga proučeni s radnicima, kako bi radnici povećavali svoje iskustvo i spriječili ponavljanje istih grešaka i smetnji.

Iskustvo pokazuje, da izobrazba pogonskog osoblja, koja obuhvaća sve oblike njihovog osposobljavanja, ne bi smjela nikada prestati, radi kontinuiteta sigurnog rada postrojenja i potrebne sposobnosti i umješnosti pogonskog osoblja. Postrojenje stari i javljaju se sve složeniji zadaci i problemi, koje valja brzo i uspješno rješavati. Ozbiljno bi se trebalo pozabaviti problemom uvođenja povremenog provjeravanja znanja svih zaposlenih u termoelektrani kako bi se dobila prava slika stručne spremnosti i operativnosti pogonskog osoblja, i da bi se mogle na vrijeme poduzeti potrebne mjere za dodatnu izobrazbu. Napori i troškovi, što će ih izazvati ovakvi poslovi su sasvim neznatni prema posljedicama do kojih može doći u termoelektrani, ako pogonsko osoblje nije na stručnom nivou kakav traži složenost posla.

Zbog pomanjkanja iskustva u radu s blokovima 210 MW sovjetske proizvodnje odlučili smo, da organizacionu shemu pogona proširimo tek onda, kada se uvjerimo da je to stvarno nužno i praksom potvrđeno. Nakon prve godine iskorištenja i održavanja ukazala se potreba za proširenjem organizacione sheme na opseg predstavljen na sl. 4, što ga je 7. studenog 1971. odobrio Centralni radnički savjet poduzeća. Daljnje proširenje organizacione sheme, koje se pokazalo kao nužno tokom dosadašnjeg 25-mjesečnog rada i provedbom prvog kapitalnog remonta (završen 21. VII 1972) predstavljeno je na sl. 5 i odobreno od Centralnog radničkog savjeta 5. listopada 1972.

Zbog naknadno izrađenog mazutnog gospodarstva (rezervoar mazuta kapaciteta 40.000 m^3, crpnih stanica goriva i cjevovoda), kojim valja upravljati i održavati, definitivne procjene potrebnog pogonskog osoblja i prenošenja nekih poslova iz



Slika 5

Zajedničkih službi u termoelektranu nakon konstituiranja termoelektrane kao OOUR, konačan broj radnika za iskorištenje i održavanje prve faze TE bit će 230 (1,1 radnika/MW).

Razumije se, da je 230 radnika mnogo za termoelektranu instalirane snage 210 MW, ali valja uzeti u obzir, da rad prvog bloka uvijek traži 30—35% više radne snage od radne snage, koja će otpadati na jedan blok kada budu u pogonu dva bloka. Tako će npr. broj radnika za dva bloka u eksploataciji biti oko 320 (0,76 radnika/MW), pa se sadašnji broj radnika mora gledati i kroz ovu činjenicu, da bi se dobio ispravan sud o broju zaposlenih i efikasnosti postojeće organizacije.

Konačno se može zaključiti, da kadrovska problematika u termoelektrani mora imati u našem radu izuzetno značenje u smislu stalnog osposobljavanja radnika, stručnog odgoja mladih kadrova, stalne brige za iznalaženje mogućnosti za izgradnju većeg broja stanova, držanju osobnih dohodaka na zavidnom nivou za naše prilike, i uopće o vođenju stalne aktivnosti za poboljšanje općih uvjeta života i rada radnika. To je najbitnije za ostvarenje plana razvoja elektroprivrede, planova proizvodnje i čvrsta brana fluktuaciji najstručnije radne snage, koja se upravo pojavljuje i u ovoj termoelektrani. Od formiranja Pogona TE Sisak radni odnos prestao je iz raznih razloga 23-jici radnika. Struktura tih radnika je slijedeća: NK 1, PK 6, KV 5, VKV 8, SSS 1, VS 1 i VSS 1. Od njih je 8 otišlo u inozemstvo, a ostali u razna poduzeća u zemlji. Broj radnika kojima je prestao radni odnos u pogonu nije velik, ako se uzme u obzir činjenica da se pogon počeo formirati 25. ožujka 1968, no zabrinjava činjenica, da je više od polovice ukupnog broja tih radnika napustila posao u 1972.

Postignuto iskustvo u dosadašnjem radu pokazuje, da radnici od kvalifikacije VKV do VSS, koji imaju potpunu kvalifikaciju na određenim radnim mjestima, ali nisu prije radili u termoenergetskim postrojenjima moraju proći ovakve ili slične oblike dopunske izobrazbe. Izobrazba traje oko godinu dana što je potrebno da bi stekli nužna znanja i iskustvo, potrebno za samostalno vršenje odgovarajućih dužnosti. U organizacionoj shemi termoelektrane ima i takvih radnih mjesta čiji izvršilac ne može ni u tom roku uz najbolji rad postići potrebna iskustva, da bi postao vrstan majstor svog posla.

3. Popunjenje organizacione sheme

Popunjavanje organizacione sheme termoelektrane teklo je prema dijagramu, slika 2. Najbitnija činjenica, koju valja istaknuti je ta, da smo odlučno stali na stanovište, da se pronađu i prime u radni odnos radnici, koji imaju potpunu stručnu spremu i približno radno iskustvo, kako je bilo definirano u organizacionoj shemi. U tom pogledu učinili smo samo nekoliko iznimaka, potpuno opravdanih, jer se radilo o pojedincima, koji su imali manju kvalifikaciju od tražene, ali zato bogato radno iskustvo.

Najviše poteškoća imali smo u pronalaženju radnika za Odjel regulacije i mjerenja (RIM) jer

je radna snaga te specijalnosti jako deficitarna u nas. Osim toga složenost, obujam i kvaliteta uređaja RIM-a je takva da je tražio veći broj VKV radnika i elektrotehničara za eksploataciju i održavanje tih postrojenja od uobičajenog broja u ostalim pogonima. Bilo je teškoća u dokazivanju potrebe tolikog broja radnika mjerodavnim organima u poduzeću, onima koji su donosili odluke o organizacionoj shemi pogona. Može se reći, da su se osjećale poteškoće u pronalaženju svih vrsti radnika od VKV do VSS, što se i dalje događa, jer se sve teže pronalaze radnici takvih stručnih kategorija. Ovu činjenicu valja kadrovska služba našeg poduzeća dobro proučiti i poduzeti odgovarajuće mjere, kako bi se ova problematika u budućem radu lakše, brže, i možda kvalitetnije, rješavala nego do sada. U protivnom, susrest ćemo se s daljnim teškoćama u rješavanju kadrovskih pitanja pogona termoelektrane.

Brojno stanje radnika i kvalifikaciona struktura TE Sisak na dan 1. kolovoza 1972. izgledala je ovako: VSS 12, VS 1, SSS 11, VKV 63, KV 52, PK 36, NK 6; ukupno 181.

Iz Pogona »Elektroprivrede« Zagreb prešla su na rad u TE Sisak 32 radnika, a iz drugih elektroprivrednih poduzeća Jugoslavije 11. Prema tome, od svih radnika koliko ih imamo po sadašnjoj organizacionoj shemi, 43 radnika su i prije radila u elektroprivredi i imala odgovarajuće radno iskustvo stečeno u energetskim objektima. Svi ostali radnici su početnici, ili su radili u drugim privrednim djelatnostima.

Starosna dob radnika zaposlenih u TE Sisak je slijedeća:

Životna dob radnika	21—25	26—30	31—35	36—40	41—45	46—50	51—55
Broj radnika	25	43	30	55	20	6	1

Prosječna starosna dob radnika je 33 godine.

4. Troškovi izobrazbe

Za opisani tok izobrazbe pogonskog osoblja utrošena su sredstva, kako slijedi:

— putni troškovi i dnevnice za osoblje na specijalizaciji u SSSR-u	557.511,30.—
— troškovi instruktaže u SSSR-u	15.440,00.—
— tečajevi ruskog jezika	13.158,25.—
— putni troškovi i dnevnice za izobrazbu u zemlji	19.027,80.—
— instruktaža i predavači na gradilištu	11.000,00.—
— školarina za 16 radnika u toku iskorištenja termoelektrane	569,00.—
Ukupno troškovi	720.817,35.—

Direktni troškovi nastali u toku izobrazbe iznose oko 4.000,00 po radniku. Ovdje nisu uračunati osobni dohoci radnika, što su ih primali za vrijeme izobrazbe i specijalizacije.

S obzirom na vrijednost osnovnih sredstava ovakvih objekata (primjerice vrijednost osnovnih sredstava po radniku u jednoj smjeni je $30 \cdot 10^6$ d, ili vrijednost osnovnog sredstva po zaposlenom u TE je $28 \cdot 10^5$ d), i njihovu ulogu i važnost u našoj energetici uložena sredstva za dopunsku izobrazbu kadrova nisu dovoljna. Isto tako ni vrijeme koje smo imali na raspolaganju za izobrazbu radnika (jer se zakasnilo s početkom formiranja pogonske organizacije, presporo su se pronalazili i odabirali radnici i mnogo su radili na dovršenju objekta, pa je preostalo vrijeme bilo nedostatno). Investicija uložena u stručnu izobrazbu radnika i temeljita izgradnja organizacije pogona uvijek se bogato isplati u vrlo kratkom vremenu.

5. Ostale značajke

Služba izgradnje novog objekta i pogonska organizacija morale bi u daljnoj izgradnji novih objekata više pažnje posvetiti iznalaženju svrsishodnijeg vođenja tehničke dokumentacije, vođenju osnovnih sredstava i organizaciji pogonskog i investicionog skladišta. Ovi poslovi, uzgred spomenuti, imaju bitno značenje, kako u toku izgradnje elektrane, tako i u toku iskorištenja postrojenja termoelektrane.

Radionice i laboratorij u termoelektrani valja odmah (u početku izgradnje) kompletirati potrebnim uređajima, alatima i osobljem, bez oklijevanja, jer je to nužno u toku izgradnje elektrane i u toku iskorištenja postrojenja. Svi troškovi nabave tih uređaja amortiziraju se još prije završetka izgradnje. To ne dolazi u obzir kad je termoelektrana locirana u sredini koja joj može uvijek i na vrijeme pružiti takve usluge, što je u praksi vrlo rijedak slučaj.

Prethodno naznačeni poslovi nisu najbolje obavljeni zbog toga, što nisu bile objedinjene investiciona služba izgradnje i pogonska organizacija.

Moram spomenuti, da smo vrlo uspješno riješili, u suradnji s TE Obrenovac, Tuzla i Kosovo, pitanje potrebnih rezervnih dijelova za sovjetske agregate 200 MW. Naime, Invest-Import iz Beograda je u dogovoru sa termoelektranama i u suradnji s Tehnopromeksportom iz Moskve otvorio konsignaciono skladište rezervnih dijelova za 200 MW blokove, što je vrlo praktično i dobro rješenje za te elektrane, jer je na taj način spriječeno zaleđivanje na skladištu nekoliko stotina milijuna dinara potrebnih za rezervne dijelove za svaku termoelektranu.

Za opće potrebe radnika TE učinjeno je onoliko koliko su nam dopuštale materijalne prilike. Uređen je i otvoren restoran, gdje radnici jednom dnevno mogu dobiti topli obrok. Do sada je izgrađeno 60 stanova i stavljeno na upotrebu radnicima termoelektrane i podijeljeno 300.000 d kredita 13-torici radnika za individualnu izgradnju.

Svi naši napori učinjeni na izobrazbi kadrova urodili su, mogao bih reći, bogatim plodom, jer smo vrlo uspješno prvi puta pokrenuli termoelektranu, obavili pokusni pogon i dvogodišnju proiz-

vodnju s maksimalnim uporabnim vremenom bez ijednog većeg kvara, a naročito ističem, bez ijednog kvara što bi ga izazvali radnici lošim rukovanjem ili slabim održavanjem.

I konačno, uspješno smo obavili prvi kapitalni remont od 3. svibnja do 20. svibnja 1972. s vlastitim učešćem u tom poslu od 70%. Nakon toga je elektrana normalno ušla u pogon bez ikakvih smetnji i primila nominalno opterećenje, da bi u toku kolovoza 1972. ostvarila do sada svoju najveću proizvodnju.

6. Zaključak

Opisani oblici dopunske izobrazbe, kojima je bilo podvrgnuto osoblje elektrane, jedan su od glavnih činilaca svih radnih rezultata što smo ih postigli u dosadašnjem iskorištenju i održavanju postrojenja. Pri tome se ne može ustvrditi da je opisani sistem dopunske izobrazbe bio dovoljan i da se ne bi mogli uvesti još neki novi oblici izobrazbe, koji bi trebali dati još bolje rezultate u dopunskom stručnom obrazovanju radnika.

Činjenica je, da se danas grade velika i moderna postrojenja termoelektrana, koje karakterizira i zavidna sigurnost rada, no to ne može biti dovoljna garancija da će iskorištenje i održavanje biti ekonomično i sigurno, već se traže i sve sposobniji i operativniji kadrovi, da bi se izbjegle negativne posljedice. Ova postrojenja u pravilu predstavljaju veliku osnovnu vrijednost, a da i ne spominjemo ogromnu ulogu tih objekata u energetskom sistemu, odnosno u redovitoj opskrbi potrošača električnom energijom. Na primjer TE Sisak proizvodi 1/3 potrebne električne energije koja se troši na konzumnom području Zagreba. Stručan i dobro uvježban pogonski kadar nezamjenjiv je faktor u pogledu držanja sigurnosti rada postrojenja termoelektrane na potrebnoj visini. U pogledu ekonomičnog iskorištenja neka bude iznesen samo ovaj primjer.

Sniženje gubitaka kondenzata za 1% u postrojenju termoelektrane snage 500 MW daje godišnju uštedu topline u iznosu od $70 \cdot 10^9$ kcal ili 7400 tona mazuta kalorične moći 9500 kcal/kg. Takvih faktora, odlučnih za ekonomiju termoelektrane, na koje može znatno utjecati ispravno odabrano i stručno osposobljeno pogonsko osoblje, ima popriličan broj.

Kadrovska služba poduzeća morat će se pozabaviti dugoročnim planiranjem potrebnih kadrova i njihovom izobrazbom. Naime, trebat će stipendirati i školovati veći broj mlađih radnika svih profila i struka, jer se do kadrova ne može više doći na način, kako je to do sada činjeno. Elektroprivreda bi morala utjecati na programe i planove obrazovanja kadrova u srednjim i višim stručnim školama, jer se osjeća da nastavni planovi tim kadrovima ne daju znanja nužna za obavljanje sve složenijih radnih zadataka u energetskim objektima.

Krajnje je vrijeme da se češće i organiziranije nego do sada pristupi izmjeni radnih iskustava između pogona u poduzeću, između poduzeća u Republici i cijeloj zemlji, jer postoje ogromna i skupo plaćena iskustva, koja bi trebala postati svojina svih radnika zaposlenih u području proizvodnje i prijenosa električne energije. Zbog toga se počela odvijati i odgovarajuća aktivnost, koju je pokrenula komisija za termoelektrane Jugela.

Dopunsko obrazovanje osoblja u novoizgrađenoj elektrani može se najbolje i najkvalitetnije provesti opisanim načinom u samoj elektrani, koristeći kao instruktore vlastite visokostručne kadrove, stručnjake dobavljača opreme i stručnjake drugih stručnih organizacija, koje sudjeluju u izgradnji objekta, je oni najbolje znaju koja znanja i u kojoj mjeri valja osvježiti i prenijeti na osoblje nadzora izgradnje, iskorištenja i održavanja termoelektrana. Razumije se, da su nužne i specijalizacije nekih kategorija radnika pogonskog osoblja bilo u inozemstvu ili tuzemstvu.

Prilikom uvođenja preventivnog održavanja postrojenja trebat će postaviti drugačiju organizaciju, tj. morat će se ukinuti odjelna organizacija, koja sada postoji u našim termoelektranama i koja je, mora se reći, zastarjela. Štošta se promijenilo u tehničkom pogledu, pa će trebati organizaciono objediniti unutar termoelektrana dvije djelatnosti, sektor iskorištenja i sektor održavanja, što će i s organizacionog gledišta povećati stupanj sigurnog i ekonomičnog iskorištenja termoelektrana, kao i stupanj racionalnog održavanja.

Istina je, da svaka termoelektrana ima specifičnosti, no treba istaknuti da sve imaju i mnogo zajedničkih istovjetnih karakteristika, koje bi trebalo sistematizirati i naći odgovarajuća znanstvena rješenja u pogledu organizacije unutar termoelektrana, utvrditi stručni profil radnika za pojedina radna mjesta, globalni opseg dodatne stručne izobrazbe i provjere znanja. Češće osvježavati i dopunjavati tehničke propise za izgradnju, iskorištenje i održavanje i posvećivati mnogo više pažnje definiranju i provođenju propisa i uputa iz područja zaštite na radu i protupožarne zaštite.

Naslov pisca: Drago Dragičević, dipl. ing., TE Sisak

PERSPEKTIVNI IZVORI ENERGIJE: FUZIJA

Stanje istraživanja i perspektiva kontrolirane fuzije

Vladimir Knapp, Zagreb

Danas se u nuklearnim elektranama iskorišćuje fisija teških elemenata, no daleko veće količine energije mogle bi se dobiti fuzijom lakih elemenata. U članku je opisano današnje stanje istraživanja fuzionih procesa i izgledi za praktično korištenje fuzije.

DK 621.039

1. Uvod

Kod spajanja odvojenih nukleona, tj. protona i neutrona u jezgru atoma, oslobađa se energija, a oslobođena energija po jednom nukleonu parametar je koji određuje čvrstoću vezanja jezgre. Njena se vrijednost kreće uglavnom između 7 i 8 MeV-a, time što maksimalne vrijednosti, dakle i najčvršće vezanje imaju jezgre s atomnom težinom oko 60. Od njih lakše i teže jezgre slabije su vezane, što stvara dvije mogućnosti dobivanja energije iz nuklearnih pretvorbi. Cijepanjem teške jezgre, tj. njenom fisijom, dobivaju se dvije lakše jezgre karakterizirane većom prosječnom energijom vezanja. Budući da je povećana prosječna energija vezanja po nukleonu, povećana je i ukupna oslobođena energija obaju dijelova u odnosu na početnu složenu tešku jezgru. To znači, da se pri procesu fisije oslobađa energija.

Polazimo li s druge strane od lakih jezgara njihovo spajanje, tj. fuzija, vodi na jezgre s većom prosječnom oslobođenom energijom, što znači da se u tom procesu oslobađa energija. Proces fuzije od fundamentalnog je značenja za naš opstanak: energija koju zrači Sunce nastaje pri fuziji lakih jezgara u dubini njegove unutrašnjosti, u uvjetima ekstremnih tlakova i temperatura.

Pred, ne tako mnogo godina, nije bilo zamislivo da bi se na Zemlji mogli stvoriti uvjeti za fuziju jezgara, međutim pri atomskim eksplozijama od 1945, pa na kasnije, ti su uvjeti ostvareni u centru atomske vatrene kugle.

Kao što je poznato, ubrzo su fisione atomske eksplozije bile upotrebljene za iniciranje fuzije i razvijene su tzv. hidrogenske bombe sa strahovitim razornim potencijalom prema kojima su fisione bombe, poput onih bačenih na Hirošimu i Nagasaki, prave igračke.

Privođenje fuzije miroljubivoj upotrebi za proizvodnju energije pokazalo se kao mnogo teži problem. Privlačnost i značenje kontrolirane fuzije je takvo da se u velikom broju istraživačkih centara veliki napori i sredstva ulažu u njegovo rješenje.

Pogledaju li se energetske rezerve i njihovo trošenje, jasno je da konvencionalna fosilna goriva ne predstavljaju bazu za dugoročne potrebe čovječanstva u energiji, kako zbog ograničenih količina, tako i zbog zagađivanja atmosfere produktima sagorijevanja (vidi npr. ref. 1).

Fisiona energija može podmiriti potrebe kroz više desetljeća, odnosno stoljeće ili više stoljeća, razviju li se tzv. oplodni reaktori ili mogućnosti korištenja uranskih izvora male koncentracije.

Dugoročna perspektiva leži u kontroliranoj fuziji, u procesu koji se u našem suncu odvija milijunima i milijunima godina.

Sigurno je, da ta dugoročna perspektiva opravdava napore koji se ulažu u ovladavanje fuzijom. Treba, međutim, istaći da fuziona energija ima važnost i za razdoblje prije iscrpljenja fisionih goriva. Po prirodi procesa pri fuziji se stvara daleko manje radioaktivnog materijala i problem radioaktivnog otpada je daleko manji, ili beznačajan. Nadalje, materijali koji se koriste za fuziju ne mogu se zloupotrijebiti, kao što je to zamislivo sa plutonijem iz budućih oplodnih reaktora, koji će zbog toga biti pod vrlo brižljivom kontrolom.

Istraživanja i studije sa ciljem da se utvrdi praktična mogućnost dobivanja energije iz kontrolirane fuzije započela su pred oko 20 godina u SAD i Sovjetskom savezu, a nešto kasnije i u drugim zemljama.

Na drugoj Ženevskoj konferenciji o miroljubivoj upotrebi atomske energije 1958. godine kontroliranoj fuziji posvećen je velik broj referata (ref. 2). Moglo bi se ukazati na prijelaz iz početnog razdoblja u kome su problemi tek sagledavani, u drugi u kojem raniji optimizam ustupa mjesto realističnoj ocjeni teškoća.

Na kraj prvog desetljeća pada otkrivanje dinamičkih nestabilnosti plazme kao osnovne zapreke u uspostavljanju uvjeta za nuklearnu fuziju. Istraživači uviđaju da suviše slabo poznaju materiju s kojom rade, tj. plinsku plazmu, i da je potreban širok spektar općeg istraživanja plazme i njenog ponašanja. U početnoj su fazi problemi toliko međusobno povezani, da izdvajanje i koncentriranje na samo neke usporava čak i rješenje tih izdvojenih na koje se želi orijentirati. Široko zasnovana istraživanja kroz idućih deset godina bitno su unaprijedila poznavanje plazme. Razvijeno je novo područje fizike — fizika visokotemperaturne plazme, a u sklopu ovih istraživanja riješen je i niz problema direktnije vezanih za kontroliranu fuziju.

2. Fizikalne osnove

Fuziju, tj. spajanje lakih u teže jezgre možemo usporediti sagorijevanjem, tj. kemijskim spajanjem slabije vezanih atoma ili molekula u kemij-

ski jače vezane, s razlikom što je u fuziji oslobođena energija za istu količinu materije oko milijun puta veća.

Najvažnije fuzione reakcije su:

$D + D \rightarrow He^3 + n + 3{,}27\ MeV$

$D + D \rightarrow T + p + 4{,}03\ MeV$

$D + T \rightarrow He^4 + n + 17{,}6\ MeV$

$D + He^3 \rightarrow He^4 + p + 18{,}3\ MeV.$

Oslobođena energija dana je u MeV-ima, uobičajenoj jedinici (energija koju dobije elektron prolazeći kroz potencijalnu razliku od milijun volti). Teški vodik, deuterij (D) s atomskom težinom dva, koji ulazi u sve navedene reakcije nalazi se u elementu vodiku kao izotopni sastojak jednim dijelom u pet tisuća. Iz jednog kubnog metra obične vode moglo bi se izdvojiti 0,2 lit teške vode u kojoj se teški vodik D nalazi na mjestu običnog vodika H. Ako bi teški vodik iz tih 0,2 lit »sagorjeli«, D + D reakcijom bi se dobila fuziona energija od oko 10^9 kcal. To znači da svaka litra obične vode ima, u tom smislu, fuzioni energetski potencijal od 10^6 kcal, dakle 100 puta više energije nego jedna litra ložulja. Ova usporedba treba samo da olakša predodžbu o energijama koje se oslobađaju u nuklearnim procesima, i nipošto ne znači da smo doista u mogućnosti ovaj potencijal i iskoristiti.

Perspektiva je, međutim, toliko privlačna da su napori što se čine u tom smjeru sasvim razumljivi. Rezerve fisione energije ograničene su rezervama urana, dok bi fuziona energija s vodom kao izvorom teškog vodika predstavljala neiscrpiv rezervoar. Koliko je ova perspektiva ostvariva?

Budući da se na fuziji radi već dvadesetak godina, a nema sumnje da problem još nije riješen, teškoće moraju biti znatne. U čemu se one sastoje? Deuteroni koje valja spajati da bi se oslobodila fuziona energija nabijene su čestice, pa se odbijaju na udaljenostima na kojima još ne djeluju, inače znatno snažnije ali kratkog dosega, nuklearne sile.

Potreban je relativno malen ulog energije radi svladavanja električne odbojne sile prije no što može doći do oslobađanja daleko veće nuklearne energije. Dovede li se ta početna energija u formi toplinske energije plinu deuteriju, fuziona reakcija će početi kada kinetička energija čestica u plinu teškog vodika postane dovoljna za svladavanje odbojnih sila. Naziv termonuklearna reakcija za fuzionu reakciju i dolazi upravo odatle što je zagrijavanje deuterija način za dovođenje početnog energetskog uloga. Time ujedno dolazimo do problema koji se javljaju u nastojanjima da se oslobodi fuziona energija. Naime, potrebne temperature iznose 100 milijuna stupnjeva ili više. Čini se u prvi mah da ovaj zahtjev pretvara fuziju u neostvarivu iluziju. To su temperature koje vladaju u unutrašnjosti sunca i zvijezda. Iznimno, u uvjetima nuklearnih eksplozija javljaju se i na zemlji. Doista, temperature od 10.000 stupnjeva u laboratoriju bile su nedostižne ne pred puno godina. No, napredak je u tom pogledu bio izvanredan. Danas se u plinskoj plazmi, tj. neutralnoj smjesi pozitivnih i negativnih iona već postižu temperature od više desetaka, pa i sto milijuna stupnjeva. No, stvari su, nažalost, mnogo složenije. Visoka temperatura samo je jedan od problema.

Nije dovoljno samo postići temperaturu od 100 milijuna stupnjeva. Za razvoj termonuklearne reakcije treba je održati dovoljno dugo u plazmi dovoljne gustoće. Kvantitativan izraz ovih zahtjeva je tzv. Lawsonov kriterij, prema kojemu je uvjet za pozitivnu bilancu uložene i fuzijom dobivene energije da produkt gustoće plazme i vremena τ u kojem se ona drži na fuzionoj temperaturi, ima određenu vrijednost.

Izrazi li se gustoća plazme s brojem čestica u cm^3, n, onda produkt $n \cdot \tau$ treba biti jednak ili veći od $10^{14}\ cm^{-3} \cdot s$ za D — T reakciju. Za D — T reakciju produkt mora biti veći.

Prema tome, kada se govori o fuziji misli se sasvim određeno na D — T reakciju. Uspiju li se ostvariti uvjeti za fuziju, to će biti najprije za D — T reakciju. Time ujedno razabiremo novi problem. Gorivo je smjesa deuterija i tricija. No, tricij je nestabilna jezgra i u prirodi se ne nalazi; to je isključeno njegovim poluvremenom raspada od $\sim$ 12 godina. On može nastati samo u nuklearnim pretvorbama. Prema tome tricij za fuzione reaktore treba proizvoditi. Po današnjim predodžbama o fuzionom reaktoru tricij će se proizvoditi iz litija reakcijama:

$Li^6 + n \rightarrow T + He^4 + 4{,}8\ MeV$

$Li^7 + n \rightarrow T + He^4 + n - 2{,}8\ MeV.$

Prostor u kome se odvija termo-nuklearna reakcija bit će okružen debelim slojem tekućeg litija u kojem se brzi neutroni iz D — T reakcije moderiraju i tako predaju svoju energiju litiju, ali i izazivaju nuklearne reakcije u kojima se litij cijepa i proizvodi tricij. Cirkulacijom tekućeg litija odvodit će se termonuklearna energija i reakcioni produkti, tj. helij i tricij.

Budući da je litij materijal u kojem se stvara tricij, rezerve litija odlučne su za dugoročnu perspektivu fuzione energije D — T reakcijom.

3. Ostvarenje fuzionih uvjeta

Problem održavanja plazme dovoljno dugo na potrebnoj temperaturi je problem njene termičke izolacije od stijenki posude u kojoj se nalazi. Naravno da nikakvi materijali za to ne dolaze u obzir. Postoje dva načina za uspostavljanje uvjeta za fuzionu reakciju. Prvi koristi magnetske sile. Sa prikladnim konfiguracijama magnetskih polja može se plazma prisiliti da se drži osi cilindrične ili toroidalne posude. Ovo, tzv. magnetsko ograničenje plazme nije stabilno i to je nestabilnije što je veća gustoća plazme.

Druga metoda počiva na principu veoma brzog zagrijavanja plazme, tako da se termonuklearna reakcija razvije prije nego što zagrijana plazma ekspandira ispod gustoće tražene Lawsonovim kriterijem. Ovakvo ograničenje plazme naziva se inercionim; ekspanzija plazme ograničena je samo inercijom sastojaka. U odnosu na drugu, prva se metoda može danas nazvati konvencionalnom. Razvija se u mnogo laboratorija a ispituje se niz različitih konfiguracija magnetskih polja. Druga je metoda relativno nova. Zagrijavanje plazme obavlja se laserima i njen je uspon vezan za razvoj lasera sposobnih za davanje vrlo velikih snaga u veoma kratkim vremenskim razmacima.

S obzirom na stanje istraživanja status je ove metode neodređeniji, pa je danas teško objektivno ocijeniti perspektivu i relativnu važnost ovog načina ograničenja plazme.

U svakom slučaju najveći dio istraživanja ide u prvu metodu, i predodžbe o fuzionom reaktoru razvijaju se na pretpostavci magnetskog ograničenja. Tehnološki su problemi budućeg fuzionog reaktora te koncepcije mnogo bolje definirani.

Razmotrimo osnovni preduvjet koji moramo ispuniti želimo li razviti termonuklearnu reakciju, tj. zagrijavanje na 100 milijuna, ili više stupnjeva. Kao što smo istakli, to nije jedini problem, a niti najteži u fuziji, ali svakako jedan od problema. Metode zagrijavanja plazme su različite, počevši od omske, džulovom toplinom, koja je međutim, ograničena na relativno niske temperature, jer omski otpor plazme na visokim temperaturama naglo opada. Vrlo uspješna metoda zagrijavanja je magnetska kompresija plazme. Postignute su temperature od preko 100 milijuna stupnjeva.

Magnetska kompresija plazme izvodi se naglo rastućim magnetskim poljem paralelnim s osi cilindra ili torusa u kome se nalazi plazma. Postupak je poznat pod nazivom »Theta pinch«. Osnovni problem pri komprimiranju plazme je nestabilnost koja dovodi do toga da se mala nesimetrija magnetskih sila koje sa svih strana djeluju na plazmu pojačava i vrlo brzo plazmu izbacuje iz centralnog položaja u dodir sa stijenkom cilindra ili torusa.

Cilindrični uređaji karakteristični su i problemom bježanja plazme na krajevima cilindra prilikom kompresije. Toroidalni uređaji nemaju takav problem, ali zato radijalno opadanje magnetskog polja s udaljenošću od centra torusa zahtijeva dodatno magnetsko polje, da bi se torus plazme mogao držati odvojen od zida torusa. Silnice dodatnog polja moraju obilaziti prsten plazme i mogu se proizvesti strujom kroz plazmu, ili pak s vanjskim strujnim namotajima. Budući da osnovno kompresiono polje usmjereno duž prstena plazme s dodatnim poljem formira ukupno polje silnice kojeg helikoidalno, tj. poput navoja na vijku obilazi prsten plazme, govori se o tzv. »screw pinch« konfiguraciji, o »vijčanoj« kompresiji plazme. Uređaji u kojima se »screw pinch« postiže s dodatnim poljem struje kroz plazmu poznati su pod imenom tokamak uređaja, po uređaju izgrađenom u Institutu Kurčatova u Moskvi. Uređaji sa zavojnicama za dodatno polje nazivaju se stellaratorima po ovakvom uređaju sagrađenom u Princetonu, SAD. Svaka konfiguracija za ograničenje i grijanje plazme ima svojih specifičnosti. Dok stellaratori rade u stacionarnom režimu, uređaji tipa tokamak rade pulsno, a struja pokrenuta indukcijom u plazmi služi istovremeno za zagrijavanje plazme i za stvaranje dodatnog stabilizacionog polja.

Izvjesna predodžba o tome toliko su se postojeći uređaji približili uvjetima nužnim za fuziju može se dobiti iz postignutih temperatura, te uspoređenjem postignutih vrijednosti produkata gustoće i vremena ograničenja s Lawsonovim kriterijem. Od interesa su podaci o onim uređajima koji dozvoljavaju nadu u daljnji njihov razvoj do zadovoljavanja potrebnih fuzionih uvjeta.

Za ocjenu vrijednosti rezultata valja uvažiti to, da se u današnjoj fazi pojedini tipovi uređaja usmjeravaju na ostvarenje samo jednog dijela uvjeta, na primjer temperature ili gustoće plazme. Tek će se u kasnijoj fazi moći izabrati najpovoljnija konfiguracija za ostvarenje svih potrebnih uvjeta istovremeno.

Tako je na primjer doskora najveća vrijednost produkta $n \cdot \tau$ postignuta u uređaju tipa tokamak u Institutu Kurčatova bila oko 10^{-12} $cm^{-3} \cdot s$, ali pri razmjerno niskoj temperaturi. Povećanje za oko dva puta postignuto je nedavno (ref. 3) u Princetonu u uređaju koji predstavlja verziju tokamaka (ATC — Adiabetic Toroidal Compressor).

»Theta pinch« uređaji uspijevaju postići visoke temperature magnetskom kompresijom plazme. U takvim linearnim uređajima slobodnih krajeva postižu se temperature od više desetaka milijuna stupnjeva, a u uređaju s krajevima zatvorenim s tzv. zrcalima koja sprečavaju izlaz plazmi pri kompresiji postignuta je fantastična temperatura od 200 milijuna stupnjeva (Phoenix II, Culham, Vel. Britanija).

Jedna od linija istraživanja ide upravo za tim da se povoljne karakteristike linearnih »Theta pinch« sistema sačuvaju i u toroidalnoj konfiguraciji bitnoj za produženje vremena stabilnosti plazme.

Paralelno s razvojem uspostavljanja uvjeta za fuzionu reakciju ocrtavaju se i tehnološki problemi budućeg fuzionog reaktora. Jedan od njih bit će radijalno oštećenje materijala. Energija proizvedena u D — T reakciji prenosi se iz plazme najvećim dijelom brzim neutronima, što znači da će kroz stijenke posude u kojoj se nalazi plazma prolaziti neobično intenzivan neutronski tok koji će svoju energiju predati zaustavljajući se u debelom vanjskom omotaču od litija. Radijaciono opterećenje prvog zida posude bit će veoma veliko, a dozvoljeno opterećenje od odlučnog efekta na ekonomiku fuzionog reaktora.

Za stabilizaciju plazme magnetskim poljem u budućim reaktorima snage 3 — 5.000 MW (termalnih) bit će potrebno proizvesti polje indukcije oko

10 T u volumenu oko 10^3. To je ostvarivo samo supravodljivim magnetima za današnje pojmove golemih dimenzija. Tu imamo ujedno i školski primjer međuzavisnosti razvoja. Što bi bilo, na prvi pogled, manje povezano od fizike i tehnike ekstremno niskih temperatura, te fizike visoko temperaturne plazme? Danas je, međutim, jasno da bez rezultata fizike i tehnike niskih temperatura, tj. bez supravodljivih magneta ne može biti stabilizacije plazme magnetskim ograničenjem.

Valja na kraju razmotriti i metodu inercionog ograničenja plazme, kod koje se magnetsko polje ne koristi za stabilizaciju, pa prema tome čitava jedna grupa problema otpada. Fizikalni, a dobrim dijelom i tehnološki problemi su sasvim drugi u ovoj metodi ekstremno brzog zagrijavanja pomoću lasera. Problem specifičan za ovaj prilaz fuziji je razvoj lasera sposobnih da emitiraju ogromnu snagu kroz vrlo kratko i točno kontrolirano vrijeme. Vremenski i prostorno koncentriran laserski puls isparava kruti deuterij i pretvara ga u vruću plazmu velike gustoće u kojoj se reakcija može odvijati sve dok ekspanzijom njena gustoća ne padne ispod vrijednosti nužne po Lawsonovom kriteriju.

Da bi se i ovdje dobila predodžba o problemima što ih valja riješiti bit će potrebno navesti tipične procjene zahtjeva na potreban laserski puls.

Za isparavanje i zagrijavanje do temperature od 10^7 stupnjeva sitne kuglice deuterija, dimenzija oko 10^{-2} cm potrebna je energija od 10 džula.

No, zagrijavanje valja izvršiti u vrijeme oko 10^{-9} sekunde, što znači trenutnu snagu od 10.000 MW.

Da bi se dobila pozitivna bilanca energije nužan bi bio laserski puls još mnogo veće energije, iznad 10^6 džula, u trajanju od 10^{-9} sekunde. Iako se u procesu zagrijavanja plazme kriju još mnoge nepoznanice, pa su procjene potrebne energije ovisne o mnogim pretpostavkama, sigurno je da su rezultati svih procjena daleko iznad mogućnosti današnjih lasera.

Laseri sa neodimijem kao aktivnim materijalom sposobni su za energije do oko 10^4 džula, ali nije vjerojatno da bi se mogli razviti do potrebnih vrijednosti. Smatra se da veću perspektivu imaju laseri sa CO_2 kao aktivnim materijalom.

U ovom je kontekstu veoma interesantan nov razvoj po kojemu bi se zahtjevi na lasersku energiju reducirali za dva ili tri reda veličine i time se sasvim približili mogućnostima i današnjih lasera.

Do ove znatno povoljnije situacije došlo bi se novim principom komprimiranja plazme do gustoće krutog tijela, ili više obasjavanjem kuglice deuterija sa svih strana. Pri tom se isparavaju vanjski slojevi kuglice, a rezultirajuća reakcija komprimira preostatak (vidi npr. ref. 4).

Postavljaju se vrlo određeni zahtjevi na vremenski tok porasta laserskog pulsa. Eksperimenti su u toku i mnogi smatraju da će se laserskom fuzijom prije doći do pozitivne energetske bilance nego u magnetski ograničenoj plazmi. U svakom slučaju, laseri su područje vrlo dinamičkog razvoja i nove ideje i novi rezultati mogu sasvim izmijeniti današnja predviđanja.

4. Zaključak, ocjene perspektive

Kroz studij različitih mehanizama kojima plazma i njena energija mogu pobjeći iz magnetskog ograničenja došlo se do bitnog napretka u temperaturi, gustoći i vremenu stabilnosti plazme.

Postignuti rezultati obećavaju da će potrebni uvjeti za fuziju biti ostvareni. Inicirane su studije fuzionog reaktora osnovane na postignutim rezultatima i osnovni tehnološki problemi su u razmatranju, a preliminarne procjene ekonomike su povoljne (ref. 5, 6, 7).

Istraživački program obuhvaća još uvijek niz sistema; on još nije u fazi u kojoj bi bilo koji od njih mogao biti izdvojen kao najpovoljniji. U tu će svrhu biti potrebni novi uređaji kojima će se moći doći znatno bliže potrebnim fuzionim uvjetima. To je razvoj za idućih nekoliko godina. No, što se može reći o rokovima do konačnog cilja?

Na Ženevskim konferencijama o miroljubivoj upotrebi atomske energije već je uobičajeno da predsjednik u uvodnom govoru dade i prognozu o razvoju nuklearne fuzije.

Dr Homi Bhabha, začetnik indijskog nuklearnog programa, kao predsjednik na prvoj konferenciji 1955. godine predskazao je da će se do 1975. postići pozitivna energetska bilanca u fuziji. Evo njegovih riječi u odnosu na fuziju (ref. 8):

»Tehnički problemi su golemi, ali se treba sjetiti da još nema ni 15 godina od prvog oslobađanja atomske energije u reaktoru što ga je načinio Fermi. Usuđujem se predskazati da će se kroz iduća dva desetljeća naći metoda za oslobađanje fuzione energije na kontrolirani način. Kad se to postigne, energetski problemi svijeta bit će doista riješeni zauvijek, jer će gorivo biti tako neiscrpno, kao što je to teški vodik iz oceana«.

Na posljednjoj, četvrtoj Ženevskoj konferenciji 1971. godine Glen Seaborg, nobelovac i predsjednik Američke atomske komisije, kao predsjednik konferencije procijenio je da će se prognoza iz 1955. godine ispuniti, ako ne do 1975. godine, gotovo sigurno prije 1980.

Naravno, pozitivna energetska bilanca nije isto što i ekonomski opravdan reaktor. Ta bi se etapa u razvoju fuzione energije mogla usporediti s onom u kojoj je fisiona energija bila 1942. godine, kada je u Chicago-u prvi put uspostavljena kontrolirana lančana reakcija. Još su dva desetljeća iza toga trebala za razvoj do tehnološki razvijenih i ekonomski konkurentnih nuklearnih elektrana.

Po riječima Glena Seaborga, fuzione elektrane velike snage i ekonomske kompetitivnosti ne mogu se očekivati puno prije 2000-ite godine.

Možemo na kraju dodati, da naučni i tehnički razvoj najčešće ide brže od ekstrapolacija koje

nužno polaze od poznatog stanja i poznatih ideja, a ne mogu ocijeniti efekt novih ideja kojih će sigurno biti, iako su još nepoznate. Te nove ideje možda neće moći riješiti neke vrlo teške probleme, ali ih mogu načiniti irelevantnim, kao što se to može dogoditi s magnetskim ograničenjem plazme, uspije li se fuzija dobiti pomoću lasera.

Literatura:

1. H. Mandel: *Resources of Primary Energy*, Proceedings of the Fourth International Conference, Geneva 6. — 16. September 1971, Vol. 1.
2. *Theoretical and Experimental Aspects of Controlled Nuclear Fusion*, Proceedings of the Second International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 31. Geneva, 1958.
3. *Physics today*, p. 17, January 1973.
4. S. A. Ramsden: *Laser fusion*, International Conference on Gas Discharge, London, September 1972.
5. L. A. Arcimović: *Final report on controlled nuclear fusion* Proceedings of the Fourth International Conference on Peaseful Uses of Atomic Energy, Geneva 1971, Vol. 7.
6. R. W. Gould: *Progress in controlled thermonuclear research*, Proceedings of the Fourth International Conference on Peaseful Uses of Atomic Energy, Geneva 1971, Vol. 7.
7. R. S. Pease: *Progress on research towards controlled thermonuclear reactor*, Proceedings of the Fourth International Conference on Peaseful Uses of Atomic Energy, Geneva 1971, Vol. 7.

Naslov pisca: Prof. dr Vladimir Knapp, Elektrotehnički fakultet, Zagreb

PODUZEĆE ZA IMPREGNACIJU DRVA I PROIZVODNJU KOMPRIMIRANIH PLINOVA

KARLOVAC

Obavlja kemijsku zaštitu (kotlovsku impregnaciju) svih vrsti željezničkih pragova, pragova za smještaj kranskih dizalica, stupova za TT i EV vodove, kocaka za hale, rudno drvo i ostali građevinski materijal od drveta.

Impregnira po najsuvremenijim metodama.

Proizvodi komprimirane plinove: kisik, disuplin i dušik.

RAZVOJ ENERGETSKIH KABELA S IMPREGNIRANO-PAPIRNOM IZOLACIJOM I METALNIM PLAŠTEM

Živko Dobrosavljević, Svetozarevo

Prikazan je najnoviji razvoj u primjeni raznih izvedbi aluminijskih vodiča i kabela s takvim vodičima kao i kabela s aluminijskim plaštem, a zatim i kabela impregniranih naročitim kompoundom. Dane su usporedbene tablice podataka iz kojih se vide prednosti novih izvedbi kabela.

DK 621.315.2

1. Uvod

Potreba za električnom energijom iz godine u godinu vrlo brzo raste, posebno u većim industrijskim gradovima, pa je njezina potrošnja za elektromotorni pogon, rasvjetu i elektrotermiju takva da često nismo u stanju da je procijenimo.

Od 1885. godine kad je počela izrada energetskih kabela s impregniranim papirom, pa do današnjih dana, ova tehnologija se do te mjere razvila da se danas uspješno proizvode kabeli s papirno-uljnom izolacijom i do 700 kV. Kako viši naponi osiguravaju prijenos velike količine električne energije s većom sigurnošću i manjim gubicima, to i potreba za kabelima viših napona sve brže raste. Danas se već normalno uvode u gradovima, ovisno o njihovoj veličini, i kabeli napona 20, 35, 110 i 220 kV.

Kako za distribuciju električne energije u gradovima i poduzećima koristimo uglavnom kabelsku mrežu visokog i niskog napona, to nam je u interesu da se još više upoznamo i s ovom vrstom kabela, koju u praksi često nazivamo »klasičnim kabelima«.

Kao što je poznato, energetski kabeli s papirnom izolacijom i metalnim plaštom (olovo, aluminij) pokazali su tijekom 85 godina primjene veliku sigurnost u eksploataciji i dugi vijek trajanja.

Dovoljno iskustvo u montaži i polaganju, inovacije u tehnologiji i konstrukciji, što su usvojene posljednjih godina, kao i niska cijena, održale su i dalje uspješnu primjenu ovih kabela, naročito u području srednjih napona (10, 20 i 35 kV) usprkos pojavi kabela s novim vrstama izolacije (PVC, polietilen).

Razvoj kabela za posljednjih deset godina ogledao se u poboljšanju elektroizolacionih materijala, usavršavanju tehnološkog procesa proizvodnje, uvođenju novih konstrukcija, kao i u modernizaciji proizvodnih strojeva.

2. Novi materijali za proizvodnju vodiča kod energetskih kabela

2.1. Aluminijski vodiči

Od početka proizvodnje kabela, pa do 40-tih godina ovog stoljeća upotrebljavao se uglavnom bakreni vodič. Većom proizvodnjom aluminija dovoljne čistoće (99,8%) i vodljivosti preko 36 Sm, odnosno 61,5% bakra, dobre osobine u pogledu obrade kao i riješeno pitanje nastavljanja i priključivanja, dovele su posljednjih godina do povećane upotrebe ovog metala za proizvodnju vodiča.

Isto tako, na povećanu upotrebu aluminija znatno utječe njegova relativno niska i stabilna cijena u odnosu na bakar, čija je cijena vrlo nestabilna i visoka.

Danas se za kabele 1,6 i 10 kV uglavnom upotrebljava aluminij, tako npr. udio aluminija u kabelskoj industriji u nekim industrijski razvijenim zemljama, iznosi: u Švedskoj oko 80%, u SAD oko 75%, u SR Njemačkoj oko 64%, dok je ovaj postotak u Istočnim zemljama znatno veći (Mađarska 97%). U našoj zemlji je učešće aluminija u kabelskoj industriji za sada oko 8%.

Međutim, s obzirom na znatno povećanje proizvodnje aluminija, valja očekivati i znatno veće učešće ovog metala u proizvodnji kabela u našim tvornicama.

Fenomen korozije aluminija kao i pitanje spajanja i priključivanja dugo je bio kočnica šire primjene u svijetu, a posebno kod nas. Tačno je, da postoji pojava oksidacije aluminija, što stvara problem kod kontaktnih površina. Međutim, suvremene metode za spajanje (varenje, lemljenje, prešanje-gnječenje) su do te mjere razvijene da više o tome ne postoji dilema. Danas se uglavnom upotrebljava metoda gnječenja koja se izvodi na nekoliko načina i pokazala se vrlo uspješnom (SAD, Švedska, Njemačka, Francuska, i dr.).

2.2. Niklom prevučen aluminijski vodič — SINIPAL

Poznata tvornica Sieverts Kabelverk AB proizvela je novu vrstu vodiča pod nazivom SINIPAL vodič. Vodič je prevučen vrlo tankim slojem nikla debljine 1,4 do 1,5 mikrona. On ima bolje mehaničke osobine i otporniji je na oksidaciju od aluminija.

Postupak dobivanja SINIPAL vodiča je ovaj: aluminijskom vodiču se najprije odstrani masnoća i druge nečistoće, a provlačenjem kroz sistem kupki oslobađa se površina oksidnog sloja. Zatim se provlači kroz kupku između depolarizacionih anoda od nikla i tako nanese tanak sloj nikla, koji je u čvrstom spoju sa aluminijem.

Ovakav vodič ima nešto veću cijenu od aluminijskog i nešto sigurniju upotrebu, ali kako je sve to još u razvoju, to je o iskustvima iz prakse za sada rano govoriti.

2.3. Bakrom prevučen aluminijski vodič — Copper clad vodič

Danas su neke poznate firme u svijetu, kod kojih je metalurgija na vrlo visokom nivou, počele s proizvodnjom novog provodnog materijala — aluminija prevučenog bakrom, zahvaljujući procesu deformacije pod visokim pritiskom.

Među njima je i švedski elektrokoncern ASEA koji je također počeo s proizvodnjom bakrom prevučenog aluminija.

Istiskivanjem blokova aluminija obloženih bakrom na hidrauličnoj konti-preš (slična je proizvodnji šina ili drugih profila), dobiva se žica željenih dimenzija. Učešće bakra u ovakvoj proizvodnji je oko 15% (10—20%), što ovisi o vrsti i obliku proizvoda.

Osobine ovog vodiča su nešto bolje od čistog aluminija iako je otpornost na koroziju od velikog značaja. U tablici 1 dane su neke od bitnih veličina koje karakteriziraju kvalitetu ovog vodiča.

Tablica 1

Redni broj	Materijal	Specifična gustoća kg/dm³	Specifični otpor Ohm. mm²/m	Zatezna čvrstoća kg/mm²
1	Aluminijski vodič	2,70	0,0278	9
2	Copper clad vodič	3,65	0.0258	14

Copper clad vodič može se upotrijebiti svuda, gdje se upotrebljava i vodič od čistog bakra. Isto tako, obrada ovakve žice je slična bakrenoj (izvlačenje, žarenje, lakiranje, kalaisanje, i dr.). Najtanja do sada izvučena žica je promjera 0,40 mm ∅.

Budući da je proces proizvodnje, počevši od izrade blokova s bakrenom oblogom, pa prešanja žice 8 mm ∅ i izvlačenja na tanje dimenzije još uvijek skupo, ovaj tip vodiča za sada ne može imati širu upotrebu u kabelskoj industriji.

Valja spomenuti i poznatu tvrtku General cable iz Amerike koja je također usvojila ovu tehniku proizvodnje bakrom prevučene aluminijske žice (Copper clad).

Uštede što se postižu novim vodičem utjecat će na manju ovisnost SAD-a o uvozu. Isto tako se smatra da će cijena ovakvog vodiča biti postojanija i znatno niža od cijene bakra.

Naravno, sve su ovo za sada istraživanja, radi ekonomičnijeg dobivanja »dobrog« vodiča koji bi imao osobine oba metala (bakra i aluminija).

Kakve će sve ekonomske i tehničke prednosti donijeti ovakva rješenja pokazat će praksa, ali unaprijed je jasno da postoje prednosti copper clad vodiča pred aluminijskim u pogledu električnih, mehaničkih osobina, zatim otpornosti na koroziju, kao i bolje kontaktne veze za priključak na aparate i uređaje.

2.4. Olovom prevučen aluminijski vodič (Bleiplattirter aluminiumdraht)

U industrijski razvijenim zemljama postoje danas pokušaji da se primijeni i ovakva vrsta vodiča. Slobodno možemo reći, da je ovo jedno od najlošijih rješenja za dobivanje boljeg vodiča. Pokušaj je opravdan samo onda kada se želi efikasna zaštita od korozije na mjestima gdje se očekuje veći utjecaj vlage i mehaničkih oštećenja kabela.

Ovaj vodič, po mišljenju autora ovog članka, mogao bi se primijeniti kod kabela s termoplastičnom izolacijom i plaštom, za gradske mreže i stambene instalacije, kada se koristi nul mreža. U slučaju kada je četvrti vodič (nulti i zaštitni) izložen opasnosti, da se uslijed korozije prekine zbog oštećenja plašta i izolacije kabela, što bi dovelo do velike opasnosti od dodirnog napona pri rukovanju kućnim aparatima i uređajima.

3. Kabeli impregnirani u naročitom (polučvrstom) kompaundu — NP kabeli

Pri upotrebi energetskih kabela s papirnom izolacijom impregniranom u normalnom kompaundu — ulju, dolazilo je do čestih kvarova na koso ili vertikalno instaliranim kabelima s visinskom razlikom većom od 10 m.

Kvarovi su se pojavljivali uslijed male viskoznosti kompaunda-ulja, zbog čega je vremenom dolazilo do migracije duž vertikalno položenog kabela.

Ovaj nedostatak na »klasičnim kabelima« uspješno je otklonjen primjenom specijalnog kompaunda (polučvrsta masa) za impregniranje papirne izolacije.

Proizvodnjom energetskih kabela s polučvrstom masom (non-draining cables) počela je 60-tih godina ovog stoljeća u Engleskoj, a kasnije u Francuskoj, Njemačkoj, SSSR-u i kod nas, tako da se kabeli s papirnom izolacijom, kao najstariji, mogu sigurno i dalje primjenjivati u oštroj konkurenciji plastičnih kabela.

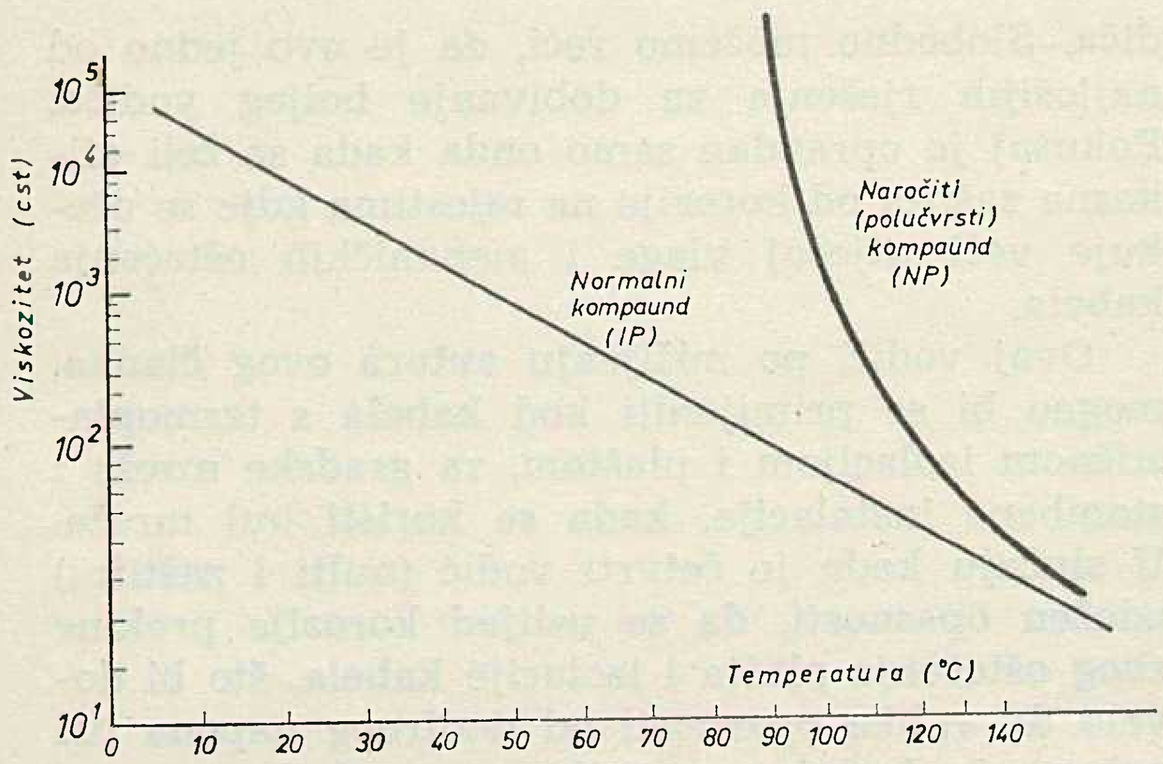
Industrija već oko 8 godina uspješno proizvodi kabele s naročito impregniranom papirnom izolacijom (NP kabeli) napona od 1 do 35 kV.

3.1. Osobine kompaunda

Pronalaskom naročitog kompaunda na osnovi mineralnih ulja s dodatkom kalofonija, polyisobutylena i specijalnih dodataka, koji znatno povećavaju viskozitet, ostvarena je proizvodnja kabela za vertikalno i koso polaganje. Ovakav sastav omogućuje kompaundu da na temperaturi od 90°C ostane u polučvrstom stanju.

Kako su radne temperature kabela napona 1, 10, 20 i 35 kV respektivno 80, 70, 65 i 60°C, to se može sa sigurnošću tvrditi da neće doći do migracije — kretanja kompaunda duž vertikalno položenog kabela tijekom eksploatacije.

Na temperaturi višoj od 90°C (kako se vidi na slici 1) polučvrsti kompaund se ponaša kao normalni kompaund-ulje, što je za proces impregnacije, što se odvija na temperaturi od 125°C, vrlo važna osobina.



Sl. 1 zavisnost viskoziteta od temperature za naročiti i normalni kompaund

U slučaju kratkih spojeva, kada se temperatura kabela u ovisnosti o visini napona kreće od 140 do 160°C, pa i više, moglo bi doći do topljenja (kretanja) kompaunda, ali kako je ovaj proces vrlo kratak, to radi inercije i velike apsorpcije topline u vodiču i metalnom plaštu praktično ne dolazi do pojave topljenja kompaunda, do stanja migracije duž vertikalnog kabela.

Kabeli s naročitim kompaundom (NP) imaju veći faktor dielektričnih gubitaka u odnosu na kabele s normalnim kompaundom (IP) na temperaturi do 30°C.

Ispitivanjem pod punim opterećenjem (grijanje do radne temperature) u trajanju od godinu dana s tri ciklusa (74, 136 i 250) u tri vremenska razdoblja (100, 187 i 345 dana) mjeren je faktor ionizacije na kabelu 3×150 mm², 35 kV s naročitim (NPZO) i normalnim (IPZO) kompaundom i ispitnim naponom U_0 i 2 U_0 (20 i 40 kV).

Dobiveni rezultati dani na slici 2 pokazuju da se faktor ionizacije bolje stabilizira, pa čak i smanjuje, (136, 250) kod NP kabela u odnosu na IP kabele. Objašnjenje ove pojave sastoji se u većem smanjenju *prostornog faktora impregnacije* (odnos prostora kompaunda i ukupnog prostora impregnirane mase) normalnog kompaunda pri dužoj eksploataciji od naročitog kompaunda. Kod polučvrstog kompaunda ne postoji pokretljivost impregnanta tijekom rada, dok kod normalnog postoji, i to naročito pri preopterećenju u prisustvu manjih nagiba, ili većoj vanjskoj temperaturi (kabeli položeni u zraku).

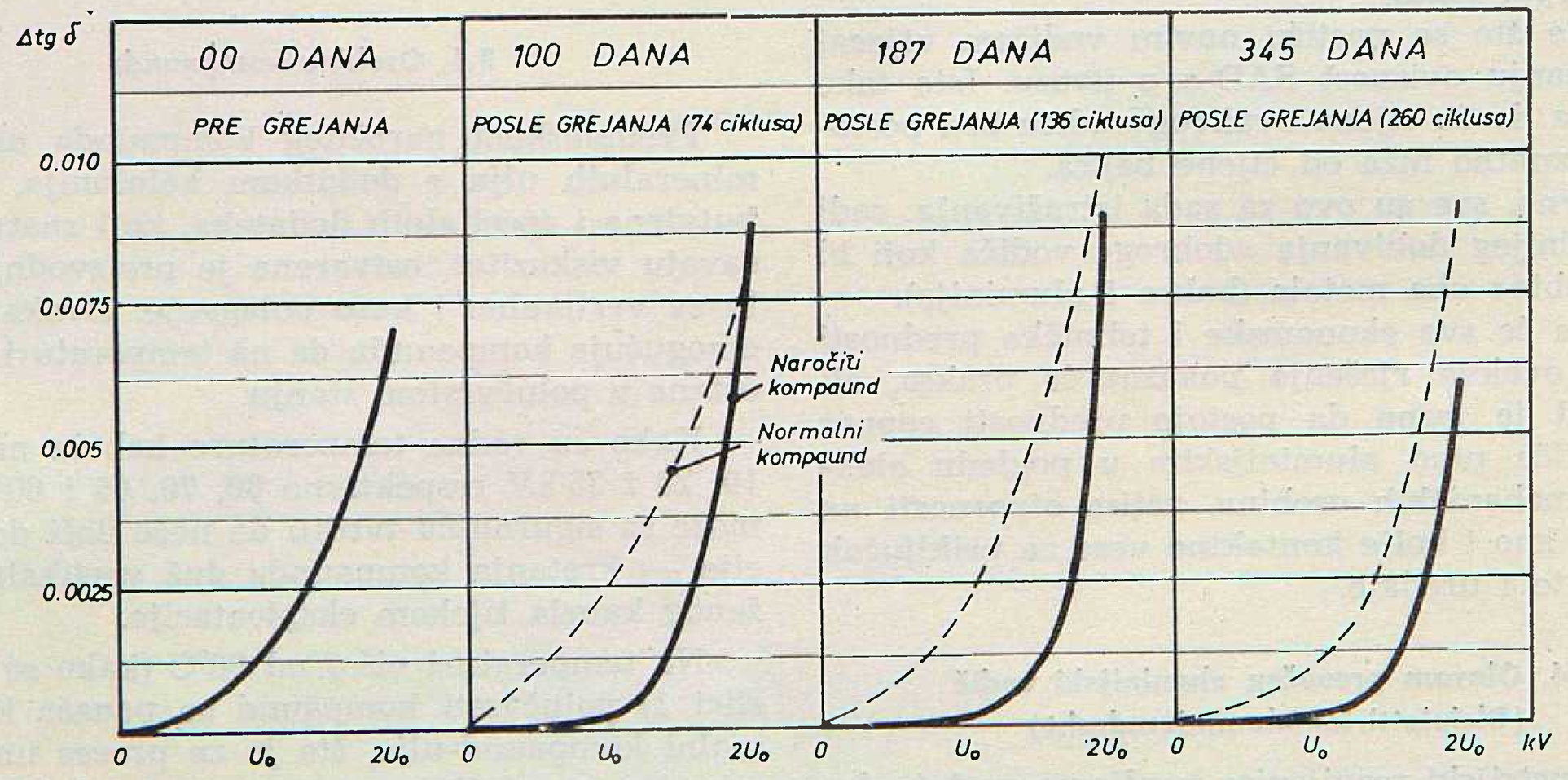
3.2. Primjena NP kabela

Kabeli s naročito impregniranom papirnom izolacijom (NP kabeli) od 1 do 35 kV primjenjuju se u:

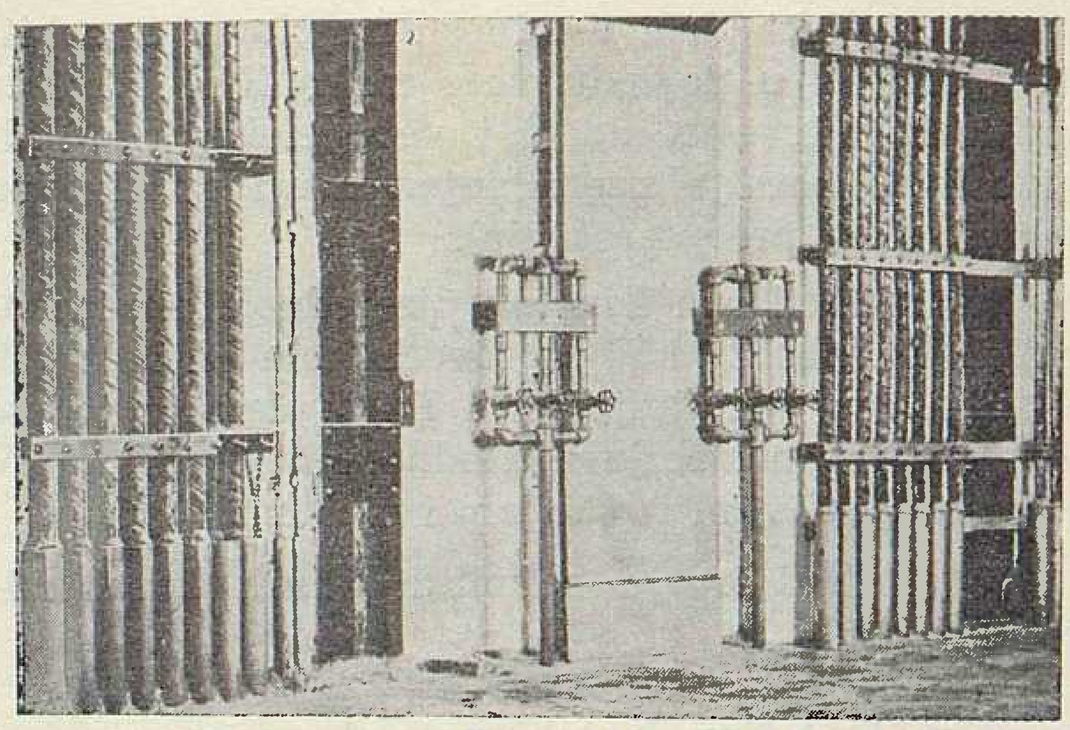
- u gradskoj mreži u neravnim — brdovitim terenima
- glavnim vodovima za napajanje rudničkih transformatorskih stanica
- blok-vezi u termo i hidroelektranama
- napajanju relejnih televizijskih i radarskih stanica
- prijelazu s nadzemnog na kabelski vod i obrnuto
- za podmorska polaganja, za prijelaz preko rijeka i jezera
- industrijskoj mreži s različitim visinskim razlikama pojedinih dijelova kabela duž trase (kabeli u zraku, tunelu i dr.)
- na svim onim mjestima, gdje bi se očekivala migracija normalnog niskonaponskog ili visokonaponskog kompaunda.

Migracija kompaunda kod IP kabela bila je posljedica ovih kvarova:

- fazni ili međufazni proboj na vertikalnom dijelu kabela
- kapanje ulja iz kabelske glave na donjem dijelu kabela



Sl. 2 Uporedni pregled faktora ionizacije (Δ tg δ) za kabel 3 × 110 mm² sa naročitim i normalnim kompaundom (karakteristika stabilnosti



Slika 3

— proboj ili eksplozija kabelske glave na višem dijelu kabela
— prskanje olovnog plašta na nižem dijelu kabela.

4. Kabeli s aluminijskim vodičem

Osim upotrebe bakra u posljednjih nekoliko godina se intenzivno radi na upotrebi aluminija za izradu vodiča u kabelu.

Ekonomski razlozi, niska i stabilna cijena aluminija u odnosu na promjenljivu i visoku cijenu bakra, utjecali su da se bakar sve više potiskuje iz proizvodnje kabela.

Polazeći od jednakog prijenosa energije, jednakih gubitaka snage (jednaki el. otpor) i jednakih dužina kabela, lako je pokazati da je potrebno 2 puta manje mase aluminija od bakra.

$$\frac{MCu}{MAl} = \frac{\rho Cu}{\rho Al} \cdot \frac{\gamma Cu}{\gamma Al} = 0{,}61 \cdot \frac{7{,}89}{2{,}70} = 2$$

Odnos cijena bakra i aluminija polovinom 1972. god. iznosi 2,274 (19,15 din/kg / 8,42 din/kg). Iz ovoga vidimo da se za bakreni vodič mora platiti 4,548 puta više (2,274×2) nego za ekvivalentni aluminijski vodič.

4.1. Kabeli s jednožilnim aluminijskim vodičem i olovnim plaštom — SOLIDAL kabeli

Posljednjih godina se sve više upotrebljava jednožilni aluminijski vodič za proizvodnju energetskih kabela umjesto višežilnog.

Nova konstrukcija kabela s jednožilnim (punim) vodičem od mekog (prešanog) aluminija boljih električnih i mehaničkih svojstava sve više zamijenjuje kabele s višežilnim vodičem — užetom.

Izborom konstrukcije i oblika vodiča, koji može biti okrugao ili sektorski pod kutom od 60, 90, 100 i 120°, postižu se znatne uštede u težini materijala, manji vanjski promjer kabela i bolje eksploatacione i montažne osobine, što se i vidi iz tablice 2.

Tablica 2

Red. br.	Uporedne veličine kabla 1 kV	Kabeli sa višežilnim Al provodnikom i Pb plaštom	Kabeli s jednožilnim Al vodičem i Pb plaštom — SOLIDAL —
1.	Električna vodljivost	35,38 S	36,50 S
2.	Prekidna čvrstoća	15—19 kg/mm²	7—8 kg/mm²
3.	Istezanje pri prekidu vodiča	2%	22—25%
4.	Težina (masa)	100%	94—95%
5.	»Električni« presjek	100%	90—93%
6.	Vanjski promjer kabela	100%	92—94%
7.	Ukupna težna kabela	100%	90—94%
8.	Cijena koštanja kabela	100%	90—92%

Razmatranja o ekonomskim efektima novih konstrukcija prikazanih tablicom 2 odnose se na 1 kV kabele s olovnim plaštom i klasičnom mehaničkom i antikorozivnom zaštitom s normalnim ili naročitim kompaundom. Na slici 4 se vidi konstruktivni izgled ovog kabela.

Kod četvorožilnih energetskih kabela s termoplastičnom izolacijom i plaštom još uvijek postoji dilema oko rješenja stabilnosti nul-vodiča. Naime, oštećenjem izolacije nultog vodiča postoji opasnost njegovog prekida uslijed korozije. Prekid je često neprimjetan, pa može izazvati velike nezgode pri rukovanju aparatima i uređajima, naročito ako je gradska mreža nulovana.

Ova opasna pojava je isključena kod četvorožilnih kabela s impregnirano-papirnom izolacijom i olovnim plaštom. Međutim, ovaj tip i konstrukcija kabela malo se upotrebljava u gradskim distributivnim mrežama Evrope i S. Amerike, dok se nešto više upotrebljava u SSSR, Africi i Aziji.

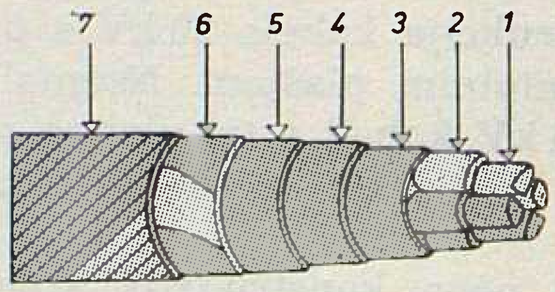
Mnogo veću primjenu imaju kabeli s impregnirano-papirnom izolacijom i aluminijskim plaštom kod kojih plašt ujedno služi i kao nulti (zaštitni) vodič.

4.2. SOLIDAL kabeli s aluminijskim vodičem i plaštom

Najnovija konstrukcija kabela (oznake NAKLEX po VDE ili NPA 04-ASJ po JUS) s aluminijskim jednožilnim vodičem, impregnirano-papirnom izolacijom i aluminijskim plaštom, danas ima najširu upotrebu u gradskim distributivnim mrežama i spada među najjeftinije niskonaponske kabele.

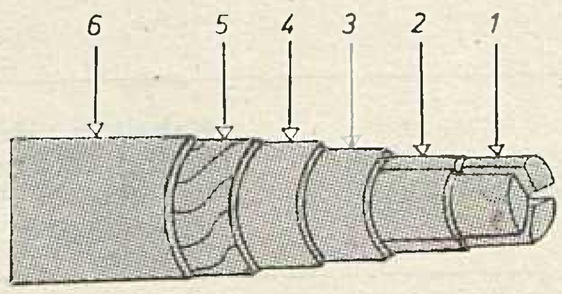
Za impregniranje papirne izolacije ovakvih kabela koristi se uglavnom samo naročiti (polučvrsti) kompaund.

Aluminijski plašt, pored svoje normalne uloge (zaštita jezgre kabela od vlage i mehaničkih utje-



Sl. 4 1 kV Solidal kabel s papirnom izolacijom, Al vodičem i olovnim plaštom

1 Pun Al vodič
2 Fazna izolacija
3 Pojasna izolacija
4 Olovni plašt
5 Unutrašnja zaštita
6 Mehanička zaštita
7 Vanjska zaštita



Sl. 5 1 kV Solidal kabel s papirnom izolacijom, Al vodičem, Al plaštom i vanjskim pvc plaštem

1 Pun Al vodič
2 Fazna izolacija
3 Pojasna izolacija
4 Al plašt
5 Unutrašnja zaštita
6 PVC plašt

caja) upotrebljava se ujedno i kao nulti vodič, što i čini ovaj kabel najjeftinijim i najšire upotrebljavanim u odnosu na kabele 1 kV s olovnim plaštom. Najviše se upotrebljava u SR Njemačkoj, Engleskoj i nekim istočnim zemljama, gdje elektrodistribucije ostvaruju velike uštede primjenom ovog kabela.

U tablici 3 dana je usporedba četverožilnog SOLIDAL kabela sa Pb plaštom i odgovarajućeg trožilnog SOLIDAL kabela s Al plaštom. Iz ove tablice se vidi još veća razlika u težini kabela, vanjskog promjera i cijene koštanja u odnosu na uspoređenja u tablici 2.

Na slici 7 je konstruktivni izgled SOLIDAL kabela s Al vodičem i plaštom.

Tablica 3

Red. br.	Usporedne veličine kabel 1 kV	Četvorožilni SOLIDAL kabel sa Pb plaštom	Trožilni SOLIDAL kabel sa Al plaštom
1.	Ukupna težina kabela	100%	42—46%
2.	Vanjski promjer kabela	100%	75—80%
3.	Cijena koštanja kabela	100%	71—75%

Presjek Al plašta koji služi kao četvrti vodič iznosi 80—140% od presjeka faznog vodiča, odnosno 160—280% od presjeka četvrtog (nultog) vodiča tako da ne dolazi do većeg zagrijavanja plašta uslijed toka električne struje što nastaje zbog nesimetričnog opterećenja faza.

5. Energetski kabeli 20 i 35 kV s aluminijskim plaštom

U posljednje vrijeme u distributivnim i industrijskim mrežama sve se više upotrebljavaju jednožilni kabeli 20 kV. Povećao se trend rasta primjene ovih kabela i u mrežama električne vuče, termo i hidro elektranama, i dr.

Na osnovi ovih zahtjeva razvijala se i usavršavala konstrukcija kabela 20 kV s papirnom izolacijom i metalnim plaštom. Normalno se proizvode 20 i 35 kV kabeli s tri olovna plašta ili kao ekranizirani s jednim olovnim ili aluminijskim plaštom.

Međutim, nova konstrukcija koja danas ima širu primjenu je jednožilni 20 kV kabel s aluminijskim plaštom i odgovarajućom antikorozivnom zaštitom. Konstruktivni izgled ovog kabela prikazan je na slici 6.

Aluminijski plašt u odnosu na olovni ima bitne prednosti u pogledu veće mehaničke čvrstoće (pritisak, vibracije, udar) i veće električne vodljivosti (efikasnije uzemljenje, manji redukcijski faktor, veća preopterećenja).

Polazeći od ove konstatacije jednožilni visokonaponski kabel 20 kV (s provodnikom od bakra ili aluminija) s aluminijskim i PVC plaštom još se uvijek više upotrebljava u odnosu na kabel 20 kV s termoplastičnom izolacijom i plaštom.

Ovi kabeli imaju nekoliko bitnih karakteristika, i to:

— malu težinu i olakšano polaganje
— veću termičku opteretivost
— mogućnost efikasnijeg uzemljenja preko Al plašta
— mali redukcijski faktor (oko 5 puta manji u odnosu na olovni plašt)
— pribor za spajanje i tehniku spajanja olakšanu
— broj spojnica znatno manji zbog velikih dužina, što ujedno povećava sigurnost eksploatacije
— mogućnost vertikalnog ili kosog polaganja, ukoliko je upotrebljen naročiti kompaund za impregnaciju.

Imajući u vidu prethodne karakteristike jednožilnih 20 kV kabela s aluminijskim plaštom, jasno je zbog čega su oni našli široku primjenu u industrijskim i gradskim mrežama, mrežama električne vuče i hidro i termoelektranama.

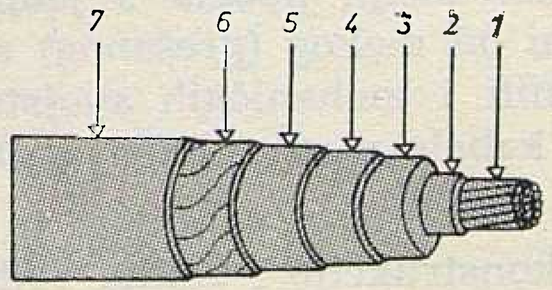
6. Zaštita aluminijskog plašta od korozije

U posljednje vrijeme kod energetskih kabela s impregnirano-papirnom izolacijom koristi se pored olovnog i aluminijski plašt.

Aluminijski plašt, kao što je iznijeto u točkama 4.2 i 5, ima danas širu upotrebu pa ga valja, s obzirom na povećani utjecaj korozije, efikasno zaštititi.

Posebno je važna sigurna zaštita plašta, ako se koristi kao četvrti vodič, nulti ili zaštitni, ili u nulovanoj mreži, zajedno kao nulti i zaštitni vodič.

U normalnim uvjetima primjene (pologanje u zemlju, kanal, cijev u zraku) izostavlja se arma-



Sl. 6 20 kV jednožilni kabel s papirnom izolacijom, Al plaštom i vanjskim PVC plaštom

1 Cu ili Al vodič
2 Karbon. papir
3 Papirna izolacija
4 Metal. papir/ekran
5 Al plašt
6 Unutrašnja zaštita
7 PVC plašt

tura od čeličnih traka ili žica, jer je aluminijski plašt dovoljna mehanička zaštita za ove uvjete polaganja.

Nedostatak aluminijskog plašta, koji je dugo i bio kočnica šire primjene aluminija, jeste problem korozije. Dilema je u opasnosti od prekida plašta uslijed korozije na mjestu oštećenja antikorozivne zaštite, što često nismo u mogućnosti na vrijeme otkriti.

Da bi se nedostatak spriječio, aluminijski plašt se u početku štitio od korozije obavijanjem tekstilnom trakom natopljenom barijevim ili cinkovim kromatom.

Primjenjivani su i drugi načini zaštite raznim premaznim sredstvima, zatim obavijanje cinčanom trakom, itd.

Danas se primjenjuju pod određenim tehnološkim procesom slijedeći materijali:

— premaz od kompaunda ili plastične mase
— sloj od termoplastičnih ili gumenih traka (folije)
— vanjski PVC ili polietilenski plašt.

Debljina premaza, sloja ili plašta ovisi o konstrukciji i primjeni kabela.

Dugogodišnjim ispitivanjima došlo se do zaključka da je za evropske uvjete ovakva zaštita s tehničke i ekonomske strane potpuno zadovoljavajuća.

Literatura

1. N. Hornmark: *Kupferumhülltes aluminium-lin neur werkstoff für die industrielle Fertigung von Kompound leitern* »Draht — Welf 1970«.
2. H. C. Hanson: *Vernickelter Aluminiumdraht für Kabel, Leitungen und Lackdraht* »Aluminium« (BRD) 1971.
3. E. Schuldei: *Aluminium-ein wirtschaftlicher Leiterwerkstoff* »Elektrizitätsverwertung« 1968.
4. W. K. Priestley: *Aluminium in der Elektroindustrie der Vereinigten Staaten von Amerika* »Aluminium« 1969.
5. H. Sünderhauf: *Die Verwendug von Aluminium in der Kabeltechnik* »Aluminium« 1969.
6. G. Hovnung: *Prüfung des Korrosionsschutzes für Aluminiummantelkabel* »VDI-Z« 1970.
7. L. I. Mačeret: *Silovie kabeli k aluminievimi žilami* »Kabelnaja tehnika« 1969.
8. D. A. Wimpany: *Aluminium in power cables and its jointing* »Electrical Distribution« 1968.
9. S. G. Hancock: *Insulated cables with aluminium conductors* »The Transactions of the S. A. Institute of Electrical enginiers« 1969.
10. C. C. Barnes: *Power Cables-Their Design and Instalation*, London, 1966.
11. S. M. Bragin: *Električeskij i teplovoj rasčet kabelja*
12. Bicc: *British Insulated Callendar's Cables* Limited London 1962.
13. IEC:Part 2: *Non-draining cables for alternating voltages from 10 kV up to and including 33 kV.*
14. Standardi: BS 6480, VDE 0255, GOST 340, JUS N. C5. 020 i N. C5. 220.

Naslov pisca: Živko Dobrosavljević, dipl. ing., Industrija kablova »Moša Pijade« Svetozarevo

NEKA POGONSKA ISKUSTVA U RADU RP 110 i 220 kV VISOKE IZVEDBE SA CIJEVNIM SABIRNICAMA U HE SENJ

Krešimir Pavičić, Senj

Rasklopno postrojenje HE Senj izgrađeno je, zbog naročite konfiguracije terena, u visokoj izvedbi na čelično rešetkastim konstrukcijama. Izneseni su podaci o postrojenju, o sabirnicama, izolatorima i višegodišnja iskustva o eksploataciji. Na kraju su dane preporuke projektantima sličnih postrojenja.

DK 621.311.4

Uvod

Izgradnjom sve većeg broja rasklopnih postrojenja i transformatorskih stanica, te primjenom sve višeg napona u nas, pojavljuje se potreba za što ekonomičnijim smještajem aparata. Znatnu stavku u troškovima izgradnje nekog rasklopnog postrojenja predstavlja danas prostor za smještaj visokonaponskih aparata i uređaja, to veću što smo bliže naseljenijim područjima, i što je konfiguracija tla nepovoljnija.

Velike uštede mogu se postići dobrim rasporedom aparata i primjenom krutih sabirnica. Svrha ovoga članka je da se izmesu dobra i loša iskustva što smo ih sakupili u posljednjih osam godina rada rasklopnog postrojenja u HE Senj.

Podaci o postrojenju

Projektiranje RP 110 i 220 kV za HE Senj obavljeno je paralelno s projektiranjem cjelokupnog objekta, tj. u vremenu od 1960. do 1964. godine. Montažu postrojenja dovršila su poduzeća »Dalekovod« i »Rade Končar« 1965. Pod naponom je dio 110 kV od 1965, a 220 kV od 1966. godine. Postrojenje je izvedeno kao »Visoka izvedba« na čeličnoj rešetkastoj konstrukciji, spojenoj vijcima, pocinčanoj i posebno obojenoj srebrnim luksalom. Postolja potpornih izolatora na kojima su smještene cijevne sabirnice 110 kV udaljena su od tla 10,75 m, a 220 kV 13,00 m. Razmak sabirnica 110 kV je 2 m, a 220 kV 4 m. Cjelokupno rasklopno postrojenje smješteno je u jednoj uvali na koti +16 m. Blizina mora je oko 100 m. Teren se blago spušta prema moru. Cjelokupni objekt okružen je Jadranskom magistralom i pristupnim putovima u HE Senj. Odatle i uvjet da se postrojenje zbije što je moguće više, radi uštede pri građevinskim radovima. Utjecaj bure je znatan, ali je južna strana zaštićena mnogo bolje. Primjećeno je taloženje soli na izolatorima, koju čistimo u godišnjim remontima. Zaštita od prenapona izvedena je u postrojenju s odvodnicima prenapona, koji su prema projektu postavljeni ispred i iza transformatora 10 MVA 110/35 kV te 150 MVA 220/110 kV. Naknadno smo postavili odvodnike prenapona na ulaze dalekovoda 110 i 220 kV u postrojenje. Odvodnici su proizvod švedske firme ASEA, izvedba HEAVY DUTY.

Zaštita od direktnog udara groma nije postojala, iako su sabirnice najviši dio postrojenja. Sada, nakon jednog vrlo neugodnog iskustva, postavili smo tri užeta razapeta iznad cjelokupnog rasklopnog postrojenja. (Vidi projekt izrađen u Institutu za Elektroprivredu SRH).

Podaci iz električkog proračuna sabirnica

Struje kratkog spoja, prema računu Instituta za Elektroprivredu SRH iznose:

Postrojenje	*110 kV*	*220 kV*
Efektivna vrijednost udarne struje KS	12,4 kA	14,05 kA
Efektivna vrijednost trajne struje KS	9,0 kA	9,80 kA
Vršna vrijednost udarne struje KS	31,6 kA	35,00 kA
Rasklopna snaga	2178 MVA	5000 MVA
Termička struja KS	14,3 kA	16,00 kA
Maksimalna struja u sabirnicama na koje treba dimenzionirati vodič	790 A	800 A

Podaci iz mehaničkog proračuna sabirnica

Postrojenje 110 kV

Konstruktivno, cijev je nosač preko dva polja 110 kV, raspona 17,6 m. Srednji ležaj je krut, ostala dva imaju mogućnost dilatiranja. Potporni izolatori 110 kV imaju dopušteno horizontalno naprezanje, na glavu izolatora od 400 kp, a moguće naprezanje je računato sa 12,7 kp/m tj. 112 kp po fazi i polju.

Spoj varenjem izveden na 1/3 raspona bliže srednjem ležaju tj. tamo gdje je najmanje naprezanje.

Opterećenja:

Vlastita težina cijevi s opremom	19,5 kp/m
Dodatno opterećenje $= 2{,}5 \times 018 \sqrt{D} =$	4,25 kp/m
Vjetar, zona III $W_0 = 130$ kp/m²; $=$	12,7 kp/m
Ukupno vertikalno	25,65 kp/m
Ukupno horizontalno	12,7 kp/m
Rezultanta	28,7 kp/m
Progib	23,2 mm

Naprezanja uz dodatne sile uslijed strujanja vjetra:

U polju	440 kp/cm²
U ležaju	827 kp/cm²
Dopušteno	1600 kp/cm².

Postrojenje 220 kV

Kao i u postrojenju 110 kV cijev je nosač preko dva polja 220 kV. Raspon je 32 m preko oba polja.

Dopušteno horizontalno naprezanje na glavu izolatora je 800 kp, a moguće naprezanje je računato sa 22,7 kp/m tj. 363 kp po fazi i polju.

Opterećenja:

Vlastita težina cijevi s opremom	22,6 kp/m
Dodatno opterećenje	5,68 kp/m
Vjetar	22,7 kp/m
Ukupno vertikalno	31,1 kp/m
Ukupno horizontalno	22,7 kp/m
Rezultanta	38,6 kp/m
Progib	104 mm

Naprezanje uz dodatne sile uslijed strujanja vjetra:

U polju	890 kp/m²
U ležaju	1575 kp/m²
Dopušteno	1600 kp/m².

Materijal sabirnica

Postrojenje 110 kV

Čelične bešavne cijevi proizvod Željezare Sisak 89/69 mm sa presjekom od 2460 mm². Materijal cijevi je prema JUS CB 5 221. Specifični otpor je manji od 0,15 ohm m/mm². Specifično strujno opterećenje je 0,32 A/mm².

Postrojenje 220 kV

Čelične bešavne cijevi 159/147 mm s presjekom od 3000 mm². Predviđeni materijal kao kod postrojenja 110 kV. Budući da domaći proizvođač tada nije mogao isporučiti takve cijevi, one su uvezene iz Italije (Milano) u komadima od po 10 m. Specifično strujno opterećenje je 0,27 A/mm².

Spojni materijal je izrađen u poduzeću »Dalekovod« iz Zagreba prema posebnim zahtjevima i dogovorima:

Fiksna stezaljka na glavi izolatora 110 i 220 kV.
Dilataciona stezaljka na glavi izolatora 110 kV.
Dilataciona spojka na sabirnicama 110 kV.
»T« stezaljka na sabirnicama 110 kV za uže 185 mm² i dva užeta 185 mm².
»T« stezaljka na sabirnicama 220 kV za uže 300 mm².

Izolatori

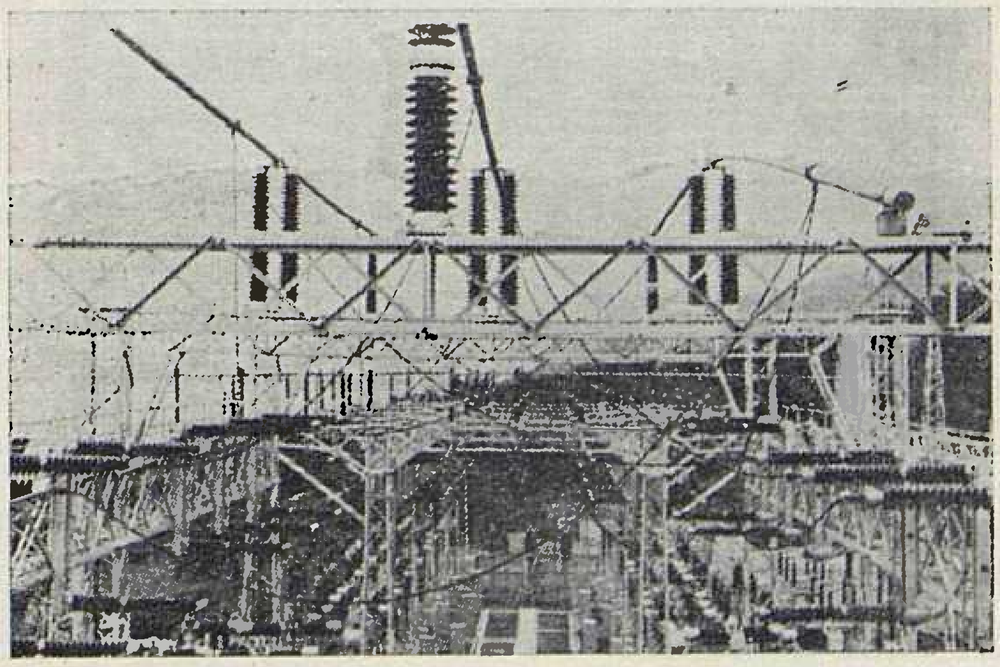
Na postrojenju 110 kV upotrebljeni su puni izolatori tvornice iz Aranđelovca. Na postrojenju 220 kV bili su montirani domaći šuplji izolatori, ali sada zamijenjeni izolatorima francuske proizvodnje Spirelex. Slični, ako ne i potpuno isti izolatori su upotrebljeni na sklopkama u RP Mrzlo Polje (HE na Trebišnjici).

Ponašanje postrojenja u eksploataciji

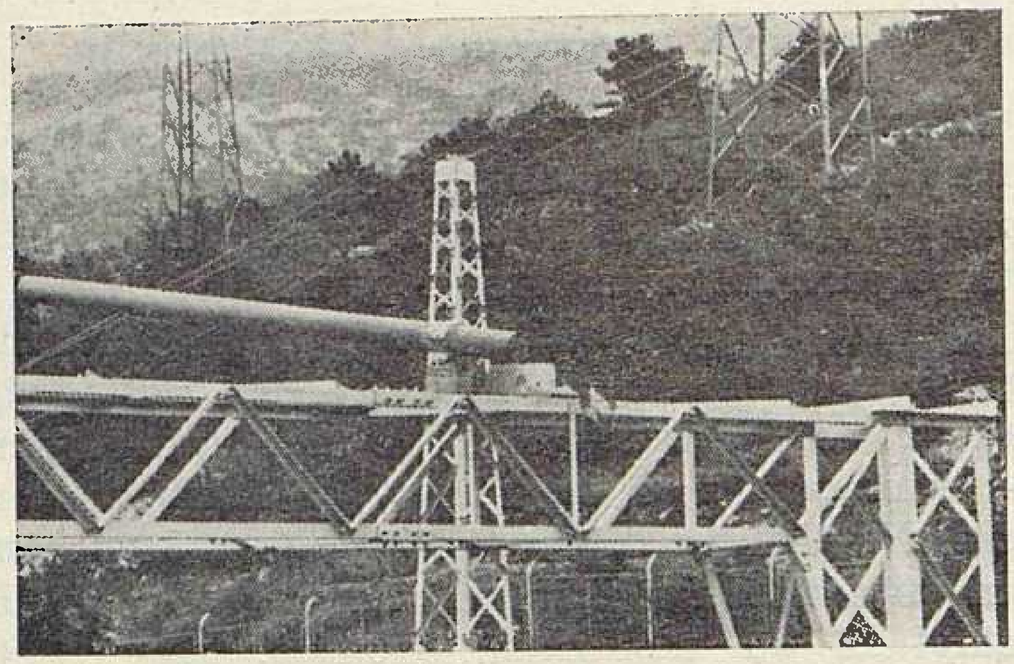
Odmah nakon montaže potpornih izolatora 110 kV primijećeno je savijanje konzola koje nose izolatore i sabirnice. To smo morali odmah ukloniti potporama, pa se stanje popravilo.

Cjelokupna noseća konstrukcija je od kutnika koji su spojeni vijcima. S vremenom, uslijed djelovanja vlastite težine i težine montiranih aparata- konstrukcija se stabilizira, pa dobivamo provjese. Na jednom dijelu postrojenja 220 kV zabunom nije računat moment torzije, a sabirnički rastavljači su montirani okomito. Za vrijeme montaže izvršena su dodatna pojačanja, jer se je konstrukcija trajno deformirala. Slična situacija bila je i s konzolom koja nosi potporne izolatore sabirnica 220 kV. I tu je provjes znatan, ali nisu potrebna dodatna pojačanja. Nije čudo da smo radi deformacija uslijed stabiliziranja postrojenja i pomicanja fiksnih ploha na kojima su postavljeni izolatori, do sada imali pucanje 5 izolatora 110 kV. Kako je postrojenje 110 kV sa svojim dimenzijama manje, i kako su potporni izolatori sabirnica gušće raspoređeni, bilo je za očekivati da ćemo imati manje oštećenja uslijed nepredviđenih mehaničkih opterećenja na izolatore radi deformacija nosne konstrukcije. I zaista, svih 5 izolatora nađeno je napuknuto za vrijeme transporta. Ostali, zdravi, preuzimali su sile nošenja. Od svih potpornih izolatora 110 kV kojih ima 51, i nisu šuplji, ni jedan nije do sada probio električki.

Sabirnice 220 kV su relativno kratke. Svaka je oslonjena na tri točke. U sredini su dva potporna izolatora i fiksni spoj sabirnice na glavu izolatora. Sabirnica ima mogućnost dilatacije na krajevima. Električki proboj izolatora je češći na krajevima, radi refleksije vala. Ako izolacija izolatora oslabi, tada je za očekivati proboj upravo na tom mjestu. Na slici 1 vidi se jedan takav slučaj. Izolator je najprije električki probio, a zatim je potpuno mehanički oštećen i u komadima pao na pristupni put. Vidi se savijena sabirnička cijev s kapom izolatora, kako je legla na nosnu konstrukciju, a desno od kape je temeljni metalni dio izolatora vijcima pričvršćen za konstrukciju. Iz slike se može razabrati kako su gusto smješteni aparati i kako je prostor u ovoj izvedbi ekonomično isko-



Slika 1



Slika 2

rišten. Na površini od samo 1630 m² smješteno je postrojenje 110 kV sa 11 polja, a na površini od 2000 m² smješteno je postrojenje od čak 4 polja sa sabirnicama 220 kV. Ovu smo uštedu već do sada skupo platili. Na slici 2 se vidi isti defekt s druge strane. Iz slike 1 razabiremo kako su izvedeni priključci sa sabirnice na gornji pol jednopolnih sabirničkih rastavljača koji su montirani okomito. Vidljivo je, da na prvom polju s desna, nemamo nikakvih sila na gornji izolator sabirničkog rastavljača oštećene faze, jer je priključak postao predug uslijed savijanja sabirnica prema dolje. Međutim, na susjednom polju (također s desne strane na slici 1) sabirnica je poprimila oblik luka prema gore, pa je priključak od nje do glave izolatora rastavljača postao prekratak, povukao izolator, slomio ga, a ovaj je uslijed svoje težine pao na donji izolator rastavljača i slomio ga. Sve je kompletno palo na sklopku 220 kV, i uništilo jedan njezin pol.

Ako se pažljivo zagledamo u sliku 1, vidimo da u susjednom polju imamo samo dva sabirnička rastavljača ispravna, dok je prvi oštećen pao na zemlju i ne vidi se. Potpuno oštećenje toga rastavljača vidi se na slici 3, a uništenje jednog pola

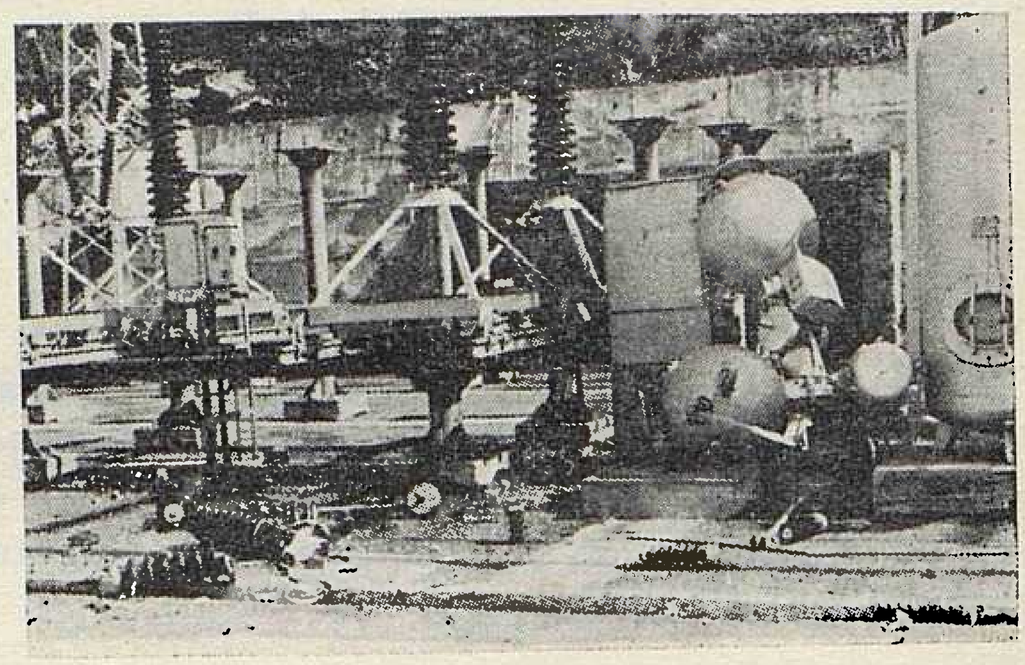
Slika 3

sklopke 220 kV u polju za TS Pehlin, koje u to doba nije bilo kompletno niti montirano (vide se prazna postolja pripremljena za mjerne transformatore i izlazne rastavljače) na slici 4.

To su bile prve velike nezgode s izolatorima 220 kV, a doživjeli smo ih 14. rujna 1967. godine u 17,48 h.

Drugi proboj izolatora imali smo 17. ožujka 1968. godine. Dana 13. travnja 1969. i 16. veljače 1970. godine uspjeli smo na vrijeme izmijeniti već skoro sasvim oštećene izolatore, a 17. srpnja 1970. imali smo ponovno proboj i oštećenje izolatora. Od ukupno 12 potpornih izolatora u roku od 3 godine oštećeno je bilo 5, što je zaista previše.

Pretpostavljamo da smo prilikom proboja 14. rujna 1967. godine, (vidi se na slikama 1 do 4) imali direktni udar groma u postrojenje. Nije isključeno da je prenapon došao dijelom i po vodovima s obzirom na relativno slabo uzemljenje stupova i zaštitnih užadi. Radi krševitog tla otpori



Slika 4

uzemljenja stupova sežu čak i do 120 ohma. Daljnja teškoća je i lokacija objekta te konfiguracija tla. Na udaljenosti od oko 1 km stupovi su već na visini od oko 300 m nadmorske visine. Zračne struje su kod nas jake i često nastaje vrlo intenzivno miješanje zraka uz morsku obalu, tj. od mora prema kopnu i obrnuto.

Izokeraunička karta pokazuje da naše područje ima oko 45 udara groma na godinu, što je u Jugoslaviji blizu maksimuma.

Ipak smo konstatirali, a to još valja i potvrditi, da je najveća nezgoda bila u činjenici što smo imali šuplje potporne izolatore. Na njihovoj unutarnjoj strani hvatala se vlaga koju nismo mogli ukloniti. Čulo se povremeno izbijanje, naročito pri južnom vremenu.

Iz dosadašnjeg opisa se razabire da smo s ovakvom visokom izvedbom imali poteškoća, iako je ona omogućila vrlo racionalno korištenje prostora. Posebno valja spomenuti teškoće što smo ih imali sa signalnim sklopkama rastavljača. Poznato je naime, da preko kontakata ovih sklopki idu strujni krugovi komande, blokade i slično. Održavanje u ispravnom stanju od velike je važnosti. Pristup signalnim sklopkama, dok je postrojenje u pogonu, u ovoj izvedbi je znatno otežan, gotovo nemo-

guć. Teško je izbjeći blizinu dijelova pod naponom, ako se ne želi cjelokupno postrojenje staviti u beznaponsko stanje. Rad na visini kao i pristup, vrlo je otežan, a poznato je kako su strogi ZTZ propisi. Gotovo je nemoguća upotreba dugih mehaniziranih ljestava, dok je susjedni dio postrojenja pod naponom. Nadalje, uvijek postoji mogućnost pada nekog dijela opreme ili alata na aparat koji se nalazi ispod, a to su redovito veoma skupe i relativno nježne učinske sklopke. Najviše je izložen gornji dio učinske sklopke, njezin najvažniji element.

Da bi se doseglo iznad sabirnica 220 kV radi pregleda ili nekog zahvata, potrebno je imati ljestve duge bar 17 m. Osim čovjeka i alata, na vrh ljestava djeluje još i sila težine izolatora, ako ga želimo izmijeniti. Jedan izolator 110 kV težak je 60 kp, a 220 kV 300 kp. Upotreba ljestava nije jeftina. Sredinom 1971. godine za jedan sat najma, plaćali smo poduzeću »Skladišta« iz Zagreba, 1500 din. Ljestve su bile kvalitetne, 600 kp dižu na kraku od 22 m, a posada je spretna.

Na spojnim mjestima, gdje su sabirnice varene oštećeno je pocinčanje. Zaštita je izvedena antikor premazima. Redovno svake godine ova se mjesta pregledavaju i po potrebi ponovno premazuju. Prije stavljanja pod napon, sabirnice smo obojadisali žutom, zelenom i ljubičastom bojom. Nakon tri godine boja je izblijedila, ali ih ne treba više premazivati bojama radi raspoznavanja faza.

Budući da su potporni izolatori sabirnica u okomitom položaju, zahtjevi za čišćenjem njihove površine su povećani, jer kiša ne ispire donju stranu rebara. Ovo čišćenje se obavlja redovno svake godine.

Na 110 kV postrojenju nismo imali teškoća s potpornim izolatorima sabirnica, možda zato što su izolatori puni, iako izgledaju mnogo nježnije.

U kolovozu 1971, za vrijeme godišnjeg remonta zamijenili smo sve potporne izolatore na postrojenju 220 kV, novim, francuske proizvodnje (Spirelex). Posebno smo dodali zaštitne prstene na glave izolatora, a dolje su stavljena zaštitna iskrišta. Razmak od ruba iskrišta do prstena iznosi 1400 mm. Od toga dana do danas prošlo je 16 mjeseci i nismo imali nikakvih teškoća. Mislimo da je ipak ovo razdoblje još uvijek prekratko da bi se mogli osloniti na postignute rezultate i smatrati problem potpuno riješenim.

Na osnovi ovih iskustava, mislimo, da bi se u budućim postrojenjima, a posebno onima sa naponom 400 kV, mogle upotrijebiti cijevne sabirnice s potpornim izolatorima, ali preporučamo da se naročito vodi računa o slijedećem:

1. Stabilnost noseće konstrukcije mora biti vrlo dobra. Preporučamo krute nosače, varene konstrukcije, da bi se izbjeglo savijanje i izvijanje. Naročito mora biti solidna konstrukcija konzola ili drugih nosača na kojima su montirani izolatori.
   Pri projektiranju noseće konstrukcije rasklopnog postrojenja običaj je da ove dijelove projekta rade građevinski stručnjaci i statičari. Mora se postići puna koordinacija između građevinara i elektrostrojara, naročito onih koji su zaduženi za održavanje.
2. Gusto postavljeni aparati ušteđuju prostor, ali smo imali vrlo neugodnih posljedica. Prilikom eksplozije jednog mjernog naponskog transformatora 110 kV oštećeno je još 5 aparata u njegovoj neposrednoj blizini.
3. Kvaliteta potpornih izolatora mora biti na visini. Najbolje je uzeti podatke o njihovom ponašanju u eksploataciji, a ugrađivati samo provjerene izolatore. U ovakvim važnim postrojenjima ne dolazi u obzir eksperimentiranje. Probe se mogu obavljati u posebnim postrojenjima. Bilo bi dobro kad bi podatke ove vrste imali u Elektroprivredi.
4. Dobro je da su sabirnice postavljene što niže radi lakšeg pristupa.
5. Nastojati graditi takva postrojenja u kojima nisu montirani aparati jedan iznad drugoga.
6. Neobično je važan lagan pristup s pokretnom mehanizacijom. Treba doći do svakog aparata kako bi ga mogli brzo i lagano zamijeniti, a da pri tome ne isključujemo cijelo postrojenje.
7. Za vrijeme projektiranja odmah riješiti način demontaže i transporta težih dijelova, te predvidjeti aparate i učvršćenja za buduće zamjene pri eksploataciji.
8. Upozoravamo na novije izvedbe potpornih izolatora od epoksidnih smola. Bilo bi dobro što prije ugraditi u nekom eksperimentalnom postrojenju izvjesni broj ovakvih izolatora i početi skupljati iskustva.
9. Kod ovako visokih i skučenih postrojenja valja posebno voditi računa o mjerama sigurnosti osoblja, jer dolazi do povećane opasnosti od kliznućća i padova sa konstrukcije, a također i do opasnog približavanja dijelovima pod visokim naponom.

U svijetu ima vrlo mnogo rasklopnih postrojenja sa cijevnim sabirnicama. Prednosti ovakvih postrojenja valja iskoristiti, ali ih treba kompleksno riješiti projektom, dispozicijom aparata, tehnološkom kontrolom odabranih materijala, ispitivanjem prije ugradnje, montažom i održavanjem.

Ako je sve to dobro riješeno, nema zapreke uvođenju cijevnih sabirnica s potpornim izolatorima u rasklopna postrojenja svih redova napona.

Naslov pisca: Krešimir Pavičić dipl. ing. HE »Senj«

PROGRAM ZA IZRAČUNAVANJE TOKOVA SNAGA NA RAČUNSKOM STROJU ICL

Zdenko Tonković, Zagreb

Institut za elektroprivredu je dobio vlastiti terminal kojim je priključen na elektroničko računalo tvrtke International Computer Limited. Terminal se nalazi u Institutu, a centralna memorija veličine 16 K, kao povećanje već postojeće od 32 K, u ELEKTRI. Time je Institut dobio mogućnost da vlastitim snagama riješi elektroenergetske probleme. Jednu od takvih analiza dajemo u ovom prikazu.

DK 681.3

Uvod

Najčešća analiza energetskog sistema s izmjeničnom strujom je, uz kratki spoj, analiza tokova opterećenja, odnosno tokova snaga, sa stanovišta ekonomičnosti, sigurnosti i stabilnosti. Do pojave računskih strojeva to se rješavalo upotrebom mrežnog analizatora, što je i dalje ostalo osnovom digitalnih rješenja. Sličnost između rada mrežnog analizatora i računskog stroja možemo pratiti u slijedećoj tablici:

mrežni analizator	računski stroj
svođenje mreže na ekvivalentni nadomjesni oblik i priprema jediničnih vrijednosti	isto
priprema sheme uticanja	označavanje jednopolne sheme mreže
uticanje	program za ulaz podataka
postavljanje jediničnih elemenata mreže i opterećenja	ulaz podataka i formulacija Y
operator pokušavanjem nastoji postići optimalnu ravnotežu	stroj pokušavanjem nastoji postići optimalnu ravnotežu
bilježenje rezultata	izlazni rezultati

Glavna je razlika u tome, što program za računski stroj treba referentni čvor, u kojem će onda postaviti generator za pokrivanje gubitaka sistema. Na digitalno rješenje računskim strojem prešlo se ne toliko zbog veće točnosti stroja koliko zbog njegove brzine i ekonomičnosti.

Opća formulacija i pristup problemu

U osnovi se radi o određivanju napona čvorova mreže za određen raspored generatora, odnosno napajanja. Jednadžba napona svakog čvora je:

$$[I] = [Y]\,[V] \tag{1}$$

Za rješavanje te jednadžbe koristi se matrična algebra, pa vrijednosti u uglatim zagradama predstavljaju matrice odgovarajućih veličina, a budući da je to nelinearna jednadžba, zbog međuovisnosti [V] i [I], postupak rješavanja je iterativan. [Y] je matrica impedancija čvorova, čiji se elementi formiraju iz podataka o granama mreže, a [I] je struja koja protječe tim čvorovima, i koja se određuje iz fazorske snage u odgovarajućem čvoru:

$$I = \left[\frac{N^\star}{V^\star}\right] \tag{2}$$

$$N = N_{gen} - N_{opt} = V \cdot I^\star$$

I^* je konjugirano kompleksna veličina struje I, a N_{gen} i N_{opt} su zadana ukupna izlazna snaga generatora i potrebna snaga opterećenja za taj čvor, dok V procjenju program.

Za rješavanje matrice potrebno je jedino odrediti napon $V = V_0$ u referentnom (potencijalnom) čvoru, tako da se [Y] može modificirati u subdeterminantu [Y'] precrtavanjem retka i stupca koji odgovaraju referentnom čvoru, a [I] u [I'] tako da se od svakog elementa I_i odbije produkt $Y_{io} \cdot V_0$, gdje je Y_{io} odgovarajuća admitancija iz [Y]. Jednadžbu (1) možemo napisati uz pomoć složene matrice admitancija, znajući da za sve elemente priključene na referentni čvor vrijedi $Y_{io} = Y_{ok} = Y_0$:

$$\begin{bmatrix} Y_{oo} & Y_o \\ Y_o & Y' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_o \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_o \\ I \end{bmatrix}$$

Pomnožimo:

$$[Y_{oo}]\,[V_o] + [Y_o]\,[V] = [I_o] \tag{3}$$

$$[Y_o]\,[V_o] + [Y']\,[V] = [I] \tag{4}$$

Iz (4) slijedi:

$$[Y']\,[Y] = [I] - [Y_o]\,[V_o] = [I']$$

$$[I'] = \left[\frac{N^\star}{V^\star}\right] - [Y_o]\,[V_o] \tag{5}$$

Program invertira [Y'] u [Z] pa se dobije:

$$[V] = [Z]\,[I'] \tag{6}$$

V_0 je određeni napon referentnog čvora,

I_0 je ulazna struja u referentni čvor a određuje se prema (3) nakon rješenja (6),

Y_{oo} je dijagonalni element matrice admitancija referentnog čvora (koji ujedno znači sumu svih uzdužnih i poprečnih admitancija priključenih na taj čvor).

$$[Y_o] = \begin{bmatrix} Y_{o1} \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_{om} \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_{on} \end{bmatrix} \qquad [Y'] = \begin{bmatrix} Y_{11} & \cdot\cdot & Y_{1m} & \cdot\cdot & Y_{1n} \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ Y_{m1} & \cdot\cdot & Y_{mm} & \cdot\cdot & Y_{mn} \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ Y_{n1} & \cdot\cdot & Y_{nm} & \cdot\cdot & Y_{nn} \end{bmatrix}$$

[V] je jednostupčana matrica ili vektor napona čvorova,
[I] je jednostupčana matrica ili vektor struje čvorova.
[Z] $= [Y']^{-1}$

Nulom je označen referentni čvor, a oznakama od 1 do n svi ostali čvorovi.

Do tražene raspodjele napona u cijeloj mreži dolazi se iterativnim rješavanjem jednadžbi (5) i (6), a iterira se sve dok razlika između dvije sukcesivne iteracije ne bude unutar određene tolerancije, npr. jedinične vrijednosti 0,0001, koju predpostavlja program, no koja se može mijenjati po potrebi. Međutim, pravi test da li rezultati zadovoljavaju bio bi da struja kroz sve čvorove mreže bude dovoljno mala, teoretski nula. Kad su tako naponi konvergirali, izračunavaju se struje u svim granama mreže, pa se određuje maksimalna pogreška djelatne i jalove snage u svakom čvoru; ta se maksimalna pogreška uspoređuje s navedenom vrijednosti tolerancije, npr. 0,01 MW ili MVAr, pa ako je manja rezultat se štampa. Ako je veća, faktor konvergencije se automatski smanjuje na desetinu svoje početne vrijednosti pa se ponovo iterira, dok ne budu zadovoljena oba kriterija: i za napone i za struje. Interesantno je, da je drugi kriterij konvergencije također kontrola točnosti inverzije matrice, jer za određivanje struja grana računski stroj koristi proračunatu raspodjelu napona (određenu iz invertirane matrice admitancija) i zadane vrijednosti admitancija grana (iz kojih su izračunati koeficijenti za matricu admitancija čvorova). Maksimalni broj iteracija je 100, nakon čega se štampaju rezultati bez obzira na moguću divergenciju.

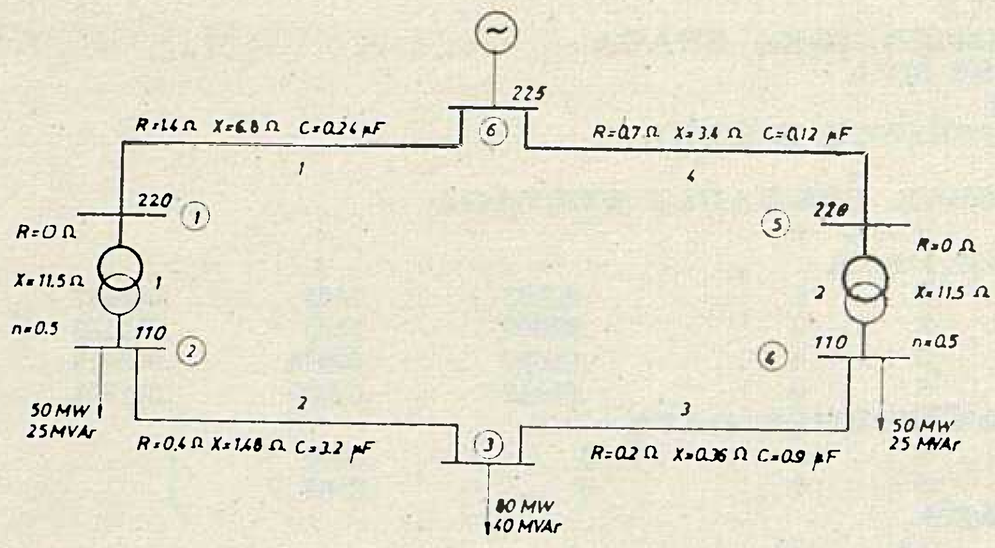
Program je napisan Fortranom sa nekoliko PLAN potprograma, a za skladištenje podataka koristi Extended Disc System. Za upravljanje programom korišten je Executive upravljački sistem.

Ulazni podaci

Prvi stupanj u pripremi podataka je crtanje jednopolne sheme mreže i označavanje elemenata. Program za analizu tokova snaga uvažava samo direktnu mrežu sastavljenu od jednostrukih vodova i transformatora. Za potrebe programa oni se označavaju pozitivnim cijelim brojevima koji ne moraju biti u slijedu. Brojevima, a prema želji i nazivima, označavaju se i čvorovi, no oni moraju biti u slijedu. Za ilustraciju ICL-ovog programa zadržat ćemo primjer iz IBM-ovog test programa koji je prikazan u »Energiji«, br. 3—4, 1970., pa ćemo tako pružiti i mogućnost usporedbe. Shema mreže je na sl. 1.

Podaci za mrežu zadaju se u jediničnim vrijednostima što znatno pojednostavljuje računanje ukoliko se mreža sastoji od više transformatorima povezanih krugova različitih naponskih nivoa. U tu se svrhu određuje osnovna impedancija mreže:

$$Z_0 = \frac{V^2}{N_0}\ \Omega$$



Slika 1

V (kV) je proizvoljno odabrani osnovni napon odgovarajućeg kruga; ima li više povezanih krugova različitih napona onda osnovni naponi nisu nezavisni nego su određeni prijenosnim omjerima transformatora, koji povezuju te krugove.

N_0 (MVA) je proizvoljno odabrana osnovna snaga za cijelu mrežu; najprikladniji su višekratnici od 10. Program zahtijeva da se ta osnovna snaga pod odgovarajućom naredbom posebno navede. Jedinične vrijednosti uzdužnih impedancija dobijaju se dijeljenjem sa Z_0, a kapacitivne susceptancije množenjem. Za jedinične vrijednosti impedancije transformatora je svejedno da li ih promatramo iz jednog ili drugog naponskog kruga:

$$X = \frac{N_0}{N} \cdot e_k .$$

Podaci o snagama generatora i opterećenja zadaju se za svaki čvor kao djelatna P (MW) i jalova snaga Q (MVAr), sa konvencijom o predznacima da je djelatna snaga uvijek pozitivna, a jalova samo onda ako struja zaostaje za naponom. Program dozvoljava postojanje samo jednog generatora i samo jednog tereta u čvoru, pa ako ih ima više treba ih združiti u jedno ekvivalentno napajanje odnosno opterećenje. Napomenimo da program pretpostavlja da je svaki čvor na koji je priključen generator reguliran kao PQ čvor, no ta se regulacija odgovarajućim naredbama može izmijeniti u PV čvor (što je povoljno u slučaju da dobivamo sve napone čvorova previsoke ili preniske jer će program računati jalovu snagu i kut napona potrebne da se održi zadana aktivna snaga P i zadani napon V), u PQ čvor (što dolazi u obzir samo ako je čvor prije drugačije zadan, npr. kao PV ili VA), te u VA čvor (kada će program izračunavati vrijednosti P i Q prema stvarnom modulu i kutu napona u tom čvoru, bez obzira na prije zadane vrijednosti). Jasno je, da je referentni čvor, čiju brojčanu oznaku i jediničnu vrijednost napona ukoliko je različit od nominalnog valja navesti, uvijek reguliran kao VA; napajanje čvora, ukoliko nije zadano, izračunava program i ono nam znači gubitke sistema i eventualni manjak snage koje zahtijeva opterećenje. Taj slučaj pretpostavlja i izabrani primjer.

Tako pripremljeni podaci o sistemu na odgovarajućim obrascima ulaze u stroj ili na karticama ili na papirnoj traci i reproduciraju se u

```
TITLE
PRIMJER TOKA SNAGA
BASE MVA
1000
REFERENCE BUSBAR
6
BUSBAR PRE-FAULT VOLTAGE
6      1.0225  0
LINE DATA
1      6      1      .02893      .1405      .003647      1
2      2      3      .03306      .1223      .012158      1
3      3      4      .01653      .02975     .003419      1
4      5      6      .01446      .07025     .001824      1
TRANSFORMER DATA
1      1      2      0           .9504      1
2      5      4      0           .9504      1
LOADS
2      50     25
3      80     40
4      50     25
COMPUTE
LOAD FLOW
DATA ENDS
INPUT O.K. JOB MAY CONTINUE
```

Sl. 2: Učitanje ulaznih podataka

rezultatima, sl. 2. Podaci o vodovima znače slijedeće: brojčanu oznaku voda, brojčane oznake čvorova između kojih je priključen, djelatni otpor, induktivni otpor, kapacitivnu vodljivu vrijednost i jediničnu procjenu struje voda (u slučaju da je nepoznata uzima se jedinica). Podaci o transformatorima: brojčana oznaka transformatora, brojčana oznaka primarnog i sekundarnog čvora, djelatni otpor, induktivni otpor i uzdužni prijenosni omjer — čiju jediničnu vrijednost određujemo prema:

$$n = \frac{\text{stvarni}}{\text{nominalni}} \text{ prijenosni omjer.}$$

Podaci o opterećenju: broj čvora na kojem postoji opterećenje, te njegova djelatna i jalova vrijednost. Podaci o generatorima zadaju se na isti način. Ulazne podatke zaključuju naredbe koje programu znače da valja izračunati tokove snaga te da je završeno navođenje podataka.

Izlazni rezultati

Kao rezultat najprije su štampani tokovi snaga u vodovima. Svaki red sadrži: brojčanu oznaku voda, čvor (broj i naziv) koji predaje snagu, predanu djelatnu, jalovu i prividnu snagu, nastavlja se identično za čvor koji snagu prima; zatim su štampani djelatni i jalovi gubici a posljednja oznaka u redu rezervirana je za signalizaciju preopterećenosti voda. Slijede tokovi snaga kroz transformatore. Svaki red sadrži: brojčanu oznaku transformatora, čvor koji predaje snagu (broj i naziv), predanu snagu: djelatnu, jalovu i prividnu; nastavlja se identično za čvor koji prima snagu, i završava gubicima (radnim i jalovim), prijenosnim omjerom i oznakom čvora na koji je priključen primar. Svaki red trećeg bloka rezultata pokazuje: naziv i broj čvora, napon i kut napona u tom čvoru, zadano opterećenje (MW, MVAr i MVA), zadano ili izračunato napajanje čvora (MW, MVAr i cos fi), njegovu regulaciju, te eventualnu potrebnu promjenu u napajanju da se postigne konvergencija, sl 3.

Rezultate zaključuje blok s ukupnim opterećenjem, ukupnom proizvodnjom generatora, ukupnom proizvodnjom susceptancija, ukupnim gubicima i ukupnim uzdužnim gubicima, sl. 4.

Opisani program korišten je na ICL-ovom računskom stroju veličine 32 K, na kojem je moguće analizirati mrežu do veličine 88 čvorova, 180 vodova i 180 transformatora. Treba međutim reći da će se memorija uskoro povećati za još 16 K, pa će to omogućiti i postavljanje većih mreža. Za naš primjer od učitanja kartica do ispisivanja rezultata trebalo je 1,5 minuta.

Tok programa može se pratiti preko poruka koje bilježi konzolni pisač.

Mogućnosti i ograničenja

U našem primjeru provedena je samo osnovna analiza zadanog sistema, no mogu se provesti, kao što će biti redovito u praksi slučaj, i naredne analize koje koriste već izračunate i u memoriji uskladištene podatke. Pri tom treba paziti da se ne mijenja osnovna snaga sistema (N_0), da se ne dodaju novi nazivi čvorova, da se ne mijenja nji-

ICL 1900 SERIES POWER SYSTEM ANALYSIS A. C. LOAD FLOW PROGRAM-MARK 1

PRIMJER TOKA SNAGA — PAGE 1

CONVERGED TO 0.00000100 IN 4 ITERATIONS

FLOATING BUSBAR IS 6 VOLTAGE = 102.25

		POWER SENT					POWER RECEIVED					
LINE	SJ	NAME	MW	MVAR	MVA	RJ	NAME	MW	MVAR	MVA		LOSSES	O/L
1	6	.....	86.20	41.4	95.62	1	.....	85.94	43.9	96.51	0.26	—2.53	
2	2	.....	35.94	10.3	37.39	3	.....	35.89	21.7	41.91	0.05	—11.35	
3	4	.....	44.15	15.2	46.69	3	.....	44.11	18.3	47.78	0.04	—3.17	
4	6	.....	94.31	49.5	106.53	5	.....	94.15	50.7	106.92	0.16	—1.13	

		POWER SENT					POWER RECEIVED							
TRAN	SJ	NAME	MW	MVAR	MVA	RJ	NAME	MW	MVAR	MVA		LOSSES	TAP	PJN
1	1	.....	85.94	43.9	96.51	2	.....	85.94	35.3	92.91	0.00	8.61	1.000	1
2	5	.....	94.15	50.7	106.92	4	.....	94.15	40.2	102.36	—0.00	10.49	1.000	5

				SPECIFIED LOAD			COMPUTED GENERATION			TYPE	CHANGE	
NAME	JN	VOLTS	ANGLE	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR	PF		MW	MVAR
.....	1	101.42	—0.60									
.....	2	97.63	—5.33	50.00	25.00	55.90				PQ		
.....	3	97.31	—5.56	80.00	40.00	89.44				PQ		
.....	4	97.44	—5.50	50.00	25.00	55.90				PQ		
.....	5	101.77	—0.32									
.....	6	102.25	0.00	0.00	0.00	0.00	180.51	90.91	0.8931	VA	REFERENCE	BUSBAR

Sl. 3: Izlazni rezultati

PAGE 2

PRIMJER TOKA SNAGA

TOTAL LOAD	180.00 MW	90.00 MVAR
TOTAL GENERATION	180.51 MW	90.91 MVAR
TOTAL SUSC. GENERATION		—20.47 MVAR
TOTAL LOSSES	0.51 MW	0.91 MVAR
TOTAL SERIES LOSSES	0.51 MW	21.38 MVAR

DATE 06/10/72 TIME 00000000

END OF STUDY

1 STUDIES, STARTED AT 00000000 FINISHED AT 00000000
32 K EDS VERSION. ISSUE NUMBER 3

Sl. 4: Zaključni izlazni rezultati

hov broj, da čvorovi ni u jednoj analizi ne budu izolirani, te da prva četiri znaka naslova tih narednih analiza budu jednaki osnovnim. Odgovarajućim naredbama moguće je modificirati podatke o čvorovima, vodovima, transformatorima, te uključivanje odnosno isključivanje pojedinih elemenata mreže. Takve promjene konfiguracije program rješava vrlo brzo, jer je tako sastavljen da se modificira samo invertirana matrica impedancija.

Smatra se da je problem riješen kada su moduli napona, prijenosni omjeri transformatora i izlazne snage unutar njihovih određenih granica.

Spomenimo još jednu mogućnost programa a to je provođenje mješovitih analiza. Kao i kod mrežnog analizatora, za analizom tokova snaga obično slijedi analiza kratkog spoja; to je moguće i na računskom stroju. Tada će se koristiti naponi čvorova i izlazne snage kako ih izračunava program za tokove snaga, a ostali podaci trebaju biti zadani. Ti se podaci mogu zadati, kao i odgovarajuće naredbe, odmah na početku a program za tokove snaga naprosto ih neće uvažiti.

Usporedba IMB i ILC programa

	IBM	ICL
priprema podataka:	apsolutne vrijednosti	jedinične vrijednosti
ulaz u stroj:	kartica izbušena u zadanom formatu	papirna traka ili kartice izbušene u slobodnom formatu
broj iteracija:	20	100
tokovi snage:	kapacit. jalova snaga je izdvojena iz tokova jalove snage u elementima mreže i vezana uz čvorove	stvarni, u svim elementima mreže
gubici:	samo djelatni i jalovi induktivni u elementima mreže; analogno u ukupnim dubicima	stvarni, u svim elementima mreže; analogno u ukupnim
maksimalna veličina:	135 čvorova, neograničen broj grana	za verziju 32 K: 88 čvorova, 180 grana
vrijeme izračunavanja primjera:	11,5 min	1,5 min

Naslov pisca: Mr Zdenko Tonković, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

OSVETLJENJE U OBJEKTIMA BEZ PRIRODNOG ILI S NEDOVOLJNIM PRIRODNIM OSVETLJENJEM

Kiril A. Tropin, Beograd

Radi postizanja povoljnijih radnih uslova i radi što veće kompenzacije nedostatka prirodnog osvetljenja u zatvorenim objektima, postoji niz svetlotehničkih mera, koje su u izlaganju razmotrene i objašnjene u granicama mogućnosti. Naročita pažnja je poklonjena naknadi nedostatka ultraljubičastog zračenja, odnosno eritemnom ozračavanju zaposlenih.

DK 628.9

1. Specifičnosti objekata bez prirodnog ili s nedovoljnim prirodnim osvetljenjem

Izgradnja objekata ili delova objekata bez prirodnog ili s nedovoljnim prirodnim osvetljenjem* uslovljena je uglavno sledećim:

— tehnološkim procesima izvesnih proizvoda;
— građevinskim rešenjima na široj osnovi;
— koncepcijom specijalnih objekata;
— ekonomikom gradnje;
— strateškim potrebama i
— nekim drugim razlozima.

Zardžaćemo se, kraće na nekim od tih razloga.

1. Tehnologija nekih proizvoda postavlja veoma oštre zahteve u pogledu sredine radne prostorije, kao što su na primer: potpuno odstranjivanje prašine, održavanje temperature u uskim granicama, određena vlažnost sredine, itd. Takav je slučaj, na primer, u nekim pogonima za izradu preciznih instrumenata, veštačkih vlakana, radio i elektronske industrije itd. Sem toga zahteva se neki put stabilitet svetlosti, naročito u pogledu boja, koji se može postići jedino, ako se stalno radi pri jednom, tj. veštačkom, osvetljenju.

2. Građevinska rešenja većih radioničkih prostorija, naročito u višespratnim objektima, nisu ograničena i uslovljena udaljenošću od prozora i njihovom veličinom (upadni ugao dnevne svetlosti). Takva rešenja ne zahtevaju izgradnju nekoliko manjih objekata, umesto jednog, niti povećanje površine industrijskog kruga ili rešavanje unutrašnjeg (međuradioničkog) transporta.

3. Koncepcija specijalnih objekata, na primer elektrana uopšte, a naročito pribranskih hidroelektrana, potpuno isključuje mogućnost korišćenja prirodnog osvetljenja u dobrom delu radnih prostorija.

4. Ekonomika ukazuje na sledeće okolnosti:

— Izrada svetlosnih površina (otvora u obimnim zidovima, u krovovima i tavanicama) skuplja je od punih zidova i odgovarajućih krovnih i međuspratnih konstrukcija;

— Svetlosne površine osetno povećavaju gubitke toplote zimi, a leti stvaraju nepovoljno toplotno dejstvo, koje može usloviti izgradnju instalacija za klimatizaciju;

— Održavanje svetlosnih površina je nužno, a skupo i dosta komplikovano.

Svi su ovi razlozi dovoljno opravdani za dalju izgradnju objekata bez prirodnog ili s nedovoljnim prirodnim osvetljenjem. Zato izgleda opravdanim da se sistematiziraju izvesna saznanja i ukažu smernice i mogućnosti za povoljnije rešenje osvetljenja u takvim objektima.

Time dalje izlaganje poprima formu konstatacija i preporuka, propraćenih najnužnijim objašnjenjima.

Pogoršanje radnih uslova usled nedostatka prirodnog osvetljenja predstavlja osnovnu karakteristiku objekata bez prirodnog ili sa nedovoljnim prirodnim osvetljenjem. Ovo pogoršanje teško je iskazati kvantitativno bez prethodnih analiza za svaki konkretan slučaj, a opšta razmatranja se svode uglavnom na poznatu činjenicu da električno osvetljenje može zameniti dnevnu svetlost, čak i da pruži povoljnije uslove za rad čula vida, ali ne odgovara ostalim normalnim prirodnim uslovima za životnu aktivnost čoveka.

Životna, prirodna aktivnost čoveka, a prema tome i njegova produktivnost, opada još više pri radu u objektima bez prirodnog osvetljenja, odnosno pri ostalom radu samo pri električnom osvetljenju, tj. pod uslovima:

— nedostatka ultraljubičastog zračenja, potrebnog za zdravlje čovjeka i za sterilizaciju prostorije u kojoj se on nalazi;
— psihičke depresije u ljudi u zatvorenoj prostoriji bez vizuelne veze s ostalim svetom, i
— stvaranja utisaka da se rad obavlja noću ili pod zemljom, tj. pod uslovima manje produktivnosti.

Zadatak stručnjaka za svetlosnu tehniku, a donekle i graditelja, da u budućim objektima bez prirodnog ili s nedovoljnim prirodnim osvetljenjem ostvare ne samo povoljne radne uslove, već i da se u što većoj meri nadoknadi nedostatak prirodnog osvetljenja.

Rešenje ovog zadatka odvija se uglavnom prema sledećim smernicama:

— ostvarenje povećanih osvetljenosti;
— poboljšanje kvalitete osvetljenja;

* U izlaganju služi se izrazima prirodno i veštačko osvetljenje radi uočavanja psihofizioloških i drugih momenata. JUS U.C9. 100. primenjuje izraze — »dnevna svetlost« (Tageslicht) i »Električno osvetljenje« (napona autora).

— primena pretežno opšteg osvetljenja;
— stvaranje vizuelne veze sa spoljnom okolinom ili iluzije takve veze;
— naknada nedostatka ultraljubičastog zračenja;
— povećana sigurnost pogona instalacija električnog osvetljenja.

2. Ostvarenje povećanih osvetljenosti

Nedostatak prirodnog osvetljenja može u izvesnoj meri da se nadoknadi, pre svega, ostvarenjem povećanih osvetljenosti od opšteg veštačkog osvetljenja, tj. postizanjem većih osvetljenosti od onih, koje su određene normama za izvršavanje dotične vrste radova primenom sledećeg većeg stepena iz skale normi osvetljenosti. Prema tome, za dotičnu vrstu radova bi trebalo usvojiti, pri projektovanju, sledeći veći zahtev iz Tabele 2. JUS U.C9.100, ako se služi ovim normama osvetljenosti. Tako na primer, ako za izvršenje nekih radova pod normalnim uslovima (objekt sa prozorima) norme predviđaju »srednji« zahtev osvetljenosti, onda u objektu bez prirodnog ili s nedovoljnim prirodnim osvetljenjem za istu vrstu radova treba ostvariti osvjetljenosti prema »velikom« zahtevu.

Zamisao povećanja osvetljenosti, od opšteg veštačkog osvetljenja, u objektima bez prirodnog ili s nedovoljnim prirodnim osvetljenjem se zasniva na pretpostavci o održavanju (postizanju) iste srednje godišnje količine svetlosti u tim objektima, kao i one količine svetlosti, koju primaju objekti s dovoljnim prirodnim osvetljenjem. Takva srednja godišnja količina svetlosti može da se izračuna s dosta konvencionalnosti. Istu srednju godišnju količinu svetlosti, prema takvom računu, dobiće i objekti bez prirodnog osvetljenja, ako njihova osvetljenost od opšteg veštačkog osvetljenja odgovara sledećem većem zahtevu osvetljenosti prema normama, kako je to već rečeno.

Povećanje osvetljenosti usvajanjem sledećeg većeg zahteva nije nužno sprovoditi, ako se takvo povećanje već vrši iz nekih drugih razloga, ili ako predviđena osvetljenost od opšteg osvetljenja neće biti manja od 100 lx. U svakom slučaju, najmanje osvetljenosti u svim prostorijama treba da budu 150 lx za fluorescentne sijalice i 80 lx za sijalice sa usijanim vlaknom. Izuzetak čine prostorije za grube radove, stepeništa, garderobe, predvorja i sanitarne prostorije, za koje važi veoma mali zahtev.

U većim prostorijama sa prozorima postoji zona sa dovoljnim prirodnim osvetljenjem — »svetla« zona, za koju ne važe navedeni uslovi.

Međutim, ako se u celoj prostoriji obavljaju radovi podjednake tačnosti, onda za celu prostoriju treba uzeti osvetljenost kao za »tamnu« zonu.

Navedene najmanje vrednosti osvetljenosti za objekte bez prirodnog osvetljenja treba smatrati privremenim i opštim minimumom, koji čak ne garantuje potpuno otklanjanje osećanja sumraka.

Veće vrednosti osvetljenosti (na primer 300 lx) svakako su poželjne. U nekim člancima u stranim časopisima kao minimalna vrednost osvetljenosti se navodi čak i 500 lx. Međutim norme osvetljenosti, njihov opšti nivo (kao što je slučaj i sa Tabelom 2. JUS U.C9.100), određuje se prema tehničkim i ekonomskim mogućnostima svake zemlje i za određeno stanje i razdoblje njenog razvoja.

Napominjemo, da su navedene vrednosti osvetljenosti iznad higijenski minimalnih normi, kao i vrednosti iz Tabele 2. JUS U.C9.100, i da se s promenom ovih poslednjih ništa principijelno ne menja u pogledu izloženog o povećanim osvetljenostima u objektima bez prirodnog ili sa prirodnim osvetljenjem.

Pitanje zastarelosti normi iz Tabele 2. JUS U.C9.100, kao i pitanje uopšte načela za određivanje normi osvetljenosti, nisu predmet ovog izlaganja.

Osvetljenost radnih mesta pri kombinovanom osvetljenju (opšte i dodatno osvetljenje) može da odgovara JUS U.C9.100, ali da udeo opšteg osvetljenja bude najmanje 20% pri istim vrstama sijalica, a najmanje 30%, ako se za dodatno (lokalno) osvetljenje usvoje sijalice s usijanim vlaknom, dok se za opšte osvetljenje koriste fluorescentne cevi ili sijalice sa živinom parom pod pritiskom. Obrnuta kombinacija malo je verovatna.

U oba slučaja treba zadovoljiti sledeće uslove:

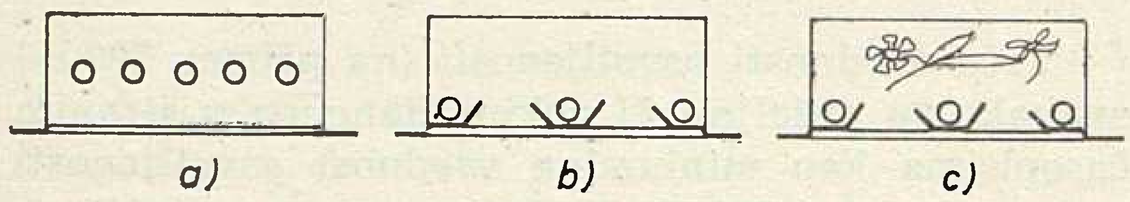
Tablica 1

Vrsta sijalice	Osvetljenost	
	najmanje 1 x	najviše 1 x
Fluorescentne sijalice i sijalice sa živinom parom pod pritiskom	150	500
Sijalice sa usijanim vlaknom	80	300

3. Kvalitet osvetljenja

Kvalitet osvetljenja je određen pre svega izborom vrste izvora svetlosti. U prostorijama sa nedovoljnom prirodnom svetlošću, namenjenim za stalan boravak ljudi, treba po pravilu koristiti fluorescentne sijalice. Ovo iz razloga većih vrednosti osvetljenosti u objektima bez dovoljno prirodne svetlosti, kao i radi postizanja povoljnog spektralnog sastava svetlosti — boje svetlosti. Ovaj zahtev iz razloga jednoobraznosti (unificiranja) proširuje se na kancelarije, projektantske biroe, ambulante i trpezarije. U sastavu takvih objekata nije obavezno postavljati fluorescentne sijalice u sporednim prostorijama kao i u radnim prostorijama, u kojima ljudi ostaju povremeno (komore za provetravanje, tuneli, tavani itd.). Sijalice sa usijanim vlaknom mogu da se koriste u opravdanim slučajevima (nužno osvetljenje, svetiljke zaštićene od eksplozije).

Sijalice sa usijanim vlaknom mogu da se koriste bez ikakvog ograničenja za lokalno osvetljenje radnih mesta.



Sl. 1. Shema imitacija prozora, a — zastakljen mat staklom; b — sa odbijenom svetlošću; c — ukrasni

U pogledu izbora fluorescentnih cevi ili sijalica sa živinom parom pod pritiskom ne mogu da se postave jasno određeni kriterijumi. Često se predlaže da se odluka o izboru izvora svetlosti donese na osnovu ekonomskog upoređenja. Međutim, ovo nije potpuno ispravno. Savremene fluorescentne sijalice zrače prijatniju svetlost (bar prema subjektivnoj oceni), nego li sijalice sa živinom parom pod pritiskom. Zato, sa dosta slobode, fluorocentne sijalice mogu da se preporuče za prostorije sa velikim brojem zaposlenih, bez obzira na njihove nešto lošije ekonomske karakteristike (na primer pri većim visinama veštanja), nego li sijalica sa živinom parom pod pritiskom.

Izbor vrsta fluorescentnih sijalica se vrši s obzirom na potrebu raspoznavanja boja.

Sijalice sa živinom parom pod pritiskom mogu da se primenjuju samo, ako nema nekih određenih zahteva u pogledu pravilnog raspoznavanja boja.

U pogledu bleska i stroboskopije nema posebnih zahteva u objektima ove vrste, i ako te pojave svakako i ovde zahtevaju najveću pažnju.

Osvetlenje plafona u zgradama bez svetlarnika može uvek da se preporuči radi stvaranja uslova svetlosnog (vidnog) komfora.

Svetle boje svih površina prostorija i opreme bitne su i sa gledišta komfora viđenja (osvetljenja) i sa gledišta ekonomike osvetljenja. Plafoni i gornji deo zidova moraju biti beli. Vezači, grede i ostali konstruktivni delovi treba da su beli ili svetlo žuti. Za donje delove zidova i pregrade preporučljivi su topli tonovi sa stepenom refleksije 0,65 i više, a za podove u radionicama sa čistim radom pogodne su materija sa stepenom refleksije 0,30—0,45.

4. Primena pretežno opšteg osvetljenja

Izvođenje samo opšteg osvetljenja može se preporučiti kao osnovno osvetljenje bez obzira na veću potrošnju električne energije pri njegovom korišćenju u pogonu.

Ovo je zbog toga što opšte osvetljenje stvara psihički osećaj vidnog (svetlosnog) komfora i poboljšava opšte higijenske uslove rada u prostoriji. Sem toga, pri naročitim zahtevima u pogledu mikroklime lokalno osvetljenje nije povoljno, jer predstavlja fakultativno središte koncentrisanog strujanja prašine i izvor lokalnog zagrevanja.

Međutim, kombinovano osvetljenje je neophodno za:

— radove pri kojim se dobro raspoznavanje detalja postiže samo pri određenom usmeravanju svetlosti;

— osvetljenje površina, koje su konstruktivno zaklonjene od svetiljki opšteg osvetljenja;

— pojedina, izdvojena, mesta u prostoriji sa naročito visokim zahtevima osvetljenosti.

5. Vizuelna veza sa spoljnom okolinom

Vizuelna veza sa spoljnom okolinom ima veoma važnu psihičku ulogu.

Zato kad god je moguće potrebno je napraviti prozore bar u nekim spoljnim obimnim zidovima.

Ako je to nemoguće, onda je preporučljivo napraviti privremene prozore, koji će imitirati stvarne prozore.

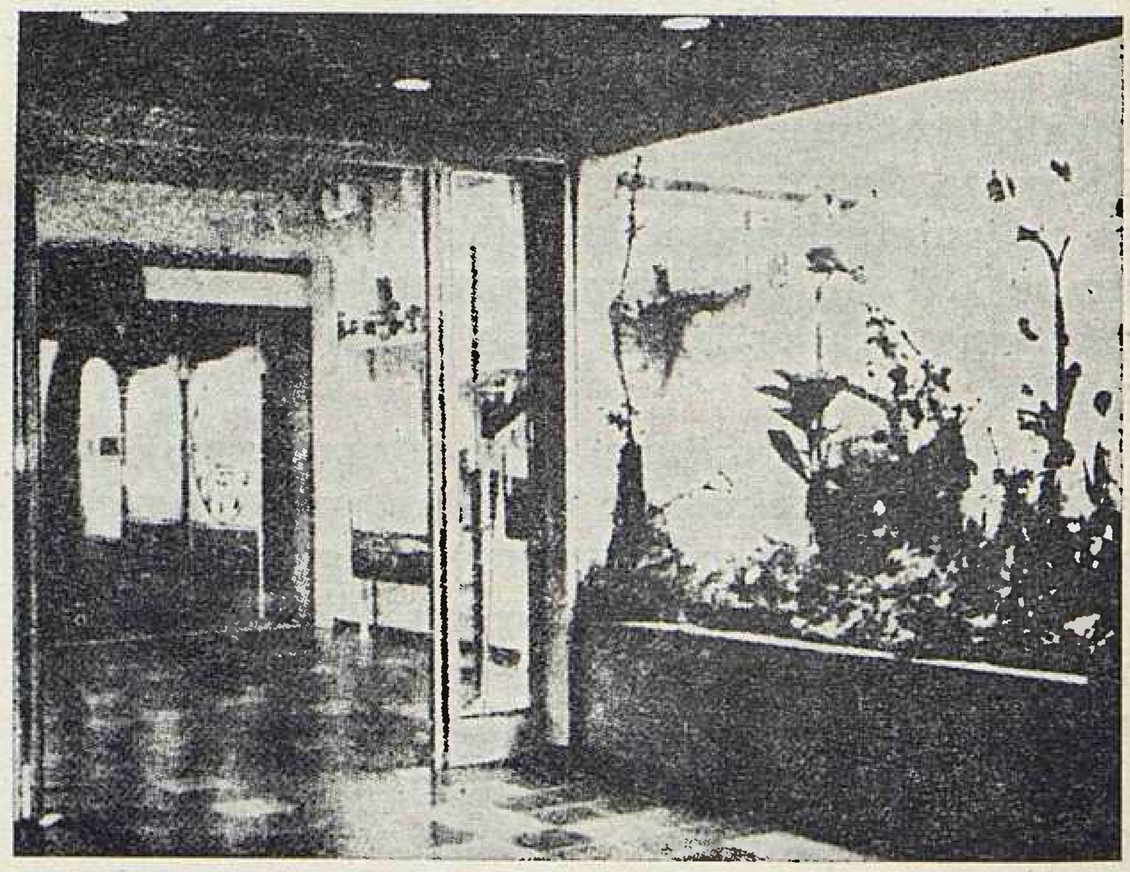
Slika 1. prikazuje šemu takvih prozora, koji predstavljaju niše u zidovima, a opremljeni su fluorescentnim sijalicama.

a) zastakljen je mat staklom;
b) sa odbijenom svetlošću, otvoren ili sa bistrim staklom;
c) ukrasni prozor sa svećem (sl. 2).

6. Izvođenje opšteg ostevljenja

Način samog izvođenja opšteg osvetljenja u objektima s nedovoljnim prirodnim osvetljenjem u mnogome zavisi od arhitektonske koncepcije ovog problema.

Sem toga, zbog samih uslova, koji zahtevaju izgradnju objekata bez prirodnog ili s nedovoljnim prirodnim osvetljenjem, pojavljuje se ceo niz specijalnih tehnoloških oprema, koje treba smestiti i rasporediti na podesan način. To se često rešava odgovarajućom konstrukcijom plafona (bez visećeg plafona, sa visećim plafonom sa ili bez mogućnosti za prolaz ljudi). Od konstrukcije plafona zavisi način rukovanja instalacijom osvetljenja, mogućnosti za njeno održavanje i izbor odgovarajućih konstrukcija svetlećih tela počev od običnih visećih ili plafonskih svetiljki normalne izrade, pa sve do celog svetlosnog plafona ili pojedinih svetlosnih elemenata na plafonu, ravnih ili ispupčenih, za posluživanje ozgo i ozdo.



Sl. 2. Ukrasna imitacija prozora sa cvećem s osvetljenjem odozgo.

7. Instalacija osvetljenja

Instalacija osvetljenja može da se napaja iz transformatora za opšte energetske potrebe u paralelnom radu, koji nemaju udaraca opterećenja. Lokalno i prenosno osvetljenje mogu da se napajaju iz opšteg razvoda energije, dok ostale instalacije osvetljenja moraju da se izvedu potpuno odvojeno. Ako u objektu postoje prostorije s prirodnom svetlošću i mračne prostorije, onda je poželjno da svaka od ovih vrsta prostorija ima posebne pojne vodove. Razdelne ploče osvetljenja za svetiljke, koje se poslužuju iz prostora iznad visećeg plafona po kojem može da se hoda (međuspratovi) preporučuje se postavljanje u samom tom prostoru. Ako je niz razdelnih ploča za osvetljenje vezan na jedan pojni vod, onda na svakoj od njih na priključnom vodu treba predvideti naprave za isključenje.

Za rukovanje osvetljenjem treba koristiti automatske prekidače, postavljene na razdelnim pločama osvetljenja. Lokalni prekidači mogu da se postavljaju u manjim radnim prostorijama i prostorijama za povremeni boravak ljudi.

Gašenje i paljenje osvetljenja se izvodi u zavisnosti od vrste radova u prostoriji.

Isključenje osvetljenja sa razdelne ploče vrši se u slučaju kvara ili remonta.

U slučaju da je potrebno odjednom uključivati osvetljenje, napajano iz grupe od nekoliko razdelnih ploča, onda rasklopna naprava može da se postavi na glavnoj razdelnoj ploči na izvodu za tu grupu.

Za podvojeno uključenje pojedinih razdelnih ploča rasklopne sprave pogodno je postavljati ne na svakoj od razdelnih ploča, već na početku njihovih vodova, s tim da se ti vodovi izvedu radijalno.

Daljinska komanda osvetljenjem nije potrebna, ako se rad obavlja neprekidno. Ako su pak u drugoj ili trećoj smeni mogući proizvodnja ili remonti samo u jednom delu prostorija, onda daljinska komanda može da bude prikladna.

Zahtevi u pogledu rezervnog osvetljenja u objektima s nedovoljno prirodne svetlosti postaju sve stroži s povećanjem površine objekata i sa smanjenjem broja svetlosnih otvora u odnosu na jedinicu površine. Napajanje rezervnog osvetljenja iz posebnog izvora verovatno nije obavezno za objekte manjih površina i sa manjim električnim opterećenjem, kao i za objekte, koji imaju prozore u krajnjim poljima, a srednja polja nisu odvojena zidovima. U svim ostalim objektima s nedovoljnim prirodnim osvetljenjem treba smatrati obaveznim napajanje rezervnog osvetljenja iz posebnog izvora. U nedostatku drugih izvora potrebno je predvideti akumulatorske baterije, dovoljnog kapaciteta da se pri rezervnom osvetljenju postigne 10% osvetljenosti pri redovnom osvetljenju.

Rezervno osvetljenje, uslovljeno potrebom da se proizvodnja ne prekida, zahteva više nego li 10% osvetljenosti pri redovnom osvetljenju, te ga treba u svakom polju napajati iz dva posebna izvora.

Napajanje osvetljenja mora da se obezbedi i za slučaj, ako se predviđa isključenje pojedinih transformatora u časovima manjih opterećenja.

Vodove električnih instalacija osvetljenja u objektima bez prirodnog ili s nedovoljnim prirodnim osvetljenjem, naročito u onim sa povećanim zahtevima u pogledu čistoće, treba po pravilu polagati van glavnih prostorija (hodnici, itd.) ili izvoditi skriveno.

Treba napomenuti da u nekim proizvodnim pogonima, nezavisno od vrste i oblika glavnog objekta, obavezno postoje prostorije ukopane u zemlju i bez prirodne svetlosti. Ako se u tim prostorijama izvode samo grubi radovi, vezani za povremeni nadzor opreme, onda se osvetljenje u njima izvodi prema opštim uslovima za izvođenje osvetljenja.

8. Zaključci

— Objekti u kojima se nalaze prostorije bez prirodnog ili sa nedovoljnim prirodnim osvetljenjem čine grupu objekata s posebnim, otežanim uslovima za životnu prirodnu aktivnost čoveka.

— Radi poboljšanja ovih uslova, a prema tome i produktivnosti rada, preporučuje se sledeće:

- ostvarenje većih osvetljenosti;
- poboljšanje kvaliteta osvetljenja;
- primena pretežno opšteg osvetljenja;
- stvaranje vizuelne veze sa spoljnom okolinom ili iluzije takve veze;
- naknada nedostatka ultraljubičastog zračenja;
- povećanje sigurnosti pogona instalacija električnog osvetljenja.
- Optimalna rešenja u smislu poboljšanja ovih uslova treba da ostvare stručnjaci za svetlosnu tehniku u saradnji s arhitektima, graditeljima i lekarima za fizikalnu medicinu.

Literatura:

1. *Svetiljke* (Prospekt) — Elektrokovina — Maribor.
2. Tropin A. Kiril: *Postrojenja za higijensko ozračavanje* — Zbornik stručnih radova zaštite na radu. Niš. 1970.
3. Tropin A. Kiril: *Osobenosti osvetljenja elektroenergetskih postrojenja i smernice za njegova dobra ostvarenja.* »Energija« br. 9—10/1971.
4. Volockoj I. V., Knorring J. M, Rjabov M. S. Šejkevič A. S.: — *Električeskoje osveščenije proizvodstvennyh i graždanskih zdanij.* Moskva — Leningrad — 1964.

Naslov pisca: Kiril A. Tropin, dipl. inž. Savetnik za prenos elektroenergije. Združeno elektroprivredno preduzeće Srbije, Beograd

PLINOVODI I PLIN U EKSPANZIJI

Ante Lešić, Zagreb

Prikazan je razvoj proizvodnje i potrošnje plina u svijetu i učinjena je usporedba s prilikama u Jugoslaviji. Dani su podaci o evropskim magistralnim plinovodima danas i u doglednoj budućnosti. U zaključnim razmatranjima izneseni su planovi razvoja u Jugoslaviji.

DK 620.91

Kako to sama riječ kaže — plinovodima protiče plin na svom često dugom putu od izvora (mjesta proizvodnje) do potrošača. To traje već više od 170 godina, jer su prema raspoloživim podacima prvi plinovodi za distribuciju gradskog plina izgrađeni u Velikoj Britaniji i na kontinentu Evrope već oko 1800. godine. Naravno, intenzivan razvoj plinovoda veće dužine i promjera, a to znači i većeg kapaciteta, započeo je proizvodnjom prirodnog plina (metana), naročito 30-tih godina našeg stoljeća paralelno s razvojem proizvodnje bešavnih cijevi i tehnike električnog zavarivanja. To je omogućilo da već 1931. godine u SAD bude izgrađen transkontinentalni plinovod u dužini od 1600 kilometara od Panhandlea u državi Teksas do Čikaga u državi Ilinoj.

Od svih cjevovoda uopće izgrađenih za potrebe industrije nafte u svijetu, najviše je plinovoda. Ukupna dužina magistralnih, priključnih i razvodnih plinovoda različitih promjera iznosi danas oko 1,370 milijuna kilometara, što čini oko 70% od dužine svih do sada izgrađenih cjevovoda namijenjenih industriji nafte i plina.

Po dužini plinovodne mreže daleko ispred svih nalazi se SAD, a na drugom mjestu je SSSR. Evo nekoliko osnovnih podataka za ove dvije zemlje:

Dužina plinovoda po godinama u SAD

1931.	117.000	— *u km* —
1940.	129.500	
1951.	334.800	
1960.	632.000	
1965.	933.000	
1968.	1,289.000	

Dužina plinovoda po godinama u SSSR-u

1940.	325	— *u km* —
1945.	620	
1958.	16.494	
1965.	42.027	
1969.	65.000	

O plinu

Kako to energetičari dobro znaju — plin je »plemenito gorivo« i izvanredno korisna sirovina u industriji s lijepim perspektivama za budućnost.

Sadašnja (godine 1971) svjetska potrošnja iznosi oko 1.250 milijardi Nm³ plina od čega oko 64% otpada na SAD i oko 20% na SSSR.

S obzirom na ograničenost drugih izvora energije i na tehnoekonomske prednosti koje plin pruža korisnicima, predviđa se porast učešća plina u energetskim bilancama potrošnje mnogih zemalja i svijeta u cjelini. Tako bi se prema predviđanjima već 1980. godine na svijetu trošilo oko 2.320 milijardi m³ plina, a 1985. godine već oko 3.400 milijardi m³ ili za 215% više u odnosu na 1970. godinu.

Jugoslavija kao potrošač energije, u Evropi je među posljednjima. Godine 1969. po jednom stanovniku trošili smo 1.243 kg uvjetnog ugljena — preračunato, što je prema nekim računima 33% ispod svjetskog prosjeka, 3 puta manje od evropskog prosjeka i 8,5 puta manje od prosjeka SAD.

U toj potrošnji je prirodni plin predstavljao svega 5%, dok je u isto vrijeme u energetskoj bilanci potrošnje u Evropi predstavljao 14%, a u SAD 36%.

Predviđa se da će i u Jugoslaviji učešće plina u energetskoj bilanci potrošnje porasti od 5% (nešto preko 1 milijarde m³ koliko se danas troši) na 9% u 1985. godini (na 6 milijardi m³); u međuvremenu — 1975. godine ta bi potrošnja trebala iznositi 3, a 1980. 4,5 milijardi m³ plina, što iz domaćih izvora a što iz uvoza.

Predviđena stopa porasta za idućih 15 godina iznosi u prosjeku 14% (u prvim godinama nešto više, da bi kasnije pala na svega 6%) i moglo bi se reći, da je vrlo visoka. Ističe se međutim kako su gotovo sve ostale zemlje Evrope u vremenskom razdoblju, kada je plinifikacija započela svoj zamah, a to je uglavnom bilo u posljednjih nekoliko godina, ostvarivale znatno veću stopu porasta, što se može vidjeti na nekoliko navedenih primjera:

Tablica 1

Zemlja	Razdoblje	Prosječno ostvarena godišnja stopa rasta (%)	Startna potrošnja po stanovniku u Nm 3
1	2	3	4
Nizozemska	1966—1969	65	260
Mađarska	1965—1969	27	137
Francuska	1967—1969	20	129
ČSSR	1967—1969	28	92
SR Njemačka	1967—1969	55	87
Poljska	1966—1969	33	65
Engleska	1967—1969	111	26

Prema podacima u tablici 1 može se zaključiti, da su sve navedene zemlje krenule u plinifikaciju daleko brže i snažnije u odnosu na ono što mi predviđamo u perspektivi.

Nažalost, ni plina nema onoliko koliko ga svijet treba i može potrošiti. Štoviše, ovog »plemenitog« i »čistog« goriva toliko potrebnog modernom svijetu — između ostalog i zbog uočenih ekoloških poremećaja, ima najmanje u odnosu na druga neobnovljiva (fosilna) goriva, što se vidi i iz slijedećih podataka:

Procjene konačnih svjetskih komercijalnih rezervi fosilnih goriva

Tablica 2

— u tonama ekvivalenta ugljena —

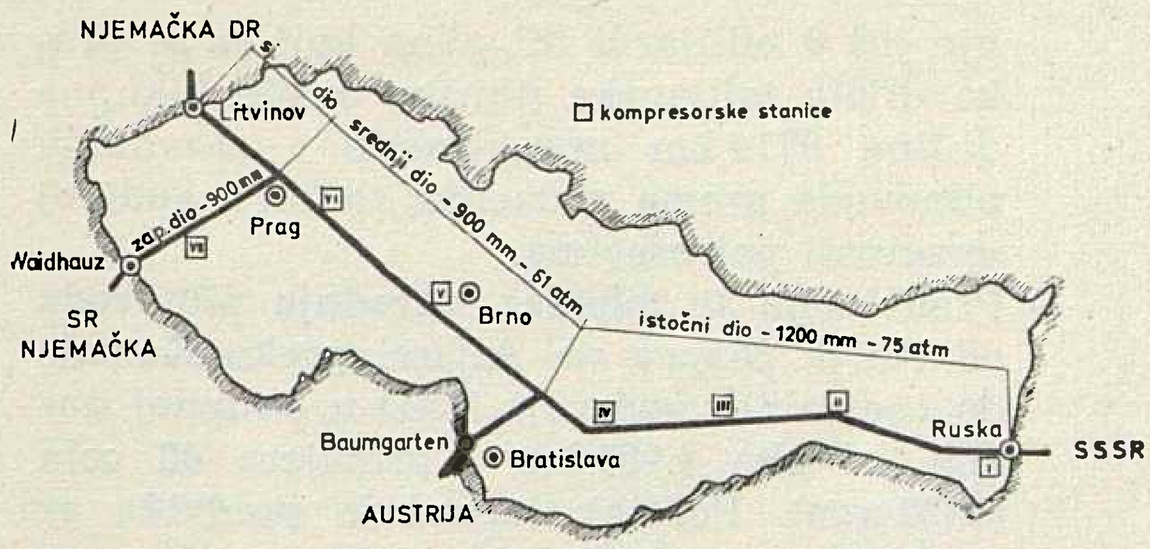
Vrsta goriva	tona	Rezerve u %	Eksploatabilne rezerve	
			tona	%
1	2	3	4	5
Ukupno	$12,394 \times 10^{12}$	100	$3,484 \times 10^{12}$	100
u tome:				
ugljen	$11,240 \times 10^{12}$	90,44	$2,880 \times 10^{12}$	82,66
nafta	$0,743 \times 10^{12}$	6	$0,372 \times 10^{12}$	10,68
plin	$0,229 \times 10^{12}$	1,85	$0,178 \times 10^{12}$	5,11

Ipak valja konstatirati, da su do sada otkrivene rezerve (komercijalne ili eksploatabilne) prirodnog plina od 50.000 milijardi Nm^3 bile dovoljne, da se ostvare i zamisle brojni programi razvoja plinifikacije širom svijeta koji će dobrim dijelom biti realizirani u ovom desetljeću — posebno karakterističnom za ekspanziju plina i plinovoda — naročito u Evropi. Kod toga spomenimo, da su komercijalne rezerve prirodnog plina od 50.000 milijardi m^3 otkrivenog do kraja 1971. godine različito raspoređene u odnosu na pojedine zemlje, što se može vidjeti iz slijedećih podataka: SSSR 15.452, SAD 7.630, Iran 3.014, Nizozemska 2.309, Kanada 1.539, Saudijska Arabija 1.472, Vel. Britanija 1.132, Kuvait 990, Libija 935, Venezuela 719, Australija 702, Irak 623, Pakistan 552, SR Njemačka 396, Meksiko 326, Argentina 215, Francuska 195, Italija 170, Rumunjska 150, itd. milijardi m^3.

O plinovodima

U pravilu, na mjestu proizvodnje plin se rijetko kada može korisno upotrijebiti pa se zato mora dovesti do potrošača. Kada se prevozi kopnom najprikladniji i najekonomičniji su plinovodi koji će i u doglednoj budućnosti to ostati.

Kako je već prethodno spomenuto, zahvaljujući otkrivanju relativno velikih nalazišta prirodnog plina na području SSSR-a, zapadne Evrope (područje Groningena i Sjevernog mora), Aljaske itd., grade se ili predviđaju izgraditi brojni snažni plinovodni sistemi u namjeri da se veliki potrošački centri spoje s relativno dalekim izvorima. U prilog tome navest ćemo nekoliko primjera koji ilustriraju grandioznost napora na planu plinifikacije u Evropi i Americi u nastojanju da se osigura dovoljno odgovarajuće energije za danas i sutra:



Sl. 1 Trasa plinovoda kroz ČSSR

— U Sovjetskom Savezu gradi se plinovodni sistem koji će iz Sibira dovoditi plin do Čehoslovačke i preko nje dalje za DDR, SR Njemačku i Austriju u dužini od preko 5.000 kilometara s godišnjim kapacitetom od 28 milijardi m^3 prirodnog plina u 1980. (vidi skicu 1).
Navedene količine plina usmjeravat će se u različite zemlje u skladu s već sklopljenim ugovorima kako to pokazuje slijedeća tablica:

Tablica 3

Granični prijelaz	Količina u Mlrd. m^3/god.			Faktor opterećenja	Radni tlak (AT)	Datum puštanja u rad
	1973.	1975.	1980.			
1	2	3	4	5	6	7
Ruska	5,2	12,8	28,0	0,98	75	1. 1. 1973.
Baumgarten	2,7	5,5	11,5	0,85	40	1. 1. 1973.
Waidhaus	0,2	2,8	5,0	0,80	50	1. 10. 1973.
Litvinov	1,7	3,5	7,0	0,90	52	1. 4. 1973.

Napomena: preostale količine do 28 Mlrd./god. odnose se na potrebe Čehoslovačke i pogonsku energiju.

— U sklopu prethodno spomenutog projekta gradi se također trans-austrijski plinovod koji ide od Baumgartena (Austrija) do Tarvisia (Italija) i dalje do Sergnana. Dužina ovog plinovoda kroz Austriju iznosi 385 km, a kroz Italiju 390 km, dok se promjer kreće od 34—38 cola. Ovim plinovodom Italija će dobivati 6 milijardi m^3 plina/godišnje. Dio plinovodnog sistema kroz Čehoslovačku već je završen.
— U drugom tromjesečju 1974. godine predviđa se dovršenje prve dionice sovjetsko-mađarskog plinovoda koji će ići od mjesta Beregovo (SSSR) do Leninvarosa u Mađarskoj. Plinovod će kasnije biti produžen do Budimpešte — tokom 1975. godine s kapacitetom od 1,5 Mlrd. m^3/godišnje, što će postepeno rasti do 8 Mlrd. m^3/godišnje kada bude radio punim kapacitetom.
— Iz Nizozemske preko SR Njemačke (Aachena i Rheinfeldena) i Švicarske (Gries pass) izgrađuje se plinovodni sistem koji ide do Montare u Italiji u ukupnoj dužini od 800 km i promjera od 34—38 cola. Ovim plinovodnim sistemom Italija će dobivati godiš-

nje još 6 milijardi m³ plina koji će se preko dijela talijanske plinske mreže (ukupna dužina 9714 km magistralnih i razvodnih plinovoda prema podacima za 1971. godinu) upućivati potrošačima.

— Predviđena je također izgradnja plinovoda od North Slapea na Aljasci preko Kanade do centralnih područja SAD u ukupnoj dužini od oko 4.000 km i promjera 48 cola (1220 mm). Početak izgradnje predviđa se za 1976. a predračunski troškovi cijene se na oko 5 milijardi američkih dolara. Kapacitet prijevoza računa se na oko 35 Mlrd. m³ prirodnog plina/godišnje.

Od preostalih važnijih projekata u Evropi i graničnim područjima koji se u narednom razdoblju predviđaju možemo realizirati još spomenuti plinovod iz Alžira do Sicilije koji će se polagati na morsko dno kao i više plinovoda od Sjevernog mora do Engleske (Lemon Bank — Bacton u dužini od 54 km i promjera 30 cola; Indefatigable — Bacton 101 km i promjera 30 cola; Viking — Theddlethorpe 138 km i promjera 28 cola itd.).

Uz ono što smo već rekli o plinovodima u nekim zemljama spomenimo još da Austrija već posjeduje izgrađenu mrežu plinovoda u dužini od 2.000 km promjera od 6—20 cola; Belgija 534 km promjera od 4—36 cola; Francuska 13.300 km promjera od 2,36—39,37 cola; Nizozemska 2.200 km (izgrađeno i u gradnji) promjera od 18—48 cola; Velika Britanija 3.050 km (izgrađeno i u gradnji) promjera od 6—36 cola; SR Njemačka 4.250 km promjera od 8—36 cola; Čehoslovačka 3.00 km prosječnog promjera 12 cola (300 mm); Mađarska 1.700 km promjera od 8—28 cola itd.

Konačno spomenimo i to da je u 1971. na cijelom svijetu položeno oko 8.791 km magistralnih i priključnih plinovoda. Od toga je na morsko dno položeno 1.862 km, od čega na SAD otpada 537 km; procijenjuje se također, da je u 1972. godini na morsko dno položeno još oko 2.545 km magistralnih i priključnih plinovoda od čega na SAD otpada 1.100.

Ekonomski aspekti gradnje plinovoda

Prijevoz plina plinovodima u odnosu na prijevoz nafte naftovodima skuplji je za više od 100—150% u odnosu na isti energetski ekvivalent. To je i razumljivo kada se imaju u vidu različita agregatna stanja, što u slučaju plina zahtijeva cijevi relativno većeg promjera, što znači veće troškove izgradnje i poslovanja.

Međutim i za plinovode, kao uostalom i za sve cjevovode vrijedi, da u odnosu na porast promjera cijevi kapacitet raste progresivno, što se može vidjeti iz podataka iznijetih u tablici 4 sastavljenoj prema rezultatima analiza što su ih izradili stručnjaci »Gasuni« iz Nizozemske:

Relativni odnosi između veličine plinovoda i troškova izgradnje

Tablica 4

Promjer u colima	Kapacitet 24 cola = 100	Troškovi izgradnje 24 cola = 100	Troškovi/kapacitet (indeksi)
1	2	3	4
24	100	100	100
28	149	120	80
30	177	136	77
32	209	152	73
36	284	186	66
40	375	220	58
42	425	238	56
48	603	303	50

Iz podataka navedenih u tablici 4 jasno se vidi da je u odnosu na porast promjera cjevovoda za 100%, kapacitet porastao za 500%, a troškovi izgradnje za nešto više od 200%.

S obzirom na ogromna prostranstva preko kojih se prirodni plin danas mora prevoziti da bi našao zahvalnog potrošača, kapacitet prijevoza plinovoda izvanredno je važan jer o tome ovise troškovi prijevoza po prevezenoj jedinici — Nm³ i kilometru.

Zahvaljujući razvoju tehnike i tehnologije promjeri cjevovoda i snaga kompresora, a time i kapaciteti plinovoda stalno rastu. Dok su se do 30-tih godina ovog stoljeća izrađivale cijevi do 300 mm promjera (do 12 cola), 1946. imali smo već u SSSR-u cijevi promjera 325 mm, 1948. 529 mm, 1958. 720 mm, 1965. 1.020 mm, 1967. 1220 mm, 1970. 1420 mm, a danas se već u azijskim predjelima SSSR-a grade i projektiraju cjevovodi s cijevima promjera od 2000 i 2500 mm. SSSR je naravno zemlja koja je najviše hendikepirana ogromnim razdaljinama i najviše zainteresirana za gradnju cjevovoda velikog promjera.

Veliki promjeri cjevovoda nisu jedini put kojim se želi utjecati na kapacitet i cijenu prijevoza plina. Tehnika ukapljivanja (likvefakcije) i rashlađivanja također se intenzivno istražuje i usavršava, pa se i na tom polju mogu očekivati dobri rezultati.

Relativna potrošnja metala za cijevi u različitim uvjetima prijevoza prirodnog plina

Tablica 5

Godišnji kapacitet u Mlrd. Nm³	Uvjeti prijevoza					
	K	klasično	K	u rashlađenom stanju	K	kao UPP
1	2	3	4	5	6	7
50	1	D = 2,0 m	0,80	D = 1,2 m	0,287	D = 1,2 m
100	1	D = 2,5 m	0,73	D = 1,4 m	0,264	D = 1,4 m

K = koeficijent, D = promjer, UPP = ukapljeni prirodni plin

Iz podataka navedenih u tablici 5 jasno se može vidjeti da se ukapljivanjem prirodnog plina može uštedjeti na metalu za 3,5 do 4 puta u usporedbi s klasičnim uvjetima prijevoza, kada je volumen plina više od 600 puta veći.

Također ne smijemo zaboraviti da na troškove prijevoza utječe i vrijeme korištenja cjevovodnog sistema u toku godine, što se može ilustrirati podacima navedenim u tablici 6.

Kretanje operativnih troškova u odnosu na vrijeme korištenja plinovodne mreže

Tablica 6

Vrijeme korištenja kapaciteta u h/god	Indeks operetivnih troškova za 1 Nm³ plina (%)
1	2
5.000	100
6.000	90
7.000	84
8.000	78

Zaključak

Kao što ne možemo potrošnju, tako ne možemo ni proizvodnju veću od 1 milijarde Nm³ prirodnog plina u 1971. godini u Jugoslaviji, smatrati značajnom usporedimo li to s proizvodnjom u Nizozemskoj od 43,5 milijardi Nm³, Rumunjskoj 26,4, Velikoj Britaniji 18,4, Italiji 13,2, Francuskoj 7,1, Poljskoj 5,3, Mađarskoj 3,7 milijardi itd. Do sada utvrđene rezerve u granicama od 40—60 milijardi Nm³ eksploatabilnog plina obećavaju nešto bolje dane, ali se na toj osnovi ne može graditi relativno mirna budućnost, imajući u vidu potrebe Jugoslavije za energijom, i sve mogućnosti primjene plina. Mirne budućnosti ne može biti i zbog poduzetnosti i užurbanosti s kojom gotovo sve evropske zemlje traže i pronalaze za sebe sve raspoložive viškove prirodnog plina na evropskom i svjetskom tržištu za dugi niz godina u budućnosti.

Prema raspoloživim projekcijama razvoja energetitke u Jugoslaviji osim predviđenog porasta proizvodnje prirodnog plina i mi računamo s uvozom, što je jedino logično rješenje želimo li plinu dati odgovarajuće mjesto u energetskoj bilanci potrošnje. Količine koje se predviđaju uvesti: 1975. 0,5 Mlrd. Nm³, 1980. 1,5 i 1985. 3 Mlrd. Nm³ prirodnog plina skromne su, ali i to je sve dosta nedefinirano, i umnogome odudara od ponašanja ostalog svijeta (ostalih zemalja) oko nas. Italija npr. već sada ima sklopljene ugovore koji 1980. osiguravaju uvoz 15 milijardi Nm³ prirodnog plina godišnje, gotovo toliko koliko će iznositi njena ukupna godišnja potrošnja u to vrijeme, mada je i sama značajan proizvođač prirodnog plina.

Kao na pozitivan primjer u nas valja ukazati na napore koji se čine u SR Srbiji gdje se na plinifikaciji dosta ozbiljno radi. Uz definirane programe razvoja imamo i gotove financijske konstrukcije, što plinifikaciju u SR Srbiji čini najznačajnijim investicionim pothvatom koji je ušao u srednjeročni plan razvoja Srbije i Vojvodine u vrijednosti od 1,667 milijardi dinara.

Prema programu gradio bi se magistralni plinovod koji bi bio spojen sa sadašnjim i budućim plinovodnim sistemom u Republici i okolnim državama. Njegova veza sa zapadnim dijelom zemlje izgradila bi se kod Sombora, s Mađarskom kod Horgoša, s Rumunjskom istočno od Mokrina, a s Bugarskom ispod Niša.

U glavni plinski sistem ulijevalo bi se 113 km dovodnih plinovoda s plinskih polja: Begejac, Međa, Srpska Srnja, Ada, Srbobran i Banatsko Miloševo.

Osim već izgrađenih 462 km plinovoda izgradilo bi se još prema programu 628 km. Najviše razvodnih plinovoda izgradilo bi se u užoj Srbiji 330 km, a zatim u Vojvodini 227 i području Beograda 71 km. Čitav projekt trebao bi se realizirati u 3 godine. U prve dvije gradili bi se magistralni (Mokrin -- Beograd — Niš) i razvodni plinovodi u Vojvodini i na području Beograda, a u 1974. i i 1975. završila bi se izgradnja kraka za Loznicu i razvodnih plinovoda u užoj Srbiji.

Literatura:

1. — : *»Stroiteljstvo truboprovodov«;* XV, Moskva 1970.
2. S. Odehnal (ČSSR): *»The importance of undergraund gas storage in the complicated pipelines systems«;* 11-th/ /I.G.C./A 28—70/, Moskva 1970.
3. S. F. Gudkov, O. A. Benjaminovitch, G. E. Odisharia (SSSR): *»Rational utilization fields of tecnological schemes for the natural gas large volumes transport«;* 11-th/ /I.G.C./C 16—70/, Moskva 1970.
4. — : *»Inizia la posa della condutture del gasdotto Olanda — Italia«;* Rassegna Petrolifera, *38,* 1176 (1972), 489.
5. — : *»Le plus long gazoduc d'Europe«;* Pétrole Informations, *50,* 1248 (1972), 25.
6. — *»Le gazoduc provenant d'URSS via l'Austriche«;* Pétrole Informations, *50,* 1248 (1972), 27.
7. V. A. Peer: *»Erdgastransit durch die CSSR«;* OEL — Zeitschrift für Mineralölwirtschaft, *10,* 3 (1972), 75.
8. — : *»The growth of natural gas movements in Europe«;* Petroleum Review, *10,* 311 (1972), 338.
9. — : *»Pipeline Network«;* P.P.S., *39,* 7 (1972), 258.
10. — : *»Algeria to sell 1.3 billion cfd LNG to Europeen firms«;* O.G.J., *70,* 22 (1972), 28.
11. — : *»Les gazoducs dans le monde«;* Pétrole Informations, *50,* 1216 (1972), 14.
12. — : *»Arctic gas-line cost rises to $ 5 billion«;* O.G.J., *70,* 10 (1972), 70.
13. — : *»Magistrala za plin do 1975«;* INA Pregled dnevne štampe, *4,* 791 (1973), 3.
14. A. Vesanović, Č. N. Preljubović — D. Šoć: *»Mjesto plina u energetskoj bilanci Jugoslavije«;* Znanstveni savjet za naftu — JAZU, Zagreb 1972.

Naslov pisca: Ante Lešić, dipl. ecc.
INA — Institut, Zagreb

ENERGETIKA U OKVIRU EKONOMSKE KOMISIJE ZA EVROPU

Drago Mijić, Zagreb

Uvod

Evropi, regiji koja daje tri četvrtine svjetske proizvodnje dobara i usluga, čije razmjene predstavljaju dvije trećine svjetske trgovine i koja obuhvaća zemlje s različitim ekonomskim i socijalnim sistemima, bila je potrebna jedna organizacija koja će svim zemljama te regije omogućiti zajednička razmatranja ekonomske problematike. Organizacija Ujedinjenih Nacija zadovoljila je tu potrebu u 1947, formiranjem »Ekonomske komisije za Evropu« (ECE). Pod upravom ove Komisije, programi ECE ostvaruju se putem njenih glavnih pomoćnih organa, koji kroz svoje radove razmatraju problematiku pojedinih ekonomskih područja, kao što su npr. promet, trgovina, poljoprivreda, industrija, energetika, itd. To su tzv. Komiteti, koji opet sa svoje strane imaju pomoćne organe (radne grupe, grupe eksperata). Nedavno je Komisija formirala dva nova glavna pomoćna organa i to: »Ekonomske savjetnike vlada zemalja ECE« i »Vladine savjetnike zemalja ECE za probleme čovjekove okoline«.

U ovom prikazu o aktivnostima ECE, razmotrit ćemo rad glavnih pomoćnih organa, Komisija za energetiku, tj. rad Komiteta za ugljen, Komiteta za plin i Komiteta za električnu energiju, od njihovog osnivanja do danas.

Najprije ćemo općenito prikazati energetsku situaciju u Evropi i probleme koji su s tim vezani, a koji su ušli u obzir rada ECE. Istaknuto mjesto koje je Komisija dala energetici slijedi iz činjenice da se ekonomski razvoj svake moderne zemlje temelji na ovisnosti o energetici, a uvjeti što se pri tom postavljaju energetici jesu postojano snabdijevanje po razumnim i što je moguće nižim dobavnim troškovima.

Razmatramo li poslijeratne energetske prilike u Evropi (bez SSSR), utvrdit ćemo da je u razdoblju 1950—1969. utrošeno skoro 22 milijarde tona ekvivalentnog ugljena (t e c), tj. u devetnaest godina utrošeno je toliko energije koliko u pedeset prethodnih godina (uključujući ratno razdoblje), odnosno, koliko se predviđa utrošiti u jedanaest slijedećih godina.

Pri tome će nam analiza pokazati da je prosječna godišnja stopa rasta potrošnje u Evropi, za razdoblje 1950—1969, bila niža od odgovarajuće svjetske stope potrošnje. Udio Evrope u svjetskoj energetskoj potrošnji iznosio je 29% u 1950. i 27% u 1969. godini. Predviđa se da će taj udio iznositi 26% u 1975. godini.

U promatranom razdoblju, udio ugljena u evropskoj potrošnji komercijalnih oblika primarne energije pao je sa 87% na 47%. Udio ostalih izvora energije je naravno porastao i to: nafte od 10% do 43%, prirodnog plina od 1% na 7%, a primarne električne energije (hidro- i nuklearna energija) od 1% na 3%. Predviđa se da će odgovarajući udjeli u 1975. godini iznositi: 32% za ugljen, 50% za naftu, 14% za prirodni plin i 4% za primarnu električnu energiju.

Već krajem dvadesetih godina ovog stoljeća Evropa je počela pokazivati znakove energetske deficitarnosti, pa je počela uvoziti gorivo. Uvoz je stalno rastao. Samo od 1950. do 1969. godine, uvoz je porastao od 13% na 43%, a predviđa se da će se 1975. 60% goriva uvesti za energetske potrebe Evrope.

Potrebe su u zemljama različite, ali ako Evropu gledamo podijeljenu na istočnu regiju (bez SSSR-a) i zapadnu regiju, utvrdit ćemo da je udio istočne regije iznosio 22% evropske potrošnje energije u 1950. i da je porastao na 26% u 1969, te da se predviđa da će u 1975. iznositi 27%. Stope rasta potrošnje energije između 1969. i 1950. godine, koje su bile 4,1% za zapadnu i 5,2% za istočnu regiju, prema predviđanjima će doseći 4,6%, odnosno 5,9% u prvoj polovici sedamdesetih godina.

Udio ugljena na tržištu goriva u 1969. godini iznosio je 76% u istočnoj, i 37% u zapadnoj regiji. Predviđa se da će ti udjeli iznositi 58%, odnosno 23%, u 1975. godini.

U regiji ECE uklopljena je i energetska ekonomika SSSR i SAD. Udio ovih zemalja u svjetskoj energetskoj potrošnji iznosio je 16%, odnosno 35% u 1969. Predviđa se da će ti udjeli iznositi 18%, odnosno 33% u 1975.

U vezi s godišnjim stopama rasta, one su bile različite za ove dvije zemlje tijekom razdoblja 1950—1969. i mijenjale su se u funkciji nivoa i ekonomske ekspanzije s jednim općim presjekom od 6,2% u SSSR i 3,6% u SAD.

Prema predviđanjima ove će stope iznositi 6%, odnosno 4,3% tijekom razdoblja 1969—1975. Odgovarajući udjeli glavnih goriva u zadovoljenju potražnje energije su slijedeći: (za godine 1950. i 1969. te prema predviđanjima za 1975):

— za SSSR, 73, 43 i 33% za čvrsta goriva; 23, 32 i 35% za tekuća goriva; 4, 24 i 30% za prirodni plin; 0,1 i 2% za primarnu električnu energiju;
— za SAD, 41, 21 i 21% za čvrsta goriva; 35, 41 i 40% za tekuća goriva; 23, 37 i 36% za prirodni plin; 1, 2 i 3% za primarnu električnu energiju.

Na kraju ovog kratkog pregleda povijesnog i vjerojatnog budućeg razvoja energetske ekonomike u krilu ECE, valja spomenuti da je razmjena energije između energetskih sub-regija ECE, bila relativno slaba (ona je iznosila 3 do 4% unutrašnje potrošnje), te da se promjena stanja ne predviđa do 1975. godine.

Kroz proteklo razdoblje postojalo je mnogo zajedničkih problema pa su vlade zemalja ECE povjeravale Komisiji da ih proučava. Tu možemo razlikovati dva razdoblja. U prvom razdoblju (1947—1956/1958) glavni problemi energetske politike bili su odnos između korištenja ugljena s jedne strane te nafte i ugljena s druge strane. Drugo razdoblje (1958 — po-

početak 1970) karakterizirano je razvojem evropske energetske ekonomike prema jednoj kompleksnijoj strukturi, sa sve znatnijom međunarodnom ekspanzijom industrije plina, ulogom naftnih proizvoda i pojavom nuklearne energije.

Za vrijeme prvog razdoblja izgrađene su i objavljene dvije značajne studije, koje su tretirale energetsku politiku: Uzajamna situacija ugljena i naftnih proizvoda na tržištu goriva zapadne Evrope (oznaka studije: E/ECE/191), i Cijene naftnih proizvoda u zapadnoj Evropi (E/ECE/205).

Na svom jedanaestom zasjedanju Komisija je odlučila pripremiti kompletnu studiju o energetskoj situaciji u Evropi te sazvati specijalan skup vladinih eksperata za probleme iz područja energije. Skup, koji se je sastao početkom 1958, svratio je pažnju vladama na izvjestan broj problema i preporučio da oni budu predmet međunarodne suradnje.

Osobito je naglašeno proučavanje principa energetskih politika. U skladu s ovim preporukama, te odgovarajućim rezolucijama i odlukama koje je kasnije donijela Komisija, sekretarijat je izradio izvjestan broj metodoloških i drugih studija: Metodologija analize energetske ekonomike (ST/ECE/ENEGY/1); Metode i principi prognoziranja budućih potreba za energijom (ST/ECE/ENEGY/2); Operacije transporta i uskladištenja raznih vrsta energije; Studija komparirane ekonomike (ST/ECE/ENERY/6 corr. 1); Računske metode cijene koštanja električne energije u termoelektranama (ST/ECE/EP/15); Kretanja energije u Evropi i perspektive tih kretanja (ST/ECE/ENERGY/a Rev. 1), i Faktori koji utječu na točnost planiranja i prognoziranja (ENERGY/redni dokum. 4). Sekretarijat je 1962. godine počeo objavljivati godišnje analize o energetskoj situaciji u Evropi (od 1969. ove se analize prave za trogodišnje razdoblje) a od 1970· se objavljuju i godišnji statistički bilteni energije za Evropu. Pored ove aktivnosti na studijskom, analitičkom i statističkom području, radi što bržeg i što šireg razmatranja nekih konkretnih problema, počeli su se održavati simpoziji, kolokviji i seminari. Na dvadesetšestom zasjedanju Komisije, 1971. godine odlučeno je da se organizira sastanak vladinih eksperata o izradi modela primjenljivih u području energije (Simpozij s matematskim modelima za područje energetske ekonomike održat će se 1973. u Alma-Ati u SSSR) i konzultirati vlade zemalja članica ECE o oportunosti organiziranja sastanka vladinih eksperata radi proučavanja perspektive i energetske politike u regiji ECE.

Evropski energetski problemi postali su problemi cijele regije i oni zahtijevaju zajedničko proučavanje na regionalnom planu. Radi toga je moguće da ECE tijekom budućih godina bude važnije sredstvo nego što je to bilo u prošlosti, za osiguranje zajedničkog produbljenog rada na energetskim problemima u okviru opće ekonomske politike, formulirane od vlada zemalja ECE.

Pogledajmo sada pobliže rad triju energetskih komiteta, odnosno, problematiku onih vidova energije s kojima se oni bave.

Ugljen

Od završetka drugog svjetskog rata ugljen je bio jedan od osnovnih faktora ekonomske rekonstrukcije Evrope. I pored restrukturacije energetskog tržišta koje je uslijedilo osobito tijekom posljednjeg desetljeća, potrošnja ugljena i lignita u Evropi nije prestala rasti.

U Evropi (bez SSSR) od potrošnje 636 milijuna tec u 1950. došlo se je do potrošnje od oko 800 milijuna tec u 1970. godini· Proizvodnja ugljena ostala je skoro stabilna: 522 u 1950. prema 507 milijuna tona u 1970. godini; proizvodnja lignita je znatno porasla: 289 u 1950. prema 600 milijuna tona u 1970, što predstavlja skoro 80% ukupne svjetske proizvodnje. U SSSR, tijekom istog razdoblja, ukupna proizvodnja je više nego udvostručena: 440 milijuna tona ugljena i 144 milijuna tona lignita u 1970. godini. Industrija ugljena u SAD, nakon što je trpjela kroz više godina znatno smanjenje proizvodnje, postigla je znatnu stopu proizvodnje: oko 540 milijuna tona u 1970. prema 420 milijuna tona u 1958.

Za razdoblje nakon rata, razvoj industrije ugljena u Evropi mogli bi podijeliti u tri dijela: razdoblje oskudice, koje je trajalo do druge polovice pedesetih godina; razdoblje obilja, koje je dovelo do krize industrije ugljena u nekim zemljama, a trajalo je do posljednjih godina slijedećeg desetljeća; sadašnje razdoblje, koje je obilježeno stabilizacijom, pa čak i obnovljenom ulogom ugljena. Izgleda, da će budućnost rezervirati ugljenu svu važnost koja mu pripada u vezi s rastućim potrebama za energijom i postajanju znatnih resursa ugljena.

Komitet za ugljen bio je usko povezan s ovim razvojem· On je svojim radom, akcijama, u znatnoj mjeri pomogao svladati nastale poteškoće uslijed dubokog preobražaja evropske energetske ekonomike, nastojeći da ih predvidi i da im se prilagodi.

Komitet, formiran 1948. godine, preuzeo je zadatak raspodjele raspoloživog snabdijevanja između raznih zemalja u Evropi. U tom radu koristila su se stečena iskustva Evropske komisije za ugljen (ECO) koja je bila formirana u Londonu pri kraju rata. Nakon 1950, kada se je tržište poboljšalo i kada je već bio ukinut sistem kontingentiranja, Komitet je uveo redovito sastajanje prije početka tromjesečja, radi analize budućih potražnji i snabdijevanja, uključujući tu i potrebe uvoza.

Ogroman rad na ovom području primorao je Komitet da formira Potkomitet za tržište ugljena.

Komitetu je bilo jasno od prvih dana svoje aktivnosti, da proučavanje razvoja tržišta na kratko razdoblje ne može zadovoljiti razmatranja i rješavanja problematike industrije ugljena. Zato je Komitet odlučio podnijeti studiju o racionalnoj upotrebi čvrstih goriva. U tom cilju prvi je zadatak bio pripremiti i usvojiti međunarodnu klasifikaciju ugljena. Naporima mnogih zemalja članica ECE i grupe eksperata koju je formirao Komitet, izgrađen je sistem koji je dao relativno jednostavnu metodu za identificiranje ugljena u funkciji nekih parametara, i lakoću određivanja njihove sposobnosti za neke finalne upotrebe.

Jedna od preokupacija Komiteta bila je i najbolje moguće ekonomsko korištenje ekstrativnih ugljena, kako onih koji su bili određeni za proizvodnju topline i pare, tako i onih koji služe proizvodnji koksa. Svojim studijama Komitet je pridonio razvoju izvjesnog broja načina za pripremu i koksiranje ugljena, koji su u mnogim zemljama omogućili korištenje onih ugljena koji su dotada smatrani nečistima za proizvodnju koksa, za grijanje i za metalurške svrhe. Rezultati ovih radova dobivaju i danas na vrijednosti, pogledima na skoru oskudicu koksa koja se očekuje. Sve ove radove vodio je pomoćni organ Komiteta, tj. Radna grupa za korištenje čvrstih goriva.

Krajem druge polovice pedesetih godina, nenadano su se pojavili znaci krize u industriji ugljena. Otkriće i korištenje vrlo bogatih resursa nafte dalo je industriji nafte stopu vrlo brze progresije radi njene velike fleksibilnosti strukture, kako u području proizvodnje tako i u rafinaciji i u transportu. Iz istih razloga i prirodni plin je počeo zauzimati relativno značajan udio na evropskom energetskom tržištu. Na kraju se pojavila i nuklearna energija. Sve je to prisililo industriju ugljena da se prilagodi novoj situaciji. Novoj situaciji morao se je prilagoditi i Komitet u svojim radovima. Utvrđen je program radova sa ciljem jačanja konkurentne pozicije industrije ugljena u odnosima na druge izvore energije.

Ovaj problem Komitet je zahvatio iz trostrukog aspekta: proizvodnja, korištenje, nauka i tehnologija.

Iza rata, vladine politike u vezi s ugljenom težile su povećanju proizvodnje bez obzira na cijenu koštanja, samo da bi zadovoljile stalno rastuće potrebe. Industrije ugljena postale su značajne i njihova proizvodnja rasla je više od 2% godišnje, zadovoljavajući više od tri četvrtine energetskih potreba Evrope, ali se njihova prosječna produktivnost nije povećala za više od 1% od 1950. godine. Tako, oko 1957, kada se je evropska energetska situacija počela duboko mijenjati, industrije ugljena nisu bile spremne da efikasno odgovore novoj situaciji i u mnogim zemljama su bile primorane obustaviti veliki broj rudnika čija eksploatacija nije bila ekonomična.

Radi toga je Komitet svoje napore usmjerio na ispitivanja tehničkih uvjeta rudarske eksploatacije, podnijevši seriju studija o koncentraciji i mehanizaciji radova u rudarstvu. Formiran je potkomitet za probleme rudarstva s nekoliko grupa eksperata. Uz pomoć vlada organizirani su i mnogi kolokviji u raznim zemljama i raznim predmetima.

Sve ove akcije pridonijele su brzom oporavljanju industrije ugljena na tehničkom području. Tijekom posljednjih godina, stopa godišnjeg rasta produktivnosti u većem dijelu evropskih industrija ugljena bila je nekoliko puta viša od one u prethodnim godinama (jamski radnik dosegao je kod mnogih 3,5 tone na dan, a kod automatiziranih rudnika oko 15 tona na dan) .

Modernizacija rudarske eksploatacije predstavlja osnovni faktor poboljšanja ekonomije industrije ugljena, pri tome, korištenje ugljena ostaje cilj njene eksploatacije. Tim pogledima Komitet je odlučio proširiti svoju aktivnost i na proučavanje ovog problema, pa je osnovao Potkomitet za korištenje čvrstih goriva. U ovom razdoblju Komitet je započeo sa razmatranjima problema čovjekove okoline uslijed aktivnosti industrije ugljena i njegovog korištenja. Izrađene su razne studije iz tog područja, osobito za nedimna goriva i zagađivanje zraka i vode iz koksara. Išlo se je i dalje, tj. kako da se koriste otpaci u industriji ugljena a posebno, kako da se koristi pepeo sagorijevanjem ugljena u termoelektranama (ovaj predmet je kasnije preuzeo Komitet za električnu energiju).

Komitet je poklonio punu pažnju problemima znanstvenog istraživanja, pa je u Varšavi (1962.) organizirao prvi skup direktora nacionalnih naučnih Instituta za rudarstvo. Od tada, takvi se skupovi povremeno održavaju u raznim zemljama. Oni omogućavaju, kontroliranjem radova koji su u toku, da se otkriju glavne naučne orijentacije, da se dogovara suradnja raznih instituta, i da se tako poboljša efikasnost znanstvenog istraživanja.

Prikazujući aktivnost Komiteta u sadašnjem razdoblju, valja navesti da je krajem šezdesetih godina tržište energije pretrpjelo duboku promjenu. U nekim zemljama nestalo je oskudne energije, ali se je pojavila napeta situacija koja je katkada predstavljala znakove oskudice energije, (oskudica koksnog ugljena i metalurškog koksa).

Uslijed ove nove pojave Komitet je ocijenio potrebnim studiozno analizirati implikacije na tržištu ugljena i budućnosti industrije ugljena u Evropi. Organiziran je u Varšavi (1969) Kolokvij o budućoj ulozi ugljena u nacionalnim i svjetskoj ekonomiji. Kolokvij je bio plodonosan, ali je Komitetu pokazao da je neophodno da racionalizira svoje radove, kako bi se prilagodio evropskoj energetskoj situaciji koja je postala kompleksnija uslijed značajnih promjena na područjima politike, ekonomije i tehnologije. U svom zadatku Komitet je bio potpomognut od Komisije, koja je na svom dvadesetčetvrtom zasjedanju (1969) pristupila modifikaciji svog programa rada, pa i same strukture radi koncentriranja svojih radova na četiri prioritetna područja: međunarodna trgovina, dugoročne projekcije, čovjekova okolina, nauka i tehnika.

Sadašnje aktivnosti Komiteta odvijaju se u razdoblju koje je karakterizirano stabilizacijom, pa čak i obnovom uloge ugljena na svjetskoj i evropskoj pozornici. Potražnja za energijom u svijetu raste eksponencijalno i pokriće neće biti osigurano, ako se ne valoriziraju i racionalno koriste svi vidovi energije s kojima raspolaže čovječanstvo. Energetska bilanca Evrope (bez SSSR) pokazuje deficit koji stalno raste. Vrijedno je dakle što bolje koristiti postojeći glavni izvor, tj. ugljen. Ovo će biti i glavni zadatak Komiteta za ugljen.

Ekonomije evropskih zemalja postaju sve više međuovisne. To je posebno točno u području energije. Komitet će dakle morati pristupiti proučavanjima o ekonomskim mogućnostima što ih nude glavni evropski bazeni ugljena da bi zadovoljili potrebe Evrope.

Budući razvoj industrije ugljena, u kontekstu drugih izvora energije, bit će usko povezan njenom ukupnom modernizacijom. Komitet će prema tome

intenzivirati svoje napore u pomoći industriji ugljena da se postavi na vrh tehničkog i znanstvenog progresa. Značajne količine energije, potrebne za budući ekonomski razvoj Evrope, kao i iscrpljenje energetskih izvora, te hitne potrebe zaštite čovjekove okoline, postavljaju, pod jednim kompleksnijim aspektom, problem proizvodnje i racionalnijeg korištenja ugljena. Tome će Komitet za ugljen morati pokloniti posebnu pažnju.

Plin

Uloga plina, osobito prirodnog plina, već nekoliko godina nije prestala rasti u energetskoj bilanci mnogih zemalja ECE. Njegov stupanj djelovanja, viši od drugih goriva, kao i efikasno rješenje njegovog transporta i uskladištenja, bilo u tekućem ili u plinovitom stanju, učvrstio je interes koji im je dan i kao novom energetskom izvoru i kao novoj primarnoj materiji u kemijskoj industriji. Industrija plina sada snabdijeva 14% potreba energije koja se troši u Evropi. Ona iznosi oko jedne trećine potrošnje primarne energije u SAD, i oko jedne petine potrošnje primarne energije u SSSR-u.

Ekspanzija industrije prirodnog plina u Evropi datira od početka 1960. godine. Poslije otkrića plinskih nalazišta u jugozapadnom dijelu Francuske i u Nizozemskoj (pokrajina Gromingen), slijedila su otkrića u Sjevernom moru, SR Njemačkoj, Italiji i u nekim drugim zemljama Evrope, a osobito u SSSR-u (zapadni Sibir). Prirodni plin počeo se je transportirati plinovodima i brodovima — cisternama u tekućem stanju.

Dokazane rezerve prirodnog plina u Evropi procjenjuju se na oko 238 milijardi tona ekvivalentnog ugljena, od čega oko 193 milijardi tona u SSSR-u, oko 26 milijardi tona u Nizozemskoj i oko 9 milijardi tona u Ujedinjenom Kraljevstvu.

Ovom novom izvoru energije, velike realne vrijednosti i potencijala, Komisija je poklonila dužnu pažnju, pa je već na svom jedanaestom zasjedanju, 1956, odlučila da formira Radnu grupu za probleme plina.

U to vrijeme Radna grupa se je bavila problemima vezanim za proizvodnju i korištenje tvorničkog plina i drugih plinovitih goriva. Kasnije je Radnoj grupi dodijeljen permanentan karakter, a 1961. godine Radna grupa je transformirana u Komitet za plin.

Aktivnosti Komiteta za plin usmjerene su u tri pravca: sistematska analiza stanja i tendencije razvoja industrije plina u Evropi; širenje razmjene informacija i iskustvenih podataka između zemalja članica ECE; razvijanje međunarodne suradnje o problemima od zajedničkog interesa, u prvom redu, između istoka i zapada Evrope. Komitet se je posebno zaokupio pitanjem korištenja plina u raznim granama nacionalne ekonomije, kao i tehničkim i ekonomskim karakteristikama raznih sistema transporta prirodnog plina. Utvrđeni su sigurnosni propisi za međunarodne plinovode. Studirane su i primjenjive metode za prognoziranje budućih potreba plina. Utvrdivši da podzemno uskladištenje nudi posebno interesantno sredstvo u pogledu elastičnog snabdijevanja plinom, Komitet je proučavao probleme uskladištenja plina u plinskim nalazištima, koji su dijelom ili u potpunosti bili iscrpljeni. Proučavane su i metode procjene rezervi prirodnog plina. Izrađene su međunarodne karte nalazišta prirodnog plina i karte evropske mreže plinovoda. Komitet objavljuje i godišnji statistički bilten.

Osim ovih radova, čiji je cilj da pomogne vladama u pogledu snabdijevanja plinom, da riješe probleme koje izaziva integracija prirodnog plina na evropskom energetskom tržištu i da potiču tehnički i tehnološki napredak industrije plina, Komitet ispituje svake godine, na temelju vrlo iscrpnih izvještaja što ih priprema Sekretarijat, sve važnije činjenice koje se pojavljuju u industriji plina, uključujući tu i razvoj tržišta prirodnog plina.

O svim problemima koje razmatra Komitet, organizira se sistematska razmjena informacija i iskustvenih podataka između zemalja ECE, izradom zajedničkih izvještaja, redakcijom dokumenata o raznim pitanjima, posjetom eksperata zaduženih da na mjestu proučavaju nove procese, i putem kolokvija. Dosadašnji kolokviji bili su posvećeni slijedećim pitanjima: usporedba ekonomike raznih načina modernog uskladištenja plina (Pariz, 1964); tehnička i ekonomska efikasnost korištenja plina u glavnim granama industrije (Moskva, 1966); ekonomika transporta plina (Budimpešta, 1967); korištenje plina u kemijskoj industriji (Bukurešt, 1968), prognoza potražnje plina (Varšava, 1969); problemi tržišta prirodnog plina u Evropi (Barcelona, 1970); problemi javne distribucije prirodnog plina (Nizozemska, 1972).

Brzina kojom se razvija industrija plina u Evropi, kao i raznolikost i kompleksnost problema koji se javljaju, osobito što se tiče prirodnog plina, navode Komitet na još intenzivniji rad i doprinos u međunarodnoj ekonomskoj suradnji. Komitet je u svom budućem programu rada predvidio proučavanje problema kao što su: ekonomska analiza situacije plina u Evropi te njegove srednje i dugoročne perspektive; analiza evropskog tržišta prirodnog plina; ekonomski i tehnički aspekti korištenja plina u raznim granama industrije; tehnički i ekonomski aspekti transporta na velike udaljenosti i uskladištenje plina; problemi procjene i eksploatacije resursa prirodnog plina; tehničke i ekonomske prednosti korištenja plina sa stanovišta zaštite prirode čovjekove okoline; pravni aspekti međunarodnog transporta plina; statistički problemi i ekonomski aspekti sistema raspodjele plina.

Električna energija

U poslijeratnim godinama, kad je izgradnja elektroenergetskih objekata predstavljala apsolutni prioritet, bilo je sigurno da će potražnja za električnom energijom napredovati upravo tako brzo kao i stavljanje u pogon tih elektroenergetskih objekata. Teže je bilo predvidjeti da će se vrlo visoka stopa potražnje nastaviti kroz prva dva poslijeratna desetljeća, pa i dalje. Ustvari, procjene potreba potrošnje električne energije u nekim zemljama Evrope bile su ispod stvarnosti u većini slučajeva.

Prosječna godišnja stopa porasta bruto potrošnje električne energije u Evropi bila je 10%, između 1946. i 1960. godine, i 8,2% između 1960. i 1970. godine.

Tijekom ovih dvadesetpet godina umnožena je potrošnja za 8,5 puta, da bi u 1970. godini iznosila 2100 TWh (45% svjetske potrošnje električne energije). Dok je srednja potrošnja električne energije po stanovniku bila 440 kWh u 1946, ista je iznosila 1430 kWh u 1960. i 2850 kWh u 1970).

U ovom razdoblju bilježimo i ogroman porast specifične potrošnje po radniku u industriji i vrlo brz porast korištenja električne energije u transportu, a posebno u domaćinstvima i sličnoj potrošnji.

U pogledu proizvodnje, gledajući Evropu u cjelini, odnos udjela tehničke i hidrauličke proizvodnje ostao je konstantan (70% i 30%) u razdoblju između 1946. i 1965. Nakon toga razdoblja odnos se je počeo mijenjati u korist termičke proizvodnje, tako je u 1970. godini udio termičke proizvodnje iznosio 75% (od toga 3% iz nuklearnih elektrana). Uzroci ovoj promjeni su prilična iscrpljenost ekonomski iskoristivog hidro-potencijala i nuklearna energija koja je dosegla etapu razvoja komercijalnog korištenja. Za evropske zemlje predviđa se u 1985, utrostručenje potrošnje električne energije, prema potrošnji u 1970. godini. Cijeni se, da će tada 50% proizvodnje električne energije davati klasične termoelektrane, 29% nuklearne elektrane i samo 13% hidroelektrane.

Što se tiče termičke proizvodnje, ugljen će i u budućnosti ostati glavno gorivo, ali će njegov udio opasti u 1985. na 55% (u 1970. iznosio je 70%). S druge strane udio tekućeg goriva i plina zabilježit će osjetno povećanje. Međutim, fluktuacija na međunarodnom tržištu nafte mogla bi opovrgnuti ove prognoze.

U pogledu radova što ih je poduzimao Komitet za električnu energiju valja istaknuti da su nastojanja Komiteta morala biti prilagođena specijalnim uvjetima raznih faza razvoja ekonomskih i političkih odnosa evropskih zemalja. Većina aktivnosti Komiteta bila je u ovim područjima: analiza aktualne ekonomske situacije i prognoze za budućnost; traženje konkretnih oblika međunarodne suradnje, razmjena ekonomskih, znanstvenih i tehničkih podataka.

Tijekom prvih godina obnove, počevši od 1947. kada je Komitet osnovan, njegove su aktivnosti imale za cilj ozdravljenje oskudice i uskih grla, te proučavanje izvjesnog broja mogućnosti za realizaciju, kao npr. korištenje sekundarnih goriva Rajnske oblasti i Šlezije, izgradnja hidroelektrana u Austriji i drugdje, izgradnja crpno-akumulacionog postrojenja u Luksemburgu, što je sve predstavljalo pogodne perspektive na području međunarodnog snabdijevanja energijom.

U tom razdoblju Komitet je proučavao elemente elektrane, te je utvrdio preporuke karakteristika i snaga za turbogeneratore i podnio ih Međunarodnoj organizaciji za standardizaciju (ISO) i Međunarodnoj elektrotehničkoj komisiji (CEI).

Početkom pedesetih godina, u međurazdoblju radova Komiteta, on je poduzeo veliki broj osnovnih aktivnosti i obrazovao izvjestan broj grupa eksperata za te radove. Najprije su izrađene razne ekonomske studije i sprovedene osnovne ankete, kako bi se osigurali usporedivi podaci s obzirom na diskusiju o značajnim problemima. Radna grupa za statistiku osnovana je već 1947. godine, ali tek od 1956. ECE raspolaže podacima koji pokrivaju cjelinu Evrope. Tada se je započelo objavljivanjem godišnjih i tromjesečnih (1964. godine ovi su postali polugodišnji) statističkih podataka za električnu energiju.

Da bi Komitet raspolagao podacima za razmatranje osnovnih problema, od 1951. se počelo s izdavanjem redovite serije o elektroenergetskoj situaciji u Evropi. Od 1963, ova serija obuhvaća trogodišnje razdoblje (za razdoblje 1963—1965. dokument nosi oznaku: ST/ECE/EP/40; za 1966—1968. oznaka je: ST/ECE/ /EP/54; za razdoblje 1969—1971. dokument će biti publiciran početkom 1973. godine). Komitet je, 1951. formirao grupu eksperata za proučavanje hidro-električnih resursa, koja je započela proučavanje o hidro-električnom potencijalu Evrope o osnovnim aspektima, da bi se dala osnova procjenjivanja modifikacija uslijed tehničkog progresa i ekonomskih faktora. Različitost inter-regionalnih padavina i drugih fluktuacija hidrauličkog karaktera, cijene koštanja radova nasipanja i iskopa, kao i mogućnosti procjene reglaže akumulacija, dio su predmeta o kojima su se izrađivale generalne studije. Po prvi puta započelo se je 1958. s izdavanjem polugodišnjeg, a kasnije i godišnjeg biltena o hidraulicitetu u Evropi (1969. godine prestalo je objavljivanje biltena).

Vodeći računa o razvoju problema koji su predstavljali interes zemalja učesnica u ovim radovima Komiteta, 1969. je odlučeno, da se prestane s aktivnošću na području hidroelektričnih resursa a novoformiranoj grupi eksperata za elektrane dano je u zadatak da se bavi i pitanjima iz područja hidroelektričnih postrojenja. Organizirana je serija kolokvija u vezi s hidroelektričnim postrojenjima:

- o problemima hidro-postrojenja s višestrukom namjenom, vezanih uz proizvodnju električne energije (Madrid, 1969);
- o perspektivama razvoja hidroelektrana i njihovog uključivanja u sisteme za snabdijevanje električnom energijom (Dubrovnik, 1970);
- o crpno-akumulacionim elektranama (Atena, 1971).

Među glavnim oblicima aktivnosti Komiteta valja spomenuti traženje konkretnih modeliteta međunarodne suradnje.

Počela su se proučavati pitanja koja sprečavaju razvoj transfera i zagrijane električne energije između država, radi ublaženja zapreka; pitanja eksploatacije prirodnih energetskih resursa, koji su u nekim zemljama bili slabo ili nikako korišteni, u korist drugih zemalja; pitanja pojednostavljanja problema za postrojenja na međunarodnim rijekama, i slično. Neke od ovih radova je u početku podnijela Grupa eksperata za pravna pitanja. Iz tog područja izrađene su četiri preporuke vladama, članicama ECE. Vrijednostima interkonekcije elektroenergetskih sistema Komitet je poklonio punu pažnju, te je tijekom godina proučavao izvjestan broj mogućnosti. Ova su proučavanja dovela zainteresirane zemlje do stvaranja društava i međunarodnih tijela s ciljem da se ostvare predloženi projekti. Ovdje valja spomenuti akciju Komiteta, tzv. program »Yougelexport«, koji je predvi-

đao korištenje jednog dijela značajnih hidro-resursa Jugoslavije radi izvoza energije u neke susjedne zemlje.

Značajan razvoj interkonekcije između elektroenergetskih sistema evropskih zemalja i stalan porast međunarodne razmjene električne energije, naveli su Komitet da ponovno analizira ova pitanja. U tu svrhu Komitet je 1968. formirao Grupu eksperata, kojoj je povjerio zadatak: proučavanje problema u planiranju i eksploataciji velikih električnih mreža. Jedan izvještaj, objavljen 1970, u vezi s kretanjem električne energije preko granica evropskih zemalja i perspektive tih kretanja, ukazuje na tehničke i ekonomske prednosti ove razmjene električne energije u funkciji ekonomskih i političkih uvjeta koji su tada vladali u Evropi, a ujedno i na neke buduće mogućnosti u vezi s međunarodnom razmjenom i suradnjom, te razvojem komercijalnih odnosa između evropskih zemalja na tom području. Slijedom ovog izvještaja skoro će biti završena studija o interkonekciji prijenosa električne energije između istoka i zapada Evrope. Na toj studiji radili su eksperti iz Austrije, Rumunjske, Švicarske i SSSR-a.

U radu Komiteta valja spomenuti i studije na području seoske elektrifikacije, započete 1952. godine. Grupa eksperata za ovo područje izradila je veliki broj izvještaja o specijalnim predmetima u vezi s proizvodnjom, distribucijom i korištenjem električne energije u poljoprivredi, kao i ekonomskim i financijskim problemima, te o svemu vezanom za seosku elektrifikaciju. Ovi se izvještaji nastavljaju (do sada je objavljeno 14 svezaka), te se publiciraju uvijek pod istom oznakom: ST/ECE/EP/178. Od 1969. godine, ovoj je Grupi eksperata proširen zadatak rada i od tada nosi naziv: Grupa ekserata za distribuciju električne energije i probleme seoske elektrifikacije.

Među aktivnostima koje direktnije impliciraju tehničke probleme valja spomenuti rad Grupe eksperata za proučavanje raznih problema iz područja termoelektrana. Izvještaji o studijskim radovima ove grupe eksperata objavljuju se u svescima (do sada je objavljeno 13 svezaka) uvijek pod istom oznakom: ST/ECE/EP/23 i naslovom: Problemi u planiranju i eksploataciji termoelektrana.

Reorganiziranjem u 1969, ova Grupa eksperata transformirana je u Grupu eksperata za elektrane. Zadatak je ove Grupe eksperata da studira tehničke i ekonomske probleme projektiranja, izgradnje i eksploatacije termo- i nuklearnih elektrana, kao i hidroelektrična postrojenja. Svojedobna preokupacija Komiteta za ugljen, u vezi s korištenjem pepela iz termoelektrana eksperata. O predmetu je organiziran i jedan simpozij u Turskoj (Ankara) 1971. godine (izvještaj sa tog simpozija nosi oznaku: ST/ECE/EP/59).

Preokupacije čovječanstva u vezi sa zaštitom prirode i čovjekove okoline navele su ECE, pa i Komitet za električnu energiju da se pozabavi ovim problemom, te je u tu svrhu Komitet formirao Grupu eksperata kojoj je povjerio zadatak proučavanja tehničkih i ekonomskih aspekata recipročnih odnosa između električne energije i čovjekove okoline.

Mnogobrojne studije su izradili Sekretarijat i Grupa eksperata. Na kraju je pored već spomenutih, popis značajnijih studija, kao i popis izvještaja sa simpozija i kolokvija koji su u raznim zemljama organizirani pod auspicijama Komiteta za električnu energiju.[1]

Članovi Komiteta i njegovi pomoćni organi organizirali su i niz studijskih putovanja da produbе razne aspekte razvoja industrije električne energije u raznim zemljama. Valja spomenuti i to, da je Komitet održavao stalne kontakte s raznim međunarodnim organizacijama koje rade na istom području i njima je često postavljao pitanja o studiji za koju su one kompetentne.

Kako proizvodnja električne energije raste bez znaka usporenja i prema eksponencijalnom zakonu, problemi za razmatranje postaju sve kompleksniji. Tehnički i ekonomski progres se nastavlja. Pojavljuju se nova sredstva za proizvodnju električne energije. Na svim dijelovima kontinenta sve više se integriraju električne mreže. Novi potrošači električne energije povećavaju potražnju. Radi toga je Komitet za električnu energiju utvrdio dugoročni program rada koji daje prioritet bitnim zadacima. Osim razmjene znanstvenih, ekonomskih i tehničkih podataka iz područja proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije, što predstavlja uvijek veliki interes zemalja koje sudjeluju u ovim radovima, Komitet će pokloniti posebnu pažnju slijedećim problemima:

— dugoročnim perspektivama industrije električne energije u Evropi;
— interkonekciji mreža za prijenos električne energije evropskih zemalja i razvoju trgovačkih razmjena na tom području;
— ekonomskoj integraciji nuklearnih elektrana u elektroenergetskim sistemima, te problemima nastalim eksploatacijom ovih elektrana;
— odrazom proizvodnih, prijenosnih i distributivnih instalacija na čovjekovu okolinu.

Kao i u prošlosti, uloga Komiteta sastojat će se u analizi najznačajnijih aspekata ovih problema i njihovih posljedica, osobito s ekonomskog gledišta, te osiguranja stalnih kontakata između zemalja radi razvijanja međunarodne suradnje na području električne energije.

Literatura:

POPIS ZNAČAJNIH PUBLIKACIJA ECE IZ PODRUČJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Razmjena električne energije u Evropi:

— *Mogućnosti razmjene električne energije između Njemačke, Austrije, Poljske i Čehoslovačke* (EP/23 i Add. 1; 1950).
— *Zakonski propisi u vezi kretanja električne energije preko granica* (E/ECE/EP/16; 1951).
— *Kretanja električne energije preko granica evropskih zemalja* (E/ECE/151 — E/ECE/EP/126; 1952).
— *Mogućnosti izvora električne energije iz Jugoslavije* (E/ECE/192 — E/ECE/EP/154 i EP/79 — Sveska I i II; 1955).
— *Mogućnosti razmjene električne energije između zemalja centralne Evrope i jugoistoka Evrope* (E/ECE/EP/195; 1958).
— *Karakteristike nacionalnih mreža u vezi međunarodne interkonekcije* (ST/ECE/EP/4 i Add. 1; 1960—1961).
— *Kretanja električne energije preko granica evropskih zemalja i perspektive tih kretanja* (ST/ECE/EP/51; 1970).

Planiranje i eksploatacija elektroenergetskih sistema:

— *Neki tehnički aspekti prijenosa električne energije* (E/ECE/EP/128; 1952).
— *Metode koje se upotrebljavaju za utvrđivanje prognoza potrošnje električne energije* (E/ECE/224 — E/ECE/EP/179; 1956).

— *Racionalizacija potrošnje električne energije* (ST/ECE/EP/3; 1960).
— *Simpozij u vezi racionalizacije električne energije*, održan u Varšavi 1962. godine. (ST/ECE/EP/13 — Sveska I i II).
— *Pokrivanje vršnih opterećenja u elektroenergetskim sistemima* (ST/ECE/EP/19).
— *Simpozij u vezi pokrivanja vršnih opterećenja*, održan u Veneciji 1964. (ST/ECE/EP/22 — Sveska I i II).
— *Metode i ekonomski kriteriji koji se upotrebljavaju za selekciju investicija u području snabdjevanja električnom*
— *Metode i ekonomski kriteriji koji se upotrebljavaju za selekciju investicija u području snabdijevanja električnom energijom* (ST/ECE/EP/21; 1963 i ST/ECE/EP/34; 1966).
— *Simpozij po specijalnim problemima u vezi brzog porasta potreba za električnom energijom*, održan u Istanbulu 1955. (ST/ECE/EP/33 — Sveska I i II).
— *Simpozij o problemima snabdijevanja velikih stambenih naselja toplinskom i električnom energijom*, održan u Bukureštu, 1968. god. (ST/ECE/EP/44).
— *Sigurnost nadzemnih električnih vodova* (ST/ECE/EP/47; 1969).
— *Kolokvij o primjeni metoda operacionog istraživanja za rješenje ekonomskih problema u planiranju i eksploataciji velikih električnih sistema i upotreba elektroničkih računala*, održan u Varni 1970. godine (ST/ECE/EP/56).
— *Kolokvij o automatizaciji dispečerskih centara u cilju racionalnog korištenja elektroenergetskog sistema*, održan u Parizu 1971. godine. (ST/ECE/EP/61).
— *Kolokvij o dugoročnim perspektivama elektroenergetske situacije u Evropi*. održan u Stokholmu 1972. godine (izvještaj još nije publiciran).

Termoelektrane (pored već spomenute serije ST/ECE/EP/23):

— *Metode proračuna cijene koštanja električne energije proizvedene u klasičnim termoelektranama* (St/ECE/EP/15; 1964).
— *Upotreba plinskih turbina za proizvodnju električne energije u Evropi* (ST/ECE/EP/20; 1963).

Nuklearne elektrane:

— *Nuklearna energija i proizvodnja energije u Evropi* (E/ECE/EP/181 i Corr 1; 1956).
— *Perspektive nuklearne energije kao novog energetskog izvora* (E/ECE/349 — E/ECE/EP/206; 1959).
— *Ekonomska integracija nuklearnih elektrana u elektroenergetski sistem* (ST/ECE/EP/58 — ovo je sažeti izvještaj sa Kolokvija koji je održan u Beču, 1970. godine, a kojeg su zajednički organizirali ECE i A i EA).
— *Nuklearna energija i proizvodnja električne energije* (ST/ECE/EP/62 — ovo je sažeti izvještaj sa IV međunarodne konferencije OUN o mirnodopskoj upotrebi atomske energije koja je održana u Ženevi 1971. godine).

Hidro-električna postrojenja:

— *Hidro-električni potencijal Evrope, teorijske, tehničke i ekonomske granice* (E/ECE/EP/131; 1953 i Add. 1; 1955).
— *Mehanizacija u izgradnji hidroelektrana* (E/ECE/284 — E/ECE/EP/185; 1957).
— *Elementi cijene koštanja u vezi radova na nasipavanju i iskopu na otvorenom, uključujući i troškove transporta odvoženja*. (ST/ECE/EP/7; 1960).
— *Geografska raspodjela bruto hidroelektričnog potencijala površinskih voda u Evropi* (ST/ECE/EP/10; 1961).
— *Inter-regionalna promjenjivost i raznolikost riječnih protoka kao elementa hidro-električnih izvora u Evropi* (ST/ECE/EP/28; 1965).
— *Mogućnost razvoja akumulacionog potencijala hidroelektrana i garantirane hidroelektrične snage u Evropi* (ST/ECE/EP/29).
— *Hidroelektrični potencijal hidro izvora u Evropi* (ST/ECE/EP/1 — Sveska I i II; 1968).
— *Uloga crpno akumulacionih hidroelektrana u pokrivanju vršnih opterećenja* (ST/ECE/EP/45; 1968).
— *Sredstva za povećanje stepena djelovanja i proizvodnosti u hidroelektričnim postrojenjima s višestrukom namjenom* (ST/ECE/EP/52; 1970).
— *Metode za regulaciju protoka u cilju osiguranja najefikasnijeg funkcioniranja hidroelektrana u kaskadama. vodeći računa o više-namjenskoj funkciji ovih postrojenja* (ST/ECE/EP/53; 1970).
— *Bitni faktori koji utječu na ekonomiku crpne akumulacije u mrežama koje se snabdijevaju iz hidraulične ili mješane proizvodnje električne energije i iz mreža koje se uglavnom snabdijevaju iz termičke proizvodnje električne energije* (ST/ECE/EP/60; 1971).

Ostale studije:

— *Organizacija službi za električnu energiju u Evropi* (E/ECE/22 — E/ECE/EP/180; 1956 i ST/ECE/EP/5; 1960, te ST/ECE/EP/5 Add. 1; 1961).
— *Struktura tarifa električne energije u Evropi* (ST/ECE/EP/27; 1964).
— *Komparativna studija ugovora u dobavi električne energije* (ST/ECE/EP/37; 1966).
— *Analiza tarifnih sistema za električnu energiju u raznim zemljama* (ST/ECE/EP/43; 1968).
— *Pravni režimi elektroprivrednih poduzeća u zemljama koje sudjeluju u radovima Ekonomske komisije u Evropi*

Drago Mijić, dipl. ing.

RAD I ZNAČAJ MEĐUNARODNE ELEKTROTEHNIČKE KOMISIJE I SURADNJA JUGOSLAVENSKOG ELEKTROTEHNIČKOG KOMITETA (JEK-a)

Elektrotehnički inženjeri su među prvima uočili potrebu i značaj međunarodne standardizacije i unifikacije, kao i međunarodne suradnje u rješavanju osnovnih znanstvenih i stručnih pitanja. Kao rezultat ovog zaključka osnovana je 1906· god. Međunarodna elektrotehnička komisija — Commission Electrotechnique Internationale (CEI). Tada se uključilo u Međunarodnu elektrotehničku komisiju 14 nacionalnih komiteta, a njen Savjet se prvi puta sastao u Londonu 1908. i prihvatio statut koji je ostao na snazi, skoro neizmijenjen, do 1949. god. Za sjedište Komisije je tada izabran London, a 1947. god. je sjedište prenijeto u Ženevu. Kada je poslije ovoga rata osnovana Međunarodna organizacija za standardizaciju (International Standardising Organisation — ISO), Međunarodna elektrotehnička komisija postaje njezin član, zadržavajući svu tehničku i financijsku autonomiju. Svrha CEI je na području elektrotehničke standardizacije ista kao što je ISO na ostalim područjima industrije i privrede.

Danas se u okviru Međunarodne elektrotehničke komisije rješavaju znanstveni i stručni problemi gotovo svih grana elektrotehnike, od tehnike jake struje do elektronike, telekomunikacija i nuklearne tehnike. Ova aktivnost se izražava u dva pravca.

Aktivnost čiji je zadatak unapređenje sporazumijevanja među elektrotehničkim stručnjacima stvaranjem sredstava zajedničkog izražavanja: unifikacije terminologije, unifikacije električkih i magnetskih veličina i jedinica, slovnih simbola i oznaka, kao i grafičkih simbola za upotrebu u električnim shemama.

Aktivnost koja se odnosi na standardizaciju elektrotehničkog materijala u pravom smislu riječi, uključujući u to i studiranje problema električkih svojstava materijala za električne aparate i strojeve, unifikaciju njihovih karakteristika i metoda ispitivanja kvaliteta, sigurnosti kao i onih svojstava koje osiguravaju izmjenljivost električnih strojeva i aparata.

Rad Međunarodne elektrotehničke komisije odvija se u nacionalnim elektrotehničkim komitetima u kojima su zastupljeni proizvođači i potrošači električne opreme, stručna udruženja, zavodi za standardizaciju i razni državni organi, kao i elektroprivredna poduzeća· Sada je u Međunarodnu elektrotehničku komisiju učlanjena 41 zemlja, što predstavlja 80% cjelokupnog stanovništva zemlje. Jugoslavija surađuje u Međunarodnoj elektrotehničkoj komisiji od 1953. godine.

Međunarodnom elektrotehničkom komisijom rukovodi Savjet sastavljen od predstavnika svih zemalja članica. Njemu odgovara Akcioni komitet kao operativni organ, a sastavljen je od predstavnika devet nacionalnih komiteta. Članove Akcionog komiteta bira Savjet s mandatom od 6 godina.

Cjelokupan tehnički rad Međunarodne elektrotehničke komisije odvija se u okviru Tehničkih odbora i pododbora kojih ima već preko stotinu, a sekretarijati su povjereni raznim nacionalnim komitetima. Zadatak Tehničkih odbora i pododbora je pripremanje međunarodnih specifikacija i preporuka, a postupak je ukratko slijedeći: Prijedlog međunarodne preporuke koji pripremi sekretarijat odbora, šalje se preko Centralnog ureda u Ženevi svim nacionalnim komitetima, kako bi se svi zainteresirani mogli upoznati s prijedlogom, dati svoje primjedbe i prijedloge. Prijedlozi se šalju preko Centralnog ureda u Ženevi svim nacionalnim komitetima na uvid. Zatim se na zasjedanju Tehničkog odbora, gdje mogu učestvovati predstavnici svih zemalja članica, diskutira o prijedlogu i donose zaključci. Prema tome se na međunarodnim zasjedanjima Tehničkih odbora Međunarodne elektrotehničke komisije, odvija cjelokupan rad isključivo u obliku diskusija u kojima učestvuju vodeći elektrotehnički stručnjaci iz cijeloga svijeta i na kojima se prema utvrđenom planu rada rješavaju svi problemi suvremene elektrotehnike i elektronike.

Ukoliko se na zasjedanju postigne suglasnost, izradi se, na osnovi zaključaka, konačni prijedlog koji se ponovo šalje na uvid nacionalnim komitetima, da u roku od šest mjeseci daju svoju suglasnost. Za prihvaćanje prijedloga potrebna je suglasnost najmanje četiri petine nacionalnih komiteta. Ako je suglasnost postignuta, izradi se konačna redakcija na francuskom i engleskom jeziku, koja ima značaj međunarodne preporuke· Preporuke što ih je Međunarodna elektrotehnička komisija do sada izdala prelaze 500 svezaka iz svih područja elektrotehnike i elektronike i služe kao osnova za izradu nacionalnih standarda i propisa u zemljama članicama. Time je u najvećoj mogućoj mjeri osigurana jedinstvenost svjetske standardizacije na području elektrotehnike i elektronike. Ova činjenica je naročito značajna za sve veću međunarodnu trgovinu i razmjenu proizvoda, kao i podjelu rada, te joj pridaju sve veće značenje i industrijski najjače razvijene zemlje.

Naša zemlja nastoji da preko svog nacionalnog komiteta — Jugoslovenskog elektrotehničkog komiteta — JEK-a — što aktivnije surađuju u radu Međunarodne elektrotehničke komisije. Tijesna suradnja postoji i s Jugoslovenskim zavodom za standardizaciju, te se jugoslavenski standardi iz područja elektrotehnike i elektronike u principu izrađuju na osnovi preporuka Međunarodne elektrotehničke komisije.

MEĐUNARODNA KOMISIJA ZA PRAVILA ZA ATESTIRANJE ELEKTRIČNIH PROIZVODA (CEE)

Međunarodna komisija za pravila za atestiranje električnih proizvoda (Commission Internationale de Règlementation en vue de l'Approbation de l'Equipement Électrique — International Commission on Rules for the Approval of Electrical Equipment — CEE) je evropska organizacija koja ima za zadatak da specificira uvjete kojima moraju odgovarati određeni električki proizvodi radi zaštite potrošača, posebno u pogledu sigurnosti osoba i opasnosti od požara. Komisija obrađuje električne proizvode što se upotrebljavaju u kućanstvima, u zanatstvu, i slično, i nastoji unificirati u najvećoj mogućoj mjeri nacionalna pravila i propise za ispitivanja i atestiranje.

U CEE je učlanjena većina evropskih zemalja: Austrija, Belgija, Čehoslovačka, Danska, Finska, Francuska, Grčka, Holandija, Italija, Jugoslavija, Mađarska, Norveška, Poljska, Portugal, Švicarska, Švedska, Vel. Britanija i SR Njemačka, a Australija, Island, Japan, Južna Afrika, Kanada i SAD surađuju kao promatrači.

Radi realizacije postavljenih zadataka CEE izdaje »Specifikacije«, koje izražavaju u najvećoj mjeri međunarodnu suglasnost o tretiranim problemima. Iako ove specifikacije nisu formalno za članice obvezne, ipak se preporučuje da se pri izradi nacionalnih standarda i propisa u najvećoj mjeri uzmu u obzir, kako bi se postigla jednoglasnost nacionalnih pravila i olakšala međunarodna izmjena.

Osim toga, CEE nastoji pribaviti potrošaču jednostavno i sigurno sredstvo za prepoznavanje proizvoda koji odgovaraju ovim specifikacijama. Zato ima u svom okviru posebni odbor za ateste »Certification Body« — CB — koji izdaje međunarodne ateste, koje priznaju sve zemlje uključene u ovu organizaciju i izdaju na osnovi njih nacionalne ispitne znakove bez ispitivanja, ukoliko nema odstupanja nacionalnih standarda od specifikacija CEE. U slučaju odstupanja, ispitivanja se obavljaju samo na osnovi njih. Ovo predstavlja za izvoznike znatnu olakšicu i ubrzanje pri dobivanju ispitnih i sličnih znakova u raznim zemljama.

CEE ima Plenarnu skupštinu, Tehničke odbore, Redakcioni odbor i Certifikacioni odbor. Ona ima predsjednika i generalni sekretarijat.

Plenarnu skupštinu sačinjavaju delegati organizacija zemalja članica, a kao promatrači mogu učestvovati i delegati organizacija iz zemalja koje nisu članice CEE. Plenarna skupština bira predsjednika, odlučuje o programu rada i o zaključcima izvedenih studija, te odobrava specifikacije i ostale dokumente koje izdaje CEE. Preliminarne studije i radove koji su za to potrebni, plenarna skupština daje na rješavanje odgovarajućim odborima u okviru organizacije, dakle Tehničkim odborima i Redakcionom odboru. Plenarna skupština osniva Tehničke odbore za studij pojedinih problema i određuje svakom odboru predsjednika, a sekretarijat Tehničkog odbora organizira nacionalna organizacija one zemlje u kojoj se nalazi predsjednik. Tehnički odbor se sastoji od onih nacionalnih organizacija koje žele učestvovati u radu.

Osim Tehničkih odbora za pojedine vrste proizvoda postoji i Odbor za laboratorije za ispitivanja. U njemu učestvuju predstavnici institucija koje u okviru zemalja članica izvode ispitivanja. Ovaj odbor obrađuje pitanja u vezi s ispitivanjima propisanim u specifikacijama CEE. Zadatak odbora je i u tome da osigurava skladnost rezultata postignutih u raznim laboratorijima.

Redakcijski odbor se bira od članova plenarne skupštine, a prema potrebi mogu u njemu učestvovati predsjednici i sekretari Tehničkih odbora. Njegov je zadatak da realizira tekstove dokumenata CEE u službenim jezicima, engleskom i francuskom, i brine se da budu uključeni svi doneseni zaključci.

10 GODINA CENTRALNE DISPEČERSKE UPRAVE SJEDINJENIH ENERGETSKIH SISTEMA DRŽAVA ČLANICA S E V

Dvadeset i petog srpnja 1962. potpisan je u Moskvi »Sporazum o organizaciji centralnog dispečerskog upravljanja sjedinjenih energetskih sistema«. Sporazum su potpisale države članice SEV: DR Njemačka, NR Poljska, NR Mađarska, NR Rumunjska, Čehoslovačka SR, NR Bugarska i SSSR. Utvrđeno je da sjedište centralnog dispečerskog centra bude u Pragu. Centrom će upravljati Savjet predstavnika kompetentnih elektroprivrednih organizacija država članica. Da centralna dispečerska uprava (CDU) može ispunjavati zadatke dobivene od Savjeta i obavljati svoju operativnu službu, organizirana je Direkcija CDU. Ona se sastoji od direktora, njegovog zamjenika, potrebnog broja specijalista, iz država potpisnica sporazuma, i pomoćnog osoblja. U prosincu 1962. održano je prvo zasjedanje savjeta CDU, a krajem 1963. završena je organizacija direkcije i dispečeri su počeli sa stalnim dežurstvima. Uređenje i opremanje dispečerskog centra obavili su čehoslovački stručnjaci.

Direkcija mora izvršavati slijedeće zadatke:

— razrađivati sheme i režime paralelnog rada Sjedinjenog energetskog sistema (SES);

— razrađivati mjere za osiguranje paralelnog rada sistema normalnom frekvencijom;

— operativni rad paralelnog sistema;

— koordinirati planske i operativne razmjene između pojedinih energetskih sistema;

— koordinirati planske i operativne rezerve i organizirati iskorištavanja te rezerve;

— likvidirati kvarove koji ugrožavaju paralelan rad sistema (u zajednici s dispečerskim upravama članica);

— koordinirati rad relejne zaštite, automatike telemehanike i veze u SES, neophodne za osiguranje paralelnog rada;

— osigurati kontrolu mjerenja tokova snage i energije u međusistemskim vezama, voditi obračun tokova i periodično informirati o rezultatima tog obračuna;

— pripremati program i organizirati ispitvanje mjerenja u SES;

— analizirati paralelni rad SES radi poduzimanja mjera poboljšanja njegove efikasnosti.

U početku su pod upravom CDU biti elektroenergetski sistemi Mađarske, DR Njemačke, Poljske, Čehoslovačke i Lavovski elektroenergetski sistem u SSSR-u.

Ti su sistemi zauzimali teritorije od 721.000 km a maksimalno opterećenje u siječnju 1963. iznosilo je 18.240 MW.

Paralelni se rad odvijao preko tri dvostruka i dva jednostruka voda 220 kV i četiri linije 110 kV, propusne moći od ukupno 2200 MW.

U 1963. priključen je elektroenergetski sistem Rumunjske, a u 1967. elektroenergetski sistem Bugarske.

Prvog siječnja 1972. bila je uključena na paralelni rad, pod kontrolom CDU, mreža na području od 1.100.000 km², a maksimalno je opterećenje iznosilo 44.516 MW. Opterećenje elektrosistema pojedinih članica vidi se iz tablice:

Članica SES	Opterećenje 9. I. 1972. MW
DR Njemačka	10.566
NR Poljska	10.860
SSSR (Lavov)	3.257
Čehoslovačka NR	8.219
NR Mađarska	2.447
NR Rumunjska	2.993
NR Bugarska	3.174
Ukupno SES	44.516

Razmjena se u 1972. obavljala preko triju vodova 400 kV, 11 vodova 220 kV (od toga 4 dvostruka), i 8 vodova 110 kV, ukupne prijenosne moći od 7200 MW. Prema tome se propusna sposobnost spojnih vodova u promatranom razdoblju povećala više od 3 puta.

U početku su u SES radila samo dva agregata snage 220 MW, dok sada radi 56 agregata snage 200 MW i više.

Najveća dva agregata imaju snagu 315 MW.

Tijekom prošlih 10 godina ukupna se proizvodnja vezanih sistema povećala od 121,3 milijuna kWh na 279,5 milijardi kWh, dakle 2,3 puta.

Obim razmjene stalno se povećavao. Dok je 1962. iznosio 3.495 milijuna kWh, porastao je u 1971. na 15.670 milijuna kWh, tj. 4,5 puta.

Brzina porasta razmjene bila je dva puta veća od porasta proizvodnje. Dok je 1962. razmjena iznosila 2,9% ukupne proizvodnje u 1971. se popela na 5,6%.

Sumarna snaga razmjene paralelno vezanih elektrosistema iznosila je 1962. god. 760 MW, a to je bilo 36,5% propusne moći interkonektivnih vodova i 3,6% maksimalnog opterećenja SES. U 1970. je sumarna snaga razmjene iznosila 2.180 MW, a to je 30,0% propusne moći interkonektivnih vodova i 5% maksimalne snage SES.

Desetogodišnji paralelni rad je uvjerljivo pokazao prednosti i povoljan ekonomski efekt, uglavnom u slijedećem:

— pružanju opće sigurnosti opskrbe nacionalnih sistema energijom, zahvaljujući izgradnji međudržavnih visokonaponskih linija,

— povišenju kvalitete elektroenergije,

— povišenju sigurnosti napajanja putem mnogostrane pomoći u slučaju kvara.

Povezivanje sistema omogućilo je izgradnju velikih elektrana s agregatima velikih jediničnih snaga.

Važan faktor u radu SES je sniženje sumarnog maksimalnog vrha opterećenja; zbog raznovremenosti vrha nekih državnih sistema. Taj efekt iznosi zimi 2 do 3%, a ljeti 5%.

U suglasnosti s »Kompleksnim programom daljnjeg produbljivanja i usavršavanja suradnje i razvijanja socijalističke ekonomske integracije zemalja članica SEV«, a u okviru Stalne komisije SEV za elektroenergiju i Savjeta CDU razmatraju se pitanja razvitka i širenja paralelnog rada elektrosistema, istraživajući nove oblike suradnje, preuzimanje novih zadaća i funkcija CDU SES, razrade znanstveno tehničkih problema usavršavanja organizacije i tehnologije u proizvodnji energije.

Jedan od važnih pravaca razvoja socijalističke integracije je izgradnja elektroenergetskih objekata općeg značaja. Pozitivan je primjer za to izgradnja čvorne razvodne stanice Mukačevo u SSSR, koja je međunarodnog značaja i sjedinjuje vodovima napona 400 kV elektrosisteme Mađarske, Rumunjske, Čehoslovačke i SSSR-a.

Kao daljnja, važna etapa razvitka SES smatra se završenje uzamčenja mreže 400 kV i priključak SES na jedinstveni elektroenergetski sistem Sovjetskog saveza vodovima 750 kV.

(Prema Električeskie stancii 1972, br. 12)

B. M.

RAZVITAK BUDUĆIH PROIZVODNIH I PRIJENOSNIH POSTROJENJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U SR NJEMAČKOJ DO 1985.

Prema prognozama učinjenim u SR Njemačkoj, za razdoblje do 1985., bitno će se promijeniti struktura udjela nosilaca primarne energije koji sudjeluju u proizvodnji električne energije. U 1970. udio nuklearne energije iznosio je 2,5%, dok se u 1985. očekuje 43%.

Udio konvencionalnih goriva, kamenog i smeđeg ugljena, smanjit će se u tom razdoblju od 40% i 23% na 7,5% odnosno 11%. Udio naftnih derivata i zemnog plina povećao bi se od 15% na 22% kod prvoga i 9% na 13% kod drugoga. Pri tom je računano s ukupnim povećanjem električne energije, računajući od 1970, za 2,8 puta.

Udio hidroenergije će se stalno smanjivati, dok je u planu izgradnja pumpnih elektrana u okviru planiranih 40.000 MW u nuklearnim elektranama. Za postizanje vršnih opterećenja također će biti izgrađene plinske turbine.

Težište budućeg razvoja je karakterizirano:

— diskusijom o najekonomičnijem tipu reaktora,
— željom da se uzimaju što veće snage blokova u konvencionalnim i nuklearnim elektranama,
— nastojanjem da se postigne što veća raspoloživost i minimalan utjecaj na okolinu.

Prema današnjim gledanjima sve će se više izvoditi nuklearne elektrane s lakovodnim reaktorima.

Njemačka industrija smatra da će biti u mogućnosti da gradi snage blokova za nuklearne elektrane od 3000 MW na jednoj osovini. Problemi ostvarenja vrlo velikih snaga leže na generatoru. Poseban problem kod takvih generatora predstavlja njegovo ponašanje u mreži, a naročito stabilnost. Kod njihove izgradnje i montaže valja savladati izvedbu rotora s težinama više od 300 t, a s tim u vezi i probleme transporta. Novi se putovi otvaraju konstrukcijom supravodljivih uzbudnih namotaja, na čemu su ispitivanja u toku. Pri tom valja primijetiti da su danas već izvedeni, odnosno naručeni, agregati od 1300 MW.

Granična snaga današnjih reaktora dosiže 2000 MW, pa se radi i na njihovu povećanju. Kod konvencionalnih termoelektrana ne očekuju se bitne promjene. Postojeći će se parametri svježe pare od 180 . . . 250 at i 530 °C i nadalje zadržati, a granične će se snage kretati oko 1200 MW po bloku.

Magnetohidrodinamski generatori, na kojima se danas mnogo radi, još vjerojatno do 1985. neće biti toliko razvijeni da će imati udjela u proizvodnji električne energije.

Nuklearne elektrane mogu se zbog lakog transporta goriva graditi i u centrima konzuma, no zbog potrebe odvođenja velike količine topline one su vezane uz jake vodotoke. Smatra se međutim, da će se već iza 1980. iscrpsti mogućnosti protočnog hlađenja i da će se morati upotrijebiti povratno hlađenje. To će svakako poskupiti proizvodnju električne energije s jedne strane zbgo investicija u tornjeve za hlađenje, a s druge strane zbog viših temperatura rashladne vode.

Smatra se nadalje, da će zaštita od radijacije otpada iz nuklearnih elektrana biti zadovoljavajuća, ali se posebna pažnja mora posvetiti smanjenju sumpornog dioksida u zraku koji nastaje izgaranjem u klasičnim elektranama.

U SR Njemačkoj planiraju se nove protočne hidroelektrane samo još u vezi s regulacijom rijeka i plovnosti. U prvom je planu izgradnja pumpnih elektrana. Danas je njihov udio u snazi vršnog opterećenja 5,6%, a mogao bit biti do 10%. Kako doline u dnevnom dijagramu bivaju sve uže i pliće, odnos turbinske snage prema snazi pumpa biva sve manji. Valja istaći, da za pumpni rad biva vrijeme vikenda i praznika sve značajnije, o čemu se mora voditi računa kod koncepcija instaliranja snage novih pumpnih elektrana. Na koncepciju izgradnje također utječe moderna tehnika građenja i mogućnost konstrukcije postrojenja malih dimenzija u SF_6 tehnici.

Planiranje buduće njemačke mreže 400 kV učinjeno je, na temelju pretpostavke, da će se nove elek-

trane graditi blizu konzuma i da će neka područja biti autarkična u pogledu opskrbe električnom energijom. Superponirana će mreža služiti prvenstveno za prijenos na srednje udaljenosti i za smanjenje rezerve. Kod tih udaljenosti problem stabilnosti ne igra ulogu i vodovi se mogu teretiti blizu termičke granice. S druge strane izgradnjom novih elektrana snaga kratkog spoja ne smije prijeći određenu granicu. Zbog toga će se morati mreža sekcionirati. Smatra se da će zadovoljiti mrežne grupe snage oko 25.000 MW, gdje bi se mogli uvrstiti blokovi do 3000 MVA. Mrežne bi grupe bile vezane duljim vodovima 400 kV ili odvojnim transformatorima. Dolazi u obzir i vezanje istosmjernim prijenosnim vodovima. Današnji najviši naponski nivo zadovoljio bi u promatranom razdoblju.

Zbog velikog pomanjkanja prostora već se godinama gotovo polovina novih vodova 110 . . . 400 kV gradi na stupovima sa 4 sistema (trojke), a ostil kao dvostruki vodovi.

Za usporedbu prijenosnih mogućnosti i potrebnih investicija neka posluži slijedeći pregled, gdje se uspoređuju 4-sistemski vod 400 kV i jednosistemski vod 765 kV i 1100 kV.

1. Maksimalni napon kV	420	765	1.100
2. Broj sistema	4	1	1
3. Presjek vodiča po fazi Ač	4×265/35	4×685/87	6×644/82
4. Prirodna snaga P_n MW	2.600	2.000	4.400
5. Termička opteretivost MVA	7.600	5.800	12.200
6. Širina trase	82	69	89
7. Spec. širina trase MW/m na bazi 1,5 P_n u %	100	90	156
8. Troškovi gradnje DM/km	750.000	450.000	660.000
9. Spec. troškovi gradnje %	100	60	88
10. Spec. troškovi gradnje DM/km MW na bazi 1,5 P_n u %	100	78	52

Iz tablice se vidi da specifični investicioni troškovi (rubrika 10 u tablici) padaju s naponom, ali ako se uračunaju investicije za odgovarajuće transformatorske stanice tada bi prijenos sa 765 kV mogao biti čak skuplji od 420 kV. Važno je nadalje, da prenesena snaga po m širine trase, temeljena na 1,5 P_n, iznosi kod 765 kV samo 90%, kod 1100 kV 156% od prenesene snage kod 4.sistema 420 kV. Prema tome napon 765 kV ne predstavlja za njemačke prilike nikakvu prednost, pa valja kao slijedeći superponirani napon odabrati napon iznad 1000 kV.

Međutim, bit će dosta slučajeva kad će se prijenos morati obavljati kabelom bez obzira na znatno veće troškove. U obzir dolaze jednožilni uljni kabeli, jednožilni uljni kabeli hlađeni vodom, SF_6 cijevni kabeli, a u stadiju razvoja su i supravodljivi kabeli. Kalkulacije pokazuju da bi specifične investicije DM/km MVA upravo kod ovih posljednjih mogle biti najniže.

Zbog pomanjkanja prostora i zagađenja atmosfere mnogo će se upotrebljavati oklopljena postrojenja SF_6. Takva su se postrojenja do sada pokazala u Njemačkoj vrlo dobra do napona od maksimum 123 kV. Postrojenja za više napone su u gradnji, odnosno razvoju. U usporedbi s vanjskim razvodnim postrojenjem reducira se potrebna površina za postrojenje SF_6 kod maksimalnog napona:

123 kV	na okruglo 5 %
245 kV	na okruglo 4 %
420 kV	na okruglo 3 %

Prema nekim referatima CIGRE — Pariz, postrojenja SF_6 mogla bi se graditi i za napone iznad 1000 kV gdje bi bilo potrebno samo 2% površine vanjskog postrojenja.

Uvođenje tehnike visokonaponskih prijenosa za njemačke prilike valja preispitati od slučaja do slučaja. Izvjesne prednosti može imati istosmjerni visokonaponski kabelski prijenos kod dovođenja energije direktno iz velike elektrane u gusto naseljena gradska područja. Takva veza mogla bi biti ekonomski povoljna, jer se uzimaju jeftiniji istosmjerni kabeli. Uređaj se može brzo regulirati, trofazni sistem može biti vezan bez obzira na frekvenciju, a snage kratkog spoja u prijemnom sistemu se ne povećavaju.

Računa se da će do kraja ovog tisućljeća biti u velikim gradovima gustoća opterećenja 5 . . . 10 MVA/km², a u centru grada i do 100 MVA/km². Zbog toga se moraju stvoriti mogućnosti dovođenja velikih snaga u centre gradova.

(Prema: *Gestaltung künftiger Erzeugungs- und Übertragungsanlagen für elektrische Energie in der Bundesrepublik Deutschland bis 1985.* Elektrizitätswirtswirtschaft, 1972, br. 25.)

B. M.

Proizvodnja električne energije u Francuskoj u 1972.

Proizvodnja električne energije u Francuskoj porasla je u 1972. za 9,7%, i dosegla 163.400 GWh. Udio konvencionalnih termoelektrana u proizvodnji bio je 62%, hidroelektrana 30% i 8% udio nuklearnih elektrana. Proizvodnja u nuklearnim elektranama narasla je od 8.700 GWh u 1971. na 13.800 GWh u 1972. Neto potrošnja bila je 146.300 GWh od čega potrošnja industrije 106.300 GWh (+5,2%), a domaćinstva 40.000 GWh (+11,3%).

(Elektrizitätswirtschaft 1973. br. 1)

B. M.

ORGANIZACIJA INDUSTRIJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U BELGIJI

1. Pravni režim i državne službe

Belgijska elektroprivreda temelji se na Zakonu o distribuciji električne energije iz 1925. godine.

U pogledu proizvodnje električne energije Zakon omogućuje slobodno formiranje proizvodnih poduzeća. Država i pokrajine imaju također pravo na izgradnju proizvodnih kapaciteta radi snabdijevanja vlastitih poduzeća, poduzeća za distribuciju električne energije i snabdijevanja tzv. potrošača B-kategorije (industrijska klijentela).[1]

Po jednom zakonu iz 1922. mogu i općine, pojedinačno ili grupno, podizati proizvodne kapacitete za snabdijevanje vlastitih potreba u raznim službama, a eventualno i radi javne distribucije.

Privatnici i društva-poduzeća, mogu proizvoditi energiju za vlastite potrebe ili radi distribucije.

U pogledu distribucije električne energije Zakon kao bazu predviđa općinu. Ona može sama, ili u dogovoru s drugim općinama (po već spomenutom zakonu iz 1922), da ustupi dio monopola s obzirom na kanalske električne instalacije, ili da osigura distribuciju na jednom dijelu ili na cijelom svom području.

Jednom uredbom iz 1967. formirano je savjetodavno tijelo tzv. Stalni komitet za električnu energiju. Taj Komitet daje mišljenja o svim pitanjima za koja je ovlašten od nadležnog ministra.

Vladine službe zadužene za pitanja u vezi s električnom energijom su u ministarstvima za ekonomske poslove i energiju, unutrašnjih poslova, poljoprivrede, zapošljavanje i radi za javne radove.

U Ministarstvu za ekonomske poslove, postoji Direkcija za električnu energiju. Njeno područje rada je primjena zakona i ostalih propisa u odnosu na proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije, te cijena i tarifiranje električne energije.

Sjedinjavanje službi zaduženih za razne oblike energije vrši se tzv. Administracijom za energiju. U njenom sastavu su: Direkcija za električnu energiju, Direkcija za ugljen, Direkcija za naftu i plin, Direkcija za primjenu nuklearne energije i Direkcija za koordinaciju energetske politike. Ova koordinacija proširena je suradnjom s Direkcijom za metalurgiju i koksiranje (Generalne direkcije za industriju) o pitanju proizvodnje plina iz visokih peći.

Ovdje valja spomenuti još i Belgijski institut za standardizaciju (I.B.N.), što je zakonom osnovan 1945, a koji je povjerio Belgijskom elektrotehničkom komitetu (C.E.B.) sva pitanja standardizacije iz područja industrije električne energije.

U Ministarstvu unutrašnjih poslova, Administracija javnih poduzeća je zadužena za kontrolu i nadzor tzv. međuopćinskih poduzeća i elektroprivrednih režija (Intercommunales et Régies d'Electricité).

U Ministarstvu poljoprivrede, Administracija za poljoprivredu i kulturu zadužena je za unapređenje seoske elektrifikacije i izoliranih farmi, a Administracija voda i šuma, intervenira kod izdavanja dozvola za izgradnju dalekovoda na područjima koja su pod šumskim režimom.

U Ministarstvu rada, Administracija za sigurnost na radu je zadužena da bdije nad izvršenjem dispozicija u vezi s električnim instalacijama.

U Ministarstvu za javne radove, Administracija za urbanizam preko Službe za komunalne radove pruža pomoć podređenim administracijama u pitanjima izgradnje, proširenja ili modernizacije vodova i električnih mreža koje služe za javnu rasvjetu. Administracija za električnu energiju i elektromehaniku, zadužena je za izradu i zaključivanje ugovora o snabdjevanju električnom energijom (za potrebe raznih državnih administracija) i kontroli elektro-instalacija na niskom naponu za državne službe. Administracija za vodene putove osigurava upravljanje hidroelektranama u suradnji s Administracijom za električnu energiju.

2. Organizacija proizvodnje i distribucije električne energije

Proizvodnja električne energije osigurava se putem privatnih elektrana koje proizvode za javnu distribuciju u raznim regijama zemlje, putem javnih elektrana i putem industrijskih elektrana, koje uglavnom snabdijevaju industriju crne metalurgije i industriju ugljena (u 1971. privatne elektrane sudjelovale su sa 68% u ukupnoj proizvodnji, javne elektrane sa 2%, a industrijske sa 30%).

Na području distribucije električne energije, u okviru zakona iz 1922. i 1925. godine, imamo općinske i međuopćinske koncesije, općinske i međuopćinske režije, te međuopćinske u kojima je sjedinjen javni i privatni sektor i kojima upravljaju privatna poduzeća, (početkom 1971. godine, poduzeća javnog sektora opskrbljivala su 14% stanovništva, privatna poduzeća samo 0,1%, a miješana 75,9%).

U pogledu kontrole poduzeća postoji: a) *Komitet za kontrolu električne energije i plina* (Comité de Controle de l'Electricité et du gaz = C.C.E.G.). Taj je Komitet osnovan 1955. u okviru »Konvencije o elektroprivredi«, a njegov sastav i predmet rada proširen je novom »Konvencijom o elektroprivredi i plinu«, 1964. godine. (Nova konvencija traje dvadeset godina i ona je osnova organizacije i djelovanja belgijske elektroprivrede). Komitet za kontrolu sačinjavaju četiri organizacije: Generalna federacija Belgije (Fédération Générale du Travail de Belgique = F.G.T.B.); Konfederacija kršćanskih sindikata Belgije (Confédération des Syndicats Chrétiens de Belgique = C.S.C.), Generalna centrala slobodnih sindikata Belgije (Centrale Générale des Syndicats Libéranc de Belgique (C.G.S.L.B.) i Federacija belgijske industrije (Fédération des Industries belges = F.I.B.).

---

[1] u B-kategoriju ide isključivo glavno snabdijevanje rasvjete, kućanstva i motorni pogon do napona ispod 1000 kW. Snabdijevanje ove kategorije stoji pod režimom slobodne konkurencije.

b) Sektori podvrgnuti kontroli Komiteta. U njemu su predstavljeni preko njihovih centralnih organa upravljanja. Zatim su *Komitet za upravljanje elektroprivrednih poduzeća* (C.G.E.E.), za sva privatna proizvodno-distributivna poduzeća osim tzv. industrijskih autoproizvođača tj. industrije koja samu sebe snabdijeva električnom energijom; Sekcija Figaz za koordinaciju transporta i distribuciju plina (C.T.D. gaz), koja predstavlja sva privatna poduzeća; Unija industrijskih elektrana, koja je pristupila Konvenciji i koja je vezana posebnim ugovorom sa C.G.E.E., osobito o pitanjima za koordinaciju investicija, proizvodnje, interkonekcije i velikog transporta. Zatim slijedi grupacija »Intermixt«, koja je također pristupila Konvenciji i Grupacija »Inter-Regies«.

Vlada odobrava konvenciju i surađuje s Komitetom za kontrolu. Ona imenuje svog predstavnika i predstavnike zainteresiranih ministarstava u Komitetu, a njena su prava: informacije, inicijative i pravo suspenzije nekih preporuka.

Zadatak je Komiteta za kontrolu, slijediti primjenu Konvencije, čiji je cilj razvijanje racionalizacije kontroliranih sektora i koordinirano upravljanje i jedinstveno stanovište s ciljem smanjenja cijena električne energije i plina. Radi toga Komitet za kontrolu analizira rezultate rada centralnih organa upravljanja, prognoze investicija i eksploatacije koje su utvrđene ovim organima, kao i rezultate njihovih akcija. Komitet za kontrolu daje preporuke zainteresiranim stranama, osobito na polju tarifiranja, a može proučavati i sve tehničke, ekonomske i financijske probleme koji se odnose na poboljšanje režima proizvodnje i distribucije električne energije.

Za koordinaciju na nacionalnom nivou postoji Federacija — profesionalna — proizvođača i distributera električne energije Belgije (F.P.E.). Ona je osnovana 1964. i sjedinjuje razne aktivnosti industrije za proizvodnju i distribuciju električne energije. Njeni članovi su: Unija za električnu eksploataciju u Belgiji (U.E.E.B.), koja predstavlja proizvođače — distributere privatnog sektora i Asocijacija industrijskih elektrana Belgije (A.C.E.I.B.), koja predstavlja tzv. autoproizvođače kao tijela što su ih oni formirali radi koordinacije proizvodnje. U toj Federaciji, kao individualni članovi, nalazi se većina općinskih režija, pokrajinske režije i općinske asocijacije.

U Federaciji (F.P.E.) postoji i poduzeće za koordinaciju proizvodnje i transporta električne energije (Societé pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Energie électrique = C.P.T.E.), koje koordinira cjelokupnu eksploataciju belgijskih elektrana, elektrana za javnu distribuciju i elektrana autoproizvođača, te upravlja i razmjenom električne energije s inozemstvom. (Na regionalnom planu, poduzeća koja proizvode za javnu distribuciju i koja eksploatiraju više elektrana smještenih u jednoj regigji, uspostavila su međusobno veze koje dozvoljavaju koordinaciju eksploatacije tako da se poveže maksimum sigurnosti s najekonomičnijim uvjetima tržišta. Poduzeća autoproizvođača formirala su regionalna tijela, unije elektrana (U.C.E.) za koordinaciju proizvodnje udruženih industrijskih elektrana).

U C.P.T.E. postoji i tzv. Studijska služba koja je zadužena od strane Komiteta za opremu, Zajedničke komore i GECOLI da proučava probleme opreme i mreža za cjelinu belgijskih proizvođača. Osim toga »Računski centar C.P.T.E.« stavlja na raspolaganje cijeloj belgijskoj industriji električne energije, pa i inozemnoj, analizator mreže na izmjeničnu struju i analogno računalo.

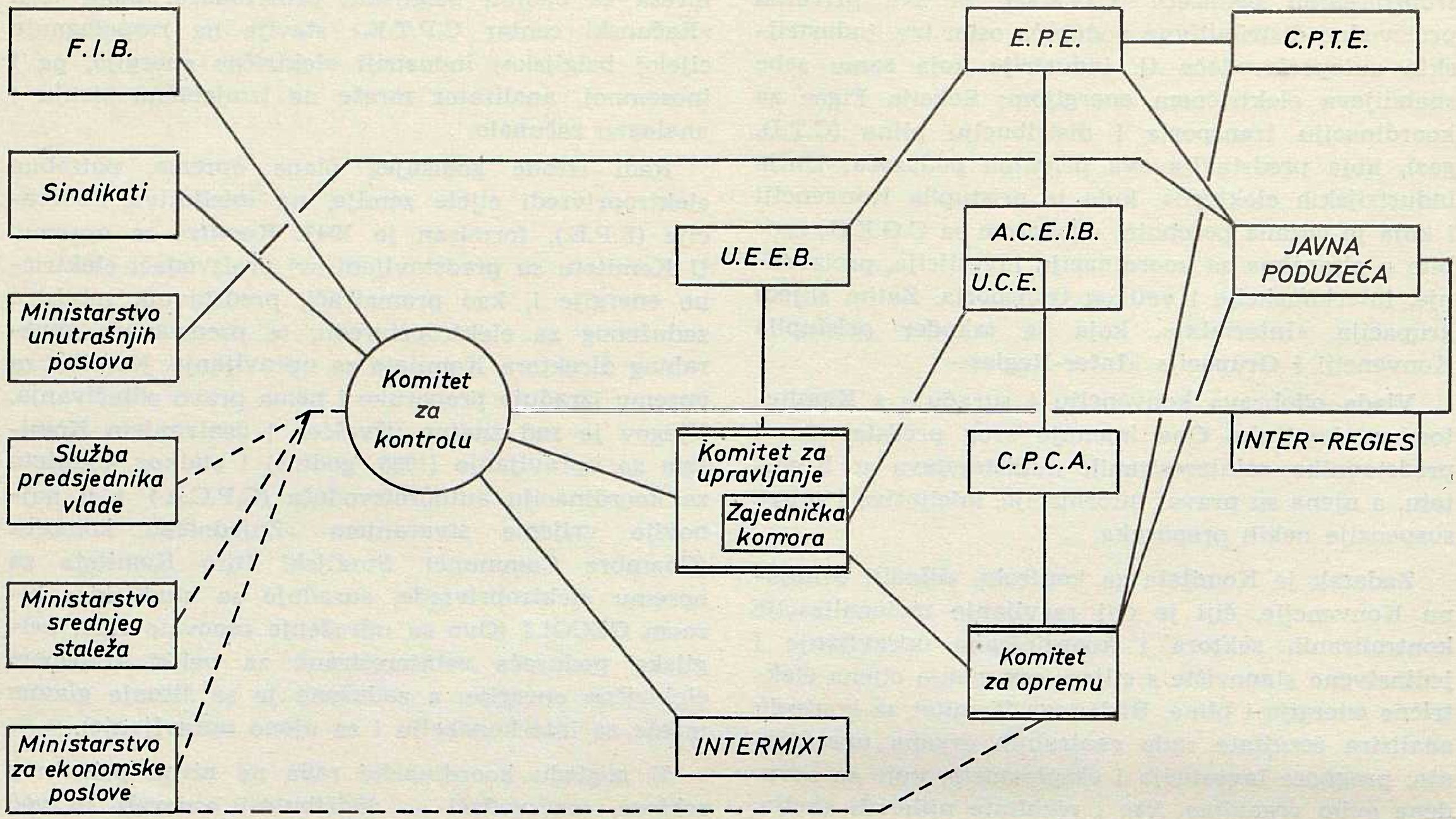
Radi izrade godišnjeg plana opreme, potrebne elektroprivredi cijele zemlje, na inicijativu Federacije (F.P.E.), formiran je 1947. *Komitet za opremu.* U Komitetu su predstavljeni svi proizvođači električne energije i, kao promatrači, predstavnik ministra zaduženog za elektroprivredu, te predstavnik generalnog direktora Komiteta za upravljanje. Komitet za opremu izrađuje preporuke i nema pravo odlučivanja. Njegov je rad znatno učvršćen i osnivanjem Komiteta za upravljanje (1955. godine) i stalnog komiteta za koordinaciju autoproizvođača (C.P.C.A.), a u najnovije vrijeme stvaranjem »Zajedničke komore« (Chambre Commune). Studijski Biro Komiteta za opremu elektroprivrede, surađuje sa studijskim biroom GECOLI (Ovo su udruženje osnovala 1957, belgijska poduzeća zainteresirana za veliki transport električne energije, a zaduženo je za širenje glavne mreže za interkonekciju i za njeno upravljanje).

U pogledu koordinacije rada na nivou privatnog sektora, proizvođači — distributeri osnovali su već 1911. godine Uniju za električnu eksploataciju u Belgiji (U.E.E.B.), a slijedom »Konvencije o elektroprivredi« osnovan je u 1965. i »Komitet za upravljanje elektroprivrednim poduzećima«. On udružuje isključivo proizvođače-distributere privatnog sektora i radi racionalizacije ima punomoć da donosi odluke o investicijama, bez ikakvog ograničenja, i tarifiranju do 4000 kW. U 1964. on je integrirao dio autoproizvodnje osnivanjem »Zajedničke komore« radi koordinacije investicija u području proizvodnje i interkonekcije. Akcije Komiteta su uglavnom usmjerene na koncentraciju sredstava za proizvodnju u velikim elektranama. O tarifiranju su njegove akcije usmjerene na unifikaciju i smanjenje tarifa. Odluke Komiteta su obveznog karaktera za sve članove.

U pogledu koordinacije rada proizvođača-distributera javnog sektora, postoji općinska zadružna asocijacija: Inter-Regies i asocijacija administratora koji predstavljaju općine i pokrajine: Intermixt. Prva asocijacija udružuje većinu distributera javnog sektora i osnovni joj je zadatak unapređenje koordinacije politike ovih poduzeća i njihovih nastojanja na tehničkom, ekonomskom i eksploatacionom planu. Druga asocijacija (osnovana 1964.) ima zadatak da predstavlja i zaštićuje potrošače na nacionalnom planu, na planu općina i pokrajina, u vezi s proizvodnjom, transportom i distribucijom električne energije i plina.

Proizvođači električne energije koji sami sebe snabdijevaju, tzv. autoproizvođači, imaju: Asocijaciju industrijskih elektrana Belgije (A.C.E.I.B.) i Stalan komitet za koordinaciju proizvodnje (C.P.C.A.). Asocijacija (osnovana 1922.) ima zadatak da obrani interese eksploatacije industrijskih elektrana. Komitet

ORGANIZACIONA SHEMA BELGIJSKE ELEKTROPRIVREDE
(----- promatrači)



Distributivna poduzeća

Vrsta poduzeća	Stanje 1. 1. 1971.				Distribuirana energija 1971.	
	Broj poduzeća	Broj općina	Potrošači			
			stanovništvo	u % od stanovništva	GWh	u % od sveukupnog
Javni sektor						
Općinske režije	52	50	611725	6,3	286	4,4
Međuopćinske asocijacije	10	562	1715013	17,7	1051	16,1
Ukupno	62	612	2326738	24,0	1337	20,5
Mješoviti sektor						
Međuopćinske mješane asocijacije	35	1762	7358092	75,9	5184	79,4
Privatni sektor	4	5	6161	0,1	11	0,1
Sveukupno	101	2379	9690991	100,0	6532	100,0

Neto proizvodnja po kategorijama poduzeća

Vrsta poduzeća	Broj elektrana	Snaga 1. 1. 1972.				Proizvodnja 1971.	
		Instalirana		Neto		GWh	%
		MW	%	MW	%		
Proizvođači-distributeri							
Javna poduzeća	12	294	3,9	265	3,7	660	2,1
Privatna poduzeća	33	5013	66,3	4839	68,2	21485	68,0
Ukupno	45	5307	70,2	5084	71,9	22145	70,1
Autoproizvođači-ind.							
Općinske elektrane (a)	3	779	10,2	785	11,1	4596	14,5
Individualne elektrane	92	1479	19,6	1199	17,0	4856	15,4
Ukupno	95	2259	29,8	1984	28,1	9452	29,9
Mješovite elektrane (b)	6	(1148)	(15,2)	(1110)	(15,7)	(5070)	(16,0)
Sveukupno	146	7565	100,0	7068	100,0	31597	100,0

(osnovan 1957.) ima za cilj koordinaciju investicija u sredstvima za proizvodnju i transport električne energije.

3. Tijela za tehnička pitanja i istraživanja

To su: Komitet tehničkih studija (Comité d'Etudes Techniques = C.E.T.), Belgijski elektrotehnički komitet (Comité Electrotechnique Belge = C.E.B.), Belgijski komitet za elektrotermiju i elektrokemiju (Comité Belge de l'Electrothermie et de l'Electrochimie = C.B.E.E.), Belgijski laboratorij industrije električne energije (Laboratoire belge de l'Industrie électrique = LABORELEC) i Studijski uredi.

C.E.T. (osnovan 1930.) ima kao glavni zadatak proučavanje tehničkih pitanja iz područja proizvodnje i distribucije električne energije. Među svoje članove asocijacija broji glavna poduzeća za proizvodnju i distribuciju, kako iz privatnog tako i javnog sektora.

C.E.B se bavi svim pitanjima iz područja standardizacije koja interesiraju industriju električne energije (ovaj mu je zadatak povjerio Belgijski instiut za standardizaciju = I.B.N.). Komitet ima pravo izdavanja marke CEBEC, a u vezi s ispitivanjima raspolaže Centralnim elektrotehničkim laboratorijem, koji se 1962. godine integrirao u LABORELEC.

C.B.E.E. (osnovan 1938.) proučava razne probleme što se odnose na elektrokemiju i elektrotermiju. On je otvoren svima zainteresiranima, proizvođačima distributerima, konstruktorima, korisnicima i znanstvenim radnicima. Komitet ima razne studijske komitete, a 1962. godine stvorio je i Nacionalnu belgijsku laboratoriju za elektrokemiju i elektrotermiju, koja je 1965. godine ušla u sastav LABORELEC-a.

LABORELEC (osnovan 1962.) centralizira sve studije i istraživanja u Belgiji iz područja proizvodnje, transporta i distribucije električne energije. On broji oko 180 zaposlenih, od čega je oko polovica s visokom i višom stručnom spremom. Jedna znanstvena komisija, savjetodavnog karaktera, zadužena je za unapređenje suradnje između Sveučilišta i LABORELEC-a.

Studijski biroi: Elektroprivredna poduzeća surađuju sa studijskim biroima, čije je područje rada široko, od davanja jednostavnih tehničkih mišljenja do kompleksnih studija o novim instalacijama, ili širenja postojećih instalacija (od glavnih studijskih biroa, dva najveća broje oko 1350 inženjera, tehničara i crtača).

4. Nuklearna energija

Na području nuklearne energije djeluju vladini profesionalni organi i organizacije za studije i istraživanja.

Ministarstvo za ekonomske poslove, u Administraciji za energiju, ima Službu za primjenu nuklearne energije. Djelujući na tehničko-ekonomskom području ova služba ima stalne kontakte sa specijaliziranom industrijom nuklearnog sektora. Ona se bavi i eksploatacijom elektrana u suradnji s Direkcijom za električnu energiju.

Godine 1950. vlada je jednom odlukom osnovala: Povjereništvo za atomsku energiju, čiji je zadatak: pratiti istraživanja i realizacije o nuklearnoj energiji u Belgiji i inozemstvu, osigurati koordinaciju svih aktivnosti u vezi s nuklearnom energijom, promicati vlastite inicijative koje pogoduju interesu Belgije na nuklearnom području. Povjereništvo je nadležno za izgradnju nuklearnih elektrana. Od 1961. Povjereništvo potpada pod Ministarstvo za ekonomske poslove. Za poslove nuklearne energije nadležno je Ministarstvo narodnog zdravlja, i Ministarstvo rada.

U Belgiji postoji i društveno-stručna organizacija, tzv. Belgijski nuklearni torum (Forum Nucléaire Belge), osnovan 1972. godine, a ima za cilj promicati razvoj i korištenje nuklearne energije u mirnodopske svrhe. Znanstveno istraživačkim radom bave se Sveučilišni institut za nuklearnu nauku i Naučni centar za nuklearnu energiju.

Na kraju ovog sažetka i djelomičnog prikaza organizacije belgijske elektroprivrede, koja, iako rascjepkana djeluje jedinstveno, daje se shematski prikaz organizacije i tablični pregled na području proizvodnje i distribucije električne energije u 1971.

a) Elektrane čiji su suvlasnici većina industrijskih autoproizvođača, tj. oni koji proizvode uglavnom za svoje potrebe.
b) Navedeni podaci već su obuhvaćeni kod proizvođača — distributera i industrijskih autoproizvođača.

Većina elektrana srednjih i malih snaga pripada industriji koja koristi rekuperirano gorivo ili koja još (u okviru svoje glavne aktivnosti) treba stalno ili povremeno paru (tekstil, kemija, šećerane itd.). Ove elektrane su uglavnom povezane, bilo na mrežu interkonekcije bilo na mrežu distribucije. U Belgiji izolirano radi manje od 1% elektrana.

Na visokom naponu, privatna i miješana poduzeća intervenirala su sa 91,0% u direktnoj prodaji, industriji i transportnim poduzećima preko proizvođača — distributera i sa 79,5% u prodaji na niskom naponu: poduzeća javnog sektora (općinske režije i provincijske, te međuopćinske asocijacije) koja kupuju od privatnih poduzeća veći dio energije i prodaju svojim abonentima, sudjeluju sa 9% u prodaji na visokom naponu i sa 20,5% u prodaji na niskom naponu.

Pripremio Drago Mijić, dipl. ing.

NUKLEARNE ELEKTRANE FRANCUSKE ELEKTROPRIVREDE

U Francuskoj, kao i svuda u svijetu, nastoji se osigurati zemlji potrebnu energiju, uz uvjet da su cijene što niže i da nema pretjeranog uvoza energetskih produkata. Stoga je energetska politika Francuske, da se na vlastitom području nađe način za proizvodnju osnovne energije, bilo razvojem hidroenergetske proizvodnje, bilo u poticanju proizvodnje ugljena, nafte i prirodnog plina. Međutim, ovi glavni, klasični izvori energije neprestano opadaju i postaju sve skromniji, a energetske potrebe rastu.

Deficit potreba za energijom iznosio je 1950. 30%, a 1968. 60%, dok se 1975. očekuje 75%. Pretpostavlja se, da će tada ta tendencija biti zaustavljena, i da će to biti zasluga neuklearne energije.

Posebno je interesantan uran s gledišta uvoza energije u Francusku. Dok je uvoz svih drugih energetskih goriva povezan s vrlo velikim troškovima, uvoz urana je relativno jeftin, pa je moguće stvaranje znatnih zaliha. To je povoljno zato, jer je Francuska preko svog Sekretarijata za nuklearnu energiju (CEA) u posjedu, ili kontrolira, oko 10% svjetskih rezervi urana.

Francuska se, na isti način kao i Velika Britanija, odlučila na upotrebu košuljica s prirodnim uranom i grafitom kao moderatorom koji se hladi s CO_2. To je učinjeno zato da bi se mogao iskoristiti prirodni uran i tako izbjeći ovisnost o obogaćenom uranu. U to vrijeme je obogaćeni uran bio strateški materijal, a teška voda se nije mogla koristiti u jednom ambicioznijem industrijskom programu. Zahvaljujući dugoj znanstvenoj tradiciji u nuklearnoj oblasti, stvoren je prvi program nuklearnih elektrana u Francuskoj. To su elektrane na osnovi plin-grafit.

Prvi kWh iz nuklearne energije potekli su 1956. godine u Marculu, kada je CEA ustupila plutonski reaktor G 1 od 5 MW EdF-u.

U 1959. i 1960. pušteni su u rad G 2 i G 3 sa po 40 MW na istoj lokaciji. Nakon pokusnog rada počinje izgradnja prvih vlastitih elektrana na obali Loire kod Chinona. EdF izvodi i električni i nuklearni dio elektrane sama, a CEA ima funkciju savjetnika.

U Chinonu su izgrađeni:

— Chinon I sa 70 MW, koji je ušao u pogon 1963.
— Chinon II sa 200 MW, koji je ušao u pogon 1965.
— Chinon III sa 480 MW, koji je ušao u pogon 1966.

Na iskustvu s prvim elektranama postavljen je princip izgradnje jedinica od 480 MW. Takav tip je zatim korišten za izgradnju nuklearne elektrane Saint-Laurent-des-Eaux I od 480 MW. Tada je prvi puta upotrebljen izmjenjivač topline u istom zidu kao i jezgra reaktora. Zid je bio od prenapregnutog betona. Ovaj položaj omogućio je ekonomičnost konstrukcije. Tri godine kasnije počela je izgradnja elektrane Saint-Laurent II. Usavršavanjem detalja dobiveno je povećanje snage sa 480 MW na 515 MW.

Godine 1971. počela je s radom francusko-španjolska nuklearna elektrana od 480 MW u Vandellosu kod Tarragone. Krajem 1972. proradila je i elektrana od 540 MW u Bugeyu, uzvodno od Liona na rijeci Roni.

Usporedo s razvojem uranskih plin-grafitnih košuljica EdF učestvuje u proučavanju tehnike teške i obične vode. To je bilo kod reaktora EL 4 od 70 MW u elektrani Monts d'Arrée u Bretanji i kod reaktora PWR od 266 MW u Chozu u francusko-belgijskoj nuklearnoj elektrani Ardees na rijeci Mense.

Pri kraju 1969. generalni direktor EdF saopćio je na jednoj konferenciji za štampu, da se košuljice od plin-grafita povlače u korist košuljica s obogaćenim uranom i običnom vodom. Ova promjena je zapravo bila diktirana ekonomskim, a ne tehničkim razlozima. Cijena ovih prvih košuljica od plin-grafita bila je znatno viša od onih koje su koristile američku tehniku. S obzirom na zahtjev da se energija svede na što majnu cijenu, morao se mijenjati i francuski nuklearni program.

Prvi efekt ove značajne promjene u ekonomskoj konjunkturi bio je prividni zastoj nuklearnog programa EdF koji traje gotovo četiri godine, od 1969. do 1973.

Prvi znaci ubrzavanja izgradnje predstavljaju odluke da se u toku pet godina 1973—1978. izgradi 8000 MW u nuklearnim elektranama. Prva konkretna mjera je početak konstrukcije triju elektrana po 900 MW, a od 1973. izgradit će se još jedna reda veličine 1200 MW. Tako će osnovicu francuskog nuklearnog programa u slijedećih nekoliko godina predstavljati korištenje košuljice na osnovi obične vode.

Posebno je interesantno proučavanje reaktora koji koriste grafit kao moderator, plin kao toplotni fluid i kesone od prenapregnutog betona. Ova tehnika posebno se razvija u Kanadi.

Smatra se da prava budućnost nuklearne energije stoji u nadregenerativnim reaktorima. Ta nadregenetivna tehnika omogućuje stvaranje više fizionih materija u jednom reaktoru, pa izgleda da je ona jedina sposobna da prema sadašnjoj tehnici iskoristi najveći dio svjetskih rudnih nalazišta urana. Ovom tehnikom je moguće dobiti 50 do 100 puta više energije iz iste mase urana, u odnosu na dosad korištene košuljice. Na taj način se povećavaju vezane energije koje sadrže rudna nalazišta urana. Značajni dio urana u cijeni kWh pridonosi povećanju vrijednosti rudnih nalazišta s manjim sadržajem urana, koja se dosad nisu eksploatirala.

EdF i RWe (Rheinisch — Westfälische Elektrizitets Werk AG) objavili su 10. svibnja 1972. namjeru da ujedine sredstva za realizaciju dviju nuklearnih elektrana od po 1000 MW u tehnici nadregenerativnih reaktora s brzim elektronima koji se hlade tekućim natrijem. Prva od njih bit će započeta u Francuskoj u 1974. godini. Druga će se graditi u SR Njemačkoj.

(Prema članku »Les centrales nucleaires d'Electricité de France« Andréa Hannothiauxa, Bilten francuske tehničke dokumentacije br. 4/1972.)

J. M.

Mogućnost izgradnje elektrana na tekuće gorivo i plin u Hrvatskoj

Na području Hrvatske postoji značajan raskorak između porasta proizvodnje, potrošnje i prijenosa električne energije. U posljednje tri godine konzumu u Hrvatskoj je nedostajalo ukupno oko 4,3 milijarde kWh električne energije. Taj manjak je pokriven nabavom iz susjednih republika Bosne i Hercegovine i Slovenije, a djelomično i uvozom iz Italije i Austrije. Da bi se pokrio manjak Udružena elektroprivredna poduzeća rade na pronalaženju mogućnosti osnivanja novih izvora električne energije.

S obzirom na sirovinsku osnovu postoji realna mogućnost da se pri rafinerijama u SRH izgrade termoleektrane, snage od 200 do 500 MW, na tekuće gorivo i plin. Prikupljaju se tehnički, energetski i ekonomski podaci za izgradnju takvih termoelektrana.

Na osnovi sređenih podataka i drugih istraživanja stručnjaci Instituta za elektroprivredu i projektanti poduzeća »Elektroprojekt« iz Zagreba izradili su studije i idejne projekte za elektrane na tekuće gorivo. Izvršen je i izbor lokacija, tako će TE Dalmacija graditi u blizini Šibenika, TE Slavonija kod Slavonskog Broda i TE Rijeka u Urinju.

Prema izrađenim idejnim rješenjima dat ćemo prikaz pojedinih postrojenja.

TE Dalmacija prva etapa 210 MW

Pri odabiranju lokacije za TE Dalmaciju uzete su u obzir slijedeće smjernice:

— da je lokacija elektrane što bliže centru potrošnje,
— da postoji mogućnost dopreme goriva morskim putem,
— da izgradnja elektrane ne šteti turizmu.

Nadalje valja izabrati podesnu konfiguraciju tla, kao i podesan pristup terenu.

Na konzumnom području Dalmacije najjači potrošač je aluminijska industrija koja je skoncentrirana u šibenskom bazenu. Uzevši u obzir iznesene zahtjeve, izbor lokacije buduće elektrane pao je na područje Šibenika. Postrojenje bi se gradilo na brdovitom poluotoku Obinus Veli, zapadno od Vodica, gdje je okolina potpuno nenaseljena. Za ovu elektranu koristilo bi se kao gorivo teško ložno ulje, koje bi se uskladištilo u četiri spremnika, svaki od 17.000 m³. Spremnici mogu primiti 60.000 t mazuta. Gorivo bi se transportiralo tankerima iz uvoza ili Rafinerije Rijeka. Prosječni potrošak goriva iznosio bi oko 250.000 t godišnje.

U programu je da se TE Šibenik gradi u dvije etape: u prvoj etapi blok kotao-turboagregat 1 × 210 MW, a u drugoj još jedan blok veličine i do 500 MW.

Nakon izgradnje prve etape ove termoelektrane priključak će se izvesti na TS 110/35 kV Bilice dvostrukim vodom, u dužini od oko 19 km.

TE Slavonija 420 MW

Za gradnju TE Slavonija izabrana je kao najpovoljnija lokacija Ruščica kod Slavonskog Broda. Teren na kojem bi se gradila elektrana nalazi se na lijevoj obali Save, oko 8 km nizvodno od Slavonskog Broda. Predviđeni teren je nenaseljen i na njemu nema nikakvih objekata. Generalnim urbanističkim planom Slav. Broda ovaj teren je predviđen za industrijsku zonu.

I ova će se elektrana graditi u dvije etape: u prvoj 1 × 210 MW, a u drugoj 1 × 210 MW.

U prvoj etapi elektrana će biti povezana 110 kV dalekovodima s TS 110/35 kV Podvinje i Đakovo. Nakon izgradnje druge etape, ukupne instalirane snage 420 MW, vezat će se 220 kV dalekovodom s TS 220/110 kV Đakovo.

Prema idejnom projektu glavni objekti su: strojarnica, kotlovnica, vanjsko rasklopno postrojenje 110 kV, te postrojenje za čišćenje odpadnih voda, radionice i drugi pomoćni objekti. Izgradit će se dva rezervoara kapaciteta po 17.000 m³. Godišnja potrošnja mazuta iznosit će oko 250.000 tona.

Gorivo će se osigurati iz rafinerija Bos. Brod, Siska i Pančeva, a dopremalo bi se na tri načina.

Glavni dio mazuta isporučivala bi Rafinerija Bos. Brod, tlačnim cjevovodom, dužine oko 8 km. To je ujedno najpodesniji i najjeftiniji način transporta goriva. Isporuka goriva iz Rafinerije Sisak bila bi teglenicama, što je također vrlo povoljno jer je Sava plovna cijele godine. Postoji mogućnost da se na isti način doprema gorivo i iz Rafinerije Pančevo. Potrebno će biti izgraditi na Savi pristanište za istovar mazuta iz teglenica, a izgradit će se i odgovarajuće crpne stanice. Iznimno će se mazut dopremati vagon-cisternama. Opremu za TE Slav. Brod isporučila bi strojogradnja Sovjetskog Saveza. Gradnja elektrane se planira za početak iduće godine, a gradila bi se 4 do 5 godina.

TE Rijeka na plin

Prema programu Elektroprivrede Rijeka odlučeno je da se TE Rijeka gradi u Urinju, odmah kraj rafinerije nafte. Instalirana snaga ove elektrane predviđena je s 500 MW, a bila bi izgrađena u dvije etape, svaka po 250 MW. Pogonsko gorivo za prvu etapu je rafinerijski plin, a za drugu tekuće gorivo-mazut.

Prva etapa, odnosno TE Rijeka I, služila bi za podmirenje buduće potrošnje elektroenergije na širem području naše Republike, dok je izgradnja druge etape, odnosno TE Rijeka II, vezana uz izgradnju jednog dijela petrokemijskog programa u Rijeci.

Naime, u onome dijelu petrokemijskog programa za kojeg se smatra da bi u budućnosti trebao biti izgrađen u Rijeci, nalazi se elektroliza koja je veliki potrošač elektro-energije, oko 1000 GW godišnje.

Izrađena je i studija i idejno rješenje za izgradnju TE Rijeka na osnovi rafinerijskog plina. *I. R.*

ELEKTROPRENOS — MATULJI

Provizorni priključak transformatora u HE Nikola Tesla

U HE Nikola Tesla došlo je do težeg kvara transformatora 110/30 kV 8,5 MVA. Područje Gorskog Kotara koje se napaja iz ove hidroelektrane snabdijeva se električnom energijom preko drugog transformatora 20 MVA iz HE Nikola Tesla, te iz transformatora 20 MVA iz TS Vrbovsko.

Da bi se osigurala opskrba tog područja kvalitetnom električnom energijom i zagarantirala veća sigurnost u slučaju ispada transformatora u HE Nikola Tesla ili TS Vrbovsko, ili nekog od distributivnih vodova između te dvije pojne točke udaljene preko 40 km, odlučeno je da se u HE Nikola Tesla postavi provizorni priključak transformatora 20 MVA.

Sadašnji transformatori 8,5 i 20 MVA u HE Nikola Tesla smješteni su u podzemne kaverne i radi uštede prostora posebne su izvedbe, hlađeni prisilnom cirkulacijom vode. Radi toga je novi transformator 20 MVA trebalo postaviti uz vanjsko postrojenje 110 kV.

Transformator 110/30 kV 20 MVA posuđen je od Elektroprenosa — Zagreb, a njegov priključak izvode prema zaključenom dogovoru ekipe HE Nikola Tesla i Elektroprenosa — Matulji.

Priključak 110 kV strane transformatora izvesti će se iz rezervnog polja 110 kV koje ima svu opremu potrebnu za manevre transformatora. Priključak 30 kV strane transformatora izvest će se kavelom koji prolazi uz sam transformator, a za sada je rezerva za napajanje otoka Krka.

Gradnja DV 110 kV Podravska Slatina — Našice

Konzumno područje Podravske Slatine donedavno se napajalo električnom energijom dalekovodom 35 kV iz TS 110/35 kV Osijek I preko TS 35/10 kV Našice. Međutim izgradnjom dalekovoda 110 kV Đakovo — Našice i puštanjem u pogon transformatorske stanice 110/35 kV Našice, danas se područje Podravske Slatine napaja 35 kV vodom iz daleko bliže transformacije 110/35 kV u Našicama.

Osnivanjem novih industrijskih postrojenja, proširenog korištenje energije u poljoprivredi i domaćinstvu, potrošnja je u stalnom porastu, te je bilo nužno izgraditi dalekovod 110 kV Podravska Slatina — Našice. Krajem prošle godine otpočeli su radovi na gradnji dalekovoda 110 kV Podravska Slatina — Našice, dužine oko 37,8 km. Glavne projekte izradili su projektanti poduzeća »Dalekovod«, a »Dalekovod« je preuzeo i ostale radove.

Vod će se izvesti na čelično-rešetkastim pocinčanim stupovima, tipa »Jela«. Presjek vodiča je 3 × 150/25 mm² Alče, zaštitno uže 1 × 50 mm² Če, a izolatori su tipa »Sediver«. Kompletan ovjesni materijal izrađen je u pogonu ovjesnog materijala »Dalekovoda« po licenci »Salvi«.

U prvo vrijeme dalekovod 110 kV Podravska Slatina — Našice radit će pod naponom 35 kV koji će privremeno biti priključen na postrojenje 35 kV u TS 110/35 kV Našice, a krajnja točka je TS 35/10 kV. U konačnoj etapi izgradnje bit će priključen na postojeće postrojenje TS 110/35 kV Našice i u buduću TS 110/35 kV Podravska Slatina.

Završeni su projekti za TS 110/35 kV Podravska Slatina što ih je odobrila reviziona komisija, a do gradnje će, vjerojatno, doći u idućoj godini.

Radovi na izgradnji dalekovoda 110 kV Podravska Slatina — Našice ulaze u završnu fazu. U programu je da vod uđe u pogon krajem prvog polugodišta ove godine.

I. R.

Osigurana energija za mini čeličanu u Kumrovcu

Poduzeće »Industromontaža« iz Zagreba pristupilo je izgradnji mini čeličane za proizvodnju betonskog čelika u Kumrovcu. Opskrbljavanje betonskim čelikom je deficitarno, pa je s obzirom na proširenu i ubrzanu građevnu djelatnost bilo nužno povećati proizvodnju čelika. Radovi na izgradnji čeličane ulaze u završnu fazu.

Za napajanje proizvodnih pogona novosagrađenog postrojenja valja osigurati i dovoljne količine električne energije. Odlučeno je da se izgradi dalekovod 110 kV Zabok — Tuhelj — Kumrovec, u dužini oko 23 km. Radovi na izgradnji dalekovoda počeli su početkom siječnja ove godine, a završeni krajem travnja. Vod je izveden na čelično-rešetkastim pocinčanim stupovima, tipa »jela«, ukupan broj stupova je 75. Za dionicu Zabok — Tuhelj, oko 15 km, izabrani su vodiči 3 × 240 mm² Ač, a za drugu dionicu Tuhelj — Kumrovec vodiči su presjeka 3 × 150/25 mm² Ač. Zaštitno uže 1 × 50 mm² Če, izolatori tipa F 8 »Sediver«, ovjesni materijal je proizvod poduzeća »Dalekovod« tipa »Salvi«.

Polazna točka dalekovoda je TS 110/30 kV Zabok, a krajnja TS 30/10 kV Kumrovec. U prvo vrijeme vod će raditi pod naponom 30 kV. »Industromontaža« je vlastitim sredstvima izgradila TS 30/10 kV u Kumrovcu. Snaga ove transformatorske stanice je 2 × 2000 kVA, tako da će jedan transformator služiti za napajanje dvaju elektromotora snage po 800 KS u pogonu valjaonice i međupruge. Drugi transformator transformirat će energiju za elektromotore u pogonima, sitne pruge i betonerke.

Novoizgrađeni dalekovod 110 kV Zabok — Tuhelj — Kumrovec ima dva investitora i to: dionica Zabok — Tuhelj pripada investitoru »Elektroprenos«, a druga Tuhelj — Kumrovec investitoru »Elektra« Zabok.

U konačnoj izgradnji će dalekovod raditi pod naponom 110 kV. Planirane su i dvije TS 110/30 kV i to u Tuhlju i Kumrovcu. Za ova transformatorska postrojenja izgrađena su idejna rješenja i odabrana lokacija.

I. R.

Gradi se »Veliko Kosovo«

Stručni kolegij Rudarsko - energetsko - kemijskog Kombinata »Kosovo« s nekim izmjenama i korekcijama je usvojio investicioni program izgradnje termoelektrane »Veliko Kosovo«. Osim stručnjaka »Energoprojekta« kome je povjerena izrada projekta, ovom skupu su prisustvovali i najeminentniji stručnjaci za energetiku u Jugoslaviji.

Program predviđa da će izgradnja »Velikog Kosova«, snage 1.800 megavata, početi iduće godine. Dva agregata od po 300 megavata treba da uđu u pogon 1978, dok će drugi dio od 1.200 megavata biti završen 1980. Za izgradnju termoelektrana u prvoj etapi bit će utrošeno 1.818,000.000 dinara.

Usporedo s izgradnjom »Velikog Kosova« planira se i proširenje proizvodnje ugljena u bazenu kod Obilića. Sa sadašnjih šest milijuna tona godišnje proizvodnje, proizvodnja će se povećati na 10 milijuna tona.

Inače, u ovom kosovskom gigantu proizvest će se ove godine 6 milijuna i 100 tisuća tona lignita u oba kopa, a ako bude potrebno kopovi će dati još više ugljena. Od ukupnih količina za potrebe termoelektrane, namijenjeno je 4 milijuna i 259 tisuća tona, sušari 962 tisuća tona, toplani 595.300 i za tržište 310 tisuća tona, lignita. Osim toga će se proizvesti 576 tisuća tona sušenog lignita. U ovoj godini u Kombinatu »Kosovo« bit će proizvedeno i 835 tisuća i 400 tona tehnološke pare potrebne za sušare, gasifikacije i azotare i 2 milijuna 855 tisuća megavat sati električne energije.

Tuzla

Pripreme za gradnju TE »Ugljevik«

Stručnjaci tuzlanskog Instituta za rudarska, kemijska i tehnološka istraživanja u saradnji sa sarajevskim »Elektroprenosom« i »Energoinvestom« pripremaju projekte za gradnju termoelektrane »Ugljevik« uz istoimeni rudnik na planini Majevici.

Prema predviđanjima, gradnja ove termoelektrane od 300 megavata počela bi 1975, a prva struja trebala bi poteći 1979. godine.

Zbog potrebe termoelektrane bit će modernizirana proizvodnja ugljena u rudniku, gdje se rezerve cijene na preko 600 milijuna tona, dok po planu termoelektrana treba godišnje trošiti 1,8 milijuna tona.

Računa se, da će ukupni troškovi izgradnje termoelektrane iznositi 1,2 milijarde dinara, od čega će polovinu osigurati sarajevski »Elektroprenos«.

CRPNI AGREGATI — JUGOTURBINA TIP VPM i VPT

Poduzeće »Rade Končar« počelo je proizvoditi crpne agregate, pa ćemo se u ovom napisu osvrnuti na taj proizvod.

Crpni agregati upotrebljavaju se za opskrbljivanje pitkom i potrošnom vodom u kućanstvu, stambenim zgradama, industriji, poljoprivredi, obrtu, školama, itd.

Veoma su jednostavni za rukovanje i jeftini za održavanje. Mogu se koristiti kao posebne jedinice ili u sklopu sa hidroforima.

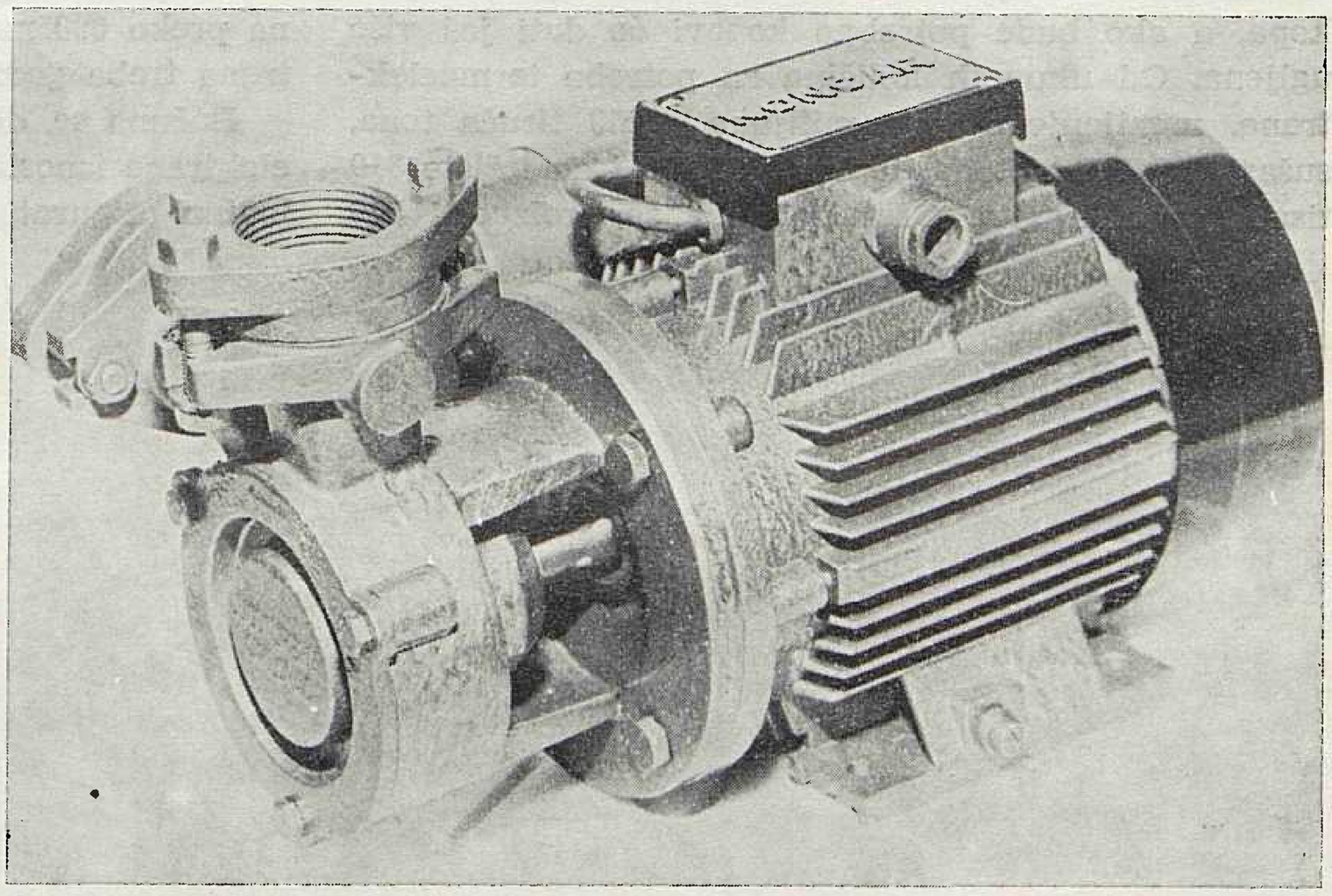
Crpni agregati VPM i VPT što se proizvode u poduzeću »Rade Končar« su jednostepene, horizontalne vrtložne crpke s pogonskim elektromotorima u monoblok izvedbi, te je osovina elektromotora ujedno i pogonska osovina crpke.

Pogonski elektromotor kod crpke VPM je jednofazni, a kod crpke VPT trofazni.

Mehanička zaštita motora je IP_{44} (prema IEC preporukama), što čini zaštitu od namjernog dodira, podizanja krupne prašine, prskajuće vode iz bilo kojeg smjera.

Elektromotor štiti osim postojećim mrežnim osiguračima i motorskom zaštitom sklopkom koja štiti od preopterećenja i od prekida struje u jednoj fazi (za trofazne motore).

Kod odabiranja automatske zaštitne sklopke valja paziti da odgovara podacima elektromotora, koji su naznačeni na natpisnoj pločici agregata. Samo pravilno odabrana sklopka sa sigurnošću štiti motor.



Crpni agregat proizvodnje »Rade Končar«

TEHNIČKI PODACI

Tip agregata	Snaga	Nazivna struja kod		Brzina vrtnje	Kondenzator		Protok	Visina dobave	Težina
	kW	220 V A	380 V A	c/min	Kapac. μF	Napon V	l/min	m V. S	kp
S jednofaznim motorom									
VPM — 82	0,55	4,8	—	2740	16	380	30 — 60	30 — 10	11
VPM — 88	0,75	5,8	—	2750	10	380	20 — 60	50 — 15	14,5
VPM — 94	1,1	7,8	—	2750	25	380	42 — 78	55 — 10	15,5
S trofaznim motorom									
VPT — 88	0,75	3,5	2	2750	—	—	20 — 60	50 — 15	14
VPT — 94	1,1	4,8	2,8	2750	—	—	42 — 78	55 — 10	15

»RADE KONČAR«
PODUZEĆE ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE OPREME, PROJEKTIRANJE I MONTAŽU POSTROJENJA — ZAGREB

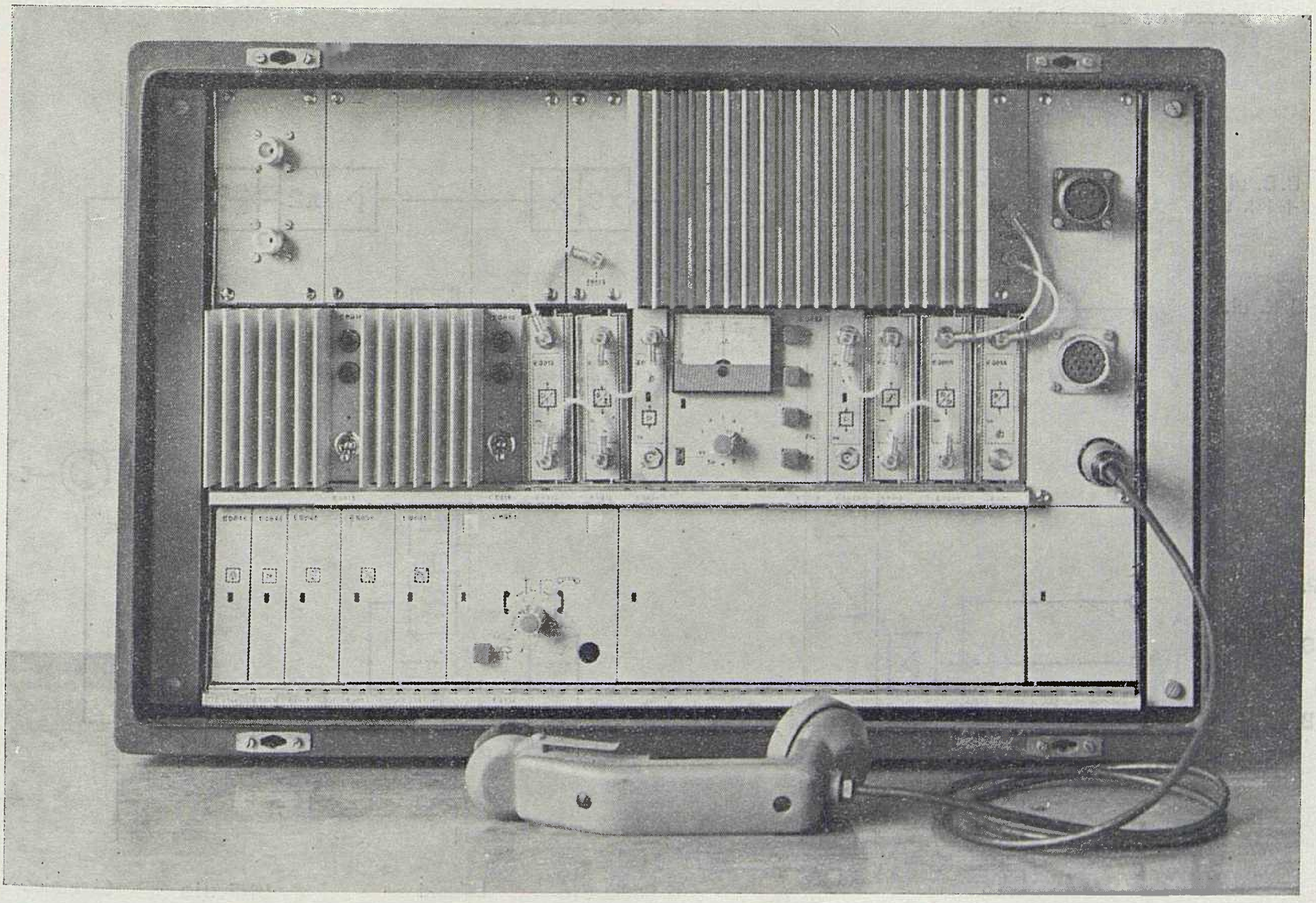
UREĐAJ ZA USMJERENE VEZE PROIZVODNJE ISKRA

Možemo reći, da se nalazimo u desetljeću za koje će biti karakteristična intenzivna razmjena i automatska obrada različitih informacija radi intenziviranja i optimiranja, odnosno ekonomiziranja privrednih djelatnosti. Optimiranje privređivanja je od velikog značaja, pogotovo u većim privrednim organizacijama. U prethodnom desetljeću stvarane su resorne telekomunikacione mreže (npr. u energetici), radi povezivanja proizvodnih, dispečerskih i upravnih centara, da bi im se — pomoću direktnih telefonskih i teleprinterskih veza, i s vezama kojima se u manjem opsegu obavlja telekontrola — omogućila neposredna razmjena informacija. Stručne službe su na osnovi prikupljenih podataka, i prema određenim pravilima organizacije, mogle obavljati odgovarajuće analize i na osnovi njih donekle odrediti najbolji način privređivanja.

U većim privrednim organizacijama, s geografski dosta udaljenim radnim jedinicama, takav način prikupljanja i obrađivanja podataka nije mogao biti tako ažuran, kako bi to možda zahtijevalo optimalno privređivanje. Tek u doba intenzivnog uvođenja elektronske obrade informacija omogućen je korak naprijed, i to relativno brzim elektronografskim prikupljanjem i sređivanjem podataka, njihovim automatskim vrednovanjem i automatskim procesiranjem određenih radnih i drugih organizacionih funkcija, sve uz pomoć manjih i većih elektroničkih računala.

Da bi se u većim privrednim organizacijama, s udaljenim pogonima, omogućio brz i efikasan tok različitih informacija, potrebna im je telekomunikaciona mreža odgovarajuće propusne moći. Zbog toga je poduzeće ISKRA izradilo grupu malokanalnih uređaja ISKRA RRS 2 koji prenose do 120 telefonskih kanala u frekventnom području 400, 2500 i 7500 MHz.

Dajemo opis prvog takvog uređaja za usmjerene veze, naime RRS 2 - FM 400.



Uređaj za usmjerene veze **RRS - FM - 400**

Uređaj za usmjerene veze RRS 2 — FM 400

Izvedba

Uređaj je konstruiran potpuno u poluvodičkoj tehnici. Radi na frekvencijama od 370 do 430 MHz i omogućuje kvalitetan prijenos 24, odnosno 60 govornih kanala, i jednog službenog kanala. Uređaj djeluje u frekventnom području, a u Jugoslaviji je predviđen za sisteme tog kapaciteta. Po svojim karakteristikama i izvedbi izrađen je tako da može udovoljiti veoma različitim zahtjevima u pogledu izlazne snage, potrošnje i fleksibilnog uključivanja u sisteme po željama korisnika.

Primjena

Uređaj ISKRA FM 400 možemo upotrijebiti za različite namjene:

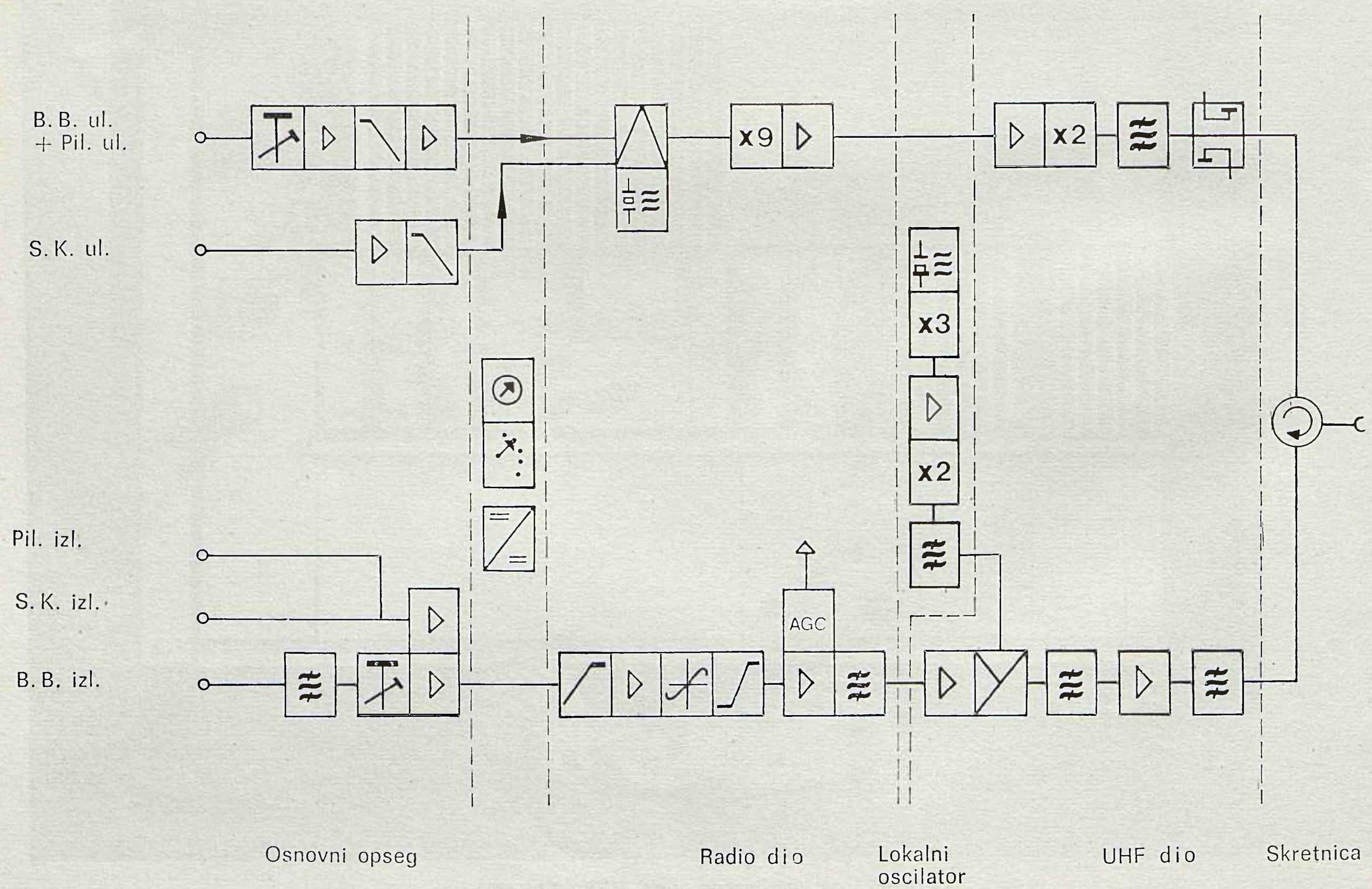
- prijenos govornih kanala na manje opterećenim poštanskim vezama,
- prijenos manjeg broja veza, koje se račvaju od glavnih pravaca,
- kao pomoćne veze kod sistema velikih kapaciteta, koji rade na 4 i 6 GHz (preporuka CCIR 389),
- za jednostavno i jeftino povezivanje otoka i kopna,
- u privredi za zaključene sisteme prijenosa govora, podataka i telemetričkih vrijednosti (željeznica, elektroprivreda, industrija nafte i veće privredne organizacije),
- kao mobilni uređaj za brzo uspostavljanje manjeg broja telefonskih veza (veće priredbe ili u slučaju prirodnih katastrofa).

Svojstva

Da bi mogao osigurati sve te mogućnosti, uređaj mora udovoljiti brojnim uvjetima. Zahtijeva se jednostavnost, velika sigurnost i, prije svega, fleksibilnost čitavog sistema. Uređaj FM 400 je:

- pouzdan.
  Sav uređaj je izrađen u poluvodičkoj tehnici s isprobanim silicijumskim tranzistorima i diodama. Kristalno kontrolirani oscilator sa termostatom omogućuje siguran rad u određenom temperaturnom području;
- jednostavan je za montažu i održavanje.
  S ugrađenim instrumentom mogu se kontrolirati sve važnije električne veličine;
- fleksibilan.
  Omogućen je rad malom snagom (2 W) i velikom snagom (10 W). Isporučuje se u raznim izvedbama koje povećavaju sigurnost veze; sa 100% rezervom na istoj (hot standby) ili na dvije frekvencije (frequency diversity); napajanje iz baterije 24, 48 ili 60 V odnosno iz mreže 110/220 V, 50 Hz.

Uređaj posjeduje široke mogućnosti za priključivanje pomoćnih uređaja: službeni kanal u raznim izvedbama, udaljeni telefon na SK, i telesignalizacioni sistem. Postoje mogućnosti priključenja na jednu ili dvije antene.



Mehanička izvedba

Sklopovi uređaja FM 400 ugrađeni su u ISEP podokvire širine 520 mm (460 mm) koji se mogu ugrađivati u standardne stalke širine 600 mm (540 mm) ili u vodonepropusno kućište (za mobilnu izvedbu). U sličnoj ISEP izvedbi izrađeni su ISKRA malokanalni telefonski multipleksni sistemi VG-Z 12/24. U stalak visine 207 ili 260 cm može se ugraditi krajna stanica sa 100% rezervom, i uz nju pripadajuće multipleksne jedinice, odnosno kompletna relejna stanica sa 100% rezervom, jedinicama za napajanje i telesignalizaciju. Manji broj podokvira može se ugraditi u stalke visine do 160 cm.

Opis rada

Rad predajnika i prijemnika ilustriran je na blok shemi uređaja. Jedinice službenog kanala i pilota nisu ucrtane. U predajniku kristalom kontrolirani oscilator daje stabilni RF nosilac koji se već na toj frekvenciji modulira, zatim 9 puta multiplicira, pojačava na frekvenciji od oko 200 MHz; ta se frekvencija na izlazu još jedamput udvostručuje u varaktorskom kolu. Na taj način je povećana sigurnost u radu i garantirana minimalna potrošnja. Signali osnovnog pojasa i službenog kanala dovode se na modulator, pri čemu je u pojačalu osnovnog pojasa uključeno i kolo za preemphasis. Na izlazu predajnika signal se filtrira uz pomoć dvokružnog filtera, pa se pomoću smjernog spojnika i cirkulatora vodi na antenu. Primljeni signal najprije se filtrira i pojačava u malošumnom RF pretpojačalu. Poslije miješanja sa signalom kristalno kontroliranog lokalnog oscilatora dobijamo međufrekvenciju 35 MHz. Međufrekventni signal se zatim dodatno pojačava, limitira i demodulira, zatim se iz njega izdvajaju osnovni pojas, službeni kanal i pilot. Pojna jedinica snabdijeva uređaj svim potrebnim naponima. U kontrolnu jedinicu ugrađen je kontrolni aparat s preklopnikom. Tom jedinicom možemo za vrijeme rada kontrolirati sve veličine, čine, važne za rad uređaja.

Tehnički podaci

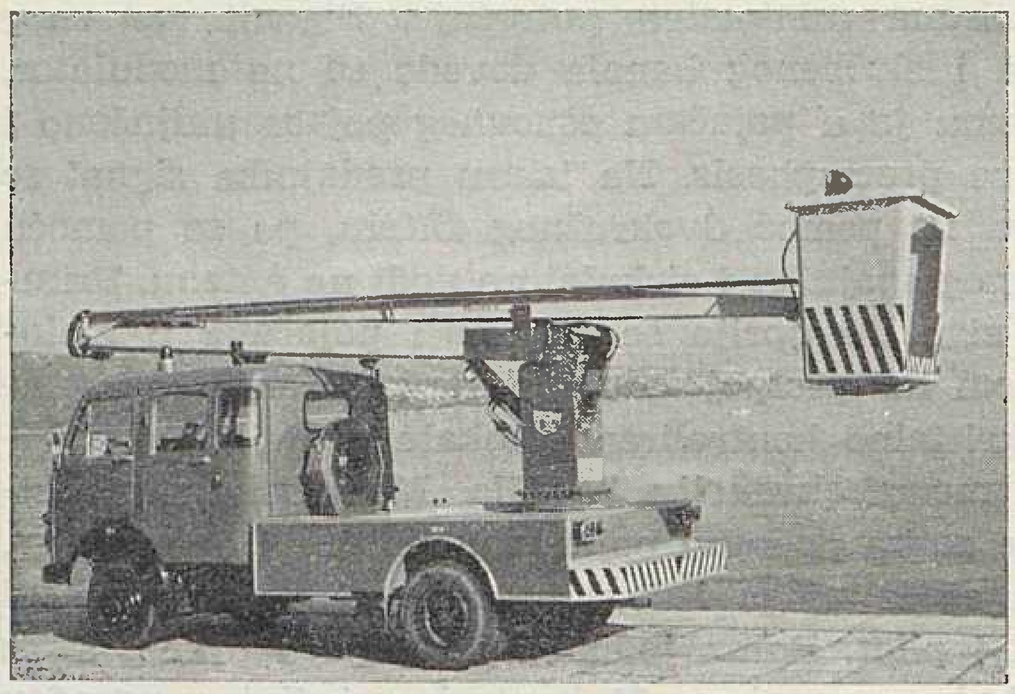
Kapacitet	24, 60 kanala
Predajnik	
Frekventno područje	370 . . . 430 MHz (na zahtjev do 470)
Izlazna snaga na antenskoj priključnici	
— mala snaga	2 (+33) W (dBm)
— velika snaga	10 (+40) W (dBm)
Stabilnost frekvencije	$\pm 1.10^{-5}$
Prijemnik	
Stabilnost frekvencije lokalnog oscilatora	$\pm 1.10^{-5}$
Šumni broj na antenskoj priključnici	≤ 7 db
Međufrekvencija	35 MHz
Područje AGC	40 db
Širina RF filtra (3 dB)	5 MHz
Širina MF filtra (1 dB)	1,5 2,5 MHz
Prag prijemnika za odnos signal/šum (41,6 dB)	−85 −80 dBm
Osnovni pojas	
Širina osnovnog pojasa	6 . . . 108 60 . . . 300 kHz
Linearnost	±0,5 dB
Ulazni nivo	−45 dBr
Izlazni nivo	−15 dBr
Karakteristična impedanca	sim. 150 nesim. 75 ohma
Vrijednosti sistema	
Vrsta modulacije	fazna
Pre- i de-akcentuacija	3 dB/okt
RF devijacija (efektivna vrijednost za srednji kanal)	35 50 kHz
Sistemska vrijednost (mala snaga)	160 156 dB
Sistemska vrijednost (velika snaga)	167 163 dB
Ukupni šum uređaja	250 400 pWOp
Frekventni razmak Tx/Rx (s jednom antenom)	10 MHz
Frekventni razmak Tx/Rx (ili Rx/Rx)	3,6 5 MHz
Službeni kanal	
Frekvencija	600 ohma
Frekventno područje	300 . . . 3400 Hz
Pilot	
Frekvencija	119 331 kHz
Stabilnost frekvencije	$\pm 5.10^{-5}$
Napajanje i potrošnja	
Pojni naponi	iz baterije 24,48 ili 60 V iz mreže 110/220 V (po posebnoj narudžbi)
Potrošnja 1 primopredajnika, službenog kanala i pilota službenog kanala i pilota	
— mala snaga	55 W
— velika snaga	75 W

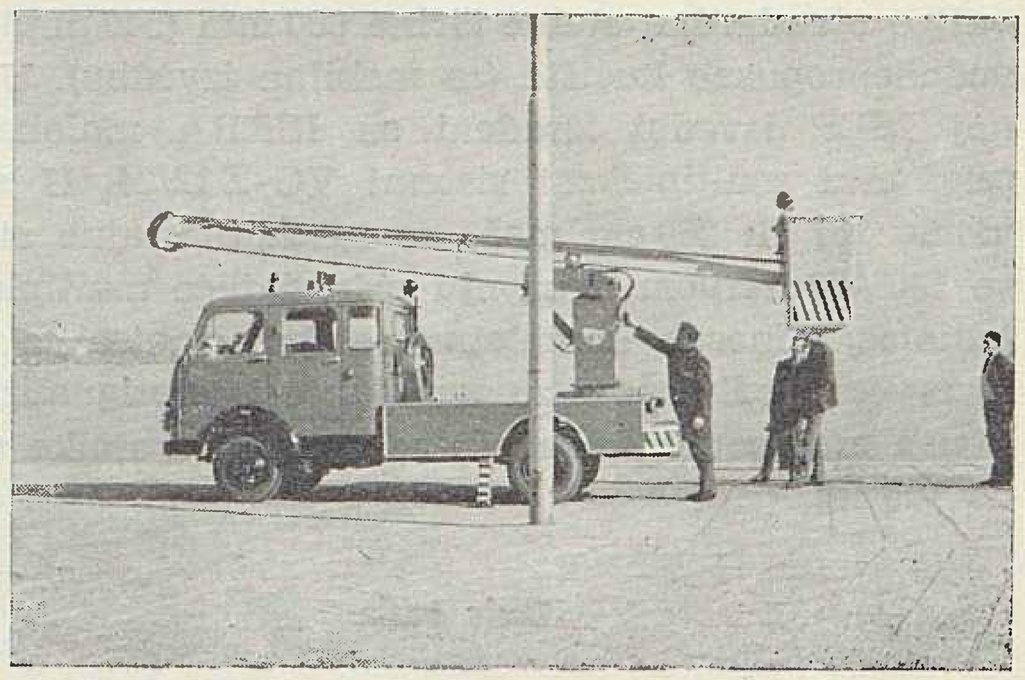
Iskra Commerce Ljubljana

Elektromehanika
Telekomunikacije
Elektronika
Automatika
Elementi

61001 Ljubljana
Kotnikova 6
P. P. 581-IV tel. 312-933
Telex 31-356 YU ISKEXP

ZHP ZGLOBNA HIDRAULIČKA PLATFORMA ZHP-10, ZHP-12, ZHP-17, i ZHP-21 m





ZGLOBNA HIDRAULIČKA PLATFORMA JE SPECIJALNO VOZILO VELIKIH MANEVARSKIH SPOSOBNOSTI. SLUŽI ZA IZVOĐENJE ELEKTROMONTERSKIH RADOVA, GRADEVINSKIH RADOVA, KOD GAŠENJA POŽARA, ZA SPASAVANJE LJUDI I IMOVINE TE ZA VRŠENJE DRUGIH RADOVA NA VEĆIM VISINAMA.

PODUZEĆE »TEHNOMEHANIKA« IZRAĐUJE ČETIRI TIPA ZGLOBNIH HIDRAULIČKIH PLATFORMI: ZPH-10, ZHP-12, ZHP-17, ZHP-21 m.

ZGLOBNE HIDRAULIČKE PLATFORME UGRADUJEMO NA VOZILA TAM-a I NA OSTALA STABILNA VOZILA POZNATIH JUGOSLAVENSKIH I SVJETSKIH PROIZVOĐAČA.

SVI POKRETI ZHP VRŠE SE POMOĆU HIDRAULIKE KOJA DOBIVA POGON OD MOTORA VOZILA. RADNA KOŠARA ZHP PODIŽE SE POMOĆU DVIJE POLUGE SA HIDRAULIČKIM CILINDRIMA NA ŽELJENU VISINU I ZAKREĆE SE OKO VERTIKALNE OSI KUPOLE ZA POTREBNI KUT, KOJI MOŽE IZNOSITI OD 0° DO 360°.

RADNA KOŠARA ZHP IZRADENA JE IZ ČVRSTIH ARMIRANIH PLASTIČNIH MASA KOJE ZAŠTIĆUJU RADNIKA OD ELEKTRIČNIH UDARA DO 1000 V.

MOTOR VOZILA POKREĆE HIDRAULIČKU PUMPU IZ KOJE PREKO RAZVODNIKA I CIJEVI DOLAZI ULJE U HIDRAULIČKE CILINDRE.

HIDRAULIČKI CILINDRI PO NAŠOJ ŽELJI IZVRŠAVAJU RADOVE UTVRDIVANJA VOZILA, DIZANJA I SPUŠTANJA KOŠARE NA ŽELJENU VISINU TE OKRETANJE KUPOLE OKO VERTIKALNE OSI ZA ŽELJENI KUT.

RUKOVANJE PLATFORMOM ZHP JE VRLO JEDNOSTAVNO. ZA RUKOVANJE POSTOJE DVA KOMANDNA MJESTA, NA RADNOJ KOŠARI I NA POSTOLJU VOZILA. OVIM SISTEMOM UPRAVLJANJA MOŽE SE KOŠARA DOVESTI U ŽELJENI POLOŽAJ RUKOVANJEM IZ SAME KOŠARE ILI SA POSTOLJA VOZILA.

PODUZEĆE METALNIH PROIZVODA

MARIJA BISTRICA — TELEFON 2

ZAGREB: KOMERCIJALNO PROJEKTNI SEKTOR, VUKOVIĆEVA 3 — tel. 574-284

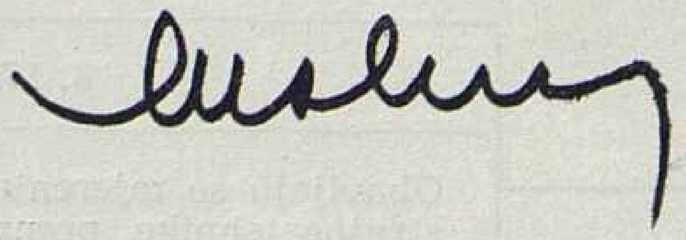
BEOGRAD: PREDSTAVNIK, FRANCUSKA 38 — tel. 25-989

Tehnomehanika

DVADESET GODINA INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU

Institut za elektroprivredu slavi ove godine dvadesetu obljetnicu osnutka.
I sada, valja nešto reći o toj dvadesetogodišnjoj prošlosti, o radovima, o uspjesima, o veličini doprinosa izgradnji elektroenergetskog sistema, izgradnji zemlje, izgradnji socijalizma. Valja reći i o teškoćama koje su kočile brži razvoj, o razdobljima životarenja, o problemima financiranja znanstvenih istraživanja, o nesigurnosti posla..., no, nećemo o tome. Jer, nije važno kako nam je bilo, nego kakvi smo bili.
A mislimo da smo bili, dozvolite malo neskromnosti u trenucima slavlja, radini, zaneseni, pošteni, stručni i korisni.
Prošećete li knjižnicom Instituta za elektroprivredu i bacite li pogled na police s radovima Instituta u proteklih dvadeset godina, ne možete a da ne osjetite poštovanje prema ovdje zabilježenom velikom trudu. Dakako, ne zbog ispisanih tona papira, nego zbog niza vodova, postrojenja, elektrana, čije izgradnje su osnivane na studijama i uputama u tim papirima, ili na ispitivanjima u našim laboratorijima.
Obiđete li elektrane, električne mreže svih napona, transformatorske stanice, teško ćete pronaći, barem u ovoj republici, ijedan element elektroenergetskog sistema u čijoj izgradnji Institut za elektroprivredu nije imao svoje »prste«. A kada je riječ o redoslijedu izgradnje elektrana, o bilanciranju energetskog sistema uspoređivanjem vrijednosti elektrana, o superponiranoj mreži najviših napona, o ispitivanju termoelektrana, ne može se u jugoslavenskim okvirima zamisliti rad bez suradnje Instituta za elektroprivredu.
I zato smo ponosni. I zahvalni. Zahvalni smo nekolicini entuzijasta koji su izborili osnivanje Instituta, zahvalni smo nizu uglednih stručnjaka koji su se u ono vrijeme primili gradnje Instituta, a od kojih većina više nije fizički prisutna u Institutu.
No, ne bi se moglo reći da nas sada prožima samozadovoljstvo. Zadovoljni smo jedino našim poletom da Institut za elektroprivredu učinimo znanstvenom organizacijom visokog nivoa. Radimo na tome, odgajamo mlade kadrove, studiramo nove metode istraživanja, osnivamo nove djelatnosti u skladu s razvojem znanosti i potrebama elektroprivrede, a najvažnije, imamo u tim nastojanjima punu podršku elektroprivrede Hrvatske. Hvala Vam na povjerenju, nastojat ćemo ga opravdati.
Molimo Vas, pročitajte stranice ove publikacije na kojima Vam se predstavljamo. Iz slijedećih stručnih članaka naziru se naša dostignuća, i naši planovi razvoja u budućnosti.

Direktor Instituta za elektroprivredu



Ivo Hrs, dipl. ing.

PODRUČJA DJELOVANJA INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU

1. STUDIJ ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA

Studira se razvoj konzuma, redoslijed izgradnje i karakteristične veličine elektrana, elektroenergetske podloge za konfiguraciju mreže, energetske bilance, moguće proizvodnje hidroelektrana, odnos hidro i termoenergije, eksploatacija elektrana u okviru kombiniranog energetskog sistema.

2. STUDIJ PRIJENOSNIH MREŽA

Studira se problematika regionalnih prijenosnih mreža 110 kV i superponirane mreže 220 i 400 kV, problemi povezivanja sistema, razrađuju se metode i ekonomika prijenosa, kompenzacija jalove snage, proučavaju se karakteristike elemenata mreže.

3. STUDIJ RAZDJELNIH MREŽA

Studiraju se metode rješavanja i razrađuju tehnički i ekonomski problemi područnih, gradskih i mjesnih razdjelnih mreža, analiziraju se konzumi široke potrošnje i specijalne potrošnje, istražuju se optimalne transformacije, kvaliteta opskrbe i sigurnost pogona.

4. STUDIJ NISKONAPONSKIH MREŽA

Studiraju se i primjenjuju metode rješavanja niskonaponskih i industrijskih mreža, instalacija specijalnih potrošača, zaštite od dodirnog napona, kompenzacija i sigurnost pogona u n. n. mreži, standardizacija elemenata, javna rasvjeta i projektiraju se specijalne električne i aerotermoinstalacije.

5. STUDIJ AUTOMATIZACIJE I REGULACIJE

Studira se nadzor i upravljanje elektroenergetskim sistemom, daljinsko upravljanje grupom postrojenja, automatizacija elektrana, prenošenje i sređivanje informacija o sistemu, primjena procesnih računala, regulacija radne i jalove snage, turbinski i generatorski regulatori.

6. STUDIJ TERMOENERGETSKIH SISTEMA

Studiraju se toplinski procesi i njihova primjena, vođenje i unapređenje pogona, tehnika i ekonomika proizvodnje i potrošnje toplinske energije, rentabilnost i sigurnost rada termoelektrana, obavljaju se primopredajna i pogonska mjerenja i ispitivanja.

7. LABORATORIJ ZA TOPLINSKA MJERENJA

Ispituju se toplinske izolacije u pogonima i prijelaz topline u postrojenjima, sva mjerila i regulatori temperature, toplinska svojstva materijala i procesa, vatrostalni materijali, udešavaju se specijalni instrumenti i uređaji za tehnološku termotehniku.

8. LABORATORIJ ZA VISOKI NAPON I JAKU STRUJU

Obavljaju se mjerenja, ispitivanja i istraživanja s područja visokonaponske i jakostrujne tehnike, preuzimanje elektrotehničke opreme i postrojenja, daju se stručne ocjene, atesti i savjetuje se pri izboru elektrotehničke opreme.

OPTIMIZACIJA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Božo Udovičić, dipl. ing.

Šef studijske jedinice za elektroenergetske sisteme

Kod izgradnje i eksploatacije nekog sistema neophodno je naći odgovarajuća optimalna rješenja. Opisane su studije i osnovne metode na temelju kojih je optimiran rad akumulatorskih hidroelektrana i termoeleketrana u sklopu elektroenergetskog sistema uzimajući u obzir rotirajuću rezervu i pouzdanost sistema.

DK 621.31

Uvod

Poznata je činjenica, da se povoljnija eksploatacija elektroenergetskog sistema postiže, ako se optimizacija provodi za sistem kao cjelinu, nego ako se provodi za manje dijelove promatranog sistema. Pod elektroenergetskim sistemom podrazumijevamo skup postrojenja za proizvodnju, prijenos, distribuciju i potrošnju električne energije, koji su međusobno električki povezani (vodovima i transformatorima).

Da bi se mogla provesti optimizacija potrebno je da se malo detaljnije obrade neki dijelovi elektroenergetskog sistema. Prije planiranja izgradnje dijelova sistema i eksploatacije sistema, potrebno je znati za koju potrošnju (konzum) će se izvori graditi, odnosno optimizirati pogon.

Predviđanja potrošnje električne energije i njezinih karakteristika

Predviđanja potrošnje za neposredno, kraće i duže razdoblje su od velike važnosti za pravilno vođenje izgradnje i eksploatacije sistema. U svijetu, a i u nas postoje različite metode za predviđanje potrošnje. Poznatija su: predviđanja logističkom krivuljom, nacionalnim dohotkom, određenim kategorijama potrošača, itd. Jedan od zapaženijih radova na području programiranja potrošnje je rad prof. dr Hrvoja Požara, dipl. ing. i Bože Udovičića, dipl. ing. »Razvoj potrošnje električne energije u Jugoslaviji i daljnjoj budućnosti«, izrađen u Institutu za elektroprivredu.

Nakon što su poznate godišnje količine potrošnje, na jedan od načina za prognoziranje, potrebno je poznavati i karakteristike te potrošnje (raspored po mjesecima, maksimalna opterećenja, udio varijabilne energije u ukupnoj potrošnji, itd.) kao i njihove tendencije za budućnost. Na temelju podataka iz prošlosti razrađene su karakteristike potrošnje za Jugoslaviju (L 1 i L 2) i za SR Hrvatsku (L 3).

Mogućnost proizvodnje elektrana

Prema knjizi prof. dr ing. Hrvoja Požara »Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima« upotrebljene su metode za određivanje moguće proizvodnje hidroelektrana koje su kasnije u radovima Instituta usavršavane (L 4), dok su prema (L 5 i L 6) razrađene metode za iskorištenje akumulacionih bazena hidroelekrana.

Raspoloživa snaga termoelektrana određuje se na temelju podataka iz prošlosti, a opisana je u studiji »Utjecaj karakteristika elektrana na rad u sistemu« izrađenoj za potrebe Zajednice jugoslavenske elektroprivrede.

Optimizacija eksploatacije elektroenergetskog sistema

Poznavajući podatke o potrebama potrošača, moguću proizvodnju hidroelektrana, te raspoložive snage termoelektrana za određeno vremensko razdoblje može se pristupiti optimizaciji sistema. Kada se govori o optimizaciji potrebno je razlikovati optimizaciju eksploatacije i optimizaciju izgradnje sistema.

U eksploataciji sve elektrane rade paralelno (ista frekvencija), a u nekim čvorištima mreže održava se takav nivo napona koji odgovara mogućnostima elektrana i potrebama potrošača. Proizvodnja električne energije u svim elektranama sistema kao cjeline treba da u svakom momentu odgovara potrošnji, da bi se frekvencija održala konstantnom što je jedan od uvjeta za kvalitetnu električnu energiju. Osim održavanja konstantne frekvencije, potrebno je u elektranama regulirati proizvodnju jalove energije, a također regulirati i prijenosne omjere regulacionih transformatora, tako da se u svim točkama sistema postigne onaj nivo napona koji će omogućiti najbolju raspodjelu proizvodnje jalove energije među elektranama uz održavanje napona u dozvoljenim granicama. Osnovni princip optimizacije je zadovoljiti potrošače uz minimum troškova, što se postiže takvom raspodjelom proizvodnje među elektranama, da se najprije iskoristi sva iskoristiva voda u hidroelektranama, a da se za preostali dio potrebne proizvodnje angažiraju termoelektrane s najnižim specifičnim troškovima za gorivo. Raspored proizvodnje na pojedine elektrane ovisi o potrošnji potrošača tokom dana, o raspoloživim količinama vode u svim hidroelektranama, o sposobnosti za pogon svih dijelova sistema (agregata, vodova i transformatorskih stanica) i o njihovim karakteristikama.

Za optimizaciju eksploatacije formiraju se dispečerske službe sistema, koje se brinu za pogon sistema u toku dana i koje vode »vozne redove« elektrana za slijedeći dan na temelju predviđanja potrošnje, raspoloživih količina vode, sposobnosti za pogon, itd.

Budući da nije moguće sasvim točno odrediti raspored potrošnje tokom slijedećeg dana, potrebno je predvidjeti elektrane koje će proizvesti energiju koja se pojavljuje kao razlika predviđanja i ostvarenja. Takve elektrane nazivamo regulacionim elektranama.

U našem Institutu izrađena je studija »Metoda za određivanje raspodjele opterećenja među elektranama u elektroenergetskom sistemu hidroelektrana i termoelektrana« (autori: prof. dr ing. Hrvoje Požar i dipl. ing. Juraj Keglević). Metoda polazi od zadanih agregata, koji će se u pojedinim dijelovima dana nalaziti u pogonu, zatim uzima u obzir njihovu sposobnost za pogon, količinu raspoložive vode, itd. U studiji je detaljno opisan postupak za određivanje i izbor svih veličina potrebnih za dispečing. Optimizacija sistema postiže se iterativnim postupkom zbog toga što se osnovne jednadžbe

$$\frac{d D_{nt}}{d S_{nt}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\partial \Delta P_t}{\Delta S_{nt}}} = \lambda_t$$

$$\mu_k = \frac{\frac{d D_{nt}}{d S_{nt}}}{\frac{d Q_{kt}}{d H_{kt}}} \cdot \frac{1 - \frac{\partial \Delta P_t}{\partial H_{kt}}}{1 - \frac{\partial \Delta P_t}{\partial S_{nt}}} = \text{konst.}$$

ne mogu napisati u eksplicitnom obliku a u svakoj se jednadžbi (zbog gubitaka u mreži) pojavljuju sve nepoznanice.

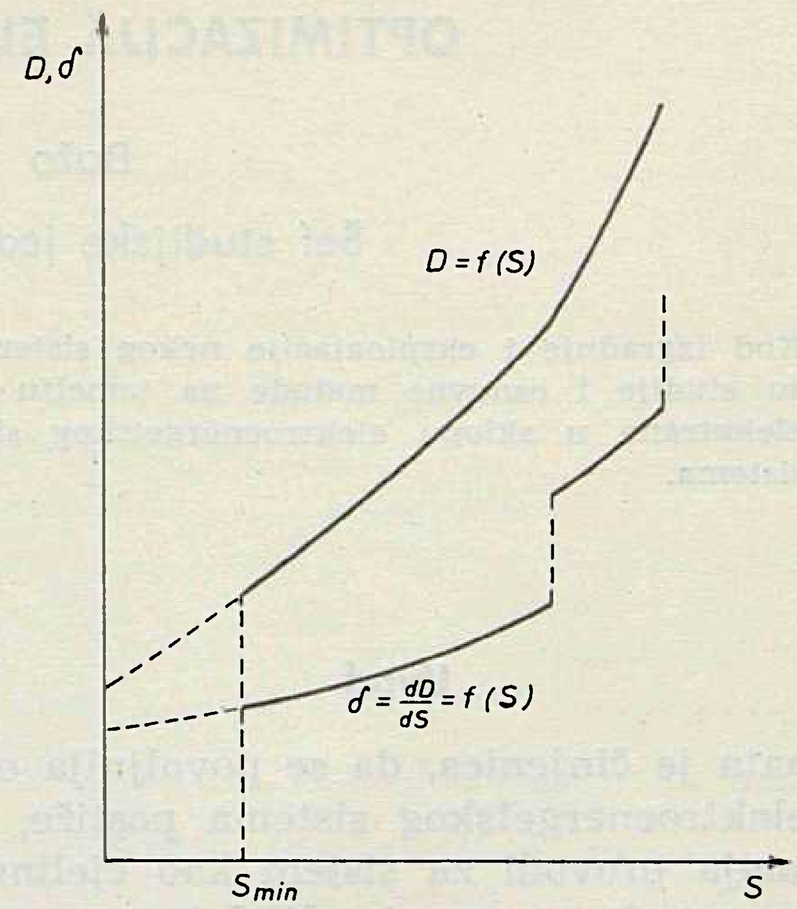
U spomenutim jednadžbama simboli imaju slijedeća značenja:

D — promjenljivi troškovi za pogon agregata termoelektrana
S — snaga na pragu termoelektrane
d — diferencijal
δ — parcijalni diferencijal
n — redni broj termoelektrane
ΔP — gubitak snage
t — vremenski intervali
H — snaga hidroelektrane
λ_t — Lagrangeov multiplikator za termoelektrane
μ_k — Lagrangeov multiplikator za hidroelektrane
k — redni broj hidroelektrane
Q — protok hidroelektrane

Na sl. 1 prikazana je razlika između osnovne i diferencijalne karakteristike agregata.

Osim toga optimizacija se provodi uz uvjet postizanja minimuma troškova uvažavajući pri tome utjecaj gubitaka na raspodjelu opterećenja.

U spomenutoj studiji su detaljno razrađene raspodjele opterećenja među hidroelektranama i



Sl. 1 Osnovna i diferencijalna karakteristika bloka kotao-turbogenerator; D Din/h, S kW, dD/dS Din/kWh

termoelektranama, te su načinjeni dijagrami tokova i program za raspodjelu opterećenja za elektroničko računalo IBM 11-30.

Opisana metoda primijenjena je na elektroenergetski sistem SR Hrvatske s četiri termoelektrane (Zagreb I i II, Sisak, Plomin i Jertovec) i sedam hidroelektrana (Gojak, Vinodol, Peruča, Manojlovac, Split, Senj i Rijeka) uz analiziranje utjecaja visokonaponske mreže 110 kV i 220 kV i uz pretpostavku da su svi potrošači u sistemu svedeni na trideset tri potrošača.

Provedena analiza bila je predmetom stručne rasprave predstavnika svih dispečerskih centara SR Hrvatske i obrađivača. Konstatirano je, da su rezultati proračuna zadovoljavajući i da se program za d i s p e č i n g ispita kroz proračune za još sedam dana, kako bi se eventualni nedostaci uočili i otklonili.

Za optimizaciju izgradnje sistema, potrebno je poznavati potrebe potrošača u razdoblju za koji se vrši optimizacija, karakteristike potrošnje, moguću proizvodnju hidroelektrana, izgrađenih i onih u izgradnji, te raspoloživu snagu termoelektrana.

Da bi se mogla izvršiti optimizacija potrebno je bilo razraditi metode za određivanje karakteristika potrošnje (L 1, L 2 i L 3), metode za određivanje moguće proizvodnje hidroelektrana (L 4), te metode za određivanje raspoložive snage termoelektrana. Kod određivanja moguće proizvodnje hidroelektrana poseban problem je kako koristiti akumulacione bazene hidroelektrana. Pod akumulacionom hidroelektranom razumijevamo hidroelektranu koja ima akumulacioni bazen najmanje za sezonsku akumulaciju.

Optimalno korištenje akumulacionih bazena hidroelektrana

Problem korištenja akumulacionih bazena hidroelektrana bio je u dobrom dijelu predmet proučavanja u našem Institutu. Počelo je kriterijem izravnavanja protoka tzv. »kriterij Jugela«, slijedili su: kriterij izravnanja proizvodnje termoelek-

trana (L5), kriterij izravnanja proizvodnje termoelektrana uz korištenje korelacionih veza, te na kraju, kriterij za korištenje akumulacija koji se osniva na optimizaciji elektroenergetskog sistema. Posljednji od navedenih kriterija obrađen je u studijama: Požar — Keglević — Bodlović »Metode za određivanja moguće proizvodnje hidroelektrana IV dio« i Keglević »Korištenje akumulacionih bazena hidroelektrana uz optimizaciju rada elektroenergetskog sistema«.

Budući da su navedene metode međusobno komparirane, a rezultati komparacije ukazuju da je korištenje akumulacija metodom optimizacije elektroenergetskog sistema najpovoljnije, potrebno je u kratkim crtama prikazati tu metodu.

U pretpostavljenom elektroenergetskom sistemu, koji se sastoji od termoelektrana i hidroelektrana, među kojima neke hidroelektrane imaju akumulacione bazene za sezonsko korištenje, treba odrediti optimalan način korištenja tih sezonskih akumulacionih bazena tako, da se postigne minimum troškova proizvodnje električne energije u sistemu. Valja, dakle, za svaki mjesec u promatranom višegodišnjem razdoblju odrediti za svaki akumulacioni bazen optimalno punjenje, odnosno pražnjenje. Analiza se provodi istovremeno za cijeli promatrani elektroenergetski sistem, ali se pri tom optimalno punjenje određuje za svaki bazen pojedinačno, znači da se uzima utjecaj karakteristika pojedinih akumulacionih hidroelektrana (stupanj djelovanja, instalirani protok, volumen bazena, promjena pada) na veličinu optimalnog punjenja bazena.

Proračun optimalnog korištenja bazena obavlja se iteracionim postupkom. Polazi se od bilo kakvog korištenja akumulacionih bazena, koje je tehnički izvedivo. Za taj polazni raspored protoka mogu se odrediti troškovi proizvodnje cijelog sistema. Zatim valja ispitati kako se mijenjaju troškovi sistema, ako se izvrši promjena protoka u nekoj akumulacionoj hidroelektrani u pojedinim mjesecima. Poznavanjem ovih promjena troškova moguće je tako promjeniti protoke u jednoj akumulacionoj hidroelektrani, da novi troškovi budu manji od prethodnih, iako je ukupno korištena ista količina vode. Takve promjene protoka obavljaju se izmjenično u pojedinim akumulacionim hidroelektranama, sve dok postignuto sniženje troškova ne postane beznačajno.

Cijeli postupak je uz pretpostavku da su svi protoci poznati unaprijed, pa dobiveni rezultati mogu poslužiti kao osnova za određivanje pojedinačnih kriterija svakog akumulacionog bazena u elektroenergetskom sistemu.

Ako se kao polazni raspored protoka u hidroelektranama odabere što bliži optimalnom rasporedu, onda će biti potrebno znatno manje iteracija, pa se tako skraćuje vrijeme računanja.

Kod određivanja minimuma troškova proizvodnje uvode se Lagrangerovi multiplikatori μ_k, kako bi se dobila funkcija ovisna o protoku:

$$\varphi = \sum_{t=1}^{n} D_t(Q_{t'k}) + \sum_{k=1}^{L} \mu_k \left(\sum_{t=1}^{n} Q_{tk} - V_k \right)$$

u kojoj pojedini simboli imaju slijedeće značenje:

D — ukupni troškovi proizvodnje
Q — protok kroz turbine
V — volumen vode u akumulacionom bazenu
t — redni broj mjeseca
t' — ostali mjeseci
k — redni broj akumulacione hidroelektrane
L — broj akumulacionih hidroelektrana
μ_k — Lagrangerov multiplikator.

Iz izvedenih simbola se vidi da t i t' mogu ići od 1 do n, a njihova povezanost je u tome, što se u promatranom mjesecu t pojavljuju kao varijable i protoci iz ostalih mjeseci t'.

Kod optimizacije valja težiti da izraz

$$\mu_k = -\frac{\partial D}{\partial Q_{tk}} = A_{tk}$$

bude jednak u svim mjesecima, pri čemu valja imati u vidu, da se vrijednosti μ_k za pojedine hidroelektrane međusobno razlikuju. Navedeni izraz dobio se deriviranjem funkcije φ po Q_{tk}. Veličina A je u stvari promjena troškova zbog jedinične promjene protoka, ali s obrnutim predznakom.

Kad se u pojedinoj iteraciji odredi vrijednost za A_{tk} za sve vremenske intervale, mogu se izvršiti korekture protoka tako, da se prevelike vrijednosti A_{tk} smanje, odnosno da se male vrijednosti A_{tk} povise.

Korekture protoka valja tako provesti da korigirani protoci daju ukupno isti volumen kao i nekorigirani. Ako se s $Q_{tk}^{(o)}$ označi protok kroz turbine za polazni raspored protoka, korigirani protok $Q_{tk}^{(1)}$ dobiva se prema relaciji

$$Q_{tk}^{(1)} = Q_{tk}^{(o)} + f_k A_{tk},$$

gdje je f_k korekcioni faktor ($f_k > 0$), koji se može po volji odabrati.

Nakon što su određeni korigirani protoci u svim vremenskim intervalima, mogu se odrediti proizvodnje u promatranoj k-toj hidroelektrani, pa i elektroenergetske bilance iz kojih se određuju angažiranja i eventualne redukcije, što omogućuje određivanje ukupnih promjenjivih troškova. Usporedbom troškova prije i poslije izvršene korekture može se vidjeti da li je korektura dobra ili nije. Ako su troškovi nakon korekture manji nego prije korekture, onda je u tom slučaju korektura dobro odabrana, a ako su troškovi nakon korekture veći nego prije korekture onda faktor (f_k) za korekturu treba smanjiti i proračun ponoviti.

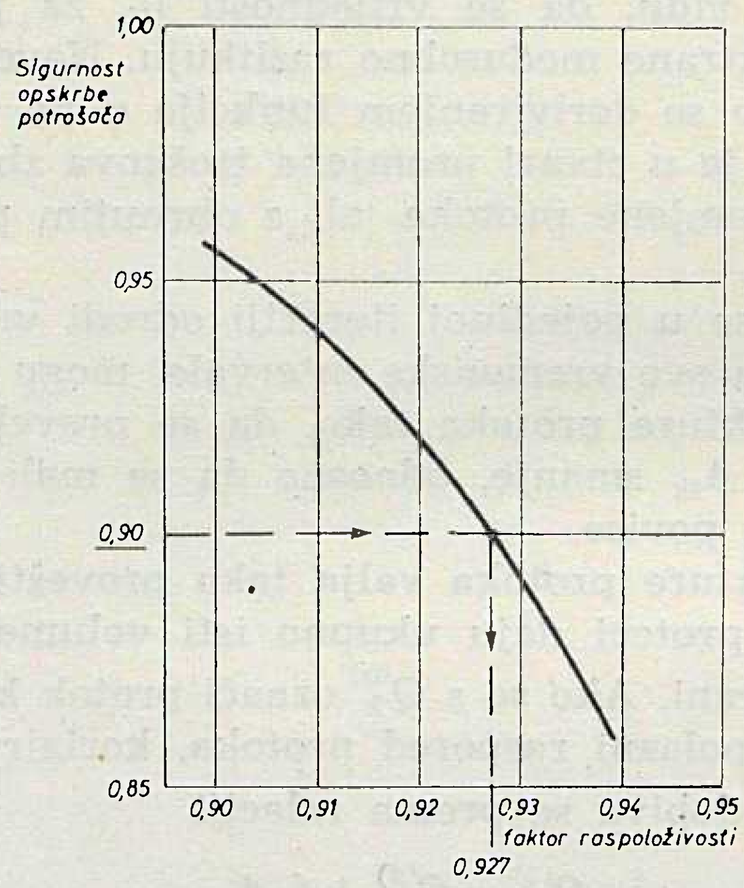
Na temelju izloženih principa načinjeni su dijagrami tokova i programi za elektronička računala IBM 1130 i ICL 4-50.

Raspoloživost termoelektrana za pogon

Nakon što su poznate sve karakteristične veličine o konzumu, optimizacija korištenja akumu-

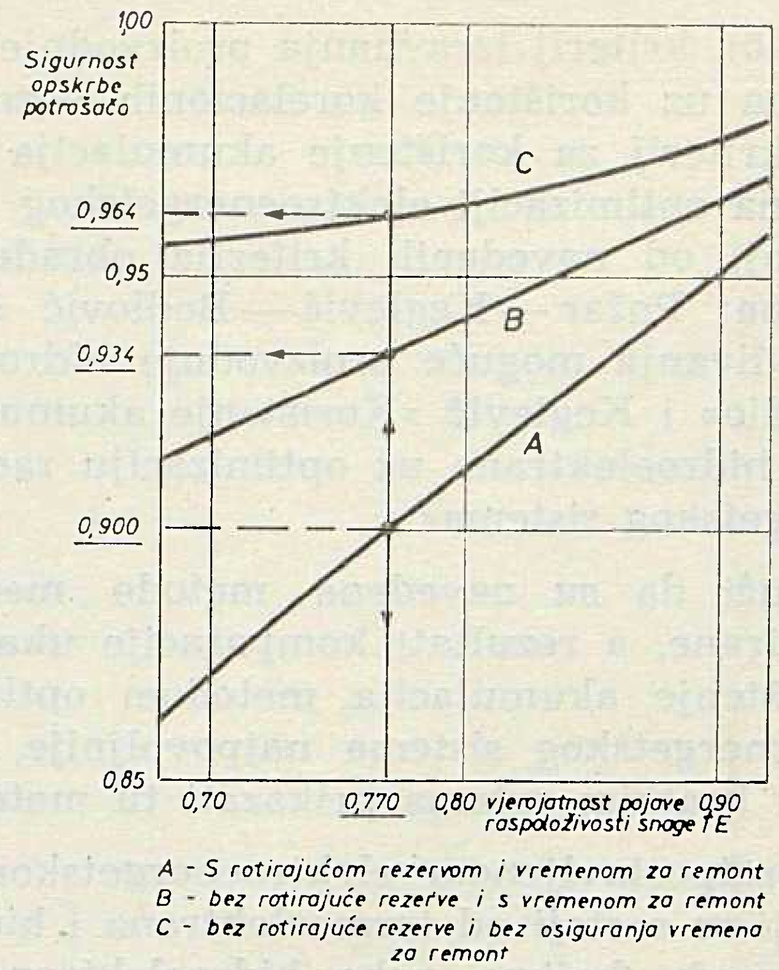
lacionih bazena, odnosno o mogućnosti proizvodnje hidroelektrana, potrebno je pobliže definirati karakteristike termoelektrana, kako bi se mogla u potpunosti izvršiti optimizacija elektroenergetskog sistema.

U nekoliko radova Instituta tretiran je problem rezerve u termoelektranama, drugim riječima raspoloživosti termoelektrana za pogon. Zapaženiji rad iz tog područja je rad prof. dr. ing. Hrvoja Požara: »Utjecaj karakteristika elektrana na rad u sistemu« u kome je razrađena metoda za određivanje faktora raspoloživosti termoelektrana u elektroenergetskom sistemu. U elektroenergetskom sistemu s određenim brojem termoelektrana mora se računati da svi agregati u termoelektranama neće biti uvijek sposobni za pogon, te da će postojati neko razdoblje tokom godine — izvan razdoblja remonta — u kojem će pojedini agregat biti nesposoban za pogon. Vjerojatnost da će agregat biti sposoban za pogon je omjer vremena kroz koje je agregat sposoban za



Sl. 2 Sigurnost opskrbe potrošača uz osiguranje rotirajuće rezerve i vremena za remont (ovisnost faktora raspoloživosti o sigurnosti opskrbe potrošača). Agregati 300 MW

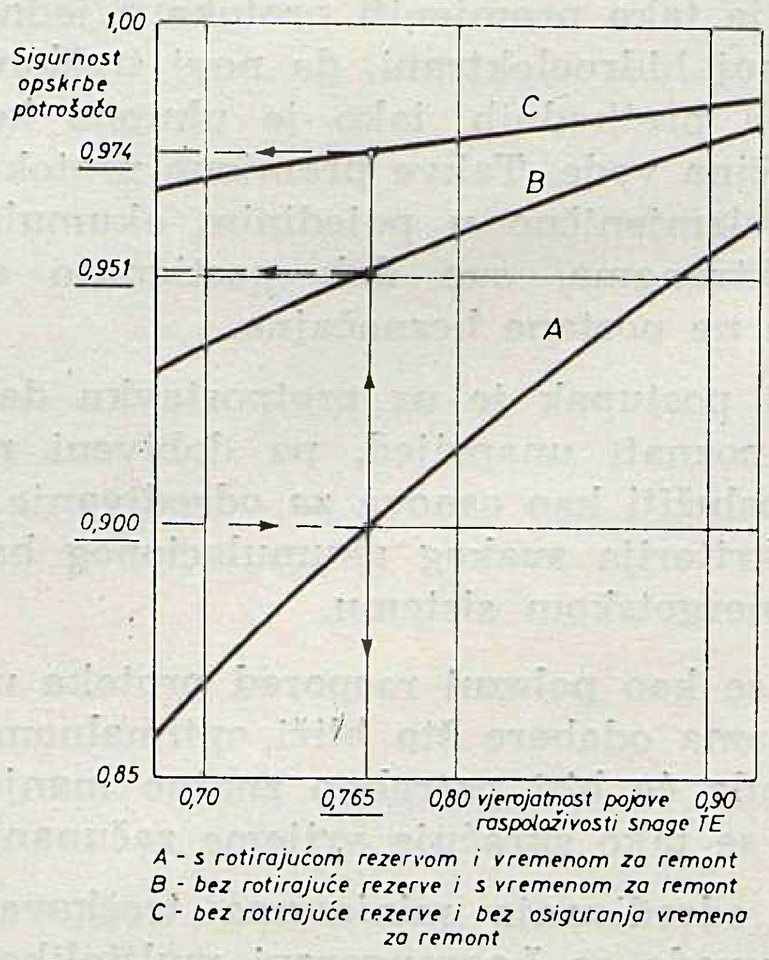
pogon i ukupnog vremena kroz koje bi agregat mogao biti u pogonu (u koje nije uključeno vrijeme za redovni godišnji remont). Uzimajući u obzir sve moguće kombinacije agregata uz poznavanje raspoloživosti za svaki agregat, moguće je odrediti krivulje vjerojatnosti ukupne snage koju mogu osigurati svi agregati zajedno. Uz odabranu vjerojatnost pojave dobiva se snaga svih agregata u termoelektranama koja je manja ili jednaka zbroju snaga svih agregata. Tu snagu nazivamo raspoloživa snaga, a omjer između raspoložive snage i zbroja snaga svih agregata nazivamo faktor raspoloživosti. Da bi uzeli u obzir faktor raspoloživosti, te da bi dobili što realnije troškove za gorivo, jer svaki od agregata (i ekonomičan i manje ekonomičan) može biti nesposoban za pogon, najpovoljnije je račun provesti smanjenim snagama agregata u termoelektranama. Ta smanjena snaga određuje se kao produkt faktora raspoloživosti i maksimalne snage na pragu termoelektrane.



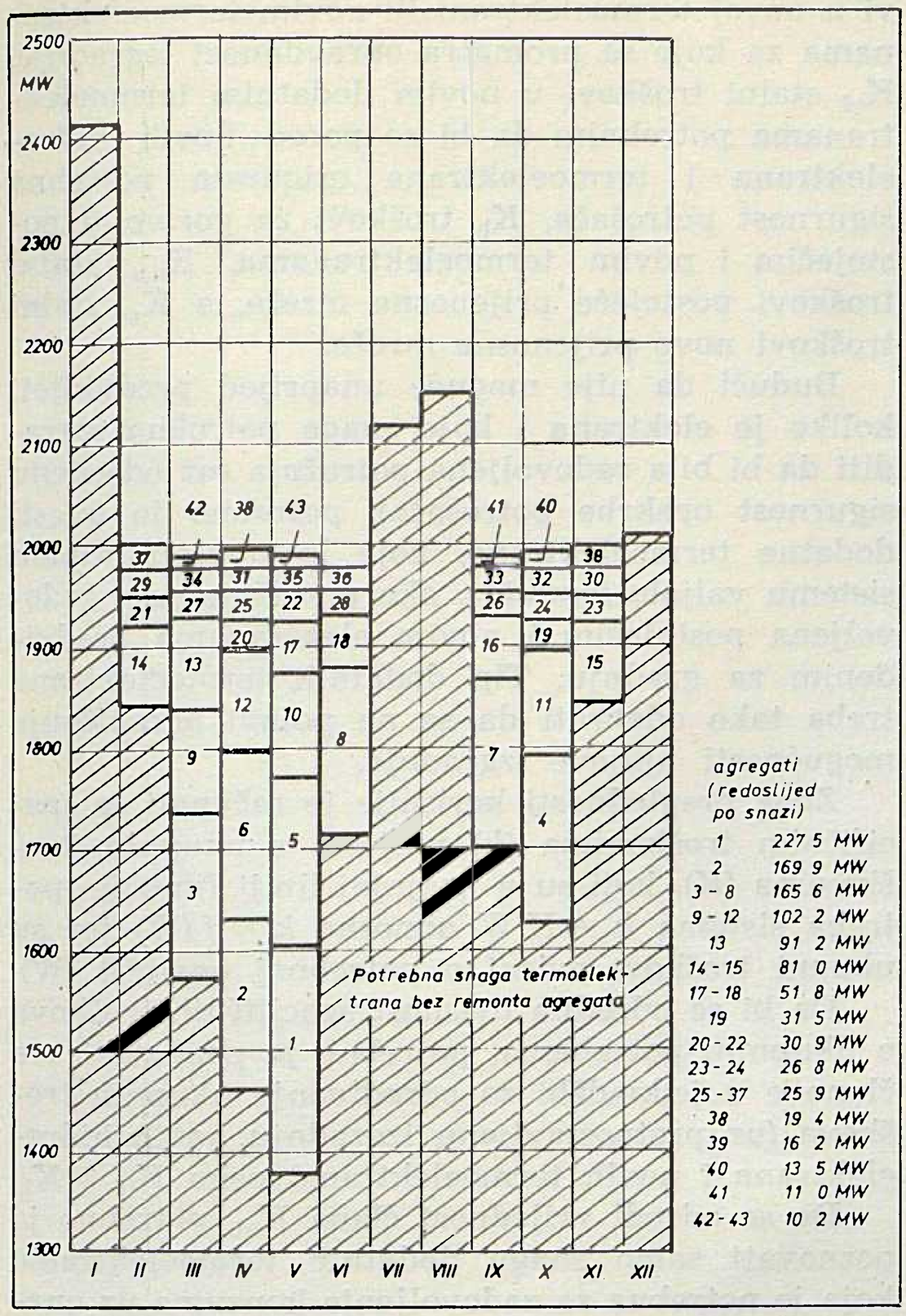
Sl. 3 Ovisnost sigurnosti opskrbe potrošača o vjerojatnosti raspoloživosti snage termoelektrana. Agregati 300 MW

U spomenutoj studiji detaljno je proveden proračun za određivanje faktora raspoloživosti za odabrani elektroenergetski sistem s različitim strukturama (različitom veličinom agregata i različitom veličinom rotirajuće rezerve u sistemu uz osiguranje remonta agregata u svakoj godini u trajanju od jednog mjeseca).

Da bi se spriječili poremećaji u sistemu, potrebno je imati u pogonu toliko agregata da oni mogu na sebe preuzeti potrebno opterećenje i u najnepovoljnijem slučaju, koji se pojavljuje, kad u trenutku maksimalnog opterećenja sistema ispadne iz pogona agregat najveće snage. Budući da se radi o momentalnom ispadu, neophodno je da ukupna snaga agregata hidroelektrana i termoelektrana u pogonu bude najmanje tolika koliko iznosi zbroj maksimalnog opterećenja i snage najvećeg agregata. Osiguranje snage najvećeg agregata u sistemu u trenutku maksimalnog opterećenja nazivamo »rotirajućom rezervom« koja se



Sl. 4 Ovisnost sigurnosti opskrbe potrošača o vjerojatnosti raspoloživosti snage termoelektrana. Agregati 500 MW



Sl. 5 Raspored remonta agregata u vrlo vlažnoj godini (1937)

mora osigurati iz hidroelektrana i termoelektrana odnosno iz agregata koji se nalaze u pogonu.

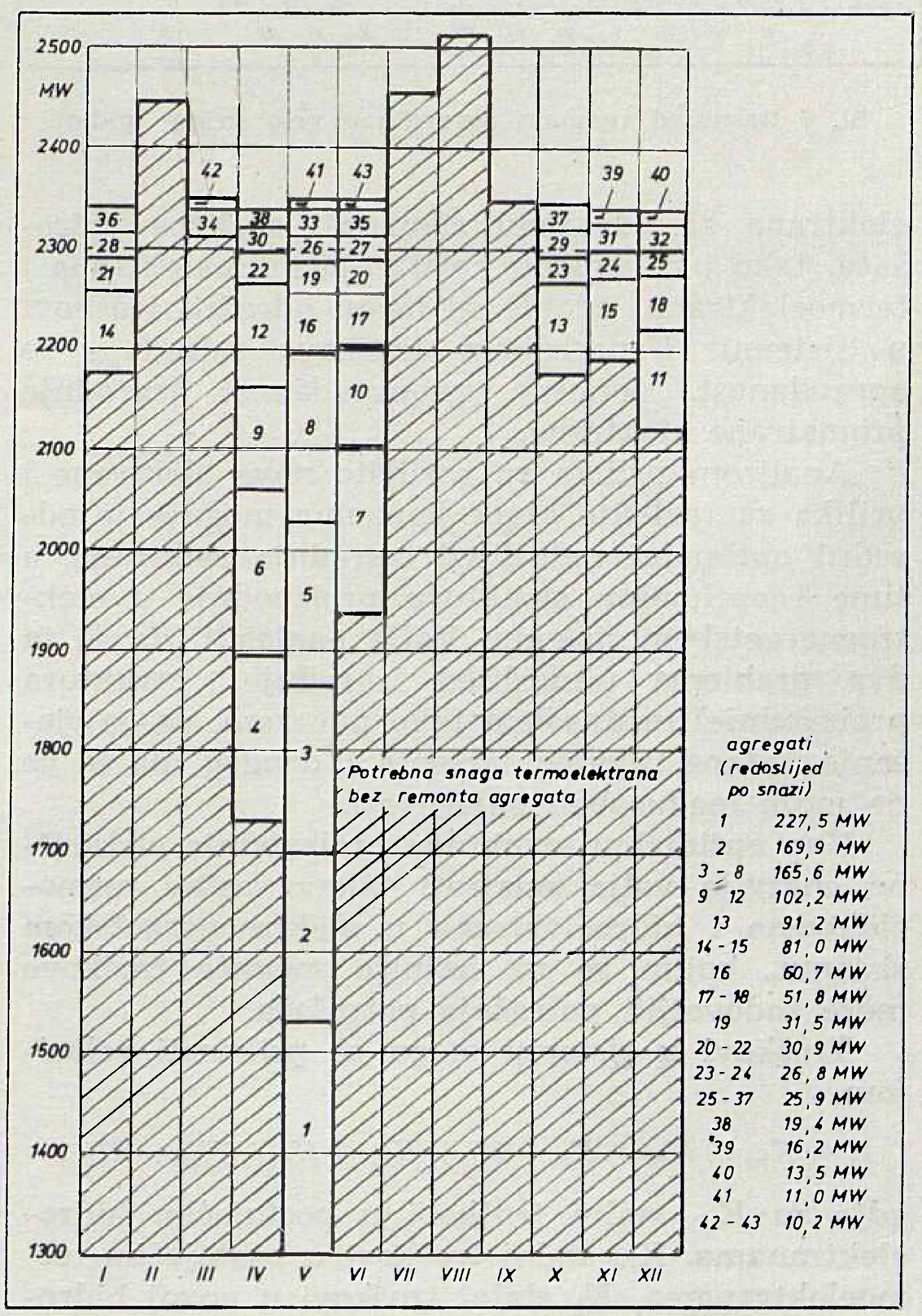
Na slici 2. prikazana je ovisnost faktora raspoloživosti o sigurnosti opskrbe potrošača, a na slikama 3 i 4 ovisnost vjerojatnosti pojave raspoloživosti snage termoelektrana o sigurnosti opskrbe potrošača pri različitim strukturama termoelektrana.

Optimizacija izgradnje elektroenergetskog sistema

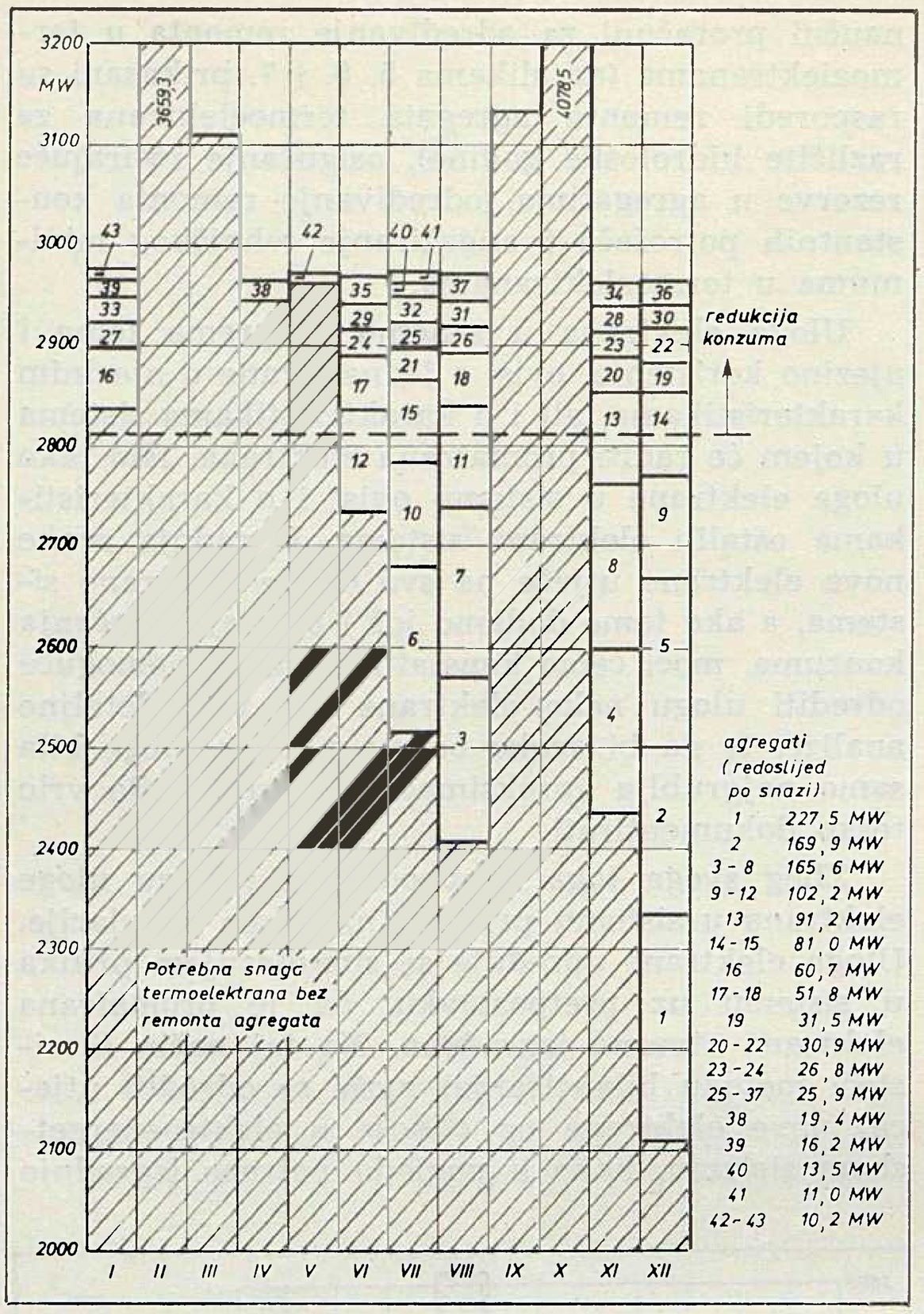
Osnova za analize elektroenergetskog sistema su elektroenergetske bilance. Načini i principi elektroenergetskog bilanciranja razrađeni su u već spomenutoj knjizi prof. Požara »Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima«. Nakon uvođenja elektroničkih računala za obradu podataka u radovima Instituta došlo je do usavršavanja elektroenergetskih bilanci. Jedan od zapaženijih radova na području bilanciranja i vrednovanja je rad prof. Požara, ing. Filipovića i ing. Bodlovića »Osnovna načela i metode za vrednovanje električne energije« izrađenog za potrebe Zajednice jugoslavenske elektroprivrede iz Beograda. U toj studiji razjašnjeni su novi pojmovi uvedeni u elektroenergetske bilance, kao što su: rotirajuća rezerva, remont termoelektrana, faktor raspoloživosti agregata, redoslijed angažiranja agregata, itd. Osim toga, detaljno su razrađeni kriteriji i naučni proračuni za određivanje remonta u termoelektranama (na slikama 5, 6. i 7. prikazani su rasporedi remonta agregata termoelektrana za različite hidrološke godine), osiguranje rotirajuće rezerve u agregatima, određivanje remonta konstantnih potrošača i angažiranje tehničkog minimuma u termoelektranama.

Uloga elektrana u sistemu, a prema tome i njezino korištenje, ovisi s jedne strane o njezinim karakteristikama, ali i o karakteristikama sistema u kojem će raditi promatrana elektrana. Isto tako uloga elektrane u sistemu ovisi i o karakteristikama ostalih elektrana sistema. Izgradnja svake nove elektrane utječe na sve ostale elektrane sistema, a ako tome dodamo još i utjecaj povećanja konzuma, moći ćemo konstatirati, da je nemoguće odrediti ulogu neke elektrane bez vrlo detaljne analize, te da bi svaka ocjena njezine uloge bila samo najgrublja aproksimacija, koju bi bilo vrlo teško dokumentirati.

Zbog svega toga neophodno je analizu uloge elektrana u sistemu provesti metodom simulacije. Uloga elektrane određuje se simuliranjem prilika u sistemu uz pretpostavku, da je promatrana elektrana stvarno izgrađena. Na taj način (koristeći metodu bilanciranja) može se odrediti utjecaj nove elektrane na odnose u elektroenergetskom sistemu, kako u pogledu potrebe izgradnje



Sl. 6 Raspored remonta agregata u srednje vlažnoj godini (1928)



Sl. 7 Raspored remonta agregata u vrlo sušnoj godini

elektrana za određenu sigurnost opskrbe potrošača, tako i u pogledu korištenja hidroelektrana i termoelektrana, odakle se mogu odrediti troškovi u sistemu. Usporedbom troškova određuje se opravdanost, odnosno neopravdanost izgradnje promatrane elektrane.

Analizom prilika za različite nove elektrane i prilika za različite nivoe konzuma moguće je odrediti optimalni redoslijed izgradnje elektrana, a time i optimalnu strukturu proizvodnje u elektroenergetskom sistemu. Valja naglasiti, da su ta dva problema (redoslijed izgradnje i struktura proizvodnje) međusobno tako povezani, da je rješenje jednog, ujedno rješenje i drugog, pa ih se ne može međusobno odjeljivati.

Kao optimalnu strukturu proizvodnje električne energije valja smatrati takav sastav termoelektrana i hidroelektrana u elektroenergetskom sistemu, kojim se uz najniže moguće troškove može zadovoljiti potražnja potrošača.

Troškovi u sistemu mogu se prikazati relacijom

$$K = K_{ho} + K_{to} + K_h + K_t + K_{td} + K_b + K_{mo} + K_m ,$$

gdje su K_{ho} stalni troškovi u postojećim hidroelektranama, K_{to} stalni troškovi u postojećim termoelektranama, K_h stalni troškovi u novoj hidroelektrani ili u novim hidroelektranama za koje se promatra opravdanost izgradnje, K_t stalni troškovi u novoj termoelektrani ili novim termoelektranama za koje se promatra opravdanost izgradnje, K_{td} stalni troškovi u novim dodatnim termoelektranama potrebnim da bi se pored novih hidroelektrana i termoelektrana osigurala potrebna sigurnost potrošača, K_b troškovi za gorivo u postojećim i novim termoelektranama, K_{mo} stalni troškovi postojeće prijenosne mreže, a K_m stalni troškovi nove prijenosne mreže.

Budući da nije moguće unaprijed predvidjeti koliko je elektrana i koje snage potrebno izgraditi da bi bila zadovoljena potražnja (uz određenu sigurnost opskrbe potrošača), potrebno je uvesti dodatne termoelektrane, koje bi u simuliranom sistemu valjalo izgraditi, ako potrošnja nije zadovoljena postojećim i novim elektranama predviđenim za gradnju. Tip dodatnih termoelektrana treba tako odabrati da se ne pojavi ograničenje mogućnosti njihove izgradnje.

Zbog preglednosti korisnije je računati sa specifičnim troškovima (k) umjesto s ukupnim troškovima (K), koji su u krajnjoj liniji funkcija potreba sistema $k = K/W$ odnosno $k = f(W)$ jer su ukupni troškovi ovisni o potrebnoj energiji (W).

Da bi se odredila ovisnost specifičnih troškova o ukupnim potrebama, potrebno je poznavati sve članove u jednadžbi za određivanje ukupnih troškova (uz pretpostavljenu izgradnju novih hidroelektrana i novih termoelektrana) osim K_{td} i K_b.

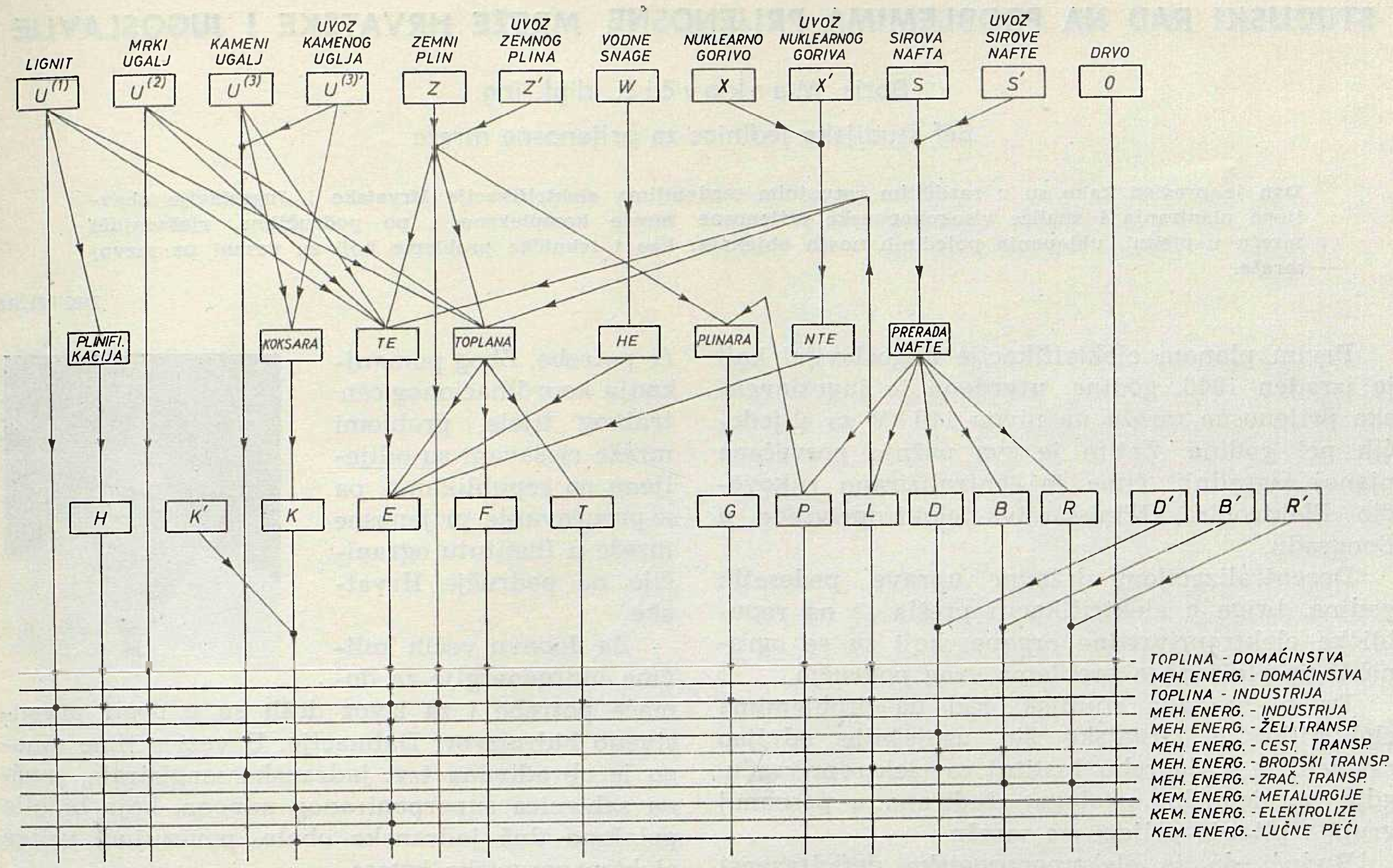
Da se odredi vrijednost člana K_{td}, potrebno je poznavati samo snagu dodatnih termoelektrana, koja je potrebna za zadovoljenje konzuma uz unaprijed definiranu sigurnost opskrbe potrošača, jer su specifični troškovi po jedinici snage poznati, budući da su unaprijed definirane karakteristike dodatnih termoelektrana. Valja napomenuti da izbor karakteristika dodatnih termoelektrana utječe na konačni rezultat, jer će one biti eliminirane, ako su ostali tipovi termoelektrana, odnosno promatrane hidroelektrane povoljnije od dodatnih termoelektrana.

Za određivanje člana K_b potrebno je poznavati potrebnu proizvodnju svake od termoelektrana (točnije svakog agregata u termoelektranama) bilo da se radi o postojećim, novim ili dodatnim termoelektranama. Suma produkta potrebnih proizvodnja i specifičnih troškova za gorivo daje vrijednost člana K_b.

I potrebna dodatna snaga i potrebni troškovi za gorivo u termoelektranama određuju se prethodno opisanom metodom bilanciranja.

Optimizacija strukture proizvodnje i potrošnje energije

Elektroenergetski sistem je dio energetskog sistema zemlje ili područja, te je zbog toga neophodno proučavati energetski sistem kao cjelinu, a u njegovom sklopu elektroenergetski sistem. U posljednje vrijeme naš se Institut počeo intenzivno baviti problemom kompleksne energetike pod stručnim vodstvom prof. dr ing. Hrvoja Požara. Prvi kompleksniji rad iz područja kompleksne energetike je referat prof. Požara pod



Sl. 8 Shema mogućih tokova oblika energije

naslovom: »Prilog metodi za određivanje optimalne energetske strukture« na I. Simpoziju o energetici Jugoslavije u organizaciji Srpske akademije nauka 1968. g.

Kod optimiranja energetske strukture zemlje ili područja neophodno je pored primarnih oblika energije uzeti u obzir transformacije i produkte tih transformacija, da bi se došlo do onih oblika energije kojima se potrošači mogu neposredno koristiti.

Prilikom analiziranja energetske strukture potrebno je poći od potreba potrošača, jer je osnovni zadatak energetske privrede zadovoljenje potražnje za energijom pri čemu treba uzeti u obzir potražnju po oblicima korisne energije, gransku potrošnju, lokaciju potrošnje, itd. Raspoloživi oblici primarne energije (ugljen, nafta, vodne snage, itd.) i mogućnosti korištenja sekundarnih oblika (vrela voda, benzin itd.) dovode do razmatranja mogućih transformacija energije kako je prikazano na sl. 8.

Optimalna energetska struktura bit će postignuta kad potražnja bude zadovoljena takvim sekundarnim oblicima energije, takvim transformacijama i takvom strukturom primarnih oblika energije da se postignu minimalni troškovi. Pri tome treba uzeti u obzir ne samo troškove proizvodnje primarnih i sekundarnih oblika energije već i troškove transporta i distribucije svih onih oblika koji se transportiraju, razlikujući troškove transporta među područjima i troškove distribucije unutar područja.

Optimalna energetska struktura tražila bi se prema predloženom modelu pomoću linearnog programiranja, jer se spomenuti međusobni odnosi mogu prikazati linearnim jednadžbama, odnosno nejednadžbama. Za takvo rješavanje pogodna je simpleks-metoda opisana u (L 8 i L 9).

Kod traženja optimalne energetske strukture mogu se uvesti različita ograničenja i mogu se veoma brzo dobiti rezultati uvjetovani promjenom jednog ili više ulaznih podataka.

Dotjerivanje i usavršavanje referatom predloženog modela učinjeno je u našem Institutu i prikazano u (L 10), a njegova primjena na SR Hrvatsku u (L 11).

Literatura:

1. Požar: *Karakteristike potrošnje električne energije u Jugoslaviji*, Institut za elektroprivredu, Zagreb 1960.
2. Požar — Keglević: *Karakteristike potrošnje električne energije*. Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1964.
3. Požar — Maoduš: *Karakteristike potrošnje električne energije u SR Hrvatskoj*. Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1964.
4. Požar — Alerić — Udovičić: *Osnovne karakteristike hidroelektrana Jugoslavije*. Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1972.
5. Požar — Keglević: *Punjenje i pražnjenje akumulacionih bazena hidroelektrana*. Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1968.
6. Požar — Keglević: *Metode za određivanje moguće proizvodnje hidroelektrana III dio*. Institut za elektroprivredu. Zagreb, 1968.
7. Požar — Kalan: *Primjena metode za optimizaciju pogona*. Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1973.
8. Koopman, T. C. ed: *Activity Analysis of Production Allocation*, New York, Wiley, 1951.
9. Charnes A., W. W. Cooper, A. Henderson: *An Introduction to Linear Programming*. New York, Wiley, 1953.
10. Požar: *Metoda za određivanje optimalne energetske strukture*. Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1972.
11. Požar — Udovičić — Čulo — Kalan: *Pokusna primjena metode za određivanje optimalne energetske strukture na području SR Hrvatske*, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1972.

Naslov pisca: Božo Udovičić, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

STUDIJSKI RAD NA PROBLEMIMA PRIJENOSNE MREŽE HRVATSKE I JUGOSLAVIJE

Boris Markovčić, dipl. ing.
Šef studijske jedinice za prijenosne mreže

Dan je pregled kako su u različitim razvojnim razdobljima elektrifikacije Hrvatske i Jugoslavije obavljena planiranja i analize visokonaponske prijenosne mreže kompleksno i po područjima, rješavajući mrežu u cjelini, uklapanja pojedinih novih objekata, kao i tehničke probleme koji su vezani uz razvoj mreže.

DK 621.315

Prvim planom elektrifikacije Jugoslavije, koji je izrađen 1946. godine, utvrđena je jugoslavenska prijenosna mreža na nivou 110 kV za slijedećih pet godina. Zatim je sva pažnja posvećena njenoj izgradnji, čime je centralizirano rukovodio Elektrobiro, Ministarstva elektroprivrede u Beogradu.

Decentralizacijom državne uprave, pedesetih godina, briga o elektrifikaciji prešla je na republičke elektroprivredne organe, koji su se ograničili na rješavanje problema svog područja.

Da bi se tada studijski rad na problemima elektrifikacije Hrvatske što uspješnije odvijao osnovan je u Zagrebu Institut za elektroprivredu, gdje su između ostaloga studirana u posebnoj grupi i pitanja prijenosne mreže.

Budući da je elektroenergetska deficitarnost sjevernog industrijaliziranog dijela Hrvatske bila očigledna, počele su se intenzivno proučavati mogućnosti dobave potrebne električne energije. Prvo je poboljšanje uslijedilo spajanjem Zagreba vodom 110 kV sa Slovenijom, no osnovna su se rješenja vidjela tek u izgradnji hidroelektrana duž jadranske obale i odgovarajućoj prijenosnoj mreži.

Kako je izgradnja HE Vinodol nastavljena odmah nakon završetka rata, postojala je realna mogućnost skorog ulaska u pogon. Stoga su se upravo prve studije u Institutu, u vezi s prijenosnom mrežom, usmjerile na proučavanje mogućnosti prijenosa vodovima 110 kV do Zagreba.

Analizirajući tih poratnih godina neiskorišteni potencijal naših vodnih snaga došlo se tada do zaključka da su one prema našim potrebama toliko velike, da postoje znatne mogućnosti izvoza električne energije u Zapadne zemlje, Italiju i Njemačku preko Austrije. Predviđalo se prvenstveno iskorištenje voda u jadranskom priobalnom pojasu.

Studije o izvozu rađene su u organizaciji nazvanoj Yougelexport pod okriljem Evropske ekonomske komisije U.N. koja je na temelju provedenih studija Instituta izdala 1954. svoj zaključni elaborat. Koncepcija prijenosne mreže 380 kV i 220 kV za prijenos prema zapadu prikazana je na sl. 1.

Do realizacije izvoznih planova, kako je poznato, nije došlo, no nagli razvoj naše elektroprivrede uskoro je pokazao da će porast konzuma već u skoroj budućnosti tražiti znatne količine električne energije, a time i primjenu napona iznad 110 kV.

Došlo je dakle vrijeme da se započne sa studijama superponirane mreže prvenstveno za domaće potrebe. Zbog pomanjkanja koordinacionog centralnog tijela, problemi mreže rješavani su odijeljeno po republikama, pa se proučavanje prijenosne mreže u Institutu ograničilo na područje Hrvatske.

Za dobavu većih količina hidroenergije za domaće potrebe i za izvoz došli su u obzir prvenstveno hidroizvori Dalmacije. U vezi s time mnogo je obrađivana tzv. jadranska magistrala, snažna sabirnica superponiranog napona, koja bi bila položena duž jadranske obale, povezujući velike elektroenergetske izvore.

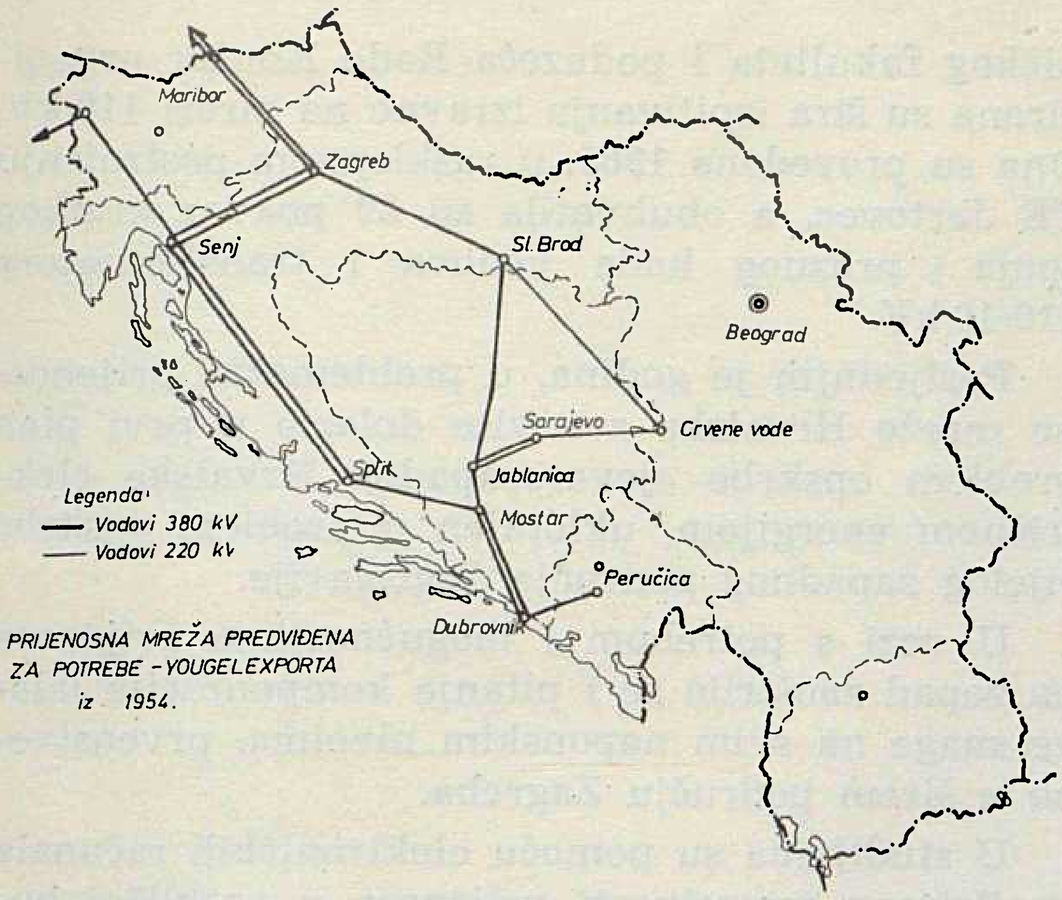
Budući da su u pitanju bile snage reda veličine 500 MW i duljine od oko 400 km, valjalo je proučiti eventualni prijenos sa 380 kV time, da bi se vodovi u prvo vrijeme stavili pod napon 220 kV. Međutim, zbog prevelikih investicija u prvim etapama izgradnje i male vjerojatnosti znatnijeg izvoza električne energije, ova je ideja napuštena. Studije su se u daljnjem radu ograničile na naponski nivo 220 kV.

Pripremne studije za uvođenje tog napona u Hrvatskoj bile su vrlo opsežne i prvenstveno vezane na problem izgradnje voda Split — Zagreb. Trebalo je riješiti niz metodoloških i praktičkih pitanja.

Razvijane su metode proračuna mreža, električkih prilika na prijenosnim vodovima i proučavanje mogućnosti prijenosa pod naponima 110 i 220 kV. Pravljeni su nadalje tehničko-ekonomski proračuni za izbor najpovoljnijeg presjeka vodiča, njihovog razmještaja na stupu kao i najpovoljnijeg tipa stupa.

Za predviđene prijenose Dalmacija — zap. Hrvatska i Bosna — Hrvatska birane su najpovoljnije trase i lokacije krajnjih stanica. Naročito su bile velike dileme da li će veza Split — Zagreb biti izvedena preko Bosne ili preko Like. Nakon oštre borbe mišljenja stručnjaka izabrana je konačno trasa preko Like s mogućnošću priključka HE Senj u Brinju.

Proučavajući prijenosne mogućnosti vodova 110 kV i 220 kV pokazala se potreba kompenzacije jalovih snaga u pojedinim područjima, a naročito u budućem čvorištu vodova 220 kV kod Zagreba. Zbog toga su posebne studije posvećene problemu elastične kompenzacije u TS Mraclin i izboru odgovarajućeg sinhronog kompenzatora.



Slika 1

Kako su tadašnji propisi za gradnju nadzemnih visokonaponskih vodova (iz 1949) već bili zastarjeli i nisu obuhvaćali napone iznad 110 kV, posebna je radna grupa provela reviziju i nadopunu propisa, te dala osnovne podloge za projektiranje.

Radi izgradnje racionalnih i tehnički sigurnih prijenosnih linija u to je vrijeme posebna pažnja posvećena proučavanju meteoroloških utjecaja na nadzemne vodove, tj. utjecaja vjetra, dodatnih opterećenja i atmosferskih pražnjenja. Uz suradnju meteorologa, a na temelju probabilističkih matematskih metoda utvrđivane su sile od udara vjetra na vod, mogućnosti pojave opasnih dodatnih opterećenja kao i kombiniranog opterećenja vjetra i leda.

Budući da je trasa prvog voda 220 kV u Hrvatskoj, Dalmacija — zap. Hrvatska, prolazila na nekim svojim dijelovima kroz meteorološki nepovoljna područja, posebno su istraživane prilike na toj trasi. Na poticaj Instituta izgrađen je 1958. pokusni raspon od 1200 m na prijevoju Zrmanje na kojem su kroz dvije zime obavljena motrenja meteoroloških utjecaja.

Besprijekoran pogon tog voda više od jednog desetljeća pokazao je da su se solidne pretprojektne studije mnogostruko isplatile.

Da bi se mogle poduzeti efikasne zaštitne mjere protiv atmosferskih prenapona istraživao se intenzitet grmljavina i izrađena je prva izokeraunička karta Hrvatske.

Radi sigurnosti ljudi i postrojenja proučavali su se problemi uzemljenja, kao i uloga zaštitnog užeta kod prijenosnih nadzemnih vodova.

Nakon završene izgradnje voda 220 kV Split — Zagreb 1961. provedena su mjerenja njegovih konstanti, metodama koje su razvijene u Institutu i primjenjivane kod mjerenja vodova 110 kV. Na žalost kod daljnje izgradnje mreže napuštena je takva korisna praksa.

Može se reći, da je stavljanjem u pogon voda 220 kV Split — Zagreb završeno razdoblje osnovnih istraživanja za uvođenje superponiranog napona 220 kV u Hrvatskoj.

Vrlo važna djelatnost iz područja prijenosnih mreža bio je studij oblikovanja perspektivne mreže Hrvatske.

U godinama poslije rata izrađeno je nekoliko varijanti plana elektrifikacije Hrvatske. Dane su konfiguracije mreže temeljene na manjoj ili većoj dokumentaciji, ali bez jače energetske podloge i odgovarajućih proračuna. U daljnjim su godinama rješavani problemi elektrifikacije užih područja. Mreža se širila izgradnjom pojedinih dionica vodova, diktirana uglavnom lokalnim potrebama prijenosa. Rješenja su bila većinom bez šireg gledanja na mrežu kao cjelinu, pa je bilo neophodno razraditi jedinstveno rješenje za cijelu Hrvatsku.

Prvo rješenje mreže Hrvatske u cjelini razrađeno je u Institutu 1956. godine kao tzv. »Grubi plan«. Njime je obuhvaćena mreža 30 kV i 110 kV. Taj je rad predstavljao sintezu do tada rađenih parcijalnih rješenja i predviđanja, ali još uvijek bez dubljih proračuna i elektroenergetskih podloga.

Studija mreže iz 1958. već se temeljila na solidnijim podlogama i izvjesnim proračunima, a obuhvatila je mrežu 110 kV i 220 kV. Kako je, npr., tada zamišljena mreža Hrvatske u 1970. prikazuje sl. 2.

Daljnji korak u metodologiji planiranja mreže učinjen je u razradi iz 1961., kad je uz detaljnu obradu konzuma, mreža provjerena na mrežnom analizatoru Elektroinstituta u Ljubljani, a stabilnost veze Dalmacija—Hrvatska na Mrežnom analizatoru u Institutu »N. Tesla« u Beogradu.

Interesantno je usporediti tada planirani konzum u Hrvatskoj za 1970. godinu i njegovo ostvarenje (potrošnja bez gubitaka prijenosa):

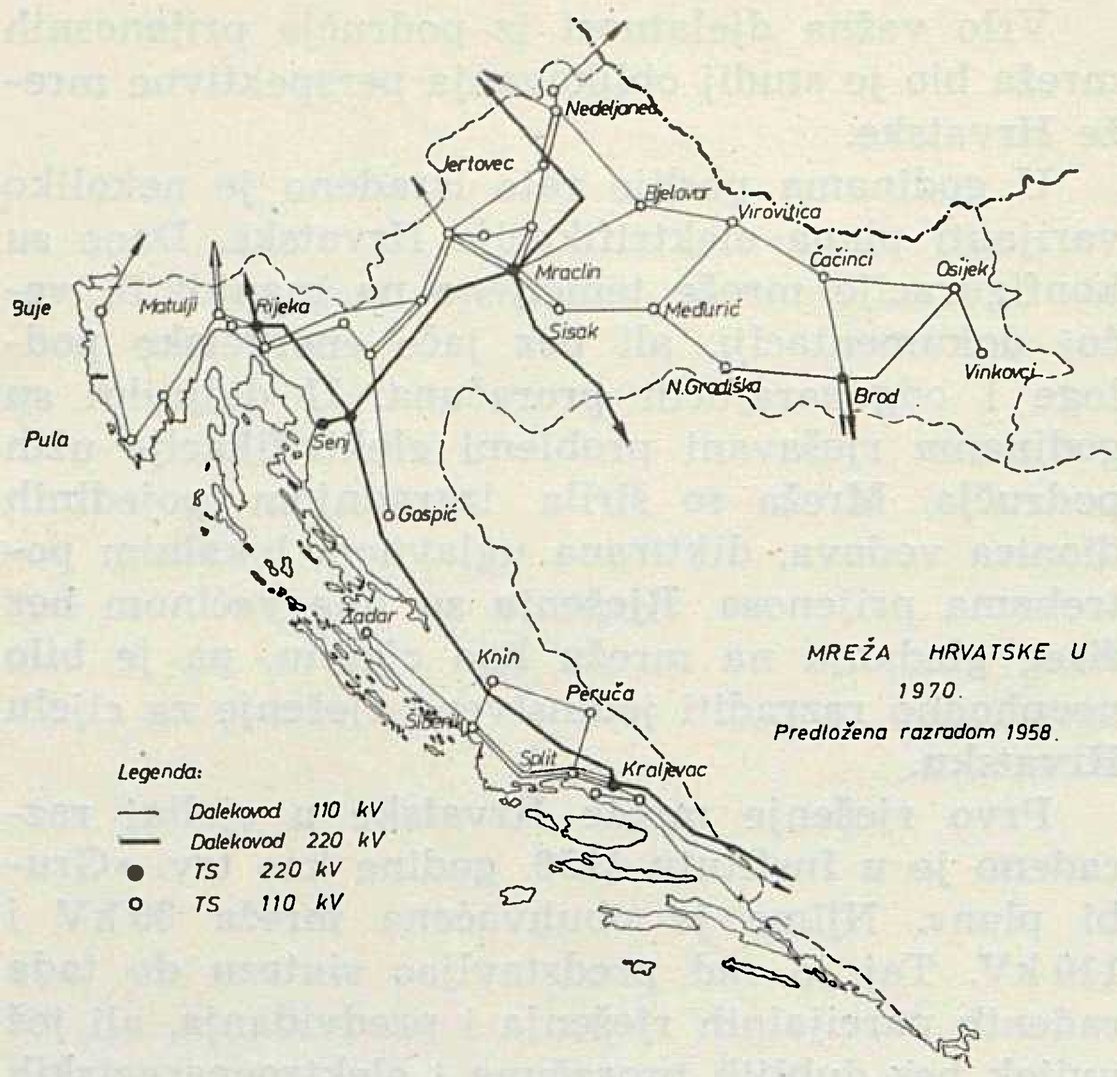
Područje	Konzum 1970. GWh	
	Plan iz 1961.	Ostvarenje
Zagreb	2.280	2.486
Slavonija	568	592
Rijeka	1.016	797
Dalmacija	1.520	1.514
Ukupno	5.384	5.389

Za ovu razradu podijeljeno je područje Hrvatske na 19 potpodručja, koja su se uglavnom poklapala s područjima distributivnih poduzeća, jer je na taj način bilo najlakše sakupiti potrebne podatke.

Ostvarena krivulja porasta konzuma područja ekstrapolirana je do 1970. i na temelju te potrošnje utvrđena pojna područja i stanice 110/35 kV. Elektrane s kojima se računalo dale su elektroprivredne organizacije.

U godinama koje su slijedile još je u nekoliko navrata razrađivana mreža na temelju sličnih metoda i noveliranih podataka. Posljednja je razrada mreže 110 kV i 220 kV Hrvatske u cjelini rađena 1967. godine.

Oblikovanje mreže 110 kV razrađivalo se samo za manja zaokružena područja.



Slika 2

Paralelno sa studijem konfiguracije mreže razvijao se i studij problema kratkog spoja i smetnji elektroenergetskih vodova na telekomunikacione veze. U prvom razvoju prijenosne mreže takvi računi nisu predstavljali poteškoću, no kad se mreža više razvila i formirale zamke, trebalo je pribjeći pomoćnim računskim sredstvima. Stručnjacima Instituta stavilo je na raspolaganje poduzeće Elektra — Zagreb istosmjerni analizator na kojem su od 1958. počela mjerenja različitih vrsta kratkih spojeva, koeficijenata uzemljenja mreža i struja utjecaja.

Snage, odnosno struje kratkog spoja, računate su prvenstveno za perspektivnu visokonaponsku mrežu Hrvatske u sklopu mreže Jugoslavije. Za nove vodove proračunavana je raspodjela struja kvara duž njihovih trasa, kako bi se utvrdio utjecaj na telekomunikacione veze. Prilikom projektiranja novih elektrana i postrojenja visokog napona izrađivani su proračuni kratkog spoja kao podloga za projektiranje.

Kad je donesena odluka da se željeznička magistrala Jesenice — Zagreb — Beograd elektrificira monofaznim sistemom, izvršen je proračun struja minimalnog kratkog spoja za različita pogonska stanja, zbog kontrole stupnja nesimetrije u elektroprivrednoj mreži 110 kV.

Osim konkretnih proračuna primijenjenih na mrežu ili neka postrojenja, razrađivana je i teoretska problematika kratkog spoja potrebna za primjenu standardnih metoda računanja i novelaciju propisa.

Napuštanjem istosmjernog mrežnog analizatora i uvođenjem rada na elektroničkom računalu mogućnosti studija problematika kratkog spoja neusporedivo su povećane, kako u pogledu točnosti tako i u pogledu brzine i opsega rada.

Na poticaj Instituta, u suradnji s poduzećem Elektroprenos — Zagreb, stručnjacima Elektrotehničkog fakulteta i poduzeća Rade Končar organizirana su šira ispitivanja izravno na mreži 110 kV. Ona su provedena 1965. u rasklopnom postrojenju TE Jertovec, a obuhvatila su 30 pokusa kratkog spoja i praznog hoda vodova i transformatora 110/10 kV.

Posljednjih je godina, u problematici prijenosne mreže Hrvatske sve više dolazio u prvi plan problem opskrbe sjeverozapadne Hrvatske električnom energijom, uklopljen u problem opskrbe cijelog zapadnog područja Jugoslavije.

U vezi s potrebom i mogućnostima prijenosa na zapad zaoštrilo se i pitanje kompenzacije jalove snage na svim naponskim nivoima, prvenstveno u širem području Zagreba.

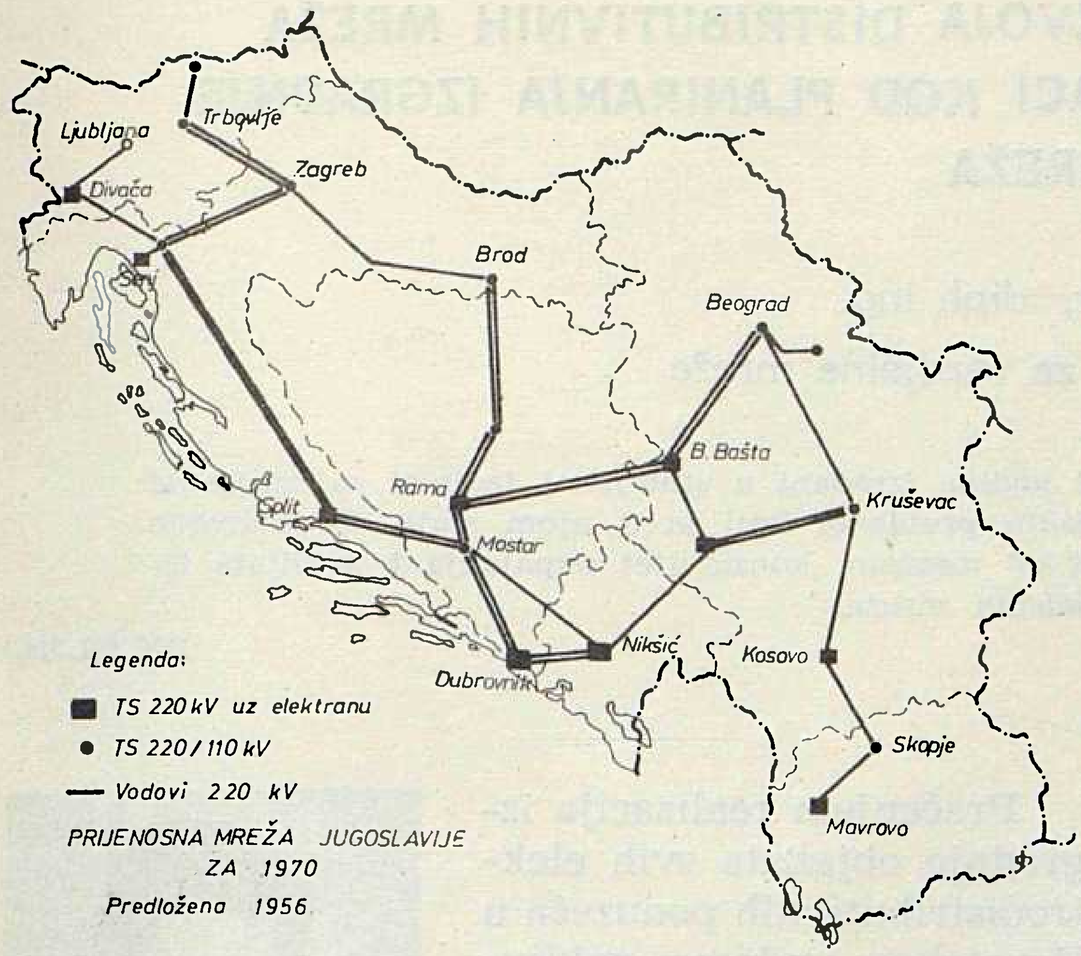
U studijama su pomoću elektroničkih računala analizirane mogućnosti prijenosa u najbližoj budućnosti, uz različite varijante izgradnje elektrana na zapadu, kod normalnih pogonskih stanja i slučajeva ispada.

Da bi se moglo ocijeniti stanje u budućnosti, učinjena je u zagrebačkoj, slavonskoj i riječkoj regiji analiza postojećeg stanja potroška, proizvodnje i prijenosa jalovih snaga. Mora se istaknuti da su sva ova istraživanja ukazala na veoma ozbiljnu situaciju u pogledu mogućnosti napajanja ovog dijela Jugoslavije električnom energijom, upravo zbog pomanjkanja jalove snage.

Nakon donošenja poznatog zaključka u Dubrovniku 1970. o izgradnji osnovne mreže 380 kV u Jugoslaviji, pojavili su se novi problemi u vezi s uvođenjem ovog napona u Hrvatskoj. Prvenstveno je rješavan problem sjeverne dionice ove mreže na potezu Obrenovac — Slavonija — Zagreb — Maribor, koji je za Hrvatsku od primarnog značenja. Razvijena je uska suradnja s Elektroprenosom — Zagreb u rješavanju mreže 380 kV oko Zagreba. Studirane su lokacije budućih stanica 380/110 kV, konfiguracija zagrebačkog prstena 380 kV, uklapanje budućih nuklearnih i pumpnih elektrana u mrežu, prijenos transformirane energije vodovima 110 kV u potrošačko područje, kao i različita druga tehnička pitanja superponirane mreže.

Osim studija mogućnosti prijenosa i konfiguracije mreže, te pitanja direktno vezanih na tu problematiku, rješavani su različiti tehnički problemi vezani na projektiranje i pogon visokonaponskih mreža.

Tokom 1963. počeli su se studirati problemi uzemljenja nultočke u transformatorskim stanicama 110/35 (30) kV. Studirane su vrste uzemljenja zvjezdišta mreža visokog napona u svjetlu domaćih i stranih propisa i uspoređivana su njihova osnovna svojstva. Konkretno je za naše distributivne mreže istražen najprikladniji način uzemljenja i kao rezultat odabrano uzemljenje preko malog djelatnog otpora. Tokom praktične primjene takvog rješenja, u različitim distributivnim područjima Hrvatske mjereni su proračunavani utjecaji nesimetričnih struja kvara u nadzemnim distributivnim vodovima na TT linijama



Slika 3

i utvrđeni granični iznosi struja kratkog spoja. U svim konkretnim slučajevima dano je odgovarajuće rješenje zaštite.

Kao nastavak radova na problematici prenapona, rađenih šezdesetih godina, studira se prenaponska zaštita nadzemnih vodova, kabela i kompletnih postrojenja. Nadalje, daju se rješenja različitih tipova uzemljenja, naročito u posebnim slučajevima u teškim terenima. U suradnji s institutima u Beogradu i Ljubljani mjere se u nekoliko transformatorskih stanica intenzitet i učestalost prenapona kako bi se dobila slika o pouzdanosti izolacije.

Kako se iz iznesenog opsega djelatnosti vidi, prvenstveno se rješavala problematika prijenosne mreže Hrvatske, no povremeno su rješavani slični problemi i u drugim republikama. Od većih zadataka može se istaknuti rješenje prijenosne mreže Bosne i Hercegovine (1962) i rješenje prijenosne mreže Crne Gore u vezi s izgradnjom elektrana na Tari i Morači i priključka aluminijskog kombinata.

Mnogo značajniji i veći bili su radovi na rješavanju konfiguracije jugoslavenske mreže obuhvaćene na cijelom njenom području.

Nakon rasformiranja Saveznog ministarstva elektroprivrede nije se studirala prijenosna mreža Jugoslavije u cjelini, što nije bilo ni neophodno, jer su sistemi 110 kV u pojedinim područjima bili tek u razvoju.

Tek 1956. dobili su elektroprivredni instituti u Beogradu, Zagrebu i Ljubljani zadatak da samostalno, prema svojem gledanju, razrade i predlože superponiranu mrežu Jugoslavije do 1970. godine. Razrada je izvršena na naponskom nivou 110 kV i 220 kV.

Tadašnje rješenje mreže 220 kV Jugoslavije za 1970. prema prijedlogu Instituta za elektroprivredu u Zagrebu prikazuje sl. 3.

Od 1954. planiranje superponirane mreže Jugoslavije za daljnju perspektivu obavila su zajednički sva tri jugoslavenska elektroprivredna instituta (u Beogradu, Zagrebu i Ljubljani), a prijedlog rješenja predstavljao je njihov zajednički stav. Perspektivna superponirana mreža (220 kV) razrađivana je u nekoliko navrata do 1968, kad je takav ili sličan rad na jugoslavenskoj prijenosnoj mreži kao cjelini potpuno zamro.

U nekoliko navrata računate su i snage kratkog spoja za čitavu Jugoslaviju. Posljednji rad koji je rađen obuhvatio je naponski nivo 220 kV i 380 kV za predviđenu konfiguraciju mreže u 1990. godini. Cilj tog rada je bio, da se dobije red veličine snaga i struja kratkog spoja što ih valja uzeti u obzir kod odabiranja aparata i projektiranja postrojenja jugoslavenske mreže 380 kV.

S obzirom na kadrovski sastav grupe koja se bavi problemima prijenosa električne energije i prijenosnih električnih mreža, usku suradnju s elektroprivrednim i znanstvenim organizacijama, te pomoći elektroničkih računala moći će se i ubuduće rješavati prijenosni problemi sve većih zahtjeva što ih traži razvoj elektroprivrede u Hrvatskoj i Jugoslaviji.

Literatura:

1. Grupa autora: *»Yougoelexport« Raport du comité technique*, 1954.
2. Markovčić: *Pogonske prilike na vodu 110 kV Vinodol*, Zagreb, 1953.
3. Markovčić, Baranović: *Studija o jadranskom dalekovodu*, 1955.
4. Stefanini: *Lokacija čvorišta 220 kV u Zap. Hrvatskoj*, 1953.
5. Stefanini: *Kružni pogonski dijagram dalekovoda*, 1954.
6. Markovčić: *Usporedba dviju koncepcija veze Dalmacija — zap. Hrvatska*, 1959.
7. Radna grupa: *Tehnički propisi za nadzemne elektroenergetske vodove*, 1960.
8. Markovčić: *Primjena meteoroloških podataka o brzini vjetra kod projektiranja dalekovoda*, 1962.
9. Požar, Markovčić: *Mreža 110 i 220 kV Jugoslavije (1958—1970.)*, 1956.
10. Markovčić: *Mreža 110 i 220 kV Hrvatske do 1975.*, 1967.
11. Despotović, Plohar, Markovčić: *Superponirana mreža Jugoslavije za 1973, 1975 i 1980. godinu*, 1968.
12. Jung: *Proračun kratkog spoja u mreži 110 i 220 kV Jugoslavije*, 1960.
13. Jung: *Kratki spoj u mreži 110 kV duž željezničke magistrale Jesenice — Zagreb — Beograd*, 1961.
14. Jung: *Metodologija proučavanja kratkog spoja*, 1962.
15. Markovčić — Jung: *Izokerauničkа karta SR Hrvatske*, 1965.
16. Zlatar: *Ispitivanje distantnih releja*, 1966.
17. Jung, Zlatar: *Uzemljenje zvjezdišta mreže 35 kV i 10 kV Rijeke i Istre.*
18. Jung: *Proračuni raspodjele struja jednopolnog kratkog spoja duž trase vodova 110 i 220 kV u SR Hrvatskoj*, 1970.
17. Hrs: *Zaštita rasklopnog postrojenja HE Senj od direktnog udara groma*, 1968.
18. Hrs, Mužny: *Prenaponska zaštita napajanja RTV relejne stanice na Biokovu*, 1968.
19. Markovčić: *Elektroenergetski izvor Zagreb 380 kV*, 1969.
20. Hrs: *Načela prenaponske zaštite 110 kV i 220 kV transformatorskih postrojenja odvodnicima prenapona*, 1970.
21. Markovčić: *Problem jalove snage i njena kompenzacija u mreži Hrvatske*, 1971/1972.
22. Markovčić, Jung: *Kratki spoj u mreži 220 kV i 380 kV Jugoslavije oko 1990. god.*, 1971.
23. Sekso: *Korekcije uzemljivača TS 35/10 kV u Istri s obzirom na uzemljenje zvjezdišta preko malog otpora*, 1971.
24. Markovčić, Hebel: *Visokonaponska mreža zapadnog dijela Jugoslavije u 1975, 1978 i 1980. godini*, 1972.
25. Hrs, Sekso, *Studija različitih metoda za istraživanje unutarnjih prenapona*, 1972.
26. Markovčić, Hebel, Tonković: *Osnovno rješenje električne mreže 35, 110 i 220 kV na području »Elektre« Zagreb*, II dio, 1972/73.

Naslov pisca: Boris Markovčić, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

TENDENCIJE PERSPEKTIVNOG RAZVOJA DISTRIBUTIVNIH MREŽA U SR HRVATSKOJ I STUDIJSKI ZADACI KOD PLANIRANJA IZGRADNJE OVIH MREŽA

Josip Moser, dipl. ing.
Šef studijske jedinice za razdjelne mreže

Dan je kratki prikaz radova koji su u posljednjih deset godina izrađeni u studijskoj jedinici za razdjelne mreže, a zatim je izneseno nekoliko najvažnijih studijskih problema koji pred njom stoje. Prvenstveno su to problemi prijelaza ili zamjene postojećih mreža 20 kV mrežom, kontinuitet napajanja i kvaliteta isporuke električne energije i studij mogućih oblika gradskih mreža.

DK 621.316.1

1. Uvod

Za dvadesetogodišnje aktivnosti studijske jedinice za razdjelne mreže u okviru Instituta za elektroprivredu, izrađeno je oko 180 originalnih studijskih radova. Najveći dio čine studije razvoja razdjelnih mreža nekih gradova ili područja, radi usmjeravanja izgradnje mreže srednjeg napona. Radovi su izvršeni za potrebe svih elektrodistributivnih i elektroprivrednih poduzeća u Hrvatskoj, a neke studije izrađene su i za naručitelje iz drugih krajeva naše zemlje, posebno za one iz Bosne i Hercegovine, Vojvodine i Makedonije.

Osnovna djelatnost studijske jedinice za razdjelne mreže je planiranje razvoja distribucije električne energije, pa u nekim elaboratima zahvaća lepezu naponskih nivoa od 0,4 kV do 220 kV, zadržavajući se pri tome na mrežama visokog napona 110 i 220 kV samo onoliko koliko je nužno za definiranje razdjelnih mreža srednjeg i nižeg napona. Stoga se tijekom analiza i razrada u studijskoj jedinici za razdjelne mreže definiraju potrebne pojne točke na naponskim nivoima 110 i 220 kV.

Prateći neke važnije radove izrađene u posljednjih 10 godina u ovoj studijskoj jedinici, iole pažljiviji čitalac može lako zaključiti koji su pravci razvoja distributivnih mreža u Hrvatskoj, kako se mijenja uloga pojedinih naponskih nivoa za snabdijevanje konzuma, koji je još uvijek u svim područjima Hrvatske iznad prosječnog rasta.

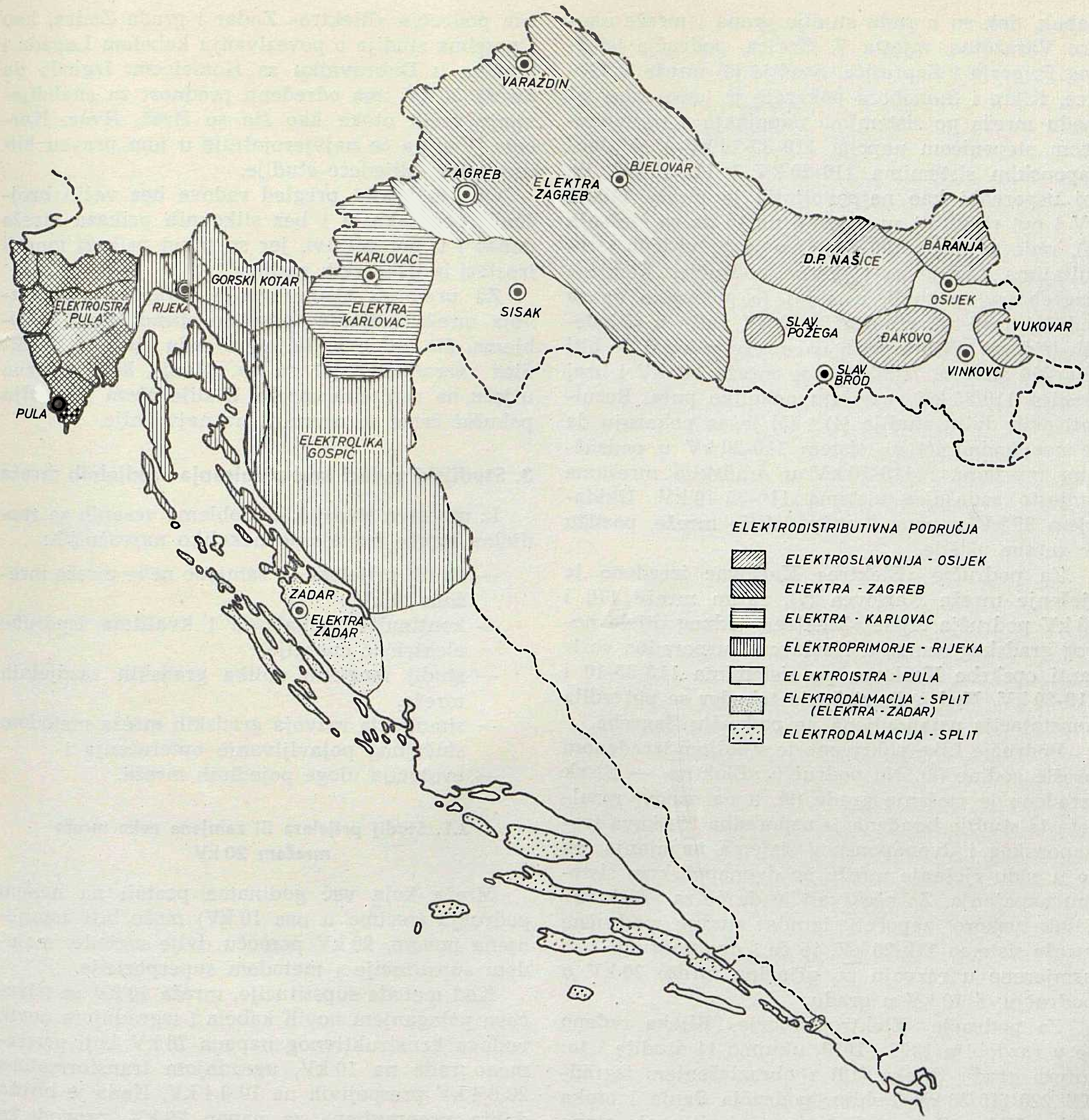
Studije o kojima je riječ najčešće obuhvaćaju razvojno razdoblje od 30 godina, time da se redovito analiziraju etape, odnosno stanja mreža za perspektiva razdoblja od 5, 10 ili 15 godina. To je nužno radi pravilnog usmjeravanja razvoja razdjelnih mreža, jer se na taj način mogu najbolje iskoristiti postojeći elektroenergetski objekti, a mogu se sagledati i utjecaji opterećenja i potrošnje električne energije na objekte koje namjeravamo graditi u bliskoj budućnosti. Upravo zbog toga su naši radovi rađeni između 1963. i 1968. godine imali kao završetak analiziranog razdoblja godine 1990. ili 1995, dok su radovi izrađeni u razdoblju od 1968. do 1973. imali za konačnu godinu 2000.

Praćenjem realizacija izgradnje objekata svih elektrodistributivnih poduzeća u Hrvatskoj možemo zaključiti, da su studije bile dobra podloga za investicionu i projektnu dokumentaciju, i da ta poduzeća u potpunosti realiziraju predložene objekte. Međutim, što se više zalazi u perspektivni razvoj mreže, javlja se sve više potreba da se neke postavke u studijama ponovno ispitaju i da se aktualiziraju. To vrijedi za sve studije rađene između 1963. i 1968, osobito ako je riječ o gradskim mrežama kod kojih se konzum može vrlo brzo i znatno mijenjati. Kod urbanističkog praćenja razvoja grada aktualizacija se provodi revizijama generalnih urbanističkih planova koji se rade redovito u razmaku od 5 do 10 godina. Istodobno bi takve revizije morale pratiti revizije osnovnih električnih mreža tih gradova.

2. Perspektivni razvoj razdjelnih mreža u Hrvatskoj

Od oko stotinjak radova izrađenih u razdoblju 1963—1973, izabrana su 43 osnovna ili idejna rješenja mreže pomoću kojih želimo ukazati na perspektivni razvoj distributivnih mreža u nas. Ovim radovima studijska jedinica je pokrila cijelo područje SR Hrvatske, radeći za sva elektrodistributivna poduzeća. To se može vidjeti na sl. 1, na kojoj su naznačeni gradovi i područja za koje su rađene studije. Ostala područja koja na ovoj karti nisu izvučena šrafurom (istočna Slavonija, srednja i južna Dalmacija) obrađene su također samo nešto prije 1963, pa nisu u ovom prikazu. Za primjetiti je da su mnoga područja obrađena u više navrata. Bibliografija radova koji se odnose na određena područja nalazi se na kraju prikaza, a sve ove studije čine dokumentaciju Instituta i studijske jedinice.

Kratki prikaz radova dat ćemo po većim elektrodistributivnim jedinicama, kao što su: »Elektroslavonija« Osijek, »Elektra« Zagreb, »Elektra« Karlovac, »Elektra« Sisak, »Elektrolika« Gospić,



Slika 1

Elektroprimorje« Rijeka, »Elektroistra« Pula i »Elektrodalmacija« Split.

Opći zaključak koji se iz svih razrada može izvući jest, da pratiti brzi razvoj konzuma, znači vrlo brzo razvijati mreže 110, 35 i 10 kV. Broj potrebnih TS 110/35 i TS 35/10 kV se učetverostručuje u slijedećih dvadeset godina, a broj TS 10/0,4 kV raste još i više. Prema tome će razvoj mreže za razdiobu električne energije biti praćen velikom potrebom za izgradnjom objekata, odnosno velikim investicionim ulaganjima. Osim toga, vrlo veliku stavku činit će dio ulaganja u modernizaciju, rekonstrukciju i održavanje postojećih objekata.

U desetogodišnjem razdoblju od 1963—1973. izrađena su ova idejna i osnovna rješenja na području »Elektroslavonije« Osijek: u početku rješenja za gradske mreže Osijeka (1), Slavonskog Broda , Slavonske Požege, Vukovara i Vinkovaca, koja su obuhvatila i najbližu okolicu grada, a kasnije rješenja za područne mreže Baranje, pogonsko područje Đakova i distributivno područje Našice, Donji Miholjac, Čačinci i Podravska Slatina. Kod rješenja područnih mreža obuhvaćena je i potrebna mreža većih naselja. Kod svih ovih rješenja pokazuje se izvanredno povećanje 110, 35 i 10 kV mreže od kojih se neke (35 kV) višestruko povećavaju.

Na području »Elektre« Zagreb izrađena su osnovna rješenja gradova Virovitice (3) i Bjelovara i područja Velika Gorica, Klara, Samobor (4), sjevernog područja »Elektre« (5), područja »Elektre«

Zabok, dok su u radu studije grada i mreže okolice Varaždina, mjesta V. Gorica, područja istočnog Prigorja i Zaprešića. Studija (4) mreže V. Gorice, Klare i Samobora pokazala je usporedbu između mreža po sistemima napajanja s tronaponskom stepenicom napona 110-35-10 kV i sa dvonaponskim sistemima 110-20 kV i 110-10 kV. Po toj usporedbi kao najpovoljnija je mreža 110-20 kV i ovi rezultati su utjecali na to da se rješenja (6), rade za napon 20 kV. Ovo je potvrđeno i rezultatima studije za sjeverno područje »Elektre« Zagreb (svi pogoni), u kojoj je pokazano da sa sadašnjih 40-tak stanica 35/10 kV valja u slijedećih trideset godina preći na mrežu u kojoj će biti oko 200 stanica. Istodobno se mreža 110 kV i broj stanica 110/35 kV razvijaju nekoliko puta. Rezultati ovih dviju studija (4) i (5) jasno pokazuju da je neophodno ići na sistem 110-20 kV u područnim mrežama i 110-10 kV u gradskim mrežama umjesto sadašnjeg sistema 110-35-10 kV. Ukidanjem 35 kV napona, i pripadajuće mreže, postižu se znatne uštede.

Za područje »Elektre« Karlovac izrađeno je rješenje mreže Karlovca (7), zatim mreže 110 i 35 kV područja cijele »Elektre«, jednog dijela novog gradskog centra u Karlovcu i usporedba varijanti opskrbe Karlovca po sistemima 110-35-10 i 110-20 kV. Kod ovih rješenja također se potvrdila konstatacija ustanovljena na području Zagreba.

Područje Like pokriveno je studijom izrađenom prošle godine (8). Na području »Elektre« — Sisak izrađeno je rješenje grada (9), a na osnovi rezultata te studije izrađena je usporedba troškova tronaponskog i dvonaponskog sistema napajanja, pa je u radu rješenje mreže po dvonaponskom sistemu napajanja. Za očekivati je da će za »Elektru« Sisak uskoro započeti izrada studije područne mreže sistema 110-20 kV, te će i ovo područje biti usmjereno u razvoju po principu mreže 20 kV u području, a 10 kV u gradu.

Za područje »Elektroprimorja« Rijeka rađeno je u razdoblju 1967—1973. ukupno 11 studija i to: mreža grada Rijeke (10) s obrazloženjem izgrad- TS 220/110/35 kV Pehlin, područja Senja i otoka Raba, Krka, Cresa i Lošinja, te ispitivanje etapa izgradnje stanica 110 kV na tim otocima. Zatim područja Crikvenice, Novog, Gorskog Kotara, te studija mreže 110 i 220 kV »Elektroprivrede« Rijeka (11) gdje su povezane mreže »Elektroprimorja« i »Elektroistre«. U radu su studije područja Opatije (12), Bani i Viškovo i Kraljevica, Crikvenica, Novi, kojima se želi ispitati prednost sistema 20 kV pred drugima, za svako područje posebno.

Na području »Elektroistre« Pula rađena su rješenja područnih mreža općina Pule i Rovinja (13), Poreča, Novigrada i Umaga i Buje, Pazina i Buzeta, dok je u radu mreža grada Pule. Za očekivati je da će se i na području »Elektroistre« uskoro početi ispitivati pogodnost sistema 20 kV.

Na području »Elektrodalmacije« Split izrađena je studija mreže 110 kV za snabdijevanje srednjedalmatinskih i južnodalmatinskih otoka (14), zatim područja »Elektre« Zadar i grada Zadra, kao i posebna studija o povezivanju kabelom Lapada i Šipčina u Dubrovniku sa Komolcem. Izgleda da mreža 20 kV ima određenu prednost za snabdijevanje većih otoka kao što su Brač, Hvar, Korčula, Vis, pa će najvjerojatnije u tom pravcu biti usmjerene slijedeće studije.

Ovo je kratki pregled radova bez većih brojčanih podataka, a i bez slikovnih prikaza mreža danas i u perspektivi, jer su takvi prikazi morali izostati iz tiskarskih razloga.

Za pravilno usmjeravanje perspektivnih razvoja mreža valjat će posebno obraditi neke probleme, što će ih u daljnjem radu studijska jedinica razrađivati, jer su to pitanja koja izravno utječu na razdjelne mreže. U slijedećem poglavlju pokušat ćemo se osvrnuti na najvažnije.

3. Studijski zadaci kod planiranja razdjelnih mreža

Iz mnoštva studijskih problema vezanih za razdjelne mreže izdvajamo nekoliko najvažnijih:

- studij prijelaza ili zamjene neke mreže mrežom 20 kV,
- kontinuitet napajanja i kvaliteta isporuke električne energije,
- studij mogućih oblika gradskih razdjelnih mreža,
- simulacija razvoja gradskih mreža metodom slučajnog pojavljivanja opterećenja i
- evolucija uloge pojedinih mreža.

3.1. Studij prijelaza ili zamjene neke mreže mrežom 20 kV

Mreža koja već godinama postoji na nekom području (recimo u nas 10 kV) može biti zamijenjena novom, 20 kV pomoću dvije metode: metodom supstitucije i metodom superpozicije.

Kod metode supstitucije, mreža 10 kV se povećava polaganjem novih kabela i izgradnjom novih vodova konstruktivnog napona 20 kV koji privremeno rade na 10 kV, ugradnjom transformatora 20/0,4 kV prespojivih na 10/0,4 kV. Kada je mreža dobro prepravljena za napon 20 kV, provodi se prelazak na novi napon, odnosno izbacuju se iz upotrebe elementi mreže 10 kV.

Kod metode superpozicije mreža 10 kV se zaustavlja u razvoju, a paralelno s njom se gradi nova, koja djeluje odmah na naponu 20 kV. Nju napajamo iz izvora 110/20 kV i ona malo po malo preuzima opterećenje mreže 10 kV. Mreža 10 kV održava se u pogonu onoliko dugo koliko je potrebno da je razvoj 20 kV mreže zamijeni, odnosno dok se ne dostigne starosna granica mreže 10 kV.

Bez puno analize izlazi da metoda superpozicije ima slijedeće prednosti:

- kod novih kabela i vodova iskorištava se 20 kV odmah, što je interesantno radi gubitaka i investicija.
- iskorištenje, sve do starosne granice, stare mreže 10 kV.

Međutim, ova metoda obvezuje distributera da ima u pogonu mreže raznih naponskih nivoa, a to vodi do preklapanja instaliranih snaga u transformatorima 35/10 i 110/20 kV.

Koja je od ove dvije metode povoljnija, potrebno je ispitati posebno za svaki slučaj, a mjerilo ispravnosti moraju biti manje investicije i manji gubici.

3.2. Kontinuitet napajanja i kvaliteta isporuke električne energije

Studija mreže za distribuciju električne energije ima za cilj da definira njen razvoj tijekom vremena i da predvidi sve one promjene koje treba u kratkom roku realizirati, da bi se zadovoljila potražnja uz minimalne troškove. Prema tome, ovo je problem optimalnog izbora investicija.

Rješenje ovog problema postiže se pomoću tehničko-ekonomskih studija, statičkih ili dinamičkih, kojima se želi definirati izgradnja određenog skupa postrojenja da bi evolucijom mreže zadovoljili potrebe, vodeći računa o određenom nivou kvalitete isporuke električne energije.

Trošila koja troše električnu energiju ne funkcioniraju ispravno ako frekvencija i napon mreže nisu unutar definiranih vrijednosti i ukoliko prekidi isporuke nisu suviše česti. Tada se smatra da je napajanje dobro.

Varijacije frekvencije izazivaju promjene brzine vrtnje, prema tome i smetnje u motorima, varijacije indukcije izazivaju povećane gubitke u magnetskim krugovima, a viši harmonici povećane gubitke u samim mrežama i u dielektricima određenih izolatora.

Varijacije napona, bile one spore ili brze, izazivaju usporenje u svjetlosnoj, termičkoj i mehaničkoj primjeni električne energije.

Prekidi napajanja izazivaju štete potrošačima koji su u prekidu i to prema tipu potrošača (kućanstvo, industrija) i prema prirodi upotrebe električne energije u trenutku prekida.

Kontinuitet napajanja je prva briga svakog distributera. Možemo nabrojiti pet zastoja, ovisno o vremenu njihova trajanja i prema tome kako potrošači podnose zastoje u isporuci:

1. Zastoj od više sati, za vrijeme kojeg se može lokalizirati kvar, popraviti mreža, i dovesti instalacija u početno stanje. To je često slučaj u mrežama područne elektrifikacije u seoskim područjima.
2. Zastoj u vremenu jednog sata, u toku kojeg osoblje može lokalizirati i eliminirati onaj element mreže koji je u kvaru i ostvariti ponovno napajanje. Ovaj stupanj je vrlo čest u gradskim distribucijama.
3. Trajanje zastoja od nekoliko minuta dovoljno je da osoblje, smješteno na jednom mjestu, intervenira putem telekomande ili lokalnih manevara na osnovi prikupljenih informacija.
4. Zastoji od sekunde obuhvaćaju u sebi automatizaciju.
5. Zastoj »nula« nije moguće postići, ako ne postoji paralelni pogon koji u sebi sadrži automatizaciju. Ovo je slučaj kod zatvorenih mreža.

Različite poteškoće kod intervencija u mreži i povećani zahtjevi potrošača naveli su mnoge distributere da istražuju mogućnosti onih stupnjeva sigurnosti koji se mogu postići automatizacijom radi veće ili manje mogućnosti eksploatacije mreža.

3.3. Studij mogućih oblika gradskih razdjelnih mreža

Izbor najpovoljnijeg oblika mreže direktno je vezan uz potreban nivo kontinuiteta napajanja potrošača i uz nivo kontinuiteta snabdijevanja, ako su jedan, dva ili više elemenata mreže u kvaru. U ovisnosti da li želimo postići veću ili manju sigurnost napajanja valja birati otvoreni ili zatvoreni pogon mreže. Često na to utječu i neki drugi uvjeti (geografija zone koju valja napajati, tip urbanističke izgradnje, i sl.), pa nije moguć momentani izbor. Definitivan izbor svakako mora biti vezan i uz tehničko-ekonomsku analizu.

Posebno valja misliti na mogućnost razvoja nekog oblika mreže u vremenu u funkciji opterećenja mreže. Različite strukture nemaju jednaku granicu snage, već ona ovisi o broju elemenata mreže koju možemo postaviti i o njihovoj jediničnoj snazi. U tome je jedna od prednosti 20 kV u odnosu na druge niže napone.

Pri izboru oblika, nužna je komparativna studija svakog od ovih oblika u ovisnosti o nivou kontinuiteta koji se tim oblikom dostiže. Pri tome je moguće voditi računa o posebnim oblicima zatvorenih i otvorenih mreža. Kod otvorenih mreža posebni oblici su antena, razgranata mreža i prespojiva razgranata mreža. Za zatvorene mreže moguće je postaviti niz različitih oblika. Iz francuske literature poznajemo nekoliko vrlo povoljnih oblika: vreteno (le fuseau), pramen (l'épi), petlja (la maille), latice cvijeta (la pétale de marguerite), rešetka (la grille) i dvostruki odsječci (la double dérivation). Opis i usporedba ovih oblika predstavlja već posebnu studiju.

3.4. Simulacija razvoja gradskih mreža metodom slučajnog pojavljivanja opterećenja

Studije nekih mreža mogu se provoditi samo na dugi rok, jer mreža koja u početku nije skupa može tijekom razvoja dovesti do značajnih troškova i u konačnom obliku može biti vrlo skupa. Jedna od značajnih karakteristika svih studija mreža je porast snage koju valja distribuirati. Ovaj porast je značajan, jer kod nas često u 10 godina vodi do udvostručenja, a u 30 godina do osmerostrukog porasta.

U praksi se najčešće za svako opterećenje u početnoj godini uzima ukupna stopa porasta potrošnje, što se unese u početnu strukturu raspodjele opterećenja. Ovo ne zadaje poteškoće tako dugo dok lakocija opterećenja ne utječe na elemente studirane mreže. S druge strane, kako se

mijenja lokacija opterećenja, tako se mijenjaju i troškovi povezivanja točaka opterećenja, a to je jedan od najvažnijih stavaka cijene razvoja mreže. Zato se kod kabelskih mreža distribucije srednjeg napona ne može uzeti u obzir samo opterećenje početne godine, već je potrebno utvrditi pojam novih točaka opterećenja.

Da bi odredili način na koji se može odrediti »najvjerojatnija« lokacija novih točaka opterećenja, a da između svih mogućih vjerojatnih lokacija koje se mogu zamisliti izaberemo najpovoljniju, pozvali smo u pomoć sreću.

Simulacija razvoja provodi se elektroničkim računalom, tako da se kroz dugoročni simulirani razvoj mreže dobije rezultat koji »odgovara onome što bi se moglo dogoditi u stvarnosti«.

3.5. Evolucija uloge pojedinih mreža

Mreže, bile one vrlo visokog napona ili srednjeg distributivnog, evoluiraju prema ulozi napajanja električnom energijom određenog konzuma u prošlosti.

Mreže srednjeg i viših napona u početku su bile kreirane u obliku neovisnih antena radi prijenosa električne energije iz elektrane do konzumnog područja. Zatim se više antena skupilo u petlje ili prstenove, da je mreža mogla raditi i u rezervnom pogonu. Tako se došlo do mreže interkonekcije. U trećoj etapi kada gustoća opterećenja toliko naraste da treba kreirati novu mrežu višeg napona, početna mreža preuzima ulogu razdiobe, odnosno distribucije. U tom momentu pojavljuje se potreba diobe mreže na neovisne zone, jer postoji opasnost od loših tokova snaga u paralelnom spoju dviju mreža, kod kojih se naponi razlikuju jer snage kratkog spoja dostižu tako visoke vrijednosti da su potrebna vrlo skupa postrojenja. Konačno, u nekim slučajevima nakon što je mreža imala ulogu prijenosa, interkonekcije i razdiobe, postaje nekorisna, a njezin razvoj skup. Zato prestaje njezin daljnji razvitak i počinje progresivni nestanak. U drugim slučajevima, mreža može sačuvati u nedogled svoju funkciju distributivne mreže.

Kako evoluira uloga neke mreže, isto tako evoluiraju i tehnički problemi: prije svega problemi stabilnosti, koje postavljaju dugi vodovi između udaljenih stanica. Zatim što mreže više rastu, to su značajniji problemi porasta snaga kratkog spoja. Konačno, posljednji stadij, kad mreža ima ulogu razdiobe ne postavlja više teške probleme: to je mirno razdoblje koje može trajati beskonačno, ili može najavljivati kraj mreže.

Tako je svaka mreža vrsta živog bića čija se funkcija može usporediti s njezinim godinama i njezinom okolicom. Skup mreža je kao udruženje u kojem svaki član ima različitu sudbinu.

Na svršetku napominjemo, da se pri izradi studije mreža u budućnosti mora voditi računa o promjenama strukture proizvodnje električne energije, o nestanku određenog broja naponskih nivoa i o evoluciji uloge mreže koju želimo zamijeniti.

Literatura:

(1) *Osnovno rješenje el. mreže grada: Osijeka* (Štengl, 1963), *Slavonskog Broda* (Janić, 1964), *Slavonske Požege* (Vagić, 1966), *Vukovara* (Janić, 1966), *Vinkovaca* (Moser, 1969).
(2) *Osnovno rješenje el. mreža područja: Baranje* (Moser, 1969), *P. P. Đakovo* (Moser, 1970), *D. P. Našice* (Moser, 1970).
(3) *Osnovno rješenje el. mreža gradova: Virovitice* (Borojević, 1967), *Bjelovara* (Moser, 1973), *Varaždina* (Schenner, Moser, 1973. u radu), *Područja »Elektre« Zabok* (Moser, 1973).
(4) *Osnovno rješenje el. mreže na području V. Gorica, Klara, Samobor* (Vagić, 1972).
(5) *Osnovno rješenje el. mreže 30 (35), 110, 220 (380) kV na području »Elektre« Zagreb — I dio — Mreža 35 kV i pojne točke 110 kV* (Moser, 1973).
(6) *Osnovno rješenje mreža 20 kV: Mjesta V. Gorica* (Hartl, 1973. u radu), *Istočnog Prigorja* (Mihalek i Vlahović, 1973. u radu), *Zaprešića* (Rimac i Moser, 1973), *Samobora* (Hartl i Šimunec, 1973. u radu).
(7) *Osnovno rješenje el. mreže: grada Karlovca* (Janić, 1963), *Područja »Elektre« Karlovac* (Kovačević, 1971), *Novo naselje Centar* (Borojević, Moser i Kovačević, 1972), *Usporedba varijanti opskrbe grada Karlovca s naponima 110-35-10 kV i 110-10 kV* (Kovačević, 1972).
(8) *Mreža 110 kV i 35 kV na području Like* (Kovačević, 1972).
(9) *Osnovno rješenje el. mreže: grada Siska* (Štengl, 1968), *Usporedba troškova* (Štengl, 1971), *Grad Sisak po dvonaponskom sistemu* (Janić, 1973. u radu).
(10) *Osnovno rješenje el. mreže grada Rijeke* (Vagić, 1968), *Izgradnje TS 220/110/35 kV Pehlin* (Vagić, 1967), *Senja i otoka Raba* (Vagić, 1969), *Otoka Krka, Cresa i Lošinja* (Janić, 1970), *Etapne izgradnje TS 110 kV na području otoka Krka, Cresa i Lošinja* (Janić, Kovačević, 1973), *Područja Crikvenice, Novi* (Vagić, 1970), *Gorskog Kotara* (Janić, Hartl, 1973).
(11) *Studija mreže 110 i 220 kV područja »Elektroprivrede« Rijeka* (Janić, Kovačević, 1973).
(12) *Rješenje el. mreže: Opatije* (Janić, Kovačević, 1973), *Bani i Viškovo* (Schenner, Moser, 1973), *Područje Kraljevica, Crikvenica, Novi* (Kovačević, 1973).
(13) *Osnovno rješenje el. mreže: Pule i Rovinja* (Janić, Padjen, 1970), *Poreč, Novigrad, Umag* (Janić, Padjen, 1971), *Buje, Pazin, Buzet* (Padjen, Janić, Mihalek, 1972), *Grad Pula* (Padjen, 1973. u radu).
(14) *Mreža 110 kV za snabdijevanje srednje i južnodalmatinskih otoka* (Budanko, 1969), *Mreža »Elektre« Zadar i grada Zadra* (Padjen. Mihalek, 1973), *Povezivanje Lapada s Komolcem* (Janić, 1972).

Naslov pisca: Josip M o s e r, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

O UTJECAJU NISKONAPONSKE MREŽE NA PLANIRANJE GRADSKIH DISTRIBUTIVNIH MREŽA

Vladimir Hartl, dipl. ing.

Šef studijske jedinice za NN mrežu i projektiranje

Prikazan je pristup planiranju gradskih i mjesnih distributivnih mreža uzimanjem u obzir troškova u niskonaponskoj mreži i način određivanja tehno-ekonomskih parametara takvih mreža.

DK 621.316.1

Gradove i naselja gradskog tipa karakteriziraju velike gustoće opterećenja, stalan rast potrošnje električne energije izazvan, s jedne strane, neprekidnim širenjem njene primjene u svim sferama djelatnosti stanovništva, a s druge strane isto tako brzim rastom broja stanovnika. Zbog toga se pridaje posebna važnost odgovarajućem razvitku distributivnih električnih mreža čija je zadaća da osiguraju dobavu električne energije potrošačima u svim dijelovima grada, odnosno naselja gradskog tipa. Pri tom se pod potrošačima ne podrazumijevaju samo kućanstva i objekti društvenih i komunalnih djelatnosti, već i mala i srednja industrija. Ponekad se u sklopu spomenute distributivne mreže mogu naći i nešto veći industrijski potrošači. Karakteristična gustoća naseljenosti u visokim stambenim objektima i karakteristične koncentracije ljudi u pojedinim objektima, kao što su velike poslovne zgrade, veliki hoteli i velike dvorane za priredbe, te vrlo razvijen promet, u čijoj sigurnosti nesumnjivo ozbiljno učestvuje javna rasvjeta i prometna električna signalizacija, a posebnu važnost imaju sredstva tzv. javnog prometa (tramvaj i trolej), postavljaju pred distributivnu električnu mrežu sve veće zahtjeve u pogledu napajanja kvalitetnom energijom.

U kvalitetu se ovdje ubrajaju oni parametri koji se mogu bez utjecaja drugih dijelova elektroenergetskog sistema pogoršati u toj distributivnoj mreži a to su: naponske prilike (propisani iznos napona i simetričnost) i sigurnost napajanja. Stoga ovakve distributivne električne mreže predstavljaju u elektroenergetici samostalnu oblast u kojoj posebni interes proučavanja predstavljaju karakteristične osobitosti povećanja potrošnje električne energije, tehnoekonomski proračuni radi utvrđivanja optimalnih parametara električne mreže i izučavanja u području primjene različitih shema i postrojenja. Takve distributivne električne mreže nose i poseban naslov — gradske distributivne električne mreže. One počinju nesumnjivo na sabirnicama nižeg napona u centru ili centrima napajanja grada električnom energijom. Po takvom pristupu negdje će to biti naponski nivo od 110 kV, a negdje 35 kV, odnosno 20 kV, ovisno o stvarnoj funkciji električne mreže odgovarajućeg naponskog nivoa.

One završavaju na mjestu predaje električne energije potrošačima, a to je mjesto na kojem se vrši obračun potrošnje. Između tog mjesta i mjesta priključaka trošila nalazi se instalacija potrošača. Naročita je osobitost gradskih distributivnih mreža u tome što onaj njezin dio koji se definira kao niskonaponska mreža (TS 10 (20/0,4 kV, mreža 0,4 kV) ima veliku rasprostranjenost, a svoju relativno nisku jediničnu cijenu elemenata nadoknađuje u zbirnim troškovima izgradnje distributivne električne mreže masovnošću tih elemenata, tako da udio u ukupnim troškovima koji otpada na gore definiranu niskonaponsku mrežu može doseći i 45%. S tog stajališta ovaj dio gradske distributivne mreže predstavlja predmet posebnog zanimanja, naročito kod izbora tehno-ekonomskih parametara. Već izborom sheme niskonaponske mreže i njezinih elemenata može se u dobroj mjeri utjecati ne samo na troškove već i na kvalitetu napajanja električnom energijom potrošača, posebno na sigurnost.

Ne gubeći iz vida princip jedinstvenosti gradske distributivne mreže definirane po obimu već prije, izbor tehno-ekonomskih parametara polazi od poznatog načela da je izvedba neke električne mreže najbolja, ako su njezini relativni godišnji troškovi najmanje mogući, odnosno ako je zadovoljen uvjet $T_g = \min$. Raščlanjujući gradsku distributivnu mrežu po elementima, ova se relacija može transformirati u slijedeći oblik:

$$T_g = T_{gt} + T_{gs} + T_{gn} = \min \qquad (1)$$

gdje je:

T_g = ukupni relativni godišnji troškovi gradske distributivne mreže (d/kW, god.)

T_{gt} = relativni godišnji troškovi za TS 10 (20)/0,4 kV

T_{gs} = relativni godišnji troškovi za el. mrežu gornjeg napona (10 odnosno 20 kV)

T_{gn} = relativni godišnji troškovi za el. mrežu niskog napona (0,4 kV)

Ovakav pristup razlaganju gradske distributivne mreže na tri osnovna dijela ima osnovu u stajalištu, da je pri određivanju tehno-ekonomskih parametara mreže osnovno pitanje određiva-

nje optimalne nazivne snage TS 10 (20)/0,4 kV. Polazi se od konstatacije da svaka izmjena broja TS 10 (20)/0,4 kV u većoj ili manjoj mjeri, ali nezanemarivo utječe na izmjenu konfiguracije niskonaponske mreže i time na njezine geometrijske razmjere. Sličan utjecaj, ali u manjoj mjeri, ima izmjena broja tih transformatorskih stanica na mrežu gornjeg napona stanice. Nadalje za jedinstvenost nabrojenih triju osnovnih dijelova gradske distributivne mreže, pri traženju optimalnih parametara, odlučna je međusobna veza izražena režimom tehničkih proračuna. Karakter te veze određen je usvojenom shemom niskonaponske mreže. Spomenuta veza najslabije je izražena, kada je oblik niskonaponske mreže radijalan. Tada se u projektnoj praksi tehnički proračuni mreže gornjeg napona gradske distributivne mreže obavljaju nezavisno o niskonaponskoj mreži. Kod izbora takve sheme ne postoji nikakva rezerva. Nešto jača je veza kod izbora sheme gradske distributivne mreže tzv. poluzamkastog tipa. Ovdje je niskonaponska mreža izvedena u obliku petlje, čime je postignuta rezerva u paralelnom radu transformatora 10 (20)/0,4 kV. Najjače je izražena ova veza kod izbora niskonaponske mreže zamkastog tipa. Rezerva je ovdje osim u stanicama još i u linijama gornjeg i donjeg napona. Prema tome može se slobodno tvrditi da izbor sheme niskonaponske mreže neposredno utječe i na ukupne relativne godišnje troškove cjelokupne gradske distributivne mreže. Definirati, dakle, opravdanost neke od shema niskonaponske mreže prvi je zadatak pri razvoju studiranja i planiranja te mreže. Prva osnova za utvrđivanje opravdanosti izbora određene sheme svakako je klasifikacija potrošača prema potrebnoj sigurnosti za neprekidnost u dobavi el. energije, ali se ne smiju izgubiti iz vida i neki drugi faktori, kao što je, npr., utjecaj sheme mreže na smanjenje posljedica nesimetrije, izazvane tendencijom porasta snaga jednofaznih potrošača. Poznat je npr., blagotvorni utjecaj zamkaste mreže na smanjenje nesimetrija i poboljšanje prilika u mreži niskog napona.

Godišnji troškovi za transformatorske stanice sastavljeni su od dvije komponente troškova proporcionalnih ukupnim investicionim ulaganjima, računajući i one koji nastaju u toku eksploatacije (do roka amortizacije) i troškove godišnjih gubitaka energije. Jednostavnosti radi, što je dozvoljeno za ovo opće razmatranje, uzimamo da prosječni faktor proporcionalnosti p sadrži u sebi sve potrebne elemente za svođenje troškova na prosječne godišnje, pa možemo pisati:

$$B_{gt} = p \cdot C_{it} + B_{et} \tag{3}$$

gdje su:

B_{gt} = godišnji prosječni troškovi za TS
C_{it} = ukupni investicioni troškovi za TS
B_{et} = godišnji trošak na gubitke energije.

Kada se kao odlučujući parametar izmjene investicionih troškova uzima nazivna snaga instaliranog transformatora u transformatorskoj stanici tada se oni mogu na poznati način prikazati kao dio nezavisan o veličini transformatora (C) i dio proporcionalan tome (C), tj. može se pisati:

$$C_{it} = C'_{it} + C''_{it} \cdot S_T,$$

gdje je S_T = nazivna snaga transformatora.

Prvi sumand iz relacije (3) ovisi o tipu izabrane stanice s obzirom na građevne osobine i razvodno postrojenje niskog i visokog napona, dok je faktor C''_{it}, kao što se vidi iz crteža na slici 1. tangens naklona linije C_{it} i kao takav se određuje iz dijagrama sastavljenog na osnovi proračuna ukupnih troškova ovisno o nizu nazivnih snaga transformatora.

Analogno se mogu prikazati troškovi gubitaka energije u transformatoru. Pretpostavlja se da gubitke snage u transformatoru, ovisno o njegovoj snazi, možemo predstaviti i pravcima u dijagramu, kako je to i prikazano na slici 1. tj.:

$$\begin{aligned} P_o &= P'_o + P''_o \cdot S_T \\ P_k &= P'_k + P''_k \cdot S_T, \end{aligned} \tag{4}$$

gdje su P_o odgovarajuće komponente gubitaka praznog hoda a P_k kratkog spoja transformatora. Odatle komponente gubitaka energije iznose:

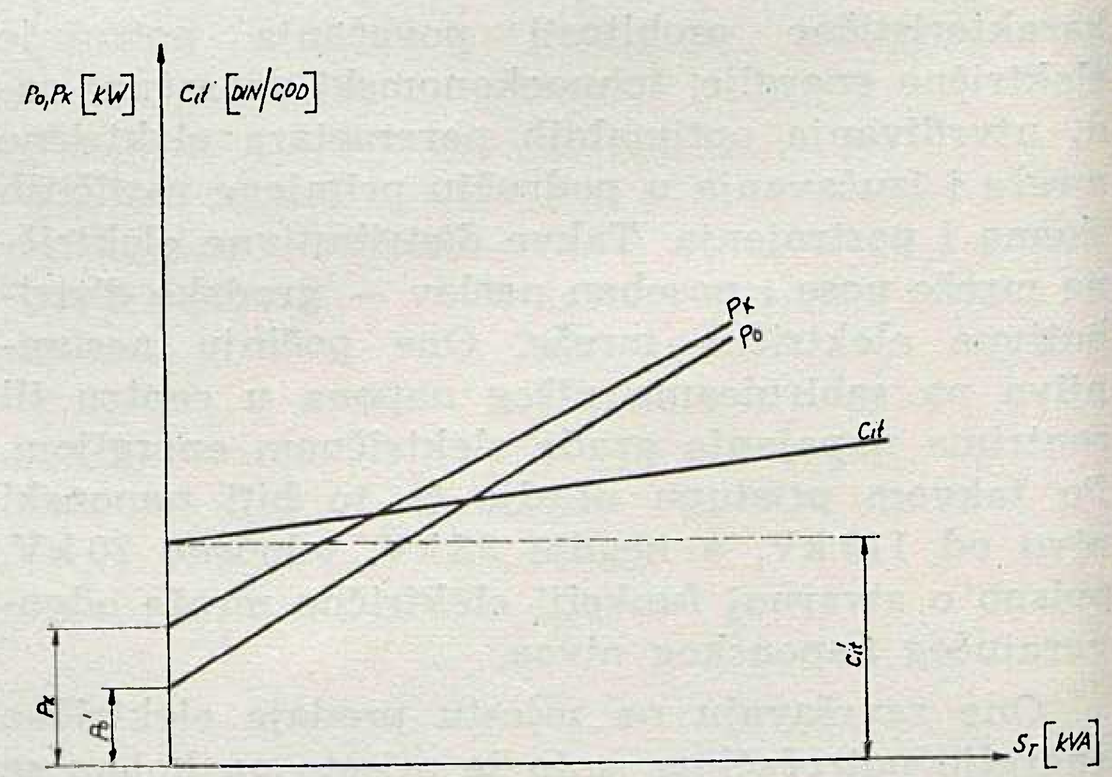
$$\begin{aligned} B_{eto} &= (P'_o + P''_o \cdot S_T) \cdot t_u \cdot c_e \\ B_{etk} &= (P'_k + P''_k \cdot S_T) \cdot t_g \cdot c_e . \end{aligned} \tag{5}$$

U relaciji (5)

t_u — je vrijeme uključenja (8760 do 8600 sati)
t_g — je vrijeme gubitaka, a
c_e — je cijena električne energije.

Uvrste li se relacije (3) i (5) u relaciju (2) i izvede sređivanje po komponentama zavisnim, odnosno nezavisnim o snazi transformatora dobiva se relacija:

$$\begin{aligned} B_{gt} = p\, C'_{it} &+ P'_o t_u c_e + P''_k t_g c_e + \\ &+ (p\, C''_{it} + P''_o t_u c_e + P''_o t_g c_e \cdot S_T). \end{aligned} \tag{6}$$



Slika 1

Budući da je očito, da uz određene polazne pozicije prvi sumand i koeficijent drugog predstavljaju konstante, može se pisati:

$$B_{gt} = A_1 + A_2 P_T, \qquad (7)$$

pri čemu je, radi pojednostavljenja, uzeto da je $\cos\varphi = 1$ i da je u normalnom režimu rada opterećenje transformatora u predjelu njegove nazivne snage, pa je u relaciju ušlo opterećenje transformatora (P_T).

Približna vrijednost srednje duljine električne mreže gornjeg napona, po jednoj TS uzeta je po relaciji:

$$L_S = K_1 \frac{\sqrt{P_T}}{\sqrt[4]{\sigma}}, \qquad (8)$$

gdje su: K_1 — faktor oblika mreže, σ — gustoća opterećenja.

Investiciona cijena za izvedbu te mreže po jednoj TS bila bi tada:

$$C_{is} = c_i \cdot L_s, \qquad (9)$$

gdje je c_i — specifična cijena mreže gornjeg napona po jedinici duljine, a prosječni godišnji troškovi:

$$B_s = pC_{is} = pc_i K_1 \frac{\sqrt{P_T}}{\sqrt[4]{\sigma}} = A_3 \frac{\sqrt{P_T}}{\sqrt[4]{\sigma}}. \qquad (10)$$

Gubici energije u tom dijelu mreže, kad je ispravno dimenzionirana i kad se radi o proračunima općeg karaktera, mogu se u odnosu na ukupne troškove zanemariti jer su u pravilu dovoljno maleni. Tada su troškovi po relaciji (10) ukupni godišnji troškovi mreže gornjeg napona TS. Naravno pri tome je u relaciji (10) $A_3 = p \cdot c_i \cdot K_1$.

Niskonaponska distributivna gradska mreža se u pravilu izvodi kabelski. Godišnji troškovi za takvu mrežu mogu se podijeliti u dio koji je ovisan o ukupnim investicionim ulaganjima (B_{iN}) i dio koji predstavlja godišnji gubitak energije (B_{eN}).

$$B_N = B_{iN} + B_{eN}. \qquad (11)$$

Investiciona ulaganja mogu se nadalje podijeliti u dio neovisan o izboru presjeka kabela (C'_{iN}) i dio proporcionalan tom presjeku (C''_{iN}) tj. može se pisati:

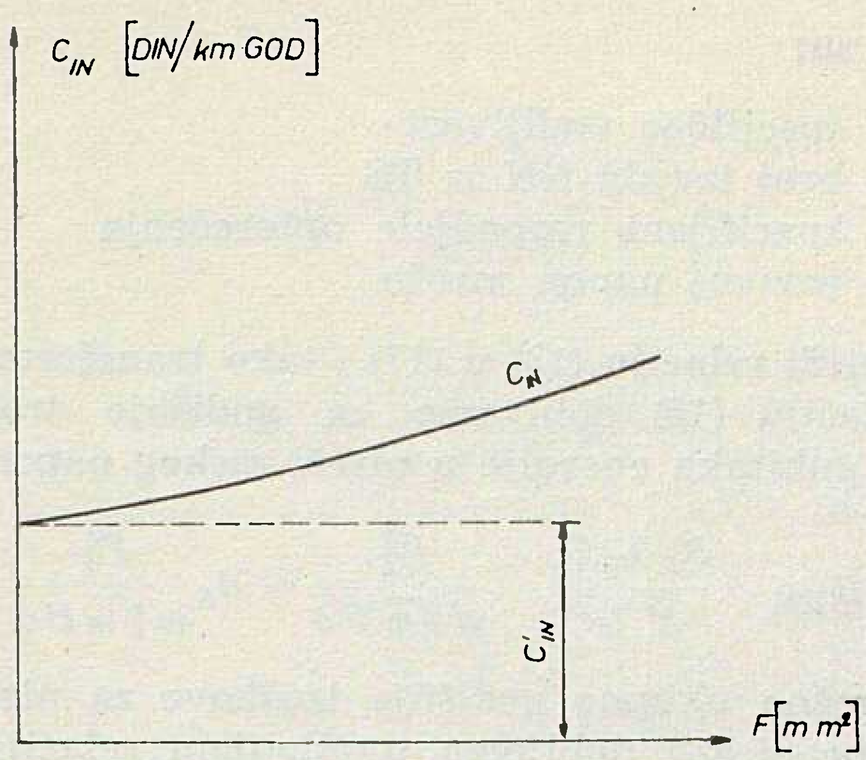
$$C_{iN} = C'_{iN} + C''_{iN} \cdot F, \qquad (12)$$

gdje je:

C_{iN} — ukupna investiciona ulaganja, po jedinici duljine
F — presjek kabela.

Analogno postupku za TS može se i za kabel izračunati C'_{iN} i C''_{iN}.

Tok i rezultati se vide iz sl. 2. Uz dovoljnu točnost može se za ocjenu ovisnosti između elemenata distributivne mreže uzeti prosječna duljina niskonaponske mreže po jednoj TS (L_N) prema relaciji:



Slika 2

$$L_N = K_2 \frac{P_T \sqrt{n}}{\sigma}, \qquad (13)$$

gdje je:

K_2 — faktor oblika mreže
m — broj niskonaponskih izvoda u TS
σ — plošna gustoća opterećenja

Uvrštenjem u relaciju (12) dobivamo konačno za ukupna investiciona ulaganja u NN distributivnu mrežu po jednoj TS:

$$C_{iN} = (C'_{iN} + C''_{iN} F) \cdot K_2 \frac{P_T \sqrt{m}}{\sigma} \qquad (14)$$

a uz upotrebu poznatog faktora p i iznos prosječnih godišnjih troškova za investiciona ulaganja:

$$B_{iN} = p \cdot C_{iN} = (p C'_{iN} K_2 + p C''_{iN} K_2 F) \cdot$$
$$\cdot \frac{P_T \sqrt{m}}{\sigma} = (A_4 + A_5 F) \frac{P_T \sqrt{m}}{\sigma}. \qquad (15)$$

Očito je da vrijedi:

$$A_4 = p \cdot C'_{iN} \cdot K_2 \text{ i } A_5 = p \cdot C''_{iN} \cdot K_2.$$

Godišnji troškovi gubitaka energije iznose:

$$B_{EN} = P_g \cdot T_g \cdot C_e \qquad (16)$$

gdje je:

P_g — gubitak snage u vodovima
T_g — vrijeme gubitaka
C_e — cijena električne energije

Pod pretpostavkom da na svaki izvod iz stanice otpada jednaka duljina voda i podjednako opterećenje, može se pisati za gubitak snage u vodovima niskonaponske mreže:

$$P_g = \frac{P_T^2 \cdot L_N}{\varkappa m^2 k^2 U^2 F} \qquad (17)$$

Gdje su:

$\varkappa$ — specifična vodljivost
m — broj izvoda NN iz TS
k — koecifijent raspodjele opterećenja
U — nazivni napon mreže.

Uvrstivši relaciju (13) u (17) i tako transformiranu u relaciju (16) dobivamo za godišnje troškove zbog gubitaka energije u mreži niskog napona:

$$B_{EN} = \frac{K_2 T_g C_e}{k^2 U^2} \cdot \frac{P_T^3}{m \sqrt{m} F \sigma} = A_6 \frac{P_T^3}{m \sqrt{m} F \sigma} \qquad (18)$$

i konačno ukupne godišnje troškove za niskonaponsku mrežu dobijemo uvrštenjem relacije (15) i (18) u relaciju (11):

$$B_N = A_4 \frac{P_T \sqrt{m}}{\sigma} + A_5 \frac{F P_T \sqrt{m}}{\sigma} + A_6 \frac{P_T^3}{m \sqrt{m} F \sigma}. \qquad (19)$$

Da bi dobili relativne godišnje troškove, što znači godišnje troškove svedene na jedinicu predane snage, možemo s obzirom na pretpostavku dozvoljenu za ovo opće razmatranje da sve stanice imaju jednako opterećenje, zbir godišnjih troškova pojedinih elemenata gradske distributivne mreže podijeliti opterećenjem TS tj.:

$$T_g = \frac{\Sigma B}{P_T} = \frac{A_1}{P_T} + A_2 + A_3 \frac{1}{\sqrt{P_T} \sqrt[4]{\sigma}} +$$

$$+ A_4 \frac{\sqrt{m}}{\sigma} + A_5 \frac{F \sqrt{m}}{\sigma} + A_6 \frac{P_T^2}{m \sqrt{m} \cdot F \cdot \sigma} \qquad (20)$$

Da bismo dobili rješenje kod kojeg su $T_g = \min$ moramo izvršiti parcijalnu derivaciju izraza (20) po nezavisnim varijablama P_T i F i izjednačiti ih s nulom:

$$\frac{\partial T_g}{\partial F} = A_5 \frac{P_T \sqrt{m}}{\tau} - A_6 \frac{P_T^2}{m \sqrt{m} F^2 \sigma} = 0 \qquad (21)$$

i

$$\frac{\partial T_g}{\partial P_T} = - A_1 \frac{1}{P_T} n - A_3 \frac{1}{2 P_T \sqrt{P_T} \sqrt[4]{\sigma}} + A_6 \frac{2 P_T}{m \sqrt{m} F \sigma} = 0. \qquad (22)$$

Iz izraza (21) dobijemo sređenjem optimalni presjek niskonaponske mreže uz uvjet da smo izabrali optimalno opterećenje za TS:

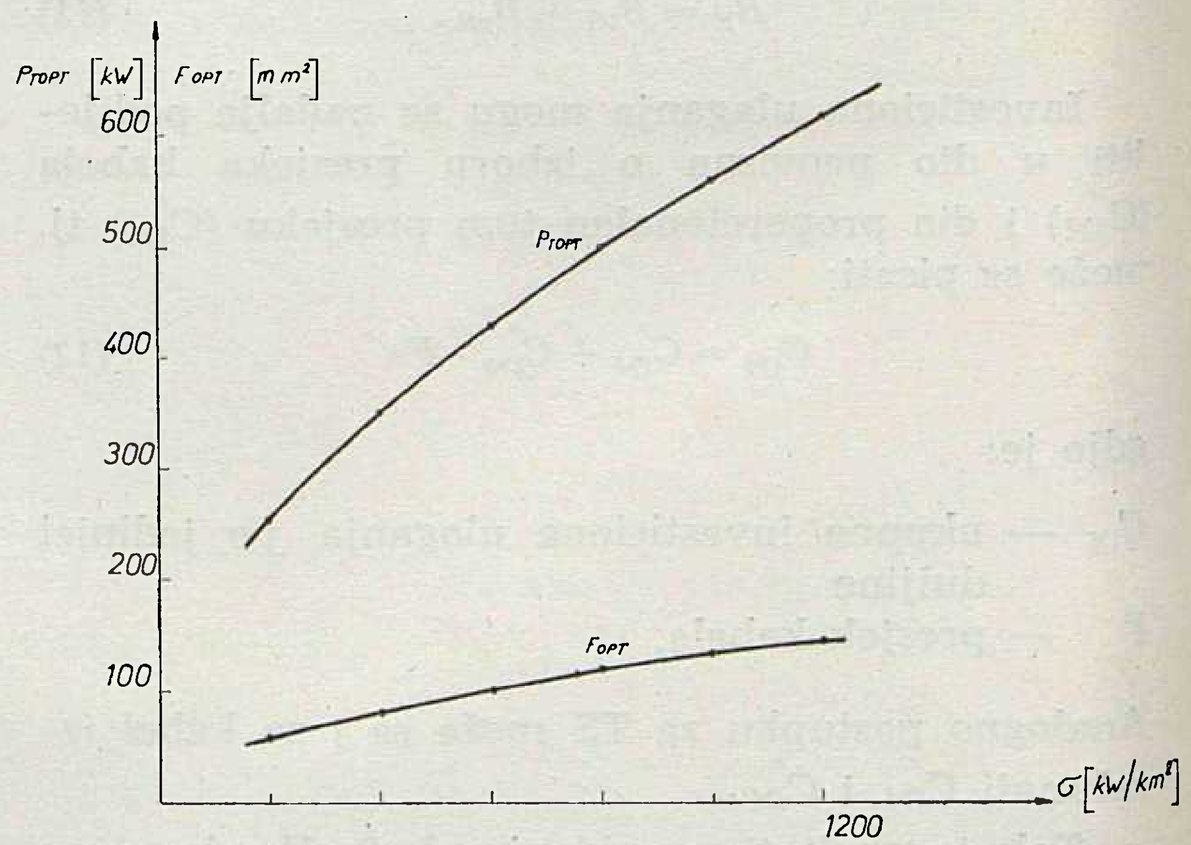
$$F_{OPT} = \frac{P_{TOPT}}{m} \cdot \sqrt{\frac{A_6}{A_5}}, \qquad (23)$$

a uvršenjem u (21) dobivamo konačno izraz za određivanje optimalnog opterećenja transformatorske stanice:

$$A_1 + A_3 \frac{\sqrt{P_{TOPT}}}{2 \sqrt[4]{\sigma}} = \frac{2 P_{TOPT}^2}{\sigma} \sqrt{\frac{A_5 A_6}{m}}. \qquad (24)$$

Izrazi (23) i (24) konačni su rezultati opisanog pristupa pri planiranju gradskih distributivnih mreža. Ne treba ih shvatiti kao relacije u koje valja jednostavno uvrstiti neke, iz priručnika uzete, vrijednosti i rješenje je tu. U te izraze su ugrađene mnoge pretpostavke i pojednostavljenja čiju opravdanost u rješavanju konkretne mreže valja od slučaja do slučaja kritički ocijeniti i korigirati. Međutim, njihova provjera na već izvedenim mrežama potvrđuje da se ti izrazi mogu upotrijebiti za utvrđivanje zakonomjernosti koje vladaju pri određivanju tehno-ekonomskih parametara. Kako je oblik izraza (24) takav da P_{TOPT} nije moguće direktno odrediti, upotrebljavaju se za to grafička rješenja ili se primjenjuju neke metode približnog računanja. U ovom drugom slučaju najbolje rezultate je pokazala primjena razvijanja funkcije u Taylorov red s istovremenom primjenom metode iteracije. Ovdje se neće pokazati primjena tih metoda, ali se želi ukazati na dobivene rezultate.

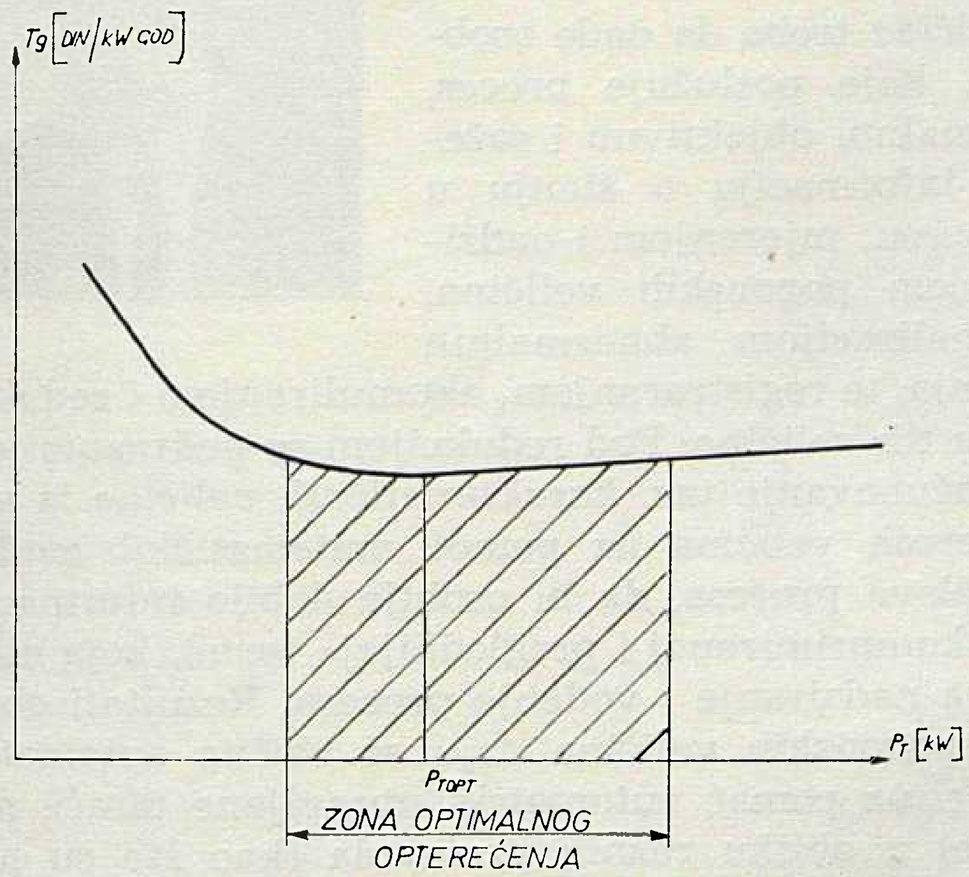
U prvom je redu interesantno utvrditi karakter ovisnosti P_{TOPT} i F_{OPT} o plošnoj gustoći opterećenja. Rezultat je prikazan na sl. 3. Što je veća gustoća opterećenja, optimalna snaga opterećenja transformatorske stanice je veća, kao i optimalni presjek kabela niskonaponske mreže. Kako se transformatori po snazi i kabeli po presjeku mogu odabrati samo iz odgovarajućih diskretnih standardiziranih nizova i kako u ogromnoj većini slučajeva moraju u račune biti uvedene vrijednosti podložne subjektivnoj ocjeni posebno je interesantno utvrditi kakav utjecaj imaju na veličinu ukupnih troškova gradske distributivne mreže odstupanja od optimalnih parametara. Na slici 4. vidljiv je utjecaj odstupanja opterećenja transformatorske stanice od vrijednosti P_{TOPT} uz izbor optimalnog presjeka kabela NN mreže (F_{OPT}). Blaga konkavnost u predjelu minimuma krivulje relativnih godišnjih troškova prikazane kao funkcije opterećenja transformatorske stanice, pokazuje kako se zapravo radi o cijeloj zoni rješenja koja se mogu smatrati optimalnim. Jednaki rezultat dobivamo i za krivulju relativnih godišnjih troškova u ovisnosti o odabranom presjeku kabela niskonaponske mreže uz izbor P_{TOPT}. Taj je slučaj prikazan u sl. 5. Karakteristično je, međutim, da odstupanja pri izboru presjeka u pravcu



Slika 3

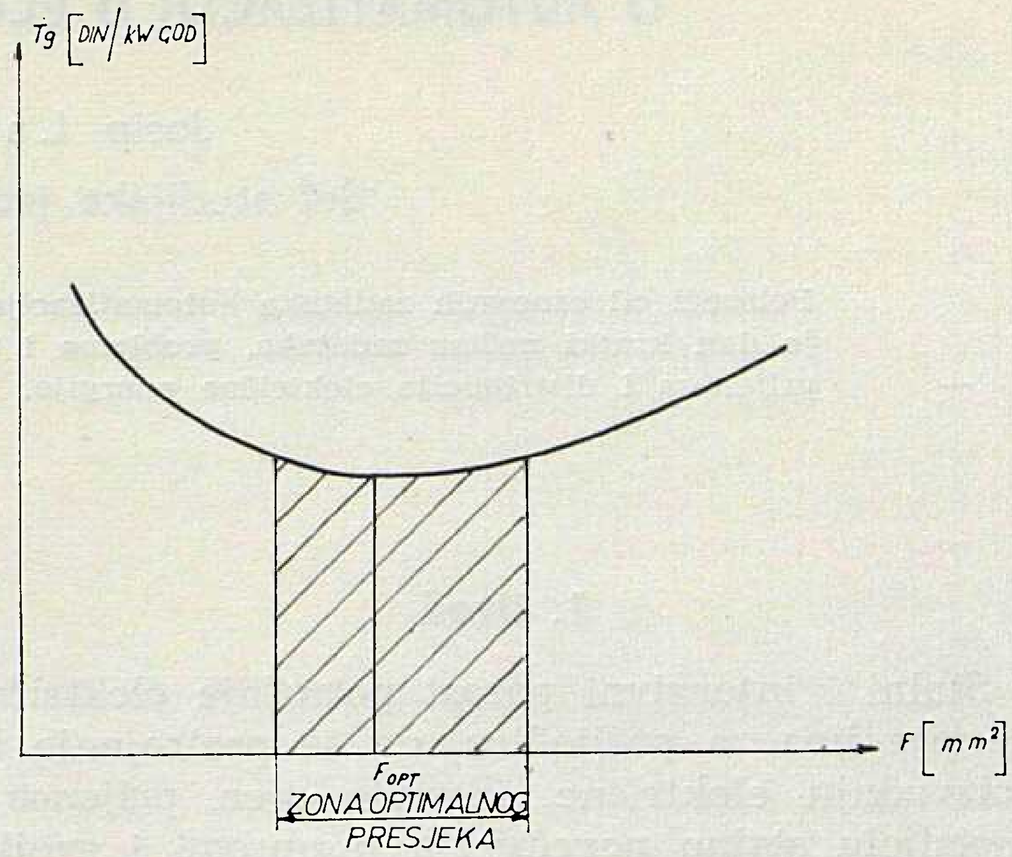
njihovog povećanja od najboljeg rješenja, ima manji utjecaj nego jednako odstupanje u pravcu smanjivanja presjeka. Ovakva karakterističnost još je očitija kod izbora opterećenja transformatorske stanice.

Što se tiče konstanti A_1 i A_3 potrebno je ukazati na to, da je u njih ugrađena, kao bitni dio, cijena transformatorske stanice, odnosno mreže gornjeg napona. Porastom njihove vrijednosti raste i P_{TOPT}. Međutim, valja upozoriti da faktor A_3 ne uzima u obzir primijenjeni napon. Za točniji račun konkretne mreže trebat će to uzeti u u obzir. Drugačije će biti sa faktorima A_5 i A_6. Što je njihova vrijednost veća P_{TOPT} je manji.



Slika 4

Odstupanja od najboljih tehno-ekonomskih parametara niskonaponske mreže prema izloženoj metodologiji ne utječu previše na relativne godišnje troškove, no ne valja izgubiti iz vida da je cilj te metodologije upravo određivanje zona optimalnosti. Da bi se te zone mogle odrediti potrebno je prethodno definirati pristup niskonaponskoj mreži sa stajališta dobave el. energije propisane ili ugovorene kvalitete, posebno u po-



Slika 5

gledu sigurnosti napajanja, standardizacije elemenata u skladu sa zatečenim stanjem, te osiguranja kontinuiteta razvoja cijele gradske distributivne mreže. Nedefiniranost navedenog pristupa, kao što pokazuju iskustva, izaziva kasnije dosta nepotrebnog truda i troškova.

Uključivši neophodnost da svako rješenje gradske distributivne mreže mora najprije udovoljavati tehničkim uvjetima, moglo bi se na osnovi izloženog zaključiti, da je pri planiranju gradskih distributivnih mreža potrebno elementima niskonaponskog dijela osigurati nešto ozbiljniji tretman, a da je pri njihovom projektiranju potrebno kontrolirati optimalnost projektnog rješenja opisanom metodologijom.

Literatura:

1. Kozlov V. A.: *Gorodskie raspredeliteljnie seti.* Izd. »Enegija« 1971, Leningrad.
2. —: *Materijali sa savjetovanja o tipizaciji električnih niskonaponskih distributivnih mreža,* Primošten maja 1972. godine.

Naslov pisca: Vladimir Hartl, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

O AUTOMATIZACIJI U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

Josip Lakota, dipl. ing.
Šef studijske jedinice za automatizaciju

Polazeći od osnovnih zadataka automatizacije procesa i preduvjeta za njeno uspješno uvođenje, u radu je dan kratki prikaz zadataka, problema i sredstava automatizacije specifičnih za područja proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije.

DK 621.31-52

1. Uvod

Stalni i intenzivni porast potrošnje električne energije ima za posljedicu, da se postrojenja za proizvodnju električne energije, njen prijenos i raspodjelu stalno povećavaju u opremi i svojim geografskim dimenzijama i postaju složenija po funkcionalnim ovisnostima i zahtjevima za pogonsko vođenje. S jedne strane radi se o porastu jediničnih snaga proizvodnih agregata zbog manjih specifičnih troškova po proizvedenom kWh, što je naročito izraženo kod termoelektrana. S druge strane, niz ranije autonomnih manjih elektroenergetskih sistema povezan je danas u jedinstvenu cjelinu, koja se prostire i preko više zemalja. Time se dobivaju prednosti kao što su sigurnije napajanje, mogućnosti međusobne ispomoći i povećana ekonomičnost planiranim radom energetskih izvora. Stoga je potrebno posluživati i voditi sve veća i kompleksnija pojedinačna postrojenja, kao i više njih, u jednu funkcionalnu cjelinu povezanih postrojenja, geografski često veoma udaljenih. I dok broj pogonskih veličina u sistemu raste više manje linearno s povećanjem sistema, dotle broj njihovih međusobnih funkcionalnih zavisnosti raste mnogo brže. Posljedica su često vrlo složeni problemi upravljanja, koje čovjek sam, sa svojim ograničenim mogućnostima pamćenja, shvaćanja i snalaženja, bez pomoći uređaja automatizacije i visokog organiziranih sistema upravljanja, ne može više uopće, ili ne može dovoljno brzo i pouzdano rješavati.

2. Osnovni zadaci automatizacije procesa

Zadaća je automatizacije nekog procesa, registriranjem stanja u procesu u većoj ili manjoj mjeri, utjecati na tok događaja u tom procesu. Pri tome se misli na direktno mjerenje veličina u procesu i njihovo neposredno korištenje od strane uređaja za automatizaciju sa ciljem, bilo:

— davanja aktualne informacije o procesu radi njegovog nadziranja (»on line — open loop«),* ili

— vremenski simultanog (»real time«) direktnog zahvata u proces (»on line — closed loop«) radi korekcije stanja u procesu.

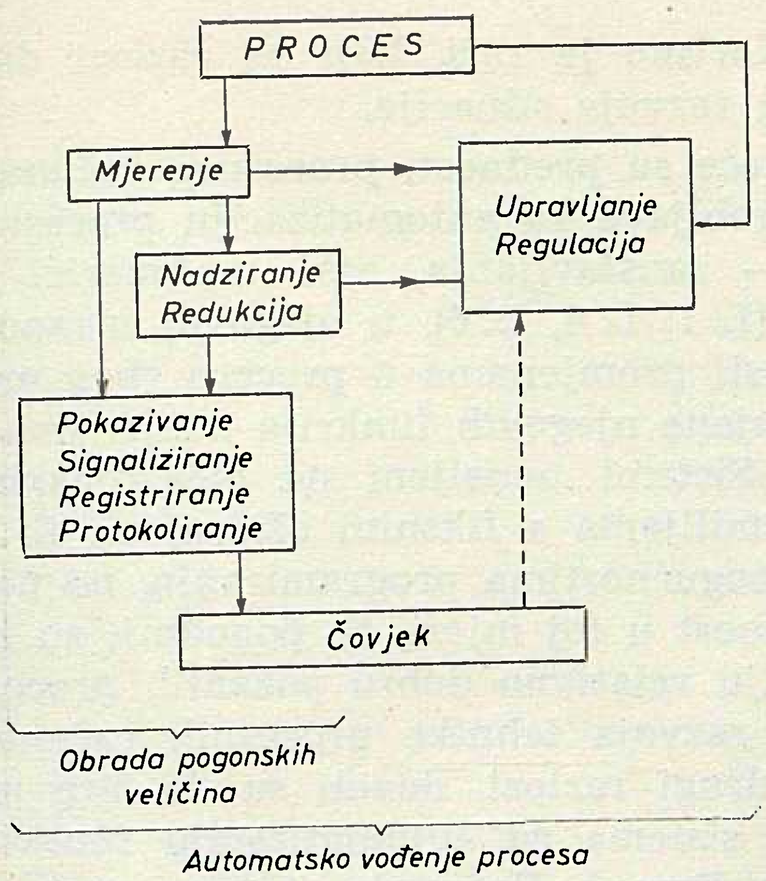
U prvom slučaju govorimo o obradi mjernih ili pogonskih veličina, dok se u drugom slučaju radi o automatskom vođenju procesa (sl. 1).

2.1. *Obrada pogonskih veličina* treba da dade osoblju, koje poslužuje proces, aktualnu, objektivnu i sažetu informaciju o stanju u procesu: mjerenjem i nadziranjem pogonskih veličina, signalizacijom abnormalnih stanja, te registraranjem, akumuliranjem i redukcijom tih veličina. Pod redukcijom se podrazumijeva izračunavanje tzv. *karakterističnih veličina* iz više mjernih veličina uz pomoć matematičkih modela dijelova procesa, da bi osoblje dobilo informaciju u »komprimiranoj i preglednijoj« formi, koja olakšava nadziranje i vođenje procesa. Rezultati obrade pogonskih veličina daju se obično automatski (npr. uz pomoć automatski upravljane pisaće mašine) u obliku raznih protokola (kao što su npr. pogonski dnevnik, protokol smetnji, protokol toka smetnji, protokol preklapanja i slično), ili na zahtjev (npr. prikaz stanja u odabranom dijelu procesa na grafičkom video-pokazivaču), ili se akumuliraju, npr. radi kasnije statističke obrade, planiranja, studija procesa i slično (npr. na magnetskoj traci).

2.2. Kod *automatskog vođenja procesa* uređaji automatizacije vezani su s procesom ne samo na strani mjerenja procesnih veličina, već zahvaćaju direktno (bez pomoći čovjeka) u sam proces radi korekcije stanja u procesu ((sl. 1). Ovakvo vođenje procesa, isključivši utjecaj čovjeka na njegov tok, postavlja najveće zahtjeve na pouzdanost uređaja i koncepcija automatizacije i predstavlja njezin najviši stupanj.

Obrada pogonskih veličina našla je široku primjenu u elektroenergetskom sistemu, kako u elektranama, tako i u dispečerskim centrima svih nivoa. Usporedno s ovom obradom automatsko vođenje procesa intenzivno se uvodi za procese pokretanja i zaustavljanja agregata u elektranama, kao i za neke od zadataka centralnog vođenja pogona velikih mreža. Cilj ovih napora je manje u smanjenju broja pogonskog osoblja, a više u ekonomičnijem vođenju pogona i povećanju sigurnosti i raspoloživosti postrojenja (odnos stvarnog vremena u pogonu prema mogućem vremenu pogona). Davanjem bolje informacije pogonskom osoblju o stanju u postrojenju i njihovim rasterećenjem od rutinskih poslova smanjuje se vjero-

* U članku će se, gdje je to potrebno, dati široko udomaćeni engleski nazivi.



Sl. 1 Osnovni zadaci automatizacije procesa

jatnost pogrešnih odluka, dok se mogućnost pokvarova u postrojenju smanjuje i boljim nadziranjem naprezanja u postrojenju. Svladavanje složenih problema upravljanja npr. u današnjim velikim termoelektranama ili pri vođenju pogona velikih mreža, danas je nezamislivo bez sredstava automatizacije.

3. Preduvjeti za uspješnu automatizaciju

Bez obzira na to, o kakvom se procesu radi, uspješna automatizacija zahtijeva da se ispune preduvjeti, kao što su:

3.1. *Stvarna, ekonomski i tehnički opravdana potreba za automatizacijom*

3.2. *Temeljito poznavanje procesa.* Složeni proces neophodno je rasčlaniti na pojedine, funkcionalno jasno ograničene potprocese (funkcionalne grupe). Neophodna je temeljita analiza pogonskih uvjeta, mogućih informacija, zadataka vođenja pogona, vremenskog odvijanja radnji i tehnoloških odnosa u pojedinim potprocesima, kao i analiza njihovih međusobnih djelovanja i ovisnosti. Npr. u klasičnoj termoelektrani postoji oko tridesetak ovakvih potprocesa (L. 1). Veoma je korisno već od samog osnivanja novog postrojenja znati koji stupanj automatizacije se želi i prilagoditi joj proces, tj. tako ga funkcionalno rasčlaniti i organizirati, da se dade pregledno i sigurno automatizirati.

3.3. *Dobro promišljena koncepcija.* Moderni sistemi vođenja pogona u elektranama temelje se na strogo hijerarhijskoj strukturi više upravljačkih nivoa, počevši od najnižeg nivoa pojedinih pogona (npr. pumpa), nivoa potprocesa ili funkcionalnih grupa (npr. sistem opskrbe pojnom vodom), do najvišeg hijerarhijskog nivoa procesa (L. 1, L. 3). Kod automatizacije čitavih elektroenergetskih sistema hijerarhija je zasnovana na različitim nivoima vođenja pogona (nivoi: agregata, elektrana i transformatorskih stanica, distributivnih i regionalnih dispečerskih centara, s centralnim dispečerskim centrom na vrhu hijerarhijske ljestvice). Pri tom koncepciju velikim dijelom određuju faktori kao što su: organizaciona struktura sistema, konfiguracija mreže, sistem raspoloživih veza za prijenos informacija, zahtjevi za pouzdanost, i slično. Kriteriji sigurnosti vođenja pogona zahtijevaju, da se što veći broj funkcija obavi na što je moguće nižem hijerarhijskom nivou, dok s druge strane pomanjkanje informacija i ekonomski razlozi govore u prilog delegiranja većeg broja funkcija na viši hijerarhijski nivo.

U svim koncepcijama automatizacije zaštita postrojenja treba da zadrži svoju autonomiju, tj. bilo bi neispravno ispreplitati funkcije zaštite s drugim funkcijama, kao što su npr. one upravljanja ili regulacije.

3.4. Korisno je kod rješavanja problema automatizacije, gdje god je to moguće, ići naprijed *»korak po korak«*, počevši s manjim problemima. Logičan put trebao bi voditi preko lokalne automatike i zadataka obrade pogonskih veličina, do automatskog vođenja najvažnijih dijelova procesa. Cilj mora biti, da se uz minimum troškova dođe do ekonomski opravdanog stupnja automatizacije procesa. Ovakav pristup rješavanju problema automatizacije omogućuje i pogonskom osoblju, da postupno upozna sve složeniju opremu i njome uvjetovane promjene u vođenju procesa.

3.5. *Sigurna sredstva za automatizaciju i njihovo temeljito poznavanje.* Visoka sigurnost je potrebna počevši od kontaktnih davača do najsloženijih mjernih pretvarača, relejnih ili elektronskih sklopova za realizaciju kombinatornih ili sekventnih upravljanja, različitih vrsti regulatora, postavnih članova, itd. Posebno visoki zahtjevi za sigurnošću postavljaju se na sisteme za daljinski prijenos podataka, signala i komandi. Općenito su takvi zahtjevi veći kod zadataka automatskog vođenja procesa nego kod obrade pogonskih veličina. Upotreba procesnih računala zahtijeva najsigurnije aparaturno rješenje (»hardware«) samog računala, uređaja za vezu računala s procesom (»computer interface«, kao npr. ulazno-izlaznih jedinica, analogno-digitalnih i digitalno-analognih pretvarača, multipleksera, timera, . . .), kao i periferije računala za direktno davanje podataka računalu ili njihovo izdavanje u pogodnoj formi (čitači kartica ili bušene trake, uređaji za direktno davanje računalu digitalnih ili analognih vrijednosti, bušači kartica ili trake, razni pisači, uređaji za direktno izdavanje digitalnih ili analognih vrijednosti, razne vrste displeja, odnosno video-pokazivača, itd.). Ništa manje važan nije sistem programa (»software«). Uz tzv. temeljni ili organizacioni sistem programa (koji treba da imaju što je moguće manja vremena izvođenja, što je moguće manje potrebe računskog kapaciteta, koji treba da omogućavaju kontinuirani tok ulazno-izlaznih operacija, točnu kontrolu vremenskog odvijanja, direktno programiranje internih i eksternih prekida odvijanja programa, kao i lagano

programiranje prioriteta), potrebno je za rješavanje specifičnih zadataka određene primjene razviti dodatni sistem programa. Hardware i software trebaju osim toga biti modularno koncipirani, da bi omogućili lagano proširenje i prilagodljivost.

4. Automatizacija u termoelektranama

Karakterističan za termoelektranu je relativno složen tehnološki proces. Prije spomenuti princip rasčlanjivanja ovog složenog procesa na pojedine, jasno ograničene potprocese (funkcionalne grupe) nalazi ovdje punu primjenu (L. 3).

Isključivši zaštitu mogu se razlikovati tri osnovne grupe automatike u termoelektrani (L. 1):

— za obradu i redukciju pogonskih veličina
— za upravljanje funkcionalnim grupama
— sistem vođenja bloka turbina-kotao.

Kod posljednjih dviju grupa susreće se danas u velikoj mjeri automatsko vođenje procesa.

4.1. *Zadaci obrade i redukcije pogonskih veličina* kratko opisani pod 2.1 rješavaju se danas gotovo isključivo upotrebom procesnih računala. Samo za manje složene zadatke te vrste, npr. radi nadziranja pogona (npr. signalizacija prekoračenja raznih pogonskih veličina kao temperature, tlaka, struje itd., kao i njihovo registriranje), ili za kronološki ispravno registriranje brzih događaja prilikom smetnji, razvijeni su specifični uređaji na osnovi elektronskih logičkih sklopova, bez primjene računala. Velika prednost računala za rješavanje ovih zadataka leži u mogućnosti obrade velikih količina podataka, kao i mogućnosti izračunavanja karakterističnih veličina iz više mjerenih veličina. Ove veličine služe u termoelektranama, prije svega, za ekonomsko praćenje pogona (stupanj djelovanja ili druge vodeće veličine za optimalno vođenje pogona). Kod nuklearnih elektrana se izračunava npr. trošenje gorivih elemenata reaktora i njihova nova svrsishodna raspodjela.

4.2. *Upravljanje funkcionalnim grupama* sadrži automatiku pokretanja i zaustavljanja funkcionalnih grupa, a time i čitavog agregata, uključujući uređaje za nadziranje stanja i vremensko nadziranje odvijanja radnji, sa signalizacijom, zatim za automatsko prekapčanje na rezervu za slučaj kvara i slično. Ovakvo upravljanje (koje se realizira prema prije spomenutoj hijerarhijskoj strukturi) po prirodi stvari je slijednog (sekventnog) karaktera, to jest odvija se korak po korak, uz stalno praćenje stanja u procesu i ispitivanje uvjeta za prijelaz na slijedeći korak. Za te zadatke danas su u postrojenjima općenito u upotrebi *ili sistemi koji se temelje na, za industrijsku upotrebu razvijenim, elektronskim logičkim familijama* (s fiksnim ožičenjem ili s ograničenim mogućnostima programiranja) u kombinaciji s uglavnom analognim regulatorima, ili pak *procesno računalo* u kombinaciji s takvim regulatorima. Korisno je reći, koji su razlozi doveli do ovakvog razvoja situacije.

Najveće su prednosti procesnog računala, koje se upotrebljava za automatizaciju procesa pokretanja — zaustavljanja, više u Americi nego u Evropi (L. 1, L. 4, L. 6), u njegovoj laganoj prilagodljivosti promjenama u procesu zbog mogućnosti promjene njegovih funkcija izmjenama u softwareu. Sistemi temeljeni na elektronskim logičkim familijama s fiksnim ožičenjem, ili ograničenim mogućnostima programiranja, ne posjeduju fleksibilnost u toj mjeri, tj. pogodniji su za automatizaciju relativno dobro poznatih procesa. Niži stupanj razvoja tehnike procesnih računala, kao i neki drugi razlozi, doveli su do šire upotrebe ovakvih sistema za automatizaciju funkcionalnih grupa u Evropi. Računalo, naime, može primati mjerne vrijednosti iz procesa samo ciklički, tj. serijski, jednu iza druge, a isto tako i obrađivati informacije i izvršavati zahvate u proces. Zahvat u proces bit će normalno moguć tek nakon završetka ciklusa uzimanja svih mjernih vrijednosti (tj. ne samo informacija neophodnih za taj zahvat), tek kad potrebna obrada informacija i taj zahvat »dođu na red«. Vrijeme reakcije skraćuje se po potrebi upotrebom prekida izvršenja jednog zadatka pri nastupu zadatka višeg prioriteta. Problemi prioriteta — tj. koji zadatak rješavati prije, pogotovo pri nastupu kritičnih stanja u postrojenju — mogu biti, unatoč vrlo velike brzine rada računala, veliki, pogotovo ukoliko je broj zadataka, što ih računalo mora izvršiti, velik. Taj problem kod sistema realiziranih uz pomoć elemenata elektronskih logičkih familija ne postoji. Tamo se prijem informacija iz procesa obavlja paralelno, a isto tako se paralelno obavlja prerada tih informacija i zahvati u postrojenje. (Radi se, da tako kažemo, o nizu malih računala, realiziranih iz elemenata neke elektronske logičke familije, s veoma jednostavnom konfiguracijom za samo jednu, točna određenu i ograničenu funkciju). Pojedini mjerni i ostali signali trajno su priključeni, za razliku od procesnog računala, koje uzima ove vrijednosti jednu iza druge kratkovremeno. Velika brzina kojom računalo uzima informacije iz procesa postavlja veće zahtjeve kvaliteti mjernih signala. Zato sistemi s procesnim računalom općenito zahtijevaju da davači signala budu s manjim dozvoljenim nivoom šuma u korisnom signalu, i veću pažnju pri vođenju signala i njegovoj zaštiti od štetnih utjecaja iz postrojenja (specijalne i relativno skupe mjere pri polaganju i vođenju mjernih i signalnih kabela, izvedbe uzemljenja, galvansko odjeljivanje ulaza, i slično).

Nadalje je važna pogonska sigurnost. Upravljanja upotrebom elemenata elektronskih logičkih familija izvode se, što se tiče funkcija, decentralizirano. Kod računala se naprotiv vrlo veliki broj funkcija za niz krugova u postrojenju obavlja u jednoj centralnoj jedinici ciklički. Pogreška u jednom elementu centralne jedinice računala dovodi do ispada svih ovih funkcija, naprotiv vjerojatnost da ispad jednog elementa u prvom slu-

čaju učini cijelu automatiku neupotrebljivom, je znatno manja. S druge pak strane, računalo postaje u pogledu kvarova u hardwareu, u odnosu na sisteme s upotrebom industrijskih elektronskih logičkih familija, sve pouzdanije a osim toga i jeftinije, jer može koristiti u daleko većoj mjeri pouzdaniju i jeftiniju poluvodičku tehniku, tzv. visoke integracije (LSI, »large scale integration«).

Kako je spomenuto, procesno računalo se upotrebljava danas u elektranama u kombinaciji s uglavno analognim regulatorima. Pri tome ono većinom služi samo za vođenje tih regulatora usklađivanjem zadanih vrijednosti regulacionih veličina s potrebama procesa, a manje za promjenu zakona regulacije. Postavlja se pitanje svrsishodnosti direktnog uključivanja računala u regulacione petlje, odnosno zamjene pojedinih regulatora realizacijom odgovarajućih regulacionih zakona uz pomoć softwarea (DDC, »direct digital control«).Vrlo velik broj regulacionih krugova u nuklearnoj elektrani može, eventualno, ekonomski opravdani uvođenje DDC. U klasičnoj termoelektrani to danas ne bi bio slučaj (L. 5). Uvođenje DDC za važnije regulacione petlje zahtijeva još veću sigurnost rješenja nego što je to slučaj kod prethodno opisanih primjena.

4.3. *Sistem vođenja bloka turbina-kotao* predstavlja skup povezanih, hijerarhijski vođenih, pojedinačnih, većinom analognih regulatora. Vođenje bloka mora biti takvo, da se zahtijevana snaga proizvede dobrim stupnjem djelovanja i da se promjene tereta izvedu s maksimalnom brzinom, uz uvjet da se dozvoljena mehanička naprezanja turbine i kotla (kao posljedica temperaturnih razlika) ne prekorače. Ovo posljednje je sve važnije zbog potrebe, da i termoelektrane u što većoj mjeri dadu svoj doprinos izravnavanju vrhova opterećenja zbog sve manjeg relativnog udjela hidroelektrana. Zadatak se rješava tako, da se snaga zahtijevana od dispečera i njen gradijent ispituju u tu svrhu razvijenim uređajima za kontrolu kritičkih naprezanja turbine i kotla (L. 1, L. 4). Ovi uređaji na temelju direktnih mjerenja temperature na kritičkim mjestima turbine i kotla izračunavaju odvojeno dozvoljene gradijente za turbinu i kotao i ograničavaju stvarnu brzinu porasta snage bloka na iznos dozvoljen kritičnijim od tih dijelova postrojenja. Time se ne samo postrojenje štiti od oštećenja, koja mogu nastati pri prekoračenju kritičkih naprezanja, već se poboljšavaju regulacione karakteristike termoelektrane u elektroenergetskom sistemu i smanjuju troškovi pri promjenama tereta.

5. Automatizacija pogona hidroelektrana

Sve što je rečeno o obradi i redukciji pogonskih veličina i upravljanju funkcionalnim grupama kod termoelektrana, vrijedi više-manje i za hidroelektrane, time da će zbog manje složenosti procesa u hidroelektrani prije doći u obzir jednostavniji sistemi, a manje procesno računalo.

Posebno mjesto zauzimaju *pumpno-akumulaciona postrojenja* zbog čestih procesa pokretanja — zaustavljanja, kao i čestog prevođenja iz turbinskog u pumpni ili kompenzatorski režim rada. Sistemi upravljanja, temeljeni na elektronskim logičkim familijama, ili procesno računalo, stupaju sve više na mjesto ranijih relejnih automatika. Osim već prije nabrojenih zadataka obrade pogonskih veličina, ovdje je zbog čestih promjena pogonskog režima veoma korisno bilježiti stanja brojila i njihovu obradu radi obračuna, kao i vršiti brojenje pogonskih sati pojedinih vrsta režima rada.

Važno područje primjene procesnog računala u automatizaciji elektrana predstavlja njegova upotreba za *centralno vođenje pogona više preko vodnog sistema povezanih hidroelektrana,* radi najracionalnijeg iskorištenja raspoloživih voda, uz uzimanje u obzir voznog reda (L. 7, L. 8, L. 9). Tu se može raditi npr. o elektranama jednog slivnog područja, o lancu (kaskadi) elektrana na jednoj rijeci, o kaskadi u kombinaciji s pumpno-akumulacionim postrojenjem, ili o drugim mogućim kombinacijama. Računalo će ovdje, pored zadataka centralne obrade određenih pogonskih veličina (kao protokola signalizacije, očitanja brojila i njihove obrade, izračunavanja hidrauličkih veličina, i sl.), npr. za slučaj kaskade, preuzeti važnije zadatke kao što su:

— Izrada kratkoročnih prognoza vodnih dotoka, i na temelju njih izrada reda vožnje (dijagrama proizvodnje) za cijelu kaskadu za slijedeći dan.
— Regulacija nivoa vode u akumulaciji pred gornjom elektranom i u bazenu za izravnavanje pred donjom, kao i održavanje što višeg nivoa gornje vode u pojedinim elektranama radi proizvodnje maksimalne energije u uvjetima promjenjivog dotoka.
— Automatsko uklapanje i isklapanje agregata u pojedinim elektranama u skladu s usvojenim voznim redom, kao i za slučaj ispada agregata, uzimajući u obzir radna područja s najpovoljnijim stupnjem korisnog djelovanja, kao i vremena nadolaska vodnih valova od ranije uklopljenih agregata u elektranama ispred.

U slučaju velikih slivova zadaci mogu biti i složeniji (L. 9).

Kod ovakvih primjena od sistema za daljinski prijenos podataka i komandi ne traži se osim velike pouzdanosti i velika brzina rada. Uređaji za automatsko pokretanje i zaustavljanje agregata postavit će se svrsishodno u samim elektranama.

6. Automatizacija vođenja pogona elektroenergetskog sistema

6.1. *Dispečerski centri. Centri daljinskog upravljanja*

Vođenje, nadziranje i upravljanje pogona elektroenergetskih sistema sve se više obavlja

centralizirano iz *dispečerskih centara* raznih nivoa, odnosno tzv. centara daljinskog upravljanja. Preduvjeti za takvo vođenje pogona su sigurne i dovoljno brze *veze za prijenos informacija* (mjernih vrijednosti, signalizacija, očitanja brojila, ...) i *signala upravljanja* (komande za uklop, isklop i sl.). Opseg zadataka, što ih takvi centri moraju obaviti, ovisi, prije svega, o tome, da li se radi samo o raspodjeli električne energije unutar jednog ograničenog područja, ili o proizvodnji i prijenosu većih razmjera.

Zadaci centara, koji služe za vođenje pogona u *distributivnim mrežama*, ograničavaju se na više ili manje opsežno prikupljanje i registriranje informacija iz centru podređenih transformatorskih stanica radi nadziranja pogona (protokoli: signalizacije, prorada zaštite, prekoračenja graničnih vrijednosti, zemnog spoja, i sl.; protokoli mjernih vrijednosti i daljinskog očitanja brojila; kronološko registriranje toka smetnji; prikazi uklopnog stanja; kontrola opterećenja i sl.), kao i na daljinsko upravljanje pogonom (kapčanje vodova ili transformatora, promjena sabirnica, i sl.).

Slučaj centralnog vođenja pogona *grupom hidroelektrana* već je spomenut.

U slučaju centara za vođenje pogona *područja, koja sadrže proizvodnju i prijenos*, zadaci mogu biti znatno opširniji. Kod većih područja ove vrste, sistem centralnog vođenja pogona organizira se često tako, da se prikupljanje i obrada informacija iz pojedinih postrojenja, kao i daljinski nadzor i upravljanje pojedinim postrojenjima, obavlja iz više centara daljinskog upravljanja, dok se zadaci vezani uz ekonomsku raspodjelu opterećenja na elektrane, nadziranje pogona čitavog sistema i sigurnosti tog pogona, planiranja i prognoziranja, regulacije mrežne frekvencije kao i razmjene sa susjednim sistemima rješavaju u, centrima daljinskog upravljanja nadređenom, dispečerskom centru.

U prethodnom slučaju centara daljinskog upravljanja u distribuciji, kod ne prevelikih postrojenja, najčešće je dovoljno dati pogonskom osoblju cjelokupni prikaz stanja u postrojenju (npr. na jednoj mozaik ploči), što će istovremeno sadržavati i dovoljno detaljnu informaciju. Kod većih i obimnijih postrojenja ovakvi prikazi više ne zadovoljavaju. Unatoč minijaturizacije i razvoja novih tehnika (npr. fleksibilni svjetlosni vodiči, L. 11) ne uspijeva se zadovoljiti potreba za pregledom nad cjelokupnom situacijom, kao i mogućnost dovoljnog sagledavanja detalja. Razvoj ide u smjeru odjeljivanja pregleda od detalja. Često više ne zadovoljava samo brza i pouzdana informacija, već je zbog velike količine podataka sve važnija komponenta forme, tj. izdavanje sažetih protokola i prikaza stanja u postrojenju. Još više nego u slučaju centara za vođenje pogona distributivnim mrežama zahtijevat će savladavanje ovako obimnih zadataka primjenu procesnog računala i s tim u vezi i savršeniji sistem za prikaz stanja i podataka (L. 10, L. 13). Poželjno je da pogonskom osoblju stalno stoji na raspolaganju manji pregledni prikaz stanja u postrojenju, bez detalja (npr. na mozaik ploči, ili na grafičkom videopokazivaču upravljanom procesnim računalom) dok će ono na videopokazivaču, na zahtjev ili automatski, dobiti detaljan prikaz samo dijela postrojenja (npr. dijela postrojenja, iz kojeg je upravo signalizirano neko nenormalno stanje ili u koje se treba proslijediti neka komanda). Sistemi s videopokazivačima danas u upotrebi, mogu se koristiti i za posredno davanje komandi u postrojenje (L. 11, L. 13). Na ekranu videopokazivača lokaliziranom uklopnom elementu može se proslijediti komanda preko računala i sistema daljinske veze.

Procesno računalo koristi se danas u centrima za vođenje pogona elektroenergetskih sistema najčešće u »*on line — open loop*« režimu. Osim već prije dodaknutih zadataka prikupljanja, obrade i redukcije pogonskih veličina i njihovog registriranja procesno računalo u tom režimu rada može obavljati i funkciju ekonomske raspodjele opterećenja na elektrane, uzimajući u obzir troškove proizvodnje i prijenosa (pokatkad se ovaj zadatak obavlja i »off line«). Dalje, računalo se u novije vrijeme djelomično upotrebljava i za neke zadatke automatskog vođenja pogona, dok se pak neki drugi zadaci rješavaju »off line« (tj. bez da računalo uzima direktno informacije iz elektroenergetskog sistema).

Broj zadataka, za koje računalo u okviru *automatskog vođenja procesa* dolazi u obzir je velik (L. 10 — 14, 16, 17). U izvedenim postrojenjima najčešće je realiziran samo manji dio ovih mogućnosti. Procesno računalo se danas predviđa za zadatke regulacije frekvencije i predane snage (što su donedavno izvršavali isključivo specijalni »mrežni regulatori«), zatim za automatsku kompenzaciju odstupanja sinhronog vremena (kompenzacija akumulirane pogreške odstupanja frekvencije) i predane energije u određenom vremenu (L. 19). Dalje, dolazi u obzir primjena u svrhu redukcije tokova jalovih snaga upravljanjem sistemom automatske regulacije napona i sredstvima za kompenzaciju jalove snage; programsko odbacivanje tereta u slučaju ispada proizvodnih jedinica, koji se ne može pokriti raspoloživom rotirajućom rezervom; odvajanje dijelova mreže u kvaru radi sprečavanja raspada sistema, itd.

U »*off line*« režimu dolazi još u obzir planiranje angažiranja elektrana s obzirom na prognozu opterećenja i revizije, osiguranje rotirajuće rezerve u elektranama, planiranje energije razmjene sa susjednim sistemima, proračun gubitaka prijenosa, kao i proračuni radi nadziranja sigurnosti pogona mreže (proračuni kratkog spoja i toka snaga, zbog kontrole snaga kratkog spoja u pojedinim točkama, kontrole preopterećenja, mogućnosti višestrukog napajanja, odgovor na pitanje, da li će u slučaju ispada određenih vodova drugi biti preopterećeni i koliko, i slično).

Pri upotrebi sistema s procesnim računalom složenija se kapčanja, ili ona koja se često ponavljaju (npr. promjena sistema sabirnica, para-

lelno ukapčanje transformatora i slično) mogu obaviti brzo i pouzdano uz pomoć memoriranih programa kapčanja. Isto vrijedi i za određene zahvate u kritičnim situacijama u vrijeme smetnji.

6.2. *Sigurnost pogona*

Posebnu važnost pri centralnom vođenju pogona elektroenergetskog sistema ima sigurnost pogona predviđenih koncepcijskih i aparaturnih rješenja (L. 10, 15). Princip treba da bude takav, da kvarovi na uređajima automatike ne dovode do prekida pogona.

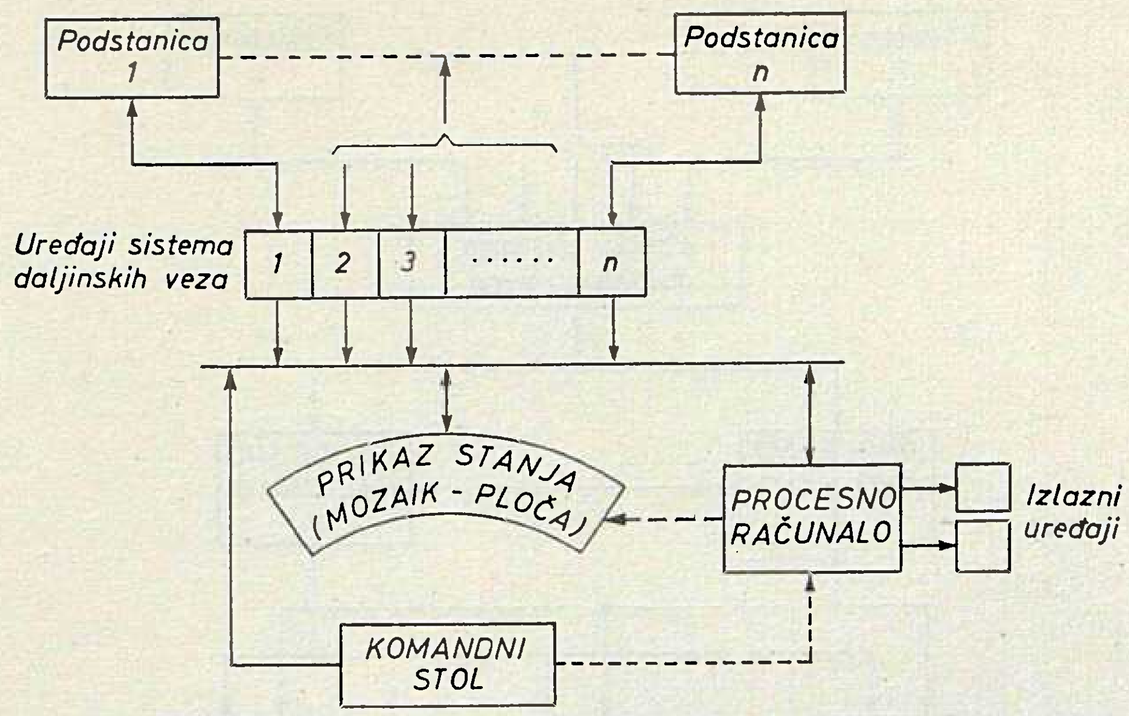
Kod sistema za daljinski prijenos podataka i komandi od pojedinih podstanica k mjestu iz kojeg se obavlja centralno upravljanje, i obrnuto, informacije se osiguravaju protiv gubitka ili njihove deformacije primjenom posebnih sigurnosnih kodova i slijedom radnji, kao što su: poziv, odgovor, prijenos informacije, kvitiranje. Za niz signala, a pogotovo važnije mjerne signale (npr. pri regulaciji mrežne frekvencije i predane snage), obavlja se prije upotrebe primljenog signala njegova kontrola i eventualna korekcija (npr. signal ne smije biti izvan određenih granica; ili, razlika između nove i prethodne vrijednosti ne smije prekoračiti neku graničnu vrijednost. Ako bi to bio slučaj, onda se može formirati nova, umjetno stvorena vrijednost, kao suma stare i granične vrijednosti dozvoljene razlike).

Pri upotrebi sistema s procesnim računalom potrebno je, unatoč relativno visoke sigurnosti računala, tako koncipirati sisteme, da ispad računala ne dovede do prekida pogona. Ukoliko računalo obavlja neke, za održavanje pogona bitne funkcije, neophodno je predvidjeti dodatne mogućnosti vođenja pogona. Ovdje ćemo razmotriti neke mogućnosti pri primjeni procesnih računala u dispečerskim centrima, odnosno centrima daljinskog upravljanja.

U slučaju slike 2, sistem daljinskih veza obavlja decentralizirano skupljanje podataka i prijenos komandi. Računalo je ovim sistemom povezano s postrojenjem i koristi se za obradu podataka. Sve bitne funkcije mogu se obaviti ručno s komandnog stola, a upravljanje prikazom stanja u postrojenju, kao i mjerenje važnih veličina obavlja se bez upotrebe računala. Računalo smije ispasti i na dulje vrijeme, bez znatnijeg ometanja pogona.

Za slučaj da se računalo upotrebljava za direktno upravljanje stanjem u postrojenju, kao i za kontrolu prikaza tog stanja, postoji više mogućnosti za osiguravanje pogona pri ispadu računala. Koji put će se odabrati, ovisi o ulozi i važnosti centra u pitanju, koncepcijskom rješenju i zadacima računala, a naposljetku i o raspoloživim sredstvima. Moguća rješenja su npr.:

a) mogućnost provedbe najbitnijih funkcija uz pomoć konvencionalnih uređaja
b) stalna mogućnost paralelnog vođenja pogona neovisno o računalu



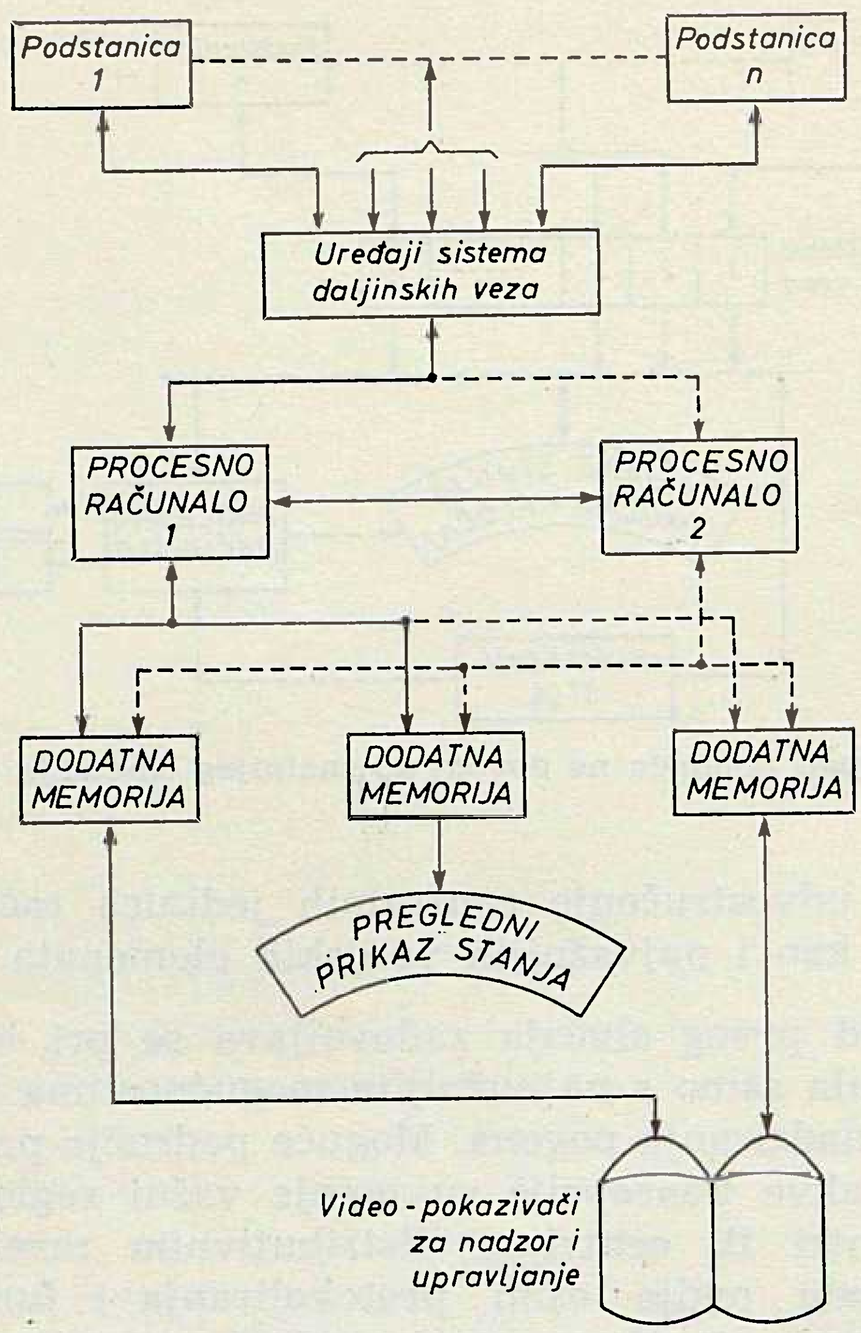
Sl. 2 Ispad računala ne dovodi do znatnijeg ometanja pogona

c) udvostručenje centralnih jedinica računala kao i najvažnijih vanjskih elemenata.

Kod prvog slučaja zadovoljava se pri ispadu računala samo s najnužnijim mogućnostima vođenja i nadziranja pogona. Moguće područje primjene ovakve koncepcije su manje važni regionalni podcentri ili centri u distributivnim mrežama. Računalo ovdje osim protokoliranja i funkcije nadziranja izvršava samo zadatke pojedinačnog ili programskog uklopa — isklopa. Za slučaj ispada računala mogu se predvidjeti npr. slijedeće dodatne mogućnosti vođenja i nadziranja pogona:

— Zadavanje komandi ručno, npr. komandno-potvrdnim elementima na mozaik-ploči. Programska kapčanja se u tom slučaju ne mogu obavljati.
— Uređaji za daljinski prijenos podataka i komandi opremaju se sklopovima za memoriranje analognih veličina, čije se očitavanje može izvršiti na instrumentima, koji se nalaze npr., na pokretnim kolicima i upotrebljavaju se samo u slučaju potrebe.
— U stanicama kojima se upravlja iz centra, uređaji za vremenski vjerno registriranje signalizacija mogu se snabdijevati npr. dodatnim bušačima trake, čime se omogućuje naknadno analiziranje toka smetnji.

U slučaju b) predviđa se i u normalnom pogonu paralelna mogućnost upravljanja i nadziranja pored onog računalom. Takvo rješenje je pogodno za važnije centre. Komande se mogu davati putem komandnog stola, a samo programska upravljanja idu preko računala. Prikazom stanja postrojenja (npr. mozaik ploča) upravlja se direktno uređajima za memoriranje uklopnih stanja, koji rade u sklopu sistema za daljinske veze. Od sistema daljinskih veza to se stanje daje i na računalo. Pokazni instrumenti vezani su također direktno na prijemne uređaje sistema daljinskih veza. Ako se u centru obavljaju i zadaci regulacije frekvencije i predane snage, odnosno nadzor snage razmjene, dobro je da računalo vrši samo korekciju zadane vrijednosti predane snage konvencionalno realiziranog regulatora. U slučaju ispada računala odvaja se regulator od izlaza računala i zadane



Sl. 3 Primjer sistema s dva računala, s visokim zahtjevima na pogonsku sigurnost

vrijednosti udešavaju se isključivo ručno, na temelju stanja brojila, koja se moraju moći daljinski očitavati i bez računala.

Udvostručenje centralnih jedinica računala (slučaj c), kao i najvažnijih vanjskih elemenata bit će neophodno, kad se bitne funkcije vođenja pogona obavljaju računalom. Pri ispadu računala čitav bi sistem prestao biti funkcionalno sposoban. Ovo je npr. slučaj u centrima, gdje se za nadzor i upravljanje upotrebljavaju uz pomoć računala upravljani videopokazivači. U normalnom pogonu se vođenje i nadziranje obavlja jednim računalom, dok se drugi sistem cikličkim prijenosom informacija prvog računala, kao i paralelnom osnovnom obradom tih podataka, drži u stanju aktualne informiranosti (sl. 3). Poseban sistem hardwarea i softwarea stalno kontrolira funkcionalnost i u slučaju pogreške poduzima sve potrebne mjere za prijenos funkcija na rezervni sistem. Rezervni sistem može dobro poslužiti za ispitivanja, promjene i prevođenje programa.

Ako se od ovakvog sistema traži, da izvršava i kompleksne zadatke optimiranja, za koje se ne zahtijeva visoka raspoloživost, tj. gdje se ispad može tolerirati, ponekad je ekonomično za najvažnije »on line« zadatke predvidjeti dva relativna mala računala, a za obimne zadatke optimiranja predvidjeti posebno računalo.

7. Zaključak

Problemi upravljanja u elektroenergetskom sistemu dosižu danas takvu složenost, da ih čovjek sam, svojim ograničenim mogućnostima brzog reagiranja, pamćenja i snalaženja u nekim slučajevima, bez pomoći uređaja automatizacije i visoko organiziranih sistema upravljanja, ne može dovoljno uspješno rješavati. Posebno složeni zadaci vođenja pogona, i time vezane automatizacije, susreću se u sve većim termoelektranama i nuklearnim elektranama, kao i pri centralizaciji vođenja pogona elektroenergetskog sistema. Uspješno svladavanje takvih zadataka zahtijeva njihovo postupno rješavanje, počevši od manje složenih problema, i ispunjenje niza uvjeta, kao što su: temeljito poznavanje procesa, dobro promišljena koncepcija, sigurna i pouzdana sredstva za automatizaciju, kao i njihovo temeljito poznavanje.

Literatura:

1. Ernst D.: *Automatisierung beim Erzeugen und Verteilen elektrischer Energie* ETZ-A, Bd. 89, 1968, H 24.
2. Bacher F.: *An Introduktion to Network Automation.* Brown Boveri Review, July 1972.
3. Eifert G., Engelhard D., Hinz W., Stöckler H. P.: *Begriffsbestimmungen für die Steuerungstechnik in Wärmekraftwerken. Elektrizitätswirtschaft, Jg. 70, 1971, H. 24.*
4. — : *Automatisierung von Dampfturbogruppen.* BBC — Druckschrift 3841 D.
5. Jervis M. W.: *On line computers in power stations.* Proc. IEE, IEE Reviews, Vol. 119, No. 8 R, August 1972. P. 1052—1076.
6. Čorak D.: *Primjena procesnih računala u termoelektranama.* Energija 1973, br. 1—2.
7. Blum A., Frischenschlager F.: *Digitalrechner für Wasserkraftwerke.* Brown Boveri Mitt. 1968. Nr. 9.
8. Begović K.: *Primjena procesnih elektronskih računala u hidroelektranama.* Elektrotehnika 1970, br. 3.
9. Vučetić J.: *Upravljanje elektranama Drinskog sliva korištenjem procesnog računara.* Elektroprivreda 1971, br. 7—8.
10. Dräger K.: *Prozessrechner in der Energieverteilung.* Technische Rundschau, Nr. 52 und 54, Dezember 1971.
11. Dhen W.: *Automatisierung in der Betriebsführung elektrischer Netze.* Techn. Mitt. AEG-TELEFUNKEN, Bd. 58, 1968, H. 7.
12. Wenk R., Asal H.: *Prozessrechner in Verbundbetrieb.* Bull. SEV, Bd. 62, 1971, H. 11.
13. Zwiauer G.: *Modern Communications for Controlling Power Distribution Networks.* Brown Boveri Review, July 1972.
14. Škarica D.: *Budućnost primjene procesnog računara kod upravljanja distributivnom električnom mrežom.* Energija 1972, br. 9—10.
15. Bacher F.: *Zuverlässigkeitsaspekte beim Aufbau von Systemen für Netzautomatisierung.* Neue Technik 1972, Nr. 8.
16. Reinhardt K., Schellstede G.: *Einsatz von Prozessrechnern im Lastverteiler.* Siemens Zeitschsift Bd. 42, 1968, H. 9.
17. Shellstede G.: *Kommunikation Mensch-Rechner über Sichtgeräte und Tastaturen im Lastverteilerbetrieb.* ETZ-A, Bd. 93, 1972, H. 5.
18. Brkić T.: *Automatska regulacija frekvencija-snaga u SFRJ i mogućnosti daljnjeg razvoja.* Elektroprivreda 1972, br. 11—12.
19. Weiss J.: *Computer Programme System for Network Controllers.* Brown Boveri Review, July 1972.

Naslov pisca: Josip Lakota, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

KARAKTERISTIKE CENTRALIZIRANOG SISTEMA PREDAJE TOPLINE

Mr. Duško Čorak, dipl. ing.
šef studijske jedinice za termoenergetske sisteme

Brzi razvoj toplifikacije u posljednjim godinama je evidentan, a posljedica je tehničkog progresa i zahtjeva za povećanje konfora i higijenskih uvjeta u gradovima. Centralizirani sistem predaje topline u urbanim sredinama donio je ekonomske prednosti u pogledu goriva, prometa, poboljšanja higijenskog stanja i smanjenja zagađivanja zraka produktima izgaranja (prašina i sumporni dioksid). Ovaj članak analizira mjesto i ulogu centraliziranog sistema predaje topline u okviru velikih urbanih sredina, koje imaju velike potrebe za toplinskom i električnom energijom.

DK 621.311.22

Sve intenzivnija prerada i iskorištenje prirodnih bogatstava, koje je vezano s povećanjem ljudskih potreba zbog povećanja standarda i broja ljudi, uzrokuju stalno povećanje potreba za određenim vrstama energije i stvaranje sve većih količina otpadnih materija koje štetno utječu na zdravlje i okolinu ljudi. Centralizirano opskrbljivanje potrošača energetskim potrebama na prostorima s gustom naseljenošću i jakom industrijskom proizvodnjom, omogućuje da se pitanje ekonomije snabdijevanja, kao i pitanje zaštite ljudi od utjecaja štetnih materija, riješi na najpovoljniji način.

Trend razvoja potreba potrošača za toplinskom energijom, više-manje je povezan i s trendom razvoja potreba za električnom energijom, što stvara mogućnost da se proizvodnja obih vrsta energije rješava zajednički. Energetski izvori za dobivanje električne energije najčešće su kinetička i potencijalna energija vodnih tokova i fosilna goriva — ugljen, nafta, plin, a u novije vrijeme i nuklearna goriva. Sunčana energija i ionizirajući plinovi u praktičnoj primjeni u smislu dobivanja električne energije, pa toplinske energije u smislu nadoknađivanja gubitaka topline za toplinske procese, mogu biti zanemarene.

Udio termoenergetskih izvora u proizvodnji električne energije u Jugoslaviji bio je u 1971. godini oko 45%, no, valja naglasiti da će njihov udio u slijedećim godinama stalno rasti, tako da se očekuje, da će u 1980. godini proizvodnja električne energije iz termoizvora doseći 70% od ukupne proizvodnje. Pri tom valja naglasiti, da se u najpovoljnijim tehničkim rješenjima termoelektrana, 35 do 40% od ukupne količine topline goriva pretvori u električnu energiju, a ostatak do 100% čine toplinski gubici (8—12% izlazni dimni plinovi i 45% odlazi na zagrijavanje rashladne vode kondenzatora turbine). S obzirom na visoku cijenu goriva i njegovu deficitarnost stalno se istražuju mogućnosti smanjenja gubitaka topline. Jedna od mogućnosti za povećanje iskorištenja goriva je zajednička proizvodnja toplinske i električne energije tamo, gdje za to postoje preduvjeti.

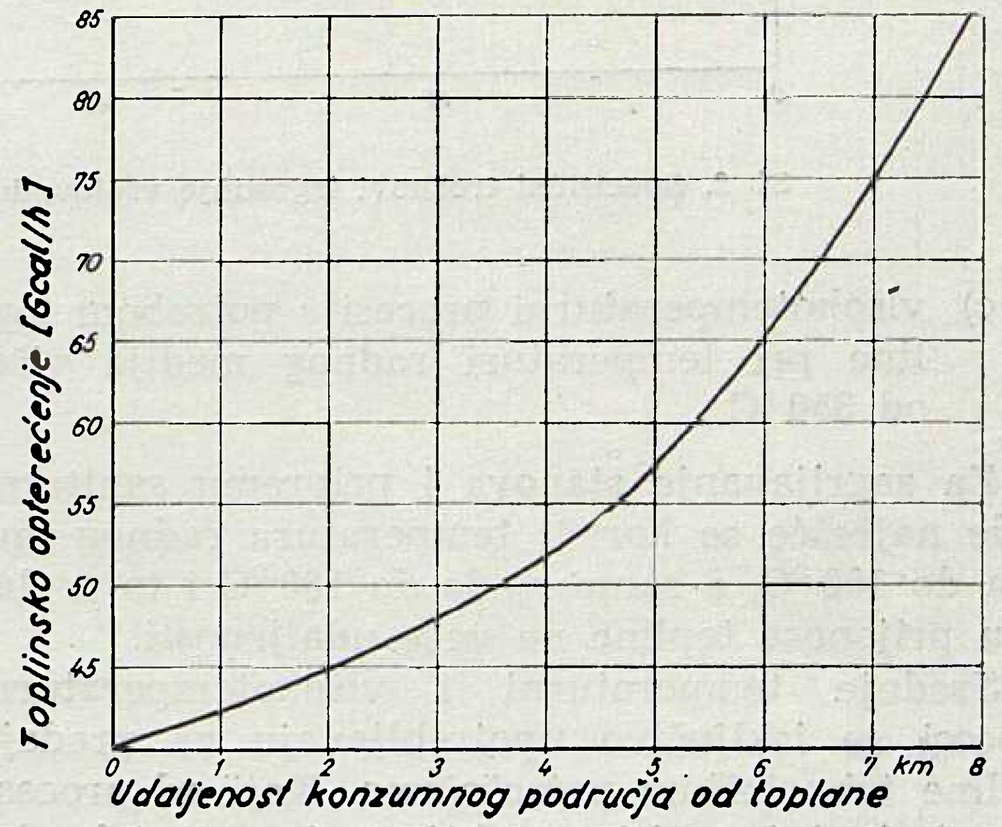
Zajednička proizvodnja toplinske i električne energije najčešće povoljno djeluje u slučaju opskrbe toplinskom energijom velikih dijelova naselja, gradova i industrijskih potrošača, drugim riječima svugdje gdje postoje veće potrebe za toplinskom energijom niže radne sposobnosti. Opskrba potrošača toplinskom energijom s malom radnom sposobnosti može biti izvan spojnog procesa.

Podjela potrošača toplinske energije bez pretvorbe u druge vidove energije može se podijeliti na dvije kategorije:

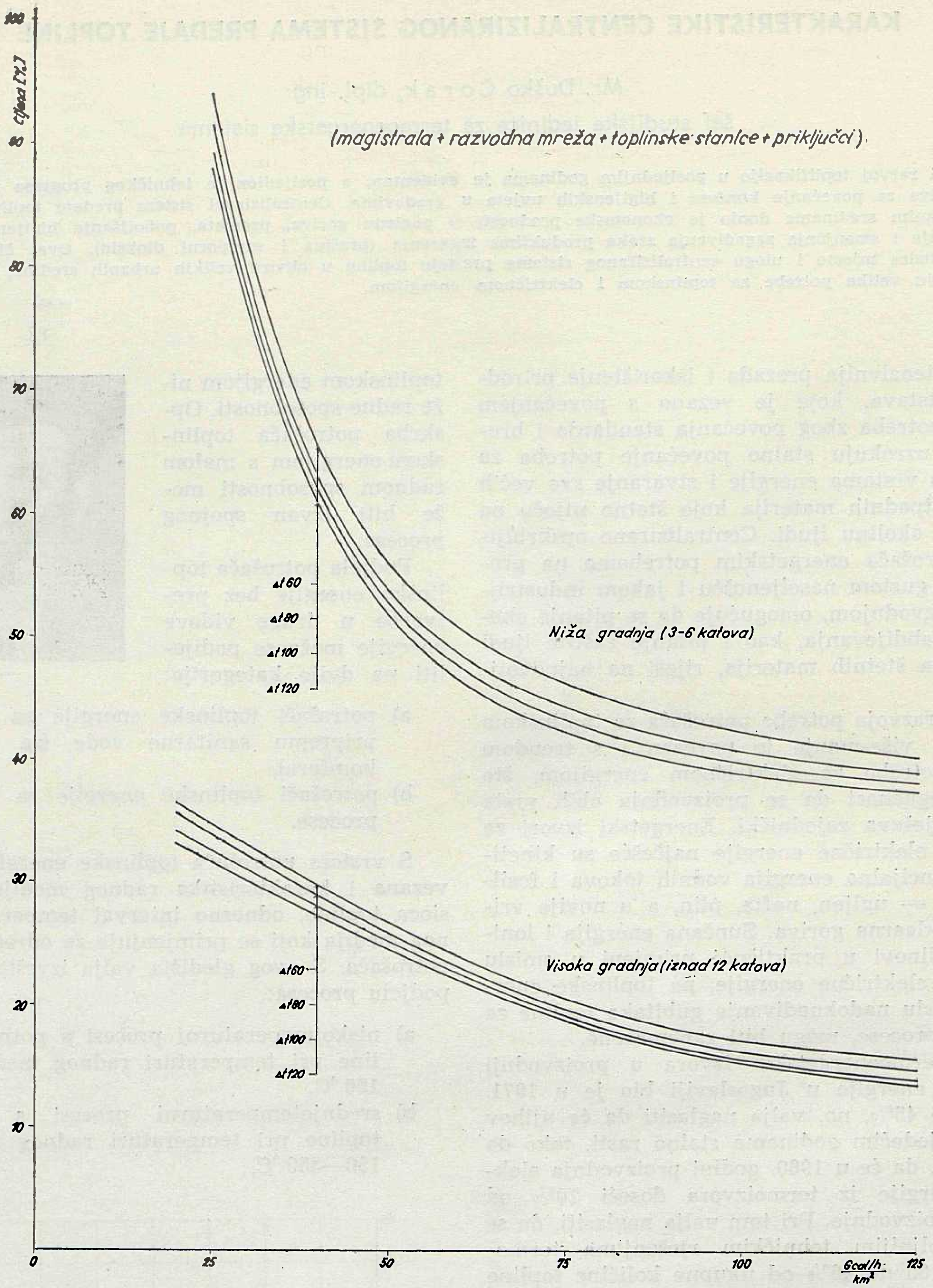
a) potrošači toplinske energije za grijanje i pripremu sanitarne vode (za osiguranje komfora),
b) potrošači toplinske energije za tehnološke procese.

S vrstom potrošača toplinske energije usko je vezana i karakteristika radnog medija kao nosioca topline, odnosno interval temperature radnog medija koji se primjenjuje za određenu vrstu potrošača. S ovog gledišta valja izvršiti slijedeću podjelu procesa:

a) niskotemperaturni procesi s potrebom topline pri temperaturi radnog medija 40 do 150 °C,
b) srednjetemperaturni procesi s potrebom topline pri temperaturi radnog medija od 150—350 °C,



Sl. 1 Ekonomska granica pokrivanja ogrjevnog toplinskog konzuma



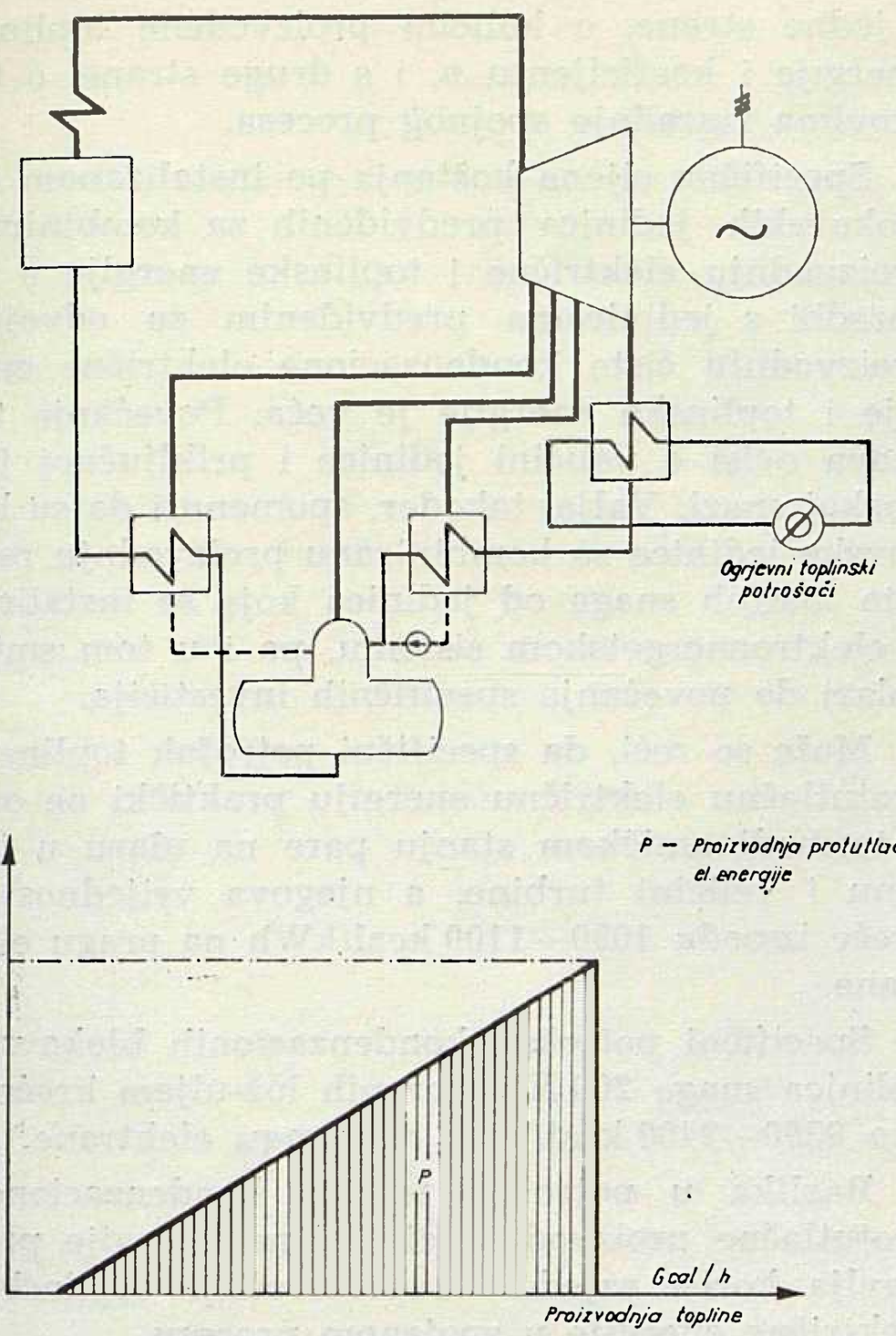
Sl. 2. Specifični troškovi izgradnje vrelovodnih mreža u ovisnosti o gustoći toplinskog konzuma

c) visokotemperaturni procesi s potrebom topline pri temperaturi radnog medija višoj od 350 °C.

Za zagrijavanje stanova i pripremu sanitarne vode najčešće se koristi temperatura radnog medija do 150 °C, a samo rjeđe do 180 °C i to u slučaju prijenosa topline na veće udaljenosti.

Srednje temperaturni i visokotemperaturni procesi se isključivo upotrebljavaju za predaju topline tehnološkim potrošačima. Koji od procesa se primjenjuje ovisi o zahtjevu i vrsti tehnološkog potrošača.

Kao radni medij u procesu razmjene topline između izvora i potrošača najčešće se koristi voda i vodena para. Tamo gdje su potrebne temperature do 120 °C, kao radni medij koristi se gotovo redovito voda, pri temperaturama od 120 do 200 °C primjenjuje se i voda i vodena para, dok se pri temperaturama od 200 do 250 °C, i većim, isključivo koristi vodena para. Toplinski konzum na određenom prostoru može se zadovoljiti i individualnim izvorima topline u svakom objektu, grupnim izvorima topline za više objekata i grupnim konmbiniranim izvorima za proizvodnju top-



Sl. 3 Shema protutlačne toplifikacione blokovske jedinice

linske i električne energije. Koji će se od ovih načina zadovoljenja toplinskih potreba primijeniti ovisi o veličini i gustoći toplinskog konzuma i vremenu korištenja raspoloživih vrsta i cijeni goriva, ekološkim prilikama na pojedinim područjima, i dr.

Pri zadovoljenju toplinskih potreba malog broja interpoliranih objekata dolaze u obzir, praktički, samo individualni izvori.

Kod koncentrirane potrošnje topline dolazi u obzir centralizirano snabdijevanje toplinom s direktnom proizvodnjom topline u parnim ili vrelovodnim kotlovima ili proizvodnja topline u kombiniranim izvorima. Koja od ovih varijanti predstavlja optimalno rješenje ovisi o veličini i gustoći konzuma, cijenama goriva, opreme, cijenama toplinske i električne energije i ekološkim uvjetima.

S obzirom na veću racionalnost u korištenju goriva kombinirani procesi ekonomski podnose veću udaljenost konzuma. Ekonomska granica pokrivanja ogrijevnog toplinskog konzuma sa spojnim procesom i vršnim vrelovodnim toplinsko-energetskim jedinicama kod optimalnog koeficijenta toplifikacije prikazano je na dijagramu sl. 1.

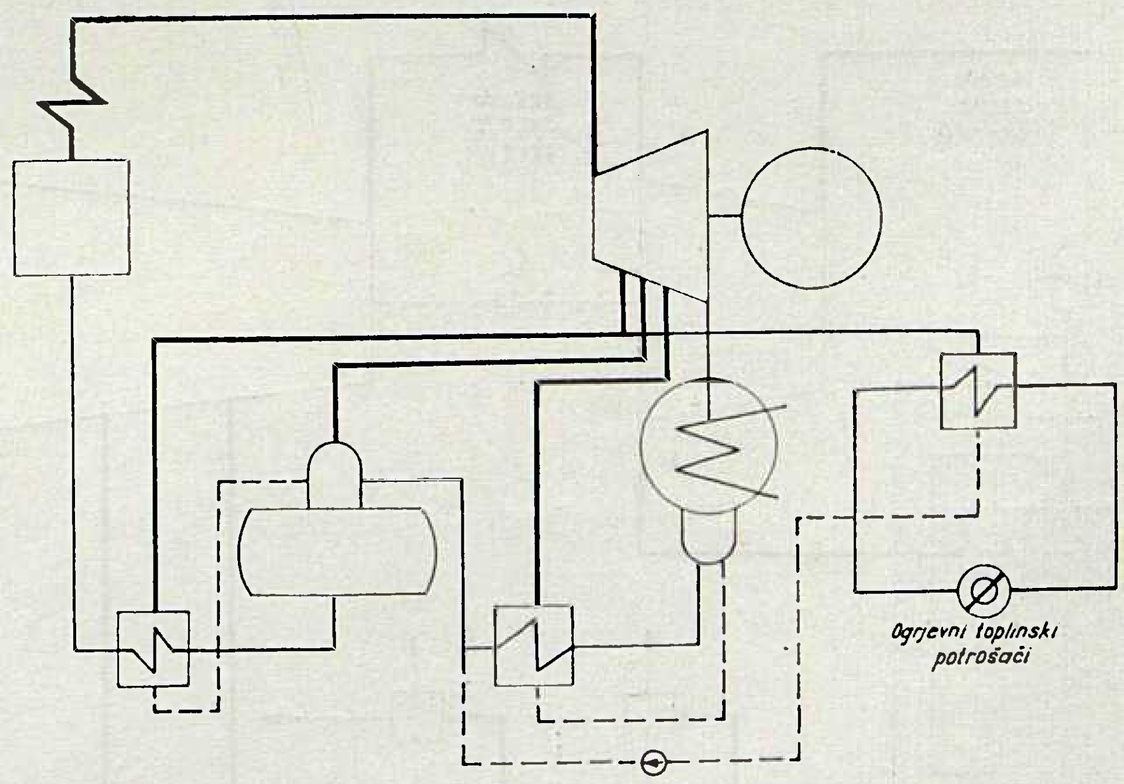
Troškovi izgradnje toplinskih mreža (magistrala, razvodna mreža, toplinska stanica i priključci) direktno utječu na cijenu predane topline. Visina troškova ovisi o gustoći toplinskog opterećenja po jedinici površine, vrsti objekata, te o termodinamičkim parametrima prijenosnog medija. Na dijagramu sl. 2 dana je ovisnost troškova izgradnje toplinskih mreža o gustoći toplinskog opterećenja po jedinici površine.

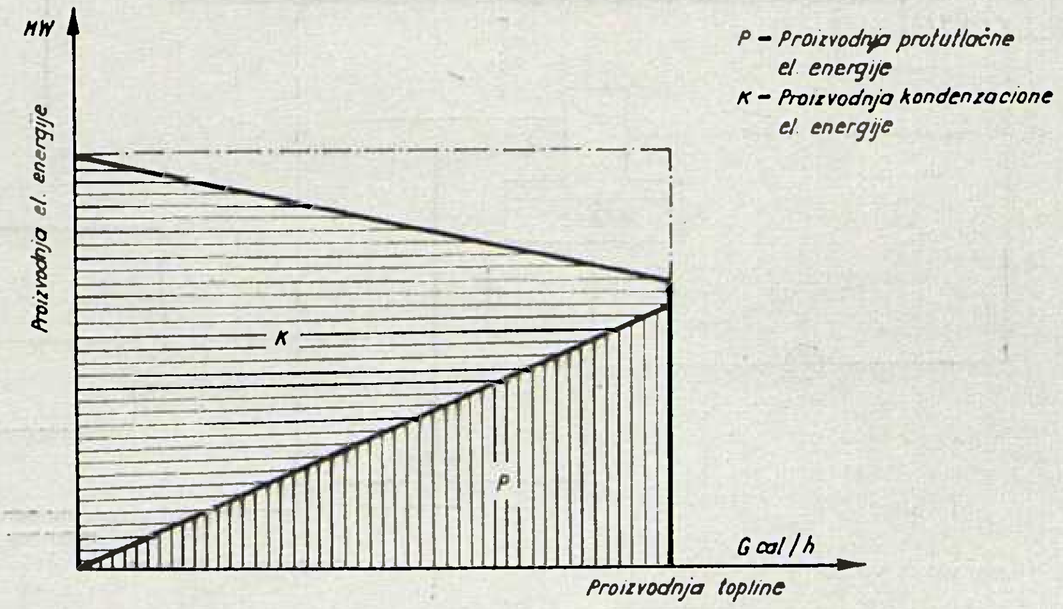
Tehničke karakteristike i troškovi spojnog procesa

Jedan spojni proces može biti izveden sa čisto protutlačnom turbinom ili pak sa kondenzacionom turbinom s oduzimanjem pare za zagrijavanje vrele vode.

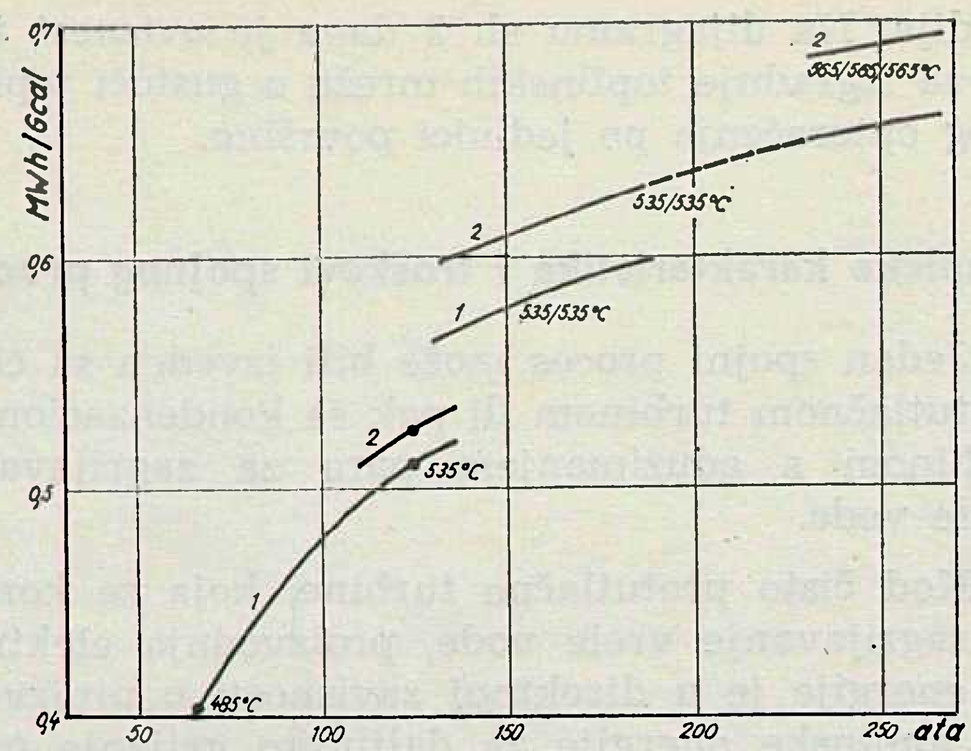
Kod čisto protutlačne turbine, koja se koristi za zagrijavanje vrele vode, proizvodnja električne energije je u direktnoj zavisnosti o proizvodnji toplinske energije za daljinsko grijanje (vidi sl. 3). Mogućnost proizvodnje električne energije kod kondenzacione oduzimne turbine nije u direktnoj ovisnosti o proizvodnji toplinske energije (vidi sl. br. 4), no, udio protutlačne električne energije direktno ovisi o toplinskom opterećenju. Karakteristika toplinskog sistema je da raspolaže sa znatnom akumulacijom topline u cirkulacionoj vodi, pa ova činjenica omogućuje fleksibilan rad toplifikacione kondenzacione jedinice u elektroenergetskom sistemu.

Proizvodnja protutlačne električne energije bitno utječe na ekonomiju spojnog procesa, bilo da se radi o čisto protutlačnoj turbini ili kondenzacionoj s oduzimanjima. Ukupna proizvodnja protutlačne električne energije s jedne strane ovisi o specifičnoj proizvodnji protutlačne električne energije po jedinici isporučene toplinske energije





Sl. 4 Shema toplifikacione blokovske jedinice



Sl. 5 Zavisnost spec. proizvodnje el. energije od termodinamičkih faktora i broja stupnjeva zagrijavanja vrele vode

1. zagrijavanje vrele vode u jednom stupnju
2. zagrijavanje vrele vode u dva stupnja

(koeficijent n), a s druge strane o ukupnoj isporučenoj količini topline iz blokovske jedinice.

Važnost specifične proizvodnje protutlačne električne energije po jedinici isporučene topline dana je na sl. br. 5 u funkciji termodinamičkih parametara svježe pare na ulazu u turbinu, te broja stupnjeva u kojima se zagrijava voda. Općenito govoreći proizvodnja električne energije po jedinici isporučene topline se povećava, kada se termodinamička stanja pare povećavaju.

Utjecaj spojnog procesa na ekonomiju isporučene električne energije i toplinske energije ovisi, s jedne strane, o količini proizvedene toplinske energije i koeficijentu n, i s druge strane, o troškovima izgradnje spojnog procesa.

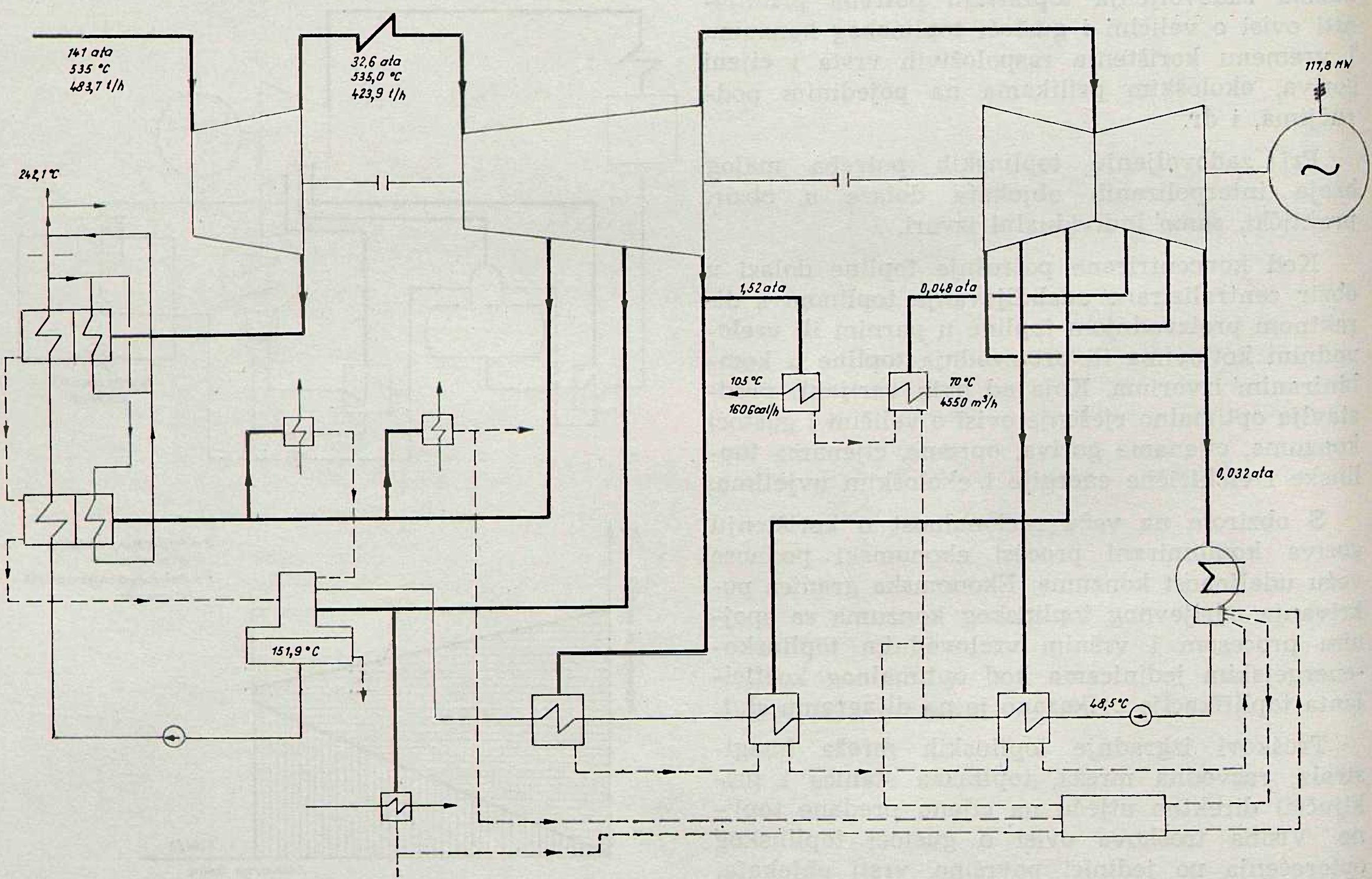
Specifična cijena koštanja po instaliranom kW blokovskih jedinica predviđenih za kombiniranu proizvodnju električne i toplinske energije u usporedbi s jedinicama predviđenim za odvojenu proizvodnju čisto kondenzacione električne energije i toplinske energije je veća. Povećanje troškova ovisi o veličini jedinice i priključnoj toplinskoj snazi. Valja, također, spomenuti da su blokovske jedinice za kombiniranu proizvodnju redovito manjih snaga od jedinica koje se instaliraju u elektroenergetskom sistemu, pa i u tom smislu dolazi do povećanja specifičnih investicija.

Može se reći, da specifični potrošak topline za protutlačnu električnu energiju praktički ne ovisi o termodinamičkom stanju pare na ulazu u turbinu i veličini turbine, a njegova vrijednost se kreće između 1050—1100 kcal/kWh na pragu elektrane.

Specifični potrošak kondenzacionih blokovskih jedinica snage 200 MW loženih lož-uljem kreće se oko 2300—2400 kcal/kWh na pragu elektrane.

Razlika u potrošku topline kondenzacione i protutlačne proizvodnje električne energije predstavlja korist zajedničke proizvodnje toplinske i električne energije u spojenom procesu.

Ova razlika u utrošku topline treba da pokrije povećane troškove izgradnje izvora i prijenosne mreže, povećane troškove transporta goriva za



Sl. 6 Toplinska shema toplifikacione blokovske jedinice 135 MW i 160 Gcal/h

proizvodnju električne energije, tj. povećane gubitke u mreži. Pri tom valja uvažiti nemjerljive efekte smanjenja zagađenja okoline s obzirom na mogućnost udaljavanja izvora od konzuma, smanjenje gradskog prijevoza goriva i oslobađanja vrijednih površina za stambenu izgradnju.

Podjela efekata spojnog procesa između toplinske i električne djelatnosti

Kako podijeliti troškove koristi spojne proizvodnje između električne i toplinske djelatnosti, pitanje je koje se uvijek pojavljuje pri izgradnji spojnog procesa. Jedinstveno rješenje ovog pitanja u svjetskim okvirima, nažalost, nije nađeno.

Način raspodjele troškova kod spojne proizvodnje u prvom redu ovisi o načinu raspodjele koristi. Korist spojnog procesa, kako je ranije navedeno, treba da nadoknadi povećane stalne troškove spojnog procesa u odnosu na odvojene procese proizvodnje električne i toplinske energije. Povećanje specifičnih troškova investicija spojnog procesa u odnosu na čisto kondenzacione jedinice, pri istoj veličini blokovske jedinice, kreće se 20—25%. Ovo povećanje stalnih troškova valja pokriti smanjenim varijabilnim troškovima, toplinske i električne energije.

Gledano sa čisto tehničkog aspekta podjela varijabilnih troškova — troškova goriva može poprimiti dva granična slučaja.

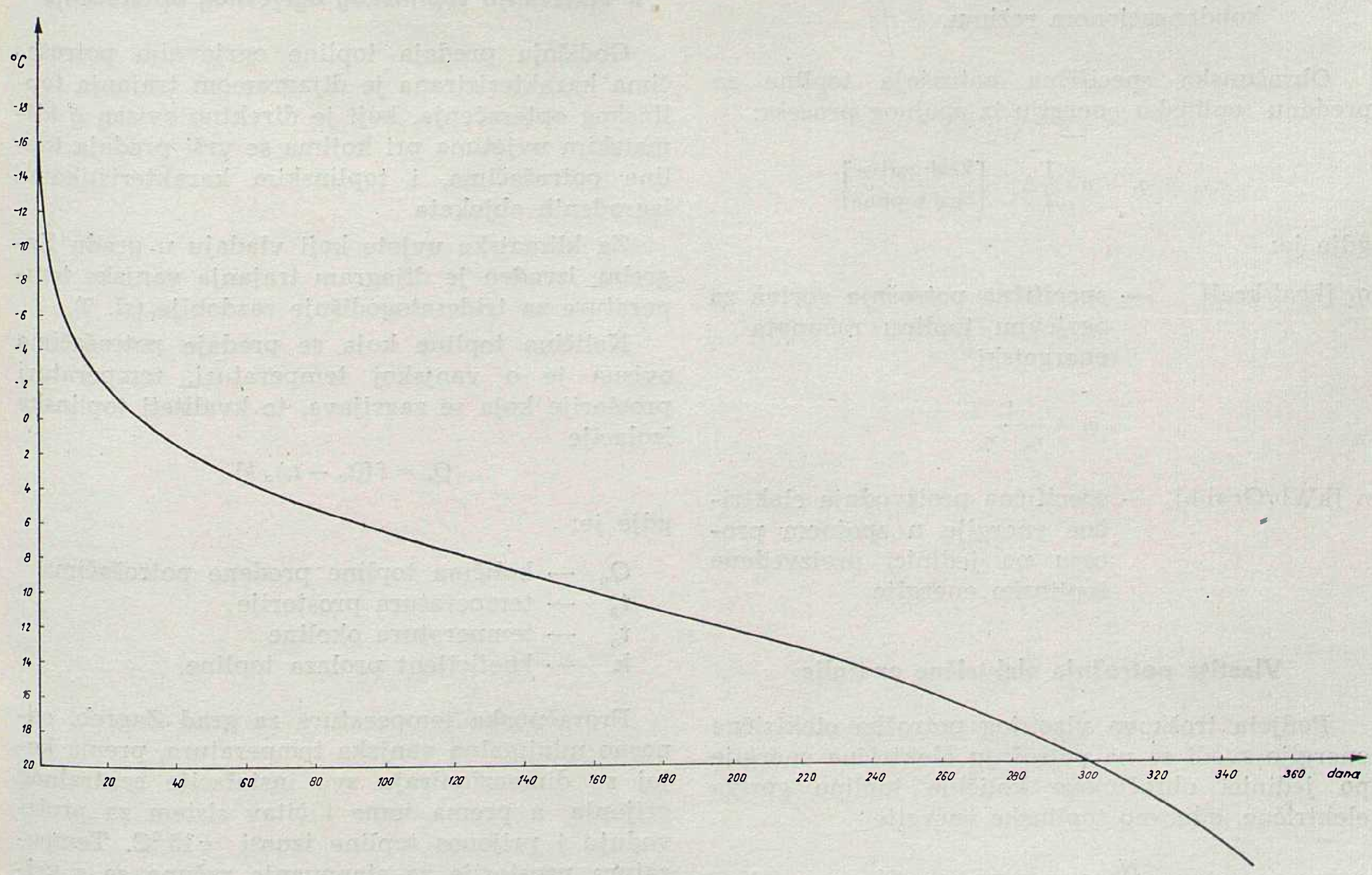
a) U prvom slučaju podjela troškova energetskog goriva može se računati u odnosu na sadržaj topline takvog procesa — *energetska podjela*. Kod ovog načina ukupna se korist spojnog procesa nalazi na strani električne energije. Toplinska energija obračunava se sa potroškom goriva kao iz izravnog procesa.

b) U drugom slučaju podjela troškova elektroenergetskog goriva može se računati u odnosu na radne sposobnosti produkata procesa — *eksergetska podjela*. Očito je, da je kod ovog slučaja ukupna korist spojnog procesa na strani toplinskih djelatnosti.

Iz navedenog se vidi, da se podjela troškova mora izvršiti unutar dvaju navedenih graničnih slučaja, a ključ koji će se u određenom slučaju primjeniti najčešće je stvar tehničkog i ekonomskog dogovora, što proizlazi iz specifičnosti u kojima se gradi postrojenje sa spojnim procesom.

Jedna od mogućih podjela, koja se najčešće prihvaća, sastoji se u tome da se korist spojnog procesa u pogledu potroška goriva dijeli na veličine koje odgovaraju srednjoj vrijednosti obračuna dobivenim pod a) i b).

Za pokrivanje toplinskog ogrjevnog konzuma u gradu Zagrebu analizirana je opravdanost izgradnje toplifikacione blokovske jedinice, toplinske snage 160 Gcal/h i električne snage 135 MW, uz primjenu iznijetog principa podjele troškova goriva. Podjela stalnih troškova između električne i toplinske djelatnosti, proizašla je kao rezultat podjele troškova goriva. U navedenom slučaju ovaj odnos troškova iznosi 80 : 20%.



Sl. 7 Dijagram stupnjeva dana za grad Zagreb (30 godišnji prosjek)

Na primjeru toplinske sheme (sl. br. 6) i karakteristika opreme blokovske jedinice 135 MW i 160 Gcal/h prikazat će se proračun troškova goriva i vlastitog potroška električne energije za električnu i toplinsku djelatnost.

Specifična potrošnja topline

Obračunska specifična potrošnja topline (goriva) za protutlačnu električnu energiju na generatoru iznosi:

$$q_{ob} = q_p + \frac{1}{2} \Delta q \quad \text{[kcal/kWh]}$$

gdje je:

q_p — [kcal/kWh] specifična potrošnja topline protutlačne električne energije na generatoru

$$q_p = \frac{860}{\eta_k \cdot \eta_G \cdot \eta_c \cdot \eta_m \cdot \eta_{vl}} \quad \text{[kcal/kWh]}$$

η_k — stupanj korisnog djelovanja kotla
η_G — stupanj korisnog djelovanja generatora
η_c — stupanj korisnog djelovanja cjevovoda
η_m — stupanj korisnog djelovanja mehanički
η_{vl} — stupanj korisnog djelovanja vlastite potrošnje.

$\Delta q = q_k - q_p$ [kcal/kWh] ušteđena količina topline, kao rezultat efekta spojnog procesa

— q_k [kcal/kWh] specifična potrošnja topline na generatoru u čisto kondenzacionom režimu.

Obračunska specifična potrošnja topline za predanu toplinsku energiju iz spojnog procesa:

$$q_{obt} = q_t - n \cdot \frac{1}{2} \Delta_q \quad \left[\frac{\text{kcal goriva}}{\text{kcal topline}}\right]$$

gdje je:

q_t [kcal/kcal] — specifična potrošnja goriva za ogrjevnu toplinu računata energetski

$$q_t = \frac{1}{\eta_k \cdot \eta_c}$$

n [kWh/Gcal h] — specifična proizvodnja električne energije u spojnom procesu po jedinici proizvedene toplinske energije

Vlastita potrošnja električne energije

Podjela troškova vlastitog potroška električne energije svodi se na potrošnju električne energije po jedinici obračunske količine topline goriva električne, odnosno toplinske energije

$$p = \frac{N_p}{Q} \quad \text{[kWh/Gcal goriva]}$$

gdje je:

N_p [kWh] — vlastita potrošnja električne energije u toplifikacionom režimu
Q [Gcal] — količina dovedene topline gorivom u kotao.

Za stanje termodinamičkih parametara u toplinskoj shemi br. 6 i karakteristike opreme, navedeni specifični pokazatelji iznose:

Specifični pokazatelj opreme:

η_k = 0,915
η_c = 0,985
η_m = 0,995
η_c = 0,990

Specifični potrošci topline:

q_h = 2260 kcal/kWh
q_p = 970 kcal/kWh
q_{ob} = 1615 kcal/kWh
q_t = 1,105 kcal goriva/kcal topline
n = 617 kWh/Gcal
q_{obt} = 0,707 kcal goriva/kcal topline

Snaga vlastitog potroška električne energije:

N_p = 8519,5 kW
Q = 348 Gcal/h
p = 24,5 kWh/Gcal goriva

Izbor optimalne vrijednosti udjela spojnog procesa u otkrivanju toplinskog ogrjevnog opterećenja

Godišnja predaja topline ogrjevnim potrošačima karakterizirana je dijagramom trajanja toplinskog opterećenja, koji je direktno ovisan o klimatskim uvjetima pri kojima se vrši predaja topline potrošačima, i toplinskim karakteristikama izgrađenih objekata.

Za klimatske uvjete koji vladaju u gradu Zagrebu, izrađen je dijagram trajanja vanjske temperature za tridesetogodišnje razdoblje (sl. 7).

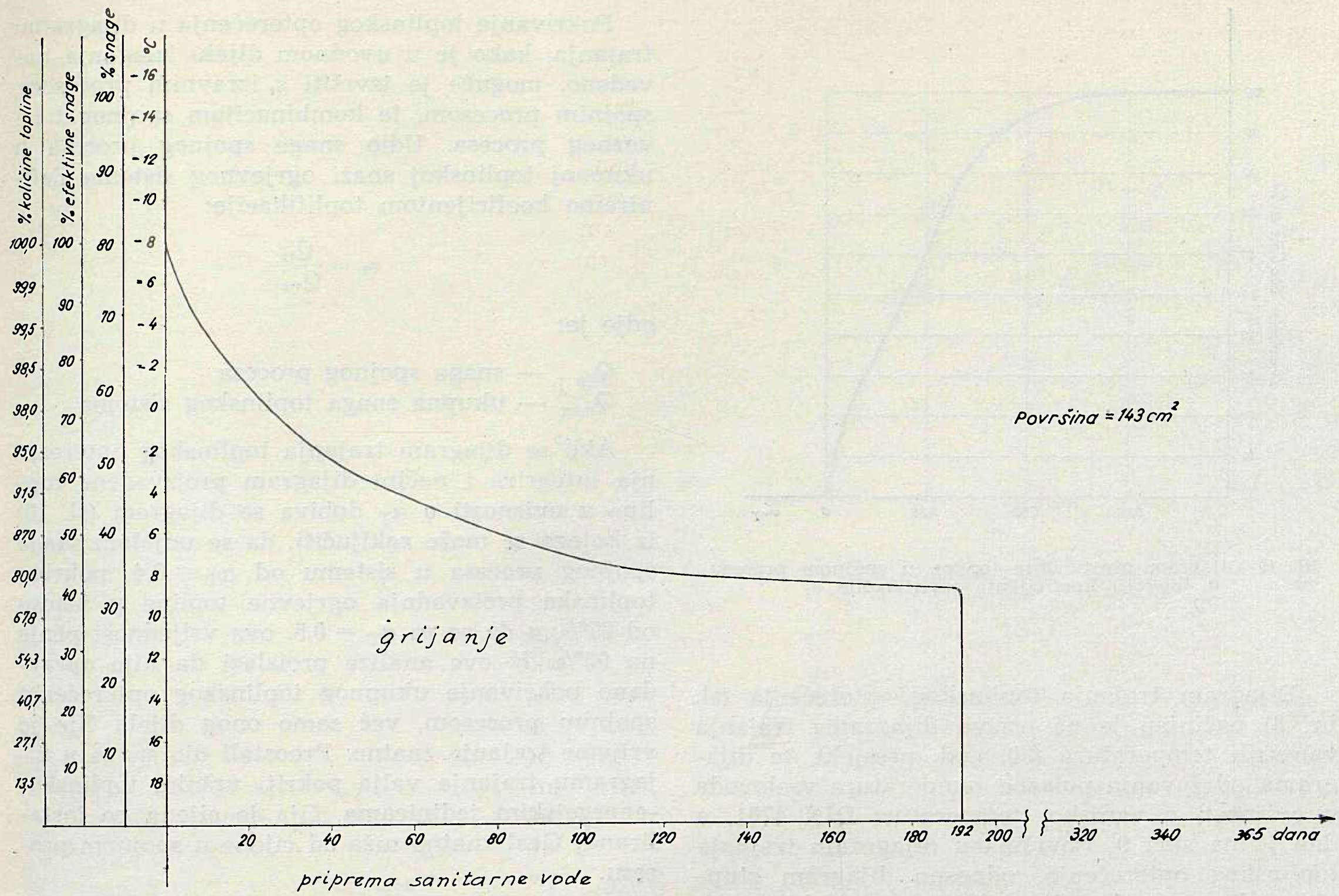
Količina topline koja se predaje potrošačima ovisna je o vanjskoj temperaturi, temperaturi prostorije koja se zagrijava, te kvaliteti toplinske izolacije

$$Q_p = f\,[(t_p - t_o), k]$$

gdje je:

Q_p — količina topline predane potrošačima
t_p — temperatura prostorije
t_o — temperatura okoline
k — koeficijent prolaza topline.

Proračunska temperatura za grad Zagreb, odnosno minimalna vanjska temperatura, prema kojoj se dimenzioniraju sve instalacije centralnog grijanja, a prema tome i čitav sistem za proizvodnju i prijenos topline iznosi −15 °C. Temperatura prostorije za stanovanje računa se s vrijednosti +20 °C, odnosno +19 °C.



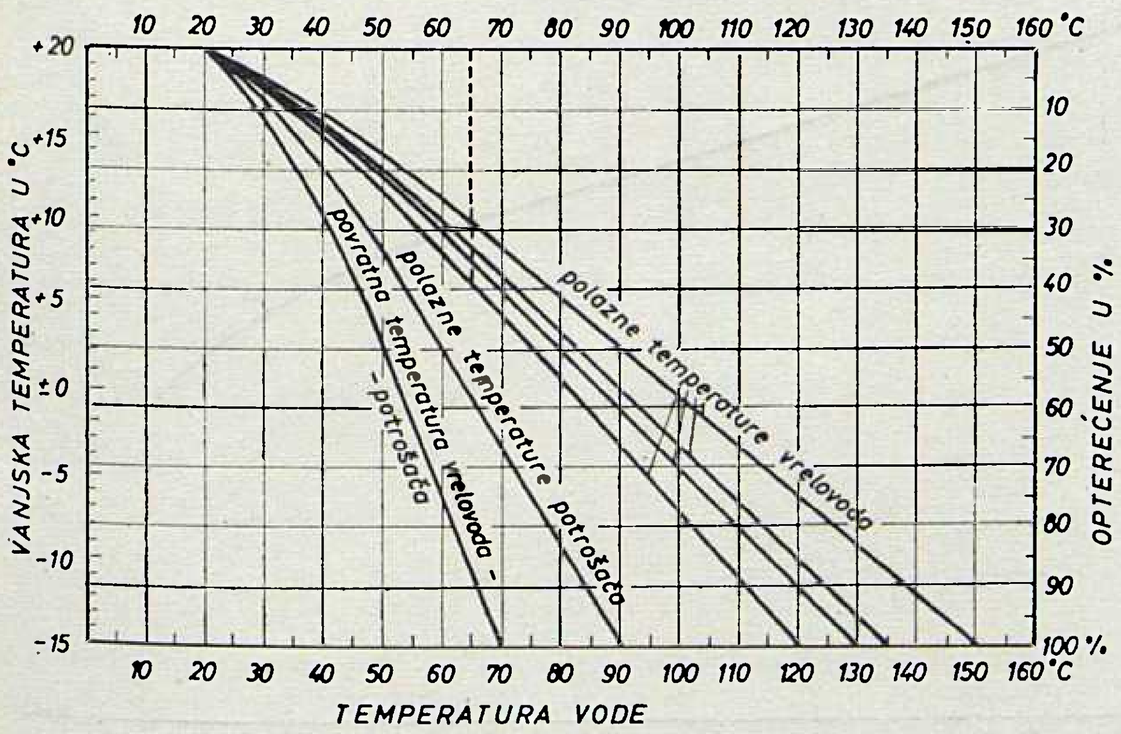
Sl. 8 Dijagram trajanja potrošnje ogrjevne topline (30 godišnji prosjek)

Maksimalna količina topline koju valja predati potrošaču, javlja se kod proračunskih temperaturnih stanja temperatura okoline i temperature prostorije.

$$Q_{max} = [f(t_p - t_{o\,max}), k].$$

Odnos količine topline Q_p/Q_{max}, definira koeficijent toplinskog opterećenja

$$\alpha^\circ = \frac{Q_p}{Q_{max}} = \frac{t_p - t_o}{t_p = t_{max}} = \frac{20 - t_o}{35}.$$



Sl. 9 Dijagram polazne temperature vrelovoda u ovisnosti o vanjskoj temperaturi

Za klimatske uvjete grada Zagreba koeficijent α^0 iznosi po mjesecima:

Mjesec	1	2	3	4	*	10	11	12
Srednja temperatura zraka	0,1	1,8	6,0	11,3		11,3	6,2	2,8
α^0	0,57	0,52	0,40	0,249		0,249	0,395	0,49

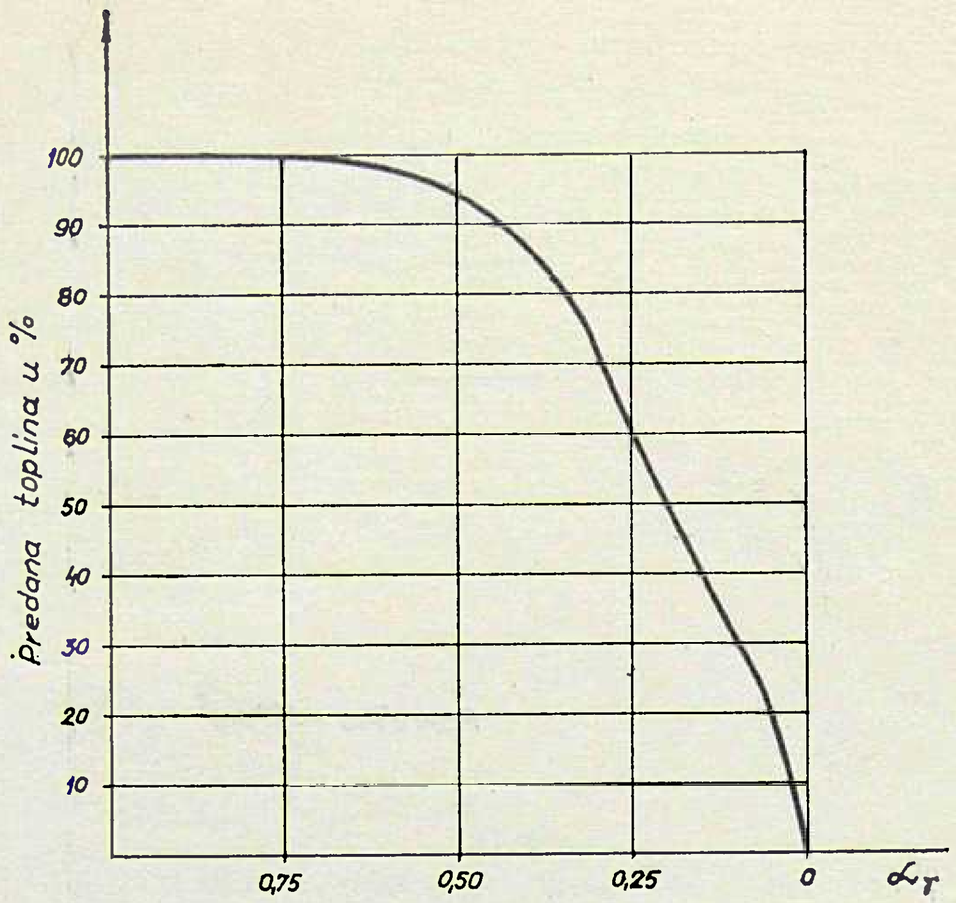
Za ukupno ogrjevno razdoblje koeficijent α^0 iznosi:

$$\alpha^\circ = 0{,}4107$$

Količina topline koja se predaje potrošačima po mjesecima, uz pretpostavku da svi mjeseci imaju 30 dana, iznosi:

Mjesec	1	2	3	4	10	11	12
% godišnje isporučene topline	20,3	16,8	14,2	8,9	8,6	13,8	17,5 100

Veličinu vrijednosti koeficijenta toplinskog opterećenja α^0, karakterizira oblik dijagrama trajanja toplinskog opterećenja. Ukoliko je vrijednost koeficijenta α^0 niža, utoliko je dijagram trajanja strmiji.



Sl. 10 Dijagram proizvodnje topline u spojnom procesu u funkciji koeficijenta toplifikacije α_T

Dijagram trajanja toplinskog opterećenja (sl. br. 8) načinjen je na osnovi dijagrama trajanja vanjskih temperatura (30. god. presjek), te dijagrama održavanja polazne temperature vrelovoda u ovisnosti o vanjskoj temperaturi DIN 4701, a dan je na slici 9. Površina u dijagramu trajanja toplinskog opterećenja, odnosno dijagram stupnjeva dana, predstavlja količinu topline koja se predaje toplinskim potrošačima.

Pokrivanje toplinskog opterećenja u dijagramu trajanja, kako je u uvodnom dijelu izlaganja navedeno, moguće je izvršiti s izravnim procesom, spojnim procesom, te kombinacijom spojnog i izvornog procesa. Udio snage spojnog procesa u ukupnoj toplinskoj snazi ogrjevnog sistema definiramo koeficijentom toplifikacije:

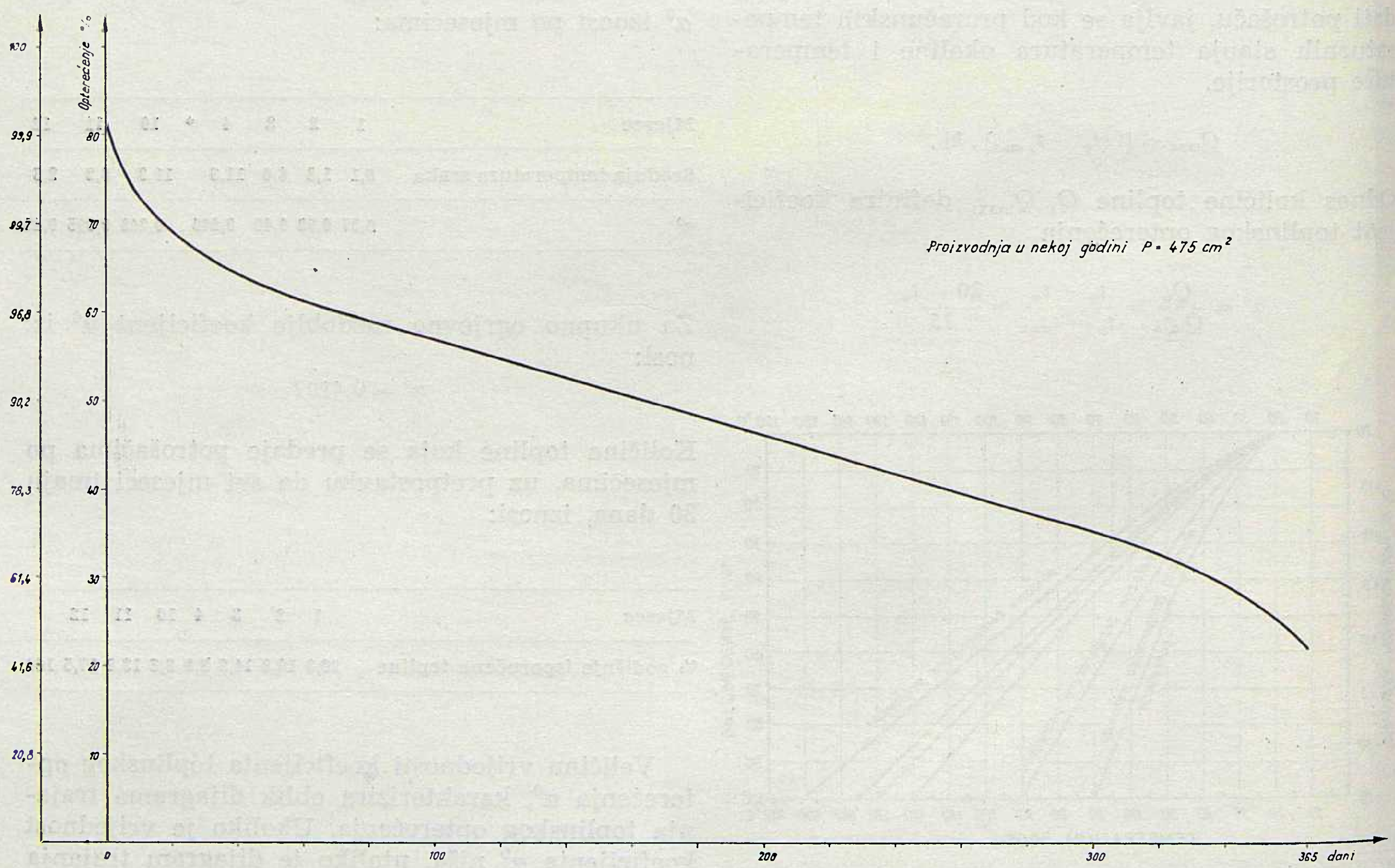
$$\alpha_L = \frac{Q_{sp}}{Q_{max}}$$

gdje je:

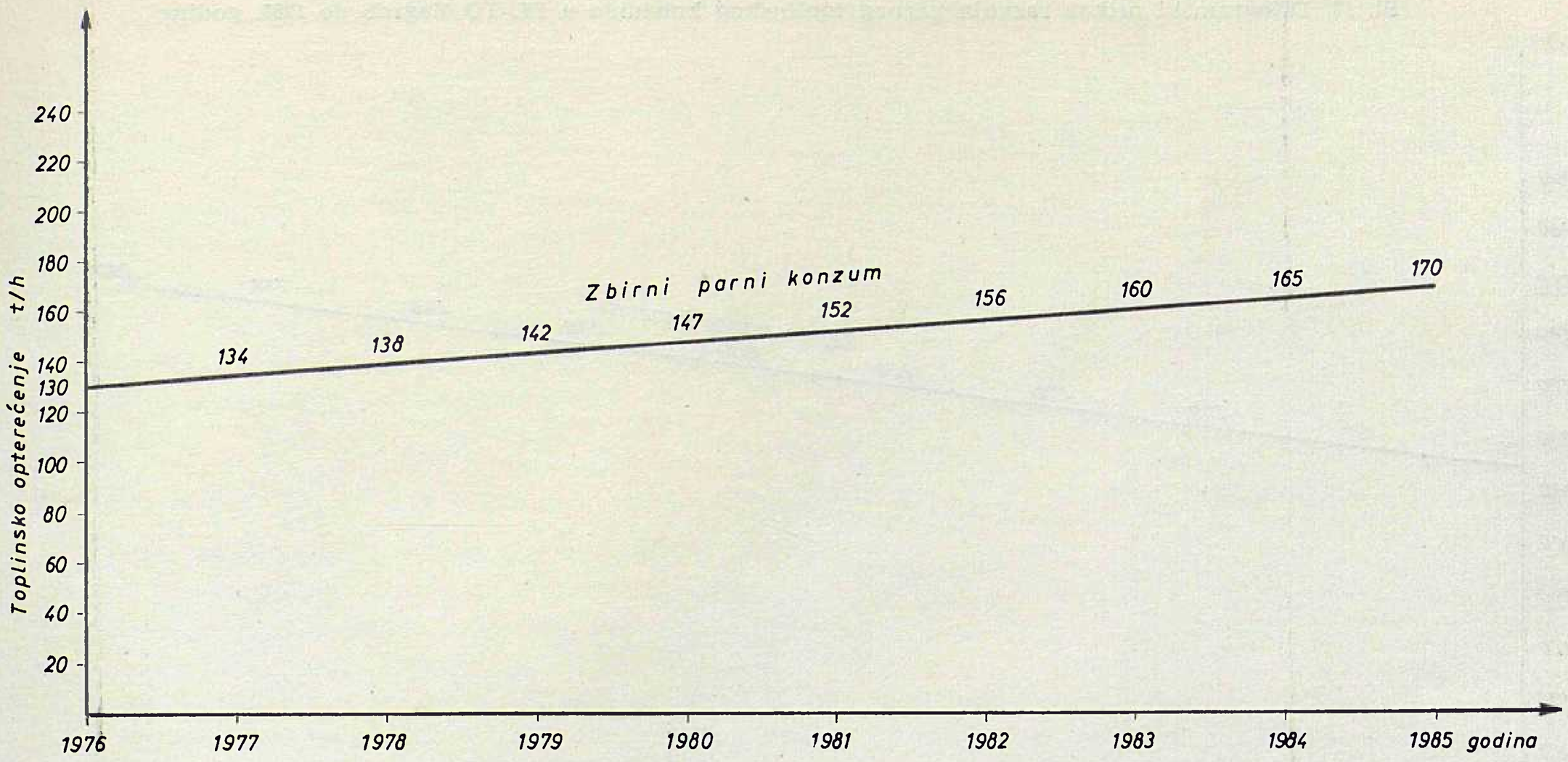
Q_{sp} — snaga spojnog procesa
Q_{max} — ukupna snaga toplinskog sistema

Ako se dijagram trajanja toplinskog opterećenja integrira i načini dijagram proizvedene topline u ovisnosti o α_T dobiva se dijagram (sl. 10) iz kojega se može zaključiti, da se udjelom snage spojnog procesa u sistemu od $\alpha_T = 0{,}4$, pokriva toplinska proizvodnja ogrjevne topline u iznosu od 87%, a da se za $\alpha_T = 0{,}5$, ova vrijednost penje na 95%. Iz ove analize proizlazi da nije opravdano pokrivanje ukupnog toplinskog opterećenja spojnim procesom, već samo onog dijela čije je vrijeme trajanja znatno. Preostali dio snage u dijagramu trajanja valja pokriti vršnim toplinsko-energetskim jedinicama, čija je cijena po instaliranoj Gcal znatno niža od cijene u spojnom procesu.

Za određivanje optimalne vrijednosti koeficijenta toplifikacije valja provesti računsku analizu



Sl. 11 Dijagram trajanja opterećenja na parovodu



Sl. 12 Dijagramski prikaz razvoja parnog toplinskog konzuma u TE-TO Zagreb do 1985. godine

koja se temelji na usporedbi godišnjih troškova proizvodnje spojnog procesa s jedne strane, i iste proizvodnje u izravnom procesu, toplinske energije u vrelovodnim ili parnim kotlovima, električne energije u kondenzacionim termoelektranama. Ako je razlika u godišnjim troškovima $\Delta T \geq 0$ spojni proces daje povoljne rezultate, pa se upravo iz tog uvjeta može odrediti granična vrijednost α_T.

Za uvjete ogrjevnog toplinskog konzuma, kao što su u gradu Zagrebu, optimalna vrijednost koeficijenta toplifikacije kreće se u području $\alpha_T \sim 0{,}41$ uz pretpostavku da se za pokrivanje ogrjevnog toplinskog konzuma koristi spojni proces veličine $\sim$ 160 Gcal/h i električne snage $\sim$ 120 MW u kombinaciji sa vrelovodnim kotlovima toplinske snage i 50 Gcal/h za pokrivanje vršnih opterećenja.

Karakteristike centraliziranog sistema predaje topline grada Zagreba

Toplifikacija grada Zagreba izvedena je iz dviju dosad izgrađenih toplana, lociranih, jedna na istočnom dijelu grada Termoelektrana - Toplana, a druga na zapadnom dijelu grada, Elektrana - Toplana, te određenim brojem blokovskih kotlovnica. Svaka od ovih toplana snabdijeva toplinskom energijom potrošače koji im gravitiraju, i to putem vrelovodnih i parovodnih mreža. Međusobna povezanost toplinske mreže u smislu alternativne opskrbe potrošača iz pojedinih toplana ne postoji, pa se razvoj toplinskog konzuma i njegov način pokrivanja dosad odvojeno tretirao. Pokrivanje toplinskog konzuma u obje toplane bilo je u kombinaciji spojnog procesa sa vršnim vrelovodnim, odnosno parnim energetskim jedinicama.

Parni toplinski konzum

Parni toplinski konzum sačinjavaju svi industrijski i ogrjevni potrošači vezani na parnu mrežu.

Parne mreže Termoelektrane - Toplane i Elektrane - Toplane potpuno su odvojene, a rade s različitim termodinamičkim parametrima prijenosnog medija:

	Termoelektrana--Toplana (TE-TO)	Elektrana-Toplana (EL-TO)
pritisak pare ata	7—10	15—18
temperatura pare °C	190—230	230

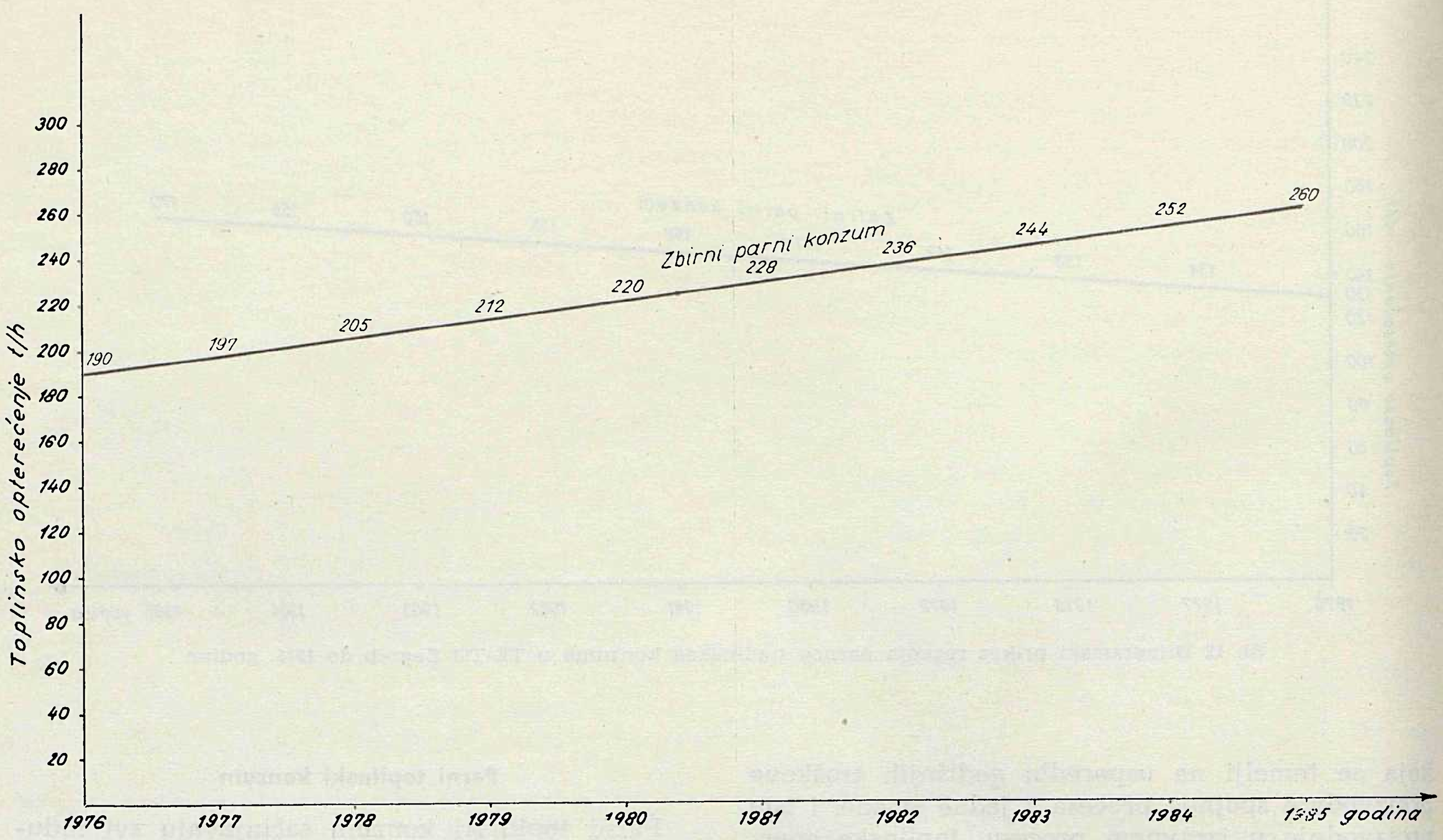
S obzirom na udaljenost konzuma i različitih termodinamičkih parametara, njihovo povezivanje nije moguće, pa će i ubuduće snabdijevanje biti isključivo vezano za postojeće lokacije toplinskih izvora.

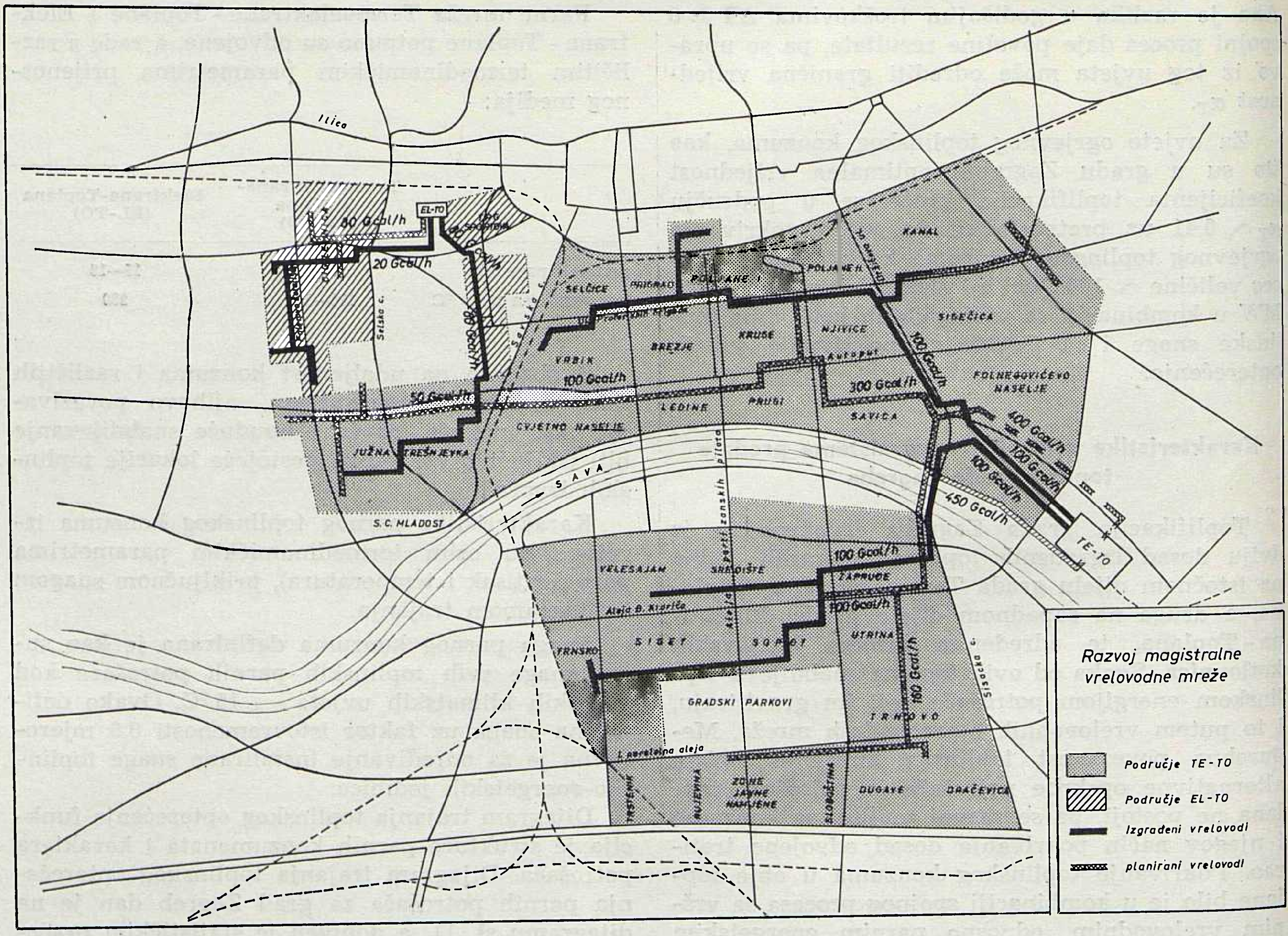
Karakteristike parnog toplinskog konzuma izražene su osim termodinamičkim parametrima pare (pritisak i temperatura), priključnom snagom i dijagramom trajanja.

Snaga parnog konzuma definirana je kao suma snage svih toplinskih parnih potrošača kod vanjskih klimatskih uvjeta — 15 °C. Ovako definirana snaga uz faktor istovremenosti 0,8 mjerodavna je za određivanje instalirane snage toplinsko-energetskih jedinica.

Dijagram trajanja toplinskog opterećenja funkcija je strukture parnih konzumenata i karaktera potrošača. Dijagram trajanja toplinskog opterećenja parnih potrošača za grad Zagreb dan je na dijagramu sl. 11, a dobiven je statističkim praćenjem toplinskog opterećenja u TE-TO i EL-TO.

Sl. 13 Dijagramski prikaz razvoja parnog toplinskog konzuma u EL-TO Zagreb do 1985. godine





Sl. 14 Razvoj magistralne vrelovodne mreže

Vrelovodni toplinski konzum

Vrelovodni toplinski konzum sačinjavaju svi ogrjevni potrošači vezani za vrelovodni sistem TE-TO i EL-TO.

Vrelovodni sistem TE-TO i EL-TO su sa centralnom regulacijom, sa projektiranim režimom u eksploataciji 150/70 °C.

Cirkulacija vode u vrelovodnom toplinskom sistemu je bez dnevnih obustava time, da se ostvaruju dva cirkulaciona režima:

a) ljetni
b) zimski.

U ljetnom režimu rada ostvaruje se kontinuirana priprema sanitarne vode, bez grijanja prostorija. Za ove potrebe, valja osigurati 5—8% instalirane toplinske snage za grijanje prostorija, tako da se u cirkulaciji u vrelovodnom sistemu nalazi smanjena količina vode (oko 1/4 — 1/3 u odnosu na zimsko ogrjevno razdoblje.

U zimskom režimu rada kod uključivanja ogrjevnih potrošača za grijanje prostorija, količina vode u cirkulaciji se povećava, dok se temperatura polazne vode centralno regulira ovisno o vanjskoj temperaturi zraka.

Za slučaj kvara na postrojenju za proizvodnju i prijenos topline, predviđena je redukcija potrošača u toplinskoj snazi na duže razdoblje za 25% od instalirane snage (minimalna vanjska temperatura —15 °C).

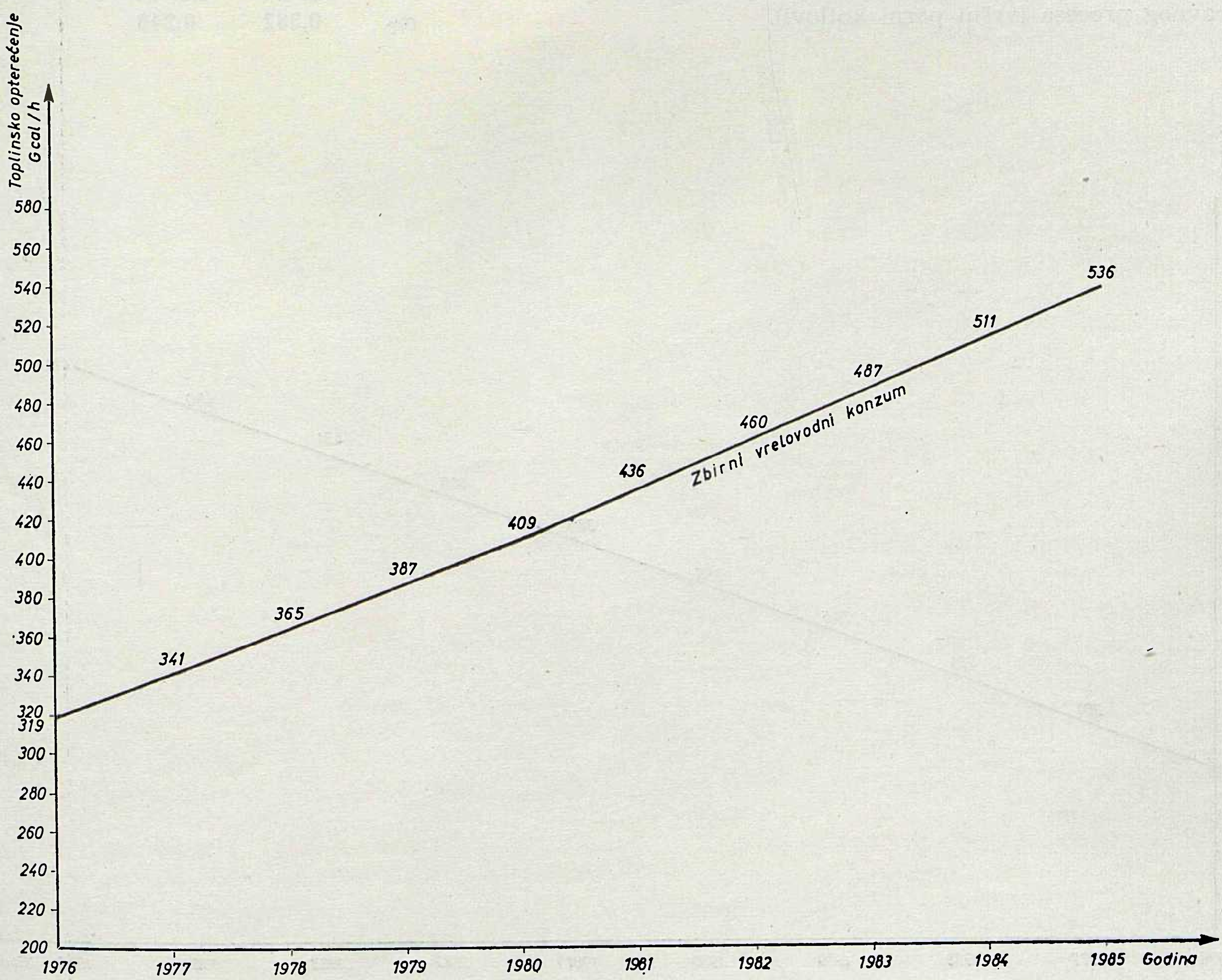
Razvoj parnog toplinskog konzuma

Razvoj parnog toplinskog konzuma u najvećoj mjeri ovisi o potrebi industrijskih potrošača, a u manjoj mjeri o ogrjevnim potrošačima. Na osnovi provedenih anketa i analiza u okviru »Toplinskih mreža« dobiveni su rezultati za prognozu razvoja parnog toplinskog konzuma do 1985. g.

Na dijagramu sl. br. 12 prikazan je porast parnog konzuma u TE-TO, a dijagram sl. br. 13 u EL-TO.

Razvoj ogrjevnog toplinskog konzuma

Razvoj ogrjevnog toplinskog konzuma u neposrednoj je vezi s urbanističkim planom izgradnje grada i predviđenim područjima za toplifikaciju iz centralnih izvora. Prema studiji »Usmjeravanje opskrbe Zagreba toplinskom energijom« defini-



Sl. 15 Dijagramski prikaz razvoja zbirnog ogrjevnog toplinskog konzuma u TE-TO i EL-TO Zagreb

rano je prostorno područje Zagreba koje će koristiti toplinsku energiju iz centralnih izvora (vidi sl. br. 14).

Trend izgradnje pojedinih područja predviđenih za toplifikaciju iz centralnih izvora uvjetovan je nizom faktora, kao npr. stanjem komunalija, te prostornim mogućnostima za masovnu izgradnju.

Za srednjoročni plan razvoja ogrjevnog toplinskog konzuma do 1985. g. predviđen je godišnji trend porasta između 5,0—7,5%. Dijagramski prikaz razvoja toplinskog ogrjevnog konzuma, koji će se pokrivati iz TE-TO i EL-TO, prikazan je na sl. br. 15. Na dijagramu sl. br. 16 prikazan je trend porasta toplinskog konzuma koji će se pokrivati iz TE-TO. Ovaj trend porasta pretpostavlja povezivanje postojećih toplinskih mreža istoka i zapada novom vrelovodnom magistralom što će se izgraditi uz autoput.

Prethodno navedeni porast toplinskog konzuma zahtijeva odgovarajuću izgradnju toplinskih mreža i izvora.

U dijagramu br. 13 prikazana je toplinska mreža koja može zadovoljiti potrebe do 1985. g

Način pokrivanja parnog toplinskog konzuma

Pokrivanje parnog toplinskog konzuma u TE-TO bilo je isključivo iz spojnog procesa, dok je u EL-TO bilo dijelom iz spojnog, a dijelom iz izravnog procesa (vršni parni kotlovi).

Porast parnog konzuma do 1985. g. je takav, da će se njegovo pokrivanje u TE-TO moći obaviti postojećim toplinsko-energetskim jedinicama spojnog procesa (2 × 32 MW) sa 90%, a preostalih 10% vršnim jedinicama. Ovakav način pokrivanja parnog toplinskog konzuma zahtijeva izgradnju novih jedinica za kombiniranu proizvodnju, za pokrivanje ogrjevnog toplinskog konzuma.

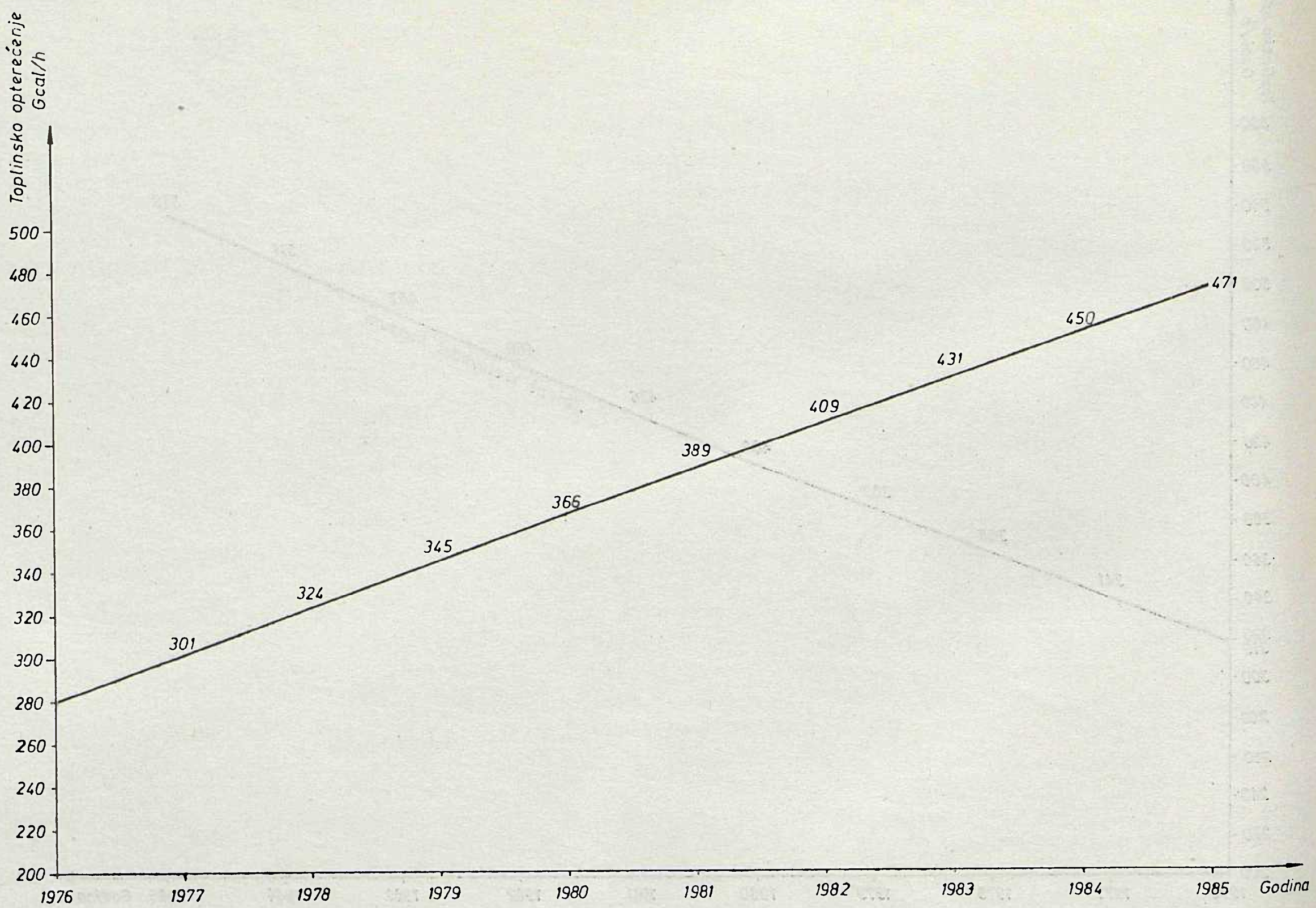
Porast parnog konzuma u EL-TO do 1985. g. je takav da postojeće toplinsko-energetske jedinice spojnog procesa mogu proizvesti svega 32 do 38% ukupne količine tehnološke pare, odnosno oko 14—18% toplinske snage. Preostali dio tehnološke pare proizvodi se u izravnom procesu.

Prema trendu porasta parnog konzuma i stanja postojećih toplinsko-energetskih jedinica, bit će potrebno izgraditi nove energetske izvore, u spojnom procesu 100 t/h, a izravnom ~ 160 t/h.

Način pokrivanja ogrjevnog toplinskog konzuma

Pokrivanje ogrjevnog toplinskog konzuma u TE-TO i EL-TO bilo je djelomično spojnim procesom, a djelomično izravnim procesom (vrelovodnim kotlovima). Udio spojnog procesa u pokrivanju ogrjevnog konzuma u 1973. g. iznosio je:

	TE-TO	EL-TO
α_T	0,382	0,246



Sl. 16 Dijagramski prikaz razvoja ogrjevnog toplinskog konzuma TE-TO Zagreb

Prema dijagramima porasta ogrjevnog toplinskog konzuma za razdoblje do 1985. g., te optimalnoj vrijednosti koeficijenta toplifikacije α_T, moguće je instalirati nove toplinsko-energetske izvore spojnog procesa. Ovoj činjenici valja dodati i to da će postojeće blokovske jedinice 2 × 32 MW (70 Gcal/h i 140 t/h toplinske snage) imati preko 100.000 sati rada već u 1978. odnosno 1979. godini, što čini vijek trajanja blokovskih jedinica. Sigurno je, da se postojeće blokovske jedinice uz određene rekonstrukcije mogu uz smanjenu raspoloživost koristiti i kasnije. Ako se pođe s navedenom pretpostavkom, i ako se blokovske jedinice 2 × 32 MW koriste za pokrivanje tehnološkog konzuma, tada bi uz uključivanje nove blokovske jedinice toplinske snage 160 Gcal/h, koeficijent toplifikacije iznosio

Godina	TE-TO	EL-TO
1977.	0,697	0,400
1978.	0,494	0,390
1979.	0,464	0,381
1980.	0,437	0,372
1981.	0,411	0,340
1985.	0,334	0,231

Toplinska snaga novog toplinskog izvora uvjetno je uzeta 160 Gcal/h, i stoga što je ista toplinska snaga uzeta kod određivanja optimalne vrijednosti α_T. Preostali dio potrebne toplinske snage pokrivao bi se vrelovodnim kotlovima 50 Gcal/h.

Iz navedenih podataka o vrijednostima α_T može se zaključiti, da se novi toplinski izvor toplinske snage 160 Gcal/h optimalno uklapa u toplinski sistem 1980/1981. godini, dok se u isto vrijeme pojavljuje potreba za novom snagom spojnog procesa na lokaciji EL-TO.

Literatura:

1. Grupa autora: »*Analiza povoljnosti izgradnje toplifikacionog bloka 120 MW*«. Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1973.
2. Bengt Lög sa grupom autora: »*Combineol Stations for Power And District Heating In Sweden*«. VII Svjetska energetska konferencija, Moskva, 1968.
3. Jacek Marecki: »*The Optimization of Development And Cooperation Between Combined Heat And Power Stations And Heating Plants In Covering The Heat Demand In Towns*«. VI Svjetska energetska konferencija, Moskva, 1968.
4. J. Kozierski: »*Stadtheizung In Polen*«. HLH 22 (1971).

Naslov pisca: Mr. Duško Čorak, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

PRIJELAZ TOPLINE U ELEKTROPRIVREDNOJ POGONSKOJ PROBLEMATICI

Fedor Šprung, dipl. ing.
Šef laboratorija za toplinska mjerenja

Iz područja prijelaza topline prikazano je nekoliko karakterističnih problema od značaja za elektroprivredne pogone, kao i današnje mogućnosti rješavanja ovih problema. Iz prikaza je vidljiv razvoj mogućnosti, koji neposredno predstoji.

DK 621.31:539.6

1. Uvod

Problemi prijelaza topline u elektroprivredi su pitanja ugrijavanja i hlađenja komponenata proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije, zbog kojih obično ne nastaju trenutno velike posljedice. One nastaju ili trajno, u obliku energetskih gubitaka, ili dovedu kroz stanovito vrijeme do direktnih pogonskih smetnji, mada su energetski beznačajne.

Kao primjeri sprečavanja energetski značajnih gubitaka mogu se navesti nastojanja da se toplina dalekovoda vrelovodne mreže usmjeri na ogrjevna tijela, a prijelaz s površine cjevovoda direktno na okolicu svede na ekonomski opravdani minimum. Kod kotlovskih površina problem je obrnut, pa je poželjan što bolji specifični prijelaz topline s dimnih plinova na vodu, odnosno paru.

Karakteristični tehnološki problemi su odvođenje topline mehaničkog trenja, odvođenje topline gubitaka strojeva, ugrijavanje izolatora zračnih vodova i njihova mehanička oštećenja zbog naglog ugrijavanja i hlađenja.

Ima i kombiniranih problema, kao što je lijepljenje produkata sagorijevanja za cjevovode parnih kotlova, kod postojećih brzina strujanja i temperatura, koji najprije povećavaju toplinske gubitke, a zatim onemogućuju tehnološki proces.

Problemi nisu samo elektrotehnički i strojarski. Elektroprivredne građevine u eksploataciji ometane su često u svojoj funkciji naglim promjenama temperatura i njihovih promjena. Ljudi, koji rade u elektroprivrednim pogonima, nerijetko su kod intervencija na davačima mjernih uređaja, i kod sličnih radova, satima izloženi fiziološki nepovoljnim toplinskim uvjetima.

2. Temperaturna područja

Kod sadašnjih tehnologija, primjenjivanih u elektroprivredi, problemi se kreću u području od kojih −30 °C do +1200 °C i u cijelom tom dijapazonu nema intervala u kojem se ne pojavljuju povremeno problemi, nastali bilo zbog vanjskih uvjeta, bilo zbog specifičnih radnih okolnosti, koje projektant postrojenja i konstruktor objekata nisu mogli očekivati.

Statistički se najčešće javljaju smetnje u ovim temperaturnim intervalima:

— Do 100 °C na porculanskim izolatorima (radijaciono zagrijavanje i intenzivno hlađenje zbog toplinske crnoće površina) i već spomenuti problemi hlađenja velikih jedinica.

— Do 500 °C problemi ravnomjernog zagrijavanja ili hlađenja turbinskih kućišta i s tim u vezi temperaturnih deformacija, koje radi mjestimičnog dodira rotora sa statorom onemogućuju pogon.

— Do 1200 °C problemi taloženja produkata sagorijevanja na površinama izmjene topline između vode, odnosno pare i dimnih plinova i problemi korozije.

— U idućih deset godina valja očekivati i pojavu problema u području temperatura do blizu apsolutne nule. Električna i magnetska supervodljivost omogućuju u tom području oko dvijesto puta veća specifična opterećenja aktivnih dijelova, što omogućuje isto toliko smanjenje težine generatora i transformatora pri istoj snazi, odnosno za oko 6 puta smanjenje linearne dimenzije. Prvi takvi generatori su u pokusnom pogonu, a u serijskoj proizvodnji se očekuje da će troškovi održavanja ekstremno niskih temperatura uveliko biti kompenzirani uštedama cijena generatora i transformatora.

3. Primjeri metoda rješavanja

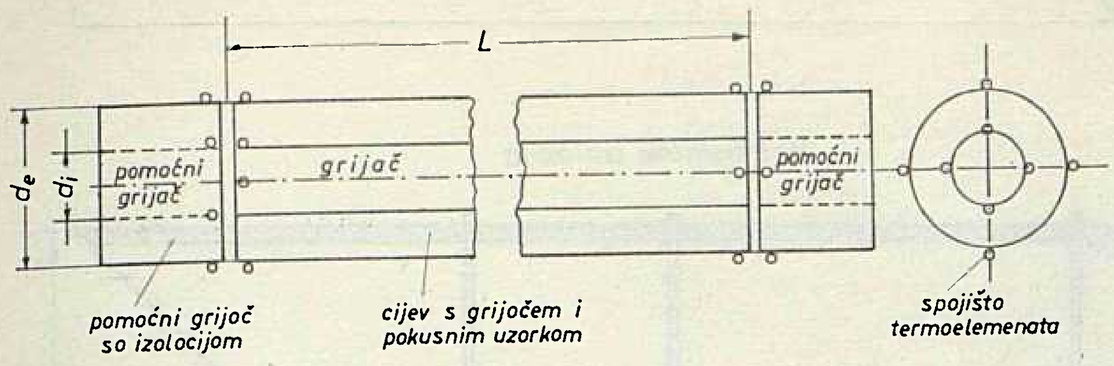
3.1. Stacionarne metode

3.1.1. Određivanje koeficijenta toplinske vodljivosti

Najčešći slučaj u elektroprivredi je izolacija cilindričnih površina (cjevovoda, otplinjača, kućišta parnih i plinskih turbina, i sl.).

Koeficijent toplinske vodljivosti za toplinske izolacije kod ovakvih površina određuje se u aparatu po Van Rinsumu.

Kod ove metode uzorak koji se ispituje ima oblik šupljeg valjka. U šupljini se nalazi grijač u obliku valjka, koji potpuno naliježe u šupljinu uzorka, tako da između grijača i uzorka nema nikakvih zračnih slojeva. Izolacioni materijal u uzorku složen je na onaj isti način, koji će biti primijenjen prilikom polaganja u izvedbama. Na unutarnjem i vanjskom plaštu pokusnog uzorka ravnomjerno su razmješteni termoelementi. Bočni



Sl. 1 Cijevni aparat za određivanje koeficijenta toplinske vodljivosti po Van Rinsumu

gubici topline sprečavaju se bočnim pomoćnim grijačima s izolacijom. Ovi grijači ostvaruju na graničnoj površini jednaku radijalnu raspodjelu temperatura, kao i pokusni uzorak.

Iz izmjene topline grijača Q razvijene elektrootporno u grijaču, te temperature na unutarnjem plaštu izolacije (t_i) i na vanjskom plaštu izolacije (t_e), uzevši u obzir geometrijske parametre grijača prema slici 1, određuje se koeficijent toplinske vodljivosti (λ) prema formuli:

$$\lambda = \frac{Q \ln \frac{d_e}{d_i}}{2 \pi L (t_i - t_e)} \qquad (1)$$

3.1.2. Određivanje koeficijenta prijelaza topline

Problemi prijelaza topline kotla i turbinskog dijela ciklusa, te hlađenje generatora i transformatora, ispituju se u tzv. otvorenom termodinamičkom ispitnom kanalu. Ovaj kanal je za područje niskih temperatura prikazan na slici 2, a za područje visokih temperatura na slici 3.

U principu kanal stvara plinsku struju različitog sastava, Reynolds'ovih brojeva i temperatura, a iz pripadnih vanjskih jedinica dobiva adekvatno pripremljen drugi medij nosilac topline, koji može biti tekućina ili para, ili također plin (npr. kod ispitivanja zagrijača zraka). Mjerenjem protoka i temperatura ovih medija dobivaju se značajke strujanja i uvid u neposredni utjecaj prijelaza topline. Mnogobrojna mjerenja protoka opravdala su izradu programa za elektroničko digitalno računalo prikazano na slici 4.

Ovakvi kanali omogućuju i ispitivanje utjecaja pogonskih smetnji na proces, kao što je taloženje kamenca, funkcioniranje gorionika, stupanj potpunosti izgaranja, korozija i sl.

3.1.3. Analogno određivanje temperaturnih polja

Stacionarna stanja temperaturnih polja ne daju se izračunati, ali se daju vrlo dobro prikazati upotrebom analognih polja električnog potencijala.

Princip mjerenja prikazan je na slici 5.

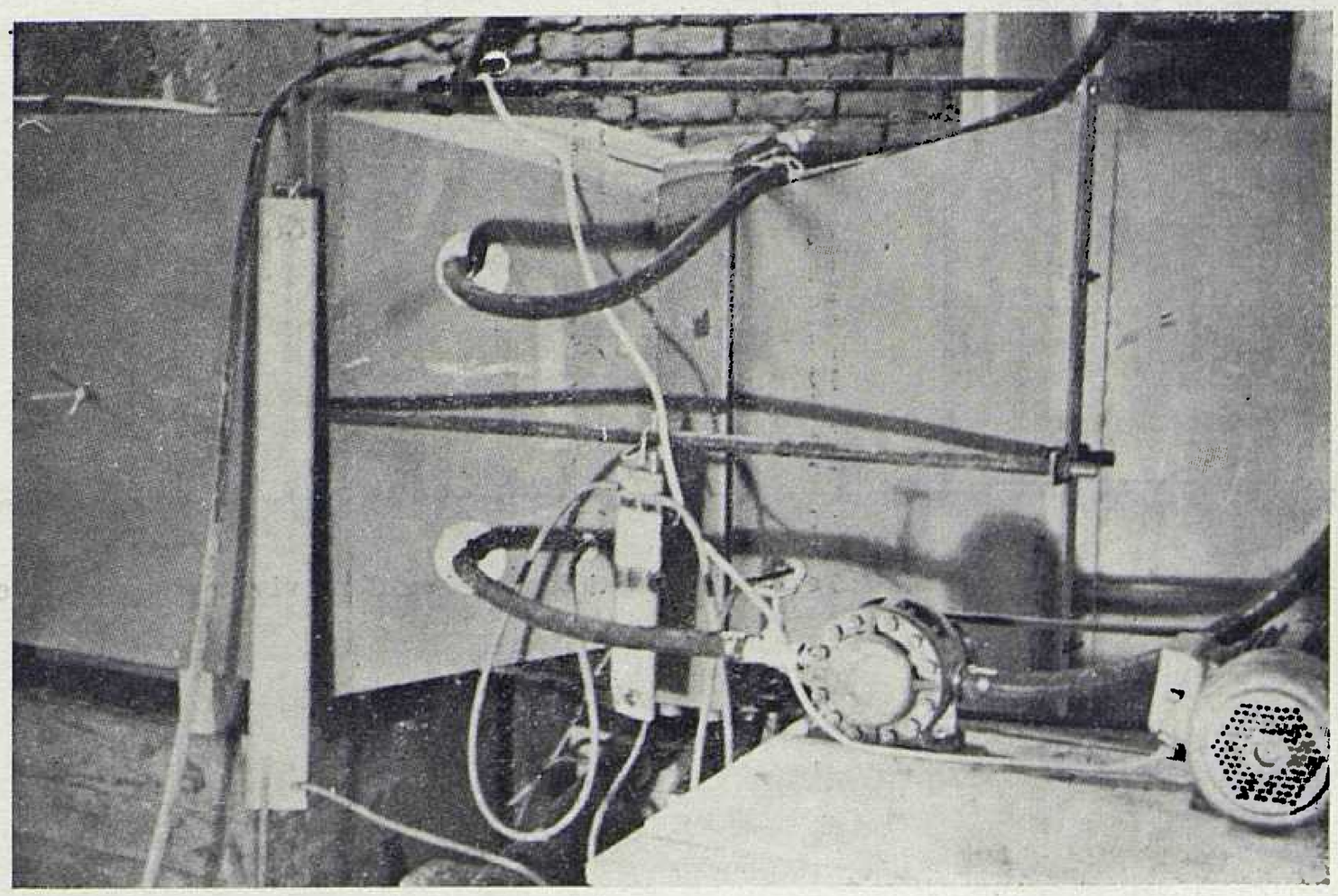
Kod konstantnog napona (U) priključenog s jedne strane na dekadski djelitelj, a s druge na objekt, kome se traži raspodjela temperaturnih polja, traže se nul-galvanometrom točke konstantnog potencijala. Konstantni potencijali odabiru se u cjelobrojnim odnosima $A : B$ time da je $A + B = U =$ konst.

Rezultati takvog ispitivanja za ljetni sunčani dan prikazani su na slici 6.

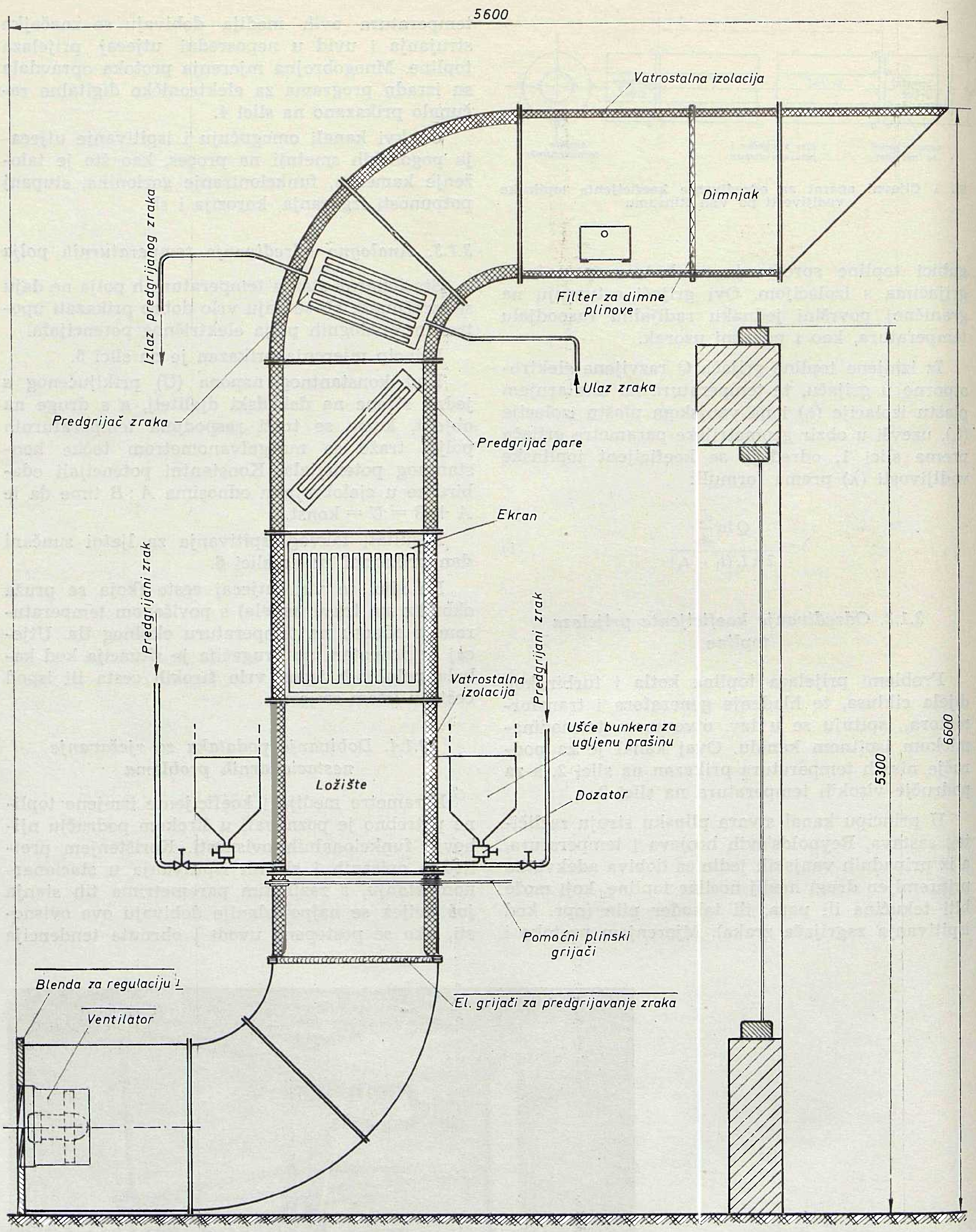
Na slici se vidi utjecaj ceste (koja se pruža okomito na trasu kabela) s povišenom temperaturom u odnosu na temperaturu okolnog tla. Utjecaj je neznatan, no drugačija je situacija kod kabela položenih ispod vrlo širokih cesta ili ispod cesta u istom smjeru.

3.1.4. Dobivanje podataka za rješavanje nestacionarnih problema

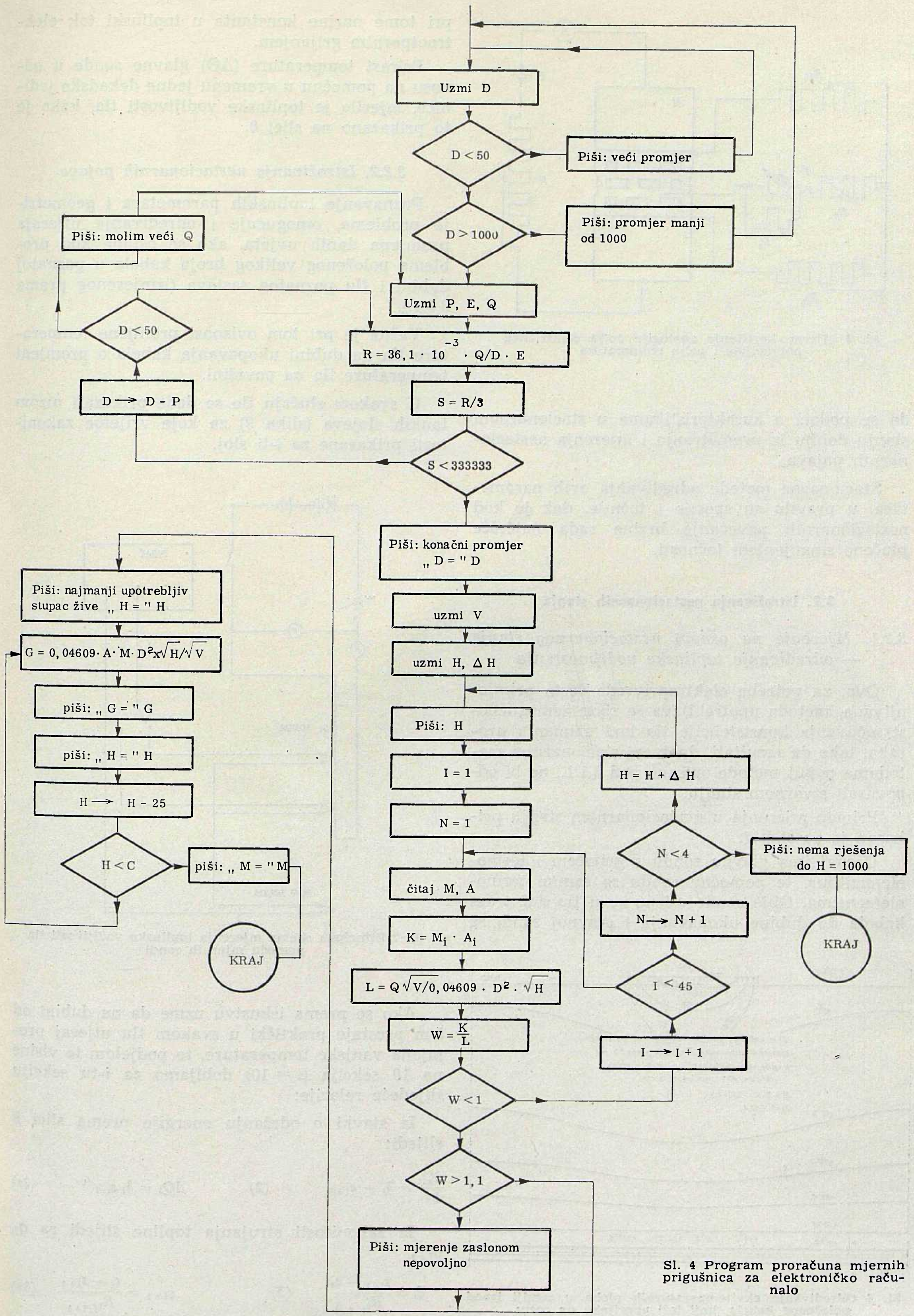
Parametre medija i koeficijente izmjene topline potrebno je poznavati u širokom području njihovih funkcionalnih ovisnosti. Korištenjem prethodno opisanih i sličnih ispitivanja u stacionarnom stanju, s različitim parametrima tih stanja još uvijek se najpouzdanije dobivaju ove ovisnosti, ako se postepeno uvodi i obrnuta tendencija



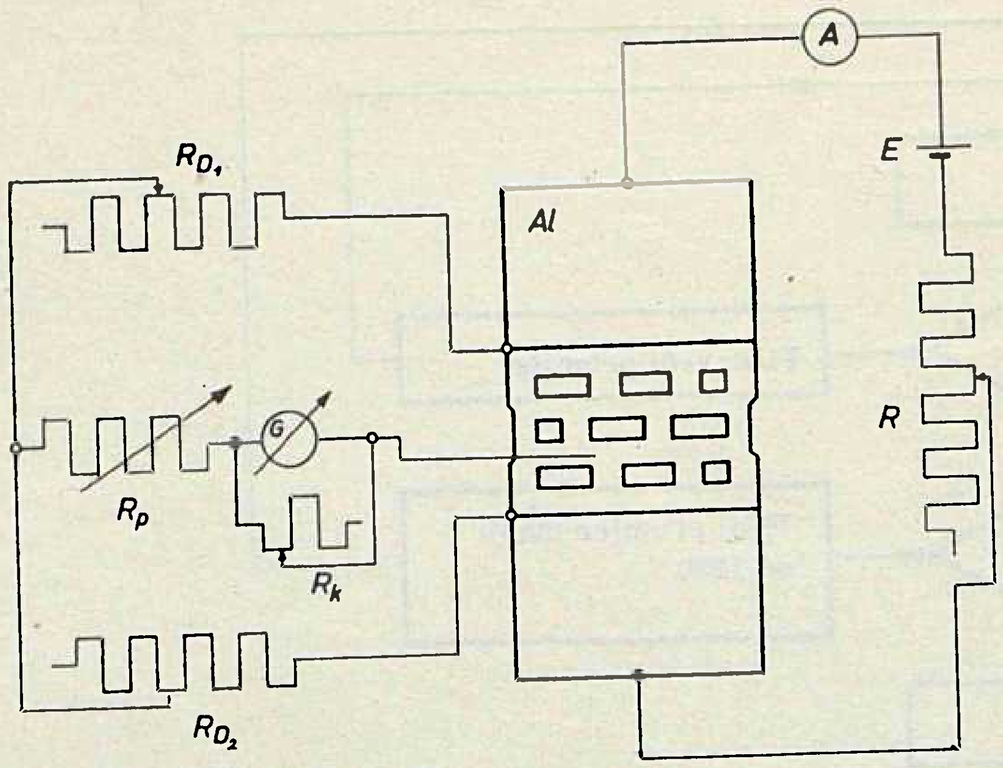
Sl. 2 Termodinamički ispitni kanal za niske temperature — mjerna sekcija



Sl. 3 Termodinamički ispitni kanal za visoke temperature — principna skica



Sl. 4 Program proračuna mjernih prigušnica za elektroničko računalo



Sl. 5 Mjerno korištenje analogije polja električnog potencijala i polja temperatura

da se podaci o karakteristikama u stacionarnom stanju dobiju iz promatranja i mjerenja nestacionarnih pojava.

Stacionarne metode određivanja ovih parametara, u pravilu su sporije i točnije, dok je kod nestacionarnih povećanje brzine rada najčešće plaćeno smanjenjem točnosti.

3.2. Istraživanja nestacionarnih stanja

3.2.1. Mjerenje na osnovi nestacionarnog stanja — određivanje toplinske vodljivosti tla

Ova, za potrebe elektroprivrede često primjenjivana, metoda upotrebljava se zbog nemogućnosti očuvanja konzistencije tla kod uzimanja uzoraka, tako da rezultati, dobiveni stacionarnim metodama poput metode opisane pod 3.1.1., ne bi odgovarali stvarnom stanju.

Princip mjerenja u nestacionarnom stanju prikazan je na slici 7.

Uređaj ima glavnu sondu s grijačem i termoelementima, te pomoćnu sondu sa samim termoelementima. Obje sonde utisnu se u tlo duž trase kabela do dubine ukopavanja i glavnoj sondi se pri tome narine konstanta u toplinski tok elektrootpornim grijanjem.

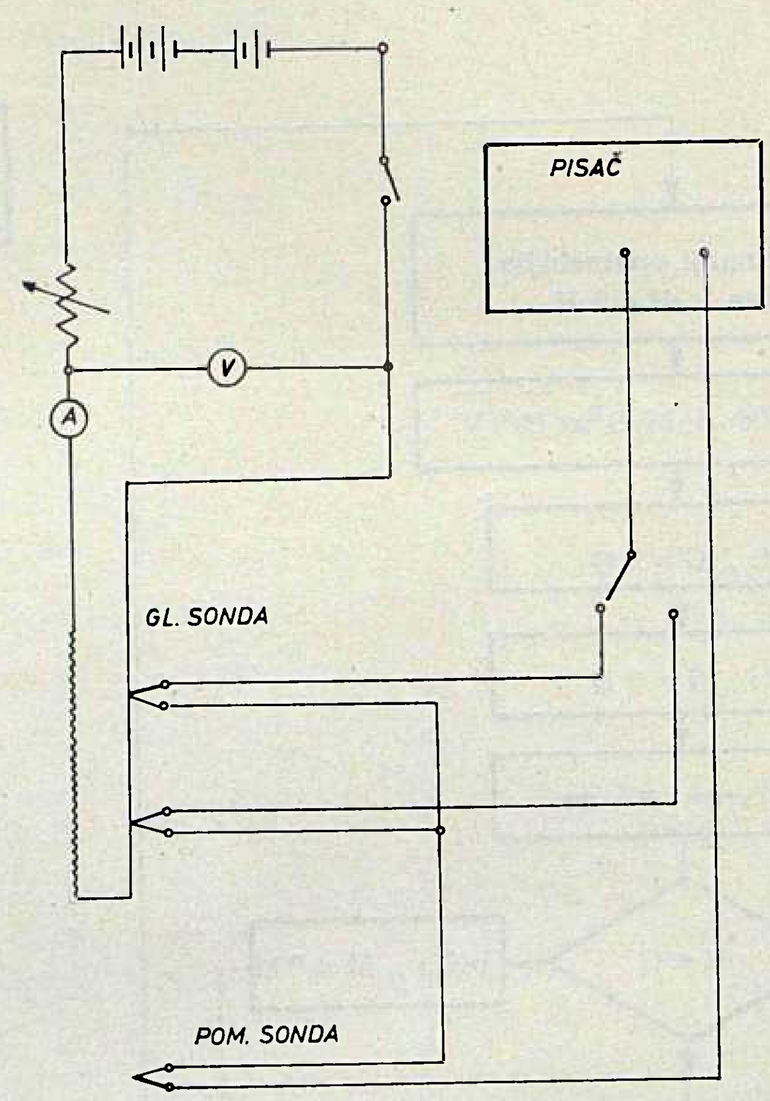
Prirast temperature ($\Delta\Theta$) glavne sonde u odnosu na pomoćnu u vremenu jedne dekadske jedinice, mjerilo je toplinske vodljivosti tla, kako je to prikazano na slici 8.

3.2.2. Istraživanja nestacionarnih pojava

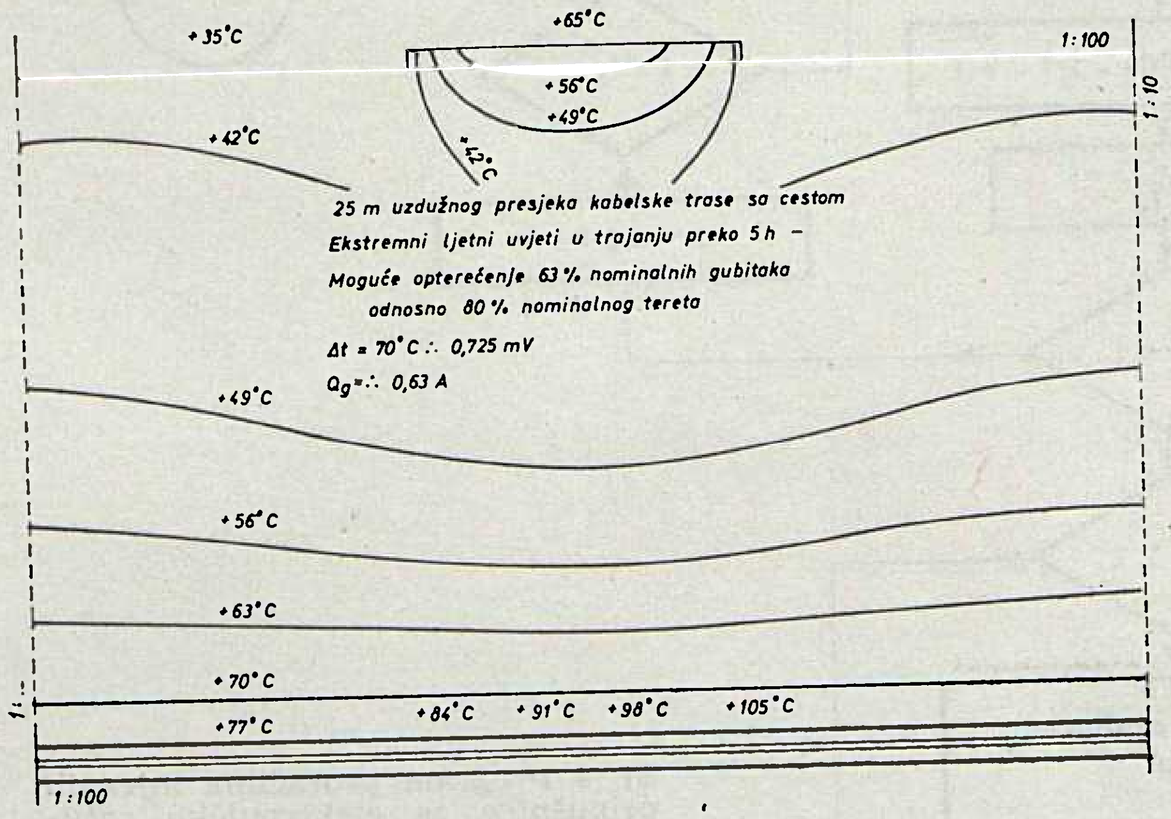
Poznavanje toplinskih parametara i geometrije problema, omogućuje i određivanje utjecaja promjena danih uvjeta, ako se ostane kod problema položenog velikog broja kabela u poznatoj dubini i tlu poznatog sastava (izmjerenog prema 3.2.1.).

Važna je pri tom ovisnost promjene temperature tla na dubini ukopavanja kabela o promjeni temperature tla na površini.

U svakom slučaju tlo se dade prikazati nizom tankih slojeva (slika 9) za koje vrijeme zakonitosti prikazane za *i*-ti sloj.



Sl. 7 Principna shema mjerenja toplinske vodljivosti tla pomoću mjernih sondi



Sl. 6 Određivanje ekvitemperaturnih ploha u zemlji iznad položenog kabela, koji leži poprijeko na cestu

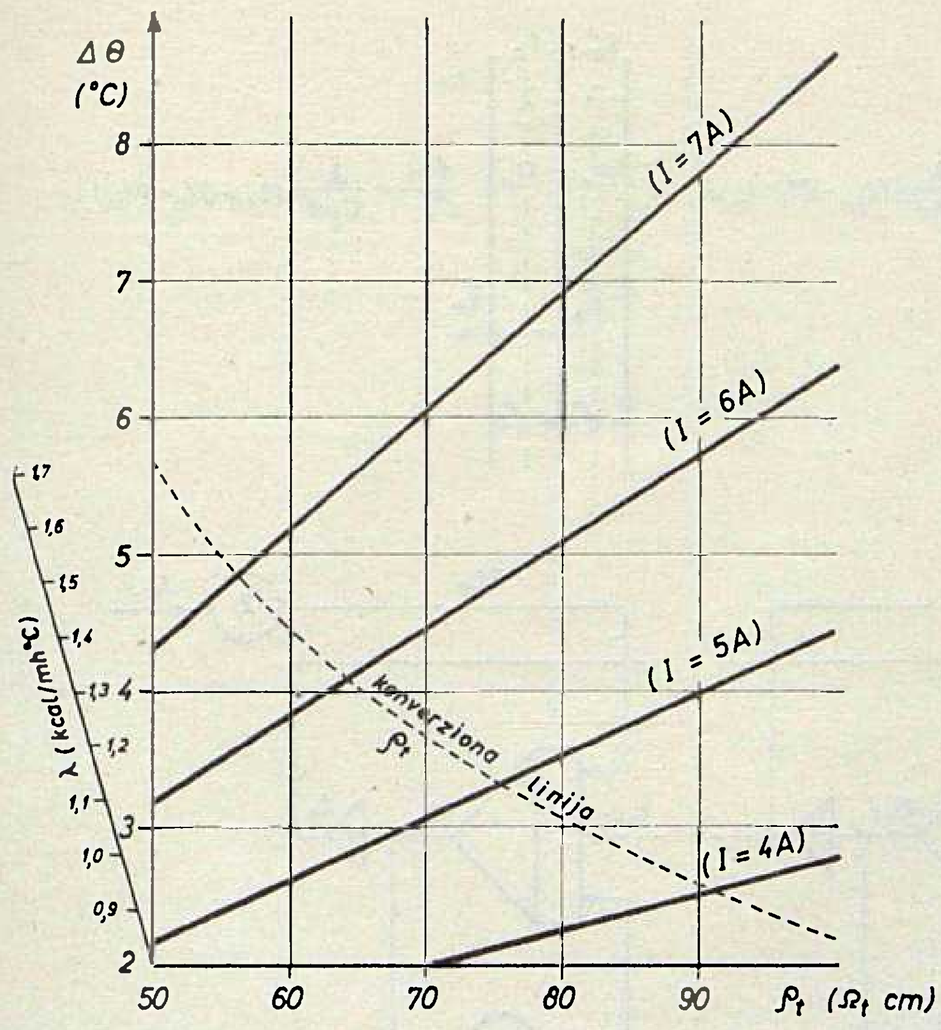
Ako se prema iskustvu uzme da na dubini od 5 m prestaje praktički u svakom tlu utjecaj promjena vanjske temperature, to podjelom te visine na 10 sekcija ($i = 10$) dobijamo za *i*-tu sekciju slijedeće relacije:

Iz stavki o održanju energije prema slici 9 slijedi:

$$\frac{dQ_i}{d\tau} = \bar{q}_i - q_{i+1} \qquad (2) \qquad\qquad dQ_i = \delta_i c_i \gamma^{dt} \qquad (2a)$$

Iz zakonitosti strujanja topline slijedi za q_i, q_{i+1}

$$\bar{q}_i = \frac{t_{i-1} - t_i}{R_{t_{i-1,i}}} \qquad (3) \qquad\qquad q_{i+1} = \frac{t_i - t_{i+1}}{R_{t_{i,i+1}}} \qquad (3a)$$



Sl. 8 Dijagram određivanja toplinske vodljivosti tla iz razlike temperature sondi u ovisnosti o trajanju pokusa

a za $R_{t_{i-1,\,i}}$, $R_{t_{i,\,i+1}}$

$$\frac{1}{R_{t_{i-1,\,i}}} = \frac{\delta_{i-1}}{2\,\lambda_{i-1}} + \frac{\delta_i}{2\,\lambda} \tag{4}$$

$$\frac{1}{R_{t_{i,\,i+1}}} = \frac{\lambda_i}{2\,\lambda_i} + \frac{\lambda_{i+1}}{2\,\lambda_{i+1}} \tag{4a}$$

Iz (3) i (4), te iz (3 a) i (4 a) slijedi

$$\bar{q}_i = \frac{2\,\lambda_{i-1}\,\lambda_i}{\delta_{i-1}\,\lambda_i + \delta_i\,\lambda_{i-1}}\,(t_{i-1} - t_i) \tag{5}$$

$$\bar{q}_{i+1} = \frac{2\,\lambda_i\,\lambda_{i+1}}{\delta_i\,\lambda_{i+1} + \delta_{i+1}\,\lambda_i}\,(t_i - t_{i+1})\,. \tag{5a}$$

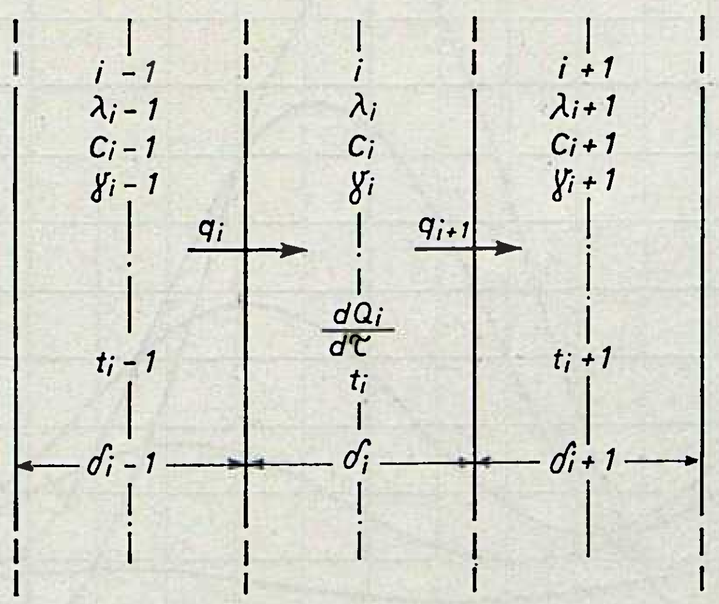
Iz (2 a) slijedi

$$\frac{dQ_i}{d\tau} = \delta_i\,c_i\,\gamma_i\,\frac{d\,t_i}{d\,\tau} \tag{6}$$

$$\frac{d\,t_i}{d\tau} = \frac{1}{\delta_i\,c_i\,\gamma_i}\,\frac{d\,Q_i}{d\,\tau} \tag{6a}$$

Kako se umjesto $\frac{dQ_i}{d\tau}$ u jednadžbu (6 a) uvrsti desna strana jednadžbe (2), a vrijednosti $\bar{q}_i$ i $\bar{q}_{i+1}$ jednadžbe (2) zamijene vrijednostima s desne strane jednadžbe (5) i (5 a) dobiva se formula:

$$\frac{d\,t_i}{d\,\tau}\,\frac{1}{\gamma_i\,c_i\,\delta_i}\left[\frac{2\,\lambda_{i-1}\,\lambda_i}{\delta_{i-1}\,\lambda_i + \delta_i\,\lambda_{i-1}}\,(t_{i-1} - t_i) = \frac{2\,\lambda_i\,\lambda_{i+1}}{\delta_i\,\lambda_{i+1} + \delta_{i+1}\,\lambda_i}\,(t_i - t_{i+1})\right] \tag{7}$$



Sl. 9 Odnosi u slojevima tla

Svi slojevi imaju vrijednosti λ, δ, γ i c (po odluci) jednake, pa se jednadžba (7) pojednostavljuje u

$$\frac{d\,t_i}{d\,\tau} = \frac{\lambda}{\gamma\,c\,\delta^2}\,[t_{i-1} - 2\,t_i + t_{i+1}]\,. \tag{8}$$

Spojni prikaz jedinica računala* za komponente »*i*« i »*i* + 1« prema jednadžbi (8) dan je na slici 10.

Spojni prikaz za sistem od *n*-slojeva

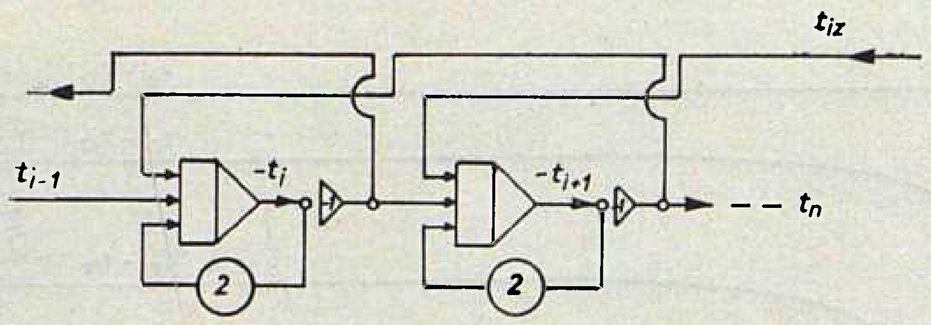
Prvi i posljednji član

U prvom članu ($i = 1$) nema prethodnih slojeva, pa je $\delta_{i-1} = 0$, otuda u jednadžbi (7) prvi član u uglatoj zagradi jednadžbe degenerira u $\frac{2\,\lambda_{i=1}}{\delta_{i=1}}$, a drugi ostaje. Pod pretpostavkom da svi slojevi tla imaju jednake karakteristike materijala jednadžba za prvi sloj glasi:

$$\frac{d\,t_1}{d\,\tau} = \frac{\lambda}{c\,\gamma\,\delta^2}\,[2\,t_{u1} - 3\,t_1 + t_2]\,. \tag{9}$$

U posljednjem članu ($i = n$) $\delta_{i+1} = 0$, te jednadžbe za posljednji član glasi

$$\frac{d\,t}{d\,\tau} = \frac{\lambda}{c\,\gamma\,\delta^2}\,[t_{n-1} - 3\,t_n + 2\,t_{iz}]\,. \tag{10}$$



Sl. 10 Spojni prikaz *i*-tog i *(i + 1)* člana analognog modela sloja tla

Kompletni spojni prikaz za *n*-slojeva dan je na slici 11.

Na ovakav sklop primijenjen je stepeničasti impuls (za naglu promjenu temperature površine tla) i sinusoidalni impuls (za dnevna kolebanja temperatura).

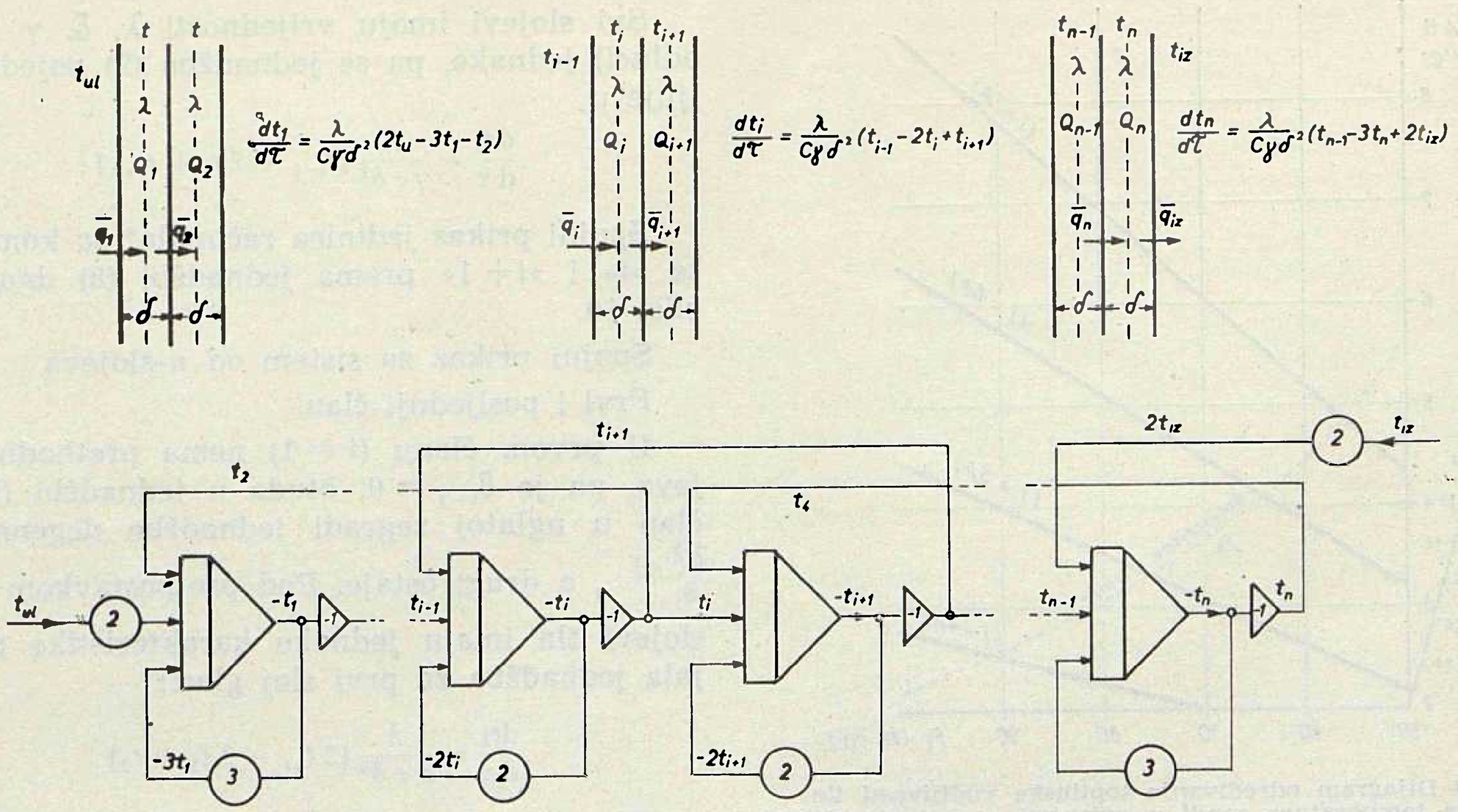
Rezultati se vide na slici 12 za naglu promjenu temperature tla, a na slici 13 za periodička dnevna kolebanja temperatura.

4. Praktično korištenje primijenjenih metoda

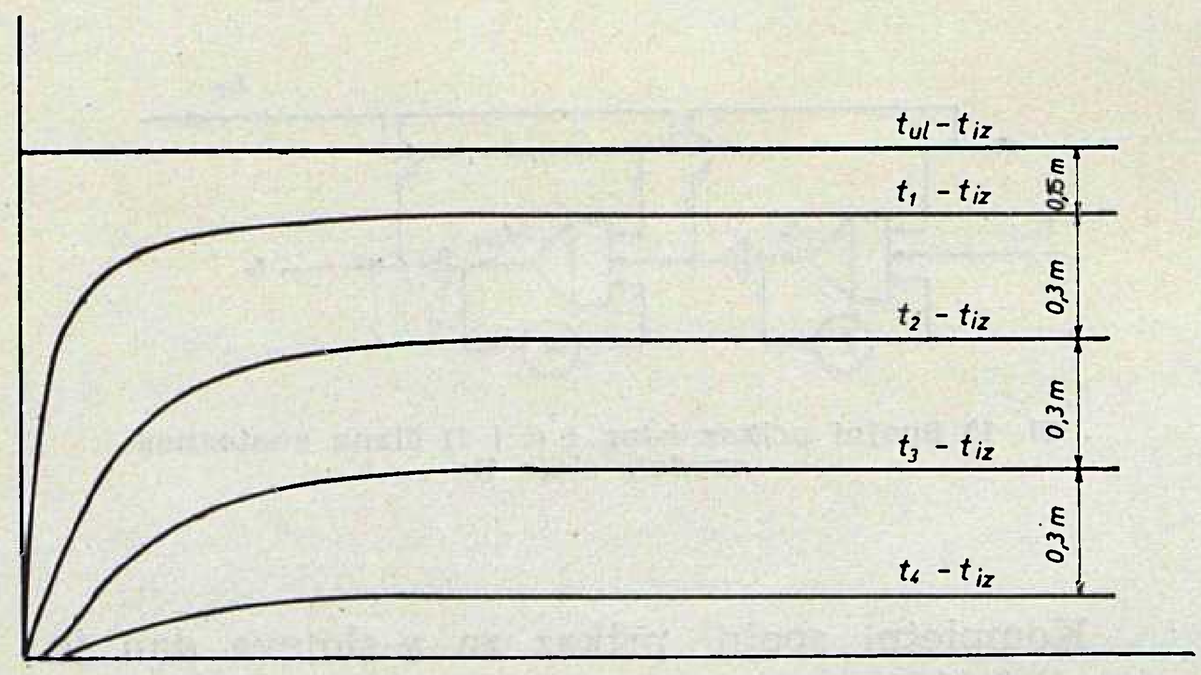
Značaj poznavanja koeficijenta toplinske vodljivosti vidljiv je iz površine koja se mora izolirati pri izgradnji jednog termoelektranskog bloka. Ova ovisnost prikazana je na slici 14.

Kod remonta termoelektranskih i toplanskih postrojenja poznavanje koeficijenta toplinske vodljivosti jedan je od osnovnih parametara za kvalitetu materijala. Produkt iz toplinske vodljivosti po 1 m³ materijala daje uvid u komparativni rentabilitet primjene tih materijala.

* Analogno računalo FSD, Zagreb, rad na računalu Doc. J. Šerman, dipl. inž.



Sl. 11 Spojni prikaz analognog modela za n slojeva



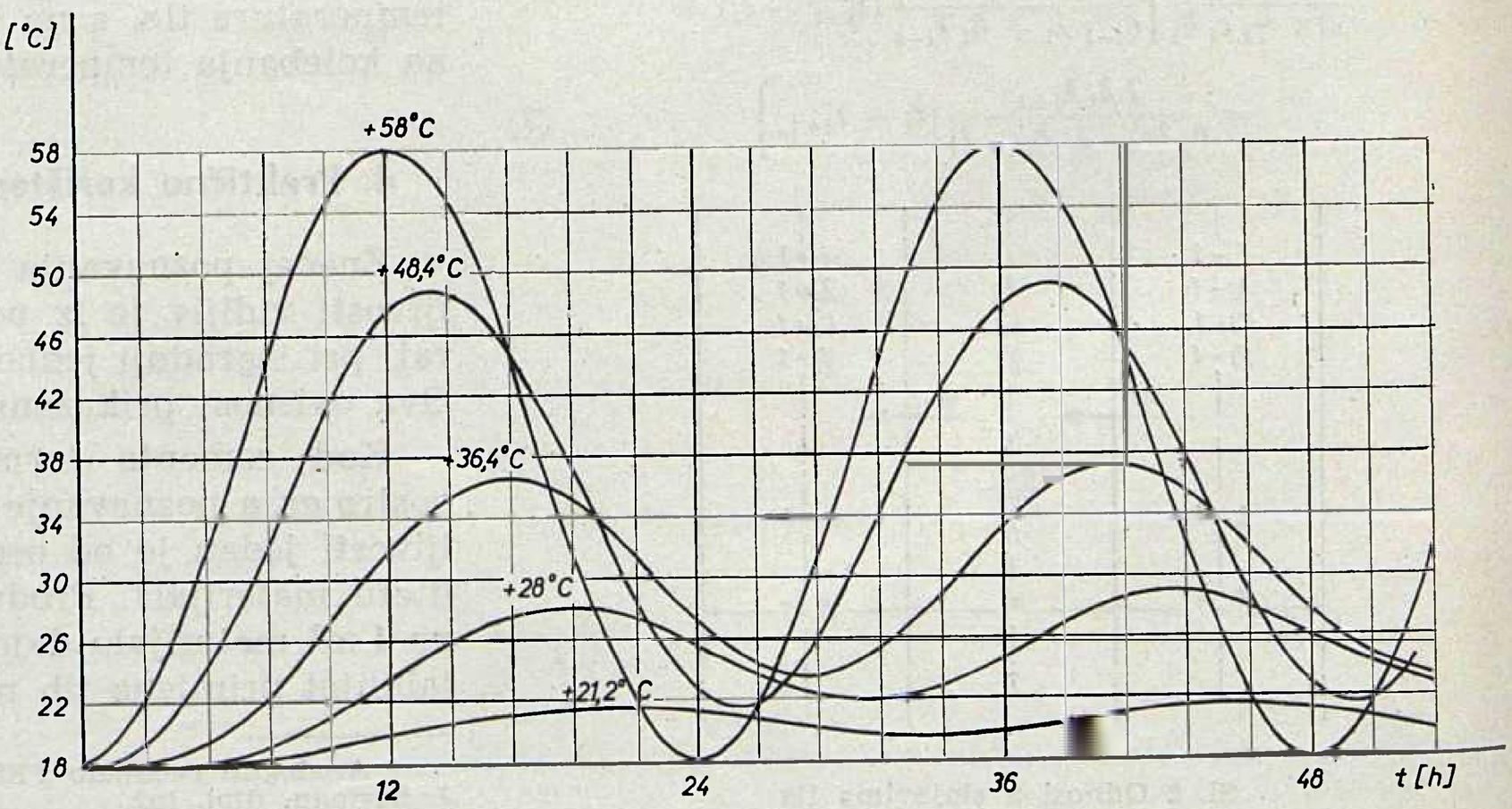
Sl. 12 Vremenska ovisnost temperatura u slojevima po dubini za skokovitu promjenu temperature površine tla (naglo razvedravanje)

Uputstva, koja se pripremaju za našu elektroprivredu predviđaju obvezatnu kontrolu toplinske vodljivosti kod svih isporuka.

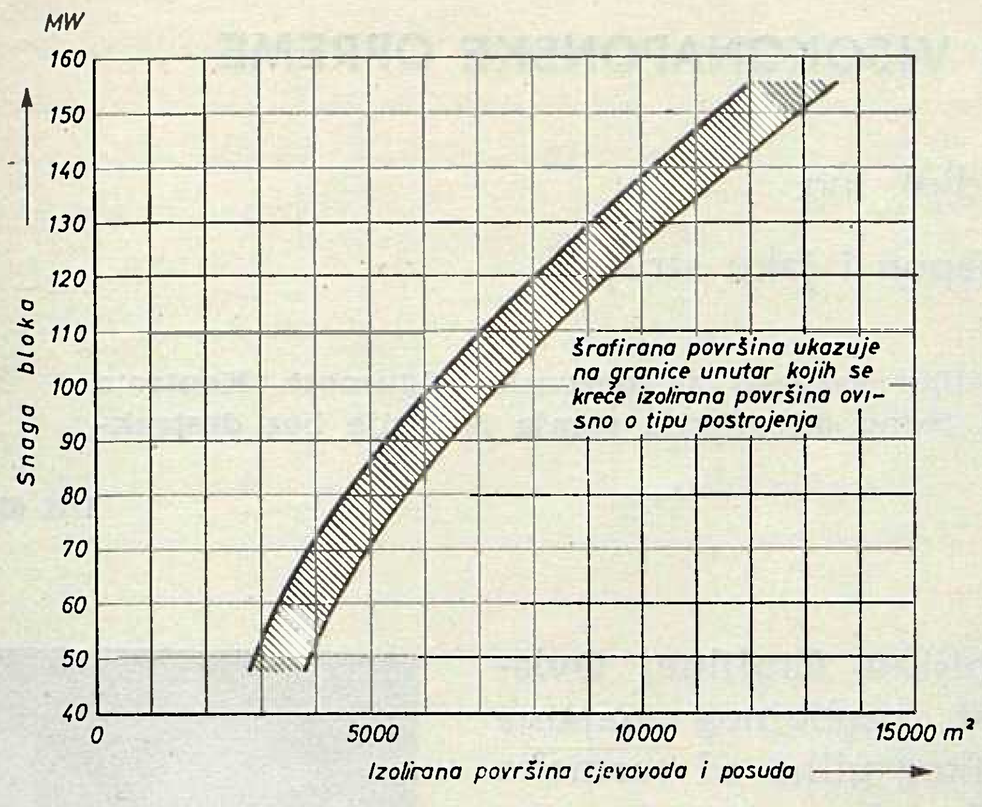
Ispitivanjem su otkrivena značajna odstupanja u efektu hlađenja orebrenih hladnjaka zraka za hlađenje generatora, kod oblaganja kamencem iz rashladne vode, u odnosu na teoretska.

Pored znatno lošije stvarne situacije, ova ispitivanja, kad se provedu za pojedine elektrane, omogućuju za konkretne uvjete mogućnost dalekosežnog predviđanja termina potrebnih remonta.

Značajniji rezultati postižu se kod ispitivanja pri višim temperaturama za stjecanje utiska o pojavama koje nastupaju u kotlovskom postrojenju kod prijelaza s jednog na drugo gorivo — i u



Sl. 13 Vremenska ovisnost temperatura u slojevima po dubini za sinusoidalnu promjenu temperature



Sl. 14 Izolirana površina cjevovoda i posuda jednog bloka termoelektrane

okviru istog revira goriva. Sam uređaj omogućuje i prethodno ispitivanje gorionika, koja omogućuju izbjegavanje iznenađenja na konkretnim postrojenjima.

Metode analogije i metode digitalnih računala otvaraju sasvim nove mogućnosti. Tako dijagram, slike 12 i slike 13, vrijedi kako za slojeve zemlje, tako i za slojeve betona na brani, za zidove i stropove za zaštitu od požara, za dimnjake, za kućišta toplinskih turbina i čitav niz drugih elemenata elektroenergetskih postrojenja.

Iz slike 13 se vidi da pomak faze temperaturnog vala u zemlji kasni u odnosu na taj isti val na površini. Kod izvjesnog tla i dubina može doći do poklapanja u fazi između dnevnog dijagrama opterećenja i temperaturnog vala, što pogoduje termičkom preopterećenju kabela. Otuda proizlaze posljedice ne samo za termički plan trase po duljini, nego i po dubini ukapanja.

Dijagrami omogućuju i kvalitativnu analizu. Mjerilo temperature funkcija je narinutog napona. Tako na slici 12 1 cm odgovara 10 V, a narinutom naponu od 100 V odgovara pad temperatura od 80 °C, što znači da 1 cm ordinate odgovara 8 °C. Jedinica za vrijeme proističe iz jednadžbe $m = \frac{\lambda}{c\,\gamma\,\delta^2}$ u cm/min, tj. ovaj omjer daje mjerilo za vrijeme na apscisi. Tako je dovoljno postaviti jedan dijagram za sve probleme koji odgovaraju jednoj matematičkoj zakonitosti. Za razne slučajeve vrijede tada samo različita mjerila.

5. Zaključak

Proizvodni procesi elektroprivrede sadrže u sebi elemente kojima je povremeno potrebno dublje istraživanje pojava prijelaza topline. Dani primjeri samo nagovještavaju i ilustriraju svu širinu problema.

U budućnosti, kod primjene novih tehnologija, potrebe za ovakvim ispitivanjima postojat će i dalje.

Literatura:

1. Energie Technik, XII. 1966. godine
2. Revue generale de termique, Mai 1967.
3. VDI Zeitschrift, broj 28, Oktobar 1968.
4. Energie, Mai 1967.
5. Energetika, broj 6, 1967.
6. VDI Zeitschrift, br. 12, April 1967.

Naslov pisca: Fedor Šprung, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

PARCIJALNA IZBIJANJA U IZOLACIJI VISOKONAPONSKE OPREME

Josip Mužny, dipl. ing.

Šef laboratorija za visoki napon i jaku struju

Kontrola stanja izolacije visokonaponske opreme je od velike važnosti za pogonsku sigurnost. Kontrola se mora provoditi bez štetnih posljedica za izolaciju. Kao jedno od mjerila stanja izolacije bez destruktivnih posljedica je veličina parcijalnih izbijanja.

DK 621.31

1. Općenito

Električna izbijanja, koja ne premoštavaju cijeli prostor među elektrodama, nazivaju se parcijalna izbijanja. Između mjesta izbijanja i jedne ili obje elektrode nalazi se neoštećen dielektrik, koji može biti krut, tekući ili plinovit izolator. Primjeri za taj tip izbijanja su izbijanja u šupljinama čvrstog dielektrika (obje elektrode su zaštićene od izbijanja pomoću krutog izolatora), izbijanja na površini (barem jedna elektroda je zaštićena krutim dielektrikom), te izbijanja oko šiljastih mjesta kod visokog napona (izbijanje je od jedne elektrode odvojeno stupom neioniziranog plina). Premda je veličina takvih izbijanja obično malena, ona mogu prouzrokovati progresivna razaranja i konačno uništenje dielektrika, pa je neophodno otkriti njihovo prisustvo nedestruktivnim kontrolnim ispitivanjima.

Parcijalna izbijanja u dielektriku pojavljuju se u umecima (onečišćenja, šupljine) male dielektričke čvrstoće. Materijal u umecima probije, kod dielektričkog naprezanja, koje je maleno u odnosu na probojnu čvrstoću okolnog dielektrika. Međutim i dielektrična konstanta materijala u umecima često je manja od one okolnog materijala, tako da je električko naprezanje u njima veće nego u okolnom dielektriku, zato umeci često probijaju još ranije.

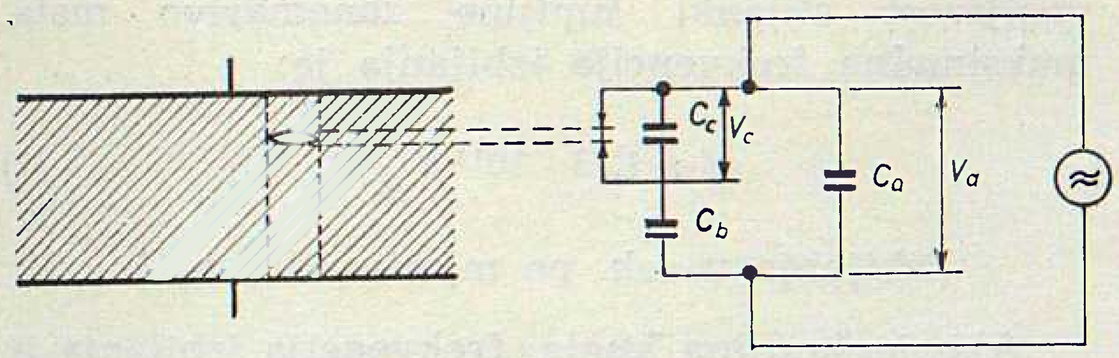
Umeci koji se često pojavljuju su šupljine ispunjene plinom. One se mogu pojaviti u ekstrudiranoj plastici, lijevanim smolama, ovojima papira impregniranog smolom, itd. Naprezanje (električko) u dielektriku, kod kojeg počinje izbijanje, ovisi o naprezanju u šupljini i o probojnoj čvrstoći šupljine. U nekim slučajevima naprezanje u šupljinama može se proračunati. Ako je plosnata šupljina smještena okomito na električno polje, naprezanje u njoj je ε puta naprezanje u okolnom dielektriku, gdje je ε dielektrična konstanta okolnog dielektrika. Ako je šupljina kugla, naprezanje u njoj je $3\varepsilon/(1+2\varepsilon)$ puta naprezanje u okolnom dielektriku, i teži k 1,5 puta većem naprezanju ako je ε velik. Ako je šupljina plosnata i paralelna električnom polju, naprezanje u njoj teži da bude jednako naprezanju u okolnom dielektriku. Dielektrična čvrstoća šupljine ovisi o vrsti plina u njoj, pritisku plina i o dimenzijama šupljine. Izbijanja u šupljinama ispunjenih plinom pojavljuju se uglavnom kod istog napona, kao i kod metalnih elektroda razmaknutih za debljinu šupljine. Ovisnost probojnog napona svakog plina od razmaka elektroda i pritiska plina definirana je Paschenovim krivuljama. Međutim, nekoliko faktora može uzrokovati da probojni napon šupljine ispunjene plinom bude različit od probojnog napona izračunatog prema Paschenovim krivuljama. Npr. stijenke šupljina mogu biti prekrivene statičkim nabojem, koji je nastao bilo prilikom formiranja šupljine, ili kasnije, nakon prethodnog izbijanja u šupljini, što može izazvati varijacije probojnog napona šupljine do -20%. Na stijenkama šupljine mogu se pojaviti i slabovodljivi slojevi, koji manje ili više premoštuju (»Kratko spajaju«) šupljinu, što može znatno povećati električko naprezanje pri kojem nastupa proboj šupljine.

U ekstrudiranoj plastici ili lijevanim smolama mogu se pojaviti različiti umeci. Takve umetke može tvoriti prašina, papirna ili tekstilna vlakna ili bilo koja strana čestica. Ovisno o vrsti plastike ili smole, strana tijela su manje ili više prožeta glavnim dielektrikom, pa se formiraju umeci reducirane električke čvrstoće. Nakon proboja takvog umetka nastaje plin, tj. formira se plinom ispunjena šupljina.

Metalni komadići (strugotine) mogu uzrokovati parcijalna izbijanja čak iako su dobro obuhvaćeni glavnim dielektrikom. To je posljedica lokalne koncentracije električkog polja pri krajevima komadića metala, koja premašuje električnu čvrstoću okolnog dielektrika. To uzrokuje mjestimičan proboj izolacionog materijala, i na taj način opet nastaju plinom ispunjene šupljine.

Neugodne posljedice mogu izazvati i šupljine ispunjene izolacionim uljem. One se javljaju između slojeva izolacije od uljem impregniranog papira (npr. transformator, kabeli i sl.). Naprezanja u šupljinama ispunjenim uljem mogu se izračunati na način sličan onome kod šupljina ispunjenih plinom. Najčešće slučaj, koji se kod ove vrste šupljina pojavljuje, je plosnata šupljina okomita na smjer električkog polja. U tom slučaju naprezanje u šupljini je $\varepsilon_2/\varepsilon_1$ puta tako velik kao u glavnom dielektriku, gdje je ε_1 dielektrična konstanta ulja, a ε_2 dielektrična konstanta krutog (glavnog) dieletrika. Ako je šupljina kugla, omjer

naprezanja je $(3\,\varepsilon_2)/(\varepsilon_1 + 2\,\varepsilon_2)$, a ako je pukotina dugačka plosnata i paralelna sa smjerom električkog polja, omjer naprezanja je jednak jedinici. Probojna čvrstoća ulja nije tako dobro poznata kao kod plina. Ona je ovisna o onečišćenju i otopljenim plinovima, kao i o vrsti ulja. Pojednostavljena shema izbijanja u šupljinama ispunjenih uljem je slijedeća: ako ulje probije proizvedu se mjehurići plina u kojima zatim nastaju izbijanja u plinovima prema Paschenovom zakonu. Nadalje, ovisno o sposobnosti ulja da apsorbira plinove uspostavlja se ravnoteža između nastajanja plina uslijed izbijanja (proboja) u ulju i apsorpcije plina u ulje. Na taj način izbijanja se mogu ugušiti, stagnirati ili porasti.



Slika 1

2. Parcijalna izbijanja kod izmjeničnog napona

Ponašanje parcijalnih unutrašnjih izbijanja kod izmjeničnog napona možemo prikazati nadomjesnim strujnim krugom prema sl. 1.

Kapacitet šupljine predstavljen je kondenzatorom C_c kapacitetom dielektrika ispod i iznad šupljine sa C_b, a ostatak uzorka kondenzatorom C_a. Napon narinut na dielektrik je prema sl. 2 V_a, a pri tome na šupljini vlada napon V_c. Kada napon na šupljini premaši probojni napon šupljine ($+U$ ili $-U$) u njoj se pojavi izbijanje.

Nakon proboja šupljine napon na njoj padne na $+V$ ili $-V$ prema sl. 2, kod kojega se izbijanje ugasi (taj napon je obično manji od 100 V). Taj pad napona nakon proboja šupljine nastaje u vremenu kraćem od 10^{-7} s. Nakon što izbijanje bude ugašeno napon na šupljini ponovno naraste. Porast napona na šupljini određen je superpozicijom glavnog polja i polja površinskog naboja na stijenkama šupljine koji je zaostao nakon posljednjeg izbijanja. Polja djeluju suprotno jedno drugome. Kada napon na šupljini postigne ponovno napon $+U$ ili $-U$ pojavi se novo izbijanje. Na taj način nastaju grupe pravilnih izbijanja u pozitivnoj i negativnoj poluperiodi na uzorak narinutog napona (V_a). Izbijanja u šupljini uzrokuju strujne impulse u dovodima na elektrode uzorka (sl. 2). Primjećujemo da su ovi impulsi koncentrirani u područjima gdje napon narinut na uzorak najbrže raste ili pada.

Radi lakšeg praćenja daljnjih razmatranja definirat ćemo nekoliko pojmova:

Izmjenični napon narinut na uzorak kod kojega se počnu pojavljivati parcijalna izbijanja kada napon raste, nazvat ćemo »početni napon«, a odgovarajuće električko naprezanje okolnog dielektrika »početno naprezanje«. Nakon pojave parcijalnih izbijanja kod porasta napona V_a na uzorku slijedi nakon dosizanja maksimuma opadnje napona V_a. Tako će nastati napon na uzorku (V_a) kod kojeg će se parcijalna izbijanja ugasiti i taj napon je obično niži od »početnog napona«. Taj napon nazvat ćemo »napon gašenja«, a odgovarajuće električko naprezanje okolnog dielektrika »naprezanje gašenja«. Probojnu čvrstoću šupljine $+U$ ili $-U$ nazvat ćemo »napon paljenja« šupljine. Taj napon obično je definiran pomoću Paschenove krivulje za plin u šupljini. Preostali napon na šupljini, nakon gašenja izbijanja u njoj, $+V$ ili $-V$ prema sl. 2. nazvat ćemo »remanentni napon«.

Nakon što parcijalna izbijanja jednom započnu, ona mogu trajati i kod napona nižeg od »početnog napona«. Tu pojavu može uzrokovati kratki prenapon, koji uzrokuje prvo izbijanje. Napon na šupljini (V_c), prvotno manji nego napon paljenja šupljine ($+U$ ili $-U$) dosiže napon paljenja svake poluperiode zahvaljujući površinskom naboju šupljine, koji zaostaje poslije svakog prethodnog izbijanja u šupljini. Minimalni napon kod kojeg se izbijanja mogu održati je:

$$2\,V_c - (+\,V) = (-\,U)$$

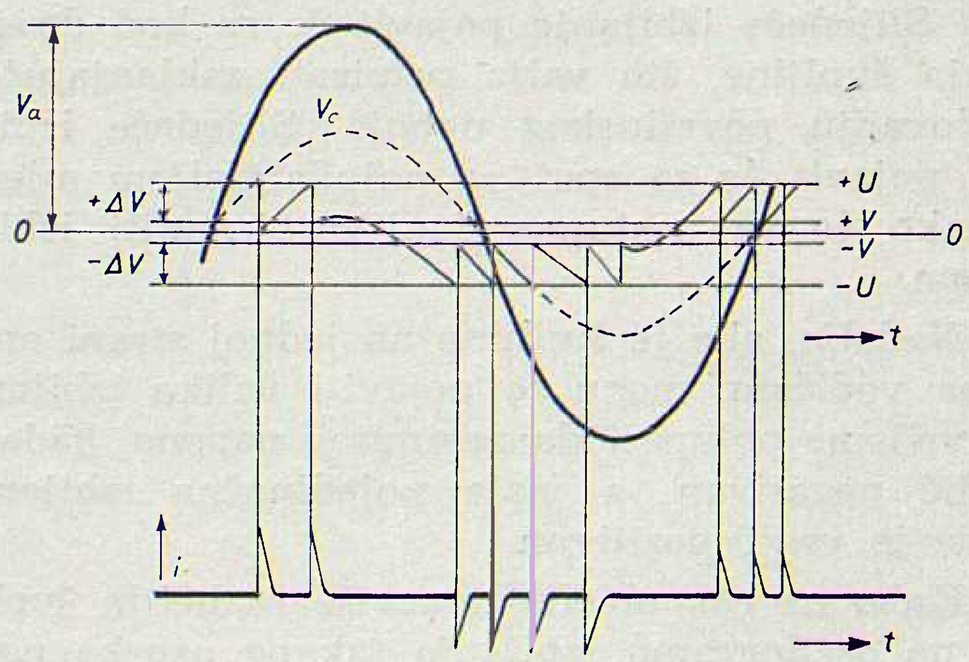
$$V_c = \left(\frac{-\,U}{2}\right) + \left(\frac{+\,V}{2}\right),$$

kako je obično $(+V)$ malen u odnosu na $(-U)$, slijedi:

$$V_c = \left(\frac{-\,U}{2}\right),$$

odnosno napon na uzorku mora biti najmanje jednak polovici »početnog napona«.

Osim nepravilnosti u pojavi parcijalnih izbijanja uzrokovanih kratkim prenaponima, asimetrične šupljine mogu uzrokovati pojavu izbijanja »na mahove«. Naime napon na šupljini (V_c) kada dosegne $+U$ ili $-U$ uzrokuje proboj šupljine. Uslijed toga se na stijenkama šupljine zadrži izvjesni statički naboj, koji uslijed asimetrije šupljine formira električno polje, koje se na različiti način superponira električkom polju uzrokova-



Slika 2

nom narinutom naponu. To može dovesti do toga da se električko naprezanje šupljine toliko smanji, da se izbijanje potpuno ugasi. Kako se površinski naboj u šupljini ne gubi za vrijeme mnogo perioda narinutog napona, izbijanja u njoj se ponnovno javljaju tek kada on bude odveden. Na taj način se parcijalna izbijanja periodički ponavljaju. Ukoliko narinuti napon poraste, tj. ako V_c postane veće od $(-U)$ izbijanje postaje stalno.

U šupljinama koje prekoračuju određenu veličinu, izbijanja se mogu pojaviti na više mjesta. Takva izbijanja mogu uzrokovati električka tangencijalna naprezanja uzduž površine šupljine. To može imati za posljedicu pojavu malih površinskih izbijanja. Pri promatranju takve pojave na osciloskopu, pojavljuje se slijed pomiješanih velikih i malih izbijanja.

Kako vidimo u stvarnosti se događaju pojave za koje je prikazivanje izbijanja pomoću nadomjesne sheme na sl. 1. suviše pojednostavljeno. Tu je pretpostavljeno, da se šupljina ponaša poput kondenzatora s metalnim elektrodama, dok je u stvarnosti situacija znatno kompliciranija. Naime, na mjestima gdje se pojavljuju izbijanja stvaraju se Lichtenbergove figure. Kada izbijanje, nastalo u relativno uskom kanalu, dosegne površinu dielektrika, nastaje jako tangencijalno polje. To dovodi do izbijanja uzduž površine, što iza sebe ostavlja površinski naboj. Nakon gašenja izbijanja ostaje figura površinskog naboja, koja potpuno neutralizira glavno električko polje na mjestu izbijanja, a djelomično i u njegovoj okolini. Ove Lichtenbergove figure površinskog naboja imaju tipičan oblik: ako su nastale bliže pozitivnoj elektrodi imaju zvjezdasti oblik s mnogo ogranaka, a akao su nastale bliže negativnoj elektrodi okrugle su. Zaostali površinski naboj može se veoma teško kretati i ponaša se kao da je »uhvaćen u stupicu« na površini dielektrika. Zato se nakon nekoliko izbijanja suprotnog polariteta mogu pojaviti površinski naboji (na stijenkama šupljine) bilo pozitivnog ili negativnog polariteta na mjestima gdje ih ne bismo očekivali. To može uzrokovati oscilogram izbijanja potpuno različit od onog na sl. 2. Mogu se pojaviti različite veličine izbijanja u pozitivnoj i negativnoj poluperiodi u različitim vremenskim razmacima.

Ako u šupljini postoji nekoliko mjesta izbijanja, prvo izbijanje nastaje na proizvoljnom mjestu. Slijedeće izbijanje pojavit će se kod drugog kraja šupljine, što valja pripisati zaklanjajućem djelovanju površinskog naboja. Slijedeće izbijanje pojavit će se opet na najudaljenijem mjestu i tako će se postupno šupljina ispuniti izbijanjima.

Nadalje, ako je šupljina na jednoj strani omeđena vodičem, mogu se pojaviti velika izbijanja za vrijeme poluperioda narinutog napona, kada je vodič negativan, a mala pojedinačna izbijanja, kada je vodič pozitivan.

Kako uzorak obično ima više različitih šupljina na oscilogramu izbijanja takvog uzorka pojavit će se zamršena slika.

3. Parcijalna izbijanja kod istosmjernog napona

Kada se na uzorak narine istosmjerni napon, parcijalna izbijanja za vrijeme njegovog porasta, javljaju se isto kao kod izmjeničnog napona. Nakon što istosmjerni napon dostigne konačnu konstantnu veličinu, parcijalna izbijanja pojavljuju se samo veoma rijetko. Naime u tom slučaju, kapacitet šupljine (C_c sl. 1), nabija se samo uslijed vodljivosti dielektrika. Proboj u šupljini nastaje kada napon kondenzatora C_c dosegne napon paljenja šupljine.

Broj izbijanja u jedinici vremena raste s visinom narinutog napona na uzorku, a opada s povećanjem otpora izolacije dielektrika. U specijalnim slučajevima, kada je šupljina lamilarna, a vodljivost stijenki šupljine zanemarivo mala, maksimalna frekvencija izbijanja je:

$$f \approx 1{,}13 \cdot 10^{11}\, \sigma \frac{E}{E_i} \qquad (2)$$

(izbijanja u sek. po mjestu izbijanja)

Ako je šupljina kugla, frekvencija izbijanja je oko 50% ove veličine. Simboli upotrebljeni u formuli znače:

σ = specifična vodljivost dielektrika ($\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$)
E = električko naprezanje u okolnom dielektriku (kV/mm)
E_i = električko naprezanje paljenja šupljine (kV/mm)

Eksperimentalne provjere pokazale su da je stvarna frekvencija izbijanja 2—3 puta manja nego računom utvrđen maksimum.

U uobičajenim dielektricima otpor izolacije je tako velik, da će se kod električkih naprezanja, kod kojih uzorak pokazuje izbijanja uz narinuti izmjenični napon, pri narinutom istosmjernom naponu ona pojavljivati u intervalima koji su reda veličine od nekoliko sati do nekoliko tjedana. Tako je npr. frekvencija izbijanja u polietilenu oko 10^4 do 10^5 puta manja pri istosmjernom nego pri izmjeničnom naponu. U kabelu s izolacijom od impregniranog papira izbijanja kod istosmjernog napona dosižu vrijednost usporedivu s onom kod izmjeničnog napona, ako je istosmjerni napon 5—10 puta viši od izmjeničnog napona.

Napon u istosmjernim energetskim sistemima može imati valovitost. Ako valovitost premašuje početni napon izbijanja, ona će se pojavljivati u svakoj poluperiodi valovitosti, kao kod izmjeničnog napona. Međutim, čak ako valovitost istosmjernog napona nije dovoljna da uzrokuje učestala izbijanja, ona će povećati frekvenciju izbijanja pri istosmjernom naponu. Ako je E_R tjemena vrijednost valovitog naprezanja u dielektriku, naprezanje u laminarnoj šupljini bit će $\varepsilon \cdot E_R$. Prema tome naprezanje u šupljini ne treba porasti do naprezanja paljenja E_i, nego samo do $E_i - \varepsilon E_R$. Frekvencija izbijanja će zato porasti za faktor $E_i/(E_i - E_R \cdot \varepsilon)$. Ako je valovitost nesimetrična E_R se mora uzeti kao tjemena vrijednost

valovitog naprezanja koja odgovara poluperiodi valovitosti s istim polaritetom koji ima istosmjerno električko naprezanje dielektrika.

4. Površinska izbijanja

Površinska izbijanja mogu se pojaviti na onim mjestima, gdje postoji komponenta električkog polja paralelna s površinom dielektrika. Takva se izbijanja mogu pojaviti npr. na provodnim izolatorima, kabelskim glavama, glavama generatorskog namota i sl., i ako nekakvo vanjsko izbijanje zahvaća površinu dielektrika. Dakle, izbijanja prouzrokuje električko polje i ono se proširuje po površini dielektrika tako daleko, da zahvati i područje gdje prvotno polje, tj. njegova površinska komponenta, nije bila dovoljno visoka da prouzrokuje izbijanja.

U izvjesnim slučajevima, izbijanja u zraku, može se izračunati početni napon. Na sl. 3 prikazan je jedan takav slučaj. Kod brida ravnina — ravnina u zračnoj praznini Δ, u seriji s čvrstim dielektrikom »d«, nastaje proboj. Ako je nehomogenost električkog polja zanemariva, početni napon je:

$$V_i = \Delta \cdot E_i + d \cdot \frac{E_i}{\varepsilon}$$

gdje je E_i probojna čvrstoća zračne šupljine Δ.

Ako je probojni napon zračne šupljine U_i poznat, slijedi:

$$V_i = U_i + \frac{d}{\varepsilon \Delta} U_i \qquad \text{ili} \qquad V_i = U_i \left(1 + \frac{d}{\varepsilon \Delta}\right). \qquad (3)$$

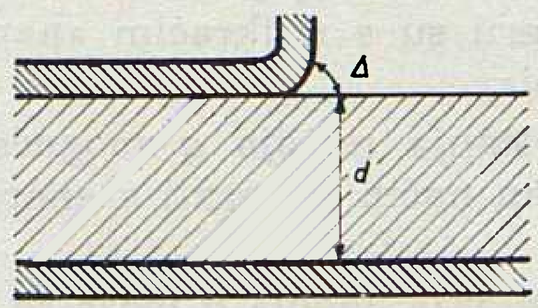
Ovaj izraz ima minimum, koji na osnovi teoretskih i empiričkih istraživanja iznosi:

$$(V_i)_{min} = 4{,}5 \sqrt{\frac{d}{\varepsilon}} \cdot \frac{293}{T} \text{(kV)} \qquad (4)$$

gdje je:

d = debljina izolacije (mm)
ε = dielektrična konstanta
T = temperatura (^{0}K)

Po ovoj formuli rezultati su točni do $d/\varepsilon = 0{,}5$ mm.



Slika 3

Ako je gornja elektroda sa sl. 3 odvojena od dielektrika za razmak Δ, za početni napon opet vrijedi relacija (3) uz primjenu Paschenovih krivulja.

Slična formula, kao za zrak, može se primijeniti na izbijanje ispod ulja, ali je probojni napon U_i uljne šupljine manje poznat nego za zrak, jer onečišćenje ulja i primjese vlage uveliko utječu na probojnu čvrstoću ulja.

Ponašanje površinskih izbijanja može se razmatrati na istoj nadomjesnoj shemi kao unutarnja izbijanja: kapacitet između elektrode i područja koje prekriva površinsko izbijanje je C_c (sl. 1), kapacitet C_b odgovara kapacitetu dielektrika u seriji sa C_c, a C_a odgovara kapacitetu uzorka.

Ovaj nadomjesni krug vodi do sličnih oblika krivulje izbijanja, kao kod unutrašnjih izbijanja. Međutim kao kod unutrašnjih izbijanja, kad su šupljine asimetrične i kad je izbijanje na jednoj strani ograničeno metalom, pojavit će se i kod površinskih izbijanja nesimetrije u oscilogramu izbijanja. Vrlo često se pojavljuje oblik krivulje izbijanja kod kojega se pojavljuje mnogo malih izbijanja, kada je gornja elektroda na sl. 3 negativna i nekoliko velikih izbijanja, kada je ta elektroda pozitivna. Omjer između negativnih i pozitivnih izbijanja kreće se između 1 : 1 i 1 : 10.

Površinska izbijanja mogu se pojaviti i kod istosmjernog napona. Ta izbijanja su neredovita i ponašaju se isto kao unutrašnja izbijanja pri istosmjernom naponu.

5. Izbijanje u koroni

Izbijanja korone pojavljuje se u zraku oko oštrih šiljaka i bridova kod visokog napona. Ona se pojavljuju ranije kod negativnog nego kod pozitivnog napona. Kod izmjeničnih napona ona se često pojavljuje samo za vrijeme trajanja negativne poluperiode.

Ako je šiljak negativan (katoda) i u njegovoj se blizini pojavi pozitivan ion, on je privučen električnim poljem i kreće se prema šiljku. Ion udara u katodu i izbija jedan ili više elektrona, koji uzrokuju stvaranje velikog mnoštva pozitivnih iona u blizini šiljka, te negativne elektrone koji se kreću dalje od šiljka. Za vrijeme tog procesa pojavljuje se isijavanje koje uzrokuje fotoionizaciju na površini šiljka. Prostorno proširenje ioniziranog područja obavlja se sve dok se ne formira tzv. katodna mrlja iz koje potječu izbijanja korone. Kod veće udaljenosti od katode elektroni se usporavaju i pripajaju molekulama kisika u zraku. Uslijed toga se formiraju dva područja s prostornim nabojem. Pozitivni prostorni naboj stvara se u neposrednoj blizini šiljka i njega tvore polagani pozitivni ioni, koji su ostali nakon ionizacije zraka. Na većoj udaljenosti nalaze se negativni ioni nastali prianjanjem elektrona na molekule kisika. Oni tvore negativan prostorni naboj. Čitav taj proces nastaje unutar razmaka 0,1 mm i unutar vremenskog intervala reda veličine 10^{-8} s. Negativni prostorni naboj zakriljuje električko polje i slabi ga. Pozitivni ioni kreću se prema katodi i izbijaju elektrone, tako da nega-

tivni naboj slabi glavno električko polje oko šiljka, sve dok ono ne postane tako slabo, da se izbijanje ugasi. Nakon gašenja negativni prostorni naboj kreće se prema anodi, električko polje šiljka raste sve do početka novog izbijanja.

Ako je šiljak pozitivan, izbijanja nastaju u uskom kanalu. Nakon što se postigne početni napon, formira se lavina elektrona, koji uzrokuju ionizaciju neutralnih molekula. Iz toga rezultirajuća raspodjela naboja i potencijala uzrokuje porast jačine električkog polja na čelu lavine elektrona. To prouzrokuje pojavu fotona koji stvaraju novu lavinu elektrona, i tako nastaje izbijanje u dugom uskom kanalu.

Frekvencija izbijanja u koroni ovisna je o vrsti narinutog napona. Pri narinutom istosmjernom naponu izbijanja negativne korone pojavljuje se pravilno, a njena učestalost veoma ovisi o veličini narinutog napona. Pozitivna korona pri istosmjernom naponu ponavlja se nepravilno u provalama malih i velikih izbijanja. Pri narinutom izmjeničnom naponu, izbijanja korone najprije se pojave samo u negativnoj poluperiodi, a tek kod višeg napona i u pozitivnoj.

6. Veličina izbijanja

Veličina izbijanja može se prikazati na nekoliko načina. Na prvom mjestu naboj q_1 koji se premješta u šupljini (ili u slučaju površinskog izbijanja naboj koji se premješta duž površine) može biti mjerilo veličine izbijanja. Ako je uzorak velik u usporedbi sa šupljinom, kako je to uostalom najčešće slučaj, naboj koji se premješta u šupljinu jednak je:

$$q_1 = (C_b + C_c) \cdot \Delta V \tag{5}$$

gdje ΔV, C_c i C_b imaju isto značenje kao ranije. Međutim veličina q_1 nije praktički primjenljiva kao mjerilo veličine izbijanja, jer je ne možemo mjeriti nikakvim dosad poznatim detektorom izbijanja.

Na drugo mjesto može se staviti pomak naboja q u vodičima (elektrodama) uzorka. Veličina tog naboja jednaka je:

$$q = C_b \cdot \Delta V \tag{6}$$

Pomak tog naboja uzrokuje pad napona $(C_b \cdot \Delta V)/(C_a + C_b)$ na uzorku. Ovaj pad napona je mjerljiv, te mnogi detektori izbijanja reagiraju na njega, i tako mjere veličinu q. Međutim veličina $q = C_b \cdot \Delta V$ nije određena dimenzijama šupljine ili samog oštećenog mjesta, već debljinom izolacije (utjecaj debljine izolacije na C_b). Unatoč tome možemo smatrati q točnom mjerom veličine izbijanja, kako ćemo to kasnije pokazati.

Na trećem mjestu se kao mjerilo izbijanja može uzeti gubitak energije uzrokovan izbijanjem. Ova energija može uzrokovati kvarenje izolacije i označit ćemo je s W. Ona se može povezati s premještanjem naboja q. Kada napon narinut na šupljinu padne s $(+U)$ na $(+V)$ (oznake kao na sl. 2) i ako je $C_a \gg C_b$, količina energije je:

$$W = \frac{1}{2}(C_b + C_c) \cdot [(+U)^2 - (+V)^2]$$

$$= \frac{1}{2}(C_b + C_c) \cdot \Delta V \cdot [(+U) + (+V)] .$$

Ako je $(+V)$ zanemarivo u odnosu na $(+U)$:

$$W = \frac{1}{2}(C_b + C_c) \cdot \Delta V \cdot (+U) .$$

U momentu prvog proboja šupljine, u njoj nije prisutan nikakav preostali naboj i $(+U)$ možemo izračunati:

$$(+U) = \frac{C_b}{C_b + C_c} \cdot V_i$$

gdje je V_i početni napon. Nadalje slijedi:

$$W = \frac{1}{2}(C_b + C_c) \cdot \Delta V \cdot \frac{C_b}{C_b + C_c} \cdot V_i = \frac{1}{2} C_b \cdot \Delta V \cdot V_i$$

$$W = \frac{1}{2} q \cdot V_i . \tag{7}$$

Odnosno izraženo u efektivnoj vrijednosti (ako je narinut izmjenični sinusni napon):

$$W = 0{,}7\, q \cdot V_{i\,ef} . \tag{8}$$

Tako je energija izbijanja na jednostavan način dovedena u vezu s prividnim premještanjem naboja. To je ujedno jedan od razloga zašto se premještanje naboja q može uzeti kao mjerilo veličine izbijanja:

Na četvrtom mjestu je ukupna energija gubitaka za vrijeme jedne periode, koja se može i mjeriti. Mjerenje se može vršiti Scheringovim mostom. Međutim, u principu takva mjerenja nisu preporučljiva, jer se ne mogu uočiti razlike između postojanja nekoliko velikih i po izolaciju opasnih i mnogo malih i bezopasnih izbijanja.

Od ove četiri mogućnosti kao mjerilo veličine izbijanja najpogodniji je pomak naboja q. Ovaj izbor, osim do sada iznesenim, opravdana se slijedećim:

— mogu se njime ustanoviti najveća prisutna izbijanja, a najveća izbijanja podudaraju se s najvećim šupljinama u dielektriku i u srazmjeru su s najkraćim »naponom životne dobi«,
— premještanja naboja q moguće je na jednostavan način povezati s energijom izbijanja W,
— premještanje naboja q može se lako mjeriti,
— naboj q je također zgodno mjerilo za osjetljivost detektora izbijanja.

Da bismo lakše mogli ocijeniti utjecaj parcijalnih izbijanja na kvarenje izolacije, razmotrit ćemo neke povezanosti između prethodno navedenih četiriju veličina.

Pad napona u šupljini, prilikom njenog naboja, opada gotovo linearno unutar vremena od oko $20 \cdot 10^{-9}$ s. Tome odgovarajuća struja ima gotovo oblik pravokutnog impulsa. Rezultirajući frekventni spektar tih pojava proteže se do područja 100 MHz.

Pad napona kod površinskog izbijanja i izbijanja u koroni zahtijeva dulje vrijeme. Napon u negativnoj koroni opada eksponencijalno u vremenu $50 - 500 \cdot 10^{-9}$ s, a impulsi pozitivne korone još su mnogo sporiji.

Broj izbijanja na jednom mjestu, za vrijeme jedne periode izmjeničnog sinusnog napona je:

$$n = 4 \cdot \frac{\text{Max} \cdot \text{napon na } C_c}{\Delta V} = \frac{4}{\Delta V} \cdot \frac{C_b}{C_b + C_c} \cdot V,$$

gdje je V tjemeni napon na uzorku. Gubitak energije u novim izbijanjima je:

$$W_1 = n \cdot \frac{1}{2}(C_b + C_c) \cdot \Delta V = \frac{4}{\Delta V} \cdot \frac{C_b}{C_b + C_c} \cdot$$

$$\cdot \frac{1}{2}(C_b + C_b) \cdot \Delta V^2$$

$$W_1 = 2 C_b \cdot \Delta V = 2 q V. \qquad (9)$$

S druge strane, energiju koju šalje izvor visokog napona možemo također izračunati. Ta energija za prvo izbijanje je:

$$w_1 = q \cdot V_i,$$

gdje je V_i početni napon. Energija dobavljena kod m-tog izbijanja je:

$$w_m = q\, m\, V_i.$$

Energija mijenja smjer kod k-tog izbijanja, kada narinuti napon još ima isti polaritet, ali su izbijanja obrnuta (opadanje napona), te je:

$$w_k = q\,(m - 1)\, V_i$$

Razlika između dovedene i vraćene energije je:

$$w_m - w_k = q\, m \cdot V_i - q\,(m - 1)\, V_i = q\, V_i$$

Ova razlika pojavljuje se $n/2$ puta za vrijeme jedne periode. Tako je ukupna razlika energije koju dobavlja izvor visokog napona.

$$W_2 = \frac{n}{2} q\, V_i = \frac{2}{\Delta V} \frac{C_b}{C_b + C_c} \cdot V \cdot q \cdot \frac{C_b + C_c}{C_b} \cdot \Delta V$$

$$W = 2 q V \qquad (10$$

Jednadžba (9) jednaka je jednadžbi (10), pa su energija gubitaka i dovedena energija u ravnoteži.

Tangens kuta gubitaka u dielektriku uzrokovanih izbijanjima na jednom mjestu izbijanja, možemo također izračunati. Tangens kuta gubitaka u dielektriku je:

$$P = I \cdot V \cdot \operatorname{tg} \delta = C_a V^2 \operatorname{tg} \delta.$$

S obzirom na jednadžbu (10) ovi gubici su također jednaki slijedećem:

$$f \cdot W_2 = 2 f q \cdot V,$$

gdje je f frekvencija narinutog napona, tako da je:

$$2 f q V = 2 \sqrt{2} f \cdot q \cdot V_{ef} = 2 \pi f C_a V_{ef}^2 \operatorname{tg} \delta$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\sqrt{2}\, q}{\pi C_a V_{ef}} = 4{,}5 \frac{q}{C_a V_{ef}} \cdot 10^{-4} \qquad (11)$$

gdje je:

q = veličina izbijanja koja proizlazi iz samo jednog mjesta izbijanja (pC)
C_a = kapacitet uzorka (pF)
V_{ef} = napon narinut na uzorak (kV_{ef}).

U praksi je teško na osnovi jednog oscilograma zaključiti, da li niz izbijanja izvire iz jednog ili više izbijanja. Ako registriramo više izbijanja, manja možemo zanemariti, a niz većih izbijanja uvrštavanjem u jednadžbu (11) daju pravilnu procjenu doprinosa izbijanja kuta gubitaka. Taj način koristimo kada rezultate detekcije izbijanja i mjerenja kuta gubitaka moramo dovesti u međusobni odnos.

Razmotrimo sada povezanost između q i q_1. Prividni pomak naboja u uzorku je:

$$q = C_b \cdot \Delta V,$$

a stvarni pomak naboja u šupljini (ili uzduž površine):

$$q_1 = (C_b + C_c)\, \Delta V.$$

Odnos između ova dva naboja je:

$$q_1 = \left(1 + \frac{C_c}{C_b}\right) \cdot q,$$

ili u šupljini čije su dimenzije poznate:

$$q_1 = \left(1 + \frac{d}{\varepsilon \cdot \Delta}\right) \cdot q, \qquad (12)$$

gdje je:

q_1 = pomak naboja u šupljini
q = veličina izbijanja
d = debljina dielektrika
Δ = debljina šupljine.

Stvarni pomak naboja u šupljini obično je veći nego prividni pomak naboja (q) mjeren na elektrodama uzorka.

Razmotrimo utjecaj veličine šupljine na veličinu izbijanja. Kako smo već ranije ustanovili veličina izbijanja je $q = C_b \cdot \Delta V$. Pretpostavljajući, da je debljina šupljine mala u usporedbi s debljinom dielektrika i pretpostavljajući, da samo η posto površine šupljine biva zahvaćeno izbijanjem, slijedi:

$$q = \varepsilon_0 \frac{\varepsilon}{d} \cdot \eta \cdot A \cdot \Delta V \qquad (13)$$

gdje je:

q = veličina izbijanja (C)
ε_0 = dielektrična konstanta zraka ($9 \cdot 10^{-12}$ F/m)
ε = relativna dielektrična konstanta izolacionog materijala
η = dio površine šupljine, gdje se pojavljuju izbijanja; obično leži između 10 i 80%, η postiže veću vrijednost nakon izvjesnog vremena (izbijanja) ili kod višeg napona
A = površina šupljine (m^2)
ΔV = napon paljenja šupljine (V)

Iz jednadžbe (13) slijedi da:

— mjerena veličina izbijanja (q) opada s porastom debljine dieletrika. Prema tome, osjetljivost detekcije opada s porastom debljine izolacije,
— veličina izbijanja raste s porastom površine šupljine,
— veličina izbijanja raste s povećanjem ΔV, tj. ako pritisak plina u šupljini poraste, ili ako poraste debljina šupljine. Općenito veličina izbijanja raste s povećanjem dimenzija šupljine.

Interesantno je promotriti i utjecaj električkog polja na izbijanje. U tu svrhu interesantno je odrediti količinu naboja, koji se rasporedio na stjenkama šupljine, po jedinici površine šupljine. Iako mjesta izbijanja obično nisu potpuno nabijena ili izbijena, središta takvih mjesta su potpuno nabita ili izbita. U takvim središtima gustoća naboja dana je s q_1/A, gdje je A površna središta. Ako se kapaciteti C_b i C_c odnose također na centar izbijanja, onda je $q_1 = (C_b + C_c) \cdot \Delta V$, odnosno uvođenjem početnog napona: $q_1 = C_b \cdot V_i$. Ako je »d« debljina dielektrika

$$q_1 = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \frac{A}{d} \cdot V_i .$$

Prema tome je relativni pomak naboja (ako je F_i početno električko naprezanje u dielektriku):

$$\frac{q_1}{A} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot F_i .$$

Naboj q_1 pomiče se »n« puta za vrijeme periode, gdje je $n = F/F_i$. Tako je ukupni relativni pomak naboja:

$$\sum_{1 \text{ perioda}} q_1/A = 4\, \varepsilon_0\, \varepsilon \cdot F . \qquad (14)$$

Vidimo, da je ukupni relativni pomak naboja neovisan o veličini izbijanja, početnom naponu ili dimenzijama šupljine, već ovisi samo o jakosti električkog polja u dielektriku. Kao što je relativni pomak naboja, potječe zamisao da ga povežemo s razaranjem dielektrika. Formula (14) je upozorenje, da su električka naprezanja dielektrika uzorka važna mjera za procjenu mogućnosti naprezanja izolacije, čak daleko više nego veličina izbijanja. To stanovište je u potpunosti potvrđeno rezultatima eksperimenata.

7. Detekcija parcijalnih izbijanja

Izbijanja u dielektriku uzrokuju mnoge pojave koje mogu poslužiti za njihovu detekciju. S obzirom na vrstu pojava možemo detekciju obavljati pomoću neelektričkih i električkih pojava.

7.1. Neelektričke pojave

Ovdje je na prvom mjestu detekcija svjetlosnih pojava koje nastaju prilikom izbijanja. Svjetlosni detektor izbijanja može se upotrijebiti za promatranje izbijanja u prozirnom dielektriku ili za promatranje površinskih izbijanja. Ova metoda je za prozirne dielektrike veoma neosjetljiva, dok se površinska izbijanja pomoću fotografiranja ili pomoću fotocijevi mogu ustanoviti već kod veličine izbijanja od 1 pC.

Slijedeća mogućnost je zvučni detektor izbijanja. U slučajevima uljem impregnirane izolacije koristi se hidrofon, a za krute dielektrike, kontaktni mikrofon. Detekcija zvukom je već dugo poznata, ali nije naročito osjetljiva. Tim načinom može se postići osjetljivost od 50 pC.

Detekcija zagrijavanjem uslijed izbijanja ili mjerenjem porasta pritiska u šupljinama, u praksi je potpuno neprimjenljiva.

7.2. Električke pojave

Mjerenje električkih pojava, kao posljedice parcijalnih izbijanja, najčešće se primjenjuje pri određivanju veličine izbijanja. Ta mjerenja su daleko osjetljivija i točnija od detekcija neelektričkih veličina.

Izravna detekcija izbijanja postiže se pretvaranjem strujnih impulsa uzrokovanih pomakom naboja u šupljinama u naponske impulse, koji se pojačavaju i zatim promatraju. Glavni dijelovi tog sklopa su: uzorak u kojem nastaje izbijanje, impedancija detekcije kroz koju se provode strujni impulsi i dodatni kondenzator koji zatvara strujni krug impulsa. Strujni impulsi se u impedanciji pretvaraju u naponske impulse, koji se nakon pojačanja mogu promatrati i mjeriti najčešće osciloskopom. Za industrijske potrebe koristi se i tjemeni voltmetar. Pri istraživanjima izbijanja često se koriste i brojači impulsa.

Detekcija uravnoteženjem zasniva se na istim principima kao izravna detekcija, ali specijalnim mjerama sprečava, utjecaj vanjskih izbijanja i smetnji na rezultate mjerenja. To je u stvari mosna metoda kod koje se vanjska izbijanja i smetnje uravnotežavanjem mosta eliminiraju. Impulsi uzrokovani unutarnjim izbijanjima u uzorku pojačavaju se i mjere mjernim napravama kao i ranije.

Detekcija mjerenjem dielektričkih gubitaka koristi se Scheringovim mostom ili elektronskim watmetrom. Metoda se osniva na razdvajanju dielektričkih gubitaka uzrokovanih pojavama u

dielektriku i uzrokovanih unutarnjim izbijanjima. Ova metoda je jednostavna, ali ne baš naročito osjetljiva (s obzirom na veličinu izbijanja). Osim toga nije moguće odrediti veličinu pojedinih izbijanja.

Izbijanja u kabelima uzrokuju naponske impulse koji putuju duž kabela. Kako je trajanje takvog impulsa $20 - 30 \cdot 10^{-9}$ s, njegova je duljina (u kabelu) samo nekoliko metara. Ako na kabel priključeni sklop i osciloskop imaju malu vremensku konstantu (do $20 \cdot 10^{-9}$ s), moguće je na katodnoj cijevi osciloskopa posebno vidjeti vremenski impuls i njegovu refleksiju. Na taj način možemo locirati mjesto izbijanja u kabelu.

8. Kvarenje dielektrika

Unutarnja i površinska izbijanja štetna su za dielektrik. Oštećenja mogu biti uzrokovana slijedećim:

— bombardiranjem iona i elektrona anode i katode, što uzrokuje njihovo zagrijavanje, eroziju, kemijske promjene (polimerizacija, stvaranje plina i sl.)
— stvaranje kemijskih promjena u ioniziranom plinu (npr. ozon, dušična kiselina)
— stvaranjem ultravioletnih zraka ili mekanih X zraka.

Uzroci oštećivanja dielektrika različiti su od slučaja i jako ovise o vrsti dielektrika.

Tako se oštećenja polietilena pojavljuju na slijedeći način: ono počinje jednoličnom površinskom erozijom. Ova površinska erozija može biti uzrokovana zagrijavanjem, X zrakama ili ultravioletnim zračenjem. Nakon toga izbijanja se koncentriraju blizu oboda šupljine i tamo stvaraju brojne duboke rupice. Kako duljina ovih rupica raste, povećava se energija izbijanja i katkad se pojavi i njihova karbonizacija. Kada rupice dosegnu određenu duljinu, električka naprezanja pri njihovom vrhu dosižu električku čvrstoću dielektrika na razmaku od nekoliko mikrona. Dielektrik na tom razmaku probije, koncentracija polja se pomiče do novog dna rupice, te se na taj način kanal brzo produbljuje kroz dielektrik do potpunog proboja. Prva dva stupnja (erozija površine i početak stvaranja rupica) zauzimaju najveći dio vremena potrebnog da nastupi proboj. Kod velikih naprezanja (10—20 kV/mm) ovo vrijeme može biti nekoliko sati, a kod malih naprezanja (3—5 kV/mm) s frekvencijom 50 Hz mnogo godina. Treći stupanj, produbljivanje vodljivih kanala do konačnog proboja traje samo nekoliko naponskih perioda.

Oštećenja uslijed izbijanja u izolaciji od impregniranog papira nastaju na slijedeći način. Izbijanje koje graniči s vodičem, napada izolaciju i nakon nekog vremena probija prvi papirni sloj. Kao i u slučaju šupljina u plastičnoj izolaciji, proboj se pojavljuje kod ivice šupljine. Nakon probijanja prvih nekoliko slojeva papira, pojavljuju se površinska izbijanja uzduž slojeva, kao stabalca i karbonizirane stazice. Karbonizirane staze slijede najslabije točke izolacije. Kod podnožja stabalaca nastaju lokalna pregrijavanja, što na kraju rezultira potpunim termičkim probojem.

Mjera kvarenja dielektrika ovisi o više varijabli. Kvarenje se ubrzava s porastom broja izbijanja, pa je prema tome proporcionalno frekvenciji narinutog napona. Ono također ovisi o amplitudi, intenzitetu izbijanja i vrsti dielektrika.

Kako smo rekli, broj izbijanja povećava se proporcionalno frekvenciji narinutog napona. Životna dob dielektrika dakle je obrnuto proporcionalna frekvenciji, sve dok frekvencija nije tako visoka da se pojavljuje termički proboj, što uzrokuje kraću naponsku životnu dob dielektrika od očekivane.

Ako se narine istosmjerni napon, broj izbijanja je malen, te je naponska životna dob dielektrika kod istosmjernog napona mnogostruko veća nego kod izmjeničnog, čak ako je istosmjerno električko naprezanje dielektrika veće od naprezanja uobičajenog za izmjenični napon.

Broj izbijanja raste također s porastom naprezanja u dielektriku. Osim toga na kvarenje dielektrika snažno utječe električko naprezanje, tj. stvaranje provodnih kanala pojavljuje se ranije kod većeg električkog naprezanja. Također se i uvjeti za širenje kanala postižu brže kod većih električkih naprezanja. Dakle, utjecaj naprezanja na naponsku životnu dob je veoma velik. Naponska životna dob izolacije mijenja se sa 7-mom do 9-tom potencijom naprezanja.

Izbijanja manja od određene veličine, oštećuju dielektrik tako polagano da praktički ne utječu na njegovu životnu dob. Ta veličina izbijanja naziva se dopustivom veličinom izbijanja. To je veoma važna veličina za detekciju izbijanja. Naime detektor mora biti sposoban da izmjeri veličinu izbijanja jednaku ili manju od dopuštene veličine za tu vrstu izolacije. Dopustiva veličina izbijanja veoma ovisi o električkom naprezanju dielektrika. Ona također ovisi o frekvenciji narinutog napona. Tako npr. dopustiva veličina izbijanja kod 50 Hz ne može biti dopustiva kod 100 kHz. Dozvoljena veličina izbijanja nije izrazito određena veličina, budući da postoje značajne razlike u ispitivanjima. Poznate su samo neke procjene veličine dopuštene veličine izbijanja. Tako se uzima, da je veličina izbijanja manja od 2 pC uz električko naprezanje od oko 3 kV/mm uz 50 Hz potpuno neškodljiva za polietilen. Pod istim uvjetima dopustiva veličina izbijanja za PVC izolaciju je 3 pC.

9. Zaključak

Naponska životna dob uz prisustvo parcijalnih izbijanja u prvom redu ovisi o radnom električkom naprezanju dielektrika, a u manjoj mjeri o veličini izbijanja.

U organskim izolacijama, kao što su impregnirani papir, plastika i sl., električko naprezanje

1—1,5 kV/mm osigurava izolaciju od bilo kakve opasnosti uslijed izbijanja. Naprezanja 2—4 kV/ /mm predstavljaju porast opasnosti od izbijanja, pa je neophodno mjeriti veličine izbijanja. Naprezanja veća od 4 kV/mm zahtijevaju izolaciju bez ikakvih parcijalnih izbijanja.

Iskustvo je pokazalo da je naponska životna dob za PVC i polietilen, uz radno električko naprezanje izolacije od 3 kV/mm i veličinu izbijanja manju od 10 pC, veća od 30 godina. Veličina izbijanja od 1000 pC, ili veća u istim izolacijama i uz isto električko naprezanje dovode do proboja u vremenu od nekoliko mjeseci do godine dana.

U kabelima s PVC izolacijom bez električne zaštite s radnim naprezanjem izolacije uz vodič od oko 2 kV/mm i na vanjskim dijelovima 1—1,5 kV/mm, i veličinom izbijanja reda veličine 10.000 pC naponska životna dob iznosi oko 10 godina.

U izolaciji generatora na bazi tinjca radno električko naprezanje kreće se oko 2 kV/mm. Kod nje je, uz veličinu izbijanja 500 do 10.000 pC osigurana životna dob od 20—30 godina.

Literatura:

1. IEC Publication 270
2. Austen, A. E. W., and Hackett, W.: *"Internal Discharges i Dielectries, Their Observation and Analysis"*
3. Mason, J. H.: *"The Sequence and Location of Internal Discharges in Dielectries"*
4. Mason, J. H.: *"Breakdown of Insulation by Discharges"*
5. Kreuger, F. H.: *"Discharge Detection in High Voltage Equipment"*

Naslov pisca: Josip Mužny, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

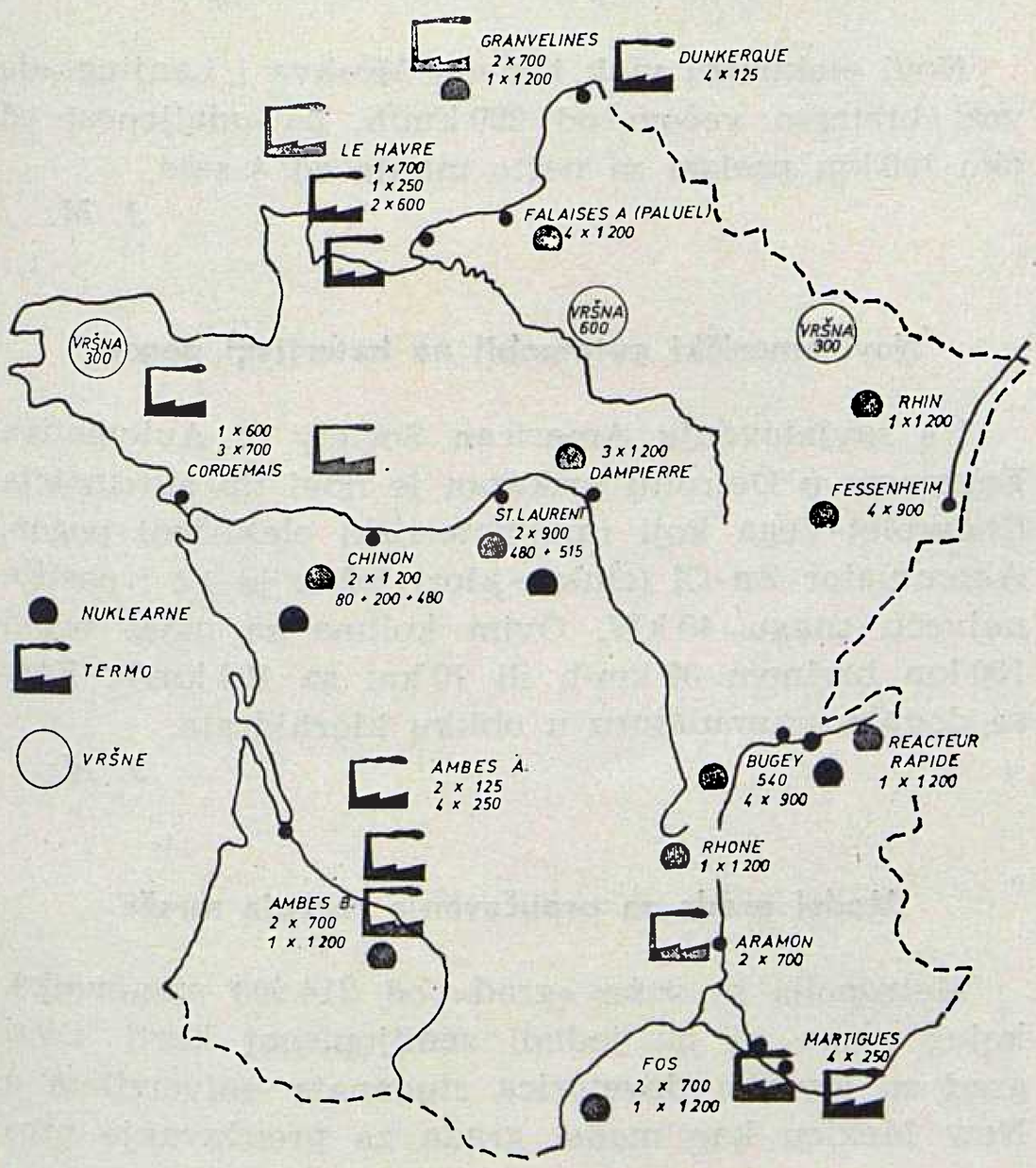
PLANIRANJE ELEKTRANA U FRANCUSKOJ

Iz »Brèves nouvelles de France« prenosimo planiranu izgradnju elektrana u Francuskoj.

U razdoblju od 1972. do 1985. E.D.F. predviđa staviti u pogon električnu snagu od 38.200 MW. U tim novim postrojenjima nuklearne elektrane, s ukupnom snagom od 28.600 MW, zauzimaju važno mjesto. Na priloženoj karti naznačen je njihov razmještaj, kao i smještaj termoelektrana i manjih jedinica za pokrivanje vršnih opterećenja (sivo — već postojeće instalacije, crno — planirane):

— u Gravelines, kraj Dunkerque, sagradit će se dvije termoelektrane od 700 MW, te jedna nuklearna od 1200 MW;
— na grebenima Paluela smjestit će se četiri atomska reaktora od 1200 MW svaki;
— u Havru, gdje već postoje tri termoelektrane (jedna od 250 MW i dvije od 600 MW), sagradit će se još jedna termoelektrana od 700 MW;
— Cordemais će primiti tri postrojenja od 700 MW;
— u okolici Chinona, gdje su već u pogonu reaktori od 80, 200 i 480 MW, sagradit će se dvije nuklearne elektrane od 1200 MW;
— u Saint-Laurent-Des-Eaux, na Loiri, uz dvije centrale od 480 i 515 MW, već se grade dvije nuklearne jedinice od 900 MW;
— Dapmierre će primiti tri atomska reaktora od 1200 MW;
— u Fessenheim-u, na Rajni, sagradit će se četiri nuklearne elektrane od 900 MW, a nešto sjevernije još jedna nuklearna jedinica od 1200 MW;
— u Ambes-u na jednom mjestu već postoje četiri termoelektrane ukupne snage 1250 MW, a na drugom će se sagraditi još jedna termoelektrana od 700 MW i jedna nuklearna jedinica od 1200 MW;
— prva centrala koja će koristiti snagu brzih neutrona od 1200 MW konstruirat će se na Rhoni istočno od Bugey-a (u okolini Bugey-a, uz već postojeće dvije nuklearne jedinice od 450 MW, podignut će se još četiri od 900 MW, kao i jedna nuklearna elektrana od 1200 MW);
— u Aramon-u, na jugu, sagradit će se dvije termoelektrane od 700 MW;
— konačno, u Fos-Martigues-u, gdje su već četiri termoelektrane od 250 MW, sagradit će se još dvije od 700 MW i jedna nuklearna od 1200 MW.

Z. T.



Najveća protočna hidroelektrana na svijetu

Dosad najveća protočna hidroelektrana na svijetu gradi se na rijeci Parani i do 1992. godine trebala bi biti završena. Ovu elektranu zajednički grade Brazil i Paragvaj. Konačna izgradnja će imati oko 11.000 MW, a do 1982. trebalo bi u pogonu biti oko 2100 MW. Ova elektrana se zove Itaipu.

J. M.

Najveća elektroenergetska postrojenja u Švicarskoj

Prema podacima obavljenim u Bull. SEV 64/73/6, krajem 1972. g. su najveća postrojenja u Švicarskoj bila ova:

Hidroelektrane:

Protočne	RYBURG — SCHWOERSTADT, 108 MW, 700 GWh
Akumulacione	GRANDE DIXENCE, 684 MW, 1680 GWh

Termoelektrane:

Klasične	CHAVALON 284 MW
Nuklearne	BEZNAU I ili II 350 MW

Najsnažnije turbine:

Hidro	BITSCH 100 MW
Termo klasične	CHAVALON 150 MW
Nuklearne	BEZNAU I ili II 182 MW
Najstažniji generator	BEZNAU I ili II 228 MVA.

J. Moser

Nova pumpna hidroelektrana u Poljskoj

U Židovu je u gradnji nova pumpna hidroelektrana ukupne snage 150 MW i tri pumpe ukupne snage 120 MW. Turbine su predviđene za četiri sata rada dnevno, s padom od 77,5 m i ukupnim protokom od 240 m^3/s. Pumpe rade sedam sati dnevno i imaju ukupni protok od 130 m^3/s.

Cijelo postrojenje je smješteno na dva prirodna jezera koja imaju korisni volumen 3,3 hm^3, a nalaze se na međusobnoj udaljenosti od 2 km i visinskoj razlici od 77 m. Iz donjeg jezera istječe rijeka. Voda iz gornjeg jezera vodi se otvorenim kanalom do male akumulacije, a zatim kroz 465 metara dugi čelični cjevovod do turbina, čiji se promjer smanjuje sa 5 na 4,5 m. Nivo vode u gornjem jezeru podignut je za 3,7 m bez opasnosti za okolicu, dok je na izlaznom dijelu trebalo izgraditi zemljanu branu.

Prema Water Power No. 5/73

J. M.

Razvoj hidroelektrana Krasnojarsk

Hidroelektrana Krasnojarsk u Sibiru izgrađena je 1972. iako su prve jedinice započele proizvodnju još 1967. god. Ova elektrana je najveća elektrana na svijetu i ima 12 jedinica ukupne snage od 6.000 MW, u kojima se godišnje proizvodi 20 TWh. Postrojenje je na rijeci Jenisej u regiji u kojoj srednja godišnja temperatura iznosi svega 0,5 °C i u kojoj su posebno teški problemi s ledenim santama.

Postavljen je plan razvoja ovog hidroenergetskog kompleksa radi lakše kontrole protoka, jer bazen ima korisni volumen od oko 39.000 hm^3, i radi olakšanja plovidbe nizvodno od elektrane. Kompletiranjem elektrane Krasnojarsk stvoreni su uvjeti za stvaranje lanca elektrana na rijekama Jenisej i Angara.

Procijenjuje se da će ukupna snaga svih tih elektrana biti reda 60 GW i da će se godišnje proizvoditi 270 TWh.

(Prema: ELEKTROPRIVREDA ZAGREB, 1973, br. 4.)

J. M.

Produženi razvojni planovi za projekt »Dragon«

Zemlje članice Euroatoma zaključile su da se produži na tri godine rad na projektu »Dragon«. To je projekt razvoja novog visokotemperaturnog reaktora. Troškovi razvojnog rada na ovom projektu do 1976. stajat će 9,4 milijuna funti sterlinga.

Prema ETZ-B, № 7/8, 73

J. M.

Elektrifikacija željeznica u SR Njemačkoj

Ove godine u SR Njemačkoj će se elektrificirati daljnjih 500 km pruge, dok će se oko 1800 km opremiti elektronskom signalnom tehnikom.

J. M.

Kompjutori u Austriji

Sredinom 1972. godine bilo je u Austriji ukupno 797 elektroničkih računala i 3516 postrojenja za obradu podataka.

J. M.

Supravodljivi generatori

Science Research Council u Engleskoj postavio je program razvoja supravodljivog generatora sa snagom do 1,3 GW. Program starta je ove godine i očekuje se da će do 1980. biti izgrađen prototip od 60 MW, do 1983. od 600 MW a do 1990. prototip od 1 GW.

J. M.

Električni automobil na ulicama Velike Britanije

Krajem 1974. se očekuje u Velikoj Britaniji pojava prvog osobnog automobila na baterije. Serijski proizveden »enfield 8000« imat će za pogon olovne akumulatore, snagu motora od 6 kW, maksimalnu brzinu 75 km/h, putnu dužinu 65 do 100 km, a cijena će biti oko 1000 funti (40.000 d).

J. M.

Prva nuklearna elektrana u ČSSR u pogonu

U mjestu Jaslavske Bohunice u Slovačkoj puštena je krajem 1972. službeno u pogon prva nuklearna elektrana u ČSSR. Ova elektrana građena je uz pomoć SSSR-a, ima reaktorski sistem tipa KS 150 s uranom i teškom vodom. Radovi na ovoj elektrani započeli su 1955.

J. M.

Novi električni vlak u SSSR-u

Novi električni vlak između Moskve i Lenjingrada vozi brzinom većom od 200 km/h, pa udaljenost od oko 700 km prelazi za nešto manje od 4 sata.

J. M.

Novi američki automobil na baterijski pogon

Na savjetovanju American Society of Automotive Engineers u Detroitu prikazan je novi tip automobila Chevrolet-Vega koji ima baterijski električni pogon. Akumulator Zn-Cl (cink — klor) težak je 1 t i postiže najveću snagu 40 kW. Ovim kolima se može voziti 180 km brzinom 80 km/h ili 70 km sa 105 km/h. Klor se dodaje akumulatoru u obliku klorhidrata.

J. M.

Model grada za proučavanje razvoja mreže

Metropolis se zove »grad« od 214.000 stanovnika, kojeg nema ni na jednoj zemljopisnoj karti. Ovaj grad su stvorila devetorica studenata univerziteta u New Mexicu kao model grada za proučavanje pro-

blema razvoja svih komunalnih servisa u gradu. Svi podaci o njemu čuvaju se u memoriji elektroničkog računala, pa se za 5 sati može simulirati plan razvoja grada i njegovih potreba kroz 13 godina. Posebno se može analizirati mreža za distribuciju električne energije.

J. M.

Najveća pumpna turbina na svijetu

Najveća pumpna turbina na svijetu bit će u pogonu 1975. u hidroelektrani Rodundwerk II u Vorarlbergu u Austriji. Njeno jedino postrojenje imat će snagu turbine 270 MW i snagu pumpanja 265 MW.

J. M.

Još dvije hidroelektrane na Dunavu kod Đerdapa

Na Dunavu kod Đerdapa projektiraju se još dvije hidroelektrane, koje bi se izgradile do 1980. godine. Obadvije bi se gradile nizvodno od Đerdapa, između Rumunjske i Jugoslavije, odnosno Rumunjske i Bugarske. Elektrana između Rumunjske i Jugoslavije nalazit će se 80 km jugoistočno od sadašnje hidroelektrane Đerdap, između rumunjskog mjesta Gruia i našeg Radujevca. Druga hidroelektrana nalazit će se iza tromeđe, između Cioara i bugarskog mjesta Belene. Radovi na ovim objektima trebali bi početi 1975.

J. M.

Najveća pumpna hidroelektrana na svijetu

U gradnji je dosad najveća pumpna hidroelektrana na svijetu. Ona će imati snagu 828 MW, a nalazi se u Pribanu u ČSSR. Kapacitet jezera bit će oko 40 milijuna kubičnih metara vode, a površina jezera oko 150 ha.

J. M.

Smrtni slučajevi od struje u Velikoj Britaniji

U Velikoj Britaniji bilo je 1971. godine 71 smrtni slučaj od električnog udara, dok je u 1970. bilo samo 48 takvih slučajeva.

J. M.

PODUZEĆE ZA IMPREGNACIJU DRVA I PROIZVODNJU KOMPRIMIRANIH PLINOVA

KARLOVAC

Obavlja kemijsku zaštitu (kotlovsku impregnaciju) svih vrsti željezničkih pragova, pragova za smještaj kranskih dizalica, stupova za TT i EV vodove, kocaka za hale, rudno drvo i ostali građevinski materijal od drveta.

Impregnira po najsuvremenijim metodama.

Proizvodi komprimirane plinove: kisik, disuplin i dušik.

PRIPREMA IZGRADNJE NUKLEARNE ELEKTRANE U KRŠKOM

Već 1967. godine su se Poslovna Udruženja elektroprivrednih poduzeća SRH i SR Slovenije dogovorila o koordiniranju akcija na pripremi izgradnje zajedničke nuklearne elektrane. Lokacija te elektrane bila je određena u Krškom, jer je ova lokacija povoljno smještena u odnosu na najjače konzumno područje SR Hrvatske i SR Slovenije, a uglavnom zadovoljava i ostale kriterije, koji se traže kod lociranja nuklearnih elektrana.

Na inicijativu elektroprivrede, Izvršna Vijeća SR Hrvatske i SR Slovenije su 1970. godine sklopila sporazum o zajedničkoj izgradnji dviju nuklearnih elektrana. Prva elektrana snage 700—800 MW bit će na području SR Slovenije u Krškom, a druga na području SR Hrvatske. Najvjerojatnija lokacija druge elektrane je Prevlaka (kod sela Oborovo na Savi, oko 35 km nizvodno od Zagreba).

Poduzeće »Elektroprivreda Zagreb« dobilo je maddat kod ostalih elektroprivrednih poduzeća naše Republike da izvrši pripremne radove za izgradnju nuklearne elektrane u ime Elektroprivrede Hrvatske. Sličnu ulogu ima poduzeće »Savske elektrane« u SR Sloveniji. Navedena poduzeća su 1971. godine sklopila ugovor o zajedničkoj pripremi izgradnje NE Krško i o formiranju operativne grupe u Krškom.

Već u prvoj polovini 1970. godine počeo je rad na tenderu za prvu nuklearnu elektranu. Na izradi tendera sudjelovali su brojni stručnjaci iz projektantskih organizacija (Elektroprojekt Ljubljana i Elektroprojekt Zagreb), nuklearnih i drugih instituta, fakulteta i elektroprivrede. Raspis za prikupljanje ponuda bio je službeno objavljen u veljači 1971. godine. Ponude su podnijele 4 firme: General Electric — Ansaldo, Kraftwerk Union, Westinghouse i ASEA.

Osnovni zahtjevi postavljeni ponuđačima opreme za elektranu bili su:

1. Ponuda se mora odnositi na provjereni tip elektrane,
2. Totalnu garanciju za rokove izgradnje i kvalitetu cijelog objekta mora preuzeti glavni dobavljač,
3. Sigurnosni sistemi nuklearne elektrane i njezin utjecaj na okolinu moraju, zbog pomanjkanja naših propisa, udovoljavati propisima u zemlji glavnog dobavljača reaktora za komparabilnu lokaciju,
4. Učešće jugoslavenske industrije na ovom objektu mora biti barem 50 posto od vrijednosti opreme. To se učešće može realizirati bilo direktnim dobavama za nuklearnu elektranu, bilo kontraisporukama naših industrijskih poduzeća.

Budući da je ASEA nakon prvih kontakata s investitorom odustala, ostala su 3 ponuđača koji su podnijeli 5 alternativnih ponuda:

1. GENERAL ELECTRIC — ANSALDO
   NE tipa BWR 845 MW
   NE tipa BWR 661 MW
2. KRAFTWERK UNION
   NE tipa PWR 694,5 MW
   NE tipa BWR 685 MW
3. WESTINGHOUSE
   NE tipa PWR 632 MW

U tenderu se je tražilo da ponuđači najprije podnesu tehničke ponude, a tek kada se te ponude u pregovorima nadopune i prihvate, da se za njih daju i komercijalne ponude. Analiza i vrednovanje tehničkih ponuda obavljeno je u razdoblju srpanj 1971 — veljača 1972. godine, nakon čega su zatražene komercijalne ponude. Te su ponude primljene u travnju 1972.

Praksa je, međutim, pokazala da su svi ponuđači, naročito KWU, i nakon podnošenja komercijalnih ponuda, kontinuirano mijenjali svoja prvobitno ponuđena tehnička rješenja. Ovo je bilo uzrokovano našim ranijim prigovorima na tehničke ponude, bilo zbog izmjena propisa ili napretka tehnologije. Navedene izmjene su znatno komplicirale rad operativne grupe u Krškom, jer se je paralelno sa vrednovanjem komercijalnih ponuda morao neprekidno i paralelno vršiti rad na usklađivanju tehničkih ponuda i pregovaranje o predloženim izmjenama i dopunama tih ponuda. Smatrali smo da je do neke mjere racionalno prihvatiti takve izmjene, jer se uglavnom radilo o poboljšanjima ranije ponuđenih rješenja.

Sada se radi na konačnom vrednovanju tih zadnjih prijedloga i ponuda sa ciljem dobivanja redoslijeda povoljnosti dobivenih ponuda. Paralelno s radom na vrednovanju ponuda, radilo se na studijama utjecaja nuklearne elektrane na okolinu (uz suradnju naših stručnjaka iz nuklearnih instituta, te eksperata Međunarodne agencije iz Beča i eksperata Akademije nauka iz ČSSR). Analize su pokazale da nema opasnosti od radiološkog zagađenja rijeke Save, niti od ugrožavanja bunara za pitku vodu grada Zagreba.

Prije potpisa ugovora o izgradnji nuklearne elektrane, neophodno je realizirati odnose između partnera, Elektroprivrede Zagreb i Savskih Elektrana, u fazi izgradnje i eksploatacije tog objekta. Posebna radna grupa, sastavljena od predstavnika jednog i drugog poduzeća, već više mjeseci radi na formuliranju ugovora između investitora za navedeni zajednički pothvat. Taj posao je pri završetku, a isto tako i prvi koncept normativnih akata zajedničkog poduzeća za izgradnju i eksploataciju nuklearne elektrane kojeg bi trebalo formirati.

Ukoliko ne dođe do nepredviđenih poteškoća, vjerojatno je da bi se predugovor s odabranim dobav-

ljačem opreme za NE Krško mogao potpisati u toku nekoliko narednih mjeseci, što znači da bi nuklearne elektrana mogla uči u redovnu proizvodnju krajem 1978. godine.

D. F.

TS Ivanić-grad u pogonu

Područje »Elektre« — Križ obuhvaća znatan dio Posavlja i to počevši od sela Lupoglav na zapadu pa sve do Batrine na istoku. Sav konzum ovog područja bio je do sada uglavnom napajan iz TS 110/35 kV Međurić, samo je područje Ivanić-Grada i Kloštra napajano preko jednog dotrajalog voda iz Siska. Posebno kritično bilo je baš napajnje područja Ivanić-Grada i Kloštra, budući da se iz Siska nije moglo prenijeti više od oko 1,5 MVA. Osim toga na širem području Ivanić-Grada pojavio se jedan novi veliki potrošač električne energije i to naftonosno polje »Žitica«. Za tog velepotrošača trebalo je osigurati oko osam MVA, što je uz terete ostalih potrošača od oko sedam MVA uvjetovalo da se pristupi izgradnji ove TS.

Na osnovi osiguranih sredstava pristupilo se licitaciji i ugovaranju građevinskih radova, koji su i formalno započeti u prosincu 1970. godine. Budući da nisu bili riješeni svi imovinsko-pravni odnosi i da su se građevinski radovi u zimskom razdoblju obavljali u smanjenom obimu, možemo reći da su stvarno započeli u proljeće 1971. godine. Djelomično su građevinski radovi bili ometani zbog problema nastalih u vezi sa sređivanjem imovinsko-pravnih odnosa. Općenito, može se konstatirati da su neriješeni imovinsko-pravni odnosi pridonijeli pomaku rokova izgradnje, a još su znatnije utjecali na nastala prekoračenja troškova predviđenih investicionim programom.

Postrojenje je izvedeno prema projektu i to vanjsko postrojenje 110 kV s glavnim i pomoćnim sabirnicama s Al užetima presjeka 450 mm² preko 5 polja. Montirana su: jedno transformatorsko polje i mjerno polje (kao dio transformatorskog polja II) te dva dalekovodna polja, jedno prema TS Mraclin, a drugo prema TS Bjelovar.

U postrojenju 35 kV izvedena je kompletna bravarija za svih 14 ćelija, dvostruke sabirnice iz plosnatog Al 60 × 10 mm², a montirana je kompletna oprema u jednoj transformatorskoj ćeliji, pet dalekovodnih ćelija, spojna ćelija i dvije ćelije transformatora vlastite potrošnje. U komandnoj prostoriji montirana je komandna ploča od 16 polja, ploča vlastite potrošnje od 3 polja i stalak releja i brojila. Na stalku releja i brojila montirana je provizorna signalizacija, što je ujedno i jedini provizorij u stanici. Svi pomoćni pogoni kao: kompresorsko postrojenje, akumulatorska baterija, razvod napona vlastite potrošnje, razvod pomoćnog napona, vanjska rasvjeta i uzemljenje izvedeni su u konačnom obujmu.

Paralelno sa izgradnjom stanice, »Elektra« Križ pristupila je rekonstrukciji mreže 35 kV na širem području oko stanice, pa je tom prilikom obuhvaćeno i rješavanje raspleta vodova oko same stanice. Rekonstruirani su 35 kV vodovi prema Križu, Ivanić-Kloštru i Šumečanima, a izgrađen je vod prema Žutici. Jedino još nije izgrađen vod Ivanić II, dok je ćelija 35 kV u stanici završena. Svi vodovi izgrađeni su na čelično-rešetkastim stupovima, a vodiči su Al-Če 120 mm².

Stanica je 2. ožujka 1973. stavljena kompletno pod napon, a 3. ožujka 1973. izvršeno je svečano puštanje u pogon, koje je obavio predsjednik općine Ivanić-Grad.

Izgradnjom stanice 110/35 kV Ivanić-Grad zadovoljene su u potpunosti potrebe »Elektre« Križ za duže vremensko razdoblje. Ulaskom u pogon TS 35/10 kV Žutica ova stanica će biti opterećena teretom od oko 16 MVA. Zbog sigurnosti pogona, a u skladu s »Kriterijima« OOUR »Elektroprenos« Zagreb, bit će neophodno uskoro pristupiti montaži drugog učinskog transformatora snage 22 MVA. Ovo će se moći izvesti u vrlo kratkom roku, jer su svi građevinski radovi dovršeni, pa treba izvršiti samo montažu transformatora i potrebnih aparata, kao i zaštitnih uređaja.

H. P.

Rekonstrukcija TE »Jertovec«

Osim ekonomske i tehničke zastarjelosti TE »Jertovec« u posljednje se vrijeme pojavio novi i krupni problem, a to je nabavka, odnosno osiguranje potrebnih količina goriva.

Zatvaranjem Zagorskih ugljenokopa TE »Jertovec« je ostala bez svoje sirovinske baze. Razvojem, odnosno proširenjem TE »Šoštanj«, rudnik Velenje više nije u mogućnosti da snabdijeva TE »Jertovec«. Rudnik Ivanec uz sve svoje napore nije u stanju ponuditi ozbiljnije količine. Preostaje još jedino da se ugljen nabavlja iz Tuzle, ali zbog velike udaljenosti rudnika od TE »Jertovec«, u ukupnoj cijeni ugljena fco TE »Jertovec« prijevoz čini više od 50 posto.

U zajedničkom traženju rješenja, a uvažavajući sve činjenice u vezi s energetskom situacijom u narednom razdoblju, ostalo je jedino rješenje — rekonstrukcija postrojenja na loženje zemnim plinom, odnosno mazutom, te ugradnja plinskog »kombi« postrojenja.

Mogućnost ugradnje plinskih turbina u TE »Jertovec« upravo se razmatra i postoje realni izgledi da se uskoro i realizira. Predviđa se ugradnja dvaju plinskih agregata snage od 25 MW svaki. Zajedno s postojećim, ali rekonstruiranim agregatima, ukupna snaga elektrane iznosila bi nešto manje od 90 MW. Ovakva elektrana mogla bi proizvoditi temeljnu energiju jer se ugradnjom »kombi« postrojenja smanjuje specifični potrošak topline na oko 2500 kcal/kg. S obzirom na to, da bi se spomenuti 90 MW proizvodilo na 5 agregata, elektrana bi bila vrlo pogodna i za vršna opterećenja jer je tehnički minimum praktički Φ MW i može se bez poteškoća voziti bilo koji teret između 0 i 90 MW. Vrijeme ulaska u pogon, odnosno vrijeme koje je potrebno za ulazak u pogon iz hladnog stanja na puni teret (kod »kombi« postrojenja) iznosi svega 5 minuta za plinske turbine (25 × 2 = MW), dok za ulazak parnih turbina treba, naravno, mnogo više.

Radnički savjet poduzeća na svojoj 8. redovnoj sjednici od 22. ožujka 1973. godine donio je odluku o rekonstrukciji TE »Jertovec«.

Elektroprivreda Zagreb, br. 4/1973.

F. K.

MEĐUNARODNA KONFERENCIJA ZA SEOSKU ELEKTRIFIKACIJU U ŽENEVI

Grupa eksperata za raspodjelu električne energije i seosku elektrifikaciju Komiteta za električnu energiju, Ekonomske komisije za Evropu, Organizacije ujedinjenih nacija, poslije stanke od tri godine, održala je, od 24. do 26. travnja 1973, svoje 19. redovno zasjedanje u Ženevi. Na ovom zasjedanju učestvovala su 42 delegata iz 22 zemlje: Belgije, Bugarske, ČSSR, DR Njemačke, Finske, Francuske, Holandije, Italije, Irske, Mađarske, Poljske, Portugala, Rumunjske, SAD, Španjolske, Švicarske, Švedske, SSSR, Velike Britanije, Turske i SFR Jugoslavije.

Valja spomenuti da je od osnivanja Radne grupe eksperata za studij seoske elektrifikacije Komiteta za električnu energiju protekla 21 godina. Od 1952. do 1970. godine, svake su godine, u Ženevi održana međunarodna zasjedanja ove Radne grupe u okviru Komiteta za električnu energiju, i podneseno je mnogo značajnih stručnih referata o problemima elektrifikacije sela i poljoprivrede. Teme iz ove oblasti su birane tako da budu interesantne za veći broj učesnika — predstavnika raznih evropskih zemalja na ovim konferencijama. Do 1970. Ekonomska komisija za Evropu objavila je 68 stručnih referata iz seoske elektrifikacije u 12 posebnih volumena koji nose oznaku E/ECE/260-E/ECE/EP 178. Referati su publicirani u posebnoj knjizi »SEOSKA ELEKTRIFIKACIJA« na tri zvanična jezika: francuskom, engleskom i ruskom.

Prema zaključcima Komiteta za električnu energiju Ekonomske komisije za Evropu, na 29. zasjedanju 1970. godine, Radna grupa za studij seoske elektrifikacije dobila je novi naziv »Grupa eksperata za distribuciju električne energije i za probleme seoske elektrifikacije«. Tom prilikom je odlučeno da se ubuduće međunarodna zasjedanja ove Grupe održavaju jedanput u tri godine, a ne kao do sada svake godine.

Na taj način je u travnju 1973. godine, održano XIX Međunarodno zasjedanje Grupe eksperata za distribuciju električne energije i seoske elektrifikacije, kao nastavak rada prethodne Radne grupe za studij seoske elektrifikacije.

Za predsjednika ove Grupe ponovo je izabran prof. ing. Igor Budzko (SSSR), a za potpredsjednika L. Van Acker (Belgija). Zasjedanju je prisustvovao i direktor Odjeljenja za energiju ECE E. F. Jansens, koji je pozdravio prisutne delegate i istakao značaj dosadašnjeg rada ove Grupe i u narednom razdoblju.

Tok radnog zasjedanja se odvijao prema usvojenom dnevnom redu za razmatranje podnijetih stručnih referata.

Referati za definitivnu publikaciju

»Stanje seoske elektrifikacije u Evropi u razdoblju od 1969—1972. god.«

Radni dokument EP/GE. 1/R 1 i Add. 1 se odnosi na stanje seoske elektrifikacije od 1. siječnja 1969. do 1. siječnja 1972. godine. Ovaj prikaz je pripremio Sekretarija Grupe eksperata za distribuciju električne energije i seosku elektrifikaciju. U diskusiji su o ovom referatu učestvovale delegacije SR Njemačke, Belgije, Bugarske, Španjolske, Finske, Francuske, Mađarske, Irske, Holandije, Poljske, Portugala, DR Njemačke, Rumunjske, Velike Britanije, ČSSR i SSSR. Konstatirano je da su mnoge zemlje u Evropi već ostvarile stupanj seoske elektrifikacije sa 100%. (Pod stupnjem seoske elektrifikacije se podrazumijeva odnos broja naselja i poljoprivrednih dobara koja su priključena na električne distributivne mreže prema ukupnom broju naselja i poljoprivrednih dobara koja se nalaze na tom području). Iz trogodišnjeg pregleda o stanju seoske elektrifikacije može se zaključiti da je 1. siječnja 1972. godine sa 100% provedena seoska elektrifikacija u Belgiji, ČSSR, Danskoj, Francuskoj, DR Njemačkoj, SR Njemačkoj, Luksemburgu i Švedskoj. Osim toga, sva poljoprivredna dobra su dobila električnu energiju u Austriji, Bugarskoj, SSR Bjelorusiji, SSR Ukrajini, Finskoj i Velikoj Brataniji. Isto tako, iz pregleda se vidi da je skoro potpuno završena seoska elektrifikacija u Mađarskoj, Italiji, Holandiji, SSSR, Velikoj Britaniji i u SAD (98,4%).

Može se zaključiti da je kod oko 70% evropskih zemalja seoska elektrifikacija praktički završena. U ostalim zemljama se također pridaje posebna pažnja provođenju dalje elektrifikacije seoskih naselja radi podizanja životnog standarda, pa se u tom pravcu čine veliki napori uz znatno financijsko učešće države. Kako je poznato, potrebna su velika ulaganja u seoske elektrodistributivne mreže koje su često za poduzeća nerentabilna zbog slabog korištenja izgrađenih kapaciteta. Zato neke zemlje planski predviđaju budžetska sredstva za unapređenje seoske elektrifikacije. Tako, npr., u SSR Bjelorusiji od 1969. do 1972. svake se godine ulagalo u seosku elektrifikaciju prosječno oko 32 milijuna rubalja (oko 64 milijardi st. dinara) uz učešće države sa oko 65% i doprinosa potrošača sa oko 35%; u Mađarskoj oko 140 milijuna forinti, uz učešće države sa 52%, potrošača sa 5,5%, specijalnih institucija 27,6% i iz ostalih financijskih izvora 14,6%. Poljska u seosku elektrifikaciju ulaže godišnje prosječno 1,300.000 Zlota sa 100% učešća potrošača, dok SSR Ukrajina u tu svrhu ulaže prosječno godišnje oko 125 milijuna rubalja, uz učešće države sa 46,8% i iz drugih izvora 53,2%. Isto tako, država je sa 100% financirala seosku elektrifikaciju u Velikoj Britaniji (1971. godine) 536.000 funti sterlinga, u Italiji — 18 milijardi lira, u Švedskoj — sa oko 3 milijuna kruna, dok je u Francuskoj (1970. god.) uloženo 410 milijuna franaka, uz učešće države sa 29,2% i 70,8% iz drugih financijskih izvora.

Posljednjih godina potrošnja električne energije za poljoprivredne svrhe je znatno porasla u tehnički razvijenim zemljama i iznosi od 2 do 7% ukupne

godišnje potrošnje. Tako je npr., u 1971. godini potrošnja električne energije za poljoprivredne svrhe iznosila je u Austriji 693 GWh ili 3,1% ukupne godišnje potrošnje, u Bugarskoj 708 GWh ili 4,1% u SSR Bjelorusiji 1004 GWh ili 7,7%, ČSSR — 1748 GWh ili 4%, u DR Njemačkoj 2.128 GWh — 3,7%, u Mađarskoj 726 GWh — 4,5%, Poljskoj 2.287 — 3,9%, u Švedskoj 1800 GWh — 3%, u Vel. Britaniji 3.744 GWh — 1,7%, dok u SFRJ 301 GWh odnosno 1,2% ukupne godišnje potrošnje.

Intenzivnost u provođenju seoske elektrifikacije odražava tendenciju mnogih evropskih zemalja da se poboljša životni standard seoskog stanovništva, s jedne strane, i da se poveća poljoprivredna proizvodnja primjenom električne energije za mehanizaciju poljoprivrednih procesa i za termičke svrhe. U regijama, gdje je provedena elektrifikacija seoskih naselja nastoji se povećati potrošnja električne energije radi racionalnijeg korištenja uloženih investicija u elektrodistributivne mreže. Stoga se podižu uzorne, ogledne farme, s primjenom suvremenih električnih aparata i uređaja u poljoprivredi za povećanje radne produktivnosti. Međutim, veći porast opterećenja u poljoprivrednim naseljima često zahtijeva rekonstrukciju električne mreže, pa se tom pitanju poklanja posebna pažnja.

U posljednje je vrijeme učinjen tehnički progres u pogledu primjene opreme koja se upotrebljava za seosku elektrifikaciju. Naročito se ističe upotreba zračnih izoliranih kabela s plastičnim omotačem za distributivne seoske mreže niskog napona. Osim Švedske, prije nekoliko godina, Finska je također počela proizvoditi takvu vrstu zračnih električnih kabela za razvodne mreže. Finsko poduzeće za kabele iz Helsinkija sada proizvodi plastične kabele AMKA za montažno i trofazno napajanje. Trofazni kabel sadrži jezgru od 3 fazna izolirana aluminijska vodiča s plaštem od polietilenske materije i za nulti vod golo aluminijsko uže kao noseće u kabelu. Kabeli se polažu na drvenim stupovima bez izolatora, vješanjem na gvozdene držeće — kuke. Godine 1964. razvijen je u Finskoj novi tip »samonosećeg« zračnog plastičnog kabela s vodičima u obliku užeta od otporne aluminijske legure, koji je dao dobre rezultate. Sada je u Finskoj položeno preko 50.000 km takvih kabela. Kabeli se izrađuju kao standardni (presjeka u mm²) $1 \times 16 + 25$, $1 \times 25 + 35$, $1 \times 35 + 50$ i trofazni $3 \times 16 + 25$, $3 \times 35 + 50$ i $3 \times 70 + 95$. Tehnički propisi dozvoljavaju da se ovi plastični kabeli polažu na zajedničkim stupovima s ostalim linijama niskog napona, na stupovima za rasvjetu ulica, zajedno s telefonskim linijama kao i mrežama visokog napona. Finska iskustva pokazuju da su ovakve kabelske linije jevtinije od klasičnih zračnih mreža s Ač vodičima na izolatorima. Sada su u toku ogledi s polaganjem plastičnih zračnih kabela za napon 20 kV. Iskustva u Finskoj ohrabruju distributivna preduzeća za primjenu takvih vrsta kabela i s gledišta bolje eksploatacije, jer je registriran mnogo manji broj kvarova od atmosferskih pražnjenja nego kod mreža sa značnim vodovima na izolatorima.

U diskusiji je također istaknuto, da su se posljednjih godina u seoskim područjima počele polagati podzemne kabelske mreže, jer one, osim estetske strane, predstavljaju veću sigurnost u pogledu zaštite od dodira napona. Holandija je među prvim zemljama u Evropi počela primjenjivati podzemne kabelske vodove u seoskim naseljima. U Sjedinjenim Državama Amerike već su uobičajene instalacije i mreže s podzemnim kabelima, a takve su mreže posebno pogodne u krajevima koji su izloženi atmosferskim pražnjenjima. Mehanizacijom radova oko polaganja znatno je snižena cijena koštanja podzemnih kabelskih razvoda, tako da se ocjenjuje da je sada dvostruko jeftinije postavljanje kabelskih podzemnih mreža nego zračnih linija.

Pri izgradnji distributivnih mreža srednjeg i niskog napona u mnogim zemljama se uočava tendencija, da se drveni stupovi zamjenjuju armirano-betonskim. Također se sve više u niskonaponskim mrežama upotrebljavaju stupovi od prednapregnutog betona, kao na primer, u ČSSR, Rumunjskoj, Bugarskoj, Finskoj, Francuskoj, i dr.

Pri provođenju racionalne seoske elektrifikacije velika se pažnja poklanja pravilnom izboru snage transformatora kao i konstrukciji samog transformatora. Budući da su transformatori u seoskim naseljima često slabo opterećeni, to su gubici praznog hoda dosta veliki. Stoga se preporuča da se transformatori izrađuju sa što manjim gubicima u željezu, pa se upotrebljavaju limovi sa specifičnim gubitkom od 0,6 W/kg umjesto, kao do sada, sa 1,4 W/kg.

Radi pojeftinjenja izgradnje seoskih mreža važnu ulogu ima normalizacija i standardizacija konstruktivnih elemenata mreže.

U diskusiji o razvoju stanja seoske elektrifikacije, delegat SSSR P. Katkov je ukratko iznio da je u razdoblju od 1969. do 1971. godine u SSSR nastavljen rad na priključivanju kolhoza i sovhoza na velike državne elektroenergetske sisteme. Neophodno je bilo izgraditi nove prijenosne i razvodne mreže za napajanje električnom energijom velikih elektromehaniziranih poljoprivrednih dobara stočarskog smjera. Početkom 1971. godine električnu energiju su dobili svi kolhozi i sovhozi. Pri tom se 95% od ukupnog broja tih velikih dobara napajao iz velikih energetskih sistema. Na taj je način znatno povećana sigurnost napajanja električnom energijom velikih stočarskih farmi s desetine tisuća grla stoke, koje bi u slučaju prekida u napajanju energijom mogle imati velike štete u proizvodnji. Na velike elektroenergetske sisteme priključeni su svi kolhozi i sovhozi u SSR Ukrajini, u Bjeloruskoj, Moldavskoj, Latvinskoj, Jermenskoj i Estonskoj SSR, kao i u većem dijelu SSSR.

U razdoblju od 1969—1971. godine izrađeno je i pušteno u eksploataciju 698.000 km seoskih mreža napona 20 kV i niže. Početkom 1972. godine ukupna dužina seoskih mreža je iznosila 2,924.000 km. U tom se razdoblju razvila veća primjena elektromotornih pogona, na stočarskim farmama posebno, tako da je bilo instalirano 1,941.000 elektromotora. Početkom 1972. ukupan broj elektromotora na poljoprivrednim dobrima je iznosio 5,400.000 komada s ukupno 28,6 miliona kW instalirane snage.

Ukupna potrošnja električne energije u SSSR za potrebe seoske elektrifikacije u 1969. godine iznosila je 33.200 GWh, a u 1971. 45.600 GWh, a od toga za proizvodne svrhe u poljoprivredi 30.400 GWh ili oko 2/3 od ukupne seoske potrošnje. U razdoblju od 1969. do 1971. godine u seosku elektrifikaciju SSSR je investirano oko 2 milijarde rubalja.

Iz diskusije drugih delegacija, može se zaključiti da je radi unapređenja seoske elektrifikacije potrebno primjenjivati odgovarajuće mjere. U te mjere spadaju:

a) Tehnička pomoć javnih vlasti i financijska pomoć koja se daje distributivnim poduzećima, poljoprivrednim dobrima, pa i samim potrošačima na selu (u vidu priključnog dovoda na mrežu, davanja uz povoljnu otplatu raznih korisnih električnih aparata, i dr.).
b) Organiziranje izložbi s praktičnim prikazivanjem rada raznih električnih aparata i uređaja u poljoprivredne svrhe, te navođenjem njihove ekonomičnosti i povećanja produktivnosti rada. Održavanje stručnih konferencija i popularnih predavanja, koristiće pri tom radiodifuziju i televiziju.
c) Besplatno dostavljanje farmerima popularnih prospekata, brošura i ostale stručne dokumentacije radi upoznavanja korisnosti što ih pruža električna energija selu.
d) Podizanje oglednih — uzorno elektrificiranih dobara i pilot-farmi.
e) Uvođenje jednostavnih tarifa za električnu energiju, a posebno povoljnih tarifa za korištenje električne energije u noćnom razdoblju, kad je elektroenergetski sistem slabo opterećen.
f) Organiziranje izobrazbe kadrova o upotrebi električne energije na selu, kao i u poljoprivredi. Instrukcija o pravilnom rukovanju i održavanju raznih električnih strojeva, aparata i uređaja.

Kako su dosadašnja iskustva pokazala, navedenim mjerama se može u kratkom razdoblju postići veliki porast potrošnje električne energije u seoskim područjima.

»Proučavanje raznih metoda planiranja i odluka o financiranju radova na pojačanju elektrodistributivnih mreža« Autor C. Basalo (Francuska). Radni dokument EP (GE. 1) R. 3

Referat je sastavljen na osnovi odgovora 17 evropskih zemalja. Problem planiranja radova na pojačanju postojećih električnih mreža predstavlja velike poteškoće, jer se ne radi o izgradnji novih mreža, već o osposobljavanju postojećih u novim okolnostima, zbog povećanog opterećenja.

U evropskim zemljama gdje postoje mnogobrojne organizacije za distribuciju električne energije ili lokalne zajednice — komune u čijem vlasništvu se nalaze distributivne mreže, ne postoji centralno planiranje, osim u Francuskoj i Turskoj. Sve zemlje koje imaju jedinstvenu organizaciju koja se bavi distribucijom električne energije imaju centralizirano planiranje kao: SSSR, SSR Ukrajina, SSR Bjelorusija, Poljska, Mađarska, Grčka. Planiranje se obavlja za srednjoročno razdoblje od 5 godina i dugoročno od 15—30 godina.

U zemljama, gdje ne postoji centralizirano planiranje postoji interno planiranje u distributivnim poduzećima. U stvari, ovdje se radi prije o projektima pojačanja distributivnih mreža s obzirom na perspektivni razvoj.

Postupak za odobrenje projekata rekonstrukcije mreža je različit ovisno o značenju mjesne mreže. U Francuskoj, npr. za mnoge tehničke projekte ne zahtijeva se suglasnost više instance. Osim toga, manje projekte mogu financirati mjesne zajednice, naročito za seoske mreže. U SSSR planove razvoja seoskih mreža za svaki rajon razrađuju državni instituti kao »Seljenergoprojekt«. Sheme se razrađuju na osnovi zajedničkog plana Minenergo SSSR. Financiranje je centralizirano, putem državnog budžeta. U SSR Ukrajini tehničke projekte rade distributivna poduzeća (33), a financiranje je centralizirano. Slično je u SSR Bjelorusiji.

U drugim evropskim zemljama za pojačanje distributivnih mreža poduzeća primjenjuju metodu samofinanciranja (Belgija, Holandija, Vel. Britanija, Švedska i dr.). Neke evropske zemlje, pak, koriste državne zajmove (Francuska, Portugal, Švicarska, Turska i dr.). U određenim slučajevima za izvođenje projekata pojačanja seoskih mreža u financiranju učestvuje sama država (Austrija, Grčka, Portugal, SR Njemačka, Francuska). Međutim, ima slučajeva gdje sami potrošači električne energije na selu financiraju rekonstrukciju seoskih mreža (Austrija, Danska, Grčka, Mađarska, Portugal (za nove potrošače) i SSR Bjelorusija (za kolhoze).

Na osnovi diskusije, usvojeno je da se ovaj referat publicira u slijedećem izdanju »Seoska elektrifikacija« (Electrification Rurale) pod naslovom:

»Efikasnost, s tehničko-ekonomskog aspekta, primjene električne energije u proizvodnji biljnih kultura na industrijskoj osnovi putem mobilnih uređaja.« Autori: I. Budzko i P. Katkov (SSSR). Radni dokument EP (GE. 1) R. 6. Referat je sastavljen na osnovi dobivenih tehničkih informacija iz 12 evropskih zemalja. U sadašnje vrijeme električna energija se počela u velikoj mjeri primjenjivati u poljoprivredi, u stočarstvu i u peradarstvu, dok u ratarstvu, u proizvodnji biljnih kultura, nema velike primjene, osim u procesima čišćenja, sortiranja i sušenja zrna poslije ubiranja usjeva.

Autori su u svom referatu ukratko naveli dvije vrste elektrificiranih mobilnih uređaja: električni traktor i električni kombajn. Početkom 1950. u SSSR su bile izrađene sovjetske konstrukcije električnih traktora čije su se karakteristike ispitivale sistematski tokom 4 godine. Električnim traktorima poorano je 150.000 ha. Traktori su snabdijeveni asinhronim elektromotorima snage od 38 do 44 kW. Bila je usvojena slijedeća shema rada agregata: Duž polja za oranje na udaljenosti od 3 km bile su postavljene trofazne nadzemne mreže 6 ili 10 kV. Pomoću posebnog

pribora, o ubliku kliješta, na ovu mrežu priključuje se transformatorska stanica za sniženje napona na 1 kV. Iz trafostanice električni traktor se napaja energijom pomoću gipkog gumenog izoliranog kabela, dužine od 1600 m. Od toga se oko 800 m montira na samom traktoru, a oko 800 m na prikolici s bubnjem za namotavanje kabela. Električni traktor ET-5, gusjeničar, 3 t, ima asinhroni elektromotor od 38 kW, za napon 1 kV, a pokretna stanica snage od 75 kVA ima transformaciju od 6—10 kV/1,14 kV. Električni traktor, tipa HTZ-15 ima snagu elektromotora od 44 kW i stanicu od 100 kVA. Elektrokombajn SE-5M snabdijeven je asinhronim elektromotorom od 42 kW. Navedeni agregati su obavljali sve radove kao i strojevi s motorima s unutrašnjim sagorijevanjem, ali su bili od njih manje ekonomični. Međutim, u SSSR se i dalje proučava ovaj problem s izradom novih konstrukcija elektrificiranih mobilnih uređaja koji se napajaju energijom putem podzemnih kabelskih mreža. Budući da se opterećenje mreža od elektrificiranih mobilnih uređaja javlja uglavnom ljeti, kasno u proljeće ili početkom jeseni, smatra se da bi takvo opterećenje moglo povoljno utjecati na rad izgrađenog elektroenergetskog sistema, na koji su priključene gigant-elektrane s jeftinom proizvodnjom električne enerdgije (od 0,2 do 0,5 kop. po kWh).

Druge zemlje su, u odgovoru na ovo pitanje, podvukle da ne vide prespektivu razvitka elektrificiranih mobilnih uređaja u ratarskoj proizvodnji. Na osnovi diskusije usvojeno je, da se ovaj referat dopuni informacijom delegacije SR Njemačke i objavi u idućem izdanju publikacije o seoskoj elektrifikaciji.

»Problemi razvoja električnih instalacija za orošavanje poljoprivrednih kultura na osnovi umjetne kiše i posebni aspekti njihove primjene«. Autor: A. Degan (Italija). Ovaj referat još nije pripremljen u definitivnom obliku. Autor je podnio usmeni izvještaj i naveo da još ne raspolaže odgovorima na upitnik. Međutim, autor smatra da s energetskog aspekta ovaj problem nema velikog značaja, jer cijena električne energije, bar u Italiji, ne utječe u velikoj mjeri na razvoj električnih uređaja za orošavanje kultura.

Na osnovi diskusija delegacija Španjolske, Francuske i Italije donesen je zaključak da se ovaj referat pripremi i preporuči Komitetu za električnu energiju te da se dade na korištenje Grupi eksperata za mehanizaciju poljoprivrede, koja se posebno bavi ovim problemom.

Referati u provizornom obliku

— *»Usporedna analiza primijenjenih metoda za prognoziranje potreba u električnoj energiji u poljoprivrednim područjima«*. Autori: A. Morzycka i B. Rudnicki (Poljska). Radni dokument EP/GE. 1/R. 8. Autor je prikazao strukturu upitnika o ovoj materiji za prikupljanje tehničkih informacija. Usvojeno je da za iduće zasjedanje autori izrade kratak prikaz metode koja se za ovu svrhu primijenjuje u Poljskoj i da na osnovi dobivenih odgovora od drugih zemalja pripreme referat za razmatranje.

— *»Utjecaj razvoja električnog grijanja u stambenim zgradama seoskih naselja, a posebno na farmama, na potrošnju električne energije i na opterećenje seoskih električnih mreža«*. Autor: M. Rude (SR Njemačka). Radni dokument EP/ /GE. 1/R. 7. Razmotrena je struktura upitnika za prikupljanje tehničkih informacija od drugih zemalja. Na osnovi dobivenih odgovora, autor treba da pripremi ovaj referat za razmatranje na idućem zasjedanju.

— *»Stupanj pouzdanosti napajanja električnom energijom seoskih mreža i njegov utjecaj na troškove modernizacije i pojačanje mreža«*. Autori: B. Plessner i A. Morzycka (Poljska). Radni dokument EP/GE. 1/R. 9.

Delegacija Poljske je prikazala projekt upitnika, koji je, u principu usvojen, s tim da se posebno obrati pažnja na pouzdanost napajanja velikih stočarskih i peradarskih farmi, koje mogu pretrpjeti veliku štetu uslijed dužeg prekida u opskrbi električnom energijom.

Autori će pripremiti referat za razmatranje na idućem zasjedanju.

— *»Instalacije i najvažniji električni aparati u elektrotermičkim procesima koji se primjenjuju na poljoprivrednim gospodarstvima«*. Autor: J. Friedrich (DR Njemačka). Radni dokument EP/GE. 1/R. 5.

U projektu upitnika, autor je naveo nekoliko primjera primjene elektrotermičkih aparata u stočarskoj proizvodnji i u zagrijavanju vode, pri uzgoju stočnog podmlatka, upotrebu termičkih aparata u peradarstvu, kao i za električno sušenje žitarica. Usvojeno je da za iduće zasjedanje autor pripremi referat na osnovi prikupljenih tehničkih informacija od ostalih zemalja.

Usvojeni program rada iz područja distribucije električne energije i seoske elektrifikacije, s davanjem prioriteta razrade referata (A i B)

Referati za razradu u razdoblju 1974/79. godine.

— Usporedba propisa zaštitnih mjera kao i administrativnih pravila za električne mreže, usvojenih u raznim zemljama (Prioritet A, Francuska).

— Proučavanje raznih metoda planiranja i odluka o financiranju pri radovima na pojačanju elektrodistributivnih mreža. (Prioritet A, Francuska).

— Efikasnost s tehničko-ekonomskog aspekta primjene električne energije u proizvodnji biljnih kultura na industrijskoj osnovi putem mobilnih uređaja. (Prioritet B, SSSR).

— Usporedna analiza primijenjenih metoda za prognoziranje potreba u električnoj energiji za poljoprivredna područja. (Prioritet A, Poljska).

— Utjecaj razvoja električnog grijanja u stambenim zgradama seoskih naselja, a posebno na

farmama, na potrošnju električne energije i opterećenje seoskih električnih mreža. (Prioritet B, SR Njemačka).

— Stupanj sigurnosti napajanja električnom energijom seoskih mreža i njegov utjecaj na troškove modernizacije i pojačanje ovih mreža. (Prioritet B, Poljska).
— Instalacije i najvažniji električni aparati u elektrotermičkim procesima koji se primijenjuju na poljoprivrednim dobrima. (Prioritet B, DR Njemačka).
— Nove tendencije razvoja potrošnje električne energije u poljoprivrednoj proizvodnji i za potrebe seoskih domaćinstava, uključivši pitanja tarifa. (Prioritet B, Rumunjska).
— Primjena električne energije u tehnološkim procesima poljoprivredne proizvodnje. (Prioritet B, Poljska).
— Integracija elektrodistributivnih mreža s estetskog gledišta prirodne okoline. (Prioritet B, Francuska).

Aktivnost Grupe eksperata za mehanizaciju poljoprivrede

Predstavnik Sekretarijata Komiteta za električnu energiju ukratko je informirao delegate o održanim zasjedanjima Grupe eksperata za mehanizaciju poljoprivrede: 17. zasjedanje, rujan 1971. g. i 18. zasjedanje, rujan 1972. g. Referati s ovih zasjedanja su publicirani u knjigama AGRI/353-AGRI/WP. 2/141 i AGRI/ /367-AGRI/WP. 2/148. Grupa eksperata za mehanizaciju poljoprivrede daje veliki značaj problemu proučavanja sadašnje i buduće tendencije mehanizacije u poljoprivredi.

Radi izmjene iskustava, spomenuti eksperti su obavili dva studijska putovanja: u Italiju 1971. i u Španjolsku 1972. godine.

Razno

Predstavnik Velike Britanije je obavijestio da je nedavno preminuo C. A. Cameron Brown, ugledni engleski ekspert za elektrifikaciju poljoprivrede i jedan od prvih predsjednika (1952. g.) Radne grupe za studij seoske elektrifikacije pri Komitetu za električnu energiju u Ženevi. Delegati su primili ovu vijest sa žaljenjem.

L. Van Acker, potpredsjednik ove Grupe eksperata, skrenuo je pažnju da će se redovni sastanak Grupe održati tek iza tri godine čime se prekida do sada uvedeni kontinuitet rada. Stoga je predložio da se u međuvremenu održe simpoziji, seminari ili kolokviji iz problematike koju tretira ova Grupa eksperata. Aktualne teme bi bile slijedeće:

— Problemi u vezi s rukovođenjem poduzećima koja se bave opskrbom električne energije seoskih naselja; struktura cijene električne energije.
— Razvoj potrošnje električne energije u seoskim područjima i predviđanje pojačanja električne mreže. Aanaliza dijagrama opterećenja.
— Koncepcija mreža niskog napona: tehničko-ekonomski aspekti i poseban osvrt na okolnu sredinu.

Delegati su podržali ovaj prijedlog. Sekretarijat će na vrijeme obavijestiti eksperte ove Grupe, ako neka od evropskih zemalja prijavi spremnost za organiziranje takvog stručnog sastanka.

Finska delegacija je razdijelila prisutnim delegatima brošuru »AMKA Self Supporting Areal Cable« u kojoj se daje informacija o finskoj proizvodnji zračnih plastičnih kabela — samonosivih, i do sada postignuta iskustva u Finskoj kod primjene u mrežama niskog napona.

Studijsko putovanje

Grupa eksperata za distribuciju električne energije i seosku elektrifikaciju, u vremenu od 28. travnja do 7. svibnja 1973. godine, obavit će studijsko putovanje u Tursku, na poziv turske Vlade, radi proučavanja razvoja seoske elektrifikacije.

Iduće — XX zasjedanje Grupe eksperata za distribuciju električne energije i seosku elektrifikaciju održat će se 1976. godine. Točan datum odredit će se naknadno.

Vladimir Zloković, dipl. ing.

CRPNI AGREGATI — JUGOTURBINA TIP VPM i VPT

Poduzeće »Rade Končar« počelo je proizvoditi crpne agregate, pa ćemo se u ovom napisu osvrnuti na taj proizvod.

Crpni agregati upotrebljavaju se za opskrbljivanje pitkom i potrošnom vodom u kućanstvu, stambenim zgradama, industriji, poljoprivredi, obrtu, školama, itd.

Veoma su jednostavni za rukovanje i jeftini za održavanje. Mogu se koristiti kao posebne jedinice ili u sklopu sa hidroforima.

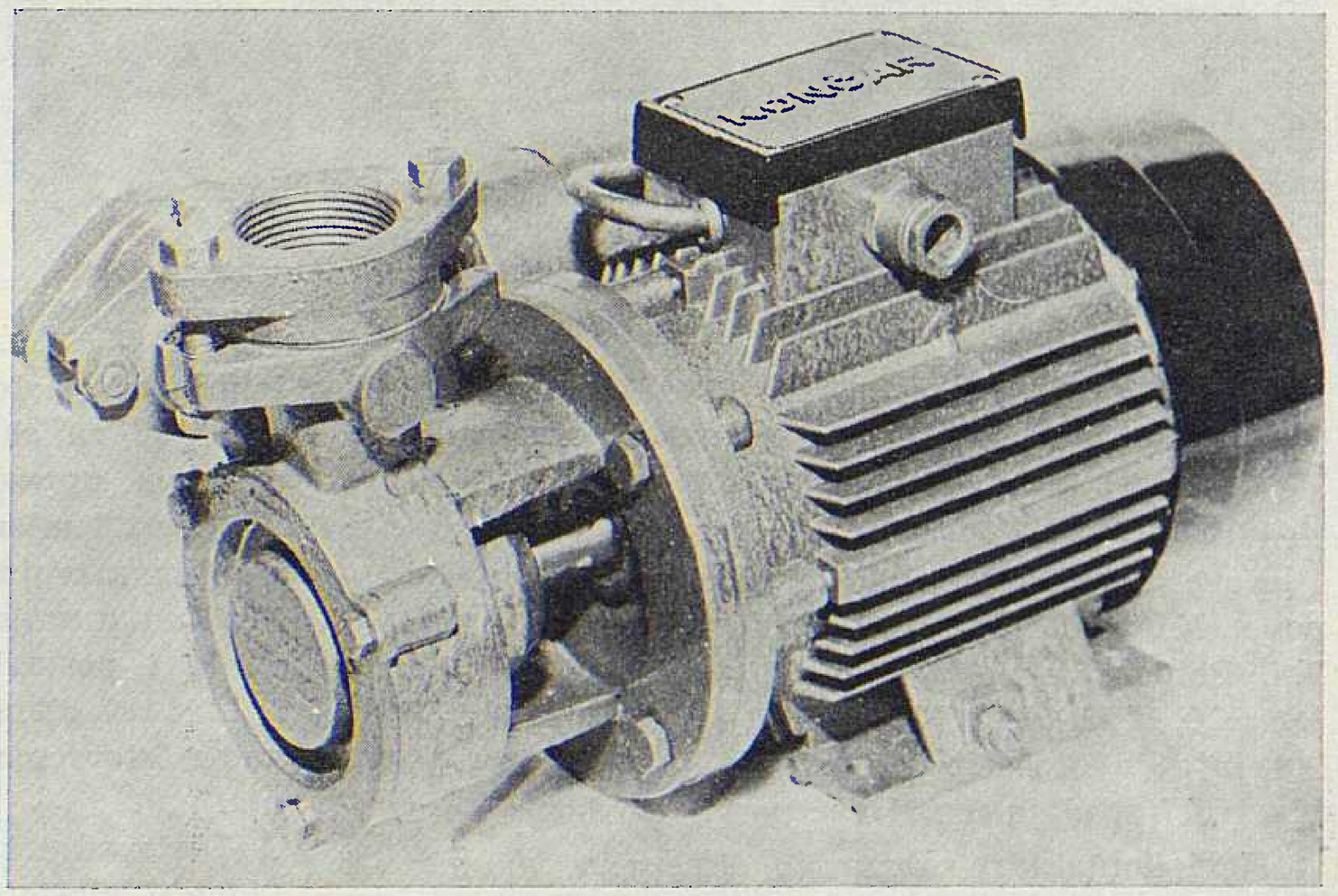
Crpni agregati VPM i VPT što se proizvode u poduzeću »Rade Končar« su jednostepene, horizontalne vrtložne crpke s pogonskim elektromotorima u monoblok izvedbi, te je osovina elektromotora ujedno i pogonska osovina crpke.

Pogonski elektromotor kod crpke VPM je jednofazni, a kod crpke VPT trofazni.

Mehanička zaštita motora je IP_{44} (prema IEC preporukama), što čini zaštitu od namjernog dodira, podizanja krupne prašine, prskajuće vode iz bilo kojeg smjera.

Elektromotor štiti osim postojećim mrežnim osiguračima i motorskom zaštitom sklopkom koja štiti od preopterećenja i od prekida struje u jednoj fazi (za trofazne motore).

Kod odabiranja automatske zaštitne sklopke valja paziti da odgovara podacima elektromotora, koji su naznačeni na natpisnoj pločici agregata. Samo pravilno odabrana sklopka sa sigurnošću štiti motor.



Crpni agregat proizvodnje »Rade Končar«

TEHNIČKI PODACI

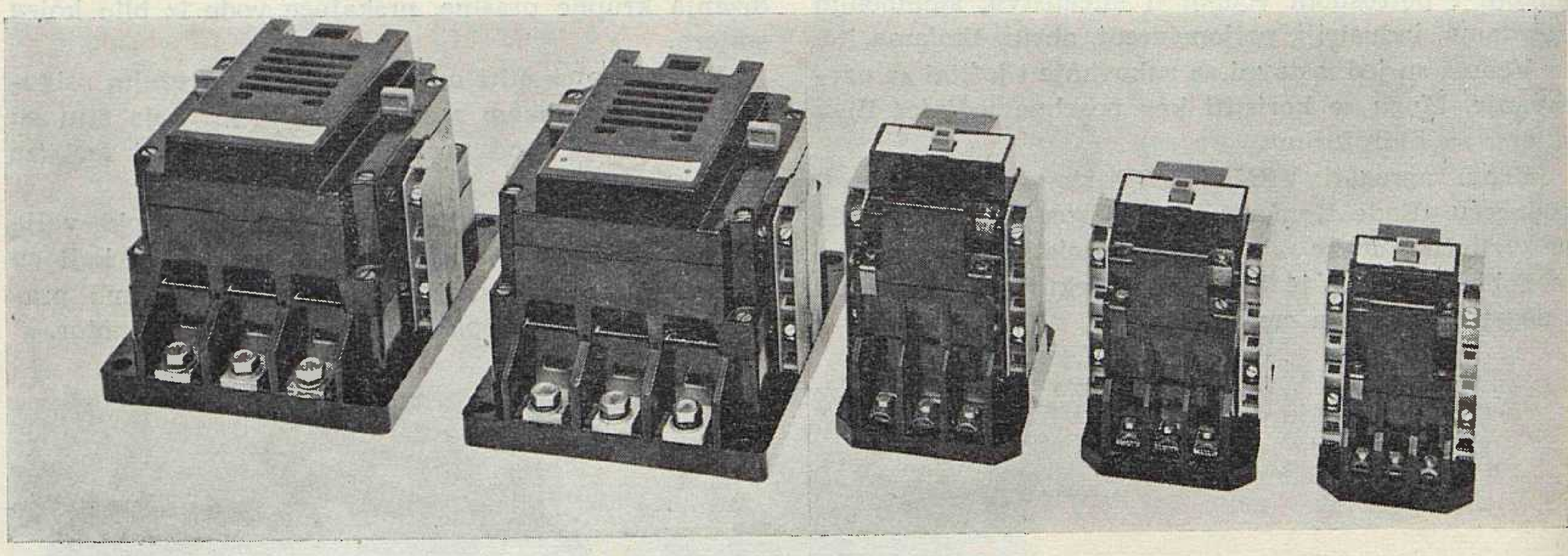
Tip agregata	Snaga	Nazivna struja kod		Brzina vrtnje	Kondenzator		Protok	Visina dobave	Težina
	kW	220 V A	380 V A	c/min	Kapac. μF	Napon V	l/min	m V. S	kp
S jednofaznim motorom									
VPM — 82	0,55	4,8	—	2740	16	380	30 — 60	30 — 10	11
VPM — 88	0,75	5,8	—	2750	10	380	20 — 60	50 — 15	14,5
VPM — 94	1,1	7,8	—	2750	25	380	42 — 78	55 — 10	15,5
S trofaznim motorom									
VPT — 88	0,75	3,5	2	2750	—	—	20 — 60	50 — 15	14
VPT — 94	1,1	4,8	2,8	2750	—	—	42 — 78	55 — 10	15

»RADE KONČAR«
PODUZEĆE ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE OPREME, PROJEKTIRANJE I MONTAŽU POSTROJENJA — ZAGREB

Iskra Commerce
Ljubljana

v Združenem podjetju **Iskra Kranj**

NOVI KONTAKTORI PROIZVODNJE ISKRA



K 160, K 100, K 63, K 40 i K 25

Udruženo poduzeće Iskra - Kranj proizvelo je na osnovi dugogodišnjih iskustava novu porodicu kontaktora koja se razlikuje od ranijih novim, svrsishodnijim dimenzijama.

Nova porodica kontaktora obuhvaća slijedeće tipove: K 0, K 1, K 2, K 25, K 40, K 63, K 100, K 160 i K 7. Potpunu novost toj seriji predstavljaju kontaktori K 0, K 25, K 40, K 63, K 100 i K 160. Njihova proizvodnja je otpočela 15. svibnja o. g. — tipovi K 1, K 2 i K 7 spadaju u red već postojećih kontaktora.

Novi kontaktori su manjih dimenzija, volumena i težine. Odlikuju se visokim sklopnim sposobnostima, natprosječnom sigurnosti u radu i veoma dugom vijeku trajanja.

Zahvaljujući dugogodišnjim iskustvima u održavanju kontaktorskih postrojenja, tvornica je uspjela unijeti u osnovne nacrte kontaktora praktične novine koje se očituju u lakšem pristupu do ključnih mjesta, što je velika prednost u svakom pogledu, a pogotovo u pogledu održavanja, jer se kontaktori ne moraju demontirati, a vodiči ostaju priključeni.

Uvjereni smo da će novi kontaktori udovoljiti zahtjevima najstrožih korisnika, jer su njihova tehnička svojstva na suvremenom svjetskom nivou.

U pogledu daljih i detaljnijih uputa, pa i narudžbi, valja se obratiti na Iskra Commerce, Direkcija 3, 61000 Ljubljana, Miklošičeva 28.

Upravljački kontaktori KO

Kontaktori K 0 u 4- i 8-polnoj izvedbi upotrebljavaju se, prije svega, kao pomoćni kontaktori i kontaktori za motore. Kao pomoćni kontaktori namijenjeni su za sklapanje pomoćnih strujnih kola: komandnih, upravljačkih, signalnih i mjernih.

Tlocrt i mjere za pričvršćenje prilagođene su najnovijim razvojnim nastojanjima. Svi priključci smješteni su u smjeru toka prolaznog ožičenja. Obilježavanje i postavljanje kontakta odgovara zahtjevima DIN 46 199 standarda. Velika površina s ovim oznakama istovremeno je i tipka za sigurno provjeravanje.

Djelovanje kontaktora ne ovisi o radnom položaju. Pomoću vješto izrađenih plastičnih dijelova može se pričvrstiti bez dodatnih dijelova na normalne letve prema DIN 46 277. To predstavlja stvarnu prednost za svaki kontaktor pri čemu se cijena ne povećava.

Sasvim odvojene sklopne komore predstavljaju garanciju za veliku rasklopnu snagu, a bogato dimenzionirani srebrni kontakti omogućavaju dugi vijek trajanja. Elastično učvršćeni magnet garantira mirno i tiho djelovanje kontaktora.

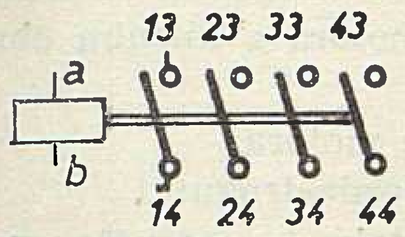
Kelem može i nestručno lice zamijeniti lako i bez alata.

Tehnički podaci

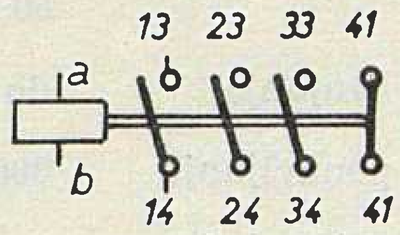
Kontaktor odgovara propisima	IEC 158-1 i VDE 0660
Nazivni napon izolacije (grupa C, CDE 0110)	500 V
Dozvoljene snage motora prema AC_3 pri sklapanju motora s kratkospojenim rotorom	pri 220 V 2,2 kW pri 380 V 4 kW
Nazivna struja opterećenja glavnih kontakta prema AC_3	10 A

UKLOPNE SHEME

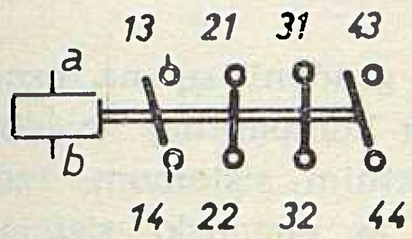
KO - 40



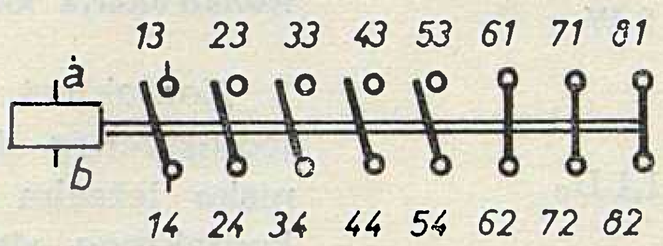
KO - 31



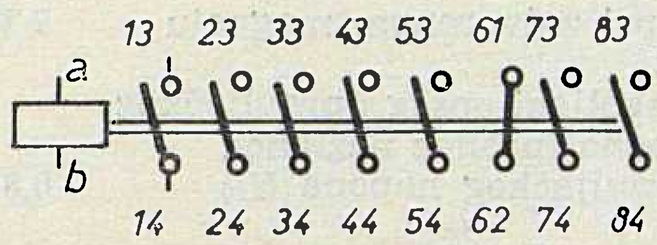
KO - 22



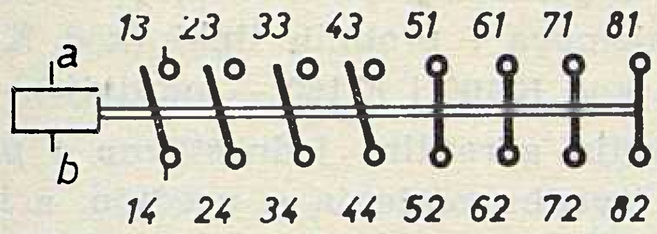
KO - 53



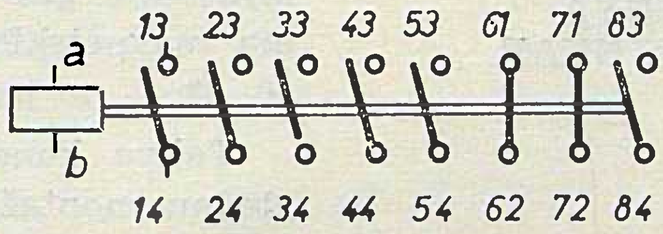
KO - 71



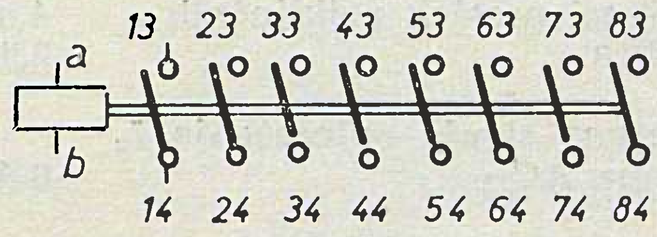
KO - 44



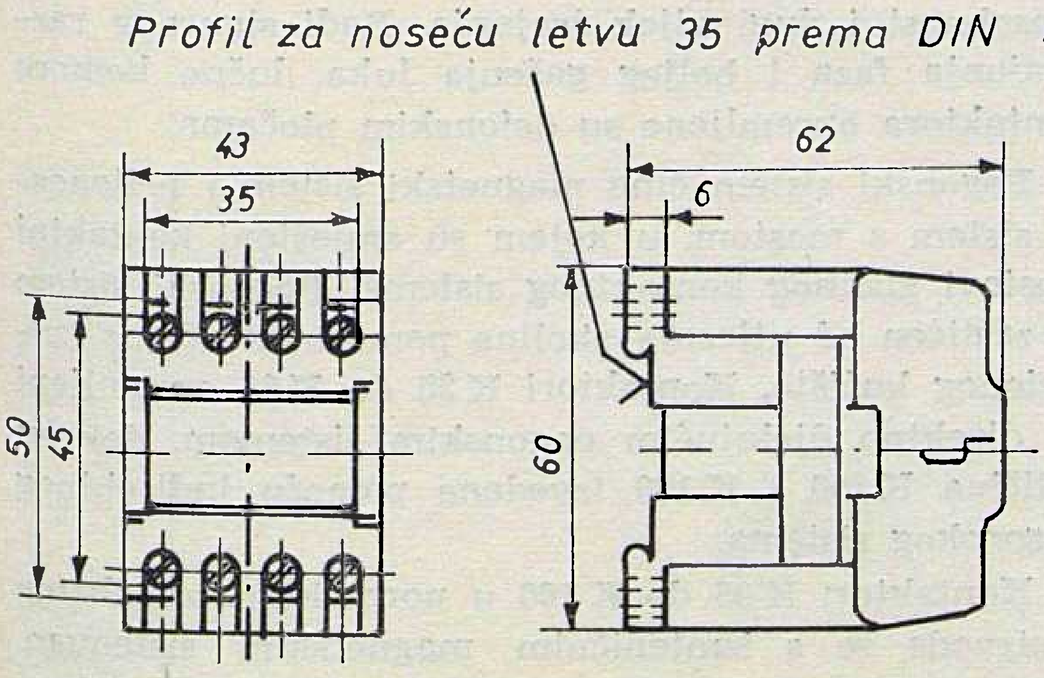
KO - 62



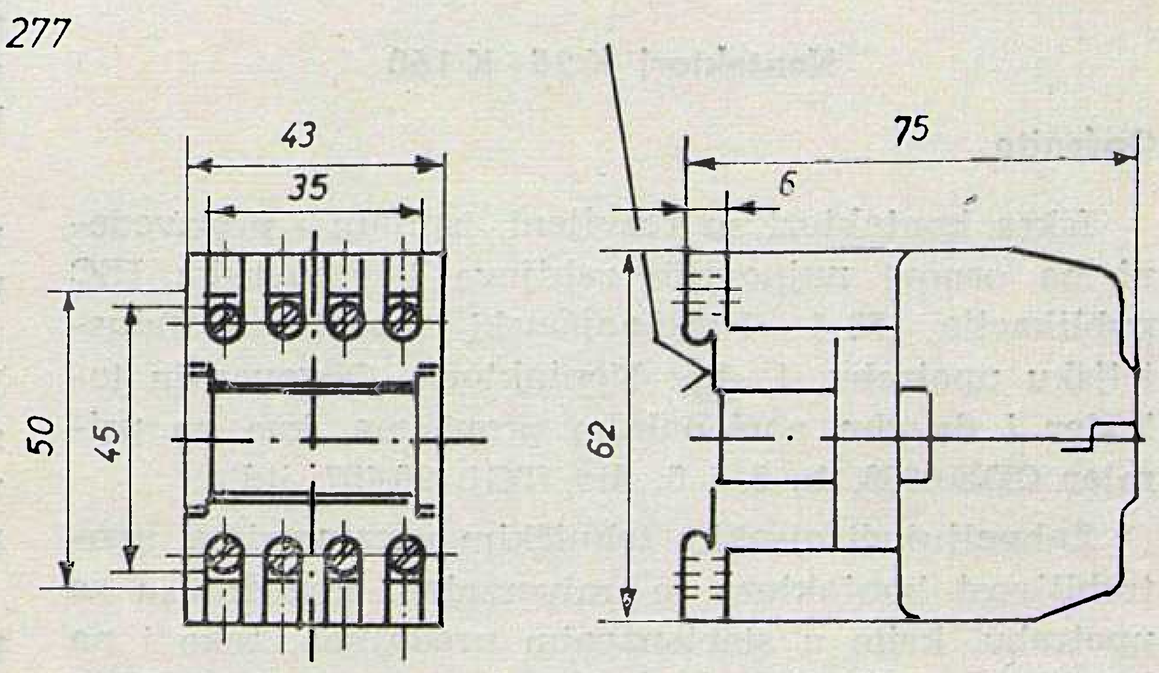
KO - 80



DIMENZIJSKE SKICE



4 polni kontaktori



8 - polni kontaktori

Nazivna termička struja I_{th2} pri omskom opterećenju prema AC_1	otvoren 25 A u kućištu 16 A
Nazivna uklopna snaga pri cos = 0,35	100 A
Nazivna isklopna snaga pri cos = 0,35	80 A
Električni vijek trajanja	do $10{,}10^6$ manevara
Najveća trajna ponavljanja	3000 manevara/ sat
Potrošnja magnetskih kalemova	
— pri otvorenom magnetu	35 VA, 30 W
— pri zatvorenom magnetu	7 VA, 2 W
Dozvoljeni opseg upravljačkog napona (nosilac nazivnog upravljačkog napona U_c)	0,8 . . . 1,1 U_c
Najniži (najviši) nazivni upravljački napon	6 V 500 V
Priključni vijak kontakta	M 3,5
Najveći presjek priključnih vodiča	4 mm² NYA 2,5 mm² NYAF
Nazivna struja opterećenja I_e prema AC_{11}	6 A
Dozvoljena temperatura okoline	35 °C trajno

Izvedbe

4-polni kontaktori:

K 0 — 40	4 radne
K 0 — 31	3 radne i 1 mirujuća
K 0 — 22	2 radne i 2 mirujuća

8-polni kontaktori:

K 0 — 44	4 radne i 4 mirujuća
K 0 — 53	5 radnih i 3 mirujuća
K 0 — 62	6 radnih i 2 mirujuća
K 0 — 71	7 radnih i 1 mirujući
K 0 — 80	8 radnih

Kontaktori K 25 - K 160

Općenito

Iskra kontaktori su razvijeni, ispitani i proizvedeni na osnovi najnovijih zahtjeva i preporuka IEC publikacija 158-1 »Niskonaponski aparati za industrijsku upotrebu, 1. dio: Kontaktori«. Odgovaraju također i drugim nacionalnim propisima, kao na primjer CDE 0660, 1., 2. i 5. dio, TGL 20 457, itd.

Zahvaljujući visokim tehničkim parametrima, upotrebljivost kontaktora je univerzalna. Pogodni su za upotrebu, kako u stacionarnim uređajima, tako i na kranovima, dizalicama, poljoprivrednim strojevima, brodovima i željeznicama: znači, na mjestima koja su izložena najtežim i najtraženijim pogonskim i klimatskim uvjetima.

Upotreba

Kontaktori se upotrebljavaju za sklapanje, upravljanje i reguliranje omskih, induktivnih i kapacitivnih tereta. Naročito su pogodni za:

— direktno uklapanje i isklapanje trofaznih kratkospojnih motora i motora s kliznim obručima,
— regulaciju i zakretanje motora s kliznim obručima,
— mijenjanje smjera vrtnje motora,
— automatsko spajanje zvijezda-trokut i
— obavljanje različitih zadataka iz područja upravljanja i regulacije.

Konstrukcija kontaktora

Kontaktori K 25 do K 160 građeni su na osnovi jedinstvenog sistema modula u kompaktnoj izvedbi s nisko ležećim glavnim kontaktnim sistemom. Iznad kontaktnog sistema smješten je pogonski sistem s magnetom, a sa strane moduli pomoćnih kontakta.

Kontaktori su u zatvorenoj izvedbi, izvedbi koja zadovoljava lak pristup pregledno smještenim priključcima glavnih i pomoćnih prekidača, priključcima magnetskih kalemova i probnih tipki (kod K 25, 40, 63 — po jedna, kod K 100 i K 160 — po dvije).

Takva konstrukcija garantira jednostavnu i preglednu montažu i izvedbu ožičenja u uređaju, a isto tako lak pristup glavnim kontaktima i magnetskom sistemu. Time je omogućeno i brzo i jednostavno održavanje, odnosno zamjena glavnih kontakta i kalemova magneta. Pri zamjeni pogonskog sistema (preinake kalemova i kontakta) ne postoji potreba za odvajanjem zavrtnih spojeva glavnih i pomoćnih strujnih krugova. Osim toga, kompletni pogonski sistem može se zamijeniti novim bez dodatnog podešavanja. Mogućnost ispada kod eventualnog kvara svedena je na taj način na minimum.

Kompletna osnovna ploča s ugrađenim fiksnim glavnim kontaktima i nadograđenim modulima pomoćnih prekidača sačinjava kontaktni sistem kontaktora.

Za spajanje su upotrebljeni tlačni kontakti sa srebrnim legurama i duplim prekidanjem, koji garantiraju, uz minimalni odboj kontakata, visoku sklopnu sposobnost i dugi vijek trajanja. Radi sigurnog razdvajanja faza i boljeg gašenja luka, lučne komore kontaktora opremljene su deionskim pločama.

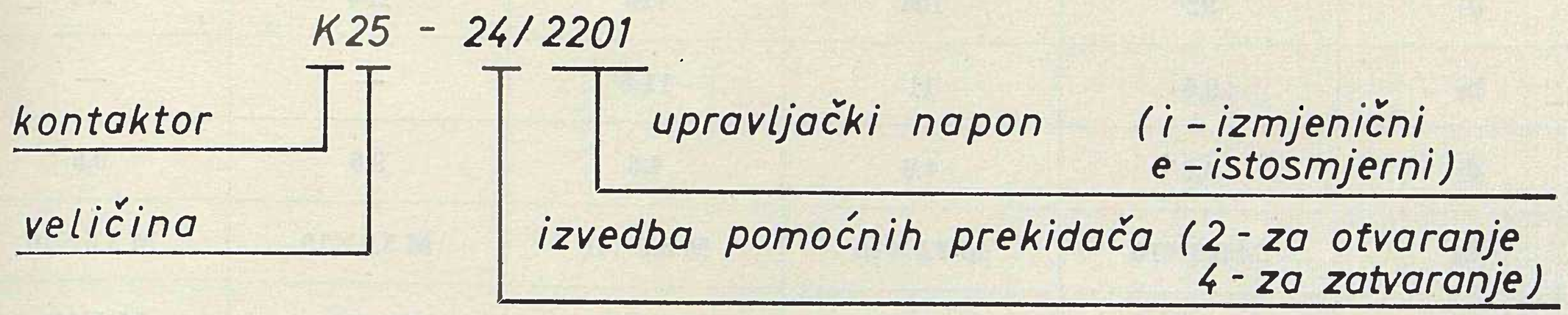
Pogonski sistem čine magnetski sistem i prijenosni sistem s mostom, u kojem su smješteni kontaktni mostovi glavnog kontaktnog sistema. Pogonski sistem je zaštićen od utjecaja okoline pomoću naročitog izolacionog kućišta. Kontaktori K 25 do K 63 opremljeni su direktno djelujućim pogonskim sistemom, dok su veličine K 100 i K 160 izvedene pomoću indirektnog pogonskog sistema.

Kontaktori K 25 do K 160 u normalnim izvedbama proizvode se s izmjeničnim magnetskim sistemom. Osim normalnih izvedbi postoje i kontaktori s jednosmjernim pogonom koji imaju ispred kalema magneta ugrađen otpornik, smješten na desnoj strani kontaktora iznad pomoćnih prekidača.

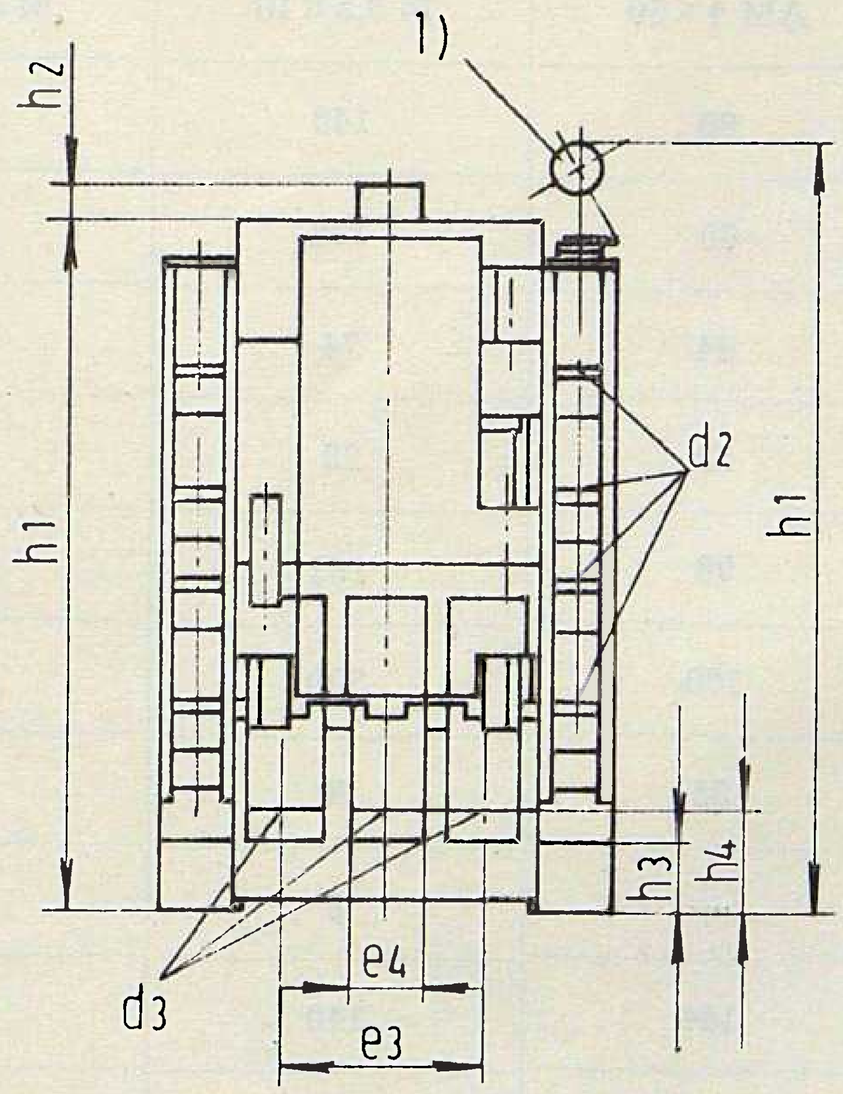
NARUČIVANJE

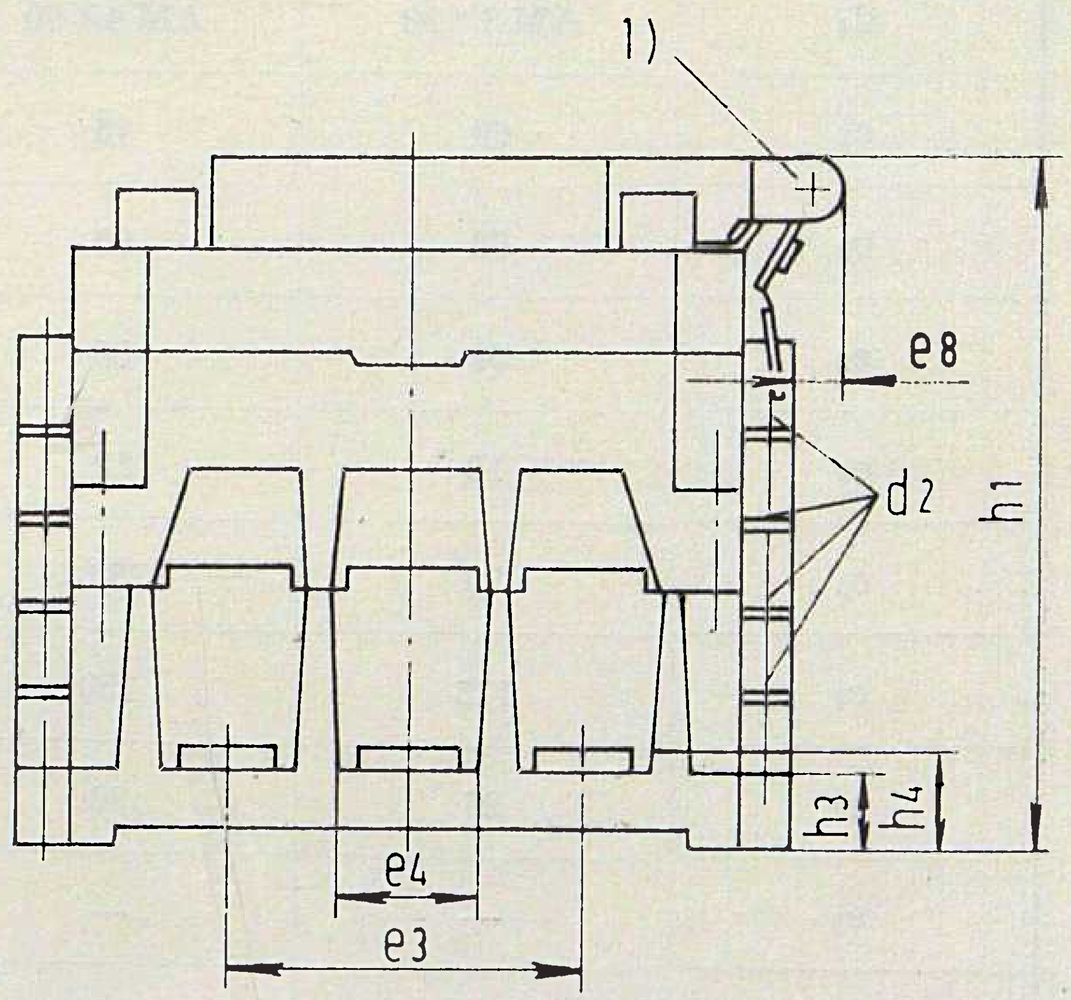
Kod naručivanja navesti potpunu oznaku tipa traženog kontaktora.

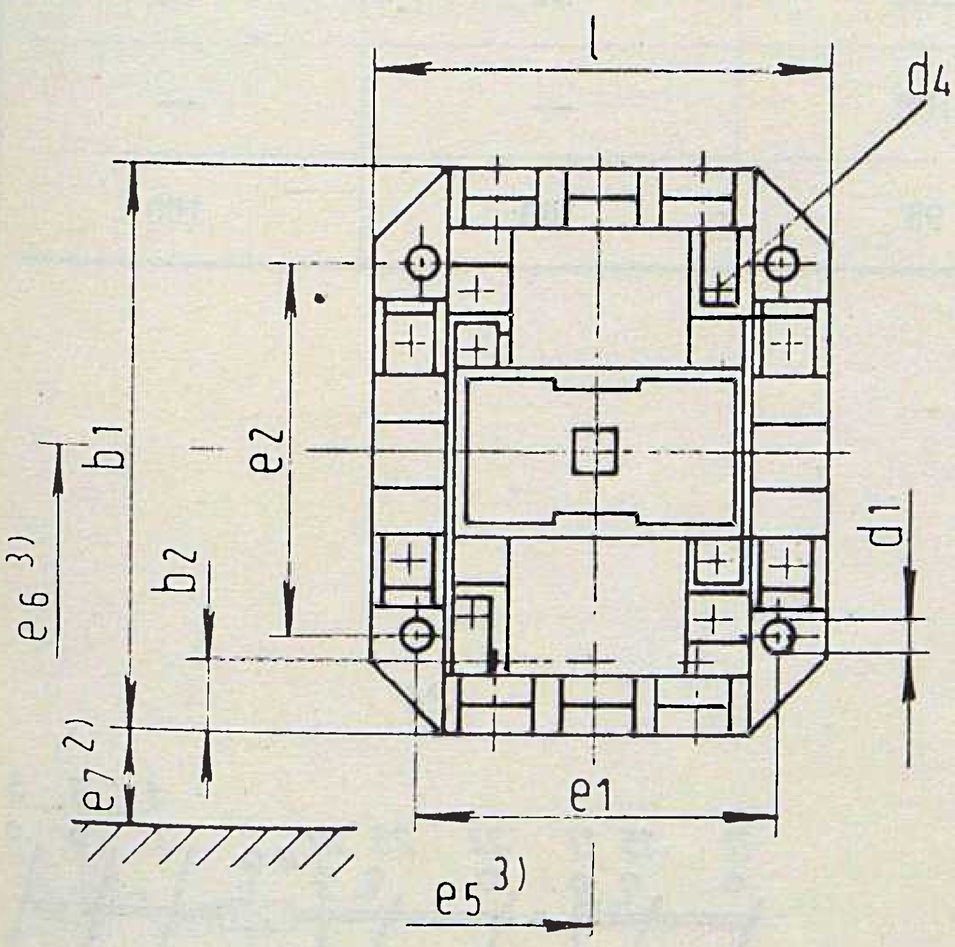
PRIMJER:

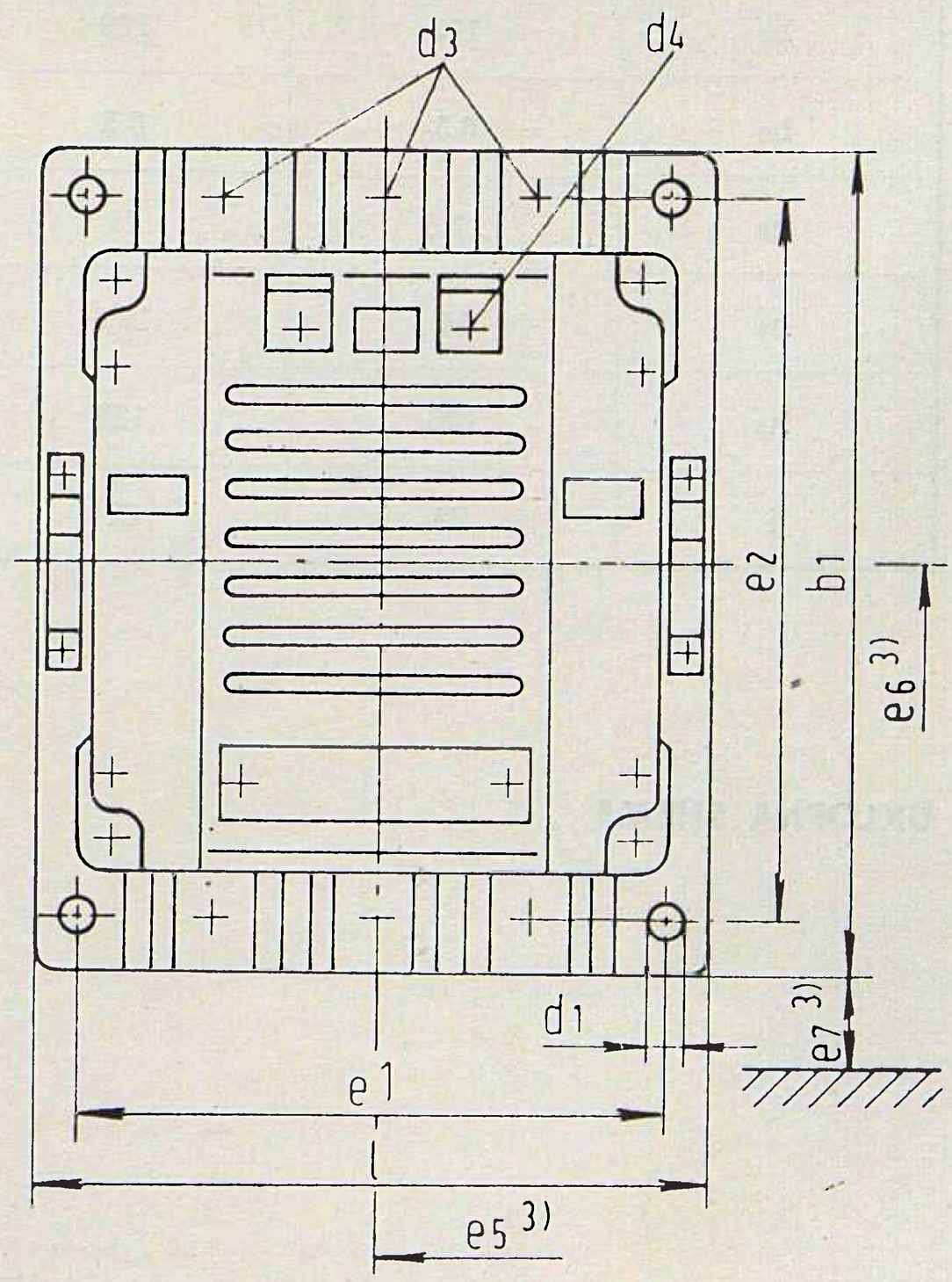


DIMENZIJSKE SKICE



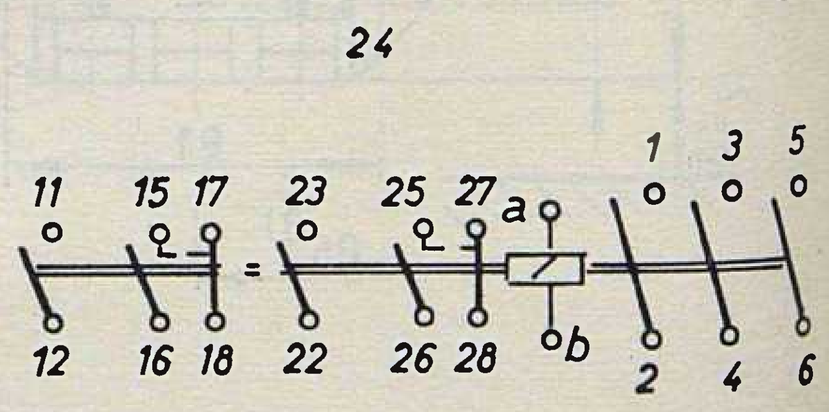






Mjere	Tip kontaktora				
	K 25	K 40	K 63	K 100	K 160
b_1	92	108	120	190	190
b_2	9,5	11	11,5	—	—
d_1	4,8	4,8	4,8	9,5	9,5
d_2	M 3,5×10	M 3,5×10	M 3,5×10	M 3,5×10	M 3,5×10
d_3	M 4×14	M 4×14	M 4×14	M 4×14	M 4×14
d_4	AM 3×30	AM 4×50	AM 4×50	M 3,5×10	M 3,5×10
e_1	60	75	80	140	140
e_2	60	60	60	170	170
e_3	32	38	44	74	74
e_4	10	12	13	29	29
e_5	76	88	96	162	162
e_6	115	150	160	300	300
e_7	25	30	35	60	60
e_8	—	—	—	8	8
h_1	113	129	144	140	140
h_2	6,5	8,5	8,5	—	—
h_3	11,5	11	11	16	16
h_4	16	16,5	16,5	21	21
h_5	126	132	138	—	—
i	75	87	95	160	160

UKLOPNA SHEMA



Tehnički podaci kontaktora

		K 25	K 40	K 63	K 100	K 160
Nazivni napon izolacije U_i	(V~)	500	500	500	750	750
Dopuštene snage motora po AC_2, AC_3, AC_4						
	220 V (kW)	7,5	11	18,5	30	45
	380 V (kW)	12,5	18,5	32	55	80
	500 V (kW)	15	25	43	75	110
Nazivna teretna struja I_e	380/500 V (A)	25	40	63	100	160
Maks. priključni vodiči — zavrtna Kabelska papučica	(mm²)	6/10	10/16	10/25	./95	./95

Podaci za pomoćne kontakte

Nazivna struja	(A)					
Nazivni napon izolacije	(V~)	6	6	6	6	6
Izvedba kontakta (o — za otvaranje, z — za zatvaranje)		500 204z	500 204z	500 204z	500 204z	500 204z
		(po posebnoj narudžbi i druge izvedbe)				

Podaci za kalemove

Napon upravljanja		Normalni naponi upravljanja 220 V~ i 380 V~. Po posebnoj narudžbi i drugi naponi od 24 do 500 V .				
— kod uklopa	(VA)	130	185	275	1000	1000
— u pogonu	(VA)	10	11	12,5	30	30
Maks. uklopno vrijeme kod nazivnog upravljačkog napona	(ms)	30	35	40	50	50
Isklopno vrijeme	(ms)	30	35	40	50	50

Ostali podaci

Mehanički vijek trajanja	(10^6 man)	10	10	10	3	3
Vijek trajanja kontakta kod AC_3	(man)	2.10^6	2.10^6	2.10^6	10^6	10^6
Temperatura okoline	(C°)	40	40	40	40	40
Montaža		na okomito podnožje, iskošeno za 20° kontakti uspravno na vodoravno podnožje				
Odgovarajući bimetalni releji		RB 4/25	RB 4/40	RB 4/63	RB 6 RB 7	RB 6 RB 7

Iskra Commerce Ljubljana

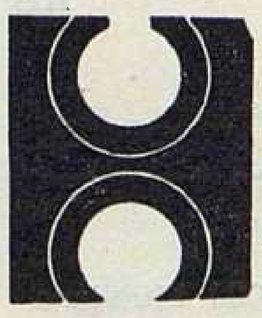
Elektromehanika
Telekomunikacije
Elektronika
Automatika
Elementi

61001 Ljubljana
Kotnikova 6
P. P. 581-IV tel. 312-933
Telex 31-356 YU ISKEXP

»Na osnovi Amandmana XXI i XXII na Ustav SFRJ i Amandmana VI i VII na Ustav SRH osnovne organizacije udruženog rada:

1. OOUR-a — »ELEKTRA« — BJELOVAR
2. OOUR-a — »ELEKTRA« — ČAKOVEC
3. OOUR-a — »ELEKTRA« — KOPRIVNICA
4. OOUR-a — »ELEKTRA« — KRIŽEVCI
5. OOUR-a — »ELEKTRA« — KRIŽ
6. OOUR-a — »ELEKTRA« — VARAŽDIN
7. OOUR-a — »ELEKTRA« — ZABOK
8. OOUR-a — »ELEKTRA« — ZAGREB

udružile su se 10. siječnja 1973. u poduzeće 'ELEKTRA—ZAGREB', Gundulićeva 32«.



Hidroelektra

GRAĐEVNO PODUZEĆE

ZAGREB, LESKOVAČKA 10, TEL. 512-122

IZVODI SVE VRSTE NISKOGRADNJE I INDUSTRIJSKE GRADNJE

Od osnutka 1. IV 1946. do danas izvodilo je u SR Hrvatskoj slijedeća energetska postrojenja:

- HIDROELEKTRANA »NIKOLA TESLA« (VINODOL)
- HIDROELEKTRANA »OZALJ II«
- HIDROELEKTRANA »ZAVRELJE« (MLINI)
- HIDROELEKTRANA »GOJAK«
- HIDROELEKTRANA »SPLIT I« (SUDJELOVANJE)
- HIDROELEKTRANA »SENJ« (SUDJELOVANJE)
- HIDROELEKTRANA »RIJEKA«
- HIDROELEKTRANA »ORLOVAC« (SUDJELOVANJE)
- HIDROELEKTRANA »VARAŽDIN« (U TOKU)
- TERMOELEKTRANA-TOPLANA ZAGREB (SUDJELOVANJE)
- TERMOELEKTRANA SISAK (SUDJELOVANJE)
- TERMOELEKTRANA PLOMIN (SUDJELOVANJE)

GOD. 22 (1973) energija BROJ 9 — 10

ČASOPIS ZA STRUČNA I ORGANIZACIONO DRUŠTVENA PITANJA ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

UVJETI RAZVOJA ENERGETIKE U SVIJETU I U NAS

Vilim Boranić, Zagreb

Prikazane su osnove energetskog planiranja i faktori relevantni za razvoj potreba za energijom. Pregled svjetske potrošnje glavnih energenata od 1950. do 1970. i očekivanja oko 2000. godine, zatim raspoložive svjetske rezerve po količini i trajanju uz predvidivu potrošnju. Razvoj potrošnje energenata u Jugoslaviji do 1971, te raspoložive rezerve. Na kraju, korelacije potrošnje energije s brojem žitelja i narodnog dohotka u svijetu i Jugoslaviji.

DK 620.9

Korištenje energije je bitan preduvjet za održavanje ukupne privredne aktivnosti i životnog standarda, pa svako povećanje ili poboljšanje zahtijeva i više energije. Stoga je interesantno razmotriti kolike su raspoložive rezerve energije u svijetu i kako se dugo mogu iskorištavati.

Da bi se mogla izvesti određena predviđanja u pogledu perspektivne potrošnje energije, potrebno je osvrnuti se na kretanje dosadašnje potrošnje i razmotriti planove razvoja pojedinih područja privrede. Međutim, sve prognoze o perspektivnoj potrošnji energije, a posebno one na dulji rok, u znatnoj su mjeri problematične, pogotovo ako se postavljaju putem ekstrapolacije dosadašnjih kretanja potrošnje pojedinih nosilaca energije. No, i to je nužno da bi se dobila izvjesna slika o budućem kretanju na tržištu energije, da bi se mogle uočiti moguće krizne situacije i krizna razdoblja, i da se određenim mjerama ublaže ili izbjegnu.

Planiranje opskrbe energijom u slijedećih trideset godina u mnogim je zemljama svijeta različito, ali uz iste pretpostavke: trend razvoja potreba za energijom i mogućnosti podmirenja. Pri svim tim analizama bio je isti princip, da se stalno prati razvoj i podmirenje potreba, te da se na temelju novostečenih spoznaja i iskustava izvrše korekture u predviđanju perspektivnih situacija. Samo na taj način mogu se izbjeći, s jedne strane, krizne situacije s opasnošću pomanjkanja kvalitetne energije i, s druge strane, spriječiti predimenzionirana izgradnja kapaciteta za proizvodnju neadekvatnih nosilaca energije, što može dovesti do usporavanja privrednog razvoja zemlje i poboljšanja životnog standarda.

Na razvoj ukupnih svjetskih potreba za energijom utječu, uglavnom, ovi faktori:

1. porast stanovništva
2. sve veće potrebe za energijom, ovisno o privrednom razvoju i poboljšanju životnog standarda
3. sve veće potrebe za energijom u ekstraktivnoj industriji radi korištenja sve siromašnije sirovinske baze
4. skokovit porast potreba zemalja u razvoju

Ukupna potrošnja primarnih nosilaca energije u svijetu rasla je u posljednjih dvadeset godina u prosjeku za 3,9% godišnje, pa je od oko 2,8 mlrd. tona u ekvivalentu nafte (1 kg = 10.000 kcal) u 1960. godini do 1970. godine narasla na oko 4,9 mlrd. tona (bez biljnog goriva od oko 0,4 mlrd. tona). Uz pretpostavku da u slijedećih trideset godina ne bi došlo do slabljenja stope rasta potrošnje energije, dapače, da bi uslijed sve većih potreba za energijom zemalja u razvoju ta stopa mogla biti i nešto veća, tj. oko 4,1%, tada bi ukupna svjetska potrošnja energije u 2000. godini mogla prekoračiti 15,5 mlrd. tona u ekvivalentu nafte.

U tablici 1 iskazano je prošlo i očekivano perspektivno kretanje svjetske potrošnje primarnih nosilaca energije.[1]

U njoj nije iskazana potrošnja ogrjevnog drveta i otpadaka biljnog porijekla, jer takve podatke svjetska statistika ne vodi. — Hidroenergija je iskazana, kao njome proizvedena električna energija.

Podaci iz tablice 1. prikazani su i grafički u slici 1.

U vezi s tablicom 1 i grafikonom 1 valja spomenuti, da u perspektivi ukupne potrošnje primarnih nosilaca energije udio ugljena i hidroenergije slabi, a ostalih izvora energije raste. Udio ugljena, doduše slabi, ali njegova potrošnja po količini raste. Sličan je slučaj i kod hidro-

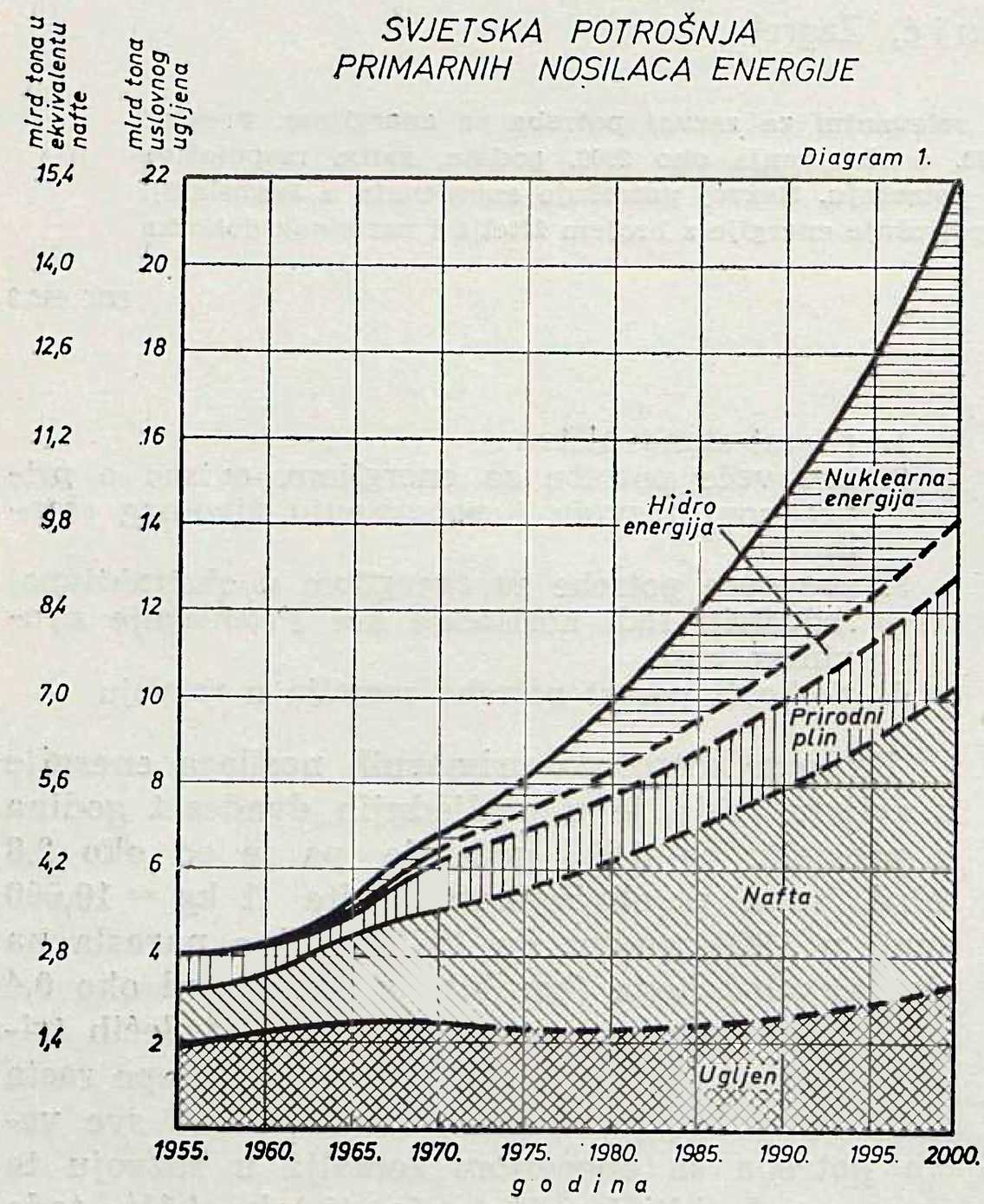
Kretanje svjetske potrošnje primarnih nosilaca energije[1]

mlrd. tona u ekvivalentu nafte

Tablica 1

	1950.		1960.		1970.		1980.		1990.		2000.	
		%		%		%		%		%		%
Ugljen	1,12	59,0	1,41	47,0	1,65	33,7	1,55	22,1	1,90	18,5	2,20	14,0
Nafta	0,46	24,2	0,99	33,0	2,30	46,9	3,55	50,7	4,80	46,6	6,20	40,0
Prirodni plin	0,19	10,0	0,39	13,0	0,70	14,3	1,05	15,0	1,55	15,0	2,00	13,0
Hidroenergija	0,13	6,8	0,21	7,0	0,20	4,1	0,30	4,3	0,35	3,4	0,45	3,0
Nukl. energija	—	—	—	—	0,05	1,0	0,55	7,9	1,70	16,5	4,65	30,0
Ukupno	1,90	100,0	3,0	100,0	4,9	100,0	7,00	100,0	10,30	100,0	15,5	100,0

energije, gdje se u perspektivi približava gornjoj granici mogućnosti korištenja vodnog potencijala.



Slika 1

Za pokrivanje potreba za energijom stoje u svijetu na raspolaganju iscrpljivi i obnovljivi nosioci primarne energije.

U tablici 2 prikazana je, prema sadašnjem stanju istraženosti, svjetska situacija rezervi (raspoloživih i vjerojatnih) primarnih nosilaca energije, tj. ugljena, nafte, prirodnog plina i nuklearne energije od iscrpljivih rezervi i hidroenergije od obnovljivih nosilaca, dok su drvo, geotermalna i solarna energija, snaga vjetra i valova mora zanemareni, jer je njihovo značenje ograničeno.

Tablica 2 sadrži i podatke o potrošnji pojedinih nosilaca energije u 1970. i predviđeno za 2000. godinu, te predviđeno trajanje tih rezervi, s obzirom na njihovo korištenje. Valja spomenuti da su količine iskazane u stvarnim jedinicama, osim kod ugljena, koje su iskazane u uvjetnim tonama prema ekvivalentu od 7000 kcal/kg. Kod lakovodnih reaktora nije u obzir uzeto dobivanje plutonija.

Vrijeme iskorištenja rezervi uzeto je prema očekivanoj potrošnji do 2000. godine. Ako bi se ta potrošnja povećala, na odgovarajući način bi se smanjio vijek trajanja rezervi, koji bi se mogao povećati, ako bi se u međuvremenu otkrile nove rezerve.

Kako se iz tablice 2 vidi, ugljen ima najviše izgleda da na dulje vrijeme, s obzirom na rezerve, pruža dovoljne količine energije. Prema ocjeni proizlazi da bi se do 2000. godine iskoristilo samo 2% svjetskih rezervi ugljena. Kako je, međutim, pri tome uzeta u obzir eksploatacija ugljenokopa

Svjetske rezerve primarnih nosilaca energije[2]

Tablica 2

Nosilac energije	Ogrjevna moć	Jedinica mjere	Potrebe				Stanje rezervi		Mogućnost korištenja iza 2000.
			1970	2000.	Prosjek	za 30 godina	1970.	2000	
Ugljen	7000 kcal/kg	10^9 t	2,47	3,15	2,81	84	6.714	6.630	2.100
Nafta	100 000 kcal/kg	10^9 t	2,30	6,25	4,25	127	400	273	43
Prirodni plin	8400 kcal/m³	10^{12} m³	1,07	2,40	1,63	49	600	551	230
Hidroenergija	1 kWh = 860 kcal	TWh	1.200	3.900	2.550	76.500	4.000	4.000	∞
Nuklearna energija	1 kWh = 860 kcal	TWh							
— lakovodni reaktori s 3% obogaćenja ili	20 t UO_2/TWh	10^3 t	1,6	440	221	6.630	5.250	—	—
— torij visoko temperaturni reaktori	6 t ThO_2/TWh	10^3 t	0,48	133	67	2.010	5.250	3.240	24
— brzo oplođenje	0,2 t UO_2/TWh	10^3 t	0,016	4,4	2,2	66	5.250	5.184	1.180

s najboljom kvalitetom i najpovoljnijim uvjetima eksploatacije ležišta, to će se u daljnjoj perspektivi postepeno morati koristiti sve slabiji ugljen, odnosno, eksploatacija ležišta bit će sve skuplja. U svakom slučaju moguće trajanje eksploatacije ukupnih rezervi ugljena bilo bi preko dvije tisuće godina. Valja spomenuti, da se s obzirom na sve veću potražnju za prirodnim plinom, te razmjerno ograničenim rezervama u zemljama značajnim za proizvodnju ugljena, znatna pažnja posvećuje istražnim radovima za što ekonomičnije plinifikacije ugljena, pri čemu bi se ekonomika morala temeljiti na cijeni toplinske energije.

Ukupne dobivene rezerve *nafte* (vjerojatno raspoložive) izračunate za 2000. godinu tj. oko $270 \cdot 10^9$ tona, uzimajući i proizvodnju koja se očekuje u toj godini, tj. $6{,}25 \cdot 10^9$ tona, mogle bi trajati još nešto više od četrdeset godina ili do 2040. Međutim, postoje prognoze koje, uzevši u obzir realnije mogućnosti otkrivanja novih raspoloživih rezervi nafte i realnije mogućnosti iskorištenja ležišta, ali i povećane potražnje za naftom, računaju s iscrpljenjem rezervi nafte već za dvadeset godina, dakle već prije 2000. godine. Naime, u 1970. ukupne svjetske raspoložive rezerve nafte iznosile su oko 80 mlrd. tona i ne očekuje se da bi se sve još neotkrivene rezerve mogle i otkriti i privesti racionalnoj eksploataciji, jer se možda ne bi mogla provesti racionalna eksploatacija novootkrivenog ležišta, zbog geomontanskih uvjeta, zbog velike dubine ležišta, ili velike dubine mora, ako se ležište nalazi u podmorju.

U svakom slučaju može se računati, da će trend otkrivanja novih raspoloživih rezervi biti sporiji od trenda potrošnje, pa prema tome, i proizvodnje nafte, tako da se već u doglednoj budućnosti može računati s kriznim situacijama u pokrivanju svjetskih potreba za naftom.

Što se *prirodnog plina* tiče, tu bi situacija mogla biti nešto povoljnija, jer bi rezerve (raspoložive i vjerojatne), tj. oko 550×10^{12} m³ u 2000. godini i prema proizvodnji koja se očekuje u toj godini, tj. 1.63×10^{12} m³, mogle trajati oko 230 godina. Međutim, valja istaći, da se najveće rezerve prirodnog plina, raspoložive i vjerojatne, nalaze u podmorju, te u vrlo velikim dubinama, kao i u područjima udaljenim od velikih potrošača (Sibir, Bliski istok, Afrika), tako da će limitirajući faktor u pogledu potrošnje, dakle i proizvodnje, biti teški uvjeti ne samo eksploatacije već i dopreme. Transport bilo magistralnim plinovodima, bilo u ukapljenom stanju u specijalnim tankerima bit će skup, a troškovi transporta bitno će utjecati na prodajnu cijenu plina.

I primjena *nuklearne energije* ovisi, kao i ostali nosioci primarne energije, o njenoj raspoloživosti. Da bi se pokrile potrebe nuklearnih termoelektrana koje su već u pogonu, i koje će se do 1980. godine staviti u rad, valjalo bi osigurati više goriva nego što se iz dosad otkrivenih rezervi može dati. Bez uključivanja brzog oplođivanja, koje daje gotovo sto puta veće prinose nego dosadašnji tipovi reaktora, bile bi raspoložive rezerve brzo iscrpljene.

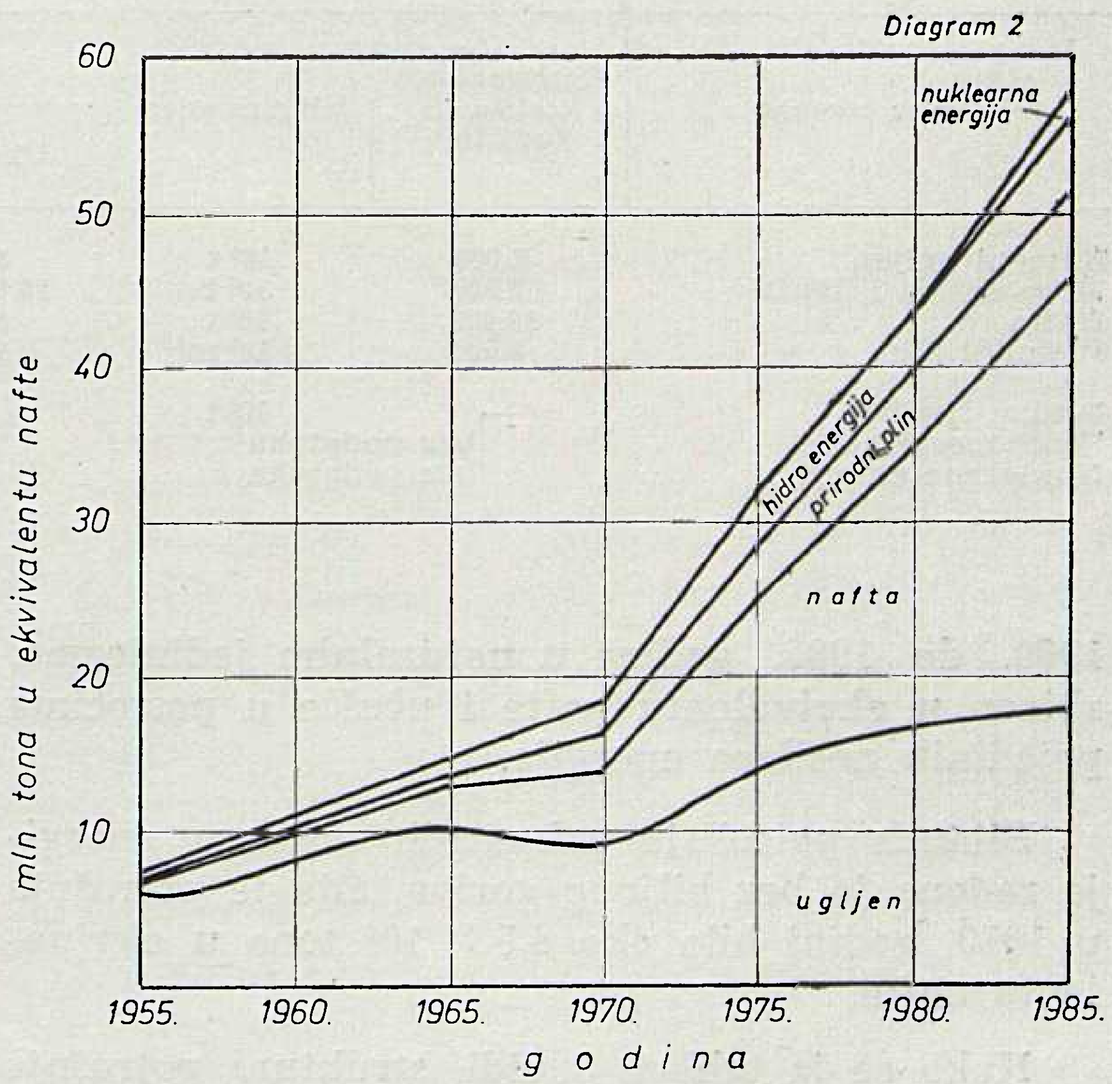
No, valja istaći da u spomenutoj tablici nisu navedene rezerve *bituminoznih škriljaca i pješčara* koji će već u bližoj budućnosti, pogotovo u SAD, postati važan izvor tekućih i plinovitih goriva, a već se sada iskorišćuju u SSSR i Kini. Ocjenjuje se, da ukupne rezerve goriva iskazane u ekvivalentu nafte, a koje se mogu dobiti preradom bituminoznih škriljaca i pješčara, iznose u svijetu gotovo sto milijardi tona, dakle više od dosad utvrđenih i raspoloživih rezervi nafte. Najveći dio tih rezervi otpada na Kanadu (oko 65 mlrd. tona) i na SAD (oko 25 mlrd. tona). Eksploatacija tih ležišta i dobivanje goriva iz škriljaca i pješčara je tehnički riješeno, ali su dobiveni proizvodi u odnosu na naftu i prirodni plin zasad preskupi.[3]

Analogno grafikonu u slici 1, gdje je prikazano kretanje svjetske potrošnje primarnih nosilaca energije, u grafikonu slike 2 dana je situacija za Jugoslaviju, i to od 1955. do 1985. godine.[4]

Kako se iz grafikona slike 2 vidi, ukupna potrošnja primarnih nosilaca energije u SFRJ porasla bi, prema predviđanjima, od 18,5 mln. tona u ekvivalentu nafte u 1970. godini na 56,5 mln. tona u 1985. godini, dakle potrošnja bi rasla s prosječnom (razmjerno visokom) stopom rasta od oko 8%. Ako se pretpostavi da bi u 2000. godini potrošnja energije u SFRJ po jednom stanovniku bila u tadašnjem svjetskom prosjeku od 2400 kg u ekvivalentu nafte, tada bi u toj godini ukupna potrošnja primarnih nosilaca energije bila oko 64,0 mln. tona ekvivalenta nafte.

U tablici 3 prikazana je potrošnja primarnih nosilaca energije u Jugoslaviji za razdoblje od

POTROŠNJA PRIMARNIH NOSILACA ENERGIJE U SFRJ



Slika 2

Potrošnja primarnih nosilaca energije u Jugoslaviji[5] Tablica 3

Godina	Ugljen 10^6 tona uslov.	Nafta 10^3 tona	Prirodni plin 10^6 m^3	Hidro-energija 10^9 kWh	Nuklearna energija 10^9 kWh	Ukupno 10^3 tona ekv. nafta	Učešće u %				
							Ugljen	Nafta	Prirodni plin	Hidro-energija	Nuklearna energija
1960.	11.926	1.380	53	6	—	10.340	80,8	13,8	0,5	4,9	—
1965.	14.883	2.985	330	9	—	14.600	71,0	21,4	2,1	5,5	—
1970.	13.700	6.960	977	15	—	18.500	52,0	35,6	4,5	7,9	—
1975.	20.770	12.600	3.640	22	—	32.100	45,3	39,3	9,5	5,9	—
1980.	22.900	19.500	5.700	28	6	43.320	37,0	45,0	11,2	5,6	1,2
1985.	28.250	28.600	7.500	38	12	56.520	30,5	50,4	11,5	5,8	1,8

Uvoz energije u Jugoslaviju[6] Tablica 4

Godina	Primarni nosioci energije 10^3 tona					Sekundarni nosioci energije 10^3 tona			
	Antracit	Kameni ugljen	Ostali ugljen	Nafta	Elek. energija GWh	Metalurški koks	Plinsko ulje	Ulje za loženje	Ostala tekuća goriva
1965.	152	1.420	615	1.107	431	111	100	36	30
1966.	134	1.506	195	2.202	209	172	118	67	39
1967.	144	1.236	87	2.590	117	114	311	265	40
1968.	137	1.566	52	2.719	320	110	295	535	59
1969.	154	1.630	47	3.230	164	121	264	379	27
1970.	146	1.656	18	4.539	317	201	386	421	51
1971.	143	1.810	22	3.924	171	280	519	311	27

Izvoz energije iz Jugoslavije[7] Tablica 5

Godina	Primarni nosioci energije 10^3 tona				Sekundarni nosioci energije 10^3 tona					
	Kameni ugljen	Ostali ugljeni lignit	Nafta	Elek. energija GWh	Mot. benzin	Goriva za mlazne motore	Plinsko ulje	Ulje za loženje	Propan butan	Metal. koks
1965.	85	46	145	49	55	11	41	114	3	—
1966.	85	68	324	21	179	14	287	317	2	4
1967.	87	46	321	174	90	15	352	194	—	10
1968.	67	31	292	42	127	19	73	42	3	7
1969.	66	50	237	56	96	24	63	24	3	4
1970.	64	166	114	70	127	30	126	151	5	12
1971.	18	215	187	188	106	158	90	122	—	23

Rezerve primarnih nosilaca energije u SFRJ[8] Tablica 6

Nosilac energije	Ogrjevna moć kcal/kg ili kcal/Nm^3	Jedinica mjere	Rezerve		Proizvodnja u 1970.		Mogućnost eksploatacije raspolož·vih rezervi
			Ukupne	Ekonom. raspolož.	Jedinica mjere		
Kameni ugljen	7.000	10^6 t	319	9	10^3 t	643	14
Mrki ugljen i lignit	2.500	10^6 t	26.600	11.506	10^3 t	27.779	175
Nafta	10.000	10^6 t	664	206	10^3 t	2.854	72
Prirodni plin	8.500	10^9 m^3	163	60	10^6 m^3	977	61
Bitum. škriljci	—	10^6 t	64	—	—	—	—
Hidroenergija	bez podataka				10^6 kWh	14.741	—
Nuklearna energija	bez podataka		—	—	—	—	—

1960. do 1985. godine u naturalnim jedinicama, zbirno u ekvivalentu nafte i učešće u postocima pojedinih nosilaca energije.

Bilanca potrošnje primarnih nosilaca energije rađena je bez biljnog goriva, čija je potrošnja u 1970. godini bila oko $4,5 \times 10^6$ tona u ekvivalentu nafte.

Kako se iz tablice 3 vidi, struktura potrošnje energije u SFRJ ima iste tendencije kao i u drugim zemljama, tj. usprkos porastu potrošnje svih primarnih nosilaca energije, udio ugljena ipak slabi, a raste udio plemenitijih izvora energije — nafte i prirodnog plina, a oko 1980. godine i nuklearne energije.

Potrošnja ugljena iskazana je u ekvivalentu uvjetnog ugljena. Međutim, ako se uzmu naturalne jedinice i zbroje sve vrste ugljena (kameni, mrki i lignit) bez obzira na njihove kalorične vrijednosti, tada bi takva potrošnja u 1975. godini

mogla iznositi oko 50 mln. tona, u 1980. oko 60 mln. tona i u 1980. godini oko 70 mln. tona.

U tablici 3 iskazana potrošnja nuklearne energije računata je kao proizvedena električna energija.

Jugoslavija, kao i mnoge zemlje u svijetu, ne može pokrivati svoje potrebe za energijom korištenjem vlastitih rezervi, nego je morala uvoziti, osobito plemenitu energiju. U tablici 4 prikazan je uvoz najvažnijih primarnih i sekundarnih nosilaca energije od 1965. do 1971. godine.

Valja još istaći, da se osim uvoza, energija morala i izvoziti, osobito tekuća goriva, zbog viška dobivenih lakih frakcija pri preradi nafte nad njihovom potrošnjom u zemlji i radi usklađivanja debalansa između kontinuirane proizvodnje i sezonskih oscilacija u potrošnji. Izvoz energije prikazan je u tablici 5.

Jugoslavija, kao i većina zemalja u Evropi, nema dovoljno vlastitih rezervi primarnih nosilaca energije, osobito kamenog ugljena, nafte i prirodnog plina, stoga (kako se vidi iz tablice 4) mora kameni ugljen i naftu uvozit, a potrošnju prirodnog plina zasad ograničiti na mogućnosti proizvodnje.

U tablici 6 prikazano je stanje rezervi primarnih nosilaca energije u Jugoslaviji u 1967. godini objavljenih za potrebe svjetske konferencije za energiju održane u Moskvi 1968. godine.

Ovoj tablici (6) valja dati slijedeći komentar.

Ukupne rezerve svih primarnih nosilaca energije, tj. geološke rezerve razmjerno su visoko ocijenjene, pa bi, uzimajući u obzir proizvodnju u 1970. godini, njihov vijek trajanja bio razmjerno visok. Međutim, ako se uzmu kao minimum sada raspoložive rezerve, tada je situacija mnogo realnija.

Za pojedine izvore energije situacija bi bila ova:

Raspoložive rezerve *kamenog ugljena* iznose 9 mln. tona, te bi uz prosječnu godišnju proizvodnju od oko 650.000 tona mogle trajati nešto manje od 15 godina. Raspoložive rezerve *mrkog ugljena i lignita* iznose 11,5 mlrd. tona i bile bi naše najbogatije rezerve primarnih izvora energije, te bi uzevši u obzir prosječnu godišnju proizvodnju od 65 mln tona, kakva se očekuje između 1980. i 1985. godine, mogle trajati oko 175 godina, odnosno, ukupne bi rezerve, ako se pretpostavi da bi se mogle dati u punom opsegu u eksploataciju, mogle trajati oko 400 godina.

Iskazane ukupne ili geološke rezerve *nafte* valja smanjiti na 32%, koliko se računa da bi bio mogući iscrpak geoloških rezervi, tj. moguće raspoložive rezerve nafte iznosile bi 206 mln. tona. Proizvodnja nafte u 1970. godini iznosila je oko 2,8 mln. tona, te bi prema njoj vijek trajanja tako izračunatih rezervi bio oko 70 godina. Međutim, kako će proizvodnja nafte i dalje rasti, to će u 1975. godini iznositi, prema predviđanjima, 4,5 mln. tona, u 1980. godini 5,5 mln. tona i u 1985. godini 6,0 mln. tona.[9] Uzevši za to razdoblje prosječnu proizvodnju od samo 5 mln. tona, proizlazi da bi ukupne moguće raspoložive rezerve mogle trajati oko 40 godina. No, sve tako izračunate rezerve nafte neće se vjerojatno ni otkriti ni privesti eksploataciji, tako da bi stvarni vijek naše rezerve nafte mogao biti i kraći. Kako su rezerve računate na Panonski bazen, situacija bi se izmijenila otkrivanjem nafte u podmorju Jadrana ili u Dinaridima.

Slična je situacija i s *prirodnim plinom.* Naime, za 1975. godinu predviđa se proizvodnja od 2,1 mlrd. kub. metara, u 1980. godini 2,6 mlrd. kub. metara i u 1985. godini 3,1 mlrd. kub. metara ili u prosjeku 2,5 mlrd. kub. metara godišnje u tom razdoblju, tako da bi ekonomski raspoložive rezerve trajale oko 20 godina, a ukupne ili geološke, ako bi u punoj mjeri bile iskoristive, oko 65 godina.

Kako će oko 1977. godine započeti uvoz prirodnog plina, mogla bi se spomenuta proizvodnja u izvjesnoj mjeri podešavati prema otkrivanju rezervi s jedne strane i o dinamici uvoza s druge strane.

Hidroenergetski potencijal nije u spomenutoj literaturi iskazan, ali se iz tablice 3 vidi da bi se iskorištenje hidroenergije povećalo, ako bi se od 14,7 mlrd. kWh proizvedenih u 1970. godini do 1985. godine povećalo na 38 mlrd. kWh.

Hidroenergetski potencijal je računat kao proizvedena električna energija.

Proizvodnja elektroenergije na temelju upotrebe *nuklearne energije* započela bi nešto prije 1980. godine, te bi tako na toj osnovi bilo proizvedeno 6,0 mlrd. kWh, a u 1985. godini 12,0 mlrd. kWh. Podaci o raspoloživim količinama uranove rudače nisu službeno objavljeni, a prema podacima objavljenim u dnevnom tisku tzv. potencijalne bilančne rezerve uranovog koncentrata iznose 36.500 tona, a izvanbilančne 67.000 tona.[10]

III

Broj stanovništva i potrošnja energije međusobno su povezani i s naglim porastom broja stanovništva u svijetu na odgovarajući način raste i potražnja za energijom. Kao svi biološki procesi razvoja, tako i svi ekonomski procesi koji se na njih nadovezuju mogu se matematički definirati krivuljom, koja u početku postepeno raste i teži do određene prekretnice, postigavši granicu zasićenja. Uspjeh bilo koje prognoze koja se služi takvim grafičkim prikazom, očito je u pravodobnom utvrđivanju parametara tih krivulja.

Sada ima u svijetu oko 3,7 milijardi stanovnika i prema ocjeni komisije FAO, taj će broj u slijedećim desetljećima rasti sa stopom od 1,8% do 1,9% i u 2000. godini će doseći 6,5 milijardi.

Kako je u 1970. godini bilo potrošeno ukupno 4,9 mlrd. tona energije u ekvivalentu nafte, potrošnja bi po jednom stanovniku u svijetu bila u prosjeku 1325 kg u ekvivalentu nafte. Kako se predviđa da će u 2000. godini ukupna svjetska

Odnos potrošnje energije i nacionalnog dohotka u Jugoslaviji[11] Tablica 7

Godina	Broj stanovnika mln	Potroš. prim. energije mln tona ekv. nafte	Nacionalni dohodak osn. 1966. mln din	Potrošnja energije po jednom kg nafte	Nacionalni dohodak po stanovniku dinara	Nacionalni dohodak na 1 tonu energije dinara
1952.	16,8	5,9	29.503	351	1.756	5.001
1960.	18,4	10,3	60.595	560	3.293	5.883
1970.				907	5.601	6.177
Stopa rasta	20,5	18,5	114.269			
1952—1960.	1,1%	7,2%	9,3%			
1960—1970.	1,2%	6,0%	6,5%			

potrošnja energije iznositi više od 15,5 mlrd. tona u ekvivalentu nafte, potrošnja po jednom stanovniku doseći će tada gotovo 2400 kg.

U Jugoslaviji je na dan popisa 31. III 1971. bilo 20,523.000 stanovnika, i ako bismo primijenili stopu rasta od 1,0%, dakle manje od one koja je bila u razdoblju od 1960. do 1970. godine i koliko se računa za razdoblje do 1980. godine, tada bi u 2000. godini u Jugoslaviji bilo gotovo 27,5 mln. stanovnika.

U 1970. godini bilo je u našoj zemlji potrošeno ukupno 18,5 mln. tona u ekvivalentu nafte, odnosno oko 910 kg po jednom stanovniku, dakle znatno ispod svjetskog prosjeka od 1325 kg. No, uzevši u obzir i biljno gorivo, spomenuta potrošnja od 910 kg povećala bi se na 1130 kg.

Očekuje se da će naša zemlja u slijedećih trideset godina postići, a ne samo dostići, tadašnji svjetski prosjek potrošnje energije po stanovniku, tj. 2400 kg, pa bi u 2000. godini trošila ukupno preko 64 mln. tona u ekvivalentu nafte, ali ne računajući i biljno gorivo.

IV

Kao mjerilo životnog standarda, na koji utječe razvoj tehnike i infrasktrukture, može, među ostalim, služiti i visina nacionalnog dohotka po stanovniku. Prema analizama provedenim u gotovo svim zemljama nađena je ovisnost između potrošnje energije i nacionalnog dohotka, koja je u svjetskim razmjerima i za industrijski visoko razvijene zemlje u 1962. godini iznosila 600 dolara za jednu tonu potrošene energije, izraženo u ekvivalentu nafte. Taj odnos — koji osobito vrijedi za zapadnu Evropu, SAD i Japan — omogućuje da se projicira očekivani razvoj bilo potrošnje energije, bilo nacionalnog dohotka, već prema tome koja se od te dvije veličine uzme kao osnovica.

Naime, stopa rasta nacionalnog dohotka prati stopu rasta potrošnje energije i obrnuto. Za privredno razvijene zemlje obje se stope kreću u prosjeku na oko 5%, dok je kod zemalja u razvoju stopa rasta potrošnje energije obično viša, a kod visokorazvijenih zemalja niža od stope rasta nacionalnog dohotka.

U tablici 7 prikazani su odgovarajući parametri za Jugoslaviju za proteklih dvadeset godina (nac. dohodak obračunat prema cijenama u 1966. godini).

Kako je već prije spomenuto, kod potrošnje primarnih nosilaca energije nije računata potrošnja biljnog goriva.

U razdoblju između 1952. i 1960. godine, dakle u jeku naglog razvoja industrije u nas, stopa rasta nacionalnog dohotka bila je 9,3%, a potrošnje energije 7,2%. No, u razdoblju od 1960. do 1970. godine, kad su se privredni tokovi ublažili i stabilizirali obje stope su približno jednake, tj. 6,0% prema 6,5%. S druge strane u godinama 1960. i 1970. na jednu tonu potrošene energije u ekvivalentu nafte otpalo je 5,9 odnosno 6,2 tisuće dinara prema cijenama u 1966. godini.

Interesantno je spomenuti, da je u istom razdoblju u SR Njemačkoj na jednu tonu utrošene energije u ekvivalentu nafte otpalo 1670 maraka nacionalnog dohotka.[12]

Najveći dio potrošnje energije u visokorazvijenim zemljama otpada na industriju i široku potrošnju, a u većini zemalja u razvoju — ukoliko se ne radi o tropskim područjima — otpada na potrošnju u ekstraktivnoj industriji i u domaćinstvima za dobivanje toplinske energije. No, i u tim zemljama se i ukupna potrošnja energije i njena struktura može naglo promijeniti, ako se u eksploataciju stavi kakav veliki industrijski objekt. Naravno, da se u takvim slučajevima nagli porast potrošnje energije ne može usporediti s normalnim porastom potrošnje u industrijski već razvijenim zemljama.

Usporedba između prosječne svjetske potrošnje energije po stanovniku od 1325 kg u ekvivalentu nafte, npr. s odgovarajućom potrošnjom u visokoindustrijaliziranoj SR Njemačkoj od oko 4000 kg, ukazuje da zemlje u razvoju i uz skokovit porast potrošnje energije taj nivô neće moći dostići u dogledno vrijeme. Osim povećanih potreba nove industrije za energijom na ukupni porast potrošnje energije znatno će utjecati raspoloživost vlastitim rezervama primarne energije, klimatski uvjeti i socijalna struktura stanovništva.

V

Za pokrivanje potreba za energijom stoje u svijetu na raspolaganju, kako je već bilo prikazano, u većoj mjeri ugljen, lignit i bituminozni škriljci i pješčari, te u ograničenijem opsegu nafta, prirodni plin, treset i nuklearna energija, sve kao iscrpljivi nosioci primarne energije, a vodena

snaga, drvo, geotermalna i solarna energija, te snaga vjetra i kretanja mora, kao obnovljivi nosioci primarne energije.

Tako dugo dok iscrpljivi izvori energije u svjetskim razmjerima stoje na raspolaganju u dovoljnim količinama, njihov će udio u svjetskoj potrošnji energije biti znatan.

Međutim, za pojedina područja, kao i za države koje potrebe za primarnim nosiocima energije moraju pokrivati uvozom situacija se mijenja, ako bi ponuda na svjetskom tržištu bila iz bilo kojih razloga, političkih ili ekonomskih, usporena ili ograničena. U tom slučaju neke države moraju svoje potrebe za primarnim nosiocima energije pokrivati onim nosiocima koji stoje na raspolaganju, a da se ne dovodi u pitanje sigurnost dobave potrebne energije.

Literatura:

1. A. Buch; *Volks — und Energiewirtschaft;* Kohle und Heizöl, *25* 1972. br. 11 str. 13.
2. Ibid 1, str. 14.
3. *Survey of energy resources 1968.* World Power Conference 1968. str. 10.
4. a) *Energetska privreda Jugoslavije i metodologija planiranja energetike;* Sav. zavod za privredno planiranje, Beograd, 1963. Tab. P-7.
   b) Anon. Nafta, *23* str. 453 (IX/1972).
   c) *Projekcija dugoročnog razvoja energetike, 1965—1985. godine.* Sav. zavod za privredno planiranje Beograd, XII. 1967. knjiga II. str. 78.
5. Ibid 4. b. i c.
6. Statistički godišnjak Spoljne trgovine SFRJ
7. Ibid 6.
8. Ibid 3. str. 37. i str. 43.
9. 4. c. str. 85.
10. Vjesnik, 7. III 1973.
11. a) Statistički godišnjak Jugoslavije 1971. Tablica 103-2 i tablica 105-1.
    b) Nafta, *23* 453 (br. 9/1972).
12. Ibid 1.

Naslov pisca: Vilim Boranić, dipl. ing.
INA — Zagreb

CRPNE HIDROELEKTRANE U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

Borivoj Baranović, Zagreb

Dan je pregledni prikaz nekih problema o kojima se govorilo na simpoziju o crpnim elektranama u Ateni, 1972. Obuhvaćeni su problemi utvrđivanja optimalnog kapaciteta CHE, trajanja iskorištenja, stupnja djelovanja, investicija i rentabilnosti. Prikazana je i usporedba s plinskim elektranama.

DK 621.311.21

Komitet za električnu energiju Ekonomske komisije za Evropu Ujedinjenih naroda organizirao je uz pomoć grčke elektroprivrede simpozij o crpnim hidroelektranama (CHE), u studenom 1972.

Izvještaji i diskusije bili su raspoređeni po grupama:

Grupa A: Današnje stanje i smjer razvoja izgradnje CHE, sa i bez dotok (19 referata).

Grupa B: Ekonomsko uklapanje CHE u elektroenergetski sistem (20 referata).

Grupa C: Problemi osnivanja i konstrukcije građevnih objekata, zatim hidraulike i geotehnike (17 referata).

Grupa D: Najnoviji razvoj u hidrauličkoj i električnoj opremi (11 referata).

Ovdje će se prikazati samo rad u grupama A i B, u kojima su prevladavala ova pitanja:

— Metode određivanja optimalnog kapaciteta CHE s obzirom na funkciju u mreži i minimum troškova u sistemu, približne i razvijene metode;
— Raspoloživost električne enerdgije za CHE;
— Rezultati studija i pogona CHE, karakteristični podaci o investicijama, trajanju korištenja, instaliranoj snazi, stupnju djelovanja, rentabilitetu u mreži i utjecaju na stabilitet mreže;
— Usporedba CHE i plinskih turbina;
— Novi tipovi CHE i plinskih elektrana s akumulacijom;
— Zaštita okoline i društva.

Općenito

Za posljednjih 20 godina svuda se u svijetu razvila primjena CHE zbog sve veće potrebe za vršnom energijom, i zbog pojave raspoložive energije iz velikih proizvodnih jedinica termoelektrana i nuklearnih elektrana za pumpni pogon CHE. Tome je pridonio i značajan napredak u pogledu konstruktivnih rješenja strojeva za CHE, što je omogućilo povećanje veličine pogonskih jedinica, poboljšanje stupnja iskorištenja i smanjenje investicionih troškova izgradnje.

Struktura elektroprivrednih mreža i njihov razvoj znatno utječu na primjenu CHE. Mreže s termičkim izvorima, pa i one s hidrauličkim, koje nemaju dovoljno akumulacionog prostora u bazenima, primarni su interesenti za CHE.

Mreže s raznim proizvodnim izvorima, a s dovoljno akumulacionog prostora u hidroelektranama, prije pristupanja instaliranju CHE dopunjuju se ovim mjerama:

— rekonstrukcija postojećih hidropostrojenja uklapanjem novih proizvodnih jedinica,
— izgradnja novih dodatnih privođenja voda,
— instalacija crpnih postrojenja za povećanje iskoristivosti bazena,
— izgradnja ihdroelektrana kombiniranih s CHE velikih snaga.

Protiv izgradnje CHE djeluju:

— smanjenje raspoloživosti noćne energije za crpni pogon zbog sve veće upotrebe noćne energije za grijanja, klimatizaciju i, u budućnosti, za punjenje akumulatora gradskih automobila,
— smanjenje specifičnih investicija za plinske elektrane, kratkoća njihove dobave i montaže, mogućnost lociranja blizu centara potrošnje, i neograničena sposobnost proizvodnje u okviru raspoloživog kapaciteta.

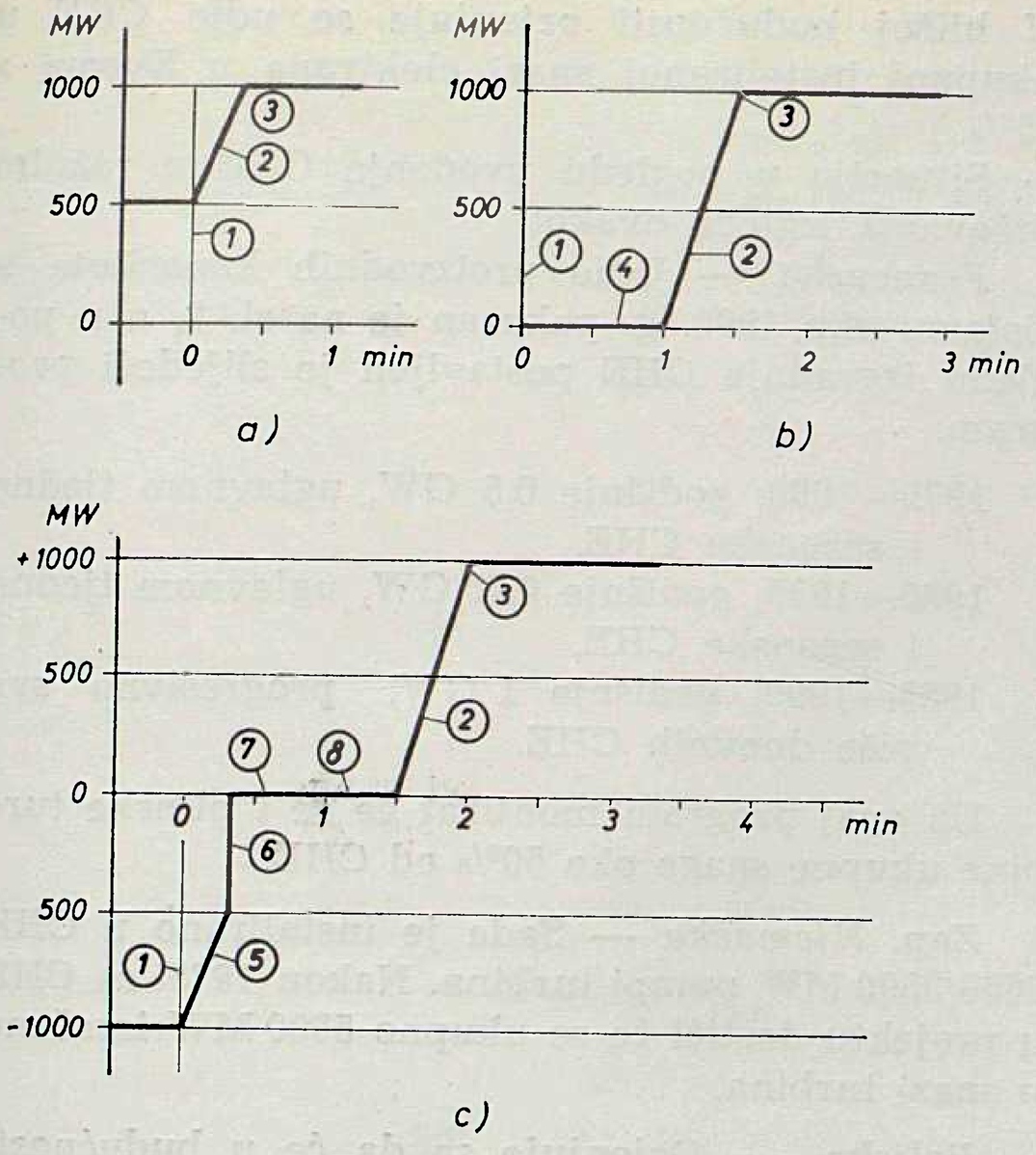
Razvojem projektnih rješenja CHE nastoje se naći daljnje mogućnosti za njihovu izgradnju. Tu je u prvom redu prijelaz na tjedne akumulacije radi iskorištenja slobodnih proizvodnih kapaciteta osnovnih jedinica za vrijeme weekend-a, zatim izgradnja podzemnih CHE, s podzemnim donjim rezervoarom, čime se dobiva mogućnost lociranja u blizini centara konzuma, povezivanja CHE s nuklearnim elektranama u integrirani sistem, itd.

Popratne koristi za okolinu su specifične; tu se mogu pojaviti prilike za natapanje, zaštita od poplava, dobava vode za tvornice, za crpljenje suvišnih voda, pa i za poboljšanje temperaturnih režima voda nastalih hlađenjem kondenzata termoelektrana i nuklearnih elektrana. U usporedbi s termičkim vršnim elektranama CHE ne zagađuju zrak.

Osim klasičnih ciljeva izgradnje CHE, kao proizvođača vršne energije i poboljšanja iskorištenja velikih termičkih proizvodnih jedinica, sve više dolazi u prvi plan uloga regulacije frekvencije, momentanog ispomaganja kod ispada u sistemu, tj. rezerve u sistemu.

Rezerve u sistemu su razne prirode i mogu se svrstati prema redu raspoloživosti:

— momentane rezerve kinetičke energije, sadržane u rotirajućim masama priključenim na mrežu,



Sl. 1 Tokovi opterećenja reversibilnog crpnog postrojenja od 1000 MW

A) kod rada s 50% turbinskog opterećenja, B) kod stajanja, C) kod punog crpljenja

Oznake: 1. zahtjev za turbinski pogon, 2. preuzimanje opterećenja, 3. puno opterećenje, 4. upućivanje pomoćnih pogona i turbine, sinhronizacija, 5. zatvaranje privodnih organa crpnog pogona, 6. isključenje motorskog pogona, 7. zaustavljanje, 8. upućivanje turbinskog pogona i sinhronizacije.

— rezerve raspoložive u nekoliko sekundi, »rotirajuće rezerve«,
— rezerve raspoložive u nekoliko minuta, u vidu proizvodnih jedinica izvan pogona u hidroelektranama,
— rezerve raspoložive za nekoliko desetaka minuta, koje se sastoje od termoblokova pripremnih za upućivanje u pogon.

Rotirajuće rezerve termoelektrana su ili skupe, ako je riječ o neopterećenom stanju, kada su troškovi pogona 10—15% od promjenljivih troškova u punom pogonu, ili su često neprikladne jer im kotlovi ne mogu momentano slijediti velike varijacije opterećenja.

U usporedbi s regulacijom mreže pomoću parne elektrane izlazi da s CHE dolazi do smanjenja troškova u sistemu za oko 5—10%.

CHE mogu u par minuta prijeći iz stanja crpljenja u proizvodni režim i zato su manevarska rezerva prvoga reda. Naročito je to kod grupe crpka — generator — turbina, gdje generator radi kao motor i ostaje stalno priključen na mrežu kod oba načina pogona. Reverzibilne grupe crpka — turbina imaju drugih prednosti ali valja mijenjati smisao okretanja.

Slika 1 pokazuje sposobnost preuzimanja opterećenja reverzibilnog postrojenja od 1000 MW za slučaj:

a) kad radi s 50% turbinskog opterećenja,
b) kod stajanja i
c) kod punog crpljenja.

Iako postoje razlike u početnom ponašanju koje ovisi o konstrukciji strojeva, može se reći da se moderne CHE mogu dovesti do pune snage iz bilo kojeg stanja za 2—5 min.

Jedino plinske turbine mogu još odgovoriti iznenadnoj potražnji sa sličnom brzinom, dok su bazne elektrane na fosilna goriva, i nuklearne, obično ograničene brzinom promjene na 10% opterećenja/min. Promatrajući brzi rast nuklearnih elektrana u mnogim sistemima, funkcija rezerve CHE postaje važnija također iz ovih razloga:

a) Nuklearne elektrane su tipične temeljne, njihov povećani udio u instaliranoj snazi ima suprotan efekt na fleksibilnost sistema. Taj efekt postaje često još uočljiviji, kada starije fleksibilnije jedinice na fosilno gorivo s umjerenim ulaznim karakteristikama pare postaju zastarjele ili predstavljaju sve manji udio u potencijalu mreže.
b) Cijena instaliranog kW kod nuklearnih elektrana znatno ovisi o veličini postrojenja. Gledajući današnje narudžbe nuklearnih elektrana, čak se čini da je jedinica od 600 MW malo postrojenje, jer je izraziti trend prema jedinicama od 900 do 1200 MW. Ispad tako velikih jedinica teško se svladava i u veoma jako povezanom sistemu.

Naročitu prednost imaju CHE smještene blizu značajnih centara konzuma, jer ne ovise o eventualnim kvarovima na prijenosu u času potrebe proizvodnje.

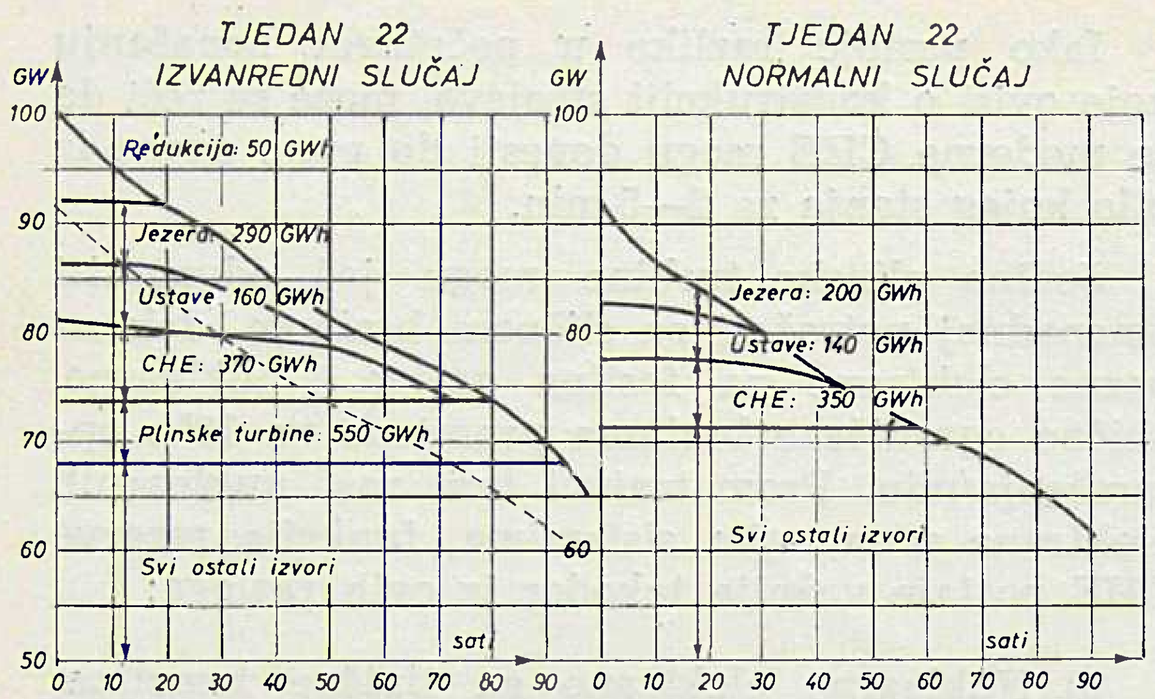
Kod izbora lokacije postrojenja, ako nema zaista značajnijih prednosti, ne treba da prevagnu topografski uvjeti, već valja zadovoljiti, u mogućoj mjeri, električne potrebe mreže uz zahtjeve vodnog gospodarstva. Zato je moguće, da će ubuduće podzemna rješenja biti sve više u primjeni.

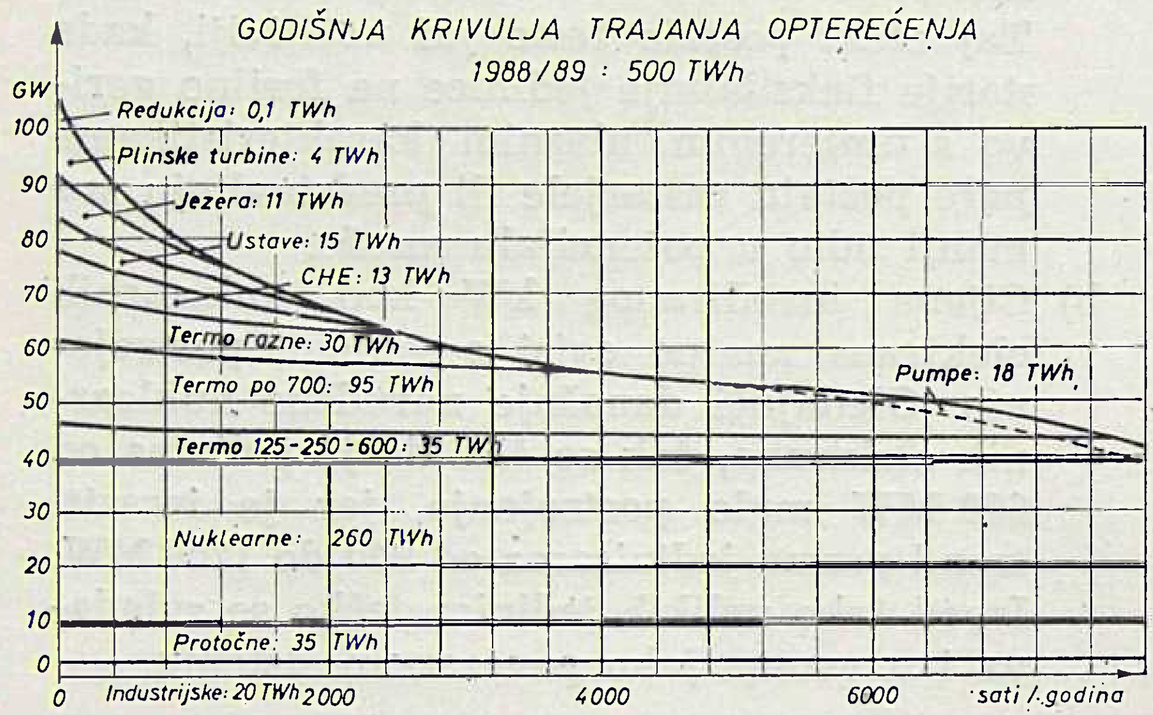
Klasične CHE trebale bi da pumpaju, npr. 8 sati noću i da proizvode 4 sati danju, međutim već sada se sve više događa da one rade neprekidno, tj. da stalno služe za regulaciju mreže s čestim inverzijama tokom dana iz crpnog u proizvodni režim.

U USA pridaju npr. veliku važnost ovoj funkciji CHE kao elementu sigurnosti u mreži, pa ih grade i za vrlo malo godišnje iskorištenje instalirane snage od svega 500—600 sati.

U referatu francuskih autora pokušali su svrstati tipove CHE, uvaživši sve njihove funkcije i karakteristike na slijedeći način:

— Dnevne CHE svladavaju promjene opterećenja u jednom danu, služe kao rotirajuća rezerva i za regulaciju frekvencija — snaga. Njihova je značajka visoka instalirana snaga, ako su smještene blizu centara konzuma, a proizvodnja im je 0,6—0,8 TWh/GW.
— Tjedne CHE preuzimaju promjene iz dana u dan, elastičnije su i proizvode 1,5—2 TWh/GW.





Sl. 2 Udio proizvodnih kapaciteta 1988/89. g. u Francuskoj

— Sezonske CHE mogu svladati i promjene potreba između sezona jedne godine, slično klasičnim hidroelektranama, koje dobivaju vodu gravitacijom.

Međutim, za postizanje sigurnosti snabdijevanja u krizama koje nastupaju sporadično u više godina valja predvidjeti plinske turbine, ukupne snage 3—5% od ukupno instaliranih snaga sistema (Francuska).

Kao zaključak ovom uvodnom pregledu sa simpozija u Ateni, može se reći da će se CHE sve više graditi, najviše zbog omogućavanja racionalnog iskorištenja nuklearnih elektrana, kojih će biti sve više, radi niskih cijena proizvodnje, čak i nižih od protočnih hidroelektrana, koje će se prema tomu graditi samo onda, ako rješavaju još i druge, neenergetske probleme.

Razvoj u nekim zemljama

Programi izgradnje CHE su u nekim zemljama vrlo različni i određeni su prirodnim uvjetima za klasične akumulacione hidroelektrane, stupnjem izgrađenosti vodnih snaga, odnosom hidro i termo postrojenja u sistemu, karakteristikama konzuma i mnogim drugim činjenicama, što su spomenute u uvodnom dijelu ovog izvještaja. Mnoge studije u raznim zemljama ipak pokazuju da je optimalni kapacitet CHE u nekoj mreži 10—20% od ukupno instaliranih snaga, i da se korist u mreži pri tom kreće 1—2% od ukupnih troškova mreže.

U bližoj budućnosti ocjenjuje se udio CHE u ukupnoj instaliranoj snazi elektrana u Evropi s 15%.

Situacija u pogledu uvođenja CHE u raznim državama izgleda ovako:

Francuska — Udio proizvodnih kapaciteta u sistemu oko 1900. g. pokazan je na sl. 2, a u pogledu izgradnje CHE postavljen je slijedeći program:

1975—1980, godišnje 0,5 GW, uglavnom tjedne i sezonske CHE,
1980—1985, godišnje 0,75 GW, uglavnom tjedne i sezonske CHE,
1985—1990, godišnje 1 GW, progresivno sve više dnevnih CHE.

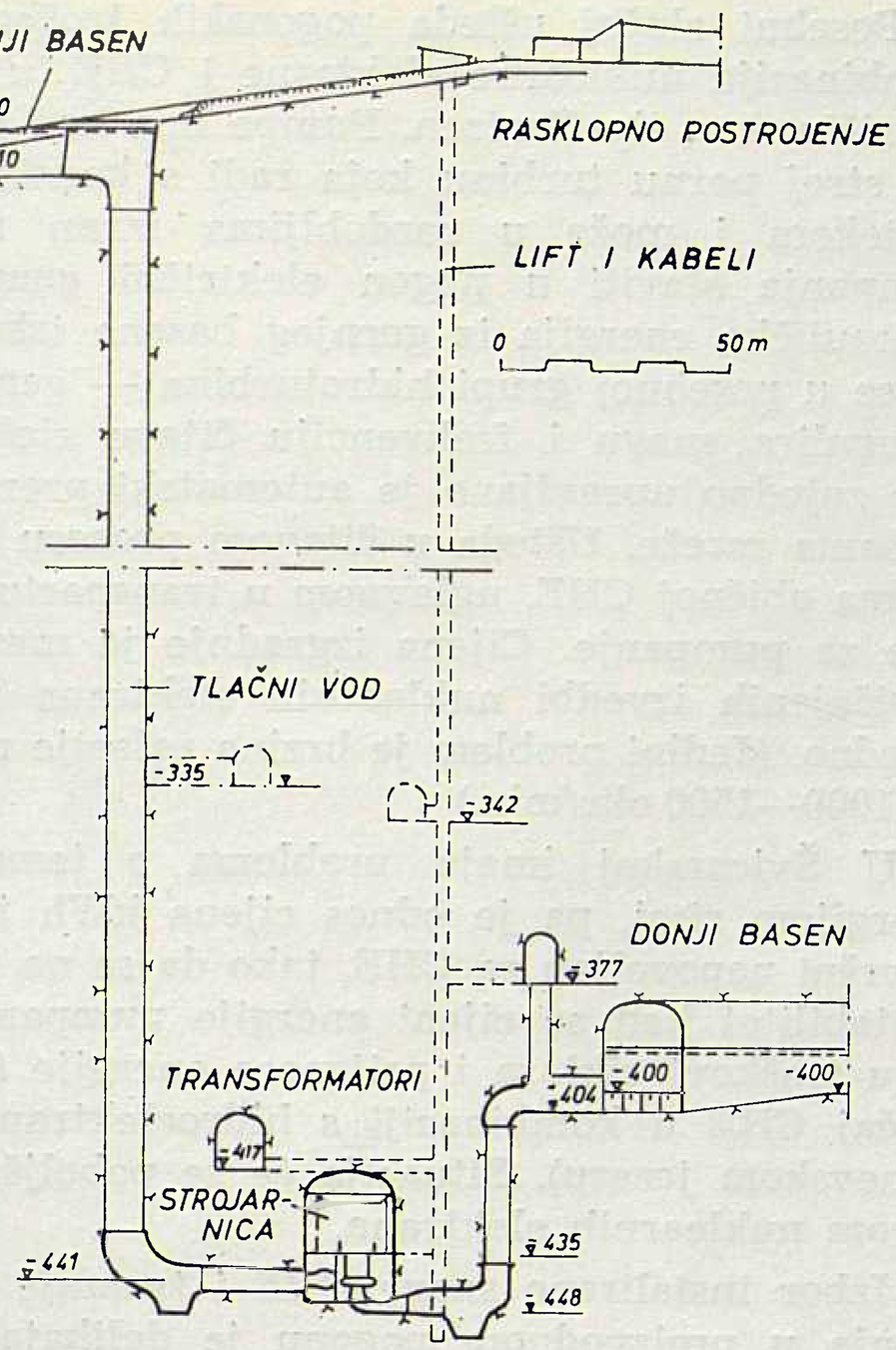
Uz ovaj program montirat će se i plinske turbine ukupne snage oko 50% od CHE.

Zap. Njemačka — Sada je instalirano u CHE 2600/3500 MW pumpi/turbina. Nakon 1975. sa CHE u projektu dostići će se ukupno 5800 MW izraženo u snazi turbina.

Poljska — Ocjenjuje se da će u budućnosti udio CHE biti 10% i više od snage mreže. Sada na 1300 MW u mreži imaju 423 MW CHE (3,2%), u izgradnji je 1050 MW a u pripremi još 1600 MW.

Švicarska — Sada je rezerva snage u sistemu 100% u srednjoj hidrološkoj godini, a u sušnoj 55%. Od 1985. ovi će iznosi pasti na 40, odnosno 15%. Švicarska je sada u stanju da izvozi vršnu energiju kao zamjenu za temeljnu iz konektirane mreže Zap. Evrope, gdje potražnja za vršnom energijom brže raste od ukupne potrošnje. Akumulacije Švicarske su bile 1971. godine 8000 GWh — a to je 32% akumulacionog volumena zap. Evrope. Od svih instaliranih snaga elektrana Švicarske 66,4% su akumulacione, tako da je 1970/71. izvezeno 25% proizvedene električne energije, što znači 30% uvoza zap. Evrope. Ipak, kako su neiskorištene vodne snage veoma skupe radi sve viših troškova izgradnje, a u vezi s programom izgradnje nuklearnih elektrana dolazi do potrebe izgradnje CHE, bilo u kombinaciji s klasičnim hidroelektranama, bilo kao čiste CHE. Prvo takvo postrojenje ulazi u pogon 1980. godine.

Finska — Ravni tereni traže rješenje s podzemnim CHE, u alternativama s bušenim kavernama ili napuštenim rudnicima ili podzemnim kanalima (sl. 3 i 4); također u varijantama s plinskom turbinom i kompresijom zraka (kompresor u plinskoj turbini traži 2/3 proizvedene snage). Postoji varijanta i s hidrauličkim kompresorom u kombinaciji s CHE ili hidroelektranom. Potreba vršnih elektrana porast će od 1970. do 1990. od 360 na 1300 MW, odnosno zajedno s rotirajućom rezervom na 2000 MW. Za sada raspoloživost noćne energije dozvoljava samo izgradnju jedne manje CHE, zatim oko 1975. jednog plinskog postrojenja s podzemnim rezervoarom, a tek oko 1980, kad bude više noćne energije od nuklearnih elektrana i poraste snaga sistema, doći će do podzemnih CHE.



Sl. 3 Podzemne CHE, presjek postrojenja

USA — U pogonu je 1972. bilo 53000 MW hidroelektrana, od čega 3778 MW CHE. U izgradnji ih je još 8580 MW i 15000 MW u studijama. Iako u USA postoji još 127000 MW hidropotencijala neiskorišteno, izgleda da njegov veći dio neće biti izgrađen, dok će se s druge strane CHE graditi dvostruko više od hidroelektrana. Tako je u planu puštanje u pogon 1980. 27000 MW i u 1990. 7000 MW CHE.

Program kapaciteta izvoza u USA (u tisućama MW):

	1970	1980	1990
Nuklearne elektrane	6	140	475
Fosilna goriva	259	390	558
Crpne hidroelektrane	4	27	70
Hidroelektrane	52	68	82
Unutratrašnje sagorijevanje, plinske turbine	19	40	75
Ukupno	340	665	1260
Hidroel. i crpne	56	95	152
U postocima od ukupno	16,5	14,3	12,1 %

SSSR — Predviđa se pokrivanje vršnih opterećenja akumulacionim hidroelektranama, CHE i plinskim turbinama, zatim trapeznog dijela dijagrama pomoću klasičnih termoelektrana, manevarski elastičnih ispod kritičnih parametara, te temeljnog opterećenja prvenstveno nuklearnim elektranama i klasičnim termoblokovima velike snage nadkritičnih parametara.

Japan — Poslije razvoja miješanog sistema hidro-termo prešlo se na velike jedinice, klasičnih termoblokova do 1000 MW, nuklearnih do 1300 MW, što je pogodovalo uvođenju CHE. Sada ih ima oko 3400 MW u pogonu, 7500 MW u gradnji, odnosno 82% od svih hidropostrojenja u gradnji. Predviđa se, da će 7—10% od ukupne snage mreže biti CHE, a postoji analiza prema kojoj će doskora najpovoljniji udio CHE u jednom parcijalnom sistemu Japana biti 18%, odnosno kad nuklearne elektrane dostignu 60% kapaciteta tog sistema, da će optimalni udio CHE porasti na 21%, što će se dogoditi za 15—20 godina.

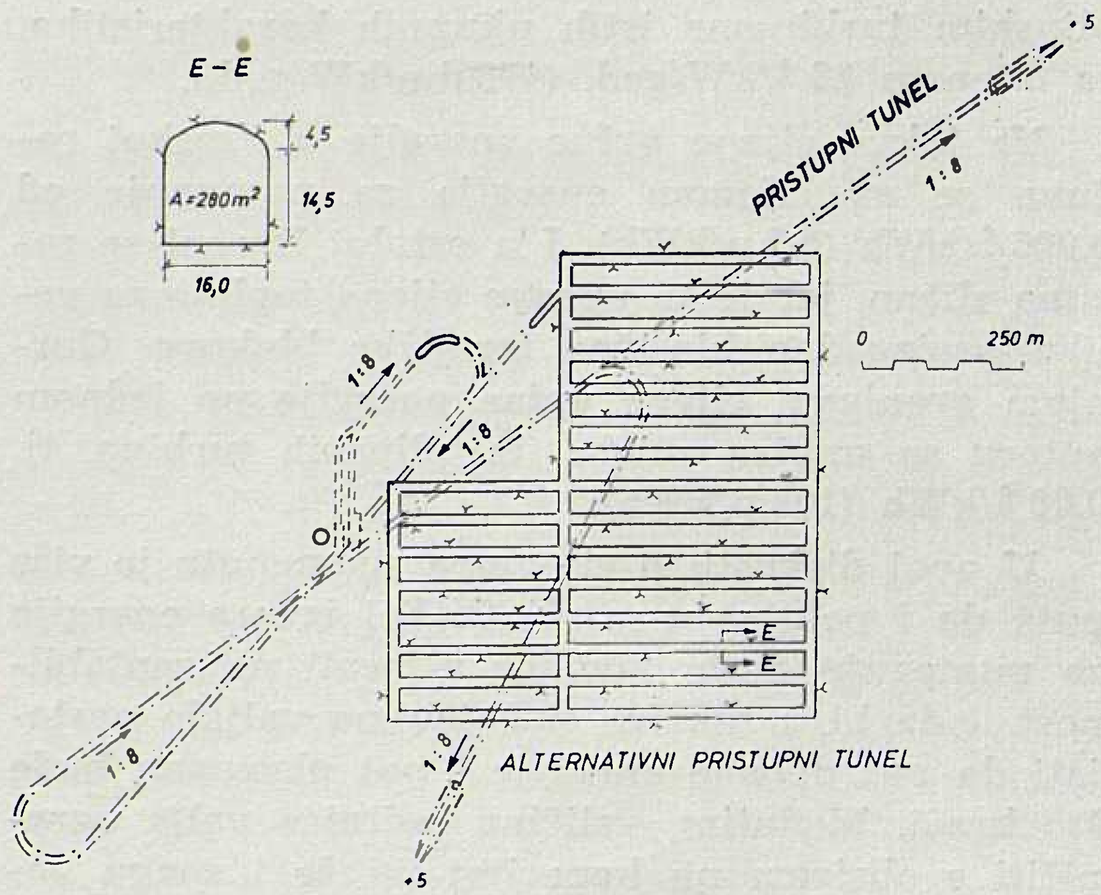
Ekonomsko uklapanje

Zahtjev raspoloživosti električne energije za pumpanje, kako količinski, tako i u pogledu cijena je isto tako važan kao i kvaliteta i cijena dobivene energije iz CHE.

U većini zapadnih zemalja je problem naći dovoljno jeftine noćne energije, jer s jedne strane noćna potrošnja raste (grijanja, klimatizacija, a s druge strane nema još toliko nuklearnih elektrana i velikih jedinica klasičnih elektrana kod kojih bi se moglo povećati trajanje iskorištenja, budući da one i onako rade u bazi dijagrama.

U Francuskoj, npr., predviđaju da u noćnim satima iz nuklearnih elektrana neće biti viška energije prije većeg razvoja nuklearnog programa, što se očekuje tek oko 1990. Dotle će se za pumpanje koristiti energije iz nešto manje iskorištenih elektrana na ulje, ali još modernih velikih jedinica sa cijenom promjenljivih troškova koja nije veća od 2 ct/kWh (7 p/kWh). Svakako da je cijena električne energije za pumpanje veoma važna, jer je u proizvodnoj cijeni kWh sadržana sa 40—50%. (U svim preračunavanjima računato je 1 $ = 17,00 d.).

U Zapadnoj Njemačkoj je širenje noćnog akumulacionog grijanja dovelo do značajnog povećanja noćnog opterećenja mreže. Samo na području poduzeća RWE porasla je instalirana snaga noćnog grijanja od 800 na 3000 MW od 1969. do 1971. Zato se raspoloživa energija za noćno pumpanje sve više smanjuje i u određeno razdoblje i za određenu mrežu ona je ograničena. U mreži RWE bit će 1975. g. ukupno 3600 MW CHE na 50000



Sl. 4 Podzemna CHE, presjek donje akumulacije

MW instaliranih snaga elektrana, a potrebe za vršnom energijom i dalje brzo rastu, traže se mogućnosti izgradnje CHE s tjednim akumulacijama, tako da bi uz noćno pumpanje, prema mogućnostima radnih dana po sezonama u trajanju 4—14 sati bilo dopunjavano pumpanjem za vrijeme weekend-a u trajanju do 18 sati.

Cijena kupljenje energije za CHE mora se ravnati prema cijeni vršne energije iz drugih izvora, uključivši stupanj djelovanja ciklusa, koji je sada već dosta visok. On je porastao, kako pokazuje statistika u Zap. Njemačkoj, od ranijih 55 na 80, pa čak i na 83% u optimumu rada pumpe i turbine i čitavog postrojenja. Izraženo u odnosu proizvedene prema potrošenoj energiji po količinama to iznosi 0,53 do 0,76. Odnos po vrijednosti između promjenljivih troškova proizvedene vršne energije i kupljene za pumpanje je u Francuskoj 1,4, tj. kod cijene kupljene energije po 2 ct/kWh (7 p/kWh), a to znači po cijeni promjenljivih troškova iz ekonomične elektrane na ulje, promjenljivi troškovi vršne energije su oko 2,8 ct/kWh (10 p/kWh).

Konkretnih podataka o cijenama vršne energije u raznim zemljama bilo je na simpoziju malo, a i te su dosta različite. Talijanski autor dao je podatak da je najjeftinija vršna energija kod trajanja iskorištenja 500—1200 sati iz klasičnih akumulacionih hidroelektrana (17,5—12,5 Lt/kWh, odnosno 53—37 p/kWh), ali što je trajanje veće, 1200—2000 sati, bolje je koristiti CHE (12,5—9 Lt/kWh, odnosno 37—27 p/kWh). Kod CHE moglo bi se dozvoliti i povećanje cijena za 10—15%, računajući ostale njene funkcije u mreži. U Finskoj, koja je ekstremni slučaj, prema trajanju iskorištenja 1500—500 sati cijena vršne energije iz CHE računa se od 0,011—0,0365 $/kWh, odnosno 18,6—62,0 p/kWh; kod većih akumulacionih bazena i, npr. dvostruko većeg trajanja iskorištenja, cijena može biti gotovo dvostruka. Za ilustraciju ovih cijena dana je usporedba proizvodnih cijena podzemne CHE, jednakih cijenama plinskih turbina s podzemnom akumulacijom, tj. 14,5 $/kW/god. (246 Din/god.) i to za jedinice od 200 MW i 1000 sati godišnjeg trajanja iskorištenja, s elektranom s normalnim plinskim turbinama istih ukupnih karakteristika, sa cijenom 28 $/kW/god. (475 din/kW/god.).

Uz takve cijene vršne energije u Finskoj računa se sa cijenom energije za pumpanje od 0,005 $/kWh (8,5 p/kWh). I u ostaloj Evropi se računa slično, jer je to upravo cijena topline za velike proizvodne klasične termičke blokove. Gornjom granicom cijene vršne energije po jednom autoru se smatra cijena iz plinskih turbina, tj. 0,06 $/kWh (102 p/kWh).

U ovoj diskusiji o cijenama spomenuto je više puta da i položaj u mreži CHE i izvora energije za pumpanje može također utjecati na rentabilnost, i da bi u takvim slučajevima valjalo nastojati da put dobave energije i put plasmana bude što kraći. Međutim, veličinu jedinica valja ograničiti s obzirom na kapacitet mreže i snagu pokretanja pumpi.

Posebni slučaj ušteda pogonskih troškova je kombinacija nuklearne elektrane i CHE, u istom dvorištu, tzv. tip Grotzen. Pumpa ima kao pogonski stroj parnu turbinu koja radi s konstantnim protokom i može u razdobljima izvan režima pumpanja staviti u pogon električni generator. Hidraulička energija iz gornjeg bazena iskorištava se u posebnoj grupi hidroturbina — generator i regulira snagu i frekvenciju čitave elektrane. Sve zajedno upravljano je automatski prema potrebama mreže. Ušteda u čitavom procesu je 7% prema običnoj CHE, uglavnom u transportu energije za pumpanje. Cijena izgradnje je manja od uobičajenih izvedbi nuklearnih elektrana i CHE zajedno. (Jedini problem je brzina rotacije pumpe, tj. 1000—1500 okr/min.)

U Švicarskoj imaju problema s temeljnom energijom zimi, pa je odnos cijena kWh temeljni/vršni nepovoljan za CHE, tako da se ne postiže rentabilitet kad se cijeni energije pumpanja dodaju troškovi ciklusa i prijenosa energije (ovo je slučaj CHE u kombinaciji s hidroelektranom na Ženevskom jezeru). Situacija će se poboljšati pojavom nuklearnih elektrana.

Izbor instalirane snage CHE i trajanje iskorištenja u proizvodnom pogonu je delikatan problem, povezan osim sa prilikama u mreži, i izborom veličine gornjeg akumulacionog bazena.

S gledišta potreba mreže, npr. u Francuskoj, traži se proizvodnja CHE 6—10 sati dnevno (1680—2800 sati godišnje). U Zapadnoj Njemačkoj sadašnje CHE rade u turbinskom pogonu između 500—2900 sati, odnosno prosječno 1160 sati godišnje, ili 500—1765 odnosno prosječno 1340 sati kao pumpe. Analize dnevnih dijagrama pokazuju npr. da su 1985. moguća dnevna pumpanja 3—5 sati, a proizvodnja 8—10 sati (od ponedjeljka ujutro do petka navečer, kada je donji bazen pun i za weekend-a se voda prebacuje u gornji). Instalirana snaga CHE bi kod ovakvog režima padala, odnosno dolazilo do većeg godišnjeg iskorištenja postrojenja.

Slična je situacija i u drugim zemljama s pretežno termičkom proizvodnjom, kao npr. u Poljskoj, gdje se sada traži da dnevna proizvodnja traje najmanje 6 sati, a tendencija je produžavanje na 8 do 9 sati, po mogućnosti uz tjednu akumulaciju sa što većim sadržajem bazena radi nepredviđenog. Jedino centrale piloti mogu raditi manje sati.

I u Japanu su, koji s vremenom ima sve manji udio hidroelektrana, ustanovili analizama da treba težiti sve većem trajanju iskorištenja, do 9 sati dnevno, i tjednom akumuliranju vode.

Investicije

Na osnovi više razrađenih projekata CHE, u referatu iz francuske elektroprivrede daju se podaci o investicijama CHE, i za razliku od običnih hidroelektrana može se zaključiti, da cijene mnogih dijelova postrojenja variraju u uskim grani-

cama. Tako je ustanovljeno da se troškovi kreću za dijelove CHE, bez akumulacionih bazena:

Oprema	200—250 Fr/kW	(680—850 d/kW)
Građ. dio	40— 60 Fr/kW	(140—200 d/kW)
Dovod	70—150 Fr/kW	(240—510 d/kW)

(Ovdje se pretpostavlja da je odnos horizontalna/ /vertikalna udaljenost bazena kod visokih padova manji od 4, a kod niskih padova manji od 6.) (Preračunavanja u dinare po odnosu 1 $ = 17,00 d)

Ukupni troškovi bez bazena, bili bi prema tome 300—400 Fr/kW (1000—1350 d/kW).

Cijena bazena vrlo je varijabilna, tj. ide od nula za postojeće akumulacije, do 50 Fr/kWh (170 d/kWh) za potpuno umjetne bazene. U brdima udaljenim od centra konzuma, cijena izgradnje je oko 10 Fr/kWh (34 d/kWh), što kod 6 sati proizvodnje (odnosno 8 sati pumpanja pri istoj snazi turbina i pumpa) daje 60 Fr/kW (200 d/kW), kod čega valja dodati 120—200 Fr/kW (500—680 d/kW) za transport energije. Ako je lokacija CHE blizu Pariza, izgradnja bazena stoji više od 30 Fr/kWh (100 d/kWh), odnosno za 6 sati rada 180 Fr/kW (600 d/kW), ali sada je potrebno za transport energije svega 20—50 Fr/kW (70—170 d/kW).

Cijene bazena i transporta energije imaju tendenciju da se kompenziraju:

$$60 \text{ Fr} + 200 \text{ Fr} \approx 180 \text{ Fr} + 50 \text{ Fr}.$$

Prema tome u svakom slučaju snaga iz CHE stoji u Parizu oko 600—700 Fr/kW (2000—2400 d/kW).

Mnogo su skuplje akumulacije za npr. 10 sati dnevnog rada. Tada je obično rentabilnije prijeći na tjedne akumulacije u brdima. Rezervoar je u tom slučaju u usporedbi s onim za 6 sati rada $5 + 6\,(10 - 6) = 26$ puta veći, jer prostor u takvom rezervoaru služi 5 puta manje. U Francuskoj je cijena tjednog rezervoara 2—4 Fr/kWh (6,8—13,6 d/kWh) odn. 50—100 Fr/kW (170—340 d/kW) za 10 sati rada. S prijenosom do Pariza su u tom slučaju troškovi veći nego kod CHE za 6 sati rada.

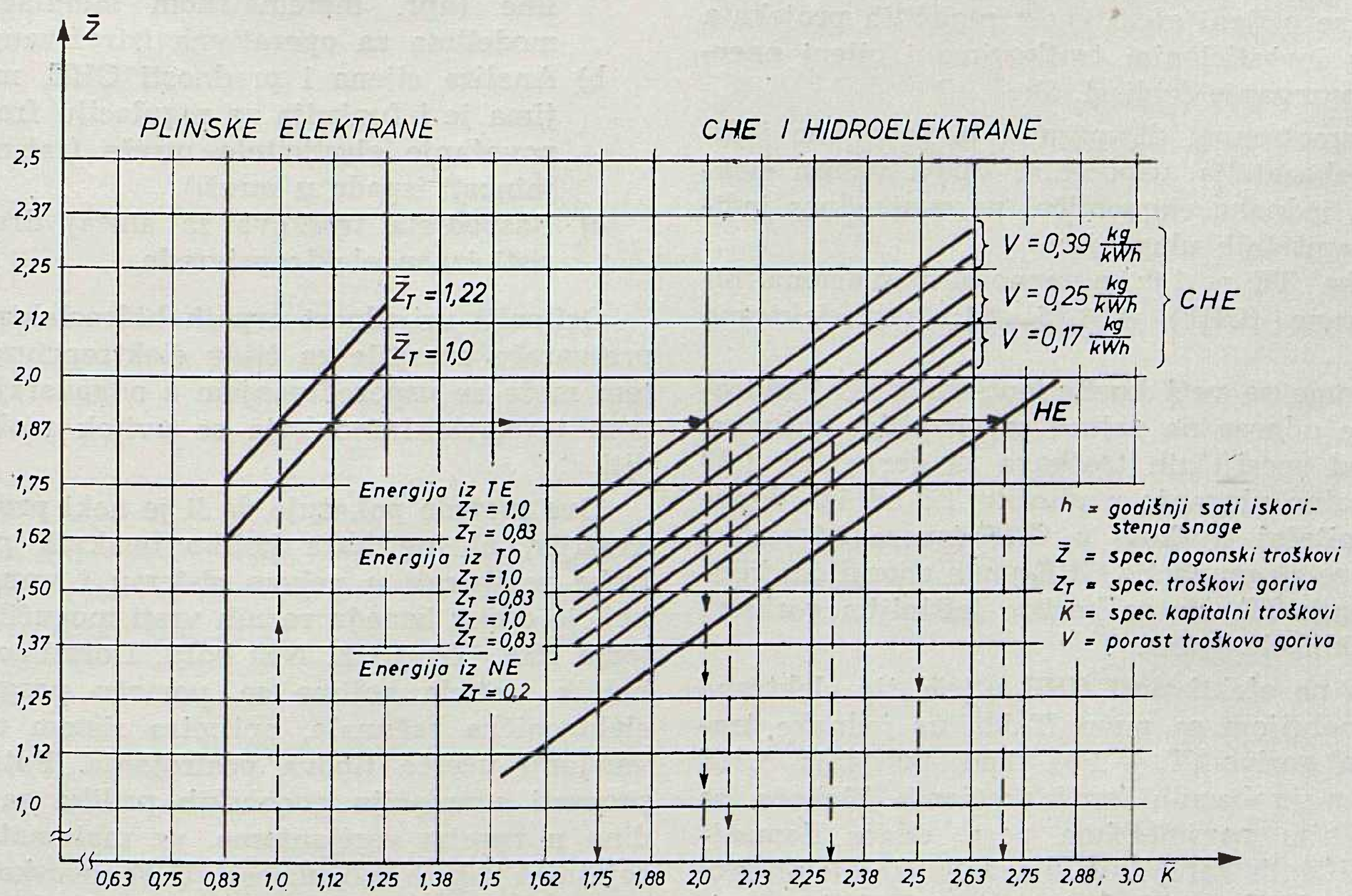
Autor iz Zapadne Njemačke daje slijedeće iznose za specifične investicije CHE:

Velika Britanija
40—50 Lstg/kW (1800—2200 d/kW)
Sjedinjene Države Amerike
80—130 $/kW (1350—2200 d/kW)
Zapadna Njemačka
500—700 DM/kW (2140—3000 d/kW).

Autor iz Italije smatra da je razumno računati sa 120—150 $/kW (2000—2500 d/kW). Iako u Evropi oprema i radna snaga poskupljuju godišnje za 5%, a valutama se smanjuje vrijednost za 2—2,5% godišnje, ipak CHE u posljednjih 15 godina nisu poskupile više od 1—3%.

Kod podzemnih CHE, razvoj konstrukcija pumpi dozvoljava da se ide do 1000 m dubine, čime se dobiva na ekonomiji, jer dimenzije, a time i troškovi podzemnog rezervoara, padaju proporcionalno dubini, dok ostali troškovi rastu sporije. Kod većih dubina podzemne CHE postaju konkurentne nadzemnima, npr. kod 1000 m pada postižu se niži troškovi nego kod nadzemnih CHE s 450 m pada. (Vidi priložene slike, kod podzemnih postrojenja je gornji bazen na površini zemlje, a donji vertikalno u dubini i sastoji se, npr., do sistema povezanih tunela).

Kod malih snaga i dubina, npr. 2 × 100 MW/ /200 m, u Finskoj računaju s investicijom 160



Sl. 5 Nomogram za ocjenjivanje efektivnosti projekata u ovisnosti o troškovima i cijena energije za pumpanje

$/kW (2720 d/kW), dok kod 2 × 300 MW/600 m samo sa 73 $/kW (1240 d/kW). Manji su investicioni troškovi kod podzemnih CHE koje upotrebljavaju napuštene rudnike ili podzemne kanalizacije, ali u ovim slučajevima je moguće postići samo male kapacitete. Naprotiv, kod plinskih turbina s komprimiranim zrakom radi potrebnih malih dimenzija kaverne moguće je postići velike snage i u takvim slučajevima i niske investicije od samo 49—73 $/kW (835—1240 d/kW).

Energija iz ovakvih postrojenja je dvaput jeftinija nego iz običnih plinskih turbina i postiže se ušteda uvoznog goriva (sirovi benzin).

Za ekonomsko ocjenjivanje CHE, specifične troškove izgradnje valja oprezno upotrebljavati, a naročito se ne može uzeti da je mjerodavan samo odnos troškova između CHE i termičkih izvora klasičnog tipa, jer CHE obavljaju još mnoge funkcije u sistemu.

Usporedba s plinskim turbinama

Prema francuskim podacima plinska turbina snage 50—60 MW stoji 500 Fr/kW (1700 d/kW), i ima promjenljive troškove 4—5 ct/kWh (13,5—17 p/kWh), što je mnogo u usporedbi s CHE s troškovima 2,8 ct/kWh (9,5 p/kWh). U Francuskoj pri tom računaju s lakim uljem kao gorivom za plinske turbine, a u Finskoj sa sirovim benzinom cijene 0,045 $/kg (0,77 d/kg).

Niži investicioni troškovi plinske turbine prema CHE, se u Francuskoj ocjenjuju s 600—700 Fr/kW u središtu konzuma, i s druge strane niže proizvodnje cijene CHE, daju podatke za usporedbu koja ipak nije potpuna.

U SSSR-u su, proučavajući razne tipove vršnih elektrana, izradili nomograme koji dozvoljavaju da se ocijeni efektivnost različitih projekata ovisno o investicionim troškovima i cijeni energije za pumpanje (vidi sl. 5).

U razmotrenom dijapazonu je promjena jediničnih pokazatelja, usporedivi tipovi vršnih elektrana su jednako ekonomični uz ovaj odnos jediničnih kapitalnih ulaganja:

Plinska TE = 1,0; pumpno-akumulaciona hidroelektrana (CHE) = 1,75—2,5; hidroelektrana 2,5—2,7.

Pri tome se veći koeficijenti za CHE i hidroelektrane odnose na rajone sa skupljim gorivom. Npr., kod specifičnih troškova za gorivo od 1,22 uz kapitalna ulaganja u plinsku TE od 1,0, dopustivi kapitalni troškovi u CHE iznose 2,0, čak i 2,1, ako se akumulacije CHE pune energijom kondenzacionih TE, što se koriste jeftinijim gorivom od plinskih elektrana.

Bitno na efektivnost CHE utječe tip elektrane čijom energijom se pune. Tako, uz jednake troškove za gorivo (T_g = 1,0), kod punjenja CHE energijom iz baznih kondenzacionih blokova sa nadkritičnim parametrima pare, odnos dopustivih specifičnih kapitalnih ulaganja iznosi: plinske TE = 1,0; CHE = 1,75. Pri punjenju CHE energijom iz toplana isti odnosi su ocijenjeni u slijedećim veličinama: plinska TE = 1,0; CHE = 2,0—2,13 (ovisno o porastu potroška goriva kod različitih toplifikacionih agregata).

Osobito je velika efektivnost CHE u usporedbi s plinskim TE, kada se punjenje CHE ostvaruje energijom nuklearnih elektrana. U tom slučaju, uz kapitalna ulaganja u plinsku elektranu = = 1,0, po troškovima su jednako ekonomične CHE sa specifičnim kapitalnim ulaganjima od 2,25, a pri skupljem gorivu (T_g = 1,22), čak i 2,5.

To je bilo uspoređenje na temelju troškova primjera iz SSSR-a. Međutim kompetitivnost plinske turbine je na drugim područjima usporedbe, a ne u cijeni proizvodnje, pogotovo ako CHE može imati relativno veliku proizvodnju, tj. ako ima jeftine rezervoare. Drugim riječima, samo kod vrlo malih godišnjih proizvodnji približava se cijena kWh plinskih turbina onoj iz CHE.

Plinska turbina je nezamjenjiva i ekonomičnija od CHE, ako je potrebno sistemu osigurati povremenu dobavu energije velikog trajanja (npr. 30 puta godišnje po 14 sati) i to, možda, svakih nekoliko godina. Za tu svrhu se ne isplati graditi velika akumulaciona jezera. Nadalje, plinska turbina je radi svog kratkog vremena postavljanja (2 godine prema 4 godine za CHE i klasične TE, odnosno 5—6 godina za klasične HE) dobro sredstvo za usklađivanje programa instaliranja sistema.

Metode

Ekonomska evaluacija CHE općenito se osniva na ovim računima:

a) Optimizacija snage i kapaciteta akumulacije s gledišta mreže, kao integrirane cjeline (npr. matematskom simulacijom ili modelima za operativna istraživanja).
b) Analiza cijena i prednosti CHE, među kojima je i funkcija za regulaciju frekvencije povećanje elasticiteta mreže (račun vjerojatnosti ispada u mreži).
c) Raspodjela troškova za slučaj drugih koristi izvan elektroprivrede.

Ocijeniti vrijednost crpnih hidroelektrana kao pretvarača energije za čitav elektroprivredni sistem može se uspoređivanjem s odgovarajućim tipom termoelektrane koja se uvijek može izgraditi.

Ova metoda pokazuje da li je neki projekt prihvatljiv, ali ne kaže koliko ovakvih projekata treba realizirati u nekom sistemu i vremenu, tj. koji je odnos između raznih vrsti mogućih postrojenja (HE, TE, CHE, NE) bolji. Dolazimo do globalnih metoda kojima se, pomoću programa za elektronička računala, optimira sistem u mnogo varijanti učešća tipova postrojenja. Potrebno je provesti simulaciju pogonskih prilika za niz godina u raznim varijantama, uz matematsku vjerojatnost raznih mogućnosti. U Francuskoj je npr. za tu svrhu izrađen model GRETA, dovoljan za proučavanje uloge tjednih i sezonskih akumula-

cija, ali ne i za dnevne. Obrađuje 15 blokova po 52 tjedna hidrauličnosti, svaki za 60 slučajeva potrošnje i termoproizvodnje.

Između ostalih potprograma izrađen je i onaj koji traži, svakog tjedna, energiju ekonomski podesnu za pumpanje, pretvara je u vršnu i traži najbolji plasman. Postupak optimiranja u osnovnom programu svodi se ipak na dosta kompliciran proces postupnog proračunavanja sistema bez i sa CHE, znači uspoređivanjem sa termičkim izvorima vršne energije, u prvom redu plinskim turbinama (sl. 6).

U takvim usporedbama, logično izlazi, da 1 GW iz CHE ne može zamijeniti 1 GW plinske turbine, radi ograničenja volumena bazena.

Rezultati računa mogu se pokazati u anuitetima koji su dozvoljeni (marginalni) da se u pojedinoj godini (za konkretne prilike) zamijeni određena snaga i akumulacija CHE plinskim turbinama. Rezultati ove valorizacije CHE prikazani su u nizu krivulja na dijagramu anuiteti — veličina instalacija CHE i veličina bazena za svaku godinu posebno. Aktualizirajući na današnje vrijednosti, dobiva se da se za tjednu akumulaciju može dati 6—7 Fr/kWh (20,4—23,8 d/kWh) za 1980. g., 4—5 Fr (13,6—17,0 d/kWh) za 1988. g.

Ako su bazeni skuplji, valja ih upotrijebiti za dnevno izravnanje, tj. za veću instaliranu snagu. Ako je pak gornji bazen jeftiniji od 0,5 Fr/kWh (1,7 d/kWh), tj. 10 puta jeftiniji od tjednog bazena, onda ga valja upotrijebiti za sezonsko izravnanje. Cijena donjeg bazena će odlučiti, ako se tome dodaje i dnevno ili tjedno izravnanje.

Pojedini projekt koji se uspoređuje s valorizacijom, sadrži i troškove prijenosa. Ako nema projekta koji bi bio rentabilan u godini za koju se traži, valja odgoditi izgradnju s puštanjem u pogon u onoj godini kada je valorizacija viša.

Ova metoda valorizacije ipak vodi računa samo o pretvaranju energije, dok je kod CHE u blizini centra konzuma, naročito s termičkom proizvodnjom, osnovno učešće njezina elastičnost pogona, rotirajuća rezerva i regulacija mreže.

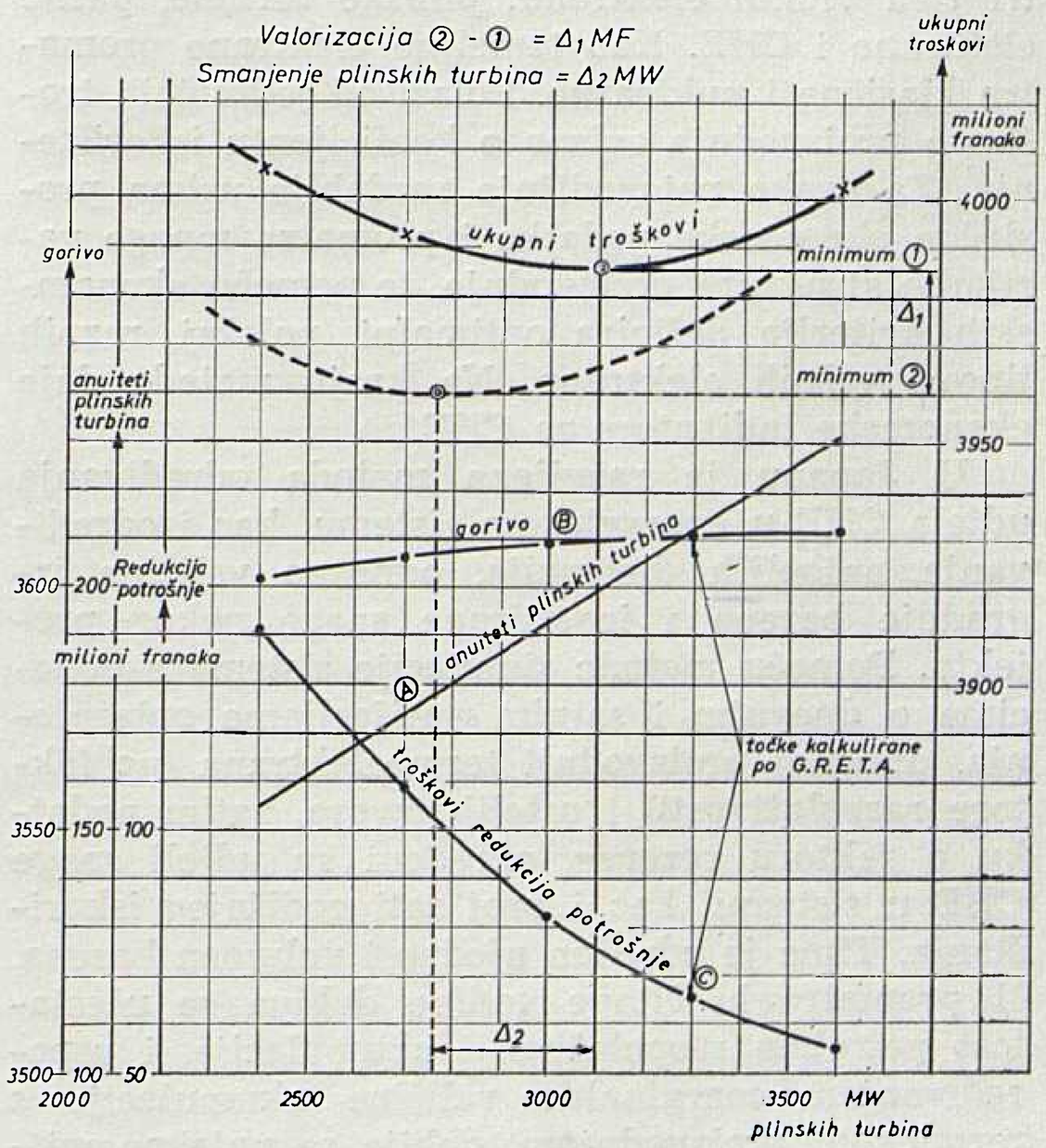
Autor iz Zapadne Njemačke navodi kao najjednostavniju metodu popunjavanje dnevnih dijagrama radnih i neradnih dana, zimskih i ljetnih, uz stupanj razvoja karakteristika tih dijagrama u budućnosti. Valja pri tom znati plan elektrana za određenu godinu promatranja. Rentabilitet se može računati tako da se iz konkretnog dnevnog dijagrama rada temeljnih elektrana i njihovih goriva, a razne instalirane snage CHE i vremena njihovog korištenja, proračuna proizvodna cijena.

Autori iz Poljske traže kriterij za određivanje instalirane snage u funkciji od dnevnog trajanja pražnjenja gornjeg bazena kod pune snage, premda možda dnevni dijagram traži manju snagu kroz duže vrijeme (10—12 sati), ali to ne bi smjelo utjecati na izbor instalirane snage, koja mora biti na raspolaganju i za druge svrhe u elektroenergetskom sistemu. Prema tome glavni utjecaj bi imala ekonomska granica veličine gornjeg bazena. Autori na temelju troškova izgradnje daju dijagram pomoću kojeg se može odrediti instalirana snaga CHE.

Autori iz ČSSR tretiraju problem određivanjem cijene električne energije za pumpanje. Promatraju CHE kao potrošača koji troši energiju za vrijeme sati slabog opterećenja, pa prema tome izaziva samo troškove goriva na koje se dodaju troškovi prijenosa. Kako je teško računati s troškovima za cijelo trajanje rada CHE, odlučili su se samo za promatranje prvih godina pogona.

Cuenod, Švicarska, dao je analitičku metodu proračuna ekonomičnosti CHE za sistem, na osnovi krivulje trajanja opterećenja i u funkciji karakterističnih podataka mreže i srednjih cijena proizvodnje temeljne i vršne energije. CHE smješta u vrh krivulje te uz takve podatke izračunava ukupne troškove sa i bez CHE. S druge strane promatra iznos investicija CHE ovisno o instaliranoj snazi i postavlja jednadžbu koja se može riješiti grafički. Ova je metoda primjenjiva u mreži s pretežno termičkom proizvodnjom. Varirajući parametre CHE dobije se uvid u rentabilnost raznih rješenja.

Cassapoglou, Grčka, dao je također analitičku metodu kombiniranu s grafičkim rješavanjem optimizacije sistema u kojem rade razne vrste termičkih elektrana s CHE. Autor upotrebljava krivulju dnevnog opterećenja i proizvodne cijene elektrana u funkciji koeficijenta iskorištenja. Uzima u obzir potrebu rezerve sistema i razdoblje raspoloživosti elektrana. Postavlja dnevne cijene proizvodnje ovisno o koeficijentu raspoloživosti, što omogućuje da se odredi položaj pojedinih termičkih grupa u dijagramu. Pomoću analitičkih iz-



Sl. 6 Optimizacija strukture izvora u Francuskoj

raza uspoređuje razne kombinacije izvora. Pokazuje se, ako je cijena energije iz nuklearnih elektrana dovoljno niska, da raste uloga CHE, a opada potreba za termoelektranama na ulje. Obrnuto, ako pada cijena izgradnje elektrana na ulje a cijene njihove eksploatacije rastu, uloga CHE u sistemu opada, odnosno dolazi do određenih odnosa u pogledu instaliranja termoelektrane i CHE.

Metoda je primijenjena u primjeru za slučaj tipične krivulje trajanja s faktorom opterećenja 0,625. Uzete su investicije i proizvodne cijene po vrstama izvora kako slijedi:

	$/kW	$/kWh	uz stopu stalnih godišnjih troškova
Nuklearne elektrane	250	0,002	12%
Termoelektrane na ulje	150	0,004	12%
Plinske turbine	100	0,08	13%
Crpne hidroelektrane	130		11%

Ukupna ušteda u troškovima sistema u ovom primjeru, u optimalnoj kombinaciji s CHE je 1,5% prema kombinaciji bez CHE. Varijacija snage CHE prema njenoj optimalnoj snazi od 23,5% nije kritična. Npr. varijacija snage ±20% smanjuje dobit od CHE u sistemu samo za 6%. Nuklearne elektrane, kod povišenja investicija preko 280 $/kW nisu više interesantne za sistem, ni u kombinaciji sa CHE.

Ova metoda, primijenjena s mnogo varijacija ulaznih podataka daje okvirne podatke za razvoj sistema.

Također i Gora (Poljska) opisuje metodu optimiranja sistema s termoelektranama i promatra tri tipa vršnih elektrana: plinske turbine, parne elektrane i CHE. Kao temeljne elektrane promatra klasične i nuklearne. Polazi od jediničnih troškova proizvodnje ovisno o koeficijentu iskorištenja. Za svako petogodišnje razdoblje uzima prosječne ekonomske podatke i promatra mnoge varijante strukture proizvodnje, te pomoću ekonomskih kriterija definira optimalni položaj raznih tipova vršnih elektrana. Na kraju metoda daje ekonomske indikatore za CHE.

U Japanu je razvijena metoda određivanja udjela CHE u energetskom sistemu, kao i određivanja najboljih dimenzija, odnosno veličina izgradnje bazena i instalirane snage nekog projekta. Pomoću metode simulacije sistema s podacima o dnevnim i satnim varijacijama opterećenja, dnevnoj proizvodnji termoelektrana (uz faktore raspoloživosti) i ostalih izvora, zatim podatku o faktoru rezerve, određeni su udjeli snage CHE u sistemu, kao i broj sati godišnjeg iskorištenja. Time je određen ujedno i volumen bazena. U promatranju čitave godine dobiva se učestalost potrebne raspoloživosti akumulacije, i uspoređivanjem marginalne veličine akumulacije s termičkom proizvodnjom, dobije se najekonomičniji kapacitet rezervoara. U raznim slučajevima promatranja raznog učešća CHE u sistemu dobivaju se razni optimalni volumeni rezervoara. Prikazana je funkcionalna veza između ovih veličina.

Nadalje, na projektima velikog broja mogućih lokacija dobiveni su podaci o cijeni izgradnje po instaliranom kW i prema kapacitetu rezervoara. Iz svih rečenih relacija dobivena je konačna cijena CHE ovisno o satima godišnjeg iskorištenja. Sjecište krivulja troškova CHE i troškova termičkih centrala pokazuje najpovoljniji udio CHE u mreži.

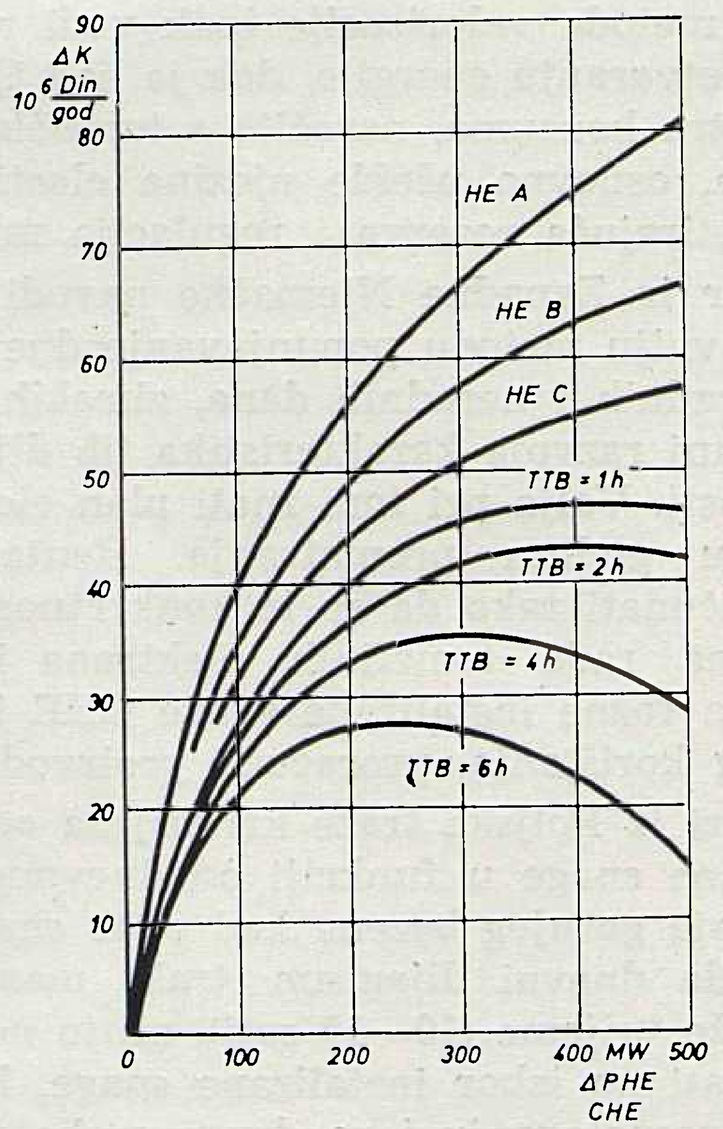
Iz Jugoslavije, referat Požara, daje usporedbene račune uklapanja konkretnih vršnih hidroelektrana i CHE u jedan pretpostavljeni konkretni sistem. Pomoću njegove poznate metode optimiranja sistema uspoređuje efekte izgradnje CHE u varijantama od 100, 300 i 500 MW, uz rad 1, 2, 4 i 6 sati u radnom radu, s efektima povećanja instaliranih snaga triju postojećih hidroelektrana za 100, 300 i 500 MW.

Efekti optimiranja sistema prikazani su u svim slučajevima promatranja u specifičnim troškovima sistema i godišnjim uštedama Δk (vidi sl. 7).

Iz podataka u prethodnom primjeru zaključuje uglavnom slijedeće:

1. Gornja granica specifičnih investicija CHE to je niža što je veća instalirana snaga CHE i trajanje iskorištenja duže.
2. Gornja granica specifičnih investicija dodatnog povećanja instalirane snage hidroelektrana je viša nego li gornja granica za odgovarajuću CHE.

Još jedan referat iz Jugoslavije (Verčon i drugovi) daje metodu optimizacije korištenja voda za razne namjene. Čitav energetsko-hidraulički sistem rastavljen je u više podsistema, od kojih sva-



Sl. 7 Ovisnost ušteda u elektr. energetskom sistemu o povećanju instalirane snage HE i snazi CHE kod raznih trajanja iskorištenja (TTB)

ki služi svojoj svrsi (el. energija, potrošnja vode, održavanje protoka nivoa jezera, vodeni transport). Radi velikog broja varijabli, optimira se po podsistemima, a zatim čitav sistem, najprije po godinama, zatim mjesecima, tjednima, danima i konačno satima. Energetski sistem se sastoji od izvora, HE, CHE, TE i potrošnje električne energije i potrošača vode. Model optimizacije uključuje energetske i hidrauličke efekte. Model omogućuje postavljanje planova proizvodnje energetskih izvora i potrošnje vode, od godišnjih do dnevnih količina.

Konačno, osim ovih metoda valorizacije CHE kao pretvarača energije prikazani su i pokušaji evaluacije funkcije CHE kao faktora povećanja pouzdanosti i fleksibilnosti sistema. Ove prednosti ne utječu izravno na troškove proizvodnje. Autori iz Švicarske pokušali su ocijeniti gubitak za neiskorištenu energiju za elektroprivredni sistem, a s druge strane štetu potrošača električne energije. Analizirajući neki pretpostavljeni mješani energetski sistem s nuklearnim elektranama, po računu vjerojatnosti, došli smo do zaključka, da financijski gubici prekida dobave opravdavaju izgradnju CHE određenih karakteristika.

Zaključak

U ovom izlaganju izdvojeni su iz materijala i prikaza na Simpoziju oni rezultati i informacije koje su najinstruktivnije za ovdje obuhvaćene teme.

Pitanje primjene crpnih hidroelektrana u pogledu aktualnosti i značenja za naš elektroenergetski sistem može naći djelomično odgovor u podacima sa Simpozija, koji se mogu ovako sažeti:

Gledajući na CHE kao sredstvo za pretvaranje temeljne energije u vršnu, odlučan utjecaj na njenu primjenu ima struktura izvora u određenom elektroenergetskom sistemu. Naročito, postojanje hidroelektrana s dovoljno akumulacionog prostora odgađa izgradnju CHE za tu svrhu, ali s druge strane, postojanje velikih termičkih jedinica je unapređuje. Odlučan je odnos cijena između energije za crpni pogon i vršne energije u sistemu.

Raspoloživost energije za pumpanje za vrijeme tjednog odmora upućuje na tjedne akumulacije, a sve veća potražnja za vršnom energijom i višestrukost primjene CHE (tj. i za regulaciju sistema, uključivši momentanu rezervu) upućuje na višesatni dnevni turbinski pogon, odnosno na veće godišnje iskorištenje instalirane snage.

CHE su za sada, kao izvor energije, s gledišta pogonskih troškova, rentabilnije od plinskih turbina, ali do ekonomske granice koju određuje veličina bazena. Kao element regulacije i sigurnosti mreže su ravnopravne s plinskim turbinama, pogotovo ako su smještene u centru konzuma, bez interpolacije dugačkih prijenosnih linija.

Plinske turbine su u prednosti, ako se traži kratki rok puštanja u pogon i dopunska proizvodnja koja nastupa neredovito ili nepredviđeno u višegodišnjem razdoblju.

Ekonomske kriterije za izgradnju CHE, pa i plinskih turbina, isključivo za svrhe regulacije i sigurnosti sistema, to znači s vrlo malim godišnjim iskorištenjem instalirane snage, teško je postaviti, premda su u principu poznatit, jer se prelazi u domenu šteta kod potrošača prouzrokovanih kvalitetom i sigurnošću dobave električne energije.

U svijetu je u toku, a još više se očekuje veliki razvoj izgradnje i instaliranja kako CHE, tako i plinskih turbina, a naravno i ostalih izvora iste namjene, tj. akumulacionih hidroelektrana, ako postoje prirodni uvjeti i kombinacija plinskih i klasičnih termopostrojenja.

Kod CHE se očekuje razvoj podzemnih rješenja, a isto tako i kod plinskih postrojenja razvoj podzemnih akumulacija komprimiranog zraka, tako da će se veliki prijenosi osloboditi vršnih energija što će se proizvoditi u centrima konzuma.

Naslov pisca: Borivoj Baranović, dipl. ing.
Elektroprivreda, Zagreb

ENERGETSKI ZNAČAJ VOLUMETRIJSKIH GUBITAKA KOD HIDRAULIČNIH STROJEVA

Fedor Jelušić, Zagreb

Razmotrena je veličina volumetrijskih gubitaka prolazom pogonske vode kroz raspore labirintskih prstena hidrauličkih strojeva. Koristeći niz mjerenja E. D. F. na turbinama u pogonu, prikazana je ovisnost volumetrijskih gubitaka o opterećenju turbina.

DK 621.221

Uvod

Volumetrijski gubici kod hidrauličkih strojeva nastaju stanovitim potroškom raspoložive pogonske vode koja svoj sadržaj energije ne predaje rotoru stroja. Kod hidrauličkih strojeva (vodnih turbina, pumpnih turbina i centrifugalnih pumpi) rotor se vrti između nepokretnih dijelova konstrukcije stroja, a pritisak vode je tlačnog ruba rotora nužno veći od pritiska na upojnom rubu rotora, pa uz vanjske površine vijenaca rotora (kroz raspore) protiče stanovita količina pogonske vode koja se ne može energetski iskoristiti. Tako nastaju volumetrijski gubici protoka, snage i energije, koji snižuju ukupan stupanj korisnosti hidrauličkih strojeva i kvare bilancu godišnje energije postrojenja.

Kod hidrauličkih strojeva niže i srednje brzohodnosti (to jest kod strojeva s radijalnim i radijalno-dijagonalnim rotorom) ograničava se veličina volumetrijskih gubitaka ugradnjom parova jednostepenih ili višestepenih labirintnih brtvenih prstenova s malim radijalnim rasporom na vanjskom i na unutarnjem vijencu rotora (vidi sl. 3).

Volumetrijske se gubitke smatra nužnim zlom, a općenito se misli da su oni skromne veličine, pa im se ni kod konstrukcije stroja a ni kod eksploatacije postrojenja ne pridaje dovoljno pažnje. U stvari, u toku pogona mogu volumetrijski gubici predstavljati znatan dio od ukupnih gubitaka energije hidrauličkih strojeva.

Približni proračun volumetrijskih gubitaka

Upotrijebit će se ove oznake:

H_1 (m s. v.) visina pritiska ispred labirinata

H_2 (m s. v.) visina pritiska iza labirinta

$\Delta H = H_1 - H_2$ (m s. v.) razlika visine pritisaka labirinata

D (m) srednji promjer labirintnih prestenova

r (m) srednja širina raspora brtvenih površina

L (m) dužina brtvenih kanala jednog labirintnog stepena

Z — broj stepena brtvenih površina labirinata

n (o/min) broj okretaja rotora

$U = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{60}$ (m/s) obodna brzina rotorskog labirintnog prstena

$u \cong 0{,}5\ U$ (m/s) srednja obodna brzina vode u rasporu

V (m/s) srednja aksijalna brzina vode u rasporu

$C = \sqrt{u^2 + v^2}$ (m/s) srednja stvarna (spiralna) brzina vode u rasporu

$\nu = 1{,}1 \cdot 10^{-6}$ (m/s) kinematska viskoznost vode kod $+16°C$

$R_e\mu = \frac{2\mu \cdot r}{\nu}$ Reynoldsov broj za obodno strujanje

$R_eC = \frac{2v \cdot r}{\nu}$ Reynoldsov broj za aksijalno strujanje

$R_eC = \sqrt{0{,}25\ R_{eu}^2 + R_{ev}^2}$ Reynoldsov broj za stvarno (spiralno) strujanje

$\lambda = f_1\ (R_eC)$ koeficijent trenja strujanja vode brtvenim kanalom

$k = f_2\ (R_eV)$ koeficijent kinetičkih gubitaka ulaza i izlaza

Protok kroz 1 par labirintnih prstena je:

$$Q_1 = F \cdot V = D \cdot \pi \cdot s \cdot V\ (m^3/s),$$

a aksijalna srednja brzina vode V je:

$$V = \mu \sqrt{2g \cdot \Delta H} = \frac{\sqrt{2g \cdot \Delta H}}{\sqrt{kZ + \Sigma \frac{\lambda \cdot L}{2r}}}\ (m^3/s),$$

pa je

$$Q_1 = \frac{D \cdot \pi \cdot r \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta H}}{\sqrt{k \cdot Z + \Sigma \frac{\lambda \cdot L}{2r}}}\ (m^3/s). \qquad (1)$$

Za određene labirintne prstene konstantne su samo veličine D, L i Z, dok ostale veličine koje sadrži formula (1) podliježu promjenama u toku rada stroja, to jest:

Razlika pritiska ΔH ovisi o promjeni neto pada postrojenja i o otvoru turbine, to jest punjenja stroja. Širina r raspora povećava se u toku pogona trošenjem brtvenih površina.

Koeficijent gubitaka ulaza i izlaza k ovisi o Reynoldsovom broju R_eV, ovaj se pak mijenja s promjenom širine r raspora.

Koeficient trenja ovisi o Reynoldsovom broju R_eC, ovaj se pak mijenja s promjenom širine r raspora.

Za određivanje veličine koeficienta K i λ mogu se uzeti izrazi i dijagrami iz literature (4) i (5). Za približne proračune može biti dovoljno da se računa s koeficientom $k = 1{,}1 + 1{,}4$. Veće vrijednosti odgovaraju za $R_e V = 4\,000$ do $6\,000$, a kod većih Reynoldsovih brojeva padaju, te kod $R_e V = 12\,000$ asimptotski teže vrijednosti 1,1. Vrijednosti koeficienta λ obično iznose između 0,04 i 0,03, i to za $R_e C = 3500$ odnosno 7 000, dok se kod $R_e C = 60\,000$ smanje na 0,02. Procjenom veličine koeficienta k i λ ne nastaje velika pogreška kod proračunatog protoka Q_1, jer se ovi koeficienti nalaze svaki u jednom članu i to pod kvadratnim korijenom. Općenito je volumetrijski gubitak protoka, Q_L stroja jednak zbroju protoka Q_1 i Q_2 pojedinih parova labirintnih prstena. Ako su pak kod oba para prstena veličine H, L, r i Z jednaka, to je s dovoljnom točnošću:

$$Q_L = 2 \cdot Q_1 \ (\mathrm{m^3/s}).$$

Uz neto pad elektrane H_n i stupanj korisnosti η hidrauličkog stroja kod danih uvjeta bit će volumetrijski gubitak snage stroja:

$$P_{Lp} = \frac{Q_L \cdot H_n}{102} \eta \cong \frac{Q_1 \cdot H_n}{56} \ (\mathrm{kW}) \qquad (2)$$

Relativni volumetrijski gubitak snage Δp kod određenog otvora privodnog aparata i pripadne snage P_t hidrauličkog stroja odredimo iz formule:

$$\Delta_p = \frac{P_{Lp} \cdot 100}{P_t} \ (\%). \qquad (3)$$

Kod punog otvora privodnog aparata i kod strojeva s fiksnim privodnim lopaticama je $P_t = P_n$, to jest, postotni volumetrijski gubitak Δpn se odnosi na nazivnu snagu P_n stroja kod koje apsolutni gubitak snage iznosi P_{Ln} (kW).

Volumetrijski gubitak energije u određenom intervalu vremena jednak je produktu srednjeg volumetrijskog gubitka snage u tom intervalu i trajanja Δt (h). Godišnji je pak volumetrijski gubitak energije:

$$\Delta W = \sum_{0}^{8760} P_{Lp} \cdot \Delta t \ (\mathrm{kWh/god}). \qquad (4)$$

Približno možemo odrediti godišnje volumetrijske gubitke energije nekog hidrauličkog stroja iz produkta nekog srednjeg volumetrijskog gubitka snage i godišnjeg trajanja pogona odnosnog stroja. Za točnije proračunavanje tih gubitaka energije valja poznavati dijagram trajanja godišnjeg opterećenja i ovisnost volumetrijskih gubitaka snage o opterećenju hidrauličkog stroja. Za proračun volumetrijskog gubitka protoka valja uvesti u račun neku srednju širinu r_s raspora brtvenih prstena tijekom godine koju promatramo.

Veličina volumetrijskih gubitaka i ovisnost o opterećenju hidrauličkog stroja

Orijentacione veličine relativnih volumetrijskih gubitaka ΔP_n kod nazivne snage nalazimo u referatu Kleina (Lit. 1) te iznose:

$\Delta p_n = 1{,}2$ (%) za Francis turbine
$\Delta p_n = 0{,}95$(%) za pumpni pogon pumpne turbine
$\Delta p_n = 1{,}28$(%) za turbinski pogon pumpne turbine

Ove vrijednosti odnose se na nove ili neistrošene brtvene labirintne prstene, a dobivene su analitičkim putem. U članku Viano-a [Lit. (4)] dana je tablica izmjerenih vrijednosti volumetrijskih gubitaka propuštanjem labirintnih prstenova na unutarnjem vijencu nekoliko turbina tipa Francis. Mjerenja je provela služba francuske elektroprivrede (E. D. F.). Proračunavši vrijednost tablice na oba para labirintnih prstena dobiju se ovi relativni volumetrijski gubici Δp_n kod nazivne snage:

Turbina	Raspor (mm)	Δp_n (%)	Napomena
Avrieux 1	0,75	1,57	Novi prsteni
Avrieux 1	1,95	6,22	
Brommat 4	0,90	2,88	
Brommat 6	1,40	4,15	

Ove vrijednosti prema mjerenjima daju veće volumetrijske gubitke već kod novih labirintnih brtvenih prstenova nego što je navedeno u literaturi (1), a pokazuju i velik porast tih gubitaka u toku pogona uslijed istrošenja brtvenih površina i povećanja širine r brtvenog raspora.

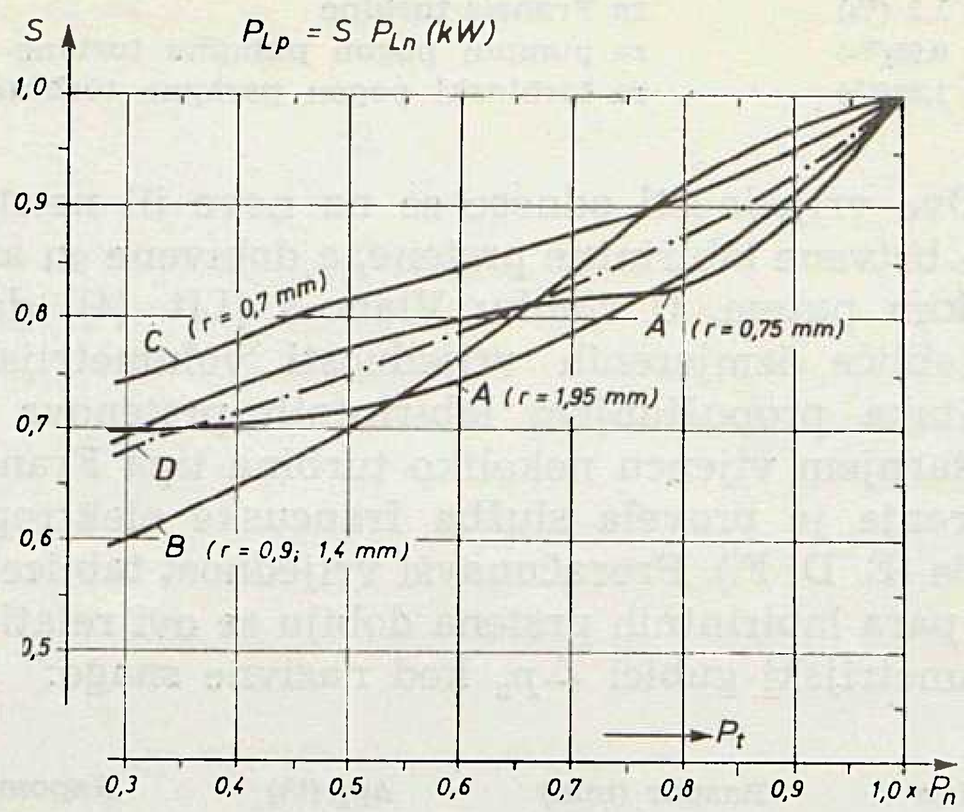
Brtvene površine labirintnih prstenova troše se abrazijom i erozijom. Ovo trošenje je to brže što je veći pad postrojenja, pa ΔH i aksijalna brzina V, te što je veća obodna brzina V rotorskih labirinta. Osobito je brzo napredovanje trošenja brtvenih površina kad pogonska voda pronosi veće količine mehanički tvrdog suspendiranog pijeska, što je redovno slučaj kod alpskih vodotoka. Brzina trošenja brtvenih površina ovisi naravno i o kvaliteti materijala površina izloženih struji vode.

U pogledu trošenja dobro se pokazuje nerđajući čelik, a najotpornije su površine čelika koje su elektrolitskim putem prevučene slojem tvrdog kroma.

Napredovanje trošenja brtvenih površina za Francis turbine »Piottino« s rotorom iz bronze pokazano je u literaturi (7). Početna širina raspora $r = 0{,}45$ mm porasla je na 0,9 mm nakon 15 000 sati pogona, dok je nakon 26 000 sati pogona porasla već na 1,7 mm. Ovaj primjer pokazuje, da se proces trošenja vremenom ubrzava, a kako to formula (1) pokazuje relativni porast volumetrijskih gubitaka je uvijek veći od relativnog povećanja širine r raspora.

Kod smanjivanja otvora privodnog aparata i opterećenja turbina P_t smanjuje se nešto i apsolutna vrijednost volumetrijskih gubitaka P_{Lp} (kW), ali procentualna vrijednost volumetrijskih gubitaka od parcijalne snage Δp(%) se ipak povećava, tako da je najmanja vrijednost Δp_n(%) kod nazivne snage P_n stroja.

Da bi odredili približnu zakonitost smanjenja apsolutnih volumetrijskih gubitaka sa smanjenjem opterećenja stroja na temeljnu rezultata prije spomenutih mjerenja E. D. F.-a, konstruirane su kri-



Sl. 1 Faktori smanjenja volumetrijskih gubitaka kod parcijalnih opterećenja vodnih turbina

Mjerenje E. D. F. na strojevima:
A Avrieux 1; 3,2 MW; 100 m; 600 o/min
B Monistrol d'Allier; 5,8 MW; 188 m; 750 o/min
D Srednje vrijednosti (aproksimacija)

vulje faktora S smanjenja tih gubitaka i prikazane su grafički na sl. 1. Pri tom je

$$S = \frac{P_{Lp}}{P_{Ln}} \cdot \text{a} \quad P_{Lp} = f(p_t)\,.$$

Usprkos dosta nepravilnom slijedu ovih krivulja, što mora da potječe od pogrešnog mjerenja, može se povući krivulja približno srednjih vrijednosti označena sa *D*, kojoj odgovaraju ove vrijednosti:

Opterećenje turbine P_t (%):	100	90	80	70	60	50	40	30
Faktor smanjenja *S*:	1,0	0,925	0,875	0,83	0,79	0,75	0,71	0,68

Utjecaj opterećenja stroja na veličinu volumetrijskih gubitaka važan je jedino kod reguliranih turbina i kod pumpnih turbina u turbinskom pogonu, dok se kod pumpi i kod pumpnog pogona pumpnih turbina pogon obavlja uz stalan otvor difuzorskih, odnosno privodnih lopatica.

Na dijagramu Sl. 2. prikazane su promjene procentualnih volumetrijskih gubitaka Δp strojeva u odnosu na razvijene parcijalne snage dviju turbina (A i B), i to kod dviju različitih širina raspora *r*. Ove četiri krivulje konstruirane su proračunavanjem vrijednosti iz nizova mjerenja E. D. F.-a navedenih u tablici na strani 57. literature (4). Pri tom su udvostručeni izmjereni volumetrijski gubici labirinata na unutarnjem plaštu rotora. Volumetrijski gubici labirinata na vanjskom plaštu rotora najmanje su, naime, kod turbina jednaki onima na unutarnjem plaštu rotora. Iza labirinata na unutarnjem plaštu vlada stanoviti protutlak, dok iza labirinata na vanjskom plaštu vlada nešto niži pritisak jednak onom na početnom dijelu upojne cijevi, pa je razlika pritisaka ΔH nešto veća.

Krivulja C na sl. 2. prikazuje vjerojatan slijed volumetrijskih gubitaka za turbinu sa $\Delta p_n = 1{,}2\%$ uz primjenu vrijednosti *S* prema krivulji *D* na slici 1 .Vrijednosti Δp (%) prema slici 2. dane tablično iznose:

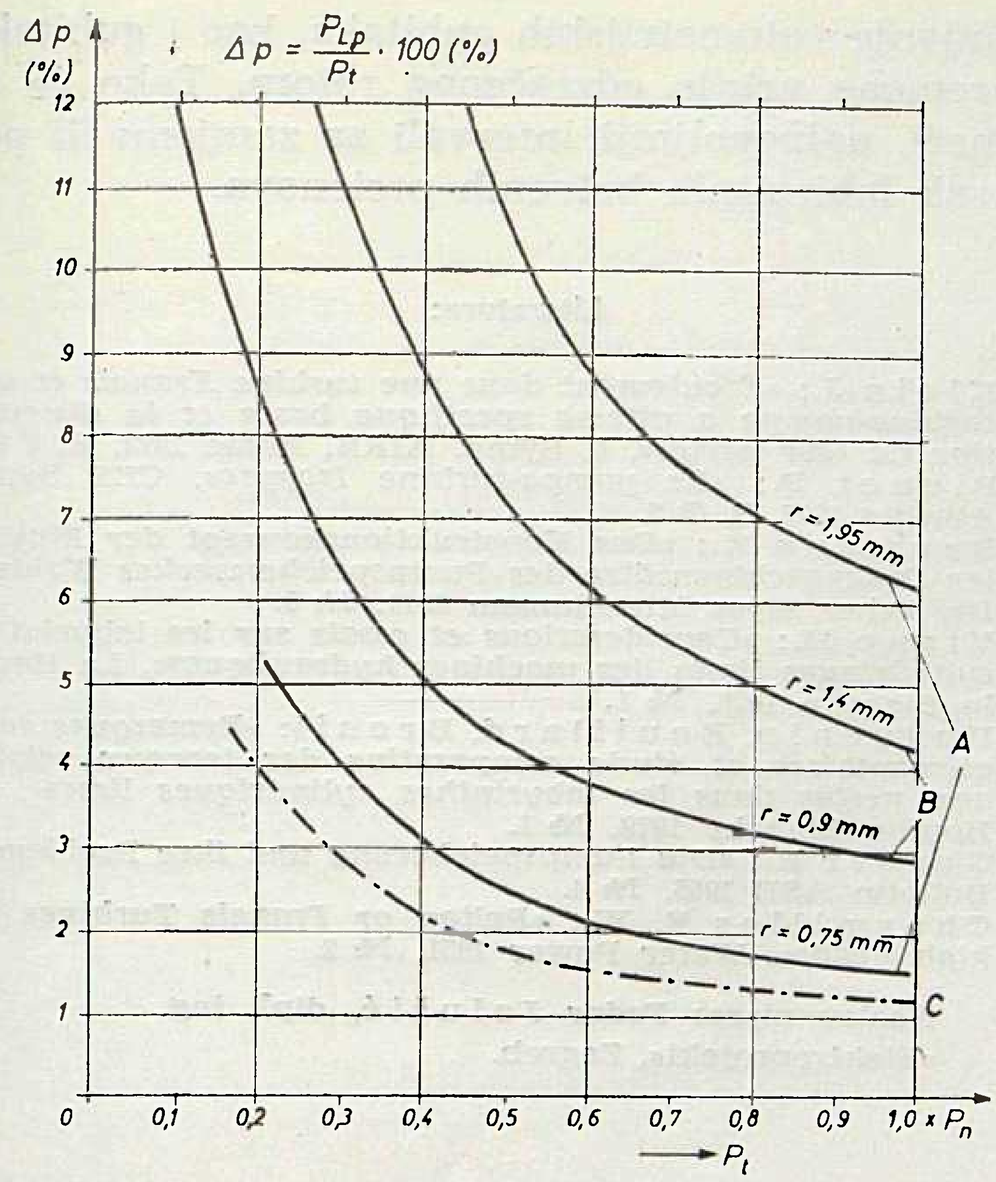
Turbina	Raspor (mm)	Relativno opterećenje turbina (%)				
		100	80	60	50	40
Avrieux 1	0,75	1,57	1,73	2,13	2,53	3,1
Avrieux 1	1,95	6,22	7,0	8,7	10,6	14,0
Brommat 4	0,9	2,88	3,2	3,8	4,2	5,0
Brommat 6	1,4	4,15	5,03	6,12	7,2	8,8
C (Lit. 1.)	—	1,2	1,32	1,59	1,8	2,1

Prikazane veličine i karakter ovisnosti procentualnih volumetrijskih gubitaka odnose se na Francis turbine, no nema razloga da budu bitnije razlike kod volumetrijskih gubitaka turbina.

Gubici vrtnje odzračenog rotora

Kod promatranog tipa hidrauličkih strojeva dosta se često pogon grupe obavlja uz vrtnju rotora hidrauličkog stroja u zraku. Ovakav režim vrtnje obavlja se kod kompenzatorskog pogona zbog popravljanja faznog faktora električne mreže, a kod trojnih grupa pumpno-akumulacionih hidroelektrana obično nema izvrstive spojke između turbine i električkog stroja, pa se u pumpnom pogonu rotor turbine vrti u zraku. Kod trojnih grupa s nedjeljenom osovinom (kakva je nama P. H. E. Fužine, a novije je takvo postrojenje »Waldeck II«, opisano u literaturi 3), kao i kod strojeva tipa Isogyre, u oba režima pogona se jedan od hidrauličkih rotora vrti u zraku, a u kompenzatorskom pogonu moraju se čak oba rotora vrtjeti u zraku.

Kod vrtnje rotora hidrauličkih strojeva u zraku valja labirintne prstene orošavati, tj. hladiti i podmazivati vodom, radi odvođenja razvijene topline, ali i radi osiguranja, da ne bi došlo do zaribavanja brtvenih prstenova s malim rasporom. Kod obične izvedbe labirintnih prstenova s malim rasporom postoji, naime, opasnost da uslijed razlika dilatacija i radijalnog izbacivanja rotora povremeno dođe do dodira površine rotorskog brtvenog prstena s mirujućim brtvenim prstenom na kućištu. Voda za hlađenje labirinata rotira, pa se skuplja uz tlačni rub rotora i uzrokuje gubitke energije uslijed trenja vrtnje vijenaca rotora u vodi. Relativne vrijednosti ovih gubitaka ovise o tipu stroja, o količini vode dovedene labirintima (vidi lit. (6), sl. 14.) i o djelotvornosti odvoda vode kod oboda rotora. Gubitak snage kod vrtnje rotora pumpnih turbina i akumulacionih pumpi u odzračenom prostoru iznosi obično od 1,5% do 3% od nazivne snage stroja. Ovi su gubici nekoliko puta manji kod odgovarajućih Francis turbina, jer im je promjer rotora manji, pa se kreću od 0,5% do 1,5% od nazivne snage. Radi informacije spomenimo, da je kod turbine »Ferrera II« (72 MW, 750 o/m) izmjeren gubitak vrtnje rotora u zraku od 870 kW ili oko 1,2% od



Sl. 2 Ovisnost volumetrijskih gubitaka snage o opterećenju vodnih turbina kod raznih širina raspora labirintnih prstena

Mjerenje E. D. F. na strojevima:

A Avrieux 1
B Brommat 4 i 6
C Turbina uz $\Delta p = 1{,}2\%$ kod P_n a *S* prema Sl. 1 — D

nazivne snage kod potroška vode za hlađenje i mazanje labirinata od 27,8 l/s [Lit. (6)].

Gubici vrtnje odzračenog rotora mogu se smajiti, a da se ne povećavaju volumetrijski gubici u redovnom režimu pogona, ako se kod vrtnje rotora u zraku do te mjere poveća širina raspora između brtvenih površina labirintnih prstenova, da mazanje labirinata vodom postane nepotrebno.

Jedan od načina za povećanje širine raspora, između labirintnih prstenova prikazuje sl. 3, koja je uzeta iz članka Baumanna [Lit. (3), B, 10/11], a odnosi se na akumulacione pumpe od 230 MW novog njemačkog postrojenja »Waldeck II«, što ih je izradila tvornica Escher Wyss. Kod vrtnje rotora u zraku labirintni prsteni kućišta označeni sa (3) i (5) aksijalno se odmaknu od rotora za nešto više od visine jednog labirintnog stepena, uslijed čega se širina raspora jako poveća. Dok bi kod normalne izvedbe labirinata uz mazanje vodom gubici vrtnje odzračenog rotora iznosili kod takvog stroja oko 3 800 kW ($\cong$ 1,62% od P_n), nakon povećanja raspora, a bez mazanja vodom, preostaju gubici vrtnje od svega 170 kW ($\cong$ 0,07% od P_n).

Drugi poznati način promjene širine raspora između labirintnih prstenova prikazuje sl. 4, koja je preuzeta iz referata Piguet-a [Lit. (2), Fig. 2]. Ovakvu izvedbu labirintnog prstena primjenit će tvornica At. d. Charmilles kod pumpnog i kod turbinskog rotora novog stroja tipa Isogyre za postrojenje »Handeck III« u Švicarskoj. Kod ovog rješenja s jednostepenim obručnim prstenom (3) od elastičnog materijala, smanjenje širine raspora za redovan pogon postiže se dovodom tekućine pod pritiskom u komoru oko brtvenog prstena koji se zbog toga stlači u radijalnom smjeru i približi brtvenoj površini na plaštu (1) rotora.

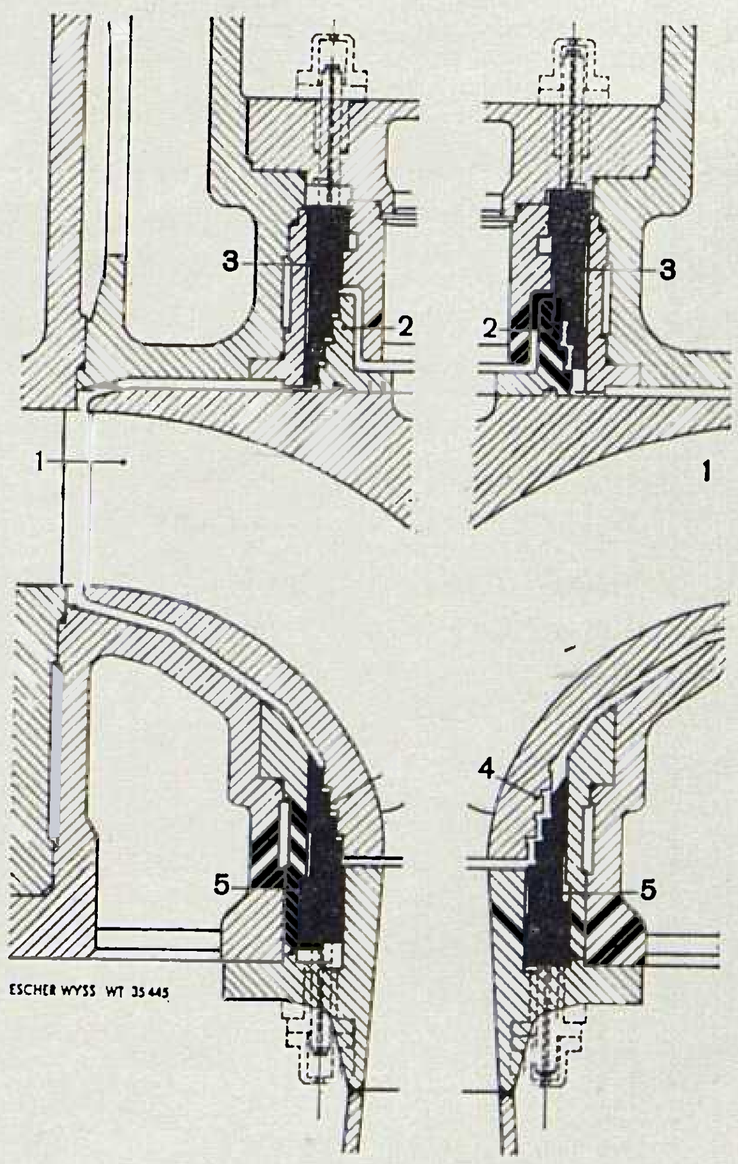
U sl. 4 prikazan je brtveni prsten (3) u položaju za vrtnju rotora u zraku s većom širinom brtvenog raspora, koja se postiže ispuštanjem tekućine iz komore oko brtvenog prstena.

Oba spomenuta načina labirintnih prstenova s povećanjem širine raspora između brtvenih površina mogu se naravno upotrijebiti i kod Francis turbina, a posebno kod pumpnih turbina koje imaju velike gubitke vrtnje rotora u odzračenom prostoru, ako se labirintni prsteni podmazuju vodom.

Zaključak

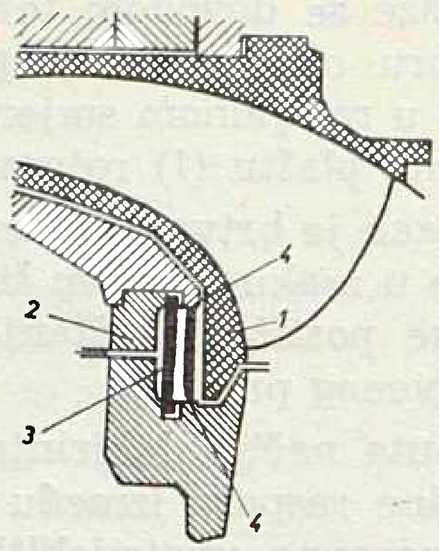
Vrijednost procentualnih volumetrijskih gubitaka Δp u odnosu na snagu P_t stroja grafički prikazane u sl. 2 i navedene u pripadnoj tablici pokazuju, da ovi gubici mogu u toku eksplotacije hidrauličkih strojeva doseći daleko veće vrijednosti nego što se to često ocjenjuje. Moderne, veće vodne turbine postižu stupanj iskoristivosti od 93% do 95% u optimalnoj točci (obično kod $P_t = 0{,}8\ P_n$), kod čega na volumetrijske gubitke ne otpada manje od nazivne snage, a to već predstavlja od 21% do 30% ukupnih gubitaka hidrauličkog stroja kod otvora za najbolju iskoristivost.

Iz prikazanog se vidi da nije dovoljno uzimati u obzir volumetrijske gubitke kod nazivne snage i kod novih neistrošenih labirintnih prstenova. Stvarni nepovoljni utjecaj volumetrijskih gubitaka na energetsku bilancu i ekonomiju postrojenja može se ocijeniti jedino ako se ovi gubici uzimaju u



Sl 3 Aksijalno pomični labirintni prsteni kućišta izvedbe tvornice Escher wyss

Lijevo: položaj za redovni pogon
Desno: položaj za vrtnju rotora u zraku



Sl. 4 Radijalno pomični elastični labirintni prsten kućišta izvedbe tvornice At. d. Charmilles

Položaj za vrtnju rotora u zraku

obzir procentualno veći kod djelomičnih opterećenja strojeva, kao i njihovo povećanje tokom pogona istrošenjem brtvenih površina i povećanjem širine raspora. Na temelju takve ocjene moći će se odrediti koliko se više isplati uložiti sredstava za smanjenje volumetrijskih gubitaka, kao i gubitaka povremene vrtnje odzračenog rotora. Tako će se pronaći, najpovoljniji intervali za zamjenu ili popravak labirintnih brtvenih prstenova.

Literatura:

(1) Klein J.: »*Écoulement dans une turbine Francis et une turbine-pompe a vitesse specifique basse et la distribution de leur pertes*«, 6. Symp. AIRH, Rome 1972, R. F 3.
(2) Piguet P.: »*La pompe-turbine Isogyre*«, CEE Symp. Athenes 1972. R. D 7.
(3) Baumann K.: »*Das Konstruktionskonzept der Einwellen-Dreimaschinensätze des Pumpspeicherwerkes Waldeck II*«, Esher Wyss Mitteilungen 1971. № 2.
(4) Viano M.: »*Considerations et essais sur les labyrinthes cylindriques lisses des machines hydrauliques*«, La Houille Blanche 1970, № 1.
(5) Huguenin, Bouillard, Breuil: »*Remarques complémentaires et étude comparative des travaux relatifs aux pertes dans les labyrinthes cylindriques lisses*«, La Houille Blanche 1970, № 1.
(6) Gerber H.: »*Die Pumpspeicherung und ihre Probleme*«, Bulletin ASE 1965, № 4.
(7) Charmilles E. W.: »*Pelton or Francis Turbines for high heads*«, Water Power 1951, № 2.

Naslov pisca: Fedor Jelušić, dipl. ing.
»Elektroprojekt«, Zagreb.

POVEĆANJE POGONSKE SIGURNOSTI RASKLOPNIH POSTROJENJA 110 kV S JEDNIM SISTEMOM SABIRNICA

Božidar Radmilović, Zagreb

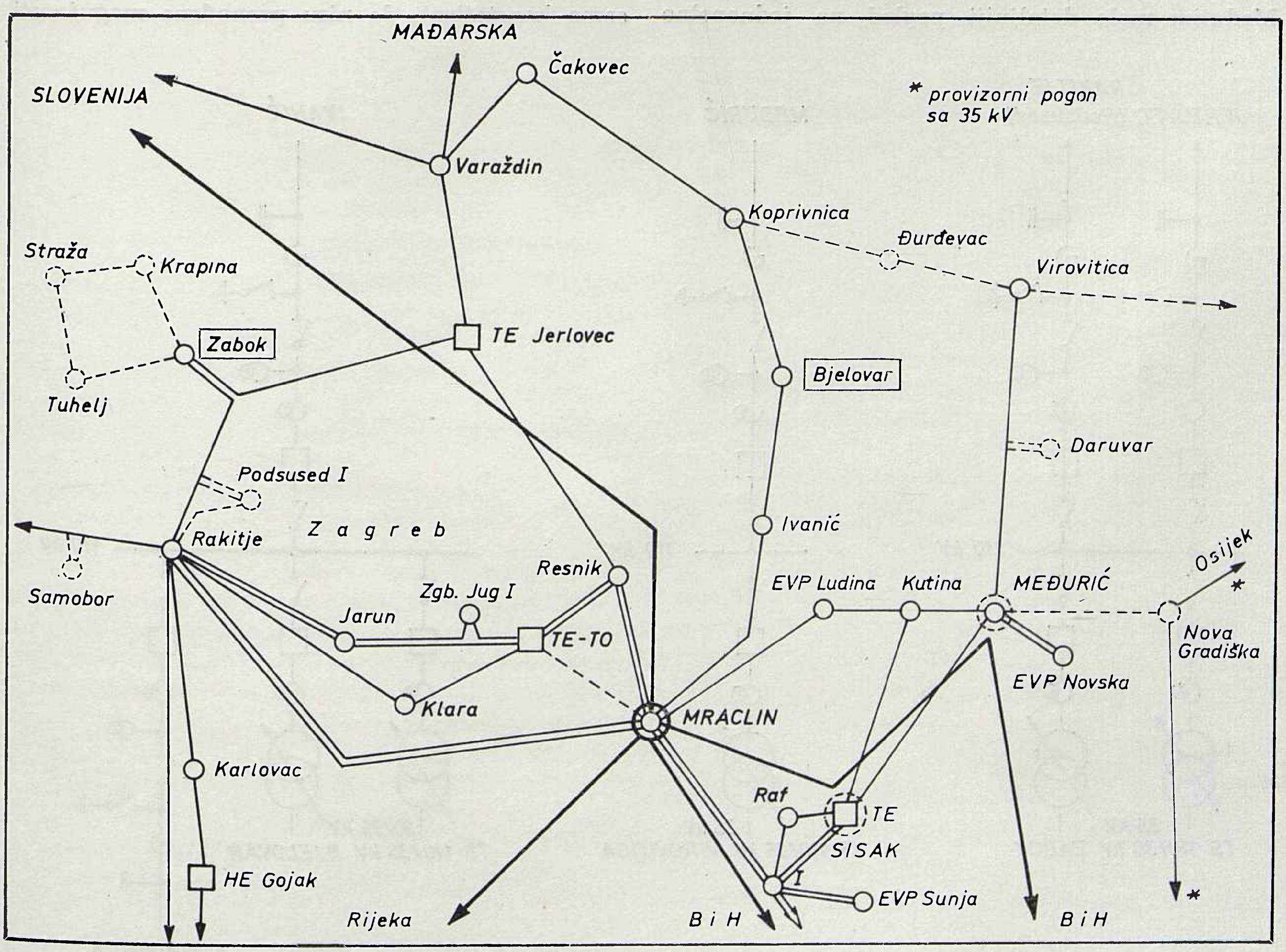
Određen broj transformatorskih stanica 110/30-35 kV izrađen je s jednim sistemom sabirnica 110 kV, što se u današnjoj fazi, a pogotovo u budućem razvoju mreže, pokazuje kao nedovoljno sigurno rješenje. Daje se prijedlog rješenja konkretnih postrojenja dogradnjom pomoćno-poprečnih sabirnica i korištenjem sekcioniranja sabirnica.

DK 621.316.9

U jednom razdoblju izgradnje objekata 110 kV prijenosne mreže na području djelovanja »Elektroprenosa« — Zagreb postojala je tendencija izgradnje minimalno opremljenih rasklopno-transformatorskih postrojenja 110/30-35 kV. Tako su od 1964. do 1966. godine uza zgrade postojećih transformatorskih stanica 110/30-35 kV Zabok, Bjelovar i Virovitica dograđena 110 kV postrojenja s odgovarajućom transformacijom 110/30-35 kV (sl. 1). Vremenom su se ta 110 kV postrojenja dograđivala i širila, tako da su danas dosegla obujam i veličinu odgovarajuću jednopolnim shemama na sl. 2.

S obzirom na svoj položaj u današnjoj konfiguraciji 110 kV mreže »Elektroprenosa« — Zagreb, a pogotovo u mreži koja se očekuje u bliskoj budućnosti (sl. 1), ova postrojenja ne zadovoljavaju tražene uvjete i kriterije s obzirom na sigurnost pogona. Rečeni kriteriji (L. 1) traže, naime, da svaka transformatorska stanica 110/30-35 kV mora imati osigurano ili dvostrano napajanje iz mreže 110 kV ili jednostruko napajanje iz mreže 110 kV uz sigurnosno napajanje od izvora iz mreže 30-35 kV. Isto tako svaka takva stanica mora imati, u slučaju ispada jednog transformatora 110/30-35 kV, ili dovoljnu rezervu u drugim transformatorima samog postrojenja, ili ta rezerva mora biti osigurana iz lokalnih elektrana ili transformatora iz okolnih TS 110/30-35 kV preko mreže 30-35 kV.

Prema tome, svako rasklopno transformatorsko postrojenje 110/30-35 kV mora biti dimenzio-



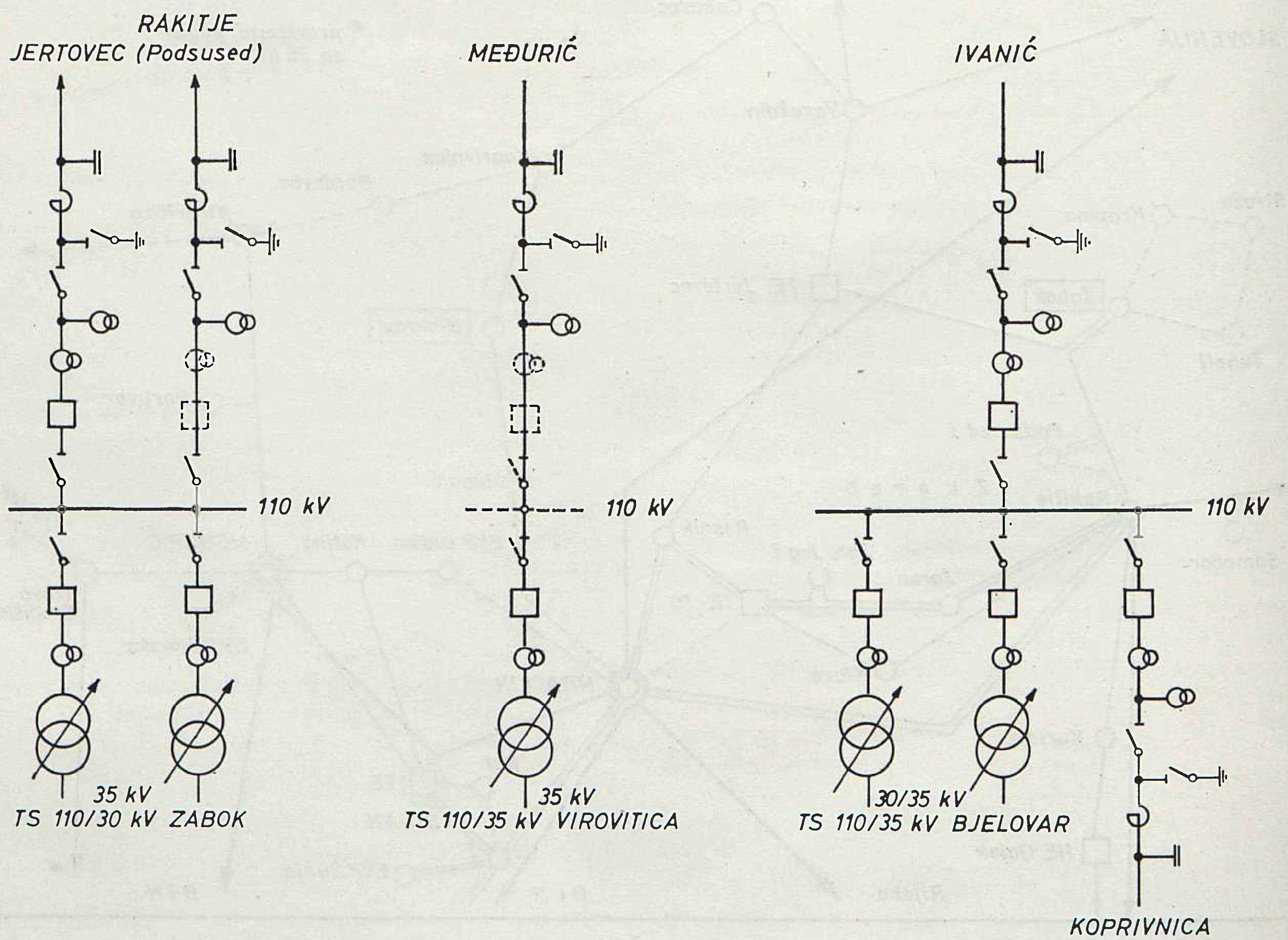
Sl. 1 Mreža 220 i 110 kV »Elektroprivrede« — Zagreb

nirano i riješeno tako, da opskrba potrošača na niženaponskoj strani ostane neporemećena u slučaju isključenja jednog pojnog voda 110 kV ili jednog transformatora 110/30-35 kV.

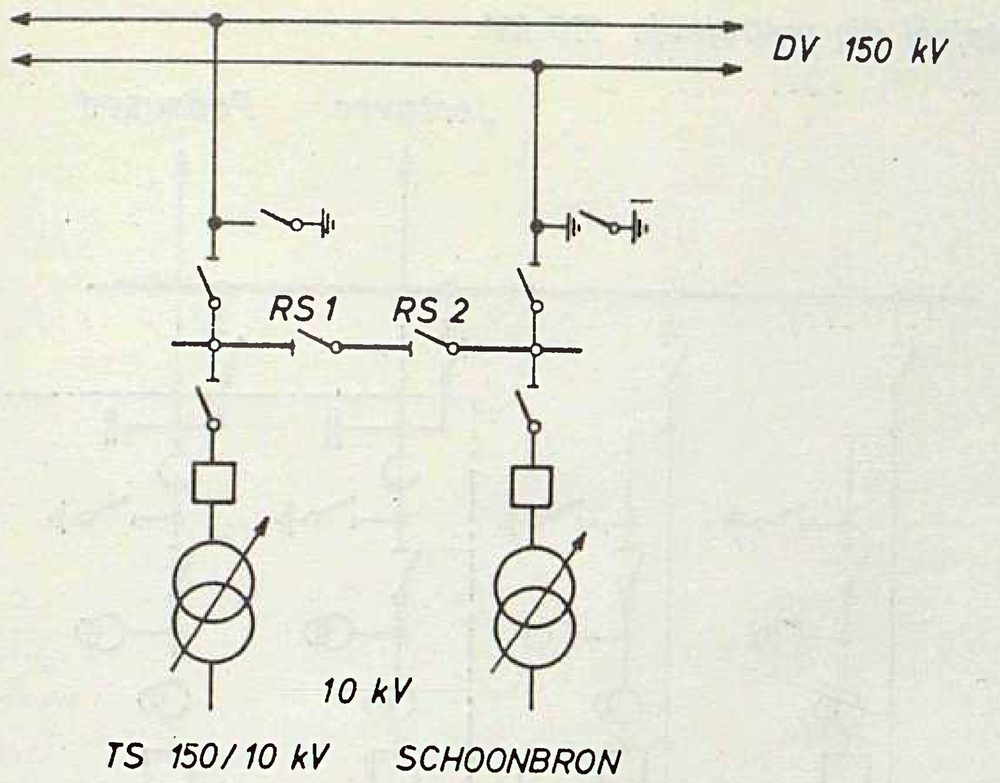
Iz jednopolnih shema promatranih postrojenja (sl. 2) vidljivo je da TS Virovitica — u sadašnjoj fazi opremljenosti 110 kV postrojenja — ne zadovoljava tražene kriterije, jer ima samo jedan vod 110 kV i jedan transformator 110/35 kV snage 20 MVA. Mogućnost prijenosa 35 kV mrežom od TS Koprivnica je veoma mala (oko 4 MVA) i pokriva samo 30% maksimalnog opterećenja transformatora (XII. mj. 1972). Međutim upravo se završavaju projekti za proširenje postrojenja 110 kV u kojima je predviđena ugradnja još jedne transformatorske jedinice 110/35 kV, 20 MVA, kao i definitivna zgrada 35 kV postrojenja (L. 4). Tako će, barem što se tiče transformacije, u dogledno vrijeme biti postignuta tražena pogonska sigurnost. Što se pak tiče osiguranja napajanja iz mreže 110 kV, može se očekivati izgradnja drugih vodova tek u razdoblju 1975—80, najvjerojatnije najprije u smjeru Podravske Slatine (»Elektroslavonija« — Osijek), a nakon toga u smjeru Đurđevca i Koprivnice (sl. 1).

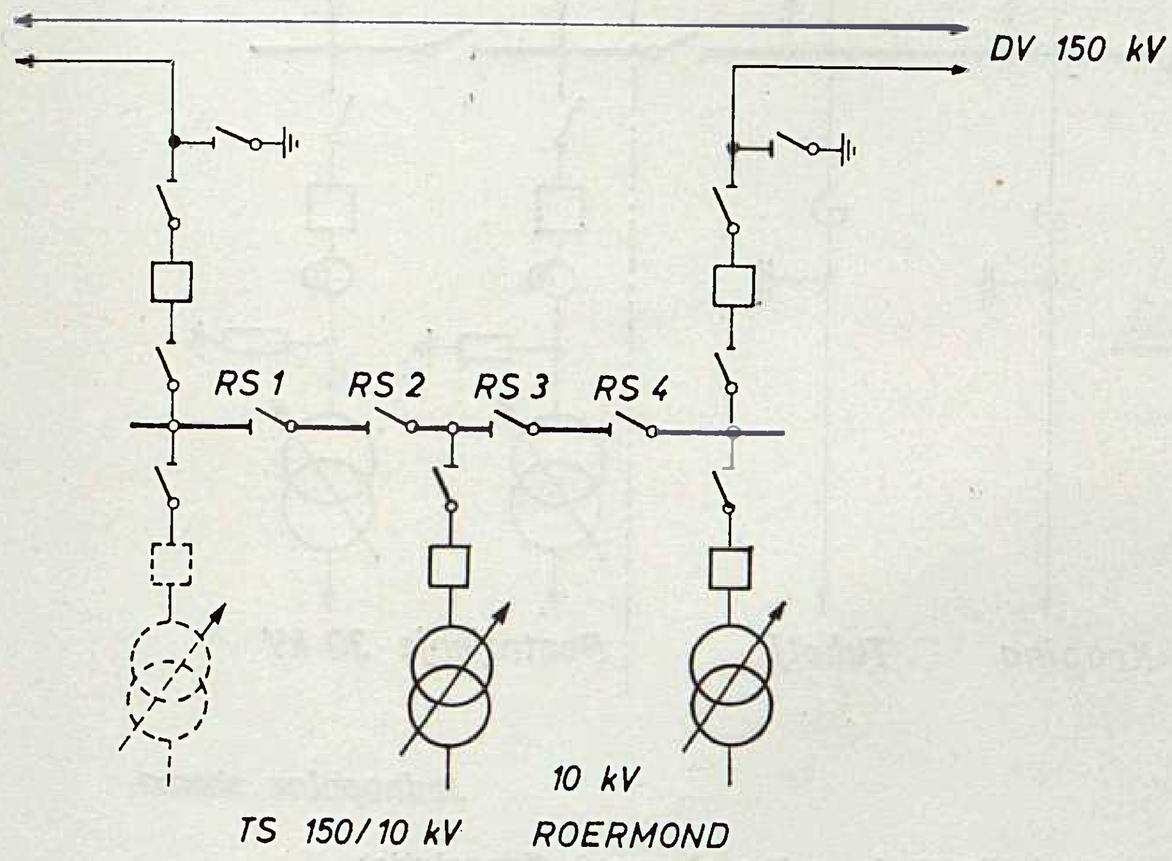
Transformatorske stanice Zabok i Bjelovar na prvi pogled zadovoljavaju tražene kriterije, jer imaju po dva transformatora (s izvjesnim rezervama u snazi) kao i po dva pojna voda 110 kV. Međutim malo detaljniji pogled na jednopolne sheme ovih postrojenja (sl. 2) ukazuje da je ovakvo dvostrano napajanje veoma problematično. Naime, bilo kakva smetnja i bilo koji zahvat na sabirnicama ili sabirničkim rastavljačima 110 kV isključuje iz pogona cijelo postrojenje i to tako dugo, dok se ne otkloni smetnja, odnosno njene posljedice, ili do završetka radova na tom dijelu postrojenja. A kako sabirnički rastavljači 110 kV u TS Zabok nisu bili revidirani od trenutka stavljanja u pogon (1964), to oni danas predstavljaju osjetnu potencijalnu opasnost za neki defekt širih razmjera. Još bi kritičnije stanje nastalo u doglednoj budućnosti, kada će trebati iz TS Zabok izvesti dva voda 110 kV za priključak novih stanica 110/30 kV u Tuhlju, Krapini i Straži (sl. 1). Tada bi sigurnost cijele ove mreže ovisila o stanju sabirnica 110 kV u TS Zabok, odnosno svaka bi smetnja na tom dijelu postrojenja isključila napajanje širokog konzumnog područja sa snagom 60—80 MVA.

Očito je, da se ne može dozvoliti da dođe do ovakvog stanja, pa je odlučeno da se proširenje postojećeg postrojenja 110 kV u Zaboku izvede na takav način (uključujući pri tome i izvjesne manje rekonstrukcije postojećeg dijela postrojenja) da se maksimalno moguće poveća njegova pogonska sigurnost. To vrijedi i za projektiranje proširenja (praktički novog) postrojenja 110 kV u TS Virovitica. U slučaju TS Bjelovar može se samo konstatirati da nisu pronađene mogućnosti



Sl. 2 Jednopolne sheme 110 kV postrojenja TS Zabok, Virovitica i Bjelovar (postojeće stanje)





Sl. 3 Osnovne jednopolne sheme otcjepnih i umetnutih rasklopnih postrojenja 150 kV (PLEM Maastricht)

za neke zahvate u navedenom smislu naprosto zato, jer se je prigodom izgradnje toliko štedjelo na zemljištu 110 kV postrojenja, da je nemoguće izvesti neku rekonstrukciju. Ostaje samo da se 110 kV mreža na ovom području razvija tako da ne dođe do potrebe uvođenja novih vodova u 110 kV postrojenje postojeće TS 110/35 kV Bjelovar.

Kao sredstva ili metode za povećanje pogonske sigurnosti 110 kV postrojenja u Zaboku i Virovitici, koja nisu u koliziji sa postojećim postrojenjem i raspoloživim prostorom su:

a) pomoćno-poprečne sabirnice
b) sekcioniranje glavnih sabirnica.

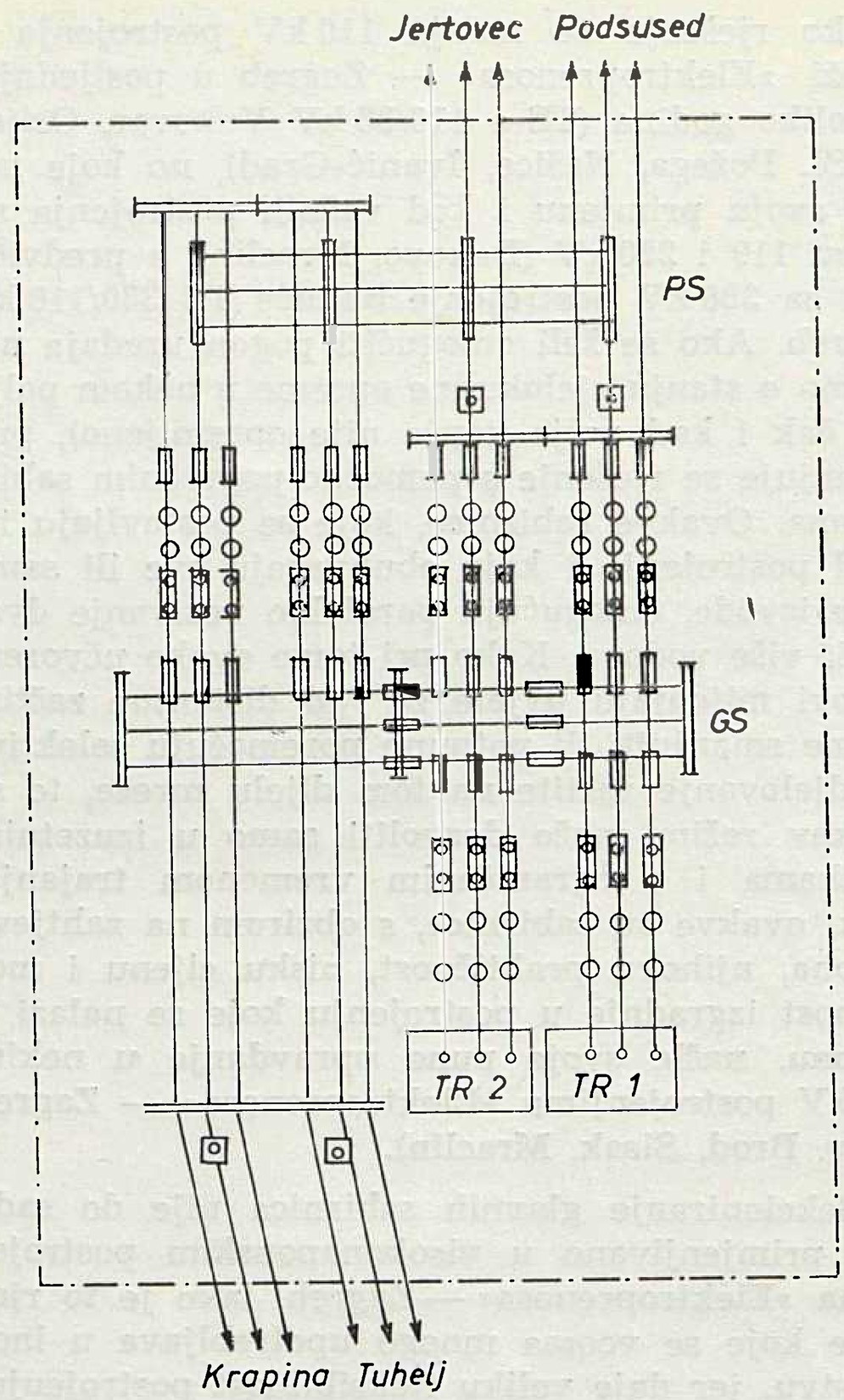
Pomoćne ili pomoćno-poprečne sabirnice izvode se u onim postrojenjima u kojima se želi do maksimuma omogućiti nesmetani pogon uređaja (voda ili transformatora), bez obzira na pogonsku spremnost ili stanje aparata i opreme u tom polju (L. 2). Ukoliko se ocijeni da su samo prekidači kritične točke sustava, tada se primijenjuje rješenje s pomoćnim sabirnicama, uz prebacivanje djelovanja zaštitnih uređaja, odnosnog objekta (voda ili transformatora) na prekidač u spojnom polju, kada on zamjenjuje prekidač polja. Ovo je tipsko rješenje za manja 110 kV postrojenja u mreži »Elektroprenosa« — Zagreb u posljednjih nekoliko godina (TS-e 110/35 kV Vukovar, Osijek II. Sl. Požega, Našice, Ivanić-Grad), no koje nalazi svoju primjenu i kod važnih postrojenja na nivou 110 i 220 kV (Đakovo, Mraclin), a predviđa se i za 380 kV postrojenje buduće TS 380/110 kV Zagreb. Ako se želi omogućiti pogon uređaja neovisno o stanju cjelokupne opreme u nekom polju (pa čak i kad polje uopće nije opremljeno), primijenjuje se rješenje s pomoćno-poprečnim sabirnicama. Ovakve sabirnice, koje se postavljaju ispred postrojenja i koje obuhvaćaju sve ili samo neke izvode, omogućuju paralelno vezivanje dvaju ili više vodova. Kako pri tome ovako učvoreni vodovi mijenjaju uvjete za rad distantne zaštite i time smanjuju ili potpuno poremećuju selektivno djelovanje zaštite na tom dijelu mreže, to se ovakav režim može dozvoliti samo u izuzetnim prilikama i s ograničenim vremenom trajanja. Ipak, ovakve su sabirnice, s obzirom na zahtjeve pogona, njihovu praktičnost, nisku cijenu i mogućnost izgradnje u postrojenju koje se nalazi u pogonu, našle svoje puno opravdanje u nekim 110 kV postrojenjima »Elektroprenosa« — Zagreb (Slav. Brod, Sisak, Mraclin).

Sekcioniranje glavnih sabirnica nije do sada bilo primjenjivano u visokonaponskim postrojenjima »Elektroprenosa« — Zagreb, iako je to rješenje koje se veoma mnogo upotrebljava u inozemstvu, jer daje veliku fleksibilnost postrojenju, kako prigodom pogona i održavanja, tako i u slučaju kvara. Na sl. 3. prikazane jednopolne sheme otcjepnih i umetnutih rasklopnih postrojenja 150 kV u mreži nekog nizozemskog elektroprivrednog poduzeća (PLEM — Maastricht, L. 3) očito pokazuju sve prednosti ove izvedbe.

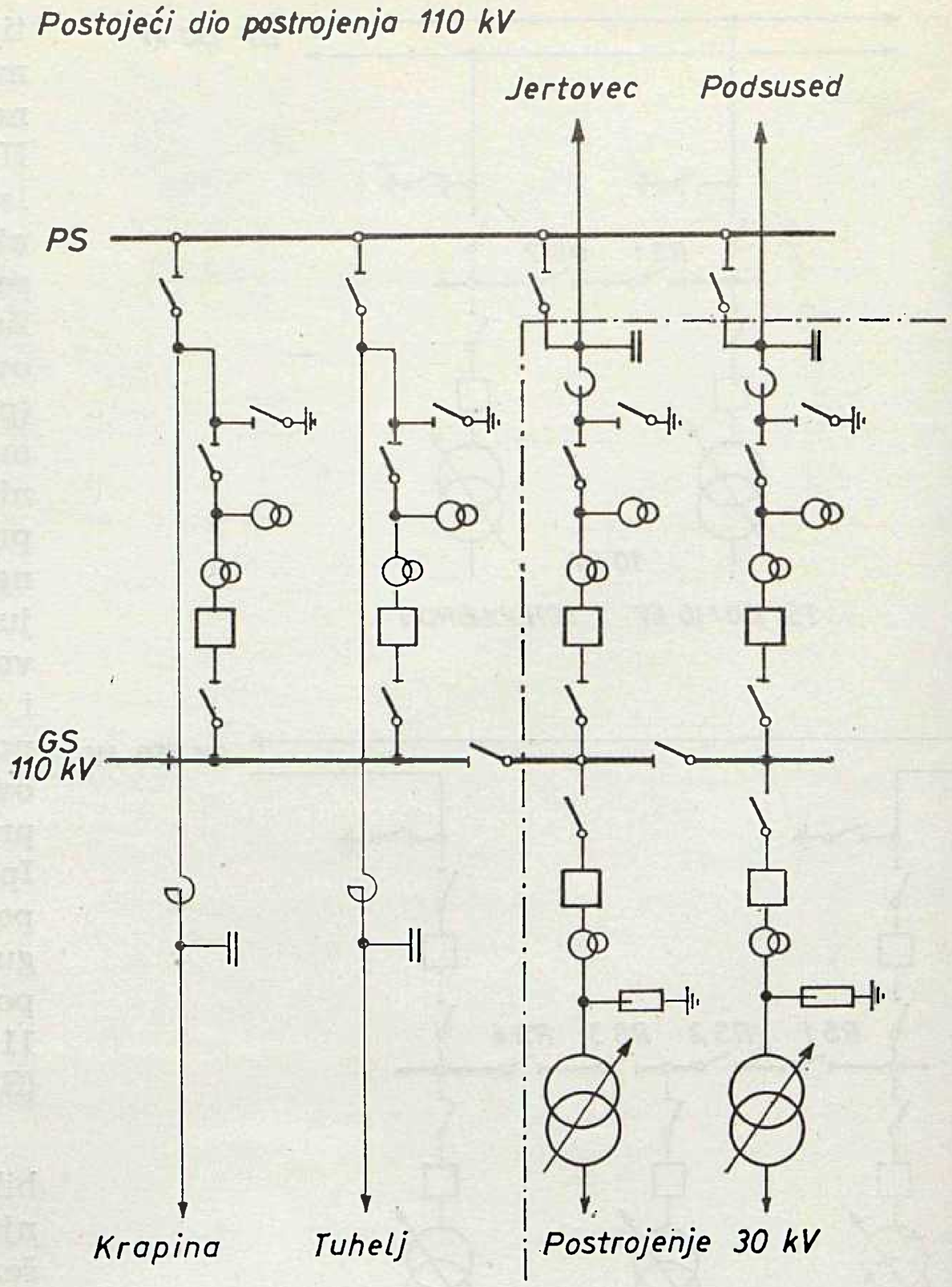
U slučaju postrojenja sa 2 voda i 2 transformatora (TS 150/10 kV Schoonbron) sekcioniranjem sabirnica na 3 dijela pomoću 2 sekciona rastavljača (RS 1 i RS 2) omogućen je zahvat na svakom elementu rasklopnog postrojenja (uključivši i same rastavljače za sekcioniranje), a da se pri tome ne prekine ili smanji dobava energije potrošačima na 10 kV mreži. Pri tom je razumljivo da je osigurana 100% rezerva u transformaciji, tj. da je transformacija dimenzionirana na isti način kakav je predviđen u kriterijima za izbor i opremanje objekata prijenosne mreže »Elektroprenosa« — Zagreb.

U slučaju postrojenja sa 2 voda i 3 transformatora (jedan je transformator rezervni), što je slučaj u TS 150/10 kV Reormond potrebno je 5 sekcija sabirnica sa 4 sekciona rastavljača (RS 1 — RS 4), da bi se dobio isti efekt, tj. mogućnost intervencije na svakom aparatu u 150 kV postrojenju.

Primjenjujući navedene metode i rješenja za povećanje pogonske sigurnosti 110 kV postrojenja, odlučeno je da se obave rekonstrukcije i proširenja tih postrojenja u Zaboku i Virovitici na način koji će biti ovdje detaljnije opisan.



Dispozicija



Jednopolna shema

Sl. 4 TS 110/30 kV Zabok — Proširenje 110 kV postrojenja (Jednopolna shema i dispozicija)

Na jednopolnoj shemi i dispoziciji 110 kV postrojenja TS Zabok (sl. 4) vidi se opseg predviđene rekonstrukcije i proširenja, pri čemu se predviđaju ovi zahvati:

a) Postojeći raspon sabirnica 110 kV galvanski razdijeliti na dva dijela umetanjem u sredinu izolatorskog lanca. Za spajanje ili razdvajanje ovih dviju polusekcija prvog raspona sabirnica, ugraditi rastavljač ispod izolacionog umetka.

b) Raspon (sekciju) sabirnica koji je potreban za uvođenje dvaju novih vodova (Krapina i Tuhelj) spojiti na postojeći raspon sabirnica preko drugog sekcionog rastavljača.

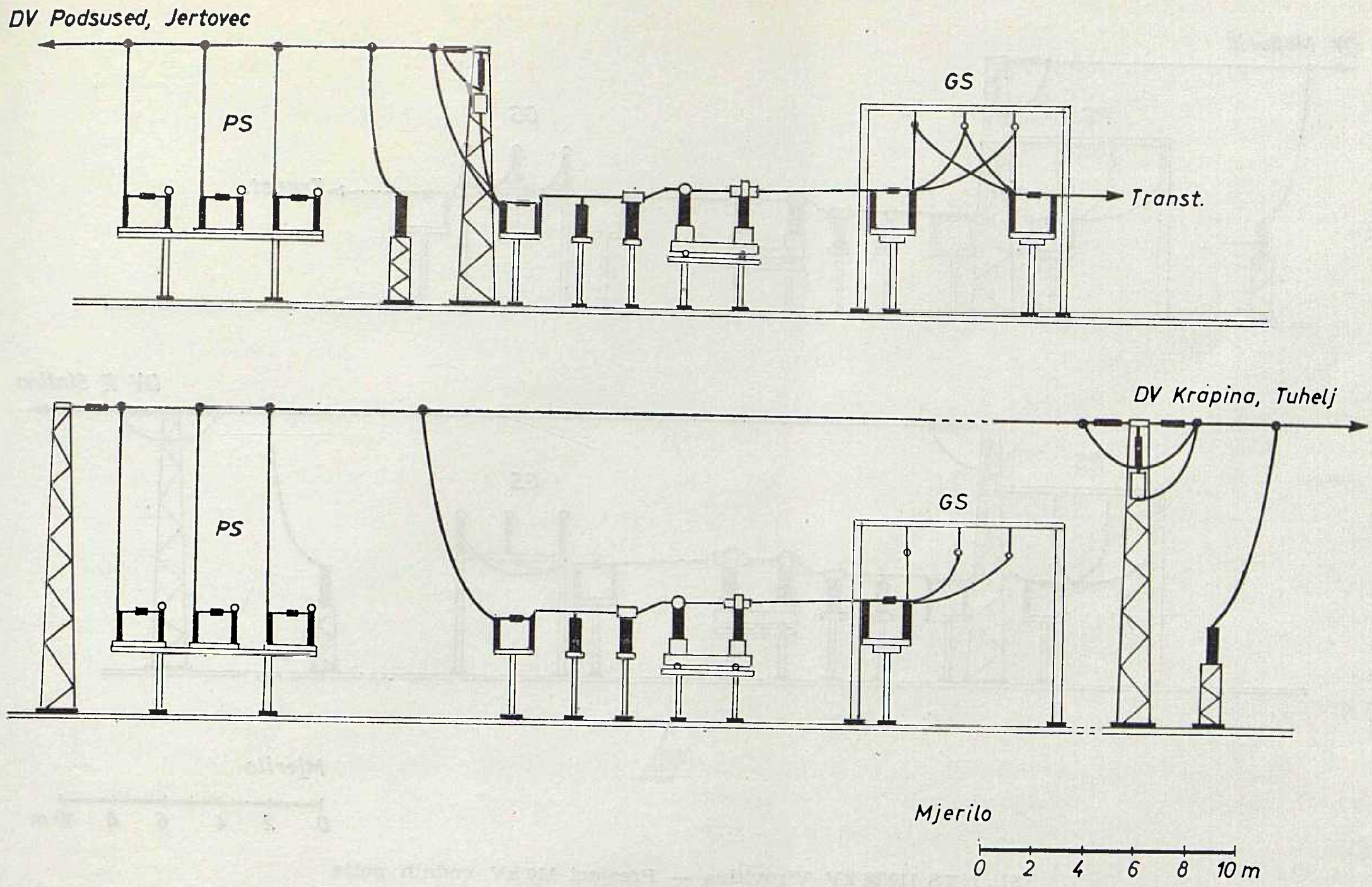
c) Ispred vodnih polja ugraditi pomoćno-poprečne sabirnice koje nose sami rastavljači. Na ove sabirnice priključiti sva četiri odvoda, kako je to detaljnije prikazano na sl. 5. (presjeci DV polja).

Efekt ovakvog rješenja objašnjen je slijedećim primjerom: Potrebno je izvršiti reviziju sabirničkih rastavljača u polju DV Jertovec i transformatora 2. Za osiguranje radnog mjesta valja izvršiti slijedeće zahvate:

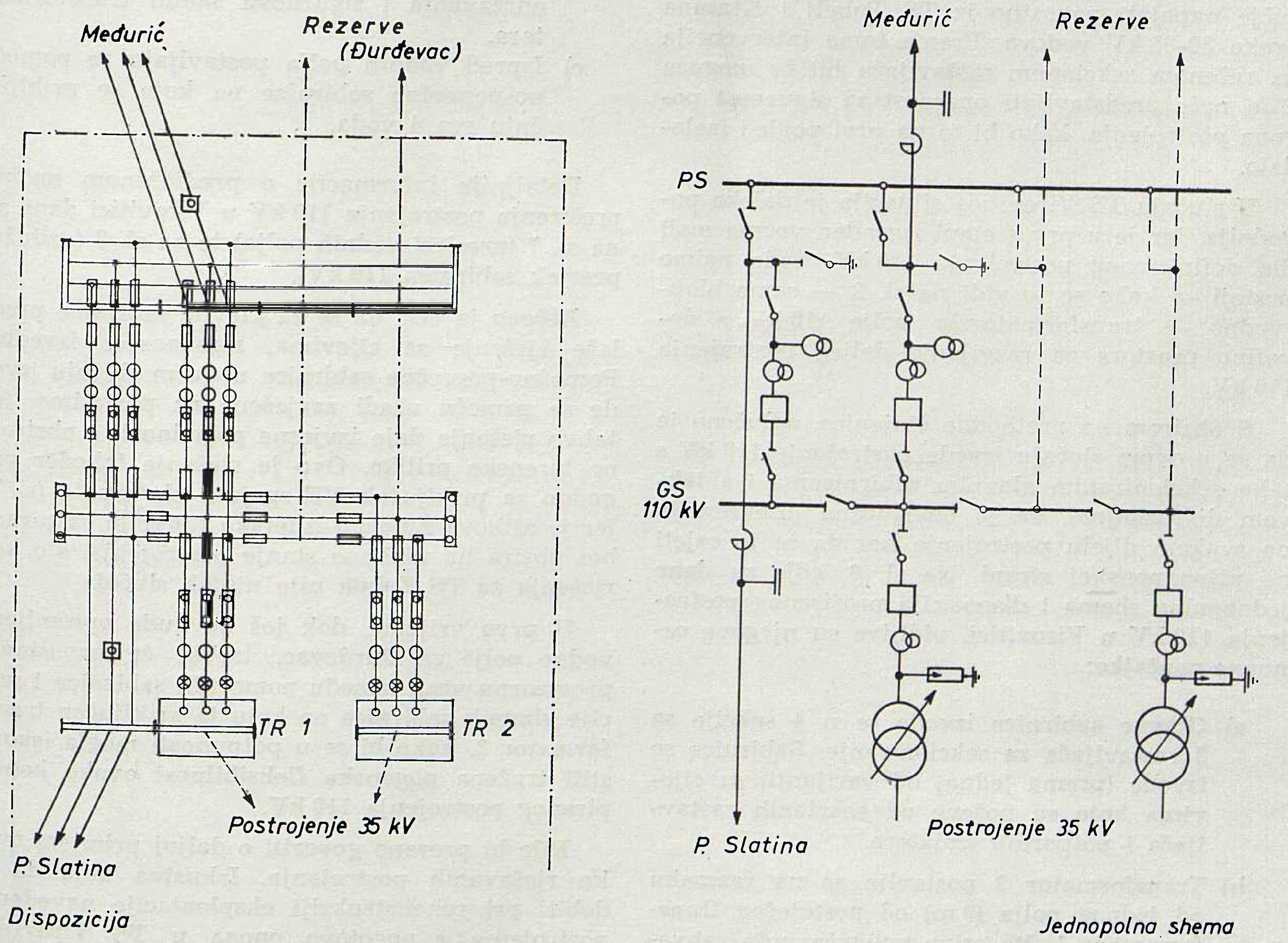
— Isključiti DV Jertovec i trafo 2.
— Isključiti oba sekciona rastavljača sabirnica.
— Uključiti rastavljače pomoćnih sabirnica u poljima DV Podsused i DV Tuhelj (ili DV Krapina).
— Ako je zbog situacije u mreži potrebno uključiti i rastavljač pomoćnih sabirnica na DV Jertovec, kako bi ostao u pogonu.
— Da ne bi došlo do krivih prorada, blokirati distantnu zaštitu na vodovima koji se napajaju preko pomoćnih sabirnica.

Slične analize za druge slučajeve pokazale bi da su mogući zahvati na održavanju svih aparata, osim sekcionog rastavljača u postojećem rasponu sabirnica, što znači da je ostala samo jedna »neuralgična« točka u postrojenju 110 kV. Međutim može se konstatirati da će u momentu, kad ova rekonstrukcija bude izvedena, na ovom području postojati i biti u pogonu TS-e 110/35 kV Tuhelj i Krapina, što bitno mijenja situaciju.

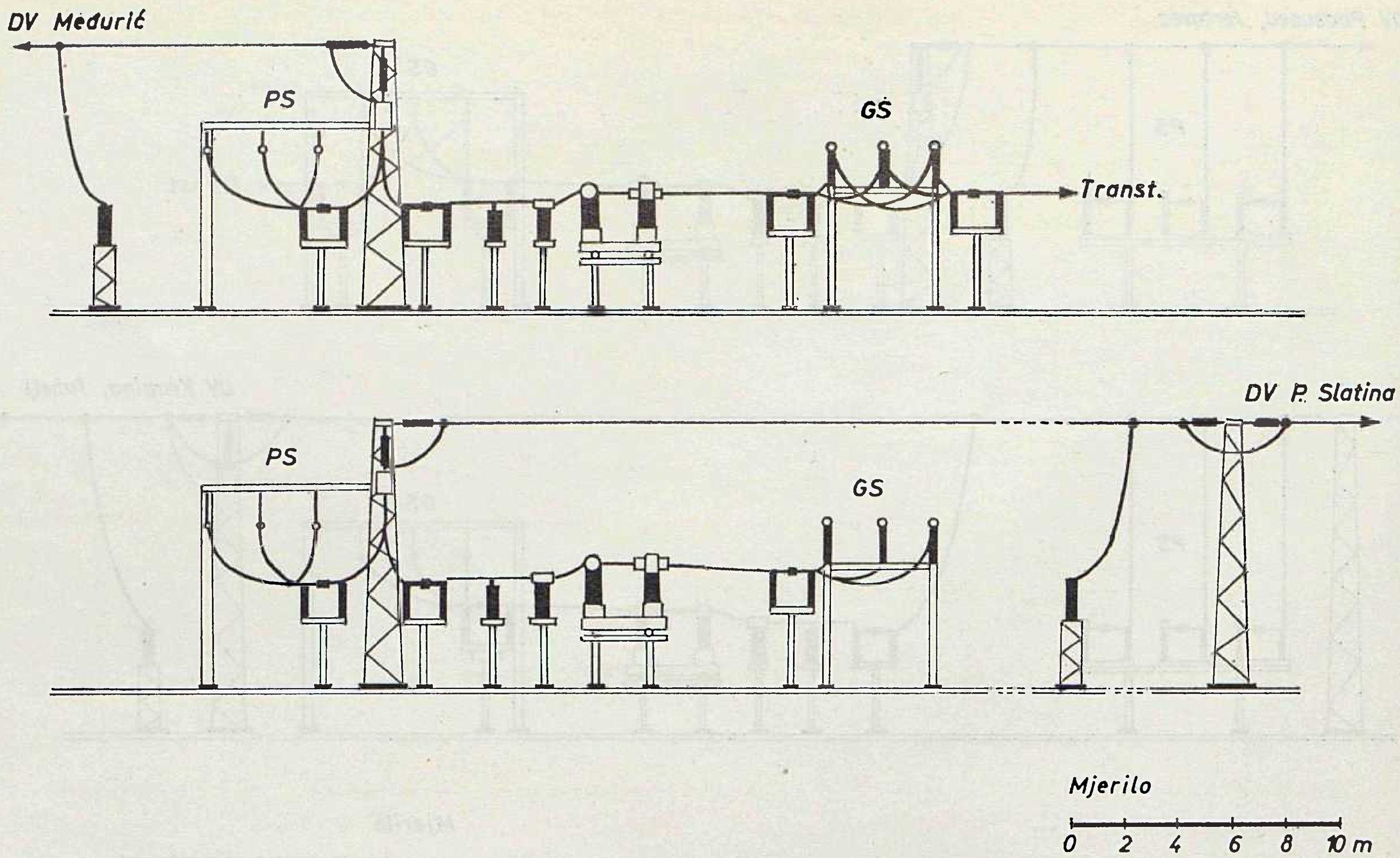
Kako su lokacije ovih postrojenja udaljene 15—18 km od TS 110/30 kV Zabok, te kako na tim pravcima već postoji solidno izgrađena 30-35 kV mreža, to će se moći, u određenim momentima, staviti izvan pogona cjelokupnu trans-



Sl. 5 TS 110/30 kV Zabok — Presjeci 110 kV vodnih polja



Sl. 6 TS 110/35 kV Virovitica — Proširenje 110 kV postrojenja (Jednopolna shema i dispozicija)



Sl. 7 TS 110/35 kV Virovitica — Presjeci 110 kV vodnih polja

formaciju u TS Zabok i njeno konzumno područje napajati povratno iz TS Tuhelj i Krapina preko 30-35 kV vodova. Prema tome intervencija na rečenom sekcionom rastavljaču bit će moguća i on neće predstavljati opasnost za sigurnost pogona postrojenja, kako bi to na prvi pogled izgledalo.

U slučaju TS Virovitica situacija je daleko pogodnija, jer je u prvoj etapi izgrađen veoma mali dio definitivnog postrojenja 110 kV. Sada naime postoji — kako se to vidi na sl. 2 — samo blok-vodno — transformatorsko polje 110 kV s dovoljno prostora za razvijanje daljeg postrojenja 110 kV.

S obzirom na prethodne činjenice, odlučeno je da se u ovom slučaju izvede postrojenje 110 kV s tako sekcioniranim glavnim sabirnicama i s takvom dispozicijom, da je omogućena intervencija na svakom dijelu postrojenja bez da se to osjeti na niženaponskoj strani. Na sl. 6, gdje su dane jednopolna shema i dispozicija proširenog postrojenja 110 kV u Virovitici, vidljive su njegove osnovne značajke:

a) Glavne sabirnice izvode se u 4 sekcije sa 3 rastavljača za sekcioniranje. Sabirnice se izvode (prema jednoj od varijanti) sa cijevima koje su nošene od sekcionih rastavljača i potpornih izolatora.

b) Transformator 2 postavlja se na razmaku od jednog polja (9 m) od postojećeg transformatora 1, što osim omogućavanja zahvata na sabirnicama i sekcionim rastavljačima daje i prednosti u pogledu hlađenja, održavanja i sigurnosti samih transformatora.

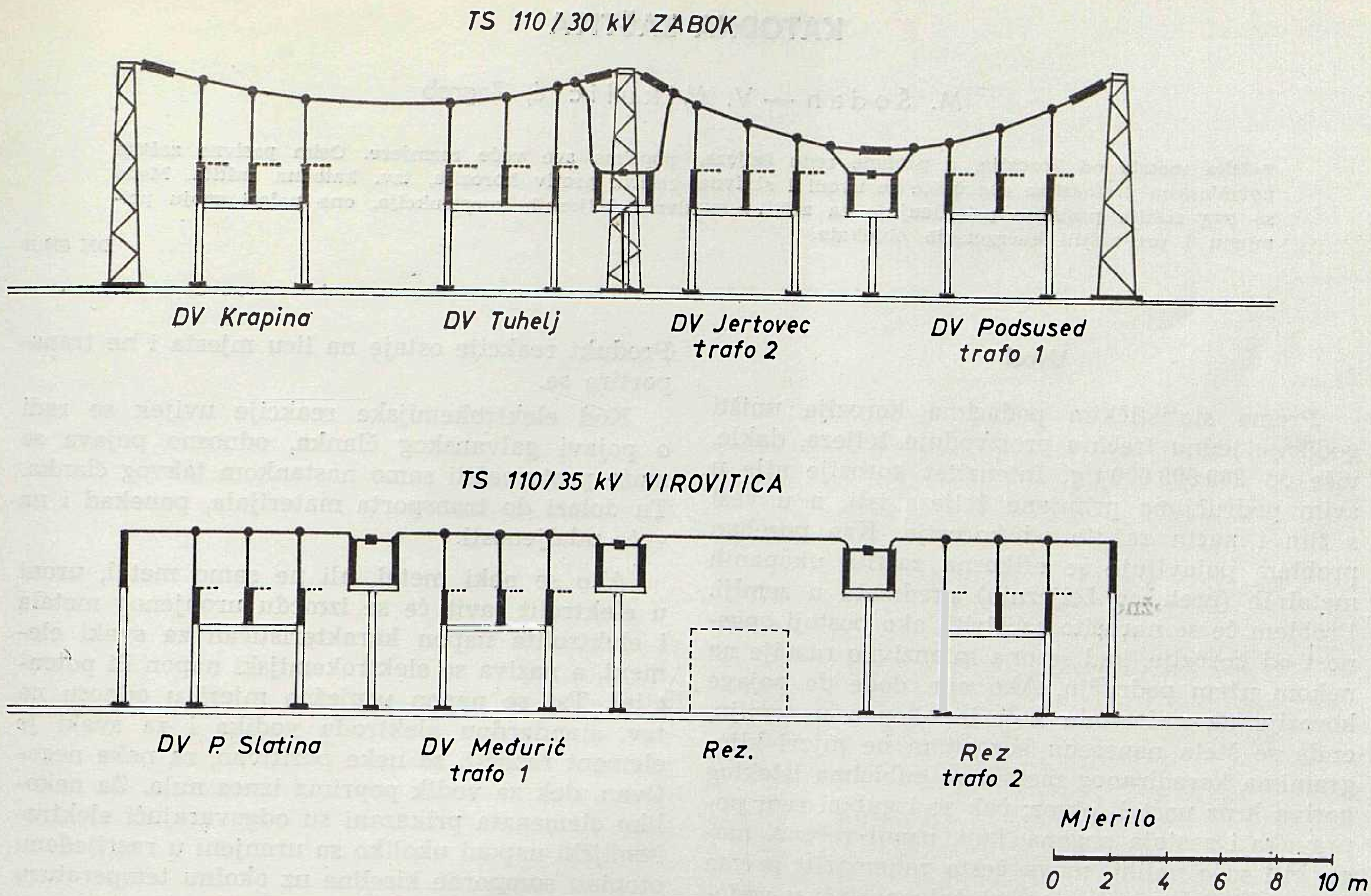
c) Ispred vodnih polja postavljaju se pomoćno-poprečne sabirnice na koje se priključuju sva 4 voda.

Detaljnije informacije o predloženom načinu proširenja postrojenja 110 kV u Virovitici dane su na sl. 7 (presjeci vodnih polja) te na sl. 8 (uzdužni presjek sabirnica 110 kV).

Rečeno je već, da se za glavne sabirnice predlaže rješenje sa cijevima, samonoseće izvedbe. Pomoćno-poprečne sabirnice u ovom slučaju izvode se pomoću užadi zavješene na portalima, jer takvo rješenje daje izvjesne pogodnosti s obzirom na terenske prilike. Ovo je rješenje također pogodno za priključak VF spojnih elemenata (sl. 7), jer je njihova zaporno-filterska funkcija osigurana bez obzira na uklopno stanje postrojenja, što kod rješenja za TS Zabok nije uvijek slučaj.

U prvo vrijeme, dok još ne bude opremljeno vodno polje za Đurđevac, trebat će uspostaviti provizornu vezu između pomoćnih sabirnica i sekcije glavnih sabirnica na koju je priključen transformator 2, kako bi se u potpunosti mogla iskoristiti tražena pogonska fleksibilnost ovako koncipiranog postrojenja 110 kV.

Bilo bi prerano govoriti o daljoj primjeni ovako rješavanih postrojenja. Iskustva koja će se dobiti pri rekonstrukciji eksploatacije navedenih postrojenja, a pogotovo onoga u TS Virovitica odgovorit će na to pitanje. Sigurno je, međutim,



Sl. 8 Uzdužni presjeci sabirnica 110 kV u TS Zabok i Virovitica

da će pogonska sigurnost ovako rekonstruiranih i proširenih postrojenja biti osjetno povećana i da će odgovarati zahtjevima koji se u tom smislu postavljaju postrojenjima 110 kV prijenosne mreže u nas.

Literatura:

1. Cvetković Z., Lipnjak B.: *Kriteriji za izbor objekata prijenosne mreže.* Zbornik referata sa II. Savjetovanja o eksploataciji i izgradnji TS, RP i DV prijenosne mreže Jugoslavije, Budva 1967.
2. Radmilović B.: *Pomoćne sabirnice u rasklopnim postrojenjima 110 kV.* Zbornik referata sa VII. Savjetovanja JUNAKO — CIGRE, Bled 1964.
3. Mileusnić E., Majić M., Radmilović B.: *Izvještaj o obilasku postrojenja sa daljinskim upravljanjem u nekim elektroprivrednim organizacijama Nizozemske i SR Njemačke.* Interna publikacija »Elektroprenosa« — Zagreb, 1970.
4. — : *Glavni projekt TS 110/35 kV Virovitica* »Dalekovod« Zagreb, 1973. god.

Naslov pisca: Božidar Radmilović, dipl. ing.
»Elektroprenos« Zagreb

KATODNA ZAŠTITA

M. Šodan — V. Mikuličić, Zagreb

Zaštita metala od korozije, u prvome redu željeza, poprima sve veće razmjere. Osim pasivne zaštite površinskim premazima sve češće se uvodi i aktivna zaštita protiv korozije, tzv. katodna zaštita. Mada se ova zaštita pretežno primijenjuje za zaštitu masivnih željeznih konstrukcija, ona nalazi svoju primjenu i pri zaštiti energetskih objekata.

DK 620.19

Uvod

Prema statističkim podacima korozija uništi godišnje jednu trećinu proizvodnje željeza, dakle, više od 200 000 000 t/g. Intenzitet korozije nije u svim područjima primjene željeza isti, a u vezi s tim i način zaštite od korozije. Kao poseban problem pojavljuje se efikasna zaštita ukopanih metalnih (pretežno željeznih) predmeta u zemlji. Problem će se naročito zaoštriti, ako postoji opasnost od korozije, kad se ona intenzivno razvije na nekom užem području. Ako npr. dođe do pojave korozije na naftovodu koji je ukopan u zemlju, onda se šteta nanesena korozijom ne mjeri kilogramima korodiranog metala ni gubicima isteklog goriva kroz nastali otvor; čak se i gubici radi popravaka i zastoja pogona, koji, usput rečeno, mogu biti vrlo veliki, mogu često zanemariti prema štetama koje mogu u tom slučaju nastati u vodoprivredi, a posebno u vodoopskrbi. U takvim slučajevima primijenit će se sva raspoloživa zaštitna sredstva da se korozija spriječi, bolje rečeno, smanji.

Kao vrlo efikasna, ali u svakom slučaju samo dodatna zaštita od korozije, primijenjuje se katodna zaštita. Na taj se način električkim metodama sprječava, odnosno smanjuje korozija. Štoviše, posredstvom ove zaštite, moguće je pratiti stanje objekata tokom vremena, pa u krajnjoj liniji i poduzeti odgovarajuće mjere. Svojedobno su se katodnom zaštitom štitili podzemni kabeli, odnosno njihovi metalni plaštevi od korozije. Sve češćom primjenom kabela s plastičnom izolacijom i plastičnim zaštitnim omotačem smanjena je primjena katodne zaštite, ali je kod specijalnih vrsti kabela, i nadalje u upotrebi. U novije se vrijeme sve više uvodi praksa direktnog ukopavanja distributivnih transformatora u zemlju, naročito u velikim gradovima. Takvi su transformatori redovno opremljeni katodnom zaštitom, da se vijek trajanja transformatora ne bi smanjio zbog korozije kotla. Ipak, glavno područje primjene katodne zaštite ostaju podzemni rezervoari, podzemni cjevovodi, masivni metalni uređaji u lukama, i sl.

1. Pojava elektrokemijske korozije

Poznato je da agresivne tekućine, npr. voda s primjesom kiselina, korodiraju (nagrizaju) metale, u prvom redu željezo. U tom se slučaju govori o kemijskoj koroziji, jer proces nastaje uz neposredan dodir tvari koje sudjeluju u reakciji. Produkt reakcije ostaje na licu mjesta i ne transportira se.

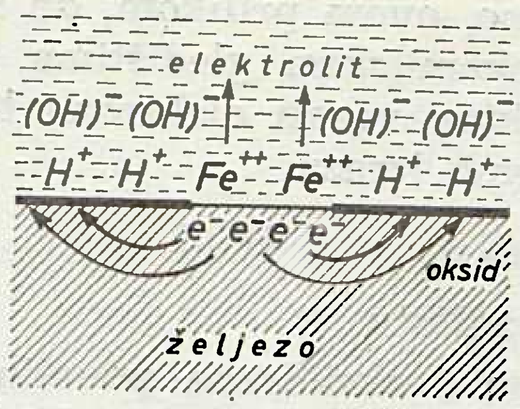
Kod elektrokemijske reakcije uvijek se radi o pojavi galvanskog članka, odnosno pojava se može protumačiti samo nastankom takvog članka. Tu dolazi do transporta materijala, ponekad i na veće udaljenosti.

Ako se neki metal, ali ne samo metal, uroni u elektrolit javit će se između uronjenog metala i elektrolita napon karakterističan za svaki element, a naziva se elektrokemijski napon ili potencijal. Taj se napon uspješno mjeri u odnosu na tzv. standardnu elektrodu vodika i za svaki je element različit, za neke pozitivan, za neke negativan, dok za vodik poprima iznos nula. Za nekoliko elemenata prikazani su odgovarajući elektrokemijski naponi ukoliko su uronjeni u razrijeđenu otopinu sumporne kiseline uz okolnu temperaturu od 25 °C. Tablica 1.

Tablica 1

Element	El. kem. potencijal (v)	Element	El. kem. potencijal (v)
K	— 2,9	Sn	— 0,14
Mg	— 2,4	Pb	— 0,13
Al	— 1,67	H	± 0,00
Zn	— 0,76	Cu	+ 0,34
Cr	— 0,56	C	+ 0,74
Fe	— 0,44	Ag	+ 0,80
Cd	— 0,40	Pt	+ 0,86
Ni	— 0,24	Au	+ 1,50

Ako se u elektrolit urone elektrode od dva različita elementa, na svakoj od njih pojavit će se pripadajući elektrokemijski napon u odnosu na elektrolit, dok će se između obiju elektroda pojaviti razlika tih napona. Tako će se npr. uranjanjem elektroda od ugljika i cinka u razrijeđenu sumpornu kiselinu pojaviti na prvoj napon prema elektrolitu od +0,74 V, a na drugoj od −0,76 V. Napon između obje elektrode iznosit će +0,74 do −0,76 = 1,5 V. To nije ništa drugo nego poznati galvanski članak uz neka pojednostavljenja. U tom članku ugljikova elektroda predstavlja plus-pol a cinkova minus-pol. U vanjskom krugu smjer struje bit će od ugljika prema cinku, dok je smjer u samom elementu od cinka prema ugljiku. Cink je anoda iz koje struja izlazi u elektrolit u obliku iona cinka, a ugljik je katoda u koju struja ulazi. (Zapravo će iz katode izlaziti elektroni što znači ulazak struje. Ovim procesom, zbog odlaženja iona cinka s anode, ona se troši.



Sl. 1

Galvanski članak se može napraviti i iz drugih elemenata. Tako bi kombinacija željezo-ugljik predstavljala članak napona oko 1,18 V. I tada bi ugljik bio katoda, a željezo anoda koja bi se trošila kad bismo vanjski krug zatvorili, tj. omogućili tok struje. Slično bi kod kombinacije bakar-željezo dobili napon od 0,78 V, a željezo bi i opet bilo anoda i trošilo se, kad bi se zatvorio vanjski krug. Ako bi se upotrijebila kombinacija cink-željezo pojavio bi se napon od 0,32 V, ali bi tada elektroda iz željeza bila katoda, a elektroda iz cinka anoda. Sada bi se elektroda iz cinka trošila, kad bi se vanjski krug članka zatvorio.

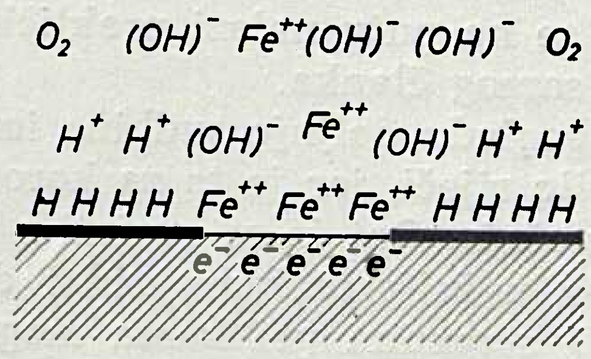
Općenito, uranjanjem bilo koja dva elementa u elektrolit dobivamo galvanski članak, a princip reakcije je uvijek isti: negativniji element (prema tablici 1) je aktivniji i on se troši, dok pozitivniji element u članku ostaje nepromijenjen.

Bit katodne zaštite se sastoji u tome da se željezo (štićeni objekt) umjetno učini negativnijim od, da tako kažemo, okoline, da ono predstavlja katodu, da iz njega struja ne izlazi i da se prema tome ne troši (ne korodira). Kako se to postiže vidjet će se kasnije, a sada se vratimo samom procesu elektrokemijske korozije.

Za ostvarenje galvanskog članka nije neophodno uroniti u elektrolit dva različita elementa, već se to može postići uranjanjem samo jednog elementa s tim, da će se pojaviti izrazito manja razlika napona. Naime, kemičari su jedinstveni da se atomi metala uronjenog u elektrolit disociraju, dok se mehanizam tog procesa objašnjava pomoću nekoliko manje ili više sličnih teorija. Uzroci disociranja svakako leže u strukturi atoma. Svaka materija teži da prijeđe u stanje nižeg energetskog nivoa. Isto tako materija nastoji prijeći iz manje vjerojatnog stanja u stanje veće vjerojatnosti, odnosno iz manje stabilnog u stabilnije stanje. Konkretno, čisto željezo je manje vjerojatno stanje od željeznog oksida (rđe) pa zbog toga ono korodira. Da bi se u to povjerovalo mora se ta tvrdnja potkrijepiti činjenicama, a te su, da se željezo praktički u prirodi ne pojavljuje u elementarnom stanju nego uvijek u raznim spojevima. Isto se tako prilikom oksidacije željeza oslobađa energija, jer ono prelazi iz višeg u niži energetski nivo. Prilikom dobivanja željeza iz rude traže se relativno vrlo velike količine energije za njenu redukciju, jer željezo dovodimo u više energetsko stanje. Oni elementi za čije se dobivanje iz prirodnih spojeva traži više energije lakše korodiraju, pa kažemo da su nestabilniji. Među njih spada i željezo.

Sl. 2

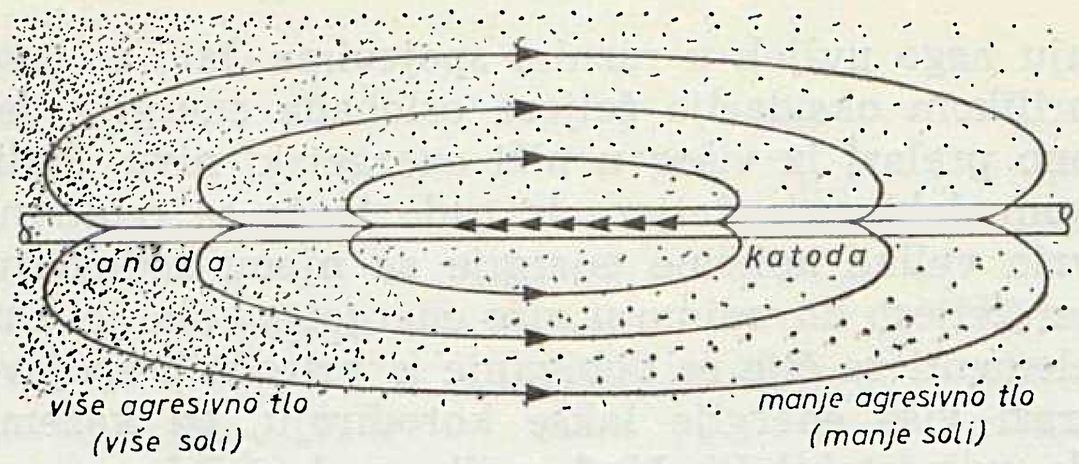
Pođimo sada od opće činjenice da se željezo u elektrolitu disocira na ione željeza Fe^{++} i slobodne elektrone e^-. Između tako disociranih čestica još uvijek djeluju električne privlačne sile između naboja različitog polariteta. Te električne sile drže uz površinu metala na okupu s jedne strane u elektrolitu ione željeza Fe^{++}, a s druge strane u metalu elektrone e^-. Time bi se započeta korozija zaustavila kad ne bi bilo vanjskih uzroka koji bi tu stvorenu ravnotežu narušili. Takvo stanje prikazano je na sl. 1. Kada dođe do vanjskog poremećaja elektroni će se lagano kretati kroz metal radi niskog električnog otpora, dok će se ioni relativno lagano kretati kroz elektrolit.



Sl. 3

Pretpostavi li se sada, kako je to na sl. 2 i prikazano, da je površina metala samo dijelom čista, a da se na drugom dijelu nalazi sloj metalnog oksida, onda će se disocijacija pojaviti samo na čistom dijelu površine. Ako se elektrolit sastoji iz disocirane vode s ionima H^+ i $(OH)^-$ onda će se ioni H^+ skupljati uz oksidnu površinu i tamo će privlačiti slobodne elektrone koji će savladati tanku barijeru oksida, pa će odgovarajući broj atoma vodika postati neutralan i ostat će ležati na površini oksida. Odlaskom elektrona iz područja čiste površine ioni željeza postaju slobodni i kretat će se od površine, u konkretnom slučaju, prema negativno nabijenim hidroksilnim skupinama $(OH)^-$. Time je omogućeno da se na čistoj površini nastavi disociranje, odnosno oslobađanje i odlaženje iona željeza, što predstavlja koroziju. Međutim, nakon izvjesnog vremena na oksidnoj će se površini nataložiti sve više neutralnih atoma vodika koji će predstavljati sve veću barijeru prolasku elektrona (polarizacija), da bi se na kraju elektroni prestali kretati iz područja čiste u područje oksidirane površine. Proces korozije bi tada nestao, jer bi se na čistoj plohi uspostavila ravnoteža iona željeza Fe^{++} i elektrona e^-. Sadašnjem stanju odgovarala bi sl. 3.

No i ova ravnoteža će se narušiti, ako u otopini ima elementarnog kisika koji će se spajati s neutralnim vodikom u vodu i na taj način razgraditi barijeru prolasku elektrona k ionima vodika. Tako će se proces nastaviti, tj. željezo će na



Sl. 4

području čiste površine nastaviti korodirati i imat ćemo otprilike isto stanje kao na sl. 2, samo što proces neće prestati tako dugo dok je prisutan kisik.

Iz prethodnih slika se vidi, da na mjestu čiste površine ioni željeza napuštaju metal, pa to područje odgovara izlasku struje iz metala i to je anoda. Na oksidiranoj površini izlaze elektroni, što znači da tu struja ulazi i to je katoda. Dakle, na jednom metalu formirale su se anoda i katoda koje s elektrolitom čine jedan galvanski članak čiji su polovi izvana preko masivnog metala kratko spojeni. Članak je dakle u kratkom spoju i struji se na putu nalazi praktički samo unutarnji otpor samog članka.

U pogledu daljnje sudbine iona željeza dosada nije bilo riječi, jer je to za koroziju od sekundarnog značaja. Oni će se spajati s hidroksilnim skupinama u željezni hidroksid i dalje s kisikom u rđu. U stvarnim prilikama mogu nastati i drugi spojevi ovisno o tome kakvih sve sastojaka ima u otopini.

Ovaj proces se može pregledno prikazati izrazima prema kojima se odvijaju reakcije. Najprije se disocira željezo prema izrazu

$$4\,Fe \rightarrow 4\,Fe^{++} + 8\,e^{-}\,.$$

Voda se disocira prema izrazu

$$8\,H_2O \rightarrow 8\,H^{+} + 8\,(OH)^{-}\,.$$

Zatim se razvija neutralni vodik na oksidiranoj površini

$$8\,H^{+} + 8\,e^{-} \rightarrow 8\,H\,,$$

što predstavlja polarizaciju. Uttjecajem kisika dolazi do depolarizacije

$$8\,H + 2\,O_2 \rightarrow 4\,H_2O$$

i proces se dalje nastavlja. Nije potrebno ni spomenuti da se pojedine reakcije vremenski prekrivaju.

Ioni željezi se u međuvremenu spajaju prema izrazu

$$Fe^{++} + 2\,(OH)^{-} \rightarrow Fe\,(OH)_2\,.$$

Željezni dihidroksid s kisikom i vdom prelazi u željezni trihidroksid prema izrazu

$$4\,Fe\,(OH)_2 + O_2 + 2\,H_2O \rightarrow 4\,Fe(OH)_3$$

iz čega nastaje konačni produkt

$$4\,Fe\,(OH)_2 \rightarrow 4\,FeO(OH) + 4\,H_2O$$

tj. rđa i voda.

Napomenimo samo, ovom prilikom, da se prema novijim elektrokemijskim gledištima smatra da kisik može direktno vezati elektrone bez posredstva vodika prema izrazu

$$O_2 + 2\,H_2O + 4\,e^{-} \rightarrow 4\,(OH)^{-}\,,$$

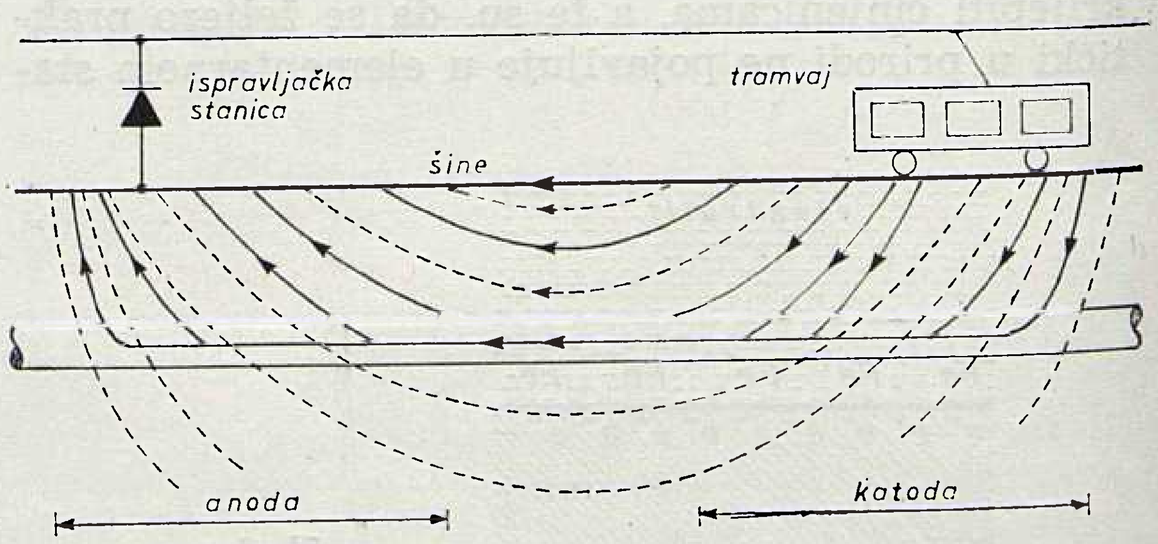
što vodi k istom rezultatu.

U stvarnosti čista i oksidirana površina neće biti jedinstvena i oštro omeđena, ali je logično da to za spomenuta razmatranja nema nikakve važnosti.

Uzrok nastajanja korozije ne mora biti samo u postojanju oksidnih i čistih površina. Elektrokemijski potencijal metala ovisi o njegovoj čistoći (onečišćenosti), o koncentraciji elektrolita, o unutarnjim naprezanjima metala, o razlici temperatura i slično. Iz toga se vidi da će se na metalnom predmetu moći pojaviti razlika potencijala između dviju točaka manje ili više udaljenih, što će biti razlog da se formira lokalni galvanski članak s istim posljedicama kao što je već prikazano.

Postavlja se pitanje kako dolazi do korozije u stvarnim prilikama. U pogledu elektrolita on je manje ili više prisutan posvuda u zemljištu jer podzemna voda sadrži otopine raznih soli i na taj način se lako disocira. Isto tako podzemna voda uvijek sadrži izvjesne količine elementarnog kisika. U zemljištima gdje je vremensko razdoblje veće i manje vlažnosti kraće, sadržaj kisika u vodi bit će veći, pa prema tome i korozija veća. Pošto zemljište nije homogeno, naročito ako se radi o dužim ukopanim predmetima, kao što su električni kabeli ili razni cjevovodi, jasno je da će se na raznim mjestima pojaviti različiti elektrokemijski napon. Tako je na sl. 4 prikazana situacija na jednom ukopanom cjevovodu koji prolazi kroz teren različitog sastava, tj. različite agresivnosti. Uslijed toga duž cjevovoda će se pojaviti elektrokemijski napon različitog iznosa. U slučaju željeznog cjevovoda mjesto s višim negativnim naponom predstavljat će područje izlaska struje, tj. anodu, a mjesto s nižim negativnim naponom područja ulaska struja, tj. katodu. Na mjestu anode doći će do odnošenja materijala zbog izlaska struje, tj. do korozije. Naravno da se tokom vremena, zbog promijenjenih uvjeta, može premjestiti područje anode i katode.

Dosad nije bilo spomenuto da su ukopani željezni predmeti redovno zaštićeni tzv. pasivnom antikorozivnom zaštitom. Cjevovodi, kabeli, re-



Sl 5

zervoari transformatora dobro se »presvlače« kemijskim zaštitnim sredstvima prije polaganja u zemlju da bi se spriječila korozija. Sredstva za zaštitu od korozije su na bitumenskoj osnovi, a u novije vrijeme uveliko se upotrebljavaju plastične mase. Prilikom izrade obloge protiv korozije veoma se pazi da ne preostanu porozna mjesta. Uza sve to, jer se radi o dugim i teškim predmetima, nije moguće izbjeći pukotine u zaštitnom sloju. Osim toga, tokom vremena može doći do oštećenja zaštitnog sloja zbog pomaka terena, temperaturnih razlika, starenja materijala, i slično. Međutim, čim se pojavi i mikroskopska pukotina, može doći do pojave korozije; male pukotine uz povoljne okolnosti mogu dovesti do koncentrirane korozije u dubinu i do brzog razaranja objekta (bušenje cjevovoda). Naime, ako je područje anode maleno, a područje katode veliko s obzirom na aktivne plohe, odvođenje elektrona s površine anode bit će nerazmjerno brzo, pa će zbog male napadne površine proces ići brzo u dubinu.

2. Lutajuće struje

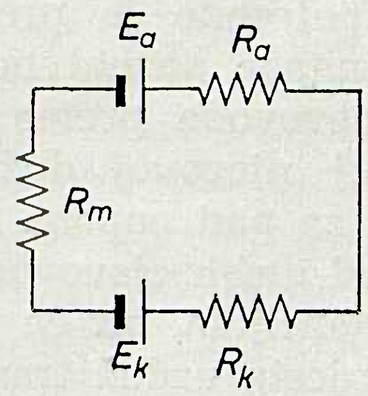
Jedan od uzroka brze korozije leži u pojavi lutajućih struja. Kod tramvaja i električnih željeznica šine služe kao povratni vodič. Prema zemlji šine su neizolirane, pa će struja djelomično teći i kroz zemlju, a pogotovo ako su šine uzdužno loše električki spojene ili čak prekinute. U slučaju istosmjerne struje tok strujnica prikazan je crtkanim linijama za slučaj kad se radi o homogenom zemljištu (sl. 5). Ako se u području strujnica nalazi položen cjevovod onda će zbog manjeg otpora dio strujnica ići kroz cjevovod. Sada bi strujnicama odgovarale puno izvučene linije na sl. 5. U jednom području, u blizini tramvaja, struja ulazi i to je područje katode, dok u drugom području, u blizini ispravljačke stanice, struja izlazi i to je područje anode. U području anode pojavit će se korozija i to vrlo izdašna, ako se ne poduzmu odgovarajuće zaštitne mjere.

Lutajuće struje mogu se pojaviti i kao posljedica agregata za varenje, elektrolize i slično. U svakom slučaju problem je sličan već opisanom.

Treba napomenuti da do pojave korozije dolazi samo ako se radi o istosmjernim lutajućim strujama. Kod izmjeničnih lutajućih struja slična pojava nije primijećena, što se objašnjava brzinom promjene polariteta.

3. Princip djelovanja katodne zaštite

Slikom 4 objašnjeno je formiranje galvanskog članka (korozivnog članka) na ukopanom cjevovodu koji prolazi kroz tlo s različitim sadržajem soli. Članak se može prikazati ekvivalentnim električnim strujnim krugom prema sl. 6. E_a i E_k su elektrokemijski naponi anode i katode. Prikazani su kao potpuni članci jer se, kao što je spomenuto, mogu mjeriti jedino u odnosu na standardnu elektrodu vodika. Otpor R_m je otpor vanjskog kruga, dakle, otpor cjevovoda, pa ga praktički možemo zanemariti u odnosu prema otporima R_a i R_k, gdje je R_a otpor anode i elektrolita uzetih zajedno, a R_k otpor katode. Struja članka jednaka je $(E_a - E_k)/(R_m + R_a + R_k)$ i ta struja uzrokuje koroziju anode. Priključimo li sada prema sl. 7. izvor istosmjerne struje, slikom 8 će biti dan ekvivalentni strujni krug.



Sl. 6

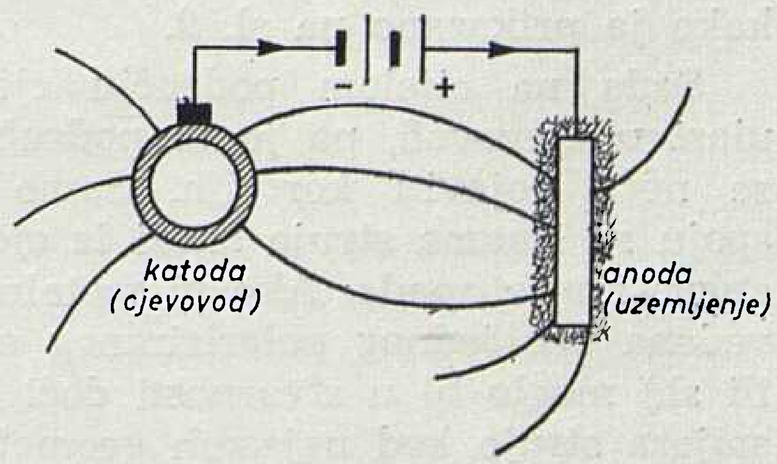
Označimo li s E_x napon istosmjernog izvora a s R_z zbroj unutarnjeg otpora izvora i otpora uzemljenja, vrijedit će slijedeće relacije:

$$i_a + i_z = i_k \quad \text{i} \quad E_a = i_a \cdot R_a + E_k + (i_z + i_a) R_k ,$$

Sprječavajući koroziju moramo postići da anodna struja bude jednaka nuli ili negativna (suprotnog smjera). Stavljajući $i_a = 0$ dobivamo:

$$E_a = E_k + R_k \cdot i_z .$$

tj. potencijal anode mora biti jednak potencijalu točke A. Na taj način moguće je narinutom istosmjernom strujom spriječiti koroziju anode tako da veličina narinute struje može i prelaziti vrijednost kod koje je anodna struja upravo jednaka nuli. U tom će slučaju točka A poprimiti potencijal viši od potencijala anode E_a i anodna struja promijenit će smjer, što zapravo znači, da će prvotno anodna površina djelovati sada kao katoda i da do korozije neće doći. Drugim riječima, kad bi cijeli cjevovod ili kabel bio katoda, ne bi se pojavila korozija.



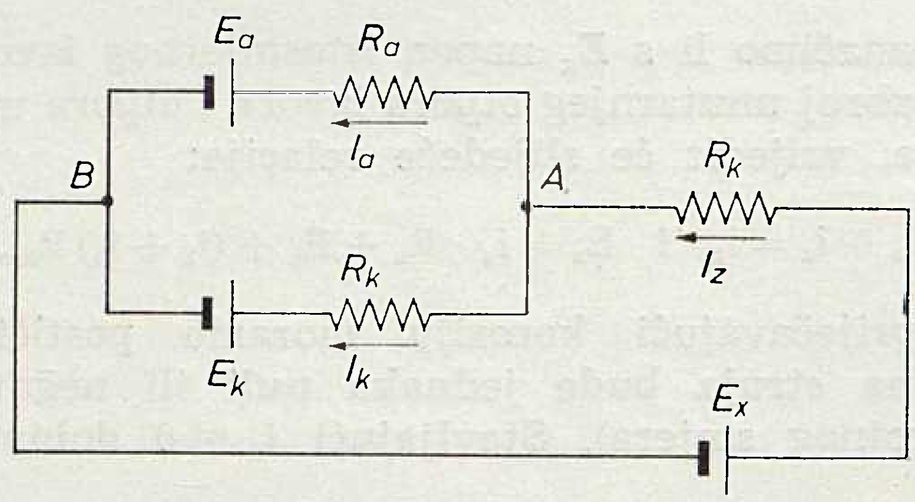
Sl. 7

Umjetno možemo čitav cjevovod učiniti katotom, ako mu narinemo dovoljno visok negativni napon iz stranog izvora. Ispitivanja su pokazala da je za željezo ukopano u zemlju potrebno narinuti zaštitni napon od −0,85 V. Taj napon mora biti mjeren prema elektrodi iz bakrenog sulfata ($CuSO_4$) koja se ne polarizira.

Za druge metale zaštitni napon je različit, a prikazan je u tablici 2.

Metal	El. kom. napon V/H_2	Potencijal u tlu V/$CuSO_4$	Zaštitni potencijal V/$CuSO_4$	Koroz. po 1A i god.	
				kg	dm^3
bakar	+ 0,34	+ 0,1	— 0,1	10,4	1,2
olovo	— 0,13	— 0,5	— 0,6	34	2,6
željezo	— 0,44	— 0,6	— 0,85	9,1	1,2
cink	— 0,76	— 1,0	— 1,2	10,7	1,7
magnezij	— 2,4	— 1,6	—	4	2,3

Prema tome, da bi se neki cjevovod katodno zaštitio potrebno je prema sl. 7. narinuti istosmjerni napon naznačenog polariteta tako da taj napon cjevovoda prema zemljištu bude —0,85 V po cijeloj njegovoj dužini. Napon izvora mora biti veći za pad napona na mjestu uzemljenja izvora. Kod dužih cjevovoda, radi povoljnije raspodjele potencijala, bit će potrebno predvidjeti više pojnih mjesta uzduž trase.

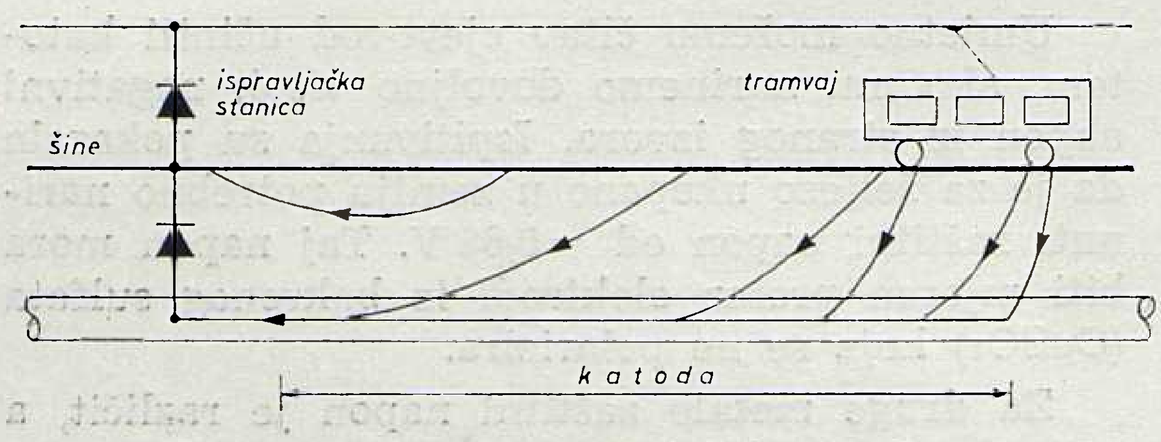


Sl. 8

Međutim, nije uvijek potrebno primijeniti strani izvor napona. Za manje objekte poput ukopanih rezervoara, transformatora, i kraćih cjevovoda bit će dovoljno u blizini štićenog objekta ukopati npr. elektrodu iz magnezija. Magnezij ukopan u zemljište daje, pri određenim uvjetima, elektrokemijski napon u iznosu od —2,4 V (tablica 1) što je redovno dovoljno. Iznos struje koja će teći odredit će veličinu i površinu elektrode magnezija.

Kod lutajućih struja bit će ponekad dovoljno da se cjevovod na određenom mjestu, redovno u blizini pojne stanice, spoji metalno sa šinama, kako je prikazano na sl. 9.

Sada na cijelom području cjevovoda struja ulazi u cjevovod, pa je to područje katode i tu se neće pojaviti korozija. Samo na metalnom spoju sa šinama struja izlazi iz cjevovoda a to u stvari i nije anoda. Ako bi metalna veza bila izvedena bez jednog polariziranog elementa (diode ili sl.) moglo bi u stvarnosti doći do prekretanja smjera struje kod nejasnih geometrijskih odnosa,



Sl. 9

pa se stoga uvijek ugrađuje polarizirani element. Ponekad će biti opravdano stvoriti na mjestu povezivanja »usisno« djelovanje ugradnjom nekog aktivnog elementa (ispravljača), između šina i cjevovoda, koji će cjevovodu dati potrebni negativni prednapon.

4. Preduvjeti za katodnu zaštitu

Da bi se katodna zaštita mogla kod rasprostranjenih objekata, npr. cjevovoda, ekonomično provesti potrebno je da postoji dobra uzdužna vodljivost, kvalitetna izolacija prema zemlji, kao i električka odvojenost od drugih objekata.

Kod varenih cjevovoda uzdužna vodljivost je sama po sebi osigurana; inače sva spojna mjesta valja električki dobro premostiti. To isto vrijedi i za kabele. Na početku i kraju štićenog cjevovoda valja ugraditi izolacione komade. Kod cjevovoda velikog presjeka i pogonskog pritiska, kao i kod cjevovoda za transport dobro vodljivih tekućina, dolazi do problema pri konstrukciji izolacionih komada, odnosno njihova je cijena visoka, pa se može pokazati ekonomičnijim njihovo ispuštanje. Izvedba katodne zaštite u tom slučaju se nešto modificira.

Izolacija cjevovoda prema zemlji postiže se presvlačenjem cijevi odgovarajućim slojem izolacije. Izvedba ovakve izolacije mora biti kvalitetna, naročito ona koja se obavlja na licu mjesta, tj. na mjestu poprečnih varnih šavova. Armature (ventili, zasuni, prirubnice, itd.) moraju, razumije se, također biti izolirani prema zemlji. Pri tome valja uzeti u obzir i građevinske radove, kao što su temelji, šahtovi i sl.

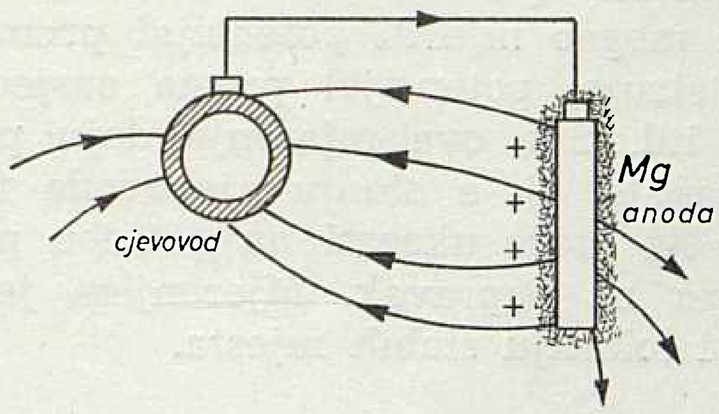
Strana metalna tijela u zemlji, zaštitne cijevi, drugi cjevovodi, kabeli i sl. moraju se pouzdano električki odvojiti od štićenog cjevovoda. Telefonski kabel, koji se polaže paralelno sa cjevovodom radi pogona (daljinsko upravljanje, mjerenje i signalizaciju), valja uključiti u katodnu zaštitu cjevovoda, tj. njegovu zaštitnu armaturu, ako je ima, metalno spojiti sa cjevovodom. Kod električkih uređaja, koji se nalaze neposredno na štićenom cjevovodu, kao što su pogoni zasuna, pretvarači neelektričnih mjernih veličina i sl., valja primijeniti jednu od visokoomskih zaštitnih mjera.

5. Zaštitni postupci i izbor

Kao što je već prethodno bilo spomenuto, katodna zaštita se može provesti primjenom galvanske elektrode ili nezavisnog izvora napona.

Za galvansku elektrodu redovno će se upotrijebiti elektroda od magnezija, a rjeđe od cinka. Napon magnezija prema zemlji je negativniji od željeznog cjevovoda, pa struja teče kako je prikazano na sl. 10 i cjevovod postaje katoda. Anoda od magnezija će naravno korodirati, pa ona mora biti masivne izvedbe, tj. tako dimenzionirana da traje 20-tak godina. Kod ove vrste katodne zaštite ograničenje primjene nastupa kad je potrebna veća zaštitna struja, tj. kod rasprostranjenih

objekata. Isto tako slabija vodljivost tla ograničavat će primjenu ovakve vrste zaštite pa se ovaj postupak upotrebljava samo za zaštitu manjih objekata kao što su podzemni rezervoari, kraći cjevovodi, ukopani transformatori, manje željezne konstrukcije i sl.



Sl. 10

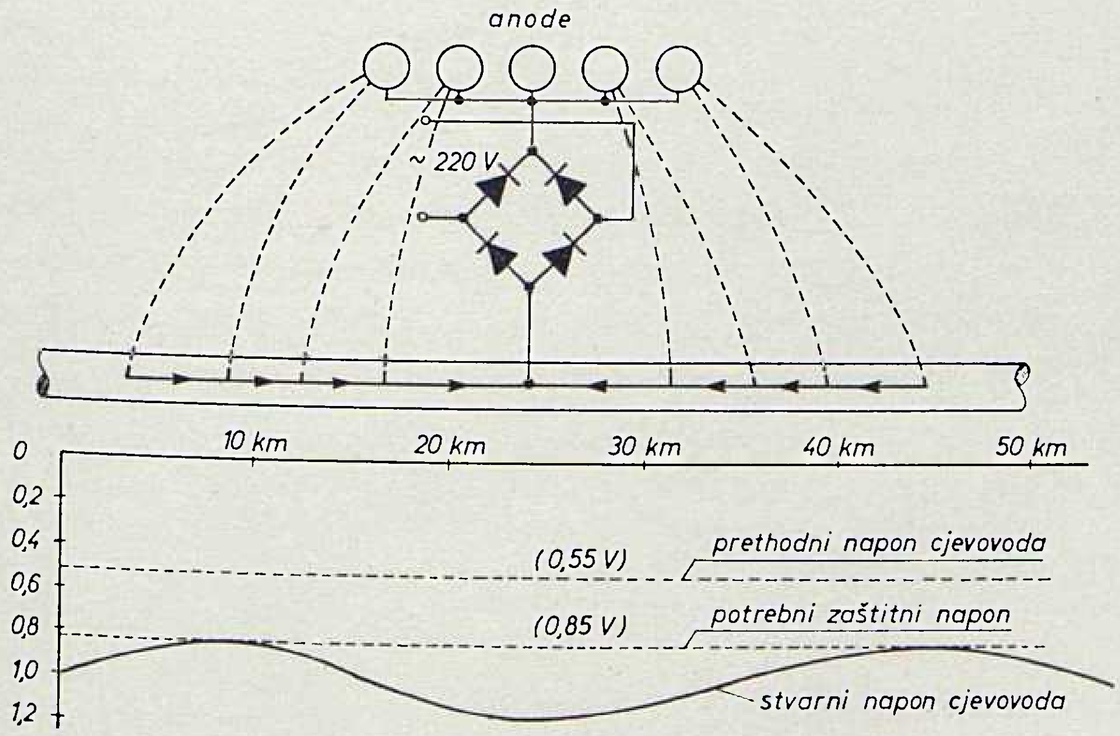
Kod rasprostranjenih objekata primijenjuje se zaštita s nezavisnim izvorom, u principu prema sl. 7, ali u stvarnoj izvedbi prema sl. 11, gdje se zaštitni napon redovno osigurava putem ispravljača iz mreže niskog napona. Ispod slike je prikazana raspodjela zaštitnog napona uzduž cjevovoda. Na taj način može se s jednim pojnim mjestom zaštititi ekonomično oko 50-tak km cjevovoda.

Kod dužih cjevovoda primijenit će se više pojnih mjesta, već prema uvjetima trase o čemu će još biti govora.

I ovdje će anode korodirati, pa se izvode masivne i odgovarajuće dimenzioniraju da traju oko 20-tak godina. Kao materijal pokazalo se zadovoljavajuće silicijevo željezo. Radi smanjenja prelaznog otpora postavlja se paralelno više elektroda koje se još obložе koksom. Broj i veličina elektroda ovisit će o veličini zaštitne struje i vodljivosti tla.

Mjerenjem i proračunima može se odrediti potrebni istosmjerni napon ispravljača. Valja, međutim, voditi računa i o promjenama tokom vremena; izolacija cjevovoda može oslabiti, pa se predviđa nekoliko odvojaka na pojnom transformatoru što omogućuje lagana prilagođavanja.

Izbor zaštite s galvanskim elementom ili s nezavisnim izvorom ovisi o veličini štićenog objekta ili bolje rečeno o potrebnoj zaštitnoj struji s jedne strane, i o specifičnom otporu zemljišta s druge strane. Odluka treba da uslijedi na temelju računa ekonomičnosti. Ipak, može se reći, da će za objekte koji zahtijevaju zaštitnu struju do 0,5 A primjena galvanske elektrode biti u prednosti bez obzira na specifičnu vodljivost uz isključenje ekstremno slabo vodljivog tla. Ako je zemljište jako dobro vodljivo (treset, glina, humus) onda se s galvanskom elektrodom mogu savladati struje od 1 do 2 A. Iskustveni dijagram za izbor prikazan je na sl. 12, a potječe od tvrtke »Ruhrgas« koja eksploatira rasprostranjenu mrežu cjevovoda i ima preko 3000 km cjevovoda katodno zaštićenih.

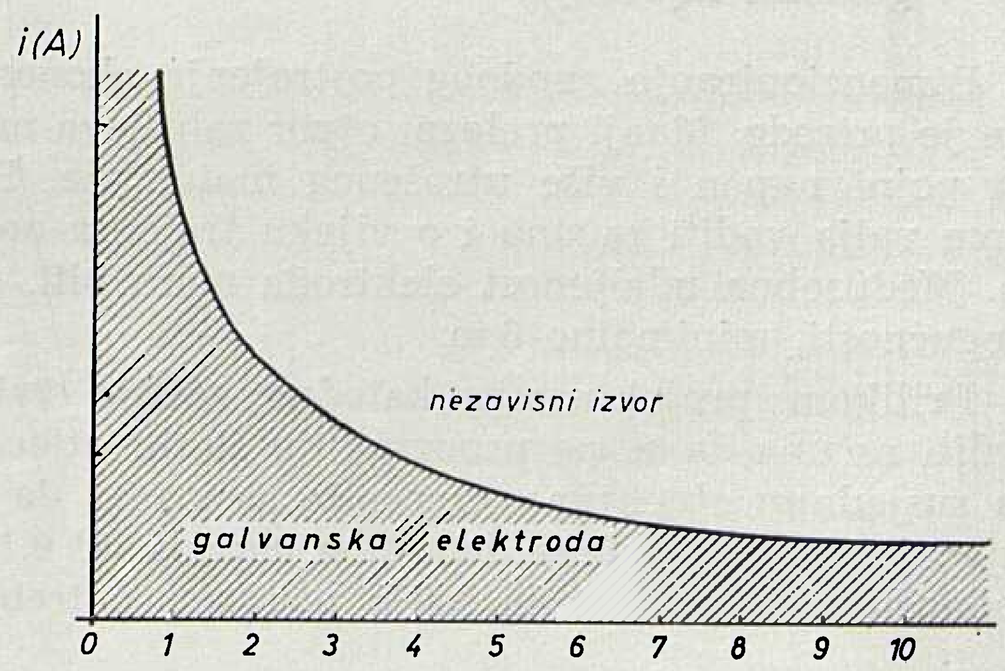


Sl. 11

6. Projektiranje katodne zaštite

Da bi se katodna zaštita ispravno dimenzionirala potrebno je raspolagati podacima o štićenom objektu, npr. cjevovodu, karakteristikama tla kroz koje prolazi cjevovod, kao i uvjetima duž trase.

Kao prvo valja raspolagati podacima o izvedbi cjevovoda, da li je varen ili drugačije spajan, da li je izolacija na osnovi asfalta ili na temelje umjetnih masa. Moguće je da su cijevi isporučene s izolacijom tako da je na licu mjesta potrebno



Sl. 12

samo izolirati poprečne šavove. U protivnom, sva izolacija se obavlja na licu mjesta što utječe na kvalitetu. Otpor izolacije može se izmjeriti tek nakon polaganja cjevovoda, ali se može i na temelju iskustva procijeniti otpor prema zemlji. Kao srednja vrijednost može se uzeti 30000 Ω/m^2 za asfaltne izolacije, odnosno, 120000 Ω/m^2 za izolacije s plastičnim masama. Za izračunavanje ukupnog otpora mjerodavne su dimenzije cjevovoda.

Za ispravno dimenzioniranje katodne zaštite potrebno je raspolagati s profilom otpora tla duž trase cjevovoda. Ti podaci će služiti za izbor pojnih mjesta, ali mogu biti i indikatori za uvođenje stepenaste izolacije, što može znatno pojeftiniti projekt odnosno učiniti ga sigurnijim. Općenito se smatra da specifična vodljivost tla do 3,0 kΩ cm predstavlja jako agresivna zemljišta i preporučuje se primijeniti dodatni sloj izolacije. Zemljišta s $\rho > 6$ kΩ cm važe kao slabo agresivna. Mjerenja je dovoljno obavljati na udaljenostima od po 1 km, a kod jako agresivnih dionica i gušće.

Prilike uzduž trase odnose se na postojeće ili predviđene podzemne metalne dijelove (cjevovodi, kabeli), zatim prilike u pogledu utjecaja električnih šinskih vozila, bilo s istosmjernom bilo izmjeničnom strujom, kao i na visokonaponske vodove. Kod jakih utjecaja valja predvidjeti indirektno uzemljenje putem katodnih odvodnika prenapona.

Potrebna zaštitna struja slijedi iz otpora izolacije uz pretpostavku da na cijevi po cijeloj dužini vlada zaštitni napon −0,85 V. Naravno da i elektrokemijski potencijal cjevovoda valja respektirati.

Jedno pojno mjesto katodne zaštite može ekonomično štititi 30—50 km dužine cjevovoda.

Položaj ugradnje pojnog mjesta mora zadovoljavati slijedeće uvjete:

1. Što bolja vodljivost tla, vodeći pri tome računa o dobroj raspodjeli zaštitnog potencijala.
2. Dovoljna udaljenost od stranih metalnih dijelova (> 100 m).
3. Dobra mogućnost napajanja iz javne mreže.
4. Lagana pristupačnost radi održavanja i pogonskih mjerenja.

Dimenzioniranje anodnog postrojenja ekonomske je prirode. Manji prelazni otpor zahtijeva manji pojni napon i više utrošenog materijala. Pri tome valja voditi računa i o vijeku trajanja anoda. Međusobna udaljenost elektroda mora biti, po mogućnosti, minimalno 6 m.

Prilikom projektiranja katodne zaštite valja voditi računa da se ne prouzrokuju štetni utjecaji na susjednim objektima. Općenito se uzima da je utjecaj u obliku pojave dodatnog napona od 0,1 V podnošljiv. U protivnom valja poduzeti potrebne mjere, pa u krajnjem slučaju i susjedni objekt uključiti u katodnu zaštitu. Naravno da se isto tako moraju uzeti u obzir utjecaji postojećih objekata na novi cjevovod.

Radi kasnije kontrole rada katodne zaštite u pogonu, valja predvidjeti odgovarajući broj mjernih mjesta duž cjevovoda (na udaljenosti 1—3 km) da bi se mogao mjeriti potencijal prema zemlji, zaštitna struja, potencijal prema susjednim objektima, itd. Sva ova mjerenja daju podatke o stanju zaštite, tj. o stanju cjevovoda i njegove izolacije što može ukazati na potrebu poduzimanja mjera za popravak. Mjerenjem je moguće utvrditi i lokaciju slabih mjesta.

7. Pogon katodne zaštite

Nakon stavljanja u pogon katodne zaštite obavljaju se detaljna mjerenja, i to su onda polazni podaci za sve kasnije kontrole pomoću usporedbe podataka.

Detaljnija mjerenja obavljaju se obično jedanput godišnje a kontrola pojnih točaka svakog mjeseca.

Literatura:

1. Ruhrgas publikacija: *Kathodische Korosionschutz.*
2. Kirsch W.: *Korosion im Boden-Grundlagen und Schutzmetoden* Franckh Verlag, Stuttgart 1968.
3. *KSB Armaturen Handbuch-Kathodischeschutz.*
4. John H. Morgan: *Cathodic Protection,* London, Leonard Hill (Books) Limited, 1959.
5. Edmund C. Potter: *Electrochemistry,* London, Cleaver-Hume Press LTD, 1961.
6. D. W. Smyth, P. L. Waldon: *Cathodic of Direct Buried Transformers,* IEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Volume Pas-91, Number 3, str. 1007.
7. John G. Donnelly: *Corrosion Experience with Subway Transformers,* IEE Transactions on Power Apparatus and System, Volume Pas-91, Number 3, str. 941.

Naslov pisca: Milan Šodan, dipl. ing. — Zagreb,
Vladimir Mikuličić, dipl. ing. — Zagreb,
Elektrotehnički fakultet

PRORAČUN KRATKOG SPOJA U PRIJENOSNOJ MREŽI NA PODRUČJU »ELEKTROPRENOSA« — MATULJI, ZA GODINE 1975. I 1982.

Miroslav Jung, Zagreb

Prikazane su pretpostavke i rezultati studije izrađene pod spomenutim naslovom u Institutu za elektroprivredu, Zagreb, početkom 1973, s posebnim osvrtom na mogućnosti korištenja programa za proračun kratkog spoja na digitalnom elektroničkom računalu ICL.

DK 621.3.01

Proračuni kratkog spoja u prijenosnoj mreži na području »Elektroprenosa« iz Matulja, za godine 1975. i 1982, provedeni su na temelju konfiguracija predočenih na slikama 1. i 2, pod uobičajenim pretpostavkama i uz upotrebu elektroničkog digitalnog računskog stroja ICL. Proračuni su obuhvatili određivanje najvećih mogućih početnih struja tropolnog i jednopolnog kratkog spoja u svakom čvorištu mreža za navedene godine, kao i vjerojatnih najmanjih trajnih struja za godinu 1975. Potonje su određene na temelju sinhronih reaktancija generatora pretpostavljajući, da regulatori napona neće djelovati za trajanja kvara, odnosno da je u nekom postrojenju izravno uzemljeno po jedno zvjezdište 110 kV-tnih namota transformatora svakog prijenosnog omjera u tom postrojenju, uz inače uključene sve elemente mreže i izravno uzemljena zvjezdišta 220 i 380 kV-tnih namota svih autotransformatora u mreži.

Pri matematičkom modeliranju za sve prikazane vodove utvrđeni su izravni i nulti nadomjesni četvoropoli, na temelju podataka o dužini, izvedbi i srednjim tipskim vrijednostima njihovih jediničnih konstanti, dok su pri samom proračunu ispuštene poprečne admitancije u izravnim nadomjesnim shemama. Tronamotni autotransformatori donjeg napona 110 kV (150 MVA) modelirani su svojim trokrakim zvijezdama u izravnoj i nultoj nadomjesnoj mreži na temelju rezultata mjerenja njihovih impedancija, dok je kod istih transformatora donjeg napona 220 kV (400 MVA) postupljeno jednako, ali uz primjenu srednjih tipskih vrijednosti. Ujedno je pretpostavljeno, da će u pogonu zvjezdišta svih navedenih transformatora biti stalno izravno uzemljena. Transformatori napona 110 kV modelirani su u izravnoj nadomjesnoj mreži svojim uzdužnim granama određenim na temelju srednjih tipskih vrijednosti napona kratkog spoja primar-sekundar, dok je u nultoj nadomjesnoj mreži za sve transformatore, osim onih 10 MVA u Raši, uzeto, da je nadomjesna impedancija primar-tercijar jednaka onoj iz izravne nadomjesne mreže. Kod proračuna najvećih mogućih struja kratkog spoja pretpostavljeno je, da su zvjezdišta svih navedenih transformatora izravno uzemljena, a kod proračuna vjerojatnih najmanjih struja kratkog spoja, da je uzemljeno zvjezdište samo jednog transformatora svakog prijenosnog omjera u svakom postrojenju.

Generatori su kod proračuna početnih struja kratkog spoja nadomješteni zasićenim vrijednostima svojih uzdužnih početnih impedancija, pa je uzeto, da se mreža neposredno pred nastup kvara nalazi u praznom hodu, da su elektromotorne sile svih generatora istofazne, a po iznosu jednake faznom naponu koji odgovara nazivnom naponu mreže i, da kvar nastupa trenutno bez ikakvog prelaznog otpora. Kod proračuna trajnih struja kratkog spoja postupljeno je jednako, tako da su generatori nadomješteni svojim sinhronim reaktancijama, a djelovanje naponskih regulatora u mreži je zanemareno. Konačno, kod proračuna jednopolnog kratkog spoja je uzeto da su izravna i inverzna nadomjesna mreža identički jednake.

Utjecaji susjednih područja: Slovenije, sjeverozapadne Hrvatske i Dalmacije, uzeti su u ovoj studiji u obzir na temelju raspoloživih rezultata iz ranije izrađenih elaborata.

Svi navedeni podaci učitani su u stroj u obliku relativnih vrijednosti impendancija i nultih admitancija određenih za pojedine elemente mreže na temelju pripadnog nazivnog napona i proizvoljno odabrane temeljne snage.

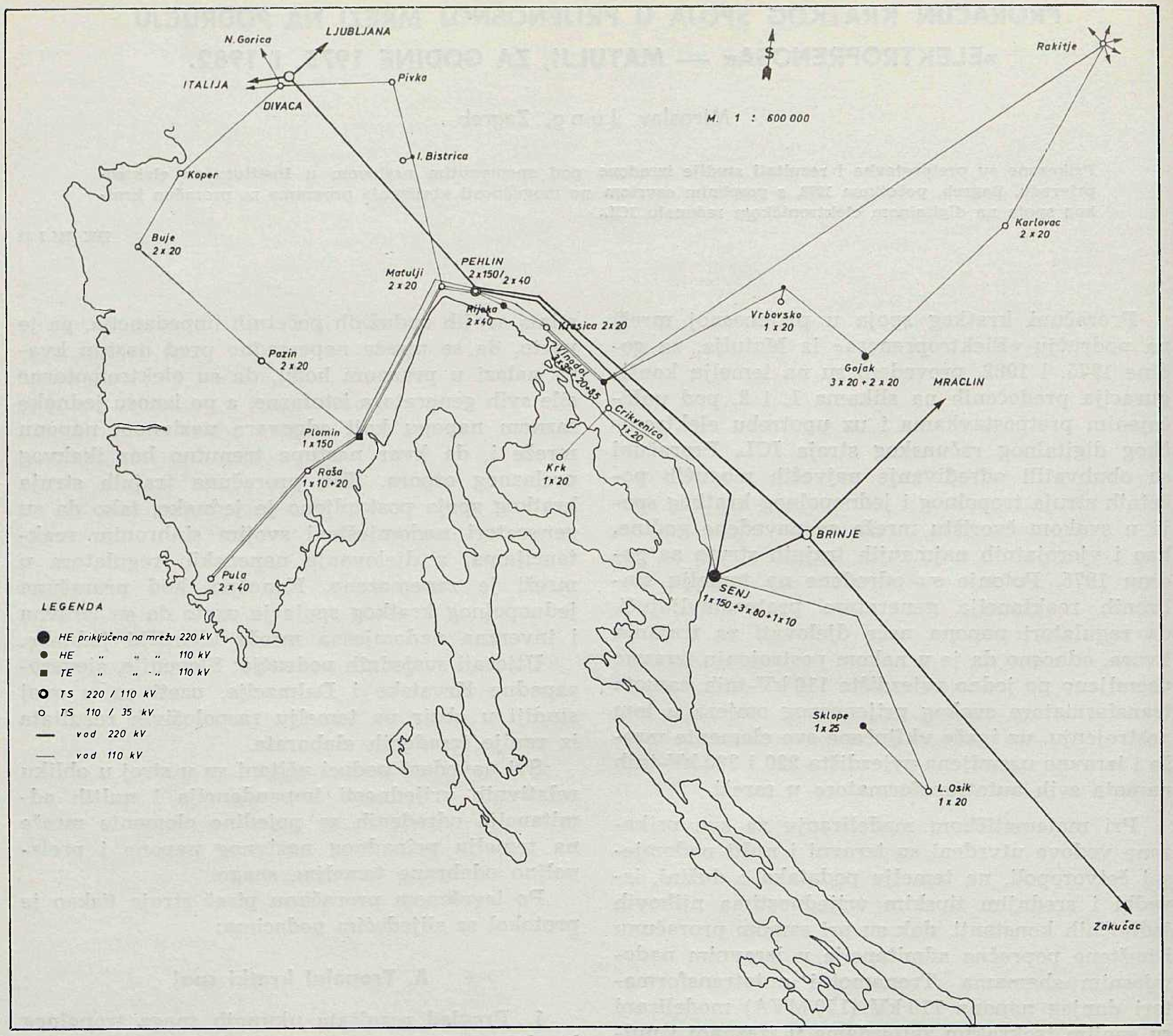
Po izvršenom proračunu pisač stroja tiskao je protokol sa slijedećim podacima:

A. Tropolni kratki spoj

1. Pregled rezultata ukupnih snaga tropolnog kratkog spoja kod neistodobnih kvarova u svakom čvorištu mreže;

2. Udjeli struja odn. snaga i naponi u mreži kod tropolnog kratkog spoja u svakom od zadanih čvorišta, kako slijedi:

a) ukupna snaga u bolesnom čvoru,
b) udio u ukupnoj snazi iz nadomjesnog generatora priključenog izravno na bolesni čvor,
c) pregled relativnih iznosa i pripadnih vektorskih pomaka napona u svim čvorištima mreže kod kvara u promatranom bolesnom čvoru.
d) Pregled udjela u ukupnoj struji i snazi u bolesnom čvoru iz svakog nadomjesnog izvora priključenog na mrežu u obliku struja danih u Cartesiusovim i polarnim koordinatama, kao i u obliku pripadnih snaga. Pri tome iznosi struja mogu biti u stvarnim ili u relativnim veličinama, i
e) pregled tokova udjela struje kratkog spoja u bolesnom čvoru na oba kraja svakog voda u mreži, danih isto kao pod d), te pripadnih snaga.



Sl. 1 Konfiguracija mreže 1975.

B. Jednopolni kratki spoj

1. Pregled rezultata ukupnih snaga, kao pod A. 1.

2. Udjeli struja odn. snaga i naponi u mreži kod jednopolnog kratkog spoja u svakom od zadanih čvorišta, kako slijedi:

a) Ukupna snaga u bolesnom čvoru, kao pod A. 2. a).

b) Udjeli u ukupnoj struji i snazi iz nadomjesnog izvora priključenog izravno na bolesni čvor:

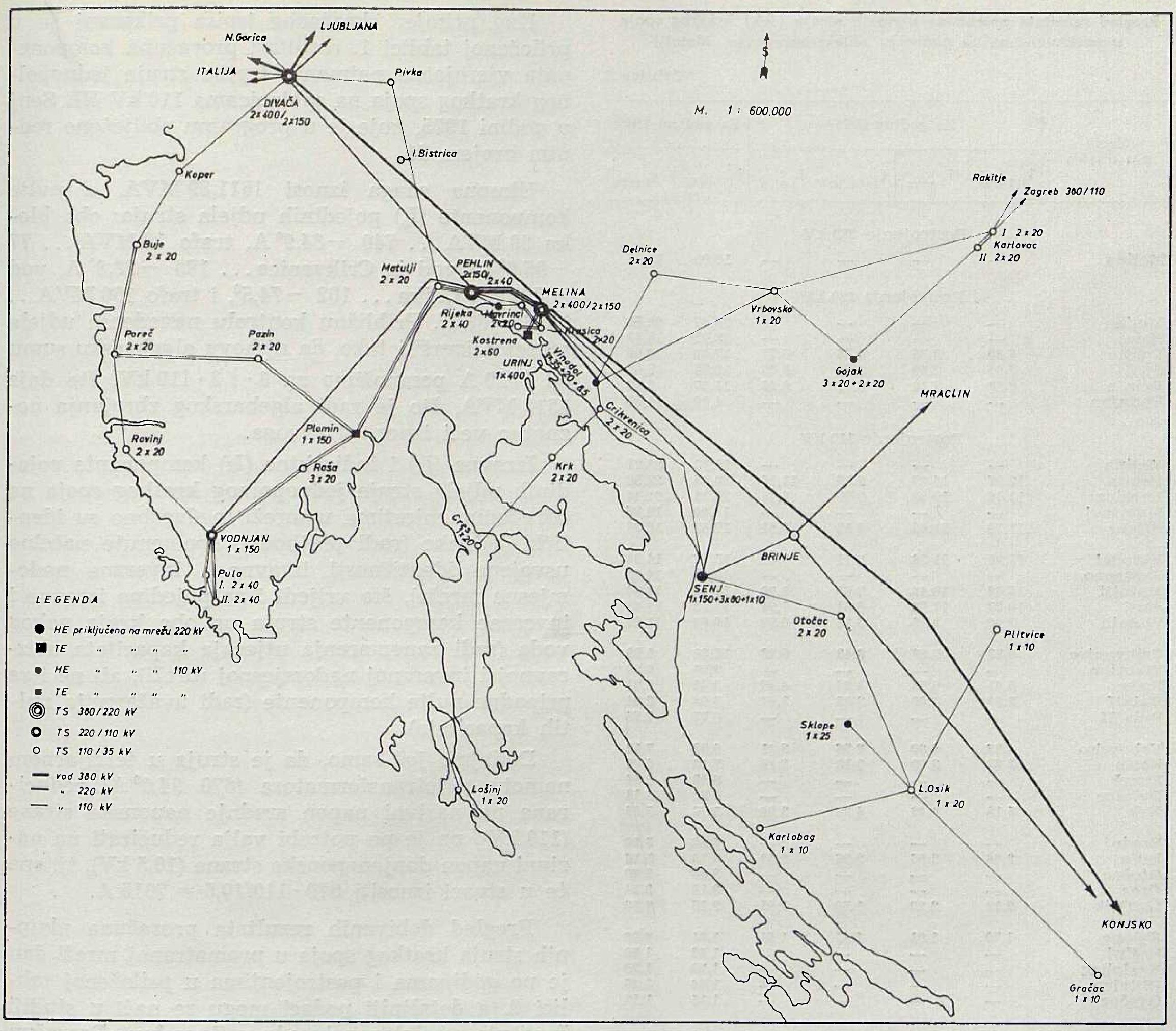
1) u obliku stvarnih ili relativnih iznosa struja u bolesnoj i zdravim fazama, danih u Cartesius-ovim i polarnim koordinatama, kao i u obliku pripadnih faznih snaga, ili
2) u obliku stvarnih ili relativnih iznosa komponenata struja u izravnoj, inverznoj i nultoj nadomjesnoj mreži, danih kao prethodno, kao i u obliku pripadnih komponenata snaga.

c) Udjeli u ukupnoj struji i snazi iz nadomjesnog transformatora, bez napajanja sa sekundarne strane, priključenog izravno na bolesni čvor, u obliku kao pod 1. ili pod 2.

d) Pregled relativnih iznosa i pripadnih vektorskih pomaka napona bolesne i zdravih faza ili njihovih komponenata u svim čvorištima mreže, kod kvara u promatranom bolesnom čvorištu.

e) Pregled tokova udjela struje kratkog spoja u bolesnom čvoru na oba kraja svakog voda u mreži predočenih kao pod b) 1. ili b) 2., te pripadnih snaga, i

f) pregled, ali za struje u svim tronamotnim transformatorima u mreži, uključivši i tercijar, čije se struje daju reducirane na nazivni napon srednjenaponskog namota.



Sl. 2 Konfiguracija mreže 1982.

Tablica 1

SINGLE LINE TO GROUND FAULT AT BUS 21 SENJ 11

FAULT LEVEL IS 1511.89 MVA

GENERATOR INFEED IN AMPERS IS

	CARTESIAN		POLAR		MVA
I1	15.5342	— 238.3149	238.8207	— 86.2705	45.501
I2	15.5342	— 238.3149	230.8207	— 86.2705	45.501
I0	65.6429	— 737.0458	739.9632	— 84.9105	140.982

CURRENT IN EQUIVALENT LOAD TRANSFORMER FROM BUSBAR IN AMPERS IS

	CARTESIAN		POLAR		MVA
I1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000
I2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000
I0	— 6.7891	76.8697	77.1690	95.0472	14.703

LOCAL LINE CURRENTS IN POLAR CO-ORDINATES

LINE	BUSBAR	BUSBAR	I1		I2		I0		NOMINAL VOLTAGE kV
23	CRIKVE	SENJ 11	718.2035	— 74.59	718.2035	— 74.59	195.5030	— 72.86	110.
			718.2035	— 74.59	718.2035	— 74.59	194.9475	— 72.82	110.
24	L. OSIK	SENJ 11	41.0160	— 84.95	41.0160	— 84.95	102.7353	— 74.59	110.
			41.0160	— 84.95	41.0160	— 84.95	101.6956	— 74.46	110.

LOCAL AUTO-TRANSFORMER CURRENTS IN POLAR CO-ORDINATES

AUTO-TRAN	BUSBAR	BUSBAR	I1		I2		I0		NOMINAL VOLTAGE kV
2	SENJ 22	SENJ 11	828.4826	— 85.66	828.4826	— 85.66	433.4507	— 82.01	220.
			1656.9653	— 85.66	1656.9653	— 85.66	1535.0870	— 83.34	110.
			669.6192	94.94	669.6192	94.94	669.6192	94.94	110.

Očito je, da ovako obiman ispis svih mogućih rezultata koje u pogonu mjere strujni i naponski mjerni transformatori, zahtijeva odgovarajući prostor, pa se radi veće preglednosti može od stroja tražiti smanjeni ispis. Npr. da cjelovite rezultate ispiše samo za kvarove u nekim od čvorišta mre-

Pregled rezultata proračuna ukupnih struja (kA) kratkog spoja u postrojenjima na području »Elektroprenosa«, Matulji

Tablica 2

Naziv postrojenja	Za godinu 1975.				Za godinu 1982.	
	$I''_{III\,max}$	$I''_{I\,max}$	$I_{III\,min}$	$I_{I\,min}$	$I''_{III\,max}$	$I''_{I\,max}$
	Postrojenje 380 kV					
Melina	—	—	—	—	10,90	10,65
	Postrojenja 220 kV					
Melina	—	—	—	—	20,27	22,60
Urinj	—	—	—	—	18,22	18,63
Pehlin	8,60	8,35	6,53	6,77	17,49	16,95
Senj	7,96	7,60	5,82	6,03	10,75	9,57
Brinje	8,48	7,12	6,47	5,98	11,07	8,40
Vodnjan	—	—	—	—	4,70	4,37
	Postrojenja 110 kV					
Melina	—	—	—	—	20,72	23,21
Pehlin	12,97	15,27	9,16	11,15	20,14	22,50
Krasica	11,16	10,39	8,05	7,75	20,11	21,44
Mavrinci	—	—	—	—	19,20	18,36
Rijeka	11,30	11,45	8,18	8,51	17,69	16,73
Vinodol	11,00	11,39	7,71	7,65	15,06	14,94
Kostreno	—	—	—	—	15,83	14,82
Matulji	10,58	10,42	7,69	8,00	17,11	14,60
Senj	10,27	11,85	6,61	7,94	11,23	12,84
Plomin	7,80	8,78	5,38	6,52	10,68	11,04
Crikvenica	8,52	7,89	6,43	6,23	10,30	9,83
Vodnjan	—	—	—	—	7,91	9,20
Raša	5,61	5,54	4,24	4,47	8,49	8,31
Pula I	3,53	4,00	2,93	3,07	6,94	8,01
Pula II	—	—	—	—	6,77	7,75
Vrbovsko	4,23	4,00	3,56	3,41	8,03	7,12
Pazin	3,83	3,99	3,18	3,19	7,12	6,49
Poreč	—	—	—	—	6,83	6,42
Delnice	—	—	—	—	6,83	6,14
Krk	5,18	4,42	4,33	3,90	5,78	5,68
Rovinj	—	—	—	—	5,38	5,30
Buje	2,66	2,85	2,36	2,32	5,62	5,16
Otočac	—	—	—	—	3,46	3,70
Cres	—	—	—	—	3,19	3,14
L. Osik	2,12	2,23	1,70	1,91	2,15	2,50
Sklope	1,79	1,91	1,41	1,61	1,81	2,00
Lošinj	—	—	—	—	1,53	1,59
Karlobag	—	—	—	—	1,39	1,38
Plitvice	—	—	—	—	1,36	1,35
Gračac	—	—	—	—	1,15	1,12

že, da za kvarove u svim ili samo nekim od čvorišta mreže ispiše samo udjele koji na promatrana mjesta pritječu iz izravno priključenih elemenata mreže, da izostavi ispis napona i sl., kao i da odvojeno ispiše najprije sve rezultate za potrebe relejne zaštite mreže, a potom samo neke od njih za druge potrebe.

Kao primjer skraćenog ispisa prikazani su u priloženoj tablici 1. rezultati proračuna komponenata vjerojatne najmanje trajne struje jednopolnog kratkog spoja na sabirnicama 110 kV HE Senj u godini 1975, koje je u programu obilježeno rednim brojem 21.

Ukupna snaga iznosi 1511,89 MVA, a nulte komponente (I_0) pojedinih udjela struja: oba bloka 80 MVA ... 740 $-84{,}9^0$ A, trafo 10 MVA ... 77 $-95{,}0^0$ A, vod iz Crikvenice ... 195 $-72{,}8^0$ A, vod iz Ličkog Osika ... 102 $-74{,}5^0$, i trafo 150 MVA ... 1536 $-83{,}3^0$. Približnu kontrolu navedenih udjela možemo izvršiti tako, da njihovu algebarsku sumu od 2650 A pomnožimo za $3 \cdot \sqrt{3} \cdot 110$ kV, što daje 1516 MVA, što je radi algebarskog zbrajanja neznatno veći iznos od prvoga.

Izravne (I_1) i indirektne (I_2) komponente pojedinih udjela struje jednopolnog kratkog spoja na određenim mjestima u mreži međusobno su identički jednake (radi prethodno spomenute načelno usvojene identičnosti izravne i inverzne nadomjesne mreže), što vrijedi i za pojedine izravne i inverzne komponente struja na oba kraja nekog voda (radi zanemarenja utjecaja kapaciteta u izravnoj i inverznoj nadomjesnoj mreži), ali ne i za pripadne nulte komponente (radi uvažavanja nultih kapaciteta).

Dodajmo još samo, da je struja u tercijarnom namotu autotransformatora (670 $94{,}0^0$ A) reducirana na nazivni napon srednje naponske strane (110 kV), pa je po potrebi valja reducirati na nazivni napon donjenaponske strane (10,5 kV), tj. one će u stvari iznositi $670 \cdot 110/10{,}5 = 7015$ A.

Pregled dobivenih rezultata proračuna ukupnih struja kratkog spoja u promatranoj mreži dan je po godinama i postrojenjima u priloženoj tablici 2, a detaljniji podaci mogu se naći u studiji Instituta za elektroprivredu u Zagrebu: »Proračun kratkog spoja u mrežama 110, 220 i 380 kV na području »Elektroprenosa«, Matulji, za godine 1975. i 1982.«, završenoj u ožujku 1973. kao i u priloženom protokolu računskog stroja ICL.

Naslov pisca: Miroslav Jung, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

PROBLEMATIKA MODELIRANJA KABELSKIH MREŽA

Zdenko Tonković, Zagreb

Prikazana je jedna od mogućih metodologija izgradnje modela kabelske mreže niskog napona i njegova verifikacija, s posebnim osvrtom na interval frekvencija. Dani su i rezultati provedenih ispitivanja.

DK 621.315.2

1. Općenito

Proučavanje zaštite u energetskim mrežama, njeno projektiranje i ispitivanje djelovanja, postavlja problem simulacije mreže, naročito predstavljanja frekventno i naponski ovisnih parametara. U Zavodu za eksplozionu zaštitu Instituta »Rade Končar« istraživali su i usavršavali novi tip zaštite od zemljospoja i kratkog spoja u niskonaponskim rudničkim mrežama. Te su mreže izolirane, tj. nemaju nikakvog spoja sa zemljom, i kabelske su izvedbe. U okviru sadašnjeg rada interesirat će nas samo analogno simuliranje elemenata takvog sistema mreže; digitalne simulacije sa svim implikacijama nećemo razmatrati. Potpuno rješenje problema predstavljala bi istovremena analogna i digitalna simulacija uz kontrolna ispitivanja u konkretnoj mreži. Metodologija, za koju smatramo da je ispravna za pristup toj problematici, traži najprije upoznavanje prilika u stvarnoj mreži, također s posebnim naglaskom na intervale frekvencija (prelazne pojave!), zatim izgradnju analognog modela te mreže na kojem će se izvršiti jednaka ispitivanja kao i u stvarnoj mreži, i na kraju, obrada i usporedba rezultata. Sličnosti i različitosti između tih rezultata ukazivat će na odgovarajuće potrebne modifikacije modela kako bi ga što više približili stvarnoj mreži za koju projektiramo i ispitujemo zaštitu. Najveći problem su frekventno ovisni parametri mreže, no potrebno je napomenuti da njihova precizna simulacija nije ni moguća ni potrebna, jer nas za analizu prilika pri zemljospoju interesiraju prvenstveno kapaciteti prema zemlji, a oni se u stvarnoj mreži poznaju s vrlo malom točnosti. Ovisno o podacima proizvođača, koji daje vrijednosti pogonskih, a ne dozemnih kapaciteta, i koji ne uzimaju u obzir starenje dielektrika a time i promjenu kapaciteta kabela. Prema tome, s inženjerskog stanovišta nema smisla inzistirati na velikoj točnosti modela.

Poznato je da su osnovna svojstva prijenosnog voda, njegove električne konstante, jednoliko raspodijeljene njegovom dužinom: radni otpor R, iduktivitet L, kapacitet C, odvod G. Te, jednoliko raspodijeljene konstante možemo za ispitivanja koncentrirati, pa sa tako koncentriranim konstantama predstaviti sistem četveropolom bilo po *Pi*-shemi bilo po T-shemi. Za *Pi*-shemu koncentriramo sve radne otpore i induktivitete u jednu uzdužnu impedanciju $Z = R + j\omega L$, a po polovicu odvoda i kapaciteta koncentriramo na početak i na kraj sistema u poprečnu admitanciju $Y/2 = G + j\omega C$. Za T-shemu sve odvode i kapacitete koncentriramo u jednu poprečnu admitanciju, a po polovicu radnog otpora i induktiviteta u uzdužne impedancije na početku i na kraju sistema. Svako takvo koncentriranje raspodijeljenih konstanti ima samo operativni značaj i pomaže nam pri određivanju prilika na početku i na kraju prijenosnog sistema, dok električne prilike duž sistema ne možemo odrediti. Postavlja se pitanje točnosti shema za simulaciju konkretnog sistema.

Poznato je iz literature (1) da se približnim shemama prema sl. 1 mogu predstaviti kabelski prijenosni vodovi do približno 100 km dužine. Kako su dužine rudničkih kabelskih mreža znatno ispod takvih vrijednosti slijedi da, s obzirom na dužine kabela, približne sheme potpuno zadovoljavaju.

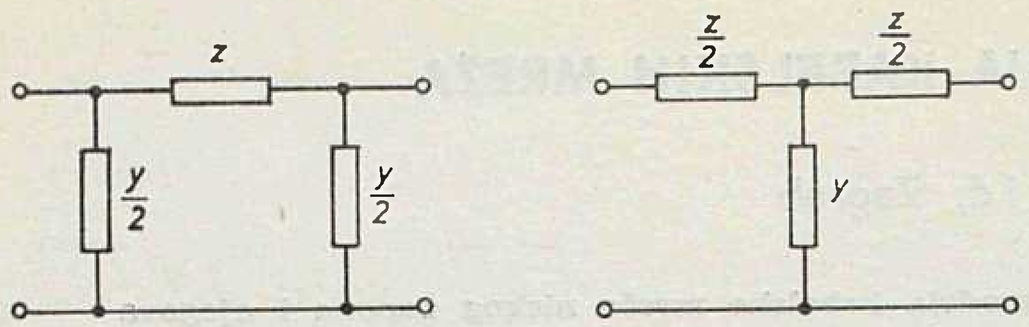
Međutim, od interesa nam je poznavati i točnost nadomjesnih shema sistema s obzirom na frekvencije. To je posebno interesantno ispitati s obzirom na prijelazne pojave kada se pojavljuju titraji frekvencije oko 150 Hz do 2000 Hz — ovisno o veličini mreže i broju priključenih transformatora, odnosno prigušnica, i potrošača. Ti, više ili manje prigušeni titraji, pojavljuju se kao posljedica poremećaja u titrajnom sistemu što ga čine kapaciteti grana i namotaji transformatora ili potrošača: u slučaju zemljospoja zdrave faze moraju provesti veću količinu naboja, a to je moguće jedino kroz namotaje transformatora ili potrošača. Tek kad se provede taj višak naboja zdravim fazama prelazna se pojava smiruje u stacionarno stanje s normalnom pogonskom frekvencijom. Pojava je to kraća što se u mreži nalazi veći broj transformatora i potrošača jer je prigušenje veće, no i frekvencije su više. Interes za sličnosti i razlike između stvarnih sistema i njihovih modela unutar prelazne pojave interesantan nam je već i zato što su vremena prorade zaštite sve kraća i sve bliža vremenu u kojem zemljospojeni sistem još nije dosegao svoje stacionarno stanje.

Upotrijebimo li metodu koja je korištena za određivanje granične dužine, no s tim da će nas sada interesirati frekvencije, dobivamo:

$$f = \frac{v}{l\pi}\sqrt{2p}$$

v = brzina prostiranja vala u kabelu, približno 150.000 km/s. Dozvolimo li pogrešku $p = 0{,}5\%$, ispitajmo dužine kabela 1, 2 i 3 km.

l = 1 km: f = 4780 Hz
l = 2 km: f = 2390 Hz
l = 3 km: f = 1595 Hz.



Sl. 1. Prijenosni vod predstavljen *Pi*- i *T*-shemom

Postavlja se još pitanje koju je nadomjesnu shemu povoljnije izabrati. Iz praktičnih razloga odlučili smo se za *Pi*-shemu, iako ona daje nešto veće admitancije nego što bi bilo povoljno za konačni cilj naše izgradnje modela, a to je ispitivanje zaštite protiv zemljospoja i kratkog spoja.

2. Prilike u stvarnoj mreži

Iz takvog razmatranja mogli bi zaključiti da je granica točnosti, u pogledu frekvencija koje se javljaju pri prelaznoj pojavi, između dva i tri kilometra dužine kabela. Nedostatak iskustva, kao i referentne literature iz područja dinamičkog modeliranja sistema, dakle što točnijeg modeliranja s obzirom na spektar frekvencija različitih od pogonske, što se pojavljuje tokom prelazne pojave, ponukao nas je da se ne zadovoljimo prethodnom konstatacijom, nego da je pokušamo i eksperimentalno provjeriti. U tu su svrhu izvršena mjerenja u stvarnoj rudničkoj kabelskoj mreži, u jami »Labin« Istarskih ugljenokopa »Raša«. Ispitivanja su obavljena na dva mjesta u mreži jame »Labin«: mjerno mjesto 1, na kojem su ispitivane pojave vezane uz zemljospoj, nalazilo se na razvodu na vrhu slijepog okna 193, a mjerno mjesto 2, na kojem je ispitivano djelovanje ASZK zaštite, nalazilo se u transformatorskoj stanici TS 191 II. Jednopolnu shemu mreže transformatorske stanice na kojoj su vršena ispitivanja s oznakama tipa i konstrukcije, presjeka i dužine postojećih kabela, kao i položaji mjernih mjesta 1 i 2, prikazani su na sl. 2. Za snimanja je upotrijebljen Tektronix Storage osciloskop, a priključen je na mrežu prema shemi, sl. 3:

3. Izgradnja modela

Tu istu rudničku mrežu predstavili smo zatim njenim modelom sastavljenim iz *Pi*-članova na osnovi podataka o kabelima dobivenim od Industrije kablova »Moša Pijade« u Svetozarevu (budući da se njihovi kabeli nalaze instalirani u jami »Labin«):

Tip i konstrukcija kabela, 1 kV		Radni otpor Ω/om	Kapacitet, μF/km		Induktivitet mH/km
			pogonski	prema zemlji	
		R	C	C_z	L
PP 41	(3×70) 4×70	0,268	(0,85) 0,935	0,514	(0,25) 0,275
GN 50	4×25	0,795	0,35	0,1925	0,28
GN 50	5×4	5,09	0,25	0,1375	0,2
GN 62	4×25	0,795	0,55	0,303	0,3

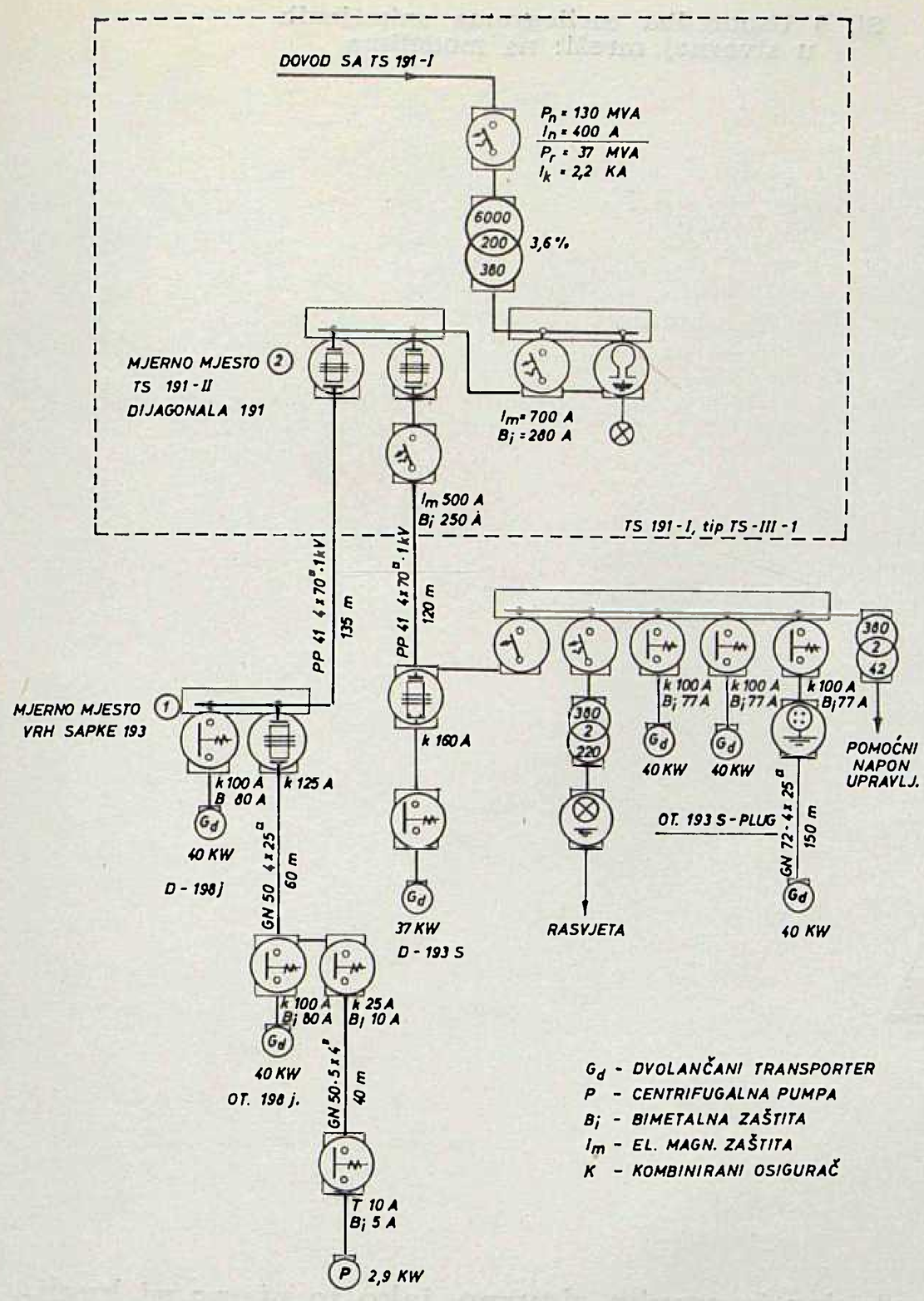
Za kabel PP 41 dobili smo podatke za presjek 3 × 70 mm², to su vrijednosti u zagradi, a za naš presjek 4 × 70 mm² smo povećali odgovarajuće veličine za 10%. Istovremeno smo iz pogonskog kapaciteta odredili potreban kapacitet prema zemlji iz približne formule $C_z = 0{,}55$ C.

U slijedećoj tablici dane su vrijednosti koncentriranih konstanti, koje su dobivene tako da su vrijednosti distributivnih konstanti pomnožene s odgovarajućim dužinama kabela; izračunate su i vrijednosti kapacitivne susceptancije i induktivne reaktancije:

Kapacitet prema zemlji razbijen je u dva dijela, kako to zahtijeva *Pi*-shema.

Sad imamo sve potrebne veličine za modeliranje odgovarajuće rudničke mreže, sl. 4. U stvarnoj izvedbi modela radne otpore zanemarujemo, a kapacitete i induktivitete gradimo raspoloživim elementima koji tek približno aproksimiraju izračunate vrijednosti, (napisane su u zagradama). Zemljospoj nastupa na mjestu 1, iza prve *Pi*-sheme (ustvari na kraju kabela PP 41 4 × 70 mm² 135 m, vidi sl. 2), pa nema prepreke da se ostali članovi ne spregnu: drugi i treći u jedan te četvrti i peti u drugi. To sažimanje izvršit ćemo koristeći

Tip kabela		*l* m	*R* mΩ	C_z	nF	ωC μS	*L* μH	ωL mΩ
PP 41	4 × 70	135	36,2	69,4	34,7 34,7	2 × 10,9	37,1	11,66
PP 41	4 × 70	120	34,2	61,6	30,8 30,8	2 × 9,68	33	10,38
GN 50	4 × 25	60	47,7	11,55	5,78 5,78	2 × 1,81	16,8	5,28
GN 50	5 × 4	40	202	5,5	2,75 2,75	2 × 0,86	8	2,52
GN 62	5 × 25	150	119,2	45,4	22,7 22,7	2 × 7,13	45	14,14



Sl. 2 Shema rudničke mreže TS 191-I jame »LABIN«

opće konstante ili prijenosne parametre sistema. Koristimo li *Pi*-sheme onda su opće konstante:

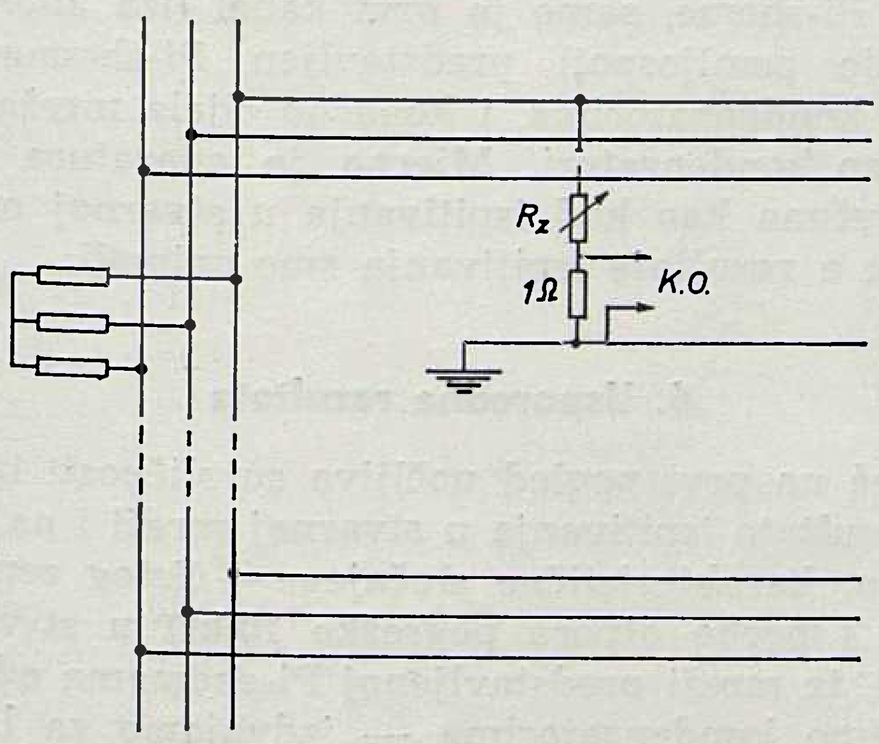
$$A = 1 + ZY_2 + 1 + ZY$$

$$B = Z \quad \Omega$$

$$C = Y_1 + Y_2 + ZY_1Y_2 = 2\,Y + ZY^2 \quad S$$

$$D = 1 + ZY_1 = 1 + ZY = A\,.$$

S tako izračunatim općim konstantama možemo više sistema (*Pi*-shema) prikazati jednim ekvivalentnim. Kako se u našem slučaju radi o kabelima različitih karakteristika koji se nastavljaju jedan na drugi, dakle o serijskom spajanju prijenosnih



Sl. 3. Priključak mjerne aparature na mrežu

sistema, opće konstante ekvivalentnog sistema bit će:

$$A_e = A_1A_2 + B_1C_2$$

$$B_e = A_1B_2 + B_1D_2$$

$$C_e = D_1C_2 + C_1A_2$$

$$D_e = D_1D_2 + C_1B_2\,,$$

a elementi njegove *Pi*-sheme:

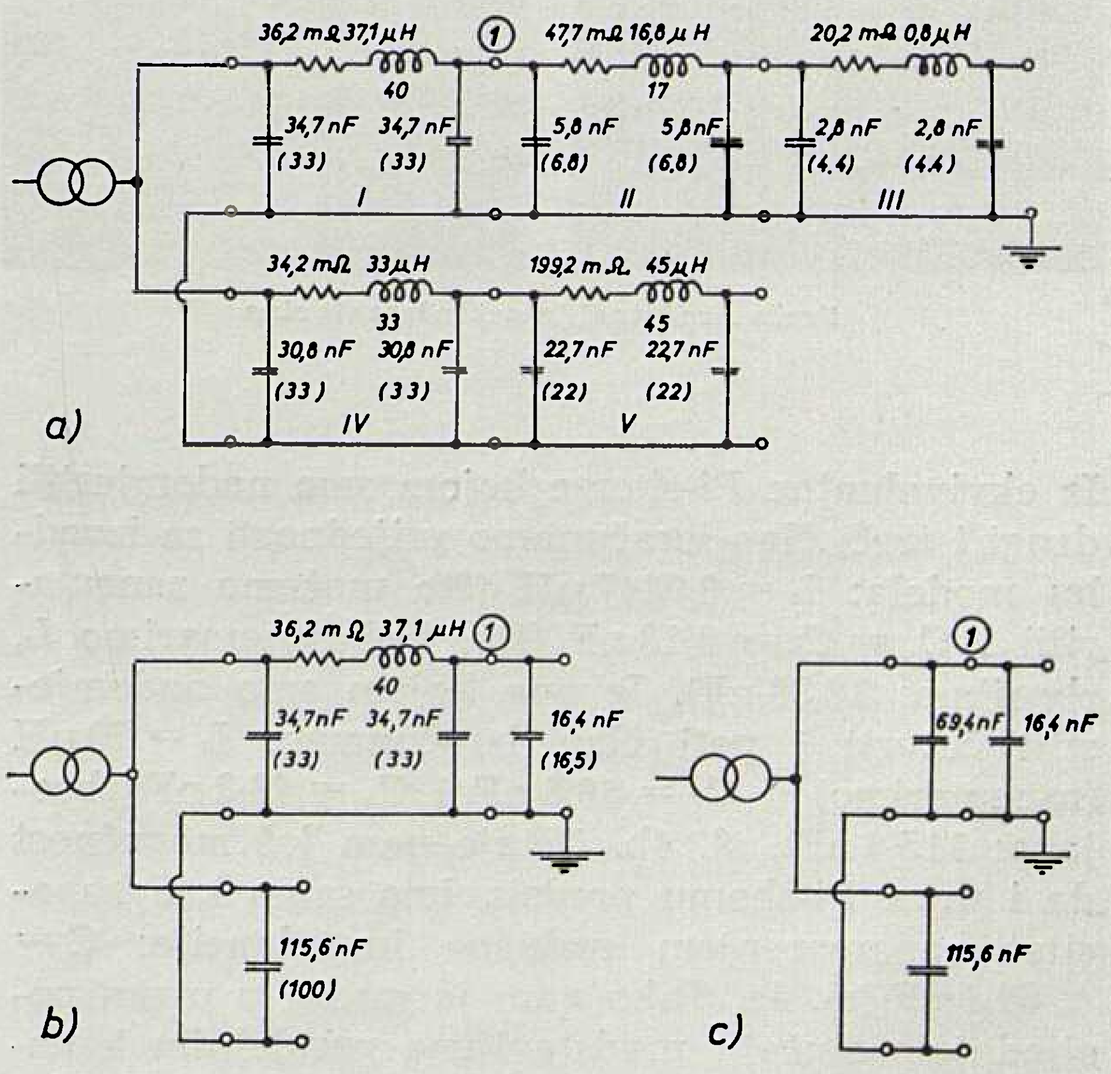
$$Z = B$$

$$Y_1 = \frac{D_e - 1}{B_e}$$

$$Y_2 = \frac{A_e - 1}{B_e}\,.$$

Opće konstante nisu nezavisne veličine, već među njima postoji veza, što nam može poslužiti kao kontrola točnosti proračuna:

$$AD - BC = 1\,.$$



Sl. 4 Shema modela rudničke mreže TS 191-I jame »LABIN«

Na taj ćemo način i mi pojednostavniti našu mrežu. Računamo najprije opće konstante svakog kabela, a zatim opće konstante ekvivalentne *Pi*-sheme. Iz tih općih konstanti ekvivalentne *Pi*-sheme izračunamo elemente koji su nam potrebni za postavljanje modela:

II—III $\quad Z = j\,7{,}78 \quad m\Omega$

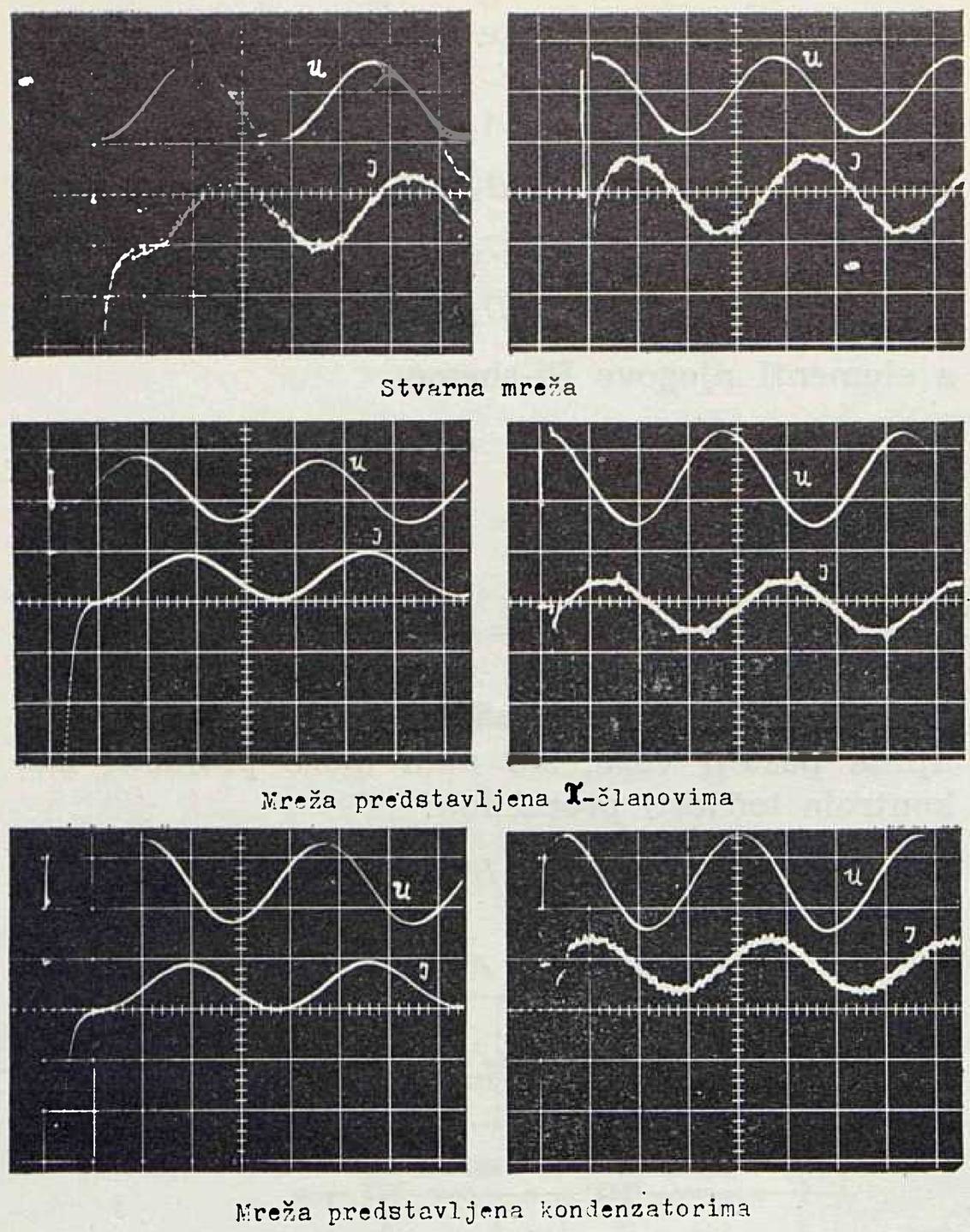
$$Y_1 = \frac{-\,0{,}02}{j\,7{,}78} = j\,2{,}57 \quad \mu S$$

$$Y_2 = \frac{-\,0{,}02}{j\,7{,}78} = j\,2{,}57 \quad \mu S$$

JV—V $\quad Z = j\,22 \quad m\Omega$

$$Y_1 = \frac{-\,0{,}463}{j\,22} = j\,21 \quad \mu S$$

$$Y_2 = \frac{-\,0{,}338}{j\,22} = j\,15{,}36 \quad \mu S$$



Sl. 5 Usporedba oscilograma snimljenih u stvarnoj mreži: na modelima

Iz ekvivalentne *Pi*-sheme kojom smo nadomjestili drugi i treći član izračunamo vrijednosti za izvedbu modela: $L = 0{,}0247\ \mu H$ (što možemo zanemariti) i $C_1 = C_2 = 8{,}18$ nF (što, kad zanemarimo L, zbrojimo: 16,36 nF). Iz one kojom smo nadomjestili četvrti i peti član izračunamo: $L = 70\ \mu H$ (zanemarimo) a $C_1 = 66{,}8$ nF i $C_2 = 48{,}8$ nF (zbrojeno: 115,6 nF), sl. 4b. Ostaje nam još mogućnost da i prvu *Pi*-shemu predstavimo samo kao kapacitet zanemarenjem uzdužne impedancije: $C = 69{,}4$ nF, sl. 4c. Tako nam je mreža u ovom posljednjem slučaju predstavljena paralelnim kapacitetima, čija je ukupna vrijednost 201,4 nF. Napominjemo da je ta vrijednost kapaciteta faznih vodiča prema zemlji uzeta kao 55% pogonskog kapaciteta prema podacima proizvođača. Uzmemo li međutim 60%, što također dozvoljava približna formula, dobili bi da je kapacitet modela mreže 211,1 nF — što je dobro približenje onom kapacitetu što ga ima stvarna jamska mreža izračunatom iz struje čistog zemljospoja (260 nF). Na sl. 4 vrijednosti u zagradama znače prave vrijednosti elemenata *Pi*-shema, a sa (1) je označeno mjesto zemljospoja.

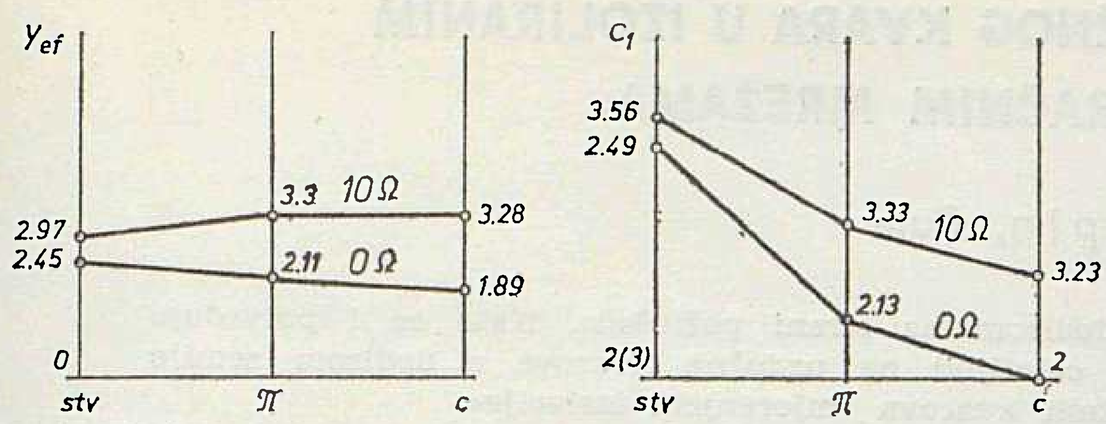
4. Ispitivanja na modelu

Tako izgrađen model mreže odgovarajućeg transformatorskog područja jame »Labin« priključili smo na izvor napon-transformator i to ne na izolacioni, iako bi i to bilo dovoljno da se realizira izolirana mreža, nego na isti onakav tip kakav se nalazi u stvarnoj mreži. Učinili smo to zato jer je sasvim sigurno, iako to nismo ni kvalitativno ni kvantitativno analizirali, da se iz razmatranja ne mogu isključiti kapaciteti koji postoje između namotaja transformatora i zemlje, kao i između namotaja međusobno. Iako je jedan od oblika zaštite od zemljospoja galvansko odijeljivanje dijelova mreže transformatorima, teoretski bi bilo interesantno istražiti koliki se dio struje zemljospoja ipak prenosi iz bolesnog dijela mreže u zdravi, uslijed kapaciteta između primarnih i sekundarnih namotaja. A zatim, ne može se zanemariti ni induktivitet transformatora koji, kako smo već rekli, znatno utječe tokom prelazne pojave.

Ispitivanja smo podijelili u dvije grupe: čisti zemljospoj i zemljospoj s otporom pogreške 10 kΩ. Ona su obavljena na tri vrste modela mreže (sl. 4): samo *Pi*-sheme, samo je prvi kabel (iza kojeg se dogodio zemljospoj) predstavljen *Pi*-shemom a ostali kondenzatorima, i konačno cijela mreža samo kao kondenzatori. Mjerna je aparatura bila priključena kao kod ispitivanja u stvarnoj mreži (sl. 3), a rezultate ispitivanja smo snimali.

6. Usporedba rezultata

Već na prvi pogled uočljive su sličnosti između rezultata ispitivanja u stvarnoj mreži i na modelima; karakteristične slučajeve — čistog zemljospoja i preko otpora pogreške 10 kΩ u stvarnoj mreži, te mreži predstavljenoj Pi-shemama odnosno samo kondenzatorima — izdvajamo za lakšu usporedbu i posebno prikazujemo na sl. 5. Kao



Sl. 6. Efektivna vrijednost struje i rezultantna amplituda osnovnog člana u stvarnoj mreži i na modelima

komentar napominjemo da smo za vrijeme ispitivanja na modelima imali prosječan napon 340 V (prema 380 V u stvarnoj mreži).

Da tu sličnost ispitamo, mi ćemo te karakteristične slučajeve analizirati pomoću harmoničke analize. Analiza je obavljena na elektroničkom računala IBM 1130, pomoću programa koji je sastavljen na osnovi Rungeove približne metode (2). Promatrano razdoblje podijeljeno je na N jednakih dijelova Δ t; za svaki izmjerimo (na uvećanom oscilogramu sa sl. 5) vrijednost ordinate $y = f(t)$ cm — to su ulazni podaci. Ulazne veličine sa mjerenja na modelima korigirane su na napon 380 V. Iz izlaznih rezultata sa računala možemo izvršiti usporedbe za svaki harmonički član posebno. Tablično ćemo usporediti aritmetičke srednje vrijednosti Y_s, efektivne Y_{ef}, faktor oblika ξ, i amplitude osnovnog člana C_1.

Y_s:

	stv.	Pi	C
0 Ω	1,471	1,957	1,191
10 kΩ	2,406	2,265	2,244

Y_{ef}:

	stv.	Pi	C
0 Ω	2,446	2,112	1,889
10 kΩ	2.968	3,302	3,285

ξ:

	stv.	Pi	C
0 Ω	1,663	1.579	1,585
10 kΩ	1,233	1,458	1 464

C_1:

	stv.	Pi	C
0 Ω	2,489	2,129	2,008
10 kΩ	3,560	3,331	3,232

Možemo te rezultate prikazati i grafički: odabrat ćemo efektivne vrijednosti i rezultantnu amplitudu osnovnog člana.

Rezultati su nam potpuno logični: *Pi*-shema pokazuje veliko približenje stvarnoj mreži, no zadovoljavajuće rezultate postižemo i simuliranjem stvarne mreže kondenzatorima. Za određenu kabelsku mrežu bilo bi prema tome dovoljno u laboratoriju »objesiti« kondenzatore čiji bi kapacitet bio jednak kapacitetu mreže za koju podešavamo zaštitu.

Dalja bi ispitivanja valjalo usmjeriti na analiziranje većih kabelskih mreža, na provjeru podataka proizvođača o parametrima kabela mjerenjima u postavljenoj mreži, te na osnovi toga izgradnji najpraktičnijeg modela mreže. Zatim bi valjalo pristupiti izradi modela transformatora, čime bi se cijeli električki sistem sveo na jedinstveni model. To bi mogla biti fizikalna osnova za razradu jednog općenitog matematičkog modela elektroenergetskih mreža, preko kojeg bi se svi problemi prijenosa i zaštite rješavali elektroničkim računalom.

Literatura:

(1) B. Stefanini: *Prijenos električne energije*, I, skripta, Zagreb 1960.
(2) B. Ferković: *Harmonijska analiza na elektroničkom računalu*, Zbornik JUKEMA, Zagreb 1969.

Naslov pisca: Mr Zdenko Tonković, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

PROBLEM ZAŠTITE OD UZDUŽNOG KVARA U IZOLIRANIM DISTRIBUTIVNIM ZRAČNIM MREŽAMA

Elio Sterpin, Pula

Opisani su prekidi vodiča u izoliranim mrežama s dodirom na strani potrošača. Kaže se i potvrđuje primjerom iz prakse da zemljospojni releji nisu osjetljivi na uzdužne kvarove s dodirom zemlje na strani potrošača. Prikazuje se način dojave uzdužnih kvarova »mjerenjem izalocije«.

DK 621.316.9

U jednoj izoliranoj mreži jedina veza električnog sistema i zemlje je posredstvom kapaciteta mreže prema zemlji. Od odgovarajućih vrijednosti tih kapaciteta, koji su u normalnom pogonu u većini slučajeva jednaki, ovisi napon zvezdišta prema zemlji.

Pod tim uvjetima zemljospoj jedne faze ne predstavlja ništa drugo nego kratki spoj jednog kapaciteta sa zemljom.

Ovakvo stanje narušava ravnotežu sistema kapacitivnih struja stvarajući nultu struju.

Vrijednost te struje ne ovisi o položaju mjesta kvara, nego isključivo o karakteristici vodova, veličini mreže i otporu kvara Rk.

Zemljospojevi karakteriziraju većinu kvarova što se dešavaju u jednoj distributivnoj mreži srednjeg napona s izoliranom nultočkom.

Kvar koji obuhvaća samo jednu fazu trofaznog sistema je najčešći i predstavlja 60—70% svih kvarova.

Zemljospojevi se ovako klasificiraju:

— *Prolazni* (traju vrlo kratko, približno od 0,1—0,3 s, ne dolazi do prorade zaštite zbog njezinog vremenskog zatezanja),

— *Tranzitni* (za njihovo otklanjanje potreban je kratki prekid),

— *Polutrajni* (za njihovo otklanjanje potreban je jedan ili više relativno dužih prekida),

— *Trajni* (mogu se otkloniti samo ako se obustavi pogon).

Vrijednosti otpora kvara iz raznih studija, iskustva i analiza mogu se klasificirati na slijedeći način:

— U slučaju kvara sa zemljom preko metalnih dijelova, vrijednost otpora kvara iznosi od 10—100 ohma.

— U slučaju direktnog dodira vodiča sa zemljom, teško je odrediti otpor kvara, koji ovisi o dužini i težini vodiča, konfiguraciji terena i vegetaciji.

— U slučaju indirektne veze vodiča sa zemljom, otpor ovisi o umetnutoj strukturi materije, kao npr. stabla, asfalta, betona, itd.

— Valja spomenuti da globalna analiza zemljoljospojenih kvarova u srednjenaponskim mrežama pokazuje da je otpor oko 85% kvarova ispod 100 ohma, manje od 2% imaju veću vrijednost od 1000 ohma, a najveća vrijednost iznosi po svoj prilici oko 4000 ohma (talijanski i francuski podaci). Od svih vrsta zemljospojeva s visokim vrijednostima otpora kvara, najkarakterističniji je svakako »kvar na strani potrošača« ili uzdužni kvar. Takav naziv proizlazi iz prostog razloga što prilikom mehaničkog prekida jedne faze, dodir sa zemljom postiže samo onaj dio vodiča prema potrošnji, dok onaj drugi dio vodiča prema izvoru napajanja ostaje izoliran. Iskustva pokazuju da je uzdužni kvar najčešći u zračnim mrežama čiji je presjek užeta 16 i 25 mm², a to su pretežno seoske mreže ograničenog konzuma. On je posebno opasan kad ukupni otpor ima takvu vrijednost da ga zaštita od zemljospoja ne može registrirati. U tom slučaju kvar može trajati više sati, ili čak dana.

Ti kvarovi koji spadaju u trajne, predstavljaju oko 3% od svih trajnih zemljospojeva. Vrijednost otpora između prekinutog vodiča i zemlje prilikom uzdužnog kvara u većini slučajeva iznosi oko 500—1000 ohma (podatak iz strane literature). Ukupni otpor kruga ovisi o konfiguraciji terena i o opterećenju distributivnih transformatora (10/0,4 kV), što se može objasniti iz ovih shema.

Uzdužni kvar na fazi T posredstvom impedancije transformatora 10/0,4 kV povezuje zdrave faze R i S sa zemljom. Vrijednosti nultog napona i struje dobivaju se iz općih izvora za zemljospojne kvarove posredstvom otpora.

$$\bar{E}o = \frac{\bar{E}f}{1 + \dot{j}\, 3\, coc \cdot Rk} \qquad (1)$$

$$\bar{I}o = \frac{\dot{I}\, 3\, coc\, \bar{E}f}{1 + \dot{j}\, 3\, coc \cdot Rk} \qquad (2)$$

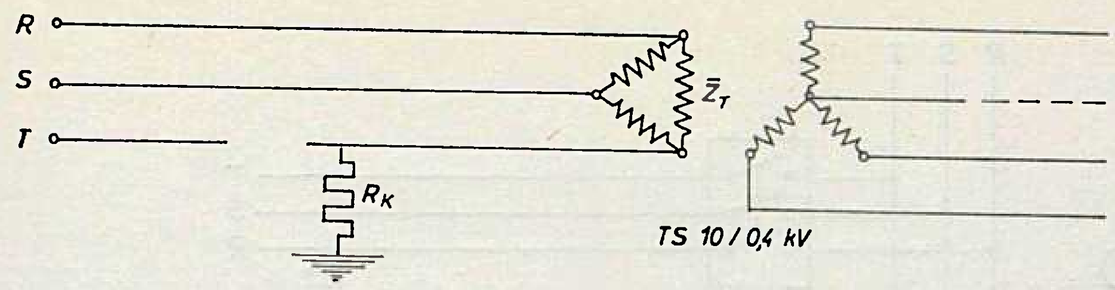
Jedino što u tom slučaju valja voditi računa i o impedanciji transformatora, pa izrazi (1) i (2) poprimaju oblike:

$$\bar{E}o = \frac{1}{2} \frac{\bar{E}f}{1 + \dot{j}\, 3\, coc \left(\frac{\bar{Z}}{2} + Rk\right)} \qquad (3)$$

$$\bar{I}o = \frac{1}{2}\, \dot{j} \frac{3\, coc\, \bar{E}f}{1 + \dot{j}\, 3\, coc \left(\frac{\bar{Z}}{2} + Rk\right)} \qquad (4)$$

gdje je:

$\bar{E}$ — nulti napon
$\bar{I}_o$ — nulta struja
$\bar{E}_f$ — fazni napon
$\bar{Z}$ — impedancija transformatora
R_k — otpor na mjestu kvara.



Sl. 1 Shema uzdužnog kvara u mreži 10 kV.

Uzdužni kvar osim u jednoj fazi može također biti preko dviju faza što pokazuje sl. 2.
U tom se slučaju izrazi 3 i 4 mijenjaju, a u zgradi stoji

$$\frac{\overline{Z} + Rk}{2}.$$

Iz prethodnih izraza očito je da vrijednosti nulte struje i napona ovise indirektno o R_k i Z, odnosno o opterećenju transformatora.

Poznato je da ekvivalentna impedancija transformatora varira s opterećenjem, najveća je u praznom hodu, dok je u režimu kratkog spoja najmanja. Znači, što je transformator jače opterećen, to je ekvivalentna impedancija manja, a kad je slabije opterećen, onda je suprotno. Iz toga proizlazi da stvarni otpor uzdužnog kvara (vodič-zemlja) ne pruža garanciju za uspješnu proradu zaštite bez obzira koliko on bio nizak.

To može potvrditi i sama praksa. Naime 15. svibnja 1972. u mreži 110 kV nedaleko Pule učinjen je umjetni uzdužni zemljospoj s ciljem da se provjeri rad zemljospojne zaštite pri tom režimu.

U TS 35/10 kV Gregovica (napaja oko 80 km zračne, 15 km kabelske mreže) bili su instalirani instrumenti za mjerenje nulte struje i napona. Žica je bila položena u dužini od nekoliko metara na jednoj livadi, a spoj sa zemljom je bio dobar. Prilikom puštanja mreže pod napon, zemljospojni relej elektromehaničke izvedbe nije proradio. Izmjerene vrijednosti na sekundaru strujnih i naponskih transformatora, spojeni u holmgreen spoj, odnosno otvoreni trokut, iznosile su $E_0 = 20$ V, $I_0 = 0{,}22$ A, njihov umnožak 4,4 VA nije bio dovoljan da pokrene relej čija je minimalna proradna snaga iznosila 5 VAr-a. Potrebno je još spomenuti da je mjesto kvara bilo udaljeno oko 5 km od TS 35/10 kV Gregovica. Osim toga iza mjesta kvara bilo je priključeno desetak TS 10/0,4 kV ukupno instalirane snage oko 1300 KVA. Opterećenje u onom trenutku iznosilo je oko 350 kW s faktorom snage $\cos f = 0{,}9$.

Zaštita od uzdužnih kvarova

Prethodni primjer na vrlo pogodan način ilustrira ograničenost zemljospojne zaštite u pogledu intervencije prilikom uzdužnih kvarova.

Elektromehanički zemljospojni releji ne mogu uspješno intervenirati zbog ograničene osjetljivosti, zato što njihova konstrukcija nije pogodna za te svrhe.

S druge strane, statički releji koji imaju vrlo visoku osjetljivost, pokazuju samo jednu djelomičnu efikasnost, zbog toga što je podešavanje njihove osjetljivosti ograničeno prisutnošću nulte struje i napona u normalnim uvjetima rada mreže.

Naime, u slučaju uzdužnog kvara statička zaštita proradila bi samo za relativno male vrijednosti R_k i visoke vrijednosti opterećenja ttransformatora (veoma rijetke u mreži). Dok u većini slučajeva zaštita vjerovatno ne bi uopće reagirala. Znači ta bi zaštita bila i pored svoje vrline skoro nemoćna za te vrste kvarova.

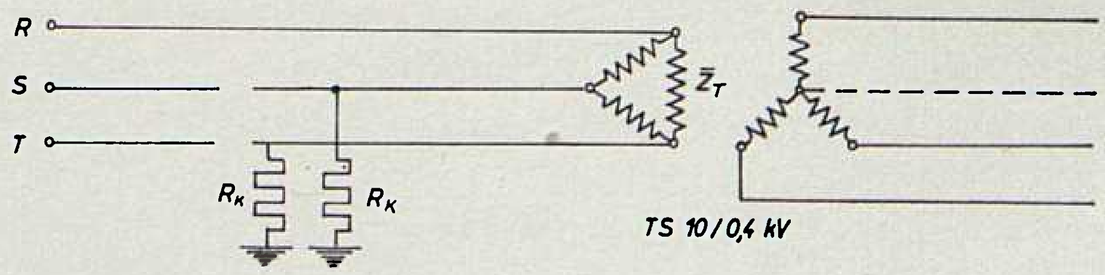
Kad se o svemu tome vodi računa, imajući u vidu u najnovije vrijeme da vrlo visoka impedancija transformatora za istosmjernu struju predstavlja relativno mali omski otpor (388 ohma za trafo 30 kVA), došlo se na ideju da se koristi istosmjerna struja za otkrivanje uzdužnih kvarova.

Ova metoda počiva na stalnom mjerenju izolacije mreže prema zemlji. Mjerenje je moguće pod uvjetom da uzemljenje naponskih transformatora bude izvedeno preko jednog kondenzatora.

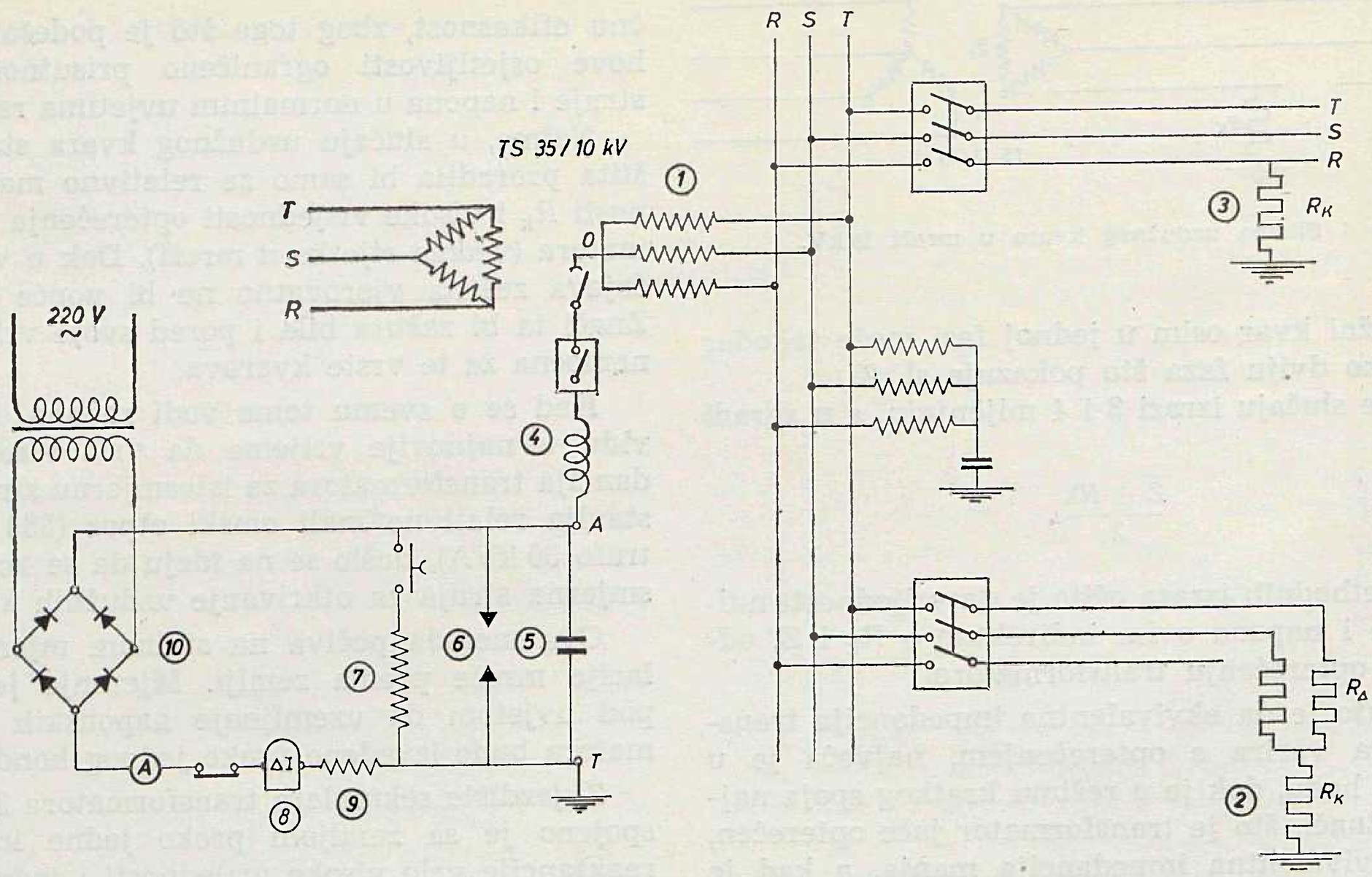
Zvjezdište sekundara transformatora 35/10,5 kV spojeno je sa zemljom preko jedne induktivne reaktancije vrlo visoke vrijednosti i jednog kapaciteta na čijim je krajevima narinut napon mjerenja. Velika vrijednost reaktancije (nekoliko MΩ) sprečava da u slučaju kvara prema zemlji teče izmjenična struja nezanemarljive vrijednosti, odnosno da napon prema zemlji u točki A, poprima visoke vrijednosti.

U vezi s time predviđen je odvodnik (proradni napon 300 V) u paraleli s kapacitetom za zaštitu kruga napajanja protiv istosmjernih napona koji mogu nastati prema zemlji prilikom gašenja i paljenja luka, na mjestu kvara.

U normalnim uvjetima sve tri faze imaju konstantni napon prema zemlji u cijeloj mreži, jer je odvodna struja zanemarljiva. Prema tome moguće je registrirati zemljospoj mjerenjem odvodne struje. Postoji međutim i ovdje granica podešavanja osjetljivosti uređaja zato što konduktancija mreže može porasti ovisno o atmosferskim prilikama a da to ne bude kvar u pravom smislu. Znači, prilikom podešavanja valja voditi računa o najgorim uvjetima rada mreže uz neki sigurnosni faktor. Dosadašnja praksa s ovakvim uređajem pokazala je da je optimalna osjetljivost za ukupni otpor kvara 1000 ohma. Budući da maksimalni otpor transformatora u slučaju uzdužnog kvara iznosi 388/2 = 194 ohma, (omski otpor) između vodiča i zemlje otpor ne bi trebao biti veći od 800 ohma. Vremensko podešenje iznosilo bi 2 s, time bi selektivnost bila očuvana u skladu sa zemljospojnim relejima varmetarskog tipa, čija bi proradna vremena bila 0,5 — 1 s. Praktički bi takav uređaj na-



Sl. 2 Shema uzdužnog kvara preko dviju faza



Sl. 3 Shema mjerenja izolacije mreže sa istosmjernom strujom

1. Transformator 35/10 kK
2. Ekvivalentni krug uzdužnog kvara
3. Ekvivalentni krug direktnog kvara
4. Reaktancija u seriji
5. Kondenzator
6. Zaštitni odvodnik
7. Krug za probu ispravnosti.

punio klasičnu zemljospojnu zaštitu elektro-mehaničkog ili statičkog tipa u pogledu uzdužnih kvarova.

Zaključak

Nakon prethodnih razmatranja o prirodi uzdužnih kvarova, analizirana je efikasnost relejne zaštite u njihovom pogledu.

Inozemna praksa pokazala je da zemljospojna zaštita po principu stalnog mjerenja odvodne struje mreža pomoću istosmjernog napona kompletira postojeću zemljospojnu zaštitu.

U kombinaciji sa statičkim relejima varmetarskog tipa visoke osjetljivosti i stupnja selektivnosti, ovaj uređaj proširuje polje registriranja kvarova i na uzdužne kvarove.

U stvari ta zaštita istosmjernom strujom zamjenjuje postojeći nadnaponski relej za zaštitu sabirnica od zemljospoja.

Miliampermetar u krugu releja omogućava i mjerenje odvodnih struja, odnosno kontrolu izolacije čitave mreže prema zemlji, a to je svakako prednost tog uređaja.

Literatura:

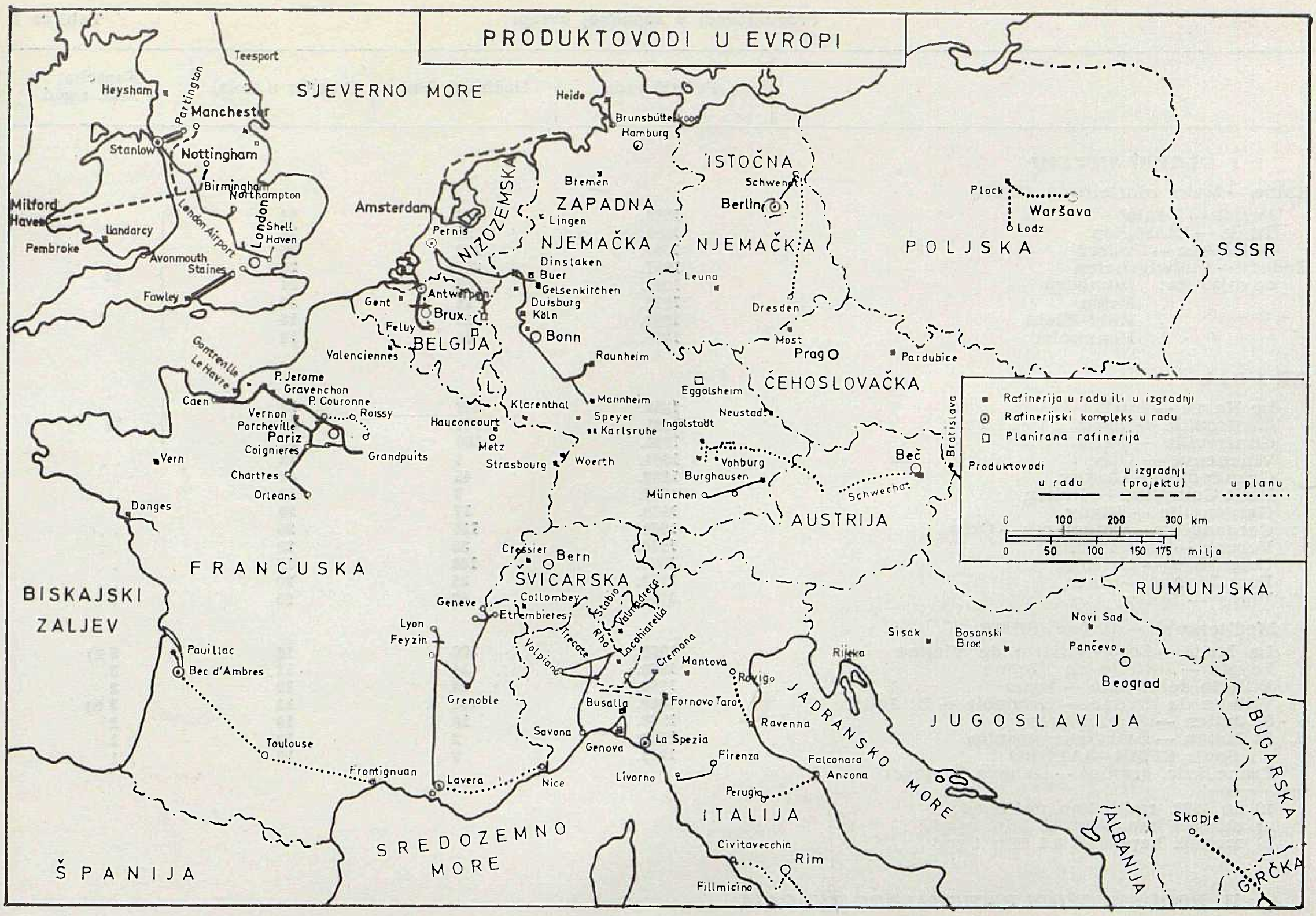
Chizzolini P., *Protezioni contro i guasti monofasi a terra in una rete di distribuzione a media tensione con neutro isolato (compartamento in caso di guasto di elevata impendenza).* Energia elettrica — N. 6. — 1972.

Faletti N., *Il collegamento a terra del neutro nelle reti di distribuzione a media tensione.* Energia elettrica — 1957. V.

Ogorelec A., *Problematika uzemljenja zvezdišta sa naročitim obzirom na zaštitu od zemnog spoja.* Elektrotehnički vjesnik — 1969. 9—10.

Prestigiacomo E., *La protezione selettiva delle linee a neutro isolato contro i quasti monofasi a terra (parte I) (Influenza della conduttanza verso terra).* Elettrificazione Luglio 1969.

Naslov pisca: Elio Sterpin, dipl. ing.
»Elektroistra«, Pula



PRIJEVOZ ENERGIJE PRODUKTOVODIMA

Ante Lešić, Zagreb

Početke prijevoza naftinih derivata cjevovodima nalazimo još u prošlom stoljeću. Zapravo prvi značajniji produktovod kojim se prevozio kerozin izgrađen je 1897. između Bakua i Batumia u dužini od 175 km i promjera 4 cola (oko 10 cm). I u SAD su se naftini derivati prevozili cjevovodima još prije 1930. Međutim, upravo te godine grupa srednjekontinentalnih rafinerija udružila se da bi izgradila »Great Lakes« produktovod veće dužine i kapaciteta iz Oklahome do Kanzas Citya, Iowe, Illinoisa i Minnesote. Danas već — između 116 tisuća kilometara produktovoda koliko ih je izgrađeno u SAD, nalazimo i produktovodne sisteme dužine od 3.000 milja (4·827 km) kakav je tzv. Kolonijalni produktovod izgrađen između Houstona i New Yorka godine 1964.

Evropa

Izgradnja produktovoda u Evropi na jednom širem planu počela je zapravo prije naftovoda, koji su uslijedili nakon izgradnje preradbenih kapaciteta (rafinerija) u unutrašnjosti kontinenta.

Prvi komercijalni produktovod u zapadnoj Evropi izgrađen je još prije 20 godina na relaciji Le Havre — Paris dolinom Sene kojom su se do tada prevozili naftini derivati u šlepovima. Taj produktovodni sistem poznat pod imenom TRAPIL s vremenom se proširivao do kapaciteta od 12 milijuna tona godišnje koliko je danas u stanju prevesti. Ukupna dužina ovog produktovodnog sistema iznosi oko 1100 km s promjerom od 10—20 cola (25,4—50,8 cm), a njime se prevozi više različitih proizvoda (naftinih derivata) do većeg broja potrošačkih centara.

Na kontinentu Evrope imamo još dva značajnija produktovodna sistema od kojih jedan kreće iz Rotterdama a drugi iz Fosa (kraj Marseillea).

Produktovodni sistem koji kreće iz Rotterdama (RMR), jednim dijelom u dužini od 153 km, sastoji se od bivšeg naftovoda Rotterdam — Rhin (Rajna) koji je konvertiran 1968. godine kada je izgrađena nova linija većeg promjera za prijevoz sirove nafte.

Drugi sistem SPMR koji kreće iz Fosa ide paralelno s linijom naftovoda SEPL (Južnoevropskog naftovoda) do Lyona s odvojkom za Grenoble i Genevu (Ženevu).

Velika Britanija kao otočna zemlja nema značajnijih rafinerijskih kapaciteta u unutrašnjosti i zato je bez naftovoda veće dužine. Ona međutim ima, i dalje gradi, dobro razvijenu mrežu produktovoda, što se može zaključiti prema podacima navedenim u tablici 1, gdje su (prema Petroleum Press Serviceu 12/1972, str. 455) navedeni svi značajniji produktovodi u zapadnoj Evropi. Prema istom izvoru dajemo i kartu s ucrtanim produktovodima u Evropi.

Produktovodi u Zapadnoj Evropi Tablica 1

	Početak rada	Dužina u (km)	Promjer u (cola)	Kapacitet u Mln. t/god
I. *GLAVNI SISTEMI*				
Rhine — Main rohrleitung (RMR)				
Pernis — Venlo*	1960.	153	24	
Tenlo — Dinslaken	1968.	51	24	
Dinslaken — Godorf	1967.	122	20	
Godorf — Ludwigshafen	1967.	257	20	12
odvojak za: *Homberg*	1972.	16	24	
Essen	1972.	14	20	
Köln-Niehl	1967.	15	18	
Raunheim	1967.	40	18	
TRAPIL				
Le Havre — Paris	1953.	248	10	
Gonfreville — Paris	1961.	184	12	12
Gonfreville — Paris	1964.	180	20	
Villeneuve — Orly	1964.	4	12	. .
Grandpuits — Grigny	1966.	45	12	. .
Petit Couronne — Rouen	1967.	8	12	. .
Gargenville — Vigny	1968.	17	20	. .
Gargenville — Coignieres — Orly	1969.	124	20	. .
Vernon — Gargenville	1970.	38	20	. .
Coignieres — Orleans	1972.	108	16	. .
Port Jerome — Caen	1972.	85	20	. .
Vigny — Roisy	1974.	66	20	. .
Mediteraneè — Rhône (SPMR)				
La Mede — Fos — Villette de Vienne	1968.	306	16	6 a)
Feyzin — Villette de Vienne	1968.	14	12	3
Villette de Vienne — Lyon	1968.	28	10	2
Villette de Vienne — Grenoble — St Julien	1968.	241	12	3 b)
St Julien — Etrembieres	1968.	10	10	2
St Julien — Švicarska granica	1972.	2	12	1
Spoj: SPMR—SAPPRO	1972.	9	12	1
Franc./švic. granica — Geneva (Ženeva)				

x) do 1968. radio kao naftovod;
a) mogući kapacitet 6,5 Mln. t/god.;
b) mogući kapacitet 3,3 Mln. t/god.

II. *PRODUKTOVODI REGIONALNOG ZNAČAJA*				
SR NJEMAČKA				
Heide — Brunsbüttelkoog	O	35	6	. .
	O	35	5	. .
	O	35	4	. .
Gelsenkirchen — Duisburg	1965.	38	8	. .
Burghausen — Minhen	1968.	95	8	. .
Bavaria — Linz	S	. .	. .	. .
NIZOZEMSKA				
Europoort — Gelsen	O	185	8	. .
Europoort — Pernis	O	32	22	. .
BELGIJA				
Antwerp — Brussels	S	50	14	. .
	1972.	80	12	. .
FRANCUSKA				
(područje Le Havra)				
Le Havre — Petit Couronne	1972.	72	14	. .
(područje Nantesa)				
Donges — Cordemais	1969.	18	12	. .
Cordemais — Cheviré	1969.	26	8	. .
(područje Strasbourga)				
Reichstet — Strasbourg (dvije linije)	1963.	11	10	. .
	1963.	11	12	. .
Herlisheim — Strasbourg	1963.	21	10	. .
	1963.	21	8	. .
Klarenthal — Carling	1968.	18	6	. .
(područje Bordeauxa)				
Pauillac — Bassens	1969.	43	12	2
Bec d'Ambès — Toulouse	S	270	. .	. .
(područje Sredozemlja)				
Frontignan — Toulouse	S	240	. .	. .
Berre l'Etang — Nice	S	200	. .	. .
La Mède — Garonte	O	8	12	. .
	O	8	8	. .
Berre l'Etang — Lavéra	O	35	14	. .
Berre l'Etang — Lavéra	1972.	24	20	6
Fos — Lavéra	1965.	11	10	. .
	1965.	11	8	. .
	1965.	11	6	. .
(područje Lyona)				
Feyzin — St Quentin Faelavier	1964.	26	10	. .
Feyzin — St Fons	1965.	5	4	. .

	Početak rada	Dužina u (km)	Promjer u (cola)	Kapacitet u Mln. /god
ITALIJA				
(u dolini Poa)				
(ostala područja)	O	35	20	
	O	35	12	5,9
	O	35	10	
(dvije linije)	O	35	4	
Busalla — Genoa	O	30	8	. .
Trecate — Savona	O	152	8	0,6
Trecate — Chivaso	O	84	10	1,2
Trecate — Arluno	O	16	12	7,4
	O	16	8/6	
Trecate — Turbigo	O	12	6	1,9
Ferrera Erbagnone — Rho	O	50	10	. .
	O	50	8	. .
Rho — Stabio	1972.	40	. .	1,2
Ferrera Erbagnone — Chivaso	O	81	10	. .
Ferrera — Fiorenzuola	1972.	93	10	. .
Cremona — Fiacenza	O	32	10	2,5
Bertonico — Bariano	1972.	45	18	. .
Bertonico — Piacenza	1972.	20	. .	. .
(ostala područja)				
Arcola — Fornovo Taro**	O	100	8	. .
Livorno — Florence (Forenca)	1970.	80	6	. .
	1970.	80	10	. .
Civitavecchia — Roma	1974.	65	12	. .
odvojak do AGIP depoa	1974.	7	12	. .
Fiumicino — Pantano di Grano	O	14	. .	. .
Gaeta — Pomezia (Rim)	S	110	16	. .
	S	110	8	. .
Ancona — Perugia	S	107	8	. .
Ancona — Perugia — Gualda Gaettaneo	S	137	10/8	. .
Ancona — Perugia — Gualda Gaettaneo	S	107	6	. .
Ravenna — Rovigo	S	93	. .	. .
AUSTRIJA				
Schwechat — Linz	S	. .	. .	. .
VELIKA BRITANIJA				
Thames Estuary — Midlands (Merseyside)	1969.	390	14—8	4 a)
Isle of Grain — Walton on Thames	O	104	6	1,1 b)
Walton on Thames — London (aerodrom)	O	16	6	1,7 b)
Fawley West — London (Staines)	O	101	12	5 b)
Fawley West — London (Southall)	1970.	101	10	1,5 b)
Buncefield — London (aerodrom)	1969.	45	8	
	O	45	6	2,6 b)
Backford — Stourport — Avonmouth (Bristol)	O	224	10	. .
Stanlow — Partington	O	26	8	2 b)
	O	26	6	
Stanlow — Haydock	O	32	6	1 b
Milford Haven — Midlands — Manchester — Nottingham	1973.	265	20/16	. .

O: u radu prije 1972. godine;
S: u planu, datum puštanja u rad nepoznat;
** od čega 80 km u vlasništvu NATO-a;
a) moguće je udvostručiti kapacitet;
b) maksimalno mogući kapacitet

SSSR, također kao evropska zemlja posjeduje veći broj produktovoda u dužini od oko 5.000 km. Najznačajniji među njima je Kujbišev — Brjansk u dužini od 1.120 km i promjera 12/12/28 cola 30/51/71 cm).

Prema podacima navedenim u tablici 1, a još više iz priložene karte može se vidjeti, da se produktovodi najviše grade u gusto naseljenim i industrijski razvijenim područjima. To je sasvim razumljivo kada se zna, da su produktovodi, kao uostalom svi cjevovodi, u pravilu vrlo skupi objekti koji se isplate samo onda, kada količina i dinamika isporuke garantira racionalno iskorištavanje tokom cijele godine. Prema prosječnim uvjetima rada u prijevozu nafte i naftinih derivata na području zapadne Evrope, a to vrijedi i za naše uvjete, količine za prijevoz nafte ili naftinih derivata između 0,750 i 1 milijun tona godišnje, zahtijevaju razmatranje mogućnosti izgradnje cjevovoda kao alternativnog načina prijevoza u odnosu na željeznički, riječni ili cestovni prijevoz.

S obzirom na vrste derivata koji se produktovodima prevoze dijelimo ih uglavnom na dvije skupine:

— produktovodi za prijevoz bijelih proizvoda (uglavnom motornih goriva) i
— produktovodi za prijevoz crnih proizvoda (lož-ulja).

Zahvaljujući razvoju tehnike i automatizacije, sigurno i kontinuirano je moguće danas jednim produktovodom prevoziti više različitih derivata do većeg broja odredišta (primjera radi spomenimo sisteme TRAPIL i RMR ili DSM kojima se naizmjenično prevozi 7—12 različitih proizvoda).

U novije vrijeme uspješnim rješavanjem problema izolacije cjevovoda, što utječe na održavanje stalne temperature i odgovarajućeg viskoziteta proizvoda potrebnog za normalan rad pumpi, više se grade produktovodi za lož-ulje — naročito teško lož-ulje. Takvi produktovodi grade se sada u više zemalja, ali se najznačajnijim može smatrati onaj u Engleskoj između Southamptona i Londona, tj. između rafinerije Fawley i depoa za derivate blizu londonskog aerodroma Heathrow u dužini od 101 km. Ovaj produktovod ukopan u prosjeku na dubini od 0,9 m u cjelini je izoli-

ran uretanskom pjenom »Hylen« u sastavu Du Ponta koju je u tu svrhu razvio Esso Research and Engineering Company, a dopušta tek neznatne gubitke temperature kojom proizvod ulazi u cjevovod, što je u odnosu na druge, do sada korištene sisteme, daleko efikasnije.

Konačno, imajući u vidu perspektivni razvoj potrošnje naftinih derivata, tehnološki razvoj izgradnje cjevovoda, razvoj automatizacije na osnovama elektronike, stalan porast troškova prijevoza svih klasičnih vidova prijevoza kopnom, možemo u budućnosti očekivati još intenzivniju izgradnju produktovoda, naročito u gusto naseljenim i visoko industrijaliziranim područjima Evrope i svijeta.

Literatura:

1. — : *»Europe's pipeline network — II products«;* Petroleum Press Service, *39,* 12 (1972), 455.
2. D. Charritat: *»Transportation by pipeline of heavy fuels«;* L'Industrie du Petrole, *51,* 433 (1972), str. 29.
3. — : *»Un isolamento in schiuma uretanica mantiene fluido l' O.C. di un oleodotto«;* Rassegna Petrolifera, *38,* (1178 (1972), 556.
4. — : *»European pipelines, 1972 — crude, product, natural gas«;* Petroleum Times, *76,* 1936 (1972), 25.
5. R. Cabet: *»L'economie du transport par conduite«;* L'Institut Français du Petrole, Parsi 1963.
6. — : *»Capacità di trasporto degli oleodotti nazionali al 1 gennaio 1971«;* Rassegna Petrolifera, *38,* 1171 (1972), 345.

Ante Lešić, dipl. ecc. — INA Zagreb

STANJE NA TRŽIŠTU NAFTE

Dvadeseto stoljeće se često naziva stoljećem nafte. To je do izvjesne mjere opravdano. Nafta je danas osnovna sirovina svake moderne privrede. Ona je prije svega značajan svjetski energetski izvor. Predstavlja više od 40 posto osnovnih energetskih izvora ukupne svjetske potrošnje.

Čitava koncepcija dolazeće znanstvenotehničke revolucije oslanja se na dalju industrijsku preradu nafte; nafta je faktor koji utječe ne samo na razvoj, već isto tako i na strukturu industrije, u sve većoj mjeri se primjenjuje u poljoprivredi, a razvoj prometa se bez nje ne može ni zamisliti.

Sve šira upotreba nafte, posebno njena efektivna upotreba kao energetskog izvora i kemijske sirovine, dovela je 50-tih godina do novog, skokovitog porasta potrošnje, otkupa i potražnje, pa prema tome i proizvodnje.

Svjetska proizvodnja je u razdoblju od 1951—1970, zabilježila veliki skok. Došlo je do povećanja za četiri i po puta, uz prosječan godišnji porast od 7,7 posto, a 60-tih godina, čak od 8,3 posto.

O oštrom i sve većem tempu ovog razvoja govori činjenica da je svjetska proizvodnja 1965. godine iznosila 1.564 milijarde tona, a samo nekoliko godina kasnije — 1968. prvi puta je u povijesti premašena granica od dvije milijarde tona, dok je 1971. godine proizvedeno čak 2,478 milijardi tona. Adekvatno tome rasli su i kapaciteta rafinerija.

U većoj mjeri od proizvodnje i prerade nafte rastao je njezin izvoz i uvoz. Godine 1961. količina nafte koja je prešla granice u sferi trgovine iznosi 492 milijuna tona, dok se ova brojka 1971. godine penje na 1,355 milijardi tona, što predstavlja prosječni godišnji porast za 10,7 posto.

Što se tiče proizvodnje (uključujući primarnu preradu) udio glavnih proizvodnih oblasti krajem 1971. godine bio je slijedeći: Bliski istok — 43,4 posto, Sjeverna Amerika (SAD, Kanada, Meksiko) — 25,6 posto, SSSR — 15 posto, Afrika — 11,3 posto.

Proizvodnja nafte u socijalističkim zemljama razvijala se prema planu i njen proizvodni porast iznosi 7,5%. On je dakle veći nego ostvareni porast u ostalim zemljama svijeta, koji iznosi 5,5 posto.

Može se konstatirati da proizvodnja nafte ima ne samo svoje mirno razdoblje, već i razdoblje oštrih uspona. Mijenjaju se zahtjevi pojedinih oblasti u pogledu obujma proizvodnje, prerade i potrošnje, a promjene bilježi i uzajamna povezanost proizvodnje i potrošnje u teritorijalnom i tržišnom smislu.

Privredom nafte u nesocijalističkom svijetu vlada međunarodni kartel ove sirovine. Sedam najvećih monopola — Standard Oil of New Jersey, Mobil Oil, Texas Oil, Gulf Oil i Standard oil of California (takozvana velika američka petorka), zatim British Petroleum i Royal Deutch Shell — čine onih »sedam sestara« koje su 1970. godine kontrolirale 55,4 posto ukupne svjetske proizvodnje i 66,6 posto nesocijalističkog svijeta.

S druge strane, nacionalni kapital svih zemalja u razvoju raspolagao je obimom od 90 milijuna tona proizvedene nafte od čega je na državni kapital zemalja OPEC (Organizacija zemalja koje izvoze naftu čiji su članovi Iran, Saudijska Arabija, Kuvajt, Abu Dabi, Katar, Irak, Libija, Alžir, Nigerija, Venecuela i Indonezija) otpadalo: Meksiko 21, Argentina 16, Egipat 9, Brazil 8, i Indija 5 milijuna tona.

Ako izuzmemo socijalističke zemlje, u svijetu nafte situacija je takva da su glavni potrošači industrijski razvijene, a glavni proizvođači ekonomski zaostale zemlje. Postojanje i vladavina monopola ovu situaciju samo komplicira i pogoršava. Kapital industrijski razvijenih zemalja istovremeno je vlasnik koncesija za proizvodnju nafte, tako da činjenica što se nafta proizvodi na području ove ili one zemlje nema ničeg zajedničkog s interesima te zemlje kada je u pitanju nafta. Većina koncesija potpisana je u vrijeme kada su današnje zemlje u razvoju bile u neposrednoj ili posrednoj kolonijalnoj vezi s metropolama, tj. današnjim industrijski razvijenim zemljama.

Otpor monopola protiv nastajanja nacionalnih snaga u zemljama nafte veoma je intenzivan i može se reći — efikasan. Politika monopola se pri tome oslanja na nekoliko značajnih okolnosti:

— glavni konzument nafte jesu industrijski razvijene kapitalističke zemlje;

— vlastita proizvodnja nafte je samo jedan — nikako ne i najvažniji — aspekt privrede nafte. Izvanredno velike troškove, mora, na primjer, podnijeti za prethodna istraživanja, a za to zemlje u razvoju nemaju dovoljno sredstava;
— sirova nafta mora biti prerađena, a rafinerije su, osim neznatnih izuzetaka, u rukama monopola;
— slično je sa prometom, bilo da je riječ o prijevozu brodovima ili o naftovodima, što je sve u rukama monopola;
— na kraju — ukupna prodaja nafte i naftinih proizvoda, uključujući mrežu, marketing, reklame, itd., također je u sferi utjecaja monopolističkog kapitala.

Sadašnja etapa spada nesumnjivo u razdoblje konfliktnih rješenja u pogledu proizvodnje i prodaje nafte. Pokazuje se, naime, da je neophodno riješiti otvorene probleme socijalno-povijesnog karaktera, probleme čije je rješavanje u toku, ali nije završeno. Riječ je u prvom redu o odnosima između monopola nafte i novih zemalja u razvoju, na čijem se području nafta nalazi i proizvodi.

Prva značajna prekretnica bilo je stvaranje OPEC, dakle ujedinjavanje glavnih producentskih zemalja u zajednički organizirani okvir. Poslije dugih razgovora ostvaren je neosporan uspjeh. Dvadeset drugo izvanredno zasjedanje OPEC, održano 1971. godine u Teheranu, spada u povijesna — jer je međunarodni kartel morao akceptirati zahtjeve koji su ovdje izneseni. Informativne cijene sirove nafte u oblasti Perzijskog zaljeva su počevši od 15. veljače u prosjeku za 35 centi po barelu (151,4 l), dakle za gotovo 20 posto. Do 1975. godine cijena će se povećati za 40 centi. — Cijene nafte iz Alžira i Libije povećavaju se još više s obzirom na bolji kvalitet. Ukupni priraštaj prihoda svih zemalja OPEC treba u pet godina iznositi 25—30 milijardi dolara.

Sedamdesete godine postavile su glavnim potrošačima energije zajednički problem — kako dalje? Ako industrijski razvijene zemlje budu nastavile u potrošnji energije istim tempom, onda je svijet suočen s ozbiljnom krizom. Krajem slijedećeg desetljeća našli bismo se u situaciji u kojoj bi postojao akutni nedostatak primarnih goriva a cijene energije bi dostigle nivo koji bi ozbiljno ugrožavao ekonomski razvoj.

U ovakvoj, za društveni razvoj životno značajnoj problematici, izvanrednu ulogu igra nafta. Kada je riječ o nuklearnoj energiji ostaju otvorena brojna tehnička pitanja, a također njezina cijena u sadašnjim relacijama nije ekonomski zadovoljavajuća. Izvori plina su limitirani i ne treba očekivati da bi mogli postati izvor u proizvodnji energije. Proizvodnju ugljena prate visoki troškovi, vodna energija je uvijek igrala ulogu dopunjavanja.

Prema tome, nafta je već danas postala odlučujući izvor za energetsku produkciju i njena potrošnja utječe na industrijsku ekspanziju u gotovo svim glavnim zemljama.

Ovom razvojnom trendu odgovara također sadašnja kompozicija u primarnoj potrošnji energije u glavnim oblastima nesocijalističkog svijeta (u 1971. godini u %):

1971/%

Oblast	Nafta	Prirodni plin	Čvrsta goriva	Energija vode	Nuklearna energija
SAD	43,9	34,1	20,6	1,2	0,2
Zapadna Evropa	62,3	7,7	26,8	2,9	0,3
Japan	75,6	1,0	20,8	2,5	0,1

Godine 1945. proizvodnja nafte gledano po područjima u postocima je izgledala ovako:

SAD	64,2
Venecuela	13
SSSR	6,8
Iran	4,4
Meksiko	1,8
Irak	1,3
Rumunjska	1,3

Godine 1971. ovaj odnos je izmijenjen zato što je proizvodnja u SAD predstavljala, u svjetskom razmjeru, samo 21,5 posto, Venecuela 7,5 posto, dok je udio SSSR-a porastao na 15, a Irana na 9,1 posto. U značajnijoj mjeri je povećan udio zemalja Bliskog istoka, na 32,2 posto, ostalih afričkih zemalja — na 11,3 posto.

Sa gledišta konkurencije ova godina je značajna po tome što je u tajnosti stvorena prva međunarodna grupacija nafte industrijski razvijenih zemalja izvan međunarodnog kartela. Riječ je o tzv. Zürich Group-u čiji su članovi zapadnjonjemačka kompanija Deminex, japanska PDC, španjolska Hispanoil i austrijska Ostrreichische Mineralivetwaltung AG. Ova grupacija je u svojoj djelatnosti usmjerena na Bliski istok i živo učestvuje u razgovorima sa zemljama OPEC.

Kao što je slučaj u drugim ekonomskim oblastima i kod nafte danas intenzivno izbija na površinu neodrživost položaja koji su SAD prisvojile poslije drugog svjetskog rata i pomoću koga su htjele određivati sudbinu, ne samo svih kapitalističkih zemalja, već i čitavog svijeta.

Valja očekivati, da će i u ovoj oblasti postepeno prevladati takva rješenja koja se oslanjaju na svjetsku suradnju država i naroda na osnovi njihove ravnopravnosti, nezavisnosti i punog suvereniteta.

TANJUG — Bgd.

Proizvodnja električne energije u SR Njemačkoj u 1972.

Potrošnja električne energije u SR Njemačkoj u sedam mjeseci 1972. dostigla je $107 \cdot 10^9$ kWh uz porast od 8,2% prema istom razdoblju prethodne godine, dok je u istom razdoblju bilo proizvedeno $96 \cdot 10^9$ kWh uz porast od 7,8%. Od toga je u termoelektranama proizvedeno $91,1 \cdot 10^9$ kWh uz porast 9,6%, a u hidroelektranama $5,3 \cdot 10^9$ kWh, uz pad od 15,2% prema prethodnoj godini. Osim ove proizvodnje je u industrijskim elektranama proizvedeno $13 \cdot 10^9$ kWh uz porast od 6,3%.

Uvoz električne energije je u prvih sedam mjeseci 1972. bio $8,7 \cdot 10^9$ kWh uz porast od 26%, dok je izvoz bio samo $3 \cdot 10^9$ kWh uz pad od 17,8% prema prethodnoj godini.

(Prema L'energia elettrica № 3/73)

J. M.

Plan desetogodišnjeg razvoja elektroenergetike Indije

Indijsko ministarstvo irigacija i energetike donijelo je novi desetogodišnji plan izgradnje elektroenergetskih objekata za razdoblje od 1971—1982. god. Prema tom planu bila bi u elektranama 1981. instalirana snaga od 52.000 MW, dok danas iznosi 16.000 MW, što predstavlja porast od 12% godišnje.

Indija je podijeljena u pet regija u kojima je izvršen program realizacije proizvodnje energije. Ministarstvo ukazuje na potrebu osnivanja velike organizacije za projektiranje i izgradnju ovih objekata, i naglašava da su vrlo velike količine čelika, cementa i građevinske mehanizacije koje će trebati uvesti ili za njih u Indiji izgraditi proizvodne kapacitete. Prema vrstama elektrana predviđa se slijedeće (MW):

	danas	do 1982.
Hidroelektrane	7.000	14.000
Termoelektrane	9.000	15.500
Nuklearne elektrane	600	3.900
Pumpne elektrane	—	2.000
Ukupno	16.600	35.400

(Prema Water Power № 10/72)

J. M.

Francuski dizel-električni vlakovi za ŽTP Zagreb

Francuska firma Alsthom isporučila je šest visokokomfornih dizel-električnih kompozicija ŽTP-u Zagreb. Svaka kompozicija ima po pet vozila: dvoja motorna kola, dvije prikolice i salonska kola s barom. Broj sjedećih mjesta je 204. Kompozicija je duga 126,30 m i ima masu od 230 t. Svaka kompozicija ima po dva dizel motora proizvodnje Sté Alsacienne de Constructions Mécaniques de Mulhouse. Instalirana snaga je 1600 kW, a maksimalna brzina 120 km/h. Ovi vlakovi namijenjeni su za prijevoz putnika od Zagreba do jadranske obale.

J. M.

Nova termoelektrana u Grčkoj

Nedavno je započela izgradnja nove termoelektrane Kardia, na jednom od najvećih rudnika lignita u Evropi. Termoelektrana Kardia će imati šest jedinica od po 300 MW. Ona se nalazi dvadesetak kilometara od mjesta Ptolemaïs.

Prve dvije jedinice grade se istodobno i njih po principu »ključ u ruke« isporučuje francuska firma Alsthom. Svaka jedinica ima kotao od 916 t/h pare i turboalternatorsku grupu od 300 MW sa 3000 oh./min. Kompletnu kontrolno-komandnu i električnu opremu osigurava CGEE Alsthom. Svaka jedinica će imati transformator od 360 MVA 21/400 kV.

Puštanje u pogon prve jedinice očekuje se u listopadu 1974. a druge u ožujku 1975. godine.

J. M.

Elektrana za luku i industrijsku zonu u Tunisu

U Tunisu se gradi nova luka i velika industrijska zona u gradu Ghannouch, nekoliko kilometara sjeverno od Gabesa. Energiju potrebnu za tvornice ove industrijske zone, posebno za proizvodnju fosfata, isporučivat će elektrana koja se usred industrijske zone gradi u blizini luke.

Za ovu elektranu je Tunisko poduzeće Sociéte Tunisienne de l'Electricité et du Gaz naručilo u Francuskoj od Compagnie Electromécanique (CEM) dvije grupe turboaltematora od 30 MW s kompletnom opremom: kondenzatorima, spremnicima vode, pumpama i ostalim. Hlađenje će se obaviti morskom vodom koja će se pumpati iz luke.

Slatka voda potrebna toplinskom ciklusu dobijat će se iz dvije destilacione grupe, koje će prečišćavati po 6 t/h vode iz morske u slatku vodu.

J. M.

Nove SF_6 stanice u Španjolskoj

U mreži Madrida nalaze se odnedavno dvije blindirane visokonaponske stanice sa opremom u SF_6 izvedbi. Umjesto stanice od 46 kV na otvorenom u jednoj četvrti Madrida je izgrađena zgrada koja u

podrumu ima stanicu 245 kV sa sumpornim heksafluoridom tipa »Hexabloc« proizvodnje Merlin-Gerin, u prostoriji 23,5 × 11 m i visine 9 m. Karakteristike ove stanice su: pogonski napon 245 kV, minimalna opterećenost 2 kA, dielektrična čvrstoća na udarni napon 1050 kV, snaga kratkog spoja 15 GVA, dvostruke sabirnice sa sekcioniranjem, pet polja u punoj etapi i sedam u drugoj etapi.

Osim toga postavljena je jedna jedinica blindirane opreme 138 kV SF_6 tipa »Fluobloc« u stanicu San Felice i naručeno je još pet ćelija firme Delle-Alsthom za stanicu Ayala od 138 kV.

Osim ovih stanica u toku je instaliranje 138 kV opreme »Fluobloc« u stanicu Mezerredo u Bilbaou.

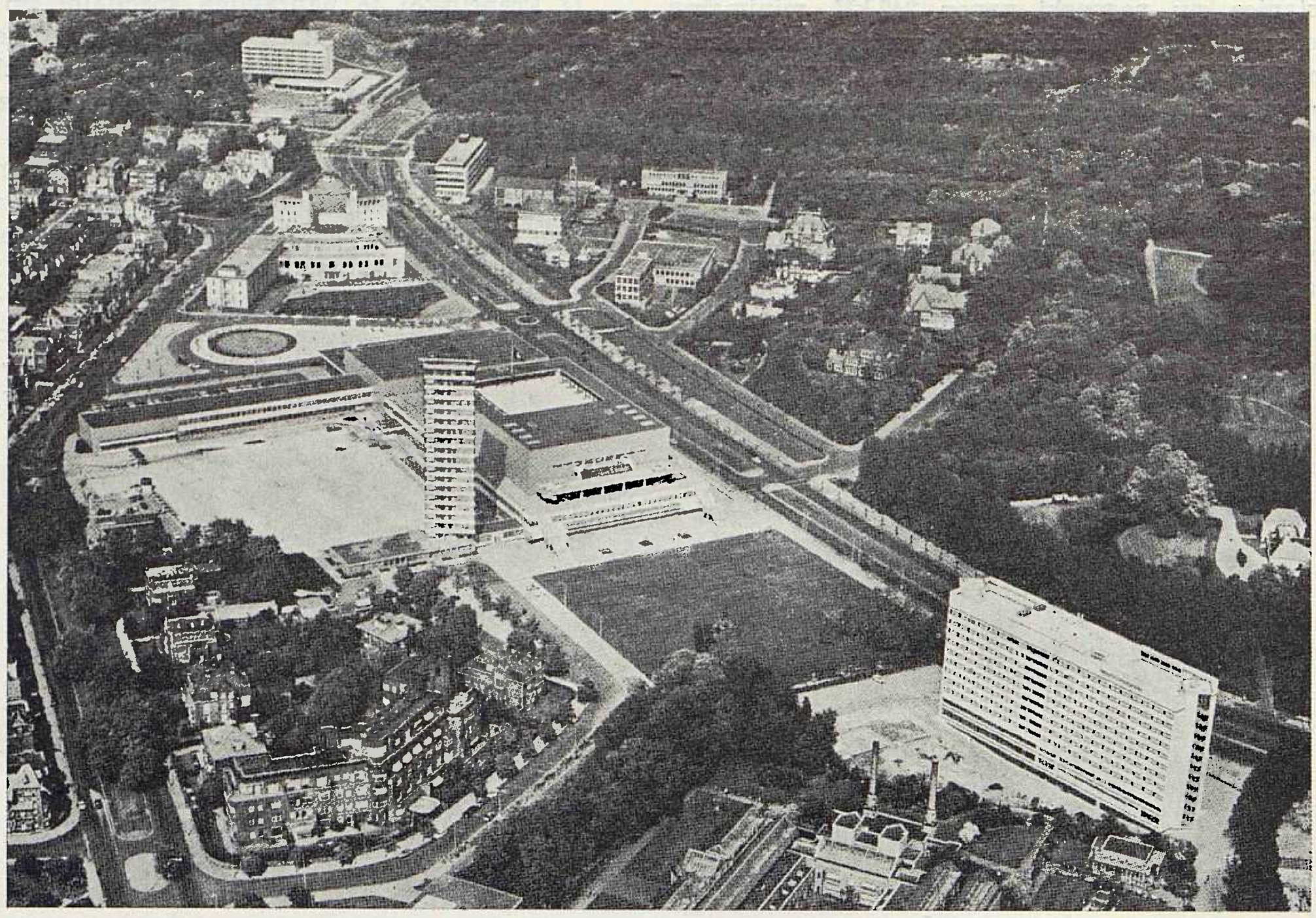
J. M.

Specijalna oprema za transformatorske stanice u Sahari

U Francuskoj je napravljen specijalni tip transformatorskih stanica za distribuciju električne energije po naftonosnim poljima u Sahari, posebno za Alžir i nalazište Hassi-Messaoud. Od visokonaponske stanice pa do priključnice niskog napona bilo je potrebno projektirati, izvesti i ispitati novu opremu koja može izdržati pustinjske uvjete. Posebno su obrađene stanice 30 kV/380 V 400 kVA čiji je tip dobio ime »Sahara« a kojih je već 6 ugrađeno u mrežu. Stanice imaju dvostruke plašteve i posebne zaštite od pješčanih nanosa i nosače sa zračnim rastavljačima koji omogućuju brzo prekapčanje zračnih 30 kV izvoda.

J. M.

16. KONGRES UNIPEDE U HAGU



Pogled na kongresnu palaču u Hagu (u sredini)

Od 27. do 31. kolovoza 1973. održan je u glavnom gradu Nizozemske, Hagu, 16. kongres internacionalnog udruženja proizvođača i distributera električne energije — UNIPEDE (Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d' Energie Electrique).

Organizacija UNIPEDE je osnovana 1925. godine, a prvi kongres je održan 1926. Kongresi se od 1949. održavaju svake treće godine u drugoj zemlji. Posljednji kongresi su održani:

1964. u Stokholmu
1967. u Madridu
1970. u Cannesu.

Nakon završenog kongresa domaćini su organizirali trodnevna studijska putovanja u 14 grupa u različite dijelove Nizozemske. Time je dana prilika stručnjacima različitih zemalja da se upoznaju i izmijene iskustva.

Kongresu u Hagu prisustvovalo je oko tisuću kongresista iz 28 zemalja, većinom s pratnjom. Iz Jugoslavije je bilo 10 učesnika.

UNIPEDE je internacionalno udruženje reprezentativnih elektroprivrednih poduzeća (Zajednica jugoslavenske elektroprivrede je član udruženja).

Svrha udruženja je da se izmijenjuju iskustva i obrađuju problemi čija rješenja mogu unaprijediti elektroprivredu zemalja članica.

Aktivni članovi UNIPEDE su: Austrija, Belgija, Danska, Finska, Francuska, Grčka, Irska, Italija, Jugoslavija, Mađarska, Nizozemska, Norveška i Velika Britanija. Zemlje koje nemaju uvjeta da budu aktivni članovi, surađuju kao pridruženi članovi.

UNIPEDE održava odnose s internacionalnim organizacijama čiji je rad vezan na unapređenje elektroprivrede (CIGRÉ, WPC, VCPTE, OECD itd.). Organi UNIPEDE jesu: Direkcijski komitet, Studijski komitet, Kongres i Sekretarijat.

Direkcijski komitet upravlja organizacijom. Svaka zemlja članica delegira jednog do trojice predstavnika, osim toga u komitetu su bivši predsjednici i počasni članovi. Vrlo važnim problemima elektroprivrede bavi se Direkcijski komitet neposredno, a upravlja i radom Studijskih komiteta. Na prijedlog članova UNIPEDE može u Studijske komitete svaka zemlja članica delegirati po jednog predstavnika. Sada ima 8 Studijskih komiteta:

1. za nuklearnu energiju
2. za termoelektrane
3. za hidroelektrane
4. za visokonaponske mreže i međunarodnu interkoneksiju
5. za distribuciju
6. za tarife
7. za primjenu električne energije
8. za statistiku

K tome dolaze još dva Studijska potkomiteta i to

1. za kemiju u termoelektranama
2. za krivulju opterećenja.

Studijski komiteti imaju vrlo slobodan program djelovanja.

Neposredno pod Direkcijskim komitetom rade slijedeći komiteti i radne grupe:

1. Studijska medicinska grupa
2. Komitet za javne odnose
3. Komitet za koordinaciju istraživanja u području elektroprivrede
4. Radna grupa za primjenu elektroničkih računala u elektroprivredi.

Kao nadopunu direktnoj izmjeni iskustava UNIPEDE sakuplja podatke i mišljenja pomoću anketa. Podatke anketa obrađuju studijski komiteti ili grupe eksperata koji su ih razaslali. Većinom takvi podaci predstavljaju podloge za neki referat koji se stavlja na raspolaganje većem krugu stručnjaka.

Vrhunac djelovanja UNIPEDE jesu kongresi. Na njima se diskutira o problemima obrađenim u brojnim referatima i izmijenjuju iskustva u osobnim kontaktima stručnjaka. Osim kongresa, UNIPEDE u posljednje vrijeme organizira različite kolokvije i simpozije o posebnim pitanjima kao npr. o električnom grijanju postrojenja, distribuciji i slično.

Sekretarijat, čije je stalno sjedište u Parizu, provodi organizaciju različitih djelatnosti UNIPEDE i brigu o umnožavanju dokumenata. Sekretarijat raspolaže izdanjima UNIPEDE i časopisom L' Economic Electrique.

Prilikom ovogodišnjeg kongresa u Hagu izdane su tri vrste referata:

— generalni i specijalni referati,
— studijski dokumenti,
— specijalni dokumenti.

Prva vrsta referata dostavljena je prije kongresa svim učesnicima i predstavlja osnovni pregled problema o kojima je diskutirano na kongresu. Referati su podijeljeni na sekcije prema tematici koju obrađuju odgovarajući studijski komiteti.

Druga vrsta referata, nadopuna generalnim i spespecijalnim referatima, nalazi se pohranjena u Sekretarijatu, a šalje se kongresistima samo na posebno traženje.

Treću vrstu čine posebni dokumenti koji se šalju uz posebno traženje i odgovarajuću naplatu.

Lista općih i posebnih izvještaja na XVI kongresu UNIPEDE (u zagradama je navedena i studijska dokumentacija uz opće i posebne izvještaje, koju kongresisti mogu nabaviti uz posebno traženje od Sekretarijata UNIPEDE).

0. Direkcijski komitet

00. Kako elektroprivreda pridonosi rješavanju problema čovjekove okoline.

1. Studijski komitet za nuklearnu energiju

10. Opći izvještaj Komiteta
    - 10.01 Izvještaj predsjednika Komiteta.
    - 10.02 Međunarodno usklađivanje propisa o sigurnosti nuklearnih elektrana.
    - 10.03 Registrirani razvoj u reciklaži plutonija.
    - 10.04 Ankete o metodama upravljanja gorivom reaktora.
    - 10.05 Aktivnosti Radne grupe o osiguranju nuklearnog rizika.
    - 10.1 Pražnjenje rashladne vode i njen utjecaj na okolinu.
    - (10/D.1 Dodatak izvještaju 10.1, kojeg je izradila Grupa eksperata za proučavanje problema u vezi s rashladnom vodom).

2. Studijski komitet za termoelektrane

20. Opći izvještaj Komiteta
    - 20.01 Izvještaj predsjednika Komiteta.
    - 20.02 Glavni aspekti prošle, sadašnje i buduće proizvodnje energije termijskog porijekla.
    - 20.1 Stečena iskustva u eksploataciji nuklearnih elektrana u zemljama članicama UNIPEDE.
    - (20/D.1 Stečena iskustva s automatizacijom velikih termoelektrana).
    - 20/D.2 Planiranje uzdržavanja, periodičnih revizija i tehničke inspekcije u termoelektranama.
    - 20/D.3 Problemi izobrazbe kadrova za eksploataciju i uzdržavanje termo- i nuklearnih elektrana.
    - 20/D.4 Problemi zagađivanja zraka i desulfuracija gorivog plina).

21. Opći izvještaj Potkomiteta
    - 21.01 Izvještaj predsjednika Potkomiteta.
    - 21.02 Kemija nuklearnih elektrana moderiranih i hlađenih lakom vodom.
    - 21.03 Rezime izvještaja o kontinuiranom čišćenju vode za napajanje.
    - 21.04 Rezime izvještaja o termičkim elektranama hlađenih morskom vodom.
    - 21.05 Rezime izvještaja o nedestruktivnim ispitivanjima i nadzor elektrana u pogonu.
    - 21.06 Rezime izvještaja o normama u vezi s vodom kotla i napajanja.
    - (21/D.1 Kemijske karakteristike nuklearnih elektrana moderiranih i hlađenih lakom vodom).

3. Studijski komitet za hidroelektrane

30. Opći izvještaj Komiteta
    - 30.01 Izvještaj predsjednika Komiteta.
    - 30.02 Postrojenje s višestrukom namjenom. Ekonomski problemi.
    - 30.03 Tendencije u razvoju pumpnih postrojenja.

30.04 Automatizacija i telekomanda hidro-električnih postrojenja: ciljevi istraživanja, organizacija sistema, posljedice na eksploataciju i uzdržavanje.

(30/D.1 Postrojenja s višestrukom namjenom. Ekonomski problemi.

30/D.2 Tendencije u razvoju pumpnih postrojenja.

30/D.3 Automatizacija i telekomanda hidro-električnih postrojenja).

4. Studijski komitet za velike mreže i međunarodnu interkonekciju

40. Opći izvještaj Komiteta

40.01 Izvještaj predsjednika Komiteta.

40.02 Proizvodnja reaktivne snage u velikim interkonektiranim mrežama.

40.1 Studija o optimalnoj strukturi evropske interkonekcijske mreže.

5. Studijski komitet za distribuciju

50. Opći izvještaj Komiteta

50.01 Izvještaj predsjednika Komiteta

50.02 Izbor standardnog napona na niskom naponu.

50.03 Kvaliteta službe i perturbacije.

50.1 Što bi mogla biti organizacija moderne službe za distribuciju električne energije.

(50/D.1 Problemi uslijed premještaja kanalizacije u vezi s javnim radovima.

50/D.2 Propisi sigurnosti za nadzemne vodove, srednjeg i niskog napona.

50/D.3 Usporedba računskih kriterija i funkcioniranja mreže srednjeg napona upotrebljenih u SR Njemačkoj, Francuskoj i Italiji, za projekt elektrifikacije iste zone.

50/D.4 Upotreba aluminija i aluminijskih legura u vodičima za nadzemne vodove, niskog i srednjeg napona.

50/D.5 Anketa u vezi s telekomandom u transformatorskim razvodnim stanicama srednjeg napona.

50/D.6 Organizacija elektroprivrede u nekim zemljama članicama UNIPEDE).

6. Studijski komitet za tarife

60. Opći izvještaj Komiteta

60.01 Izvještaj predsjednika Komiteta.

60.02 Kvalitet službe sa gledišta potrošača.

60.03 Razvoj cijena električne energije tijekom posljednjih godina.

60.04 Predložene metodologije za utvrđivanje prognoza o fondovima potrebnim za financiranje.

60.1 Globalna produktivnost elektroprivrede

(60/D.1 Kvalitet službe sa gledišta potrošača.

60/D.2 Nova tarifa za visoki napon u Švedskoj.

60/D.3 Problemi financiranja.

60/D.4 Porezi i lokalne takse na cijenu električne energije u zemljama članicama UNIPEDE.

60/D.5 Anketa o troškovima priključka na visokom naponu i odvoda na niskom naponu).

7. Studijski komitet za razvoj primjene električne energije

70. Opći izvještaj Komiteta

70.01 Izvještaj predsjednika Komiteta.

70.02 Aspekti razvoja korištenja električne energije u industriji.

70.03 Proučavanje krivulje opterećenja postrojenja »sve električno« u tercijarnom sektoru.

70.04 Proučavanje tržišta

70.05 Međunarodni priručnik prognoziranja potrošnje na srednji i dugi rok.

70.06 Anketa o elastičnosti potrošnje.

70.07 Razvoj potražnje električne energije u velikim gradovima.

70.08 Električna vozila.

70.1 Električno grijanje i amortizacija prostorija.

(70/D.1 Aspekti razvoja korištenja električne energije u industriji.

70/D.2 Proučavanje krivulje opterećenja potpuno elektrificiranih poduzeća tercijarne djelatnosti.

70/D.3 Proučavanje tržišta.

70/D.4 Statistika razvoja potrošnje u domaćinstvima.

70/D.5 Razvoj potražnje električne energije u velikim gradovima).

7.1. *Studijski potkomitet za krivulje opterećenja*

71. Opći izvještaj Potkomiteta

71.01 Izvještaj predsjednika Potkomiteta

71.02 Utjecaj električnog grijanja stambenih prostorija na krivulju opterećenja mreže

71.03 Karakteristike snabdijevanja električnom energijom velikih industrija.

71.04 Proučavanje opterećenja velikih industrijskih abonenata.

71.05 Analiza opterećenja na regionalnom nivou.

(71/D.1 Utjecaj električnog grijanja stambenih prostorija na krivulje opterećenja.

71/D.2 Karakteristike snabdijevanja električnom energijom nekih velikih industrija.

71/D.3 Analiza opterećenja na regionalnom nivou).

8. Studijski komitet za statistiku

80. Opći izvještaj Komiteta

80.01 Izvještaj predsjednika Komiteta.
80.02 Neraspoloživost termoelektrana.
80.03 Neraspoloživost prijenosnih objekata.

9. Studijska medicinska grupa UNIPEDE

90. Izvještaj o aktivnostima Grupe.

10. Komitet za odnose s općinstvom

100. Opći izvještaj Izvršnog predsjednika Komiteta.

100.1 Elektroprivreda i omladina

(100/D.1 Izvještaj Misije za javne odnose u SAD.

100/D.2 Britanska elektroprivreda i problemi čovjekove okoline.
100/D.3 Elektroprivreda Francuske i problemi čovjekove okoline.
100/D.4 Elektroprivreda SR Njemačke i problemi čovjekove okoline).

11. Komitet za koordinaciju istraživačkog rada u elektroprivredi

110. Opći izvještaj predsjednika Komiteta

12. Radna grupa za upotrebu kompjutora u elektroprivrednim poduzećima

120. Opći izvještaj predsjednika Radne grupe.

120.1 Informacijske sheme elektroprivrede Francuske.
120.2 Generalni modeli poduzeća.

D. M.

PODUZEĆE ZA IMPREGNACIJU DRVA I PROIZVODNJU KOMPRIMIRANIH PLINOVA KARLOVAC

Obavlja kemijsku zaštitu (kotlovsku impregnaciju) svih vrsti željezničkih pragova, pragova za smještaj kranskih dizalica, stupova za TT i EV vodove, kocaka za hale, rudno drvo i ostali građevinski materijal od drveta.

Impregnira po najsuvremenijim metodama.

Proizvodi komprimirane plinove: kisik, disuplin i dušik.

NAGRADA »NIKOLA TESLA« DODIJELJENA JE BORISU MARKOVČIĆU

Ove godine je nagradu »Nikola Tesla«, visoko priznanje koje se u našoj republici dodjeljuje istaknutim stručnjacima iz područja tehničkih znanosti, primio Ing. Boris Markovčić, znanstveni savjetnik Instituta za elektroprivredu. Ovo mu je priznanje dodijeljeno za značajnu znanstvenu djelatnost u području prijenosa električne energije.

Iako je čitaocima »Energije« poznato koliki je doprinos Ing. Markovčića razvoju elektroenergetskog sistema naše zemlje i unošenju znanstvene misli u to područje, valja ipak podsjetiti na njegovo izuzetno stvaralaštvo:

Počeo je raditi u svom rodnom Zagrebu na poslovima projektiranja i gradnje mjesnih mreža, transformatorskih stanica i vodova niskog i visokog napona.

Poslije rata radi u Beogradu, u Ministarstvu elektroprivrede FNRJ, i u tom razdoblju sudjeluje na izradi prvih planova elektrifikacije Jugoslavije, u kojima obrađuje probleme razvoja konzuma i osnivanja mreže visokog napona.

Od 1950. ponovno je u Zagrebu, najprije u Sekretarijatu za elektroprivredu i ekstrativnu industriju, a zatim na Tehničkom fakultetu. Iz ovog razdoblja djelovanja Ing. Markovčića valja istaći njegov rad na osnivanju i izgradnji visokonaponskog laboratorija na Tehničkom fakultetu, te na nizu studija koje predstavljaju prve početke sustavne razrade elektrifikacije pojedinih područja Hrvatske s naponom 110 kV. Vrijednost ovih radova je u tome, što su u njima dani obrisi današnje mreže 110 kV u Hrvatskoj, a u njihovim okvirima je i doprinos tehničkim rješenjima gradnje nadzemnih vodova na vrlo teškim terenima.

Od 1957. godine, pa sve do danas, Ing. Markovčić radi u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu, u svojstvu rukovodioca studijske grupe »Prijenosne mreže«. To je razdoblje u kojem njegova izuzetna radinost i veliko znanje doživljavaju potpunu afirmaciju.

Od niza samostalnih stručnih i znanstvenih radova iz toga razdoblja valja posebno ukazati na radove iz područja regulacije napona, izbora stupova i vodiča za vodove 220 kV, istraživanja uloge zaštitnih užeta sa stajališta zaštite vodiča od izravnog i neizravnog udarca groma, te sudjelovanje u kompletnoj razradi superponirane mreže 220 kV Jugoslavije.

U posljednjem razdoblju Ing. Markovčić se je posvetio prvenstveno problematici superponirane mreže 380 kV, ulozi te mreže u zapadnom dijelu Jugoslavije, određivanju optimalnog omjera transformacije, načinu prijenosa snage od velikih TS 380/110 kV, načinu napajanja područja Zagreba u bližoj i daljoj budućnosti, te kompenzaciji u prijenosnom sistemu 380 kV.

Na kraju valja ukazati na poznati i priznati rad Ing. Markovčića u samoupravnim organima i društvenim organizacijama, na samoprijegoran rad u DITH i u Elektrotehničkom društvu — Zagreb, gdje je u upravnom odboru obavljao različite funkcije, primio 1959. »Spomenicu«, a godine 1965. »Povelju« zaslužnog člana SMEITJ-a. Iste godine odlikovao ga je Predsjednik Republike za osobite zasluge na stručnom i znanstvenom polju, Ordenom rada sa zlatnim vijencem.

Iskreno se veselimo da je nagrada »Nikola Tesla« došla u prave ruke.

Srdačne čestitke Ing. Borisu Markovčiću!

Ivo Hrs, predsjednik Izdavačkog savjeta »Energije«

CRPNI AGREGATI — JUGOTURBINA TIP VPM i VPT

Poduzeće »Rade Končar« počelo je proizvoditi crpne agregate, pa ćemo se u ovom napisu osvrnuti na taj proizvod.

Crpni agregati upotrebljavaju se za opskrbljivanje pitkom i potrošnom vodom u kućanstvu, stambenim zgradama, industriji, poljoprivredi, obrtu, školama, itd.

Veoma su jednostavni za rukovanje i jeftini za održavanje. Mogu se koristiti kao posebne jedinice ili u sklopu sa hidroforima.

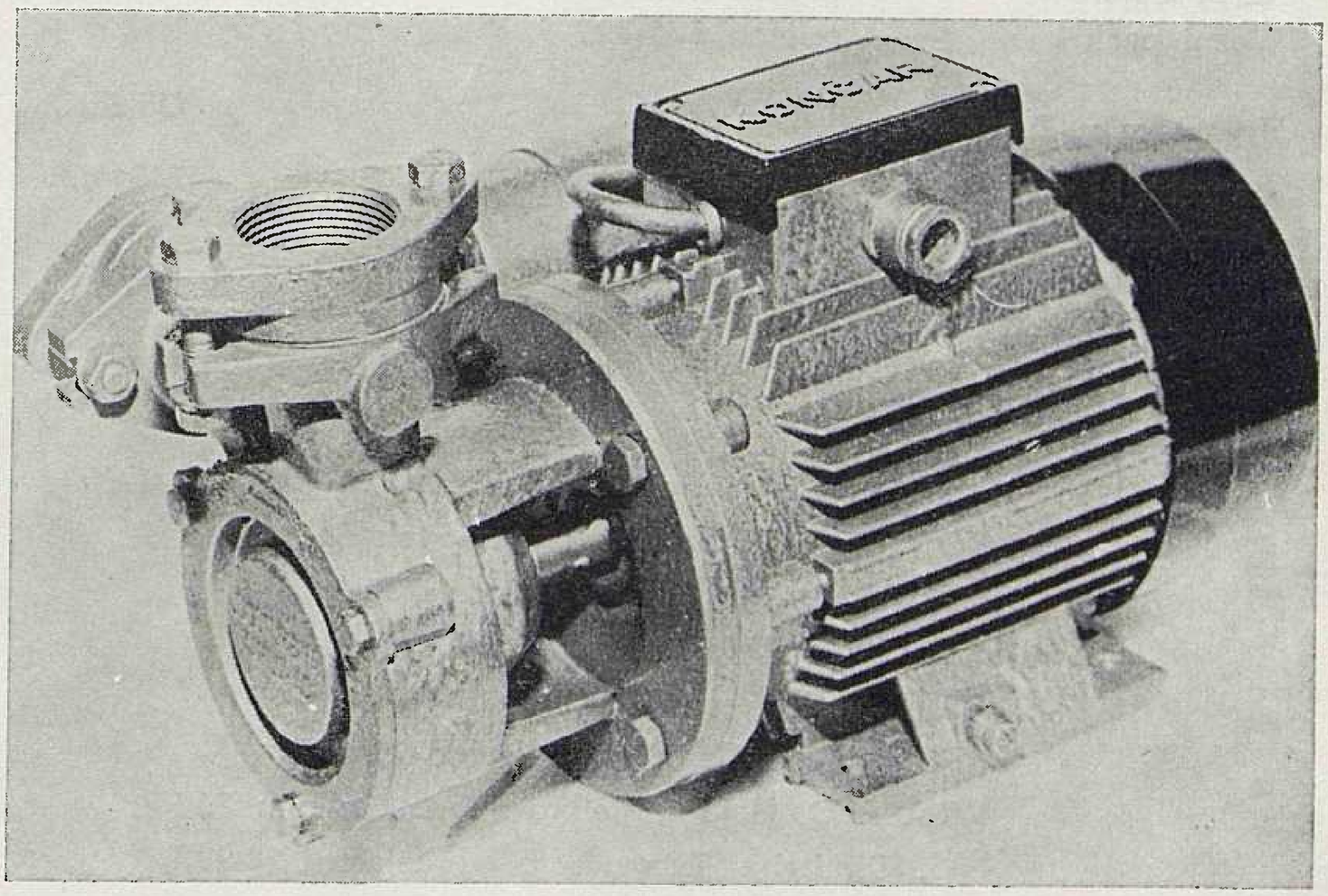
Crpni agregati VPM i VPT što se proizvode u poduzeću »Rade Končar« su jednostepene, horizontalne vrtložne crpke s pogonskim elektromotorima u monoblok izvedbi, te je osovina elektromotora ujedno i pogonska osovina crpke.

Pogonski elektromotor kod crpke VPM je jednofazni, a kod crpke VPT trofazni.

Mehanička zaštita motora je IP_{44} (prema IEC preporukama), što čini zaštitu od namjernog dodira, podizanja krupne prašine, prskajuće vode iz bilo kojeg smjera.

Elektromotor štiti osim postojećim mrežnim osiguračima i motorskom zaštitom sklopkom koja štiti od preopterećenja i od prekida struje u jednoj fazi (za trofazne motore).

Kod odabiranja automatske zaštitne sklopke valja paziti da odgovara podacima elektromotora, koji su naznačeni na natpisnoj pločici agregata. Samo pravilno odabrana sklopka sa sigurnošću štiti motor.



Crpni agregat proizvodnje »Rade Končar«

TEHNIČKI PODACI

Tip agregata	Snaga	Nazivna struja kod		Brzina vrtnje	Kondenzator		Protok	Visina dobave	Težina
	kW	220 V A	380 V A	c/min	Kapac. μF	Napon V	l/min	m V. S	kp
S jednofaznim motorom									
VPM — 82	0,55	4,8	—	2740	16	380	30 — 60	30 — 10	11
VPM — 88	0,75	5,8	—	2750	10	380	20 — 60	50 — 15	14,5
VPM — 94	1,1	7,8	—	2750	25	380	42 — 78	55 — 10	15,5
S trofaznim motorom									
VPT — 88	0,75	3,5	2	2750	—	—	20 — 60	50 — 15	14
VPT — 94	1,1	4,8	2,8	2750	—	—	42 — 78	55 — 10	15

»RADE KONČAR«
PODUZEĆE ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE OPREME, PROJEKTIRANJE I MONTAŽU POSTROJENJA — ZAGREB

Velika jugoslavenska špediterska kuća

JUGOTRANSPORT

Poduzeće za međunarodnu špediciju i skladišta

CENTRALA **ZAGREB** JUGOSLAVIJA

ZAGREB, Vodovodna 20a, Poštanski pretinac 786
Telefon: 572-722 serija, Telex: 21-127
Telegrafska adresa: Jugotrans
Uprava — telefon 571-477
Uvoz — telefon 571-243, 571-632, 572-939
571-529
Izvoz — telefon 571-411, 572-641
Tarifno konjunkturni sektor — telefon 571-518
Računovodstvo — telefon 571-066
Skladište — telefon 572-722
Loko odjel — telefon 572-722
Vozni park — telefon 572-722

Ispostave u Zagrebu

Zagrebački velesajam — telefon 511-493
Aerodrom Zagreb — telefon 511-422

FILIJALE:

BEOGRAD, Kneza Miloša 47
telefon 645-253, 645-860, 644-485
telex 11-319
Ispostava Zemun — telefon 608-153
Ispostava Aerodrom Beograd —
telefon 601-444
Ispostava Beogradski sajam —
telefon 51-080

RIJEKA, Rade Končara 7, telefon 25-641
telex 24-336

OSIJEK, Zrinjevac 12, telefon 57-37

SISAK, Vladimira Majdera, telefon 227-55
telex 21-305

ISPOSTAVE:

KOPRIVNICA, Đure Salaja br. 3, telefon 443
KOTORIBA, Željeznička stanica, telefon 12
VUKOVAR, I. L. Ribara, telefon 760
BELI MANASTIR, telefon 77-159
SPLIT, Tolstojeva 28, telefon 26-70
KOPER, Nabrežje SM 1a, telefon 21-677
KRALJEVO, Hajduk Veljkova b. b., telefon 760
NIŠ, Dimitrije Tucovića b. b., telefon 24-997
telex 16-146
VRŠAC, Maršala Tita br. 23, telefon 80-450
PANČEVO, ul. Oslobođenja 35, telefon 32-34

PREDSTAVNIŠTVA:

SEŽANA
NOVA GORICA
JESENICE
PREVALJE
MARIBOR
LJUBLJANA
ZADAR
NOVI SAD
SUBOTICA
DIMITROVGRAD
SKOPLJE
GEVGELIJA
BAR

Područje rada međunarodne špedicije

JUGOTRANSPORT ZAGREB

Uvozni, izvozni i tranzitni poslovi
Masovni transporti — Industrijska postrojenja — Strojevi — Specijalni tereti
Čarterovanje — Pomorski i zračni saobraćaj
Transporti živog i lakopokvarljive robe — Hranjenje — Pojenje — Doleđivanje
Zbirni saobraćaj
Riječna plovidba
Selidbe
Uskladištenje u vlastita skladišta
Pakovanje — Sortiranje — Vaganje
Carinsko posredovanje — Kontrola težine — Vađenje uzoraka
Sajamska roba
Osiguranje
Savjetovanje o transportnim pitanjima
Oferte — Informacije — Kalkulacije — Instradacije — Kontrola tovarnih dokumenata
Ispostave i predstavništva na svim graničnim prelazima, važnijim sajmovima i aerodromima

GOD. 22 (1973) energija BROJ 11 — 12

ČASOPIS ZA STRUČNA I ORGANIZACIONO DRUŠTVENA PITANJA ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

ISTRAŽIVANJA OPSKRBE ENERGIJOM

Hrvoje Požar, Zagreb

DK 620.9

Problem opskrbe energijom postaje danas sve akutniji. Na to ukazuje i interes koji pokazuju i vlade velikih sila za rješavanje tog problema, pa su i političke odluke nerijetko posljedica želje za povoljnijem rješenjem opskrbe energijom. U današnjoj civilizaciji i proizvodnja dobara i životni uvjeti povezani su s raspoloživim količinama energije, a tehnička revolucija započela je onda, kada je čovjek naučio da toplinu transformira u mehaničku energiju (parni stroj). I danas je ta energetska transformacija osnova daljnjeg razvitka.

Potrebe za energijom rastu po eksponencijalnoj zakonitosti (tabl. 1). Dosad nije ni u jednoj zemlji zapaženo zasićenje, a prema nekim ocjenama i u najrazvijenijim zemljama valja očekivati u budućnosti daljnji znatan porast korištenja energije prije nego što dođe do stagnacije u porastu. Prema današnjim tehničkim dostignućima nema opasnosti da će doći do ograničenja razvoja zbog pomanjkanja energije. Mogućnost ograničenja bit će, međutim, eliminirana i za vrlo dugi razvoj u budućnosti, kad bude tehnički riješeno pitanje korištenja energije fuzije.

Normalno se radi o velikim količinama ugljena, nafte i zemnog plina (radi se o milijunima tona i milijardama m^3) koje su potrebne za opskrbu nekog područja energijom, pa su za njihovu preradu, transformaciju u pogodnije oblike energije i transport, potrebna postrojenja i uređaji velikih kapaciteta. To traži znatna investiciona sredstva za stalno povećanje kapaciteta za korištenje, transformaciju i transport, kako bi se zadovoljile sve veće potrebe. Korištenje energije udvostručuje se kroz oko 14 godina, što znači da je za to vrijeme potrebno izgraditi toliko postrojenja i uređaja koliko ih je do danas izgrađeno. Udio investicija za opskrbu energijom predstavlja znatan dio od ukupnih investicija u privredi. Taj udio vjerojatno će postati još i veći, jer su normalno najpovoljnije mogućnosti već iskorištene i jer će se u budućnosti graditi sve više postrojenja s visokim specifičnim investicijama (manje ekonomične hidroelektrane, korištenje nepovoljnih nalazišta ugljena, nuklearne elektrane, itd.).

Osim toga, kako dosodašnja iskustva pokazuju, već i relativno vrlo mali stupanj neopskrbljenosti energijom izaziva poremećaje ne samo u industrijskoj proizvodnji i prometu, nego i u životu stanovništva. Sigurnost opskrbe energijom predstavlja, dakle, važan faktor u energetskoj privredi, pa je taj faktor često od presudne važnosti za definiranje energetske politike zemlje.

Mogućnost međusobne supstitucije pojedinih oblika energije i raznovrsnost tehničkih rješenja još više kompliciraju iznalaženje optimalnih rješenja. Tu se pojavljuju znatna ograničenja uvjetovana zaštitom okoline, jer sva energetska postrojenja imaju znatan utjecaj na okolinu.

Opskrba električnom energijom, koja je jedan od oblika energije, postaje sve važniji preduvjet za opskrbljenost energijom, jer udio električne energije postaje sve veći. Potrošnja električne energije naime znatno brže raste nego korištenje ukupne energije (tabl. 2). Izgleda međutim da će u skoroj budućnosti potrošnja električne energije rasti još bržim tempom nego što je to bilo u neposrednoj prošlosti, jer će biti potrebno neke potrošačke grupe usmjeriti na korištenje električne energije radi zaštite okoline. To će izazvati znatno povećanje investicionih sredstava, jer su specifične investicije za opskrbu električnom energijom normalno veće nego za opskrbu drugim oblicima energije.

Sigurna opskrba energijom svakako je preduvjet daljnjeg razvitka privrede i standarda stanovništva. Opskrba energijom je i tehnički i ekonomski problem, a pojedine energetske privredne grane samo su dio cjeline, jer su međusobno ovisne. Poznavanje međusobnih ovisnosti, upoznavanje mogućnosti primjene novih tehničkih rješenja, razvijanje metoda za analizu odnosa u opskrbi svim oblicima energije i za određivanje opravdanosti međusobne supstitucije oblika energije, da bi se na

taj način stvorile osnove za definiranje dugoročne energetske politike, za donošenje odluka o izgradnji energetskih postrojenja, za vođenje eksploatacije energetskih podsistema i energetskog sistema

Korištenje oblika energije u svijetu

Tablica 1

	1900.	1913.	1929.	1937.	1950.	1958.	1967.
	10^6 tona ekvivalentnog ugljena						
ugljen	719	1243	1362	1339	1558	2025	2236
tekuća goriva	33	96	254	327	636	1146	2207
zemni plin	11	25	77	113	273	507	1088
vodne snage	—	1	10	16	42	76	128
ukupno	763	1365	1703	1795	2509	3754	5659

Proizvodnja električne energije u svijetu

Tablica 2

Godina	TWh
1920.	123
1929.	290
1937.	447
1946.	655
1956.	1692
1966.	3639
1970.	4829
1971.	5200

u cjelini, zadatak je znanstvenih organizacija koje se bave problemima energetike.

Institut za elektroprivredu u Zagrebu jedna je od takvih organizacija.

Naslov pisca: Prof. dr Hrvoje Požar, dipl. ing.

Svim elektroprivrednim poduzećima SFRJ želi uspješnu poslovnu 1974. godinu poduzeće »ELEKTRA—ZAGREB« sa svojim OOUR-a:

Bjelovar
Čakovec
Koprivnica
Križevci
Križ
Varaždin
Zabok

OPTIMALNA RASPODJELA JALOVIH SNAGA U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

Milan Šodan — Zdravko Hebel, Zagreb

Opisan je način kako će se odrediti optimalna raspodjela jalovih snaga uz optimalno udešenje prijenosnih odnosa regulacionih transformatora i uvjet minimalnih gubitaka u sistemu. Prikazan je program za proračun na elektroničkom računalu, u kojem su uvažena brojna pogonska ograničenja. Dan je primjer proračuna test-mreže.

DK 621.31:621.3.02

1. Uvod

Dobro je poznato štetno djelovanje jalovih struja u mreži, kako u pogledu djelatnih gubitaka, tako i u pogledu pada napona. Važnost i veličina ovog problema uvjetovale su primjenu električkih računala. Donedavno je bilo težište na ispitivanju sistema radi njegovog optimalnog, odnosno ispravnog dimenzioniranja. Eksploatacija se uglavnom zadovoljavala prethodnim ispitivanjima karakterističnih pogonskih stanja. Odnedavno eksploatacija pokazuje interes da se sistem analizira redovno, gotovo svakodnevno, i to za niz karakterističnih stanja, uz uvažavanje što više stvarnih pogonskih ograničenja. Ona ne prihvaća rezultate proračuna mogućih (alternativnih) struja, već traži samo one optimalne. Dok su se prije rezultati proračuna analizirali, a onda se je, ako su neke granice prekoračene, mijenjalo pogonsko stanje, sada je potrebno da se sve te promjene automatski obavljaju prema izrađenom programu, tako da stroj daje rezultate koji se mogu direktno upotrebljavati.

Poznato je, da kod eksploatacije elektronskog sistema dispečerska služba polazi od »zadanog« konzuma za slijedeći dan. Za zadovoljenje tog konzuma utvrđuju se vozni redovi elektrana za slijedeći dan prema određenim kriterijima. Time je raspodjela djelatnih snaga manje više određena (ako se ostavi po strani regulacija frekvencije). Tokovi djelatnih snaga u sistemu mogu se lako utvrditi proračunom pomoću elektroničkog računala. Postoji niz gotovih programa koji to omogućavaju. Tid djelatnim snagama superponiraju se jalove snage neophodne i potrošačima i samoj mreži. Proizvodnja jalovih snaga ne zahtijeva dodatne troškove (gorivo), pa se vozni red proizvodnje jalovih snaga utvrđuje uglavnom na temelju iskustva, tj. intuitivno. Štoviše, ne utvrđuje se nikakav vozni red jalovih snaga izvora, već se pojedinim elektranama daje u zadatak da održavaju određeni iznos napona, iz čega onda rezultira raspodjela jalovih snaga na pojedine elektrane, odnosno agregate. Međutim, moguće je, uz poznate potrebe jalovih snaga u pojedinim točkama mreže, odrediti takvu raspodjelu proizvodnje jalovih snaga, da ukupni djelatni gubici u sistemu budu minimalni. Naponski nivo, se određuje tako da se u jednoj (može i više) točki mreže kontrolira napon pomoću tzv. regulacione elektrane.

Raspodjela jalovih snaga na izvore po prethodno spomenutom kriteriju može biti takva da neki izvori ne mogu dati jalovu snagu koja je prema proračunu rezultirala kao optimalna. U tom slučaju potrebno je te elektrane uvrstiti s maksimalno mogućom proizvodnjom jalove snage, a onda utvrditi optimalnu raspodjelu među ostalim elektranama.

Slično kao i kod prve raspodjele po kriteriju optimuma može se pojaviti previsok napon u nekoj točki mreže, pa je potrebno korigirati raspodjelu proizvodnje jalovih snaga tako da napon ni u jednoj točki sistema ne prijeđe unaprijed zadanu gornju granicu.

Tokovi jalovih snaga u zamkastoj mreži određeni su impedancijama elemenata mreže i mogu se mijenjati samo promjenom uklopnog stanja ili promjenom prijenosnih odnosa regulacionih transformatora. Moguće je utvrditi prijenosne odnose tih transformatora tako da djelatni gubici sistema budu minimalni. Tako je moguće u pogonu postaviti regulacione sklopke regulacionih transformatora u optimalni položaj.

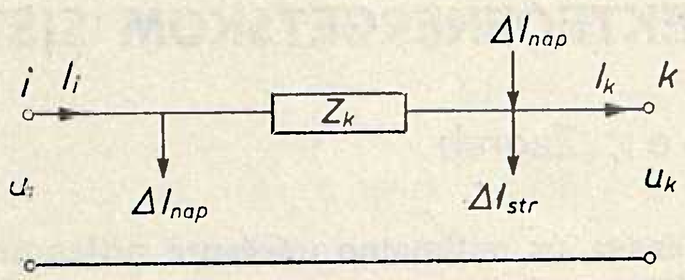
Pri optimalnoj raspodjeli može se dogoditi da je neki element mreže preopterećen što bi zahtijevalo promjenu voznih redova jalovih, a eventualno i djelatnih snaga, odnosno promjenu prijenosnog odnosa pojedinih regulacionih transformatora ili promjenu uklopnog stanja. Taj zahvat bi uslijedio nakon logičkog analiziranja uklopnog stanja sistema, kao i mogućnosti pojedinih izvora. Za konkretnu mrežu bilo bi potrebno izraditi posebne specifične potprograme, što spada u područje procesnih računala i ovdje se ne razmatra. U opisanom programu ipak se kontrolira opterećenost pojedinih elemenata sistema i o tome se daje obavijest.

2. Postupak proračuna

Polazi se od zadanih djelatnih snaga elektrana, zadanih djelatnih i jalovih opterećenja potrošača i zadanog napona u jednom čvoru sistema. Djelatni gubici mogu se procijeniti a proizvodnja elektrana prema potrebi povećati. Pogreška procjene pojavit će se u naponskom čvoru, ukoliko se u tom čvoru nalazi elektrana (regulaciona), ona će preuzeti razliku. Ako se gubici ne procjenjuju, pokrit će ih u cijelosti regulaciona elektrana.

Jalove snage elektrana (osim regulacione) određuju se po kriteriju minimalnih djelatnih gubitaka u sistemu. Kao rezultat proračuna dobiju se tokovi djelatnih i jalovnih snaga u mreži, naponska stanja u pojedinim čvorovima, djelatni i jalovi gubici u pojedinim elementima i ukupni gubici.

Valja napomenuti da raspodjela jalovih snaga po kriteriju minimalnih gubitaka u stvari vodi k maksimalnom izjednačavanju napona u mreži, pa se u neku ruku regulira napon.



Slika 1

Osnovni polazni izrazi su:

$$S^* = U^{*T} \cdot Y \cdot U \tag{1}$$

$$I = Y \cdot U, \tag{2}$$

od kojih je prvi nelinearan a drugi linearan. Rješavanje prvog izraza postiže se iterativnim postupkom, i to tako, da se pretpostavi U^{*T} kao poznato, pa se iz jednadžbe (1) odredi I, a onda iz jednadžbe (2). U. (Naime, dijeleći jednadžbu (1) sa U^{*T} na lijevoj strani se može pisati I.). Postupak se ponavlja sve dok zadana snaga S i izračunata snaga UI^* u dva uzastopna iterativna koraka ne bude manja od unaprijed zadanog dovoljno malog iznosa.

Kao što se vidi, polazi se od zadane snage S (vektor snaga čvorova), ali je ta snaga zadana kao kompleksna veličina u principu samo u potrošačkim čvorovima. U proizvođačkim čvorovima poznate su u principu samo djelatne snage, a jalove tek valja odrediti po kriteriju minimalnih gubitaka. Taj se kriterij određuje tako da se matrice i vektori iz izraza (1) i (2) particioniraju, tj. razlažu se na diobene matrice, odnosno vektore. Podjela se obavlja na tri dijela, što odgovara trima vrstama čvorova:

1. proizvodni čvorovi u kojima su zadane djelatne snage
2. potrošački čvorovi u kojima su zadane djelatne i jalove snage
3. potencijalni čvorovi (obično jedan) u kojima je zadan napon kao kompleksna veličina.

Može se pokazati da će djelatni gubici biti minimalni kada bude [L.1.]:

$$I_{1,\,im} = -H_{11,\,re}^{-1}(H_{12,\,re}\, I_{2,\,im} + H_{13,\,im}\, H_{3,\,re}), \tag{3}$$

gdje je brojčani indeks »re« realni dio i indeks »im« imaginarni dio odgovarajuće podmatrice, odnosno podvektora. Podmatrice H_{ik} dobiju se iz tzv. hibridne matrice H, koja se opet dobije iz matrice Y metodom zamjene varijabli, odnosno inverzijom [L. 1, 2].

Odredivši imaginarne struje proizvodnih čvorova prema izrazu (3) mogu se riješiti jednadžbe (1) i (2), što onda daje tokove snage uz optimalnu raspodjelu jalovih snaga na elektrane prema uvjetu minimuma djelatnih gubitaka sistema.

U zamkastim mrežama s regulacionim trasformatorima može se utjecati na iznos gubitaka promjenom tokova snaga putem promjene prijenosnih odnosa regulacionih transformatora. Tako se može tražiti minimum gubitaka kao funkcija prijenosnih odnosa regulacionih transformatora. Obični regulacioni transformatori s tzv. uzdužnom regulacijom omogućuju uglavnom promjenu tokova jalovih snaga, dok regulacioni transformatori s poprečnom regulacijom omogućuju uglavnom promjenu tokova djelatnih snaga. Regulacioni transformatori sa tzv. kosom regulacijom omogućuju promjenu tokova i djelatnih i jalovih snaga. Želi li se odrediti optimalni prijenosni odnos regulacionih transformatora dobro je predstaviti transformator kao četveropol impendencije Z_k preračunate na računski napon pomoću nazivnog prijenosnog odnosa. Odstupanje prijenosnog odnosa od nazivnog uzima se u obzir pomoću nadomjesnih struja prema sl. 1. Nadomjesne struje se određuju prema izrazima:

$$I_{nap} = \frac{1 - t_r}{Z_k} U_k \tag{4}$$

$$I_{str} = \frac{1 - t_r}{Z_k} (U_i - t_r \cdot U_k), \tag{5}$$

gdje t_r znači relativni prijenosni odnos, tj. omjer stvarnog i nazivnog prijenosnog odnosa. Može se pokazati da je struja I_{str} za jedan red veličina manja od I_{nap} [L. 3, 6], što omogućuje da se pri određivanju optimalnog prijenosnog odnosa vodi računa samo o struji I_{nap}. Uzme li se I_{nap} kao varijabla i odredi li se njezin iznos za slučaj kada su gubici minimalni, onda iz izraza (4) slijedi optimalni, relativni prijenosni odnos

$$t_r = 1 - I_{nap} \frac{Z_k}{U_k}, \tag{6}$$

pojedinog transformatora. Naravno da će se regulaciona sklopka postaviti na prvi bliži stupanj.

Ograniče li se razmatranja na regulacione transformatore s uzdužnom regulacijom može se

```
BROJ ITERACIJE    1
BROJ ITERACIJE    2
BROJ ITERACIJE    3
BROJ ITERACIJE    4
BROJ ITERACIJE    5
BROJ ITERACIJE    6
BROJ ITERACIJE    7
    1        0.98182        1.00000
    2        1.04561        1.00000
BROJ ITERACIJE    1
BROJ ITERACIJE    2
BROJ ITERACIJE    3
BROJ ITERACIJE    4
BROJ ITERACIJE    5
    1        0.99024        0.98182
    2        1.04681        1.04561
BROJ ITERACIJE    1
BROJ ITERACIJE    2
    1        0.98902        0.99024
    2        1.04720        1.04681
BROJ ITERACIJE    1
BROJ ITERACIJE    2
BROJ ITERACIJE    3
BROJ ITERACIJE    4
    1        0.99805        0.98902
    2        1.04472        1.04720
BROJ ITERACIJE    1
BROJ ITERACIJE    2
BROJ ITERACIJE    3
BROJ ITERACIJE    4
    1        1.00040        0.99805
    2        1.04466        1.04472
```

Sl. 2. Tok programa kod računanja test primjera (osnovni slučaj)

pokazati [L. 4, 5], da će gubici biti minimalni kada je:

$$I_{nap,\,im} = A^{-1}\,[DB\,(I_{t,\,re} + I_{nap,\,re} + I_{str,\,re}) + \\ + B\,(I_{t,\,im} + I_{str,\,im})]\,. \qquad (7)$$

U prethodnom izrazu znači:

A — preinačena matrica djelatnih otpora mreže ($A = C^T \,.\, R \,.\, C$, gdje je C matrica incidencije regulacionog transformatora i čvora).

B — preinačena matrica djelatnih otpora mreže ($B = -C^T \cdot R$).

D — dijagonalna matrica omjera realnih i imaginarnih komponenti struja I_{nap}.

I_t — struje tereta (proizvodnje i potrošnje).

Iz ovako dobivenih struja I_{nap} određuju se prijenosni odnosi transformatora prema izrazu (6).

Cijeli proračun se odvija tako da se na početku pođe od bilo kojeg prijenosnog odnosa regulacionih transformatora, a redovno će se početi sa $t_r = 1$. S tim prijenosnim odnosom određuje se raspodjela jalovih snaga na elektrane po kriteriju minimuma gubitaka prema jednadžbi (3). S tako dobivenim strujama čvorova I_t određuje se optimalni prijenosni odnos transformatora prema jednadžbama (7) odnosno (6). Sada se s ovim prijenosnim odnosima ponovno određuje optimalna raspodjela na elektrane. Taj se postupak prekida kada apsolutna vrijednost razlike između relativnog prijenosnog odnosa t_r svakog transformatora u dva uzastopna koraka postane manja od unaprijed zadanog iznosa.

Nakon ovako provedenog proračuna valja provesti kontrolu jalovih snaga izvora. Ukoliko su te snage kod nekog izvora veće od mogućih, uvrstit će se ti izrazi s graničnom jalovom snagom, pa će figurirati kao negativni potrošači. Cijeli proračun se sada ponavlja jedan ili više puta, sve dok jalove snage svih izvora ne budu jednake, ili manje, graničnima. Nakon svega toga provjerava se opterećenost pojedinih elemenata i tek onda je proračun završen i dobiju se izlazni podaci.

3. Opis programa

Program je izrađen za računalo IBM 1130 sa 32 k centralne memorije. Napisan je u FORTRAN-u pod imenom JALOP a sadrži oko 2780 kartica. Zbog veličine programa morala se organizacija napraviti u obliku LINK-programa. Predviđen je proračun osnovnog slučaja i varijanti. Pod osnovnim se slučajem podrazumijeva mreža s pogonskim stanjem za koje se prvi puta vrši proračun. Promjena uklopnog stanja ili opterećenja čvorova smatra se varijantom. Budući da u računalu postoji samo jedna grupa datoteke, varijanta se računa s podacima koji se nalaze u toj datoteci. Svaka se varijanta sastoji od određenog broja promjena. Postoji ukupno 6 vrsti promjena i to:

1. Uključivanje ili isključivanje vodova, transformatora ili prigušnica.
2. Pretvaranje čvorova snage na potencijalne čvorove i obrnuto.
3. Promjena opterećenja u čvorovima snage i promjena napona (po iznosu i kutu) u potencijalnim čvorovima, te promjena dozvoljenih granica jalovih snaga u čvorovima koji se optimiraju.
4. Promjena prijenosnih odnosa transformatora čiji se prijenosni odnos ne optimira.
5. Uzimanje i izuzimanje regulacionih transformatora u proračun optimizacije.
6. Uzimanje i izuzimanje elektrana u proračun optimizacije.

Program počinje učitavanjem podataka osnovnog slučaja, odnosno varijante. Nakon toga se određuje matrica H, vektor struja i napona te matrica A i B. Završivši proračun tih veličina program počinje računati jalove snage čvorova koji se optimiraju i to iterativnim postupkom. Kod osnovnog slučaja za početne vrijednosti napona (vektor napona) uzimaju se nazivni naponi mreže sa kutem nula stupnjeva, a početne vrijednosti relativnog prijenosnog odnosa transformatora koji se optimiraju $t_r = 1$. Kod proračuna varijante mogu se uzeti kao početne vrijednosti napona i prijenosnih odnosa vrijednosti rezultata prethodne varijante. Nakon završetka iterativnog postupka određivanja optimalne raspodjele jalovih snaga na izvore, vrši se optimizacija prijenosnih odnosa regulacionih transformatora, a onda ponovo optimizacija proizvodnje jalovih snaga izvora s novodobivenim prijenosnim odnosima regulacionih transformatora. Ovaj ciklus traje sve dok se ne postigne potpuna optimizacija, tj. dok promjena prijenosnih odnosa regulacionih transformatora u dva uzastopna koraka ne bude dovoljno malena.

Poslije završenog prethodnog ciklusa proračuna kontrolira se opterećenje čvorova koji se optimiraju, tj. u kojima se nalaze izvori čija se proizvodnja jalove snage optimira. U slučaju da pojedina elektrana treba dati jalovu snagu veću od njezinih mogućnosti, programom je predviđeno da jalova snaga te elektrane bude jednaka maksimalno mogućoj, pa se elektrana izuzme iz optimizacije i cijeli se proračun ponovi u kojem se sada optimira proizvodnja preostalih elektrana. Jasno je da u tom slučaju počinje proračun s naponima i prijenosnim odnosima transformatora dobivenim u posljednjoj iteraciji prethodnog ciklusa. Programom je predviđena i mogućnost da se, ne kontrolira opterećenje čvorova odnosno izvora, već da se u izlaznim rezultatima tiskaju vrijednosti bez obzira na mogućnost izvora.

Za vrijeme izvođenja programa tiska se na konzolnom pisaču broj iteracije i izračunati prijenosni odnosi transformatora, kako bi se uvijek mogao dobiti uvid u odvijanje proračuna. Izgled jednog takvog protokola vidi se na sl. 2.

Kada se završi iterativni postupak i kontrola jalovih snaga izvora, tiskaju se izlazni rezultati. Tokom tiskanja rezultata računaju se otperećenja

OD	KA	TOKOVI SNAGE MW	MVAR	GUBITAK SNAGE MW	MVAR	OPTER 0/0	PRENOSNI OMJER	STUPANJ REGUL.
*								
	*							
	*							
		SNAGA U CVORU MW	MVAR	NAPON KV	KUT NAPONA STUPANJ			
7								
	2	-41.929	-31.366	0.0953	-3.0071	24		
	3	41.927	31.365	0.2370	-6.3344	24		
		0.000	0.000	232.720	-3.440			
8								
	3	159.075	49.515	2.1622	3.8525	76		
	108	-159.040	-49.333	0.5526	13.8388	67	0.94599	
		0.000	0.000	236.122	-0.685			
9 NAP								
	2	69.108	-12.503	0.6803	-10.7679	32		
		-69.108	12.503	235.439	0.000			
101 OPT								
	1	79.777	62.162	0.4503	8.9242	84	0.90750	
		-80.000	-61.516	16.370	-2.951			
102								
	2	79.777	70.161	0.5282	10.6235	89	0.90750.	
		-80.000	-70.000	16.493	1.127			
105								
	5	29.964	29.949	0.2533	4.0492	81	1.00099	
		-30.000	-30.000	11.001	-5.393			
108 OPT								
	8	159.592	63.172	0.5526	13.8388	69	0.94599	
		-160.000	-62.894	10.436	3.428			

N = 13 CVOROVA, M = 1 NAP. CV., MO = 2 OPT. CV.

UKUPNA BILANCA MW	MVAR	DJELAT. GUB. MW	JALOVI GUBICI MVAR
-0.28198	0.80194	8.82745	37.70894

MAKSIMALNI NAPON JE U CVORU BROJ 8

MINIMALNI NAPON JE U CVORU BROJ 6

TEST PRIMJER ZA ELABORAT - OSNOVNI SLUCAJ

OD	KA	TOKOVI SNAGE MW	MVAR	GUBITAK SNAGE MW	MVAR	OPTER 0/0	PRENOSNI OMJER	STUPANJ REGUL.
*								
	*							
	*							
		SNAGA U CVORU MW	MVAR	NAPON KV	KUT NAPONA STUPANJ			
1								
	2	-61.577	7.352	0.3063	4.8786	62	1.00040	0
	5	106.824	35.177	1.8389	2.4094	94		
	6	33.974	13.059	0.5819	0.3036	49		
	101	-79.326	-53.238	0.4503	8.9242	80	0.90750	
		0.000	0.000	117.503	-6.875			
2								
	1	61.884	-2.473	0.3063	4.8786	62	1.00040	0
	3	43.860	29.994	0.3475	-8.8412	24		
	7	42.024	28.359	0.0953	-3.0071	23		
	9	-68.428	1.736	0.6803	-10.7678	31		
	102	-79.248	-59.538	0.5282	10.6235	83	0.90750	
		0.000	0.000	234.402	-3.043			
3								
	2	-43.512	-38.836	0.3475	-8.8412	27		
	4	242.088	120.964	0.6887	22.1159	90	1.04466	0
	7	-41.690	-37.699	0.2370	-6.3344	26		
	8	-156.913	-45.662	2.1622	3.8525	74		
		0.000	0.000	228.508	-4.312			
4								
	3	-241.399	-98.848	0.6887	22.1159	87	1.04466	0
	5	0.023	2.000	0.0076	-2.0540	3		
	6	1.791	2.234	0.0136	-2.0375	4		
		240.000	95.000	115.167	-8.533			
5								
	1	-104.985	-32.767	1.8389	2.4094	92		
	4	-0.015	-4.054	0.0076	-2.0540	5		
	6	44.822	12.737	0.0830	-0.2447	62		
	105	-29.710	-25.900	0.2533	4.0492	76	1.00099	
		90.000	50.000	114.505	-8.390			
6								
	1	-33.392	-12.755	0.5819	0.3036	48		
	4	-1.778	-4.272	0.0136	-2.0375	6		
	5	-44.739	-12.982	0.0830	-0.2447	62		
		80.000	30.000	114.197	-8.558			

Slika 3

pojedinih grana kao i otcjepi regulacionih transformatora. Opterećenje u postocima računa se prema izrazu:

$$N_t = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{S_{ter}} 100\ \%\ 0{,}5\,,$$

gdje je

PQ — djelatna, odnosno jalova snaga u grani
S_{ter} — termička granica opterećenja grane, koja se učitava s ulaznim podacima.

Konstanta 0,5 ima za cilj da se rezultat zaokruži na bliži cijeli broj.

Otcjepi regulacionog transformatora se računaju prema izrazu

$$N_{otc} = \frac{t_{ro} - t_r}{t_r \cdot t_{jed}} + 0{,}5\,,$$

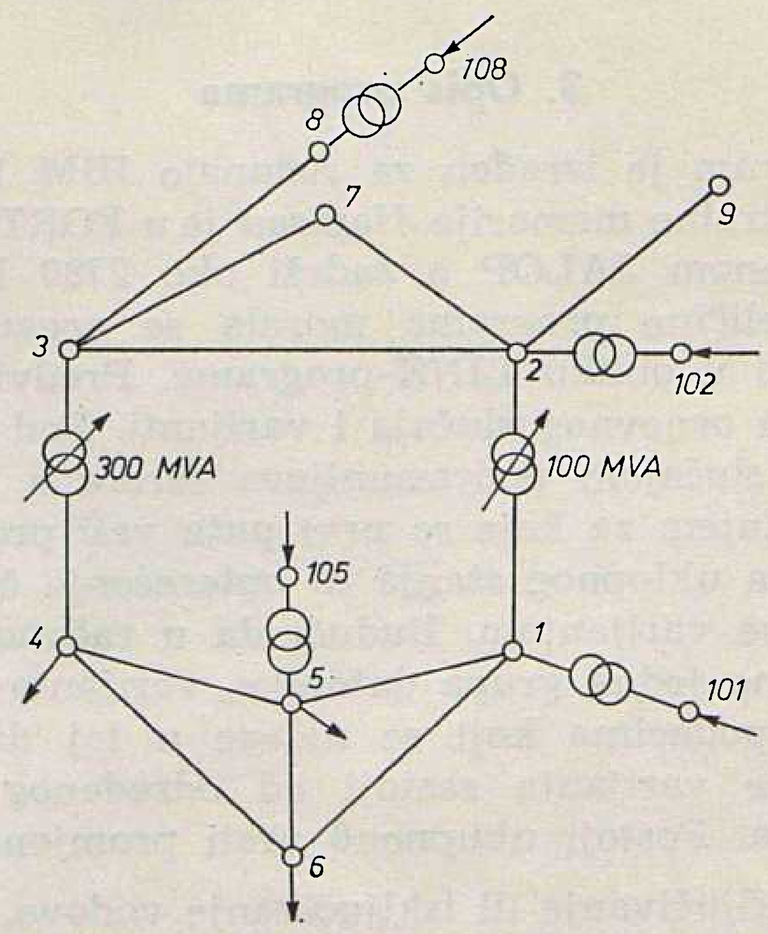
gdje oznake imaju slijedeće značenje:

t_{ro} — relativni prijenosni odnos transformatora, kada je regulaciona sklopka u srednjem (nultom) položaju. Ova se vrijednost učitava s podacima transformatora.
t_r — relativni prijenosni odnos transformatora. Programom je predviđeno izračunavanje ove vrijednosti.
t_{jed} — relativna promjena prijenosnog odnosa transformatora, kada se regulaciona sklopka promakne za jedan stupanj.

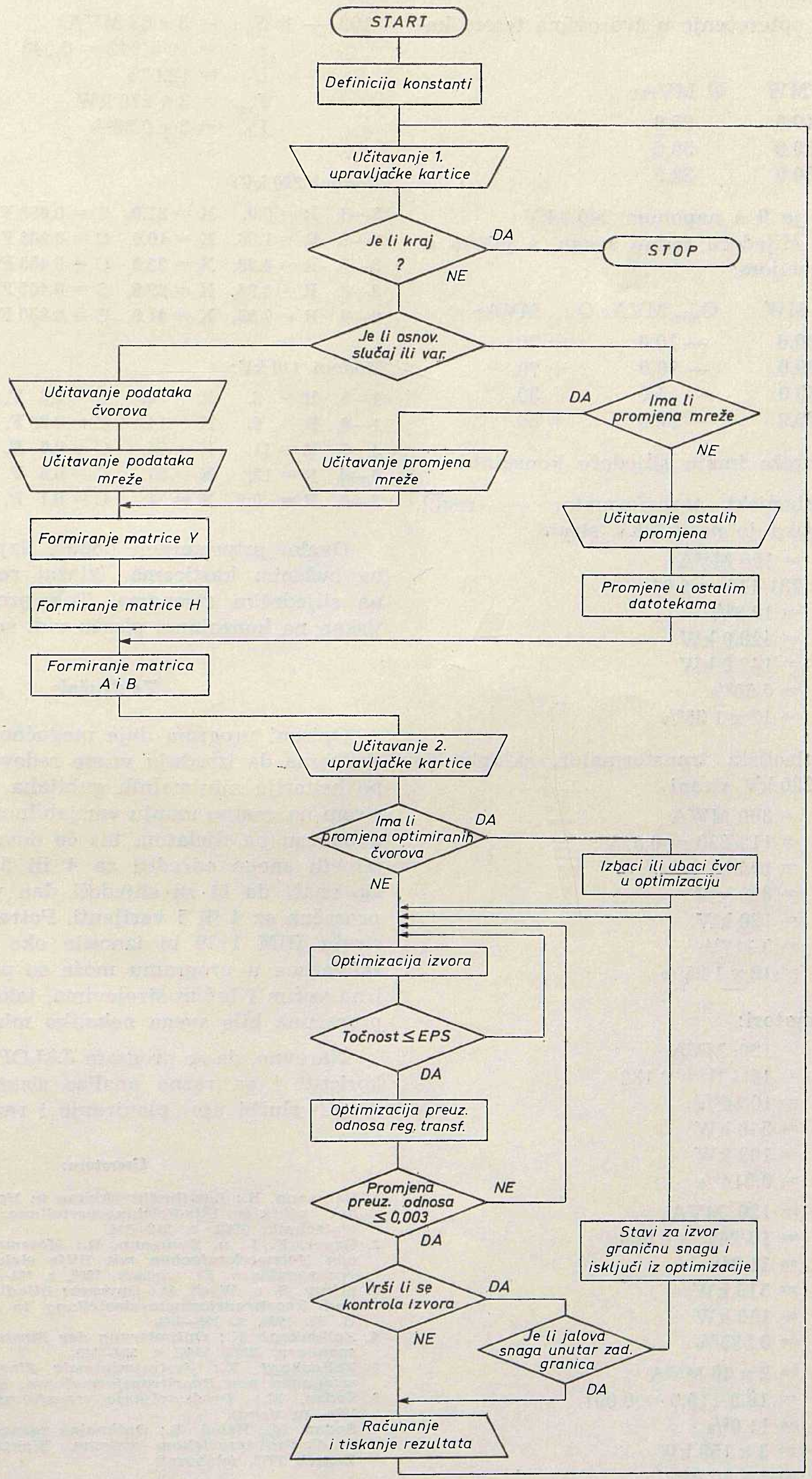
U slučaju da je t_r veći od t_{ro} dobit će se negativni otcijep i korekcija će se izvršiti pomoću negativne konstante (—0,5).

Čitav program se sastoji od 6 glavnih programa i 21 potprograma. Osim toga programu pripada 14 datoteka s podacima, koji su smješteni na disku. Datoteke su organizirane za direktni pristup (DEFINE FILE) i nalaze se u području diska koji se naziva FIXED AREA. Razlog za takav postupak je u tome što se svi glavni programi nalaze u tzv. CORE IMAGE formatu. Ovakva organizacija programa ubrzava proračun. [L. 7.].

Blok dijagram programa JALOP vidi se na sl. 3. Za vrijeme učitavanja ulaznih podataka kontrolira se redoslijed podataka i porukom se obavještava korisnika o eventualno učinjenim pogreškama. Tok proračuna određuju dvije tzv. upravljačke kartice unutar programa, pomoću ko-



Slika 4



Slika 5

jih se definira izlazna lista, kao i zahtjevi koje imamo na programu.

Izlazna lista prilagođena je formatu papira A4 radi lakšeg uvezivanja i eventualnog kopiranja. Na kraju liste tiskaju se čvorovi u kojima je relativno odstupanje napona najveće, odnosno najmanje.

Za ilustraciju rada JALOP programom neka posluži test primjer pojednostavljene mreže Dalmacije. Konfiguracija mreže dana je na sl. 4.

Pretpostavimo opterećenje u čvorovima tereta kako slijedi:

Čvor	P MW	Q MVAr
4	240.0	95.0
5	90.0	50.0
6	80.0	30.0

naponski čvor je 9 s naponom 240.0 kV

Izvori daju slijedeću radnu snagu, a jalova se dobije optimizacijom:

Čvor	P MW	Q_{min} MVAr	Q_{max} MVAr
101	80.0	— 10.0	+ 70.
102	80.0	— 10.0	+ 70.
105	30.0	— 5.0	+ 30.
108	160.0	— 50.0	+ 80.

Elementi mreže imaju slijedeće konstante:

2 — 1 regulacijski transformator — regul. sklopka je na 110 kV strani

S_n = 100 MVA
t_o 231/115 = 2.01
U_k = 12.3%
P_{cu} = 429.0 kW
P_{fe} = 142.0 kW
I_o = 0.66%
n = 12 x 1.35%

4 — 3 regulacijski transformator, sklopke je na 220 kV strani

S_n = 300 MWA
t_o = 115/220 = 0,523
U_k = 10.5%
P_{cu} = 800 kW
P_{fe} = 120 kW
I_o = 0.117%
n = 12 x 1.25%

Blok transformatori:

101 — 1 S_n = 120. MVA
t = 16/121 = 0.132
U_k = 10.56%
P_{cu} = 516 kW
P_{fe} = 102 kW
I_o = 0,314%

102 — 2 S_n = 120. MVA
t = 16/242 = 0.066
U_k = 11.3%
P_{cu} = 516 kW
P_{fe} = 150 kW
I_o = 0.585%

105 — 5 S_n = 2 x 26 MVA
t = 10.5/115.5 = 0.091
U_k = 11.0%
P_{cu} = 2 x 150 kW
P_{fe} = 2 x 40 kW
I_o = 2 x 1,64%

108 — 8 S_n = 3 x 83 MVA
t = 10,5/242 = 0.043
U_k = 12.0%
P_{cu} = 3 x 270 kW
P_{fe} = 3 x 0.33%

Vodovi 220 kV:

2—3,	R = 6.0,	X = 31,0,	C = 0,635 F,	P_{gr} = 220 MVA
2—7,	R = 1.96,	X = 10,4,	C = 0.205 F,	P_{gr} = 220 MVA
3—7,	R = 4.28,	X = 22.9,	C = 0.455 F,	P_{gr} = 220 MVA
3—8,	R = 4.28,	X = 22.9,	C = 0.455 F,	P_{gr} = 220 MVA
2—9,	R = 7.85,	X = 41.8,	C = 0.830 F,	P_{gr} = 220 MVA

Vodovi 110 kV:

1—5,	R = 2.	X = 4.	C = 0.3 F,	P_{gr} = 120 MVA
1—6,	R = 6.	X = 14.	C = 0.25 F,	P_{gr} = 75 MVA
4—5,	R = 11.	X = 25.	C = 0.5 F,	P_{gr} = 75 MVA
4—6,	R = 13.	X = 27.	C = 0.5 F,	P_{gr} = 75 MVA
5—6,	R = 0.5	X = 1.	C = 0.1 F,	P_{gr} = 75 MVA

Ovako pripremljeni podaci daju se programu na bušenim karticama. Izlazni rezultati vide se na slijedećim stranama. Tok programa koji je tiskan na konzolnom pisaču vidi se na slici 2.

Zaključak

Opisani program daje mogućnost dispečerskim službama da izrađuju vozne redove jalovih snaga po kriteriju minimalnih gubitaka u mreži. S obzirom na znatno manju varijabilnost jalovih snaga u odnosu na djelatnu, bit će dovoljno vozni red jalovih snaga odrediti za 4 ili 5 perioda dana, što znači da bi za slijedeći dan valjalo provesti proračun sa 4 ili 5 varijanti. Potrebno vrijeme na stroju IBM 1130 bi iznosilo oko 1 sat. Manjim zahvatima u programu može se proračun obaviti i na većim i bržim strojevima, tako da bi vrijeme proračuna bilo svega nekoliko minuta.

Naravno, da se program JALOP može uspješno koristiti i za razne analize sistema za potrebe drugih službi npr. planiranje i razvoj mreže.

Literatura:

1. Baumann, R.: *Lastflussberehnung in Hochspannungsnetzen bei optimaler Blindleistungsverteilung.* Archiv für Elektrotechnik, 1963, s. 213—224.
2. Bauer, F. L. u. Baumann, R.: *Matematische Behandlung von Netzwerkaufgaben mit Hilfe elektronischer Ziffernrechenanlagen.* El. wirtsch, 1958, s. 181—187.
3. Schuy, S. u. Wach, P.: *Optimale Blindleistungseinspeisung und Regeltransformatoreinstellung in Verbundnetzen.* E. U. M. 1969, s. 139—146.
4. Zollenkopf, K.: *Optimierung der Einstellen von Regelumspannern.* ETZ 1966, s. 394—399.
5. Zollenkopf, K.: *Verlustminimale Einstellung der Übersetzungen von Regeltransformatoren.* ETZ 1965, s. 59—595.
6. Šodan, M.: *Predstavljanje transformatora.* Energija 1/2 1974. (u tisku).
7. Šodan, M., Hebel, Z.: *Optimalna raspodjela jalovih snaga u elektroenergetskom sistemu.* Elektrotehnički fakultet Zagreb 1973. (elaborat)

Naslov pisaca: Milan Šodan, dipl. ing., Zdravko Hebel, dipl. ing., Elektrotehnički fakultet, Zagreb

GRANICE EKONOMIČNOSTI PRIMJENE OKLOPLJENIH SF_6 ELEMENATA U TRANSFORMATORSKIM STANICAMA 220/110 kV U GRADSKIM PODRUČJIMA

Krunoslav Begović, Zagreb

Razmatrani su investicioni troškovi izgradnje četiriju varijanti izvedbe transformatorskih stanica 220/110 kV. U obzir su uzete tri klasične izvedbe i izvedba u tehnici SF_6.

DK 621.311.4

1. Uvod

Ova studija je nastavak rada na problematici izgradnje transformatorskih stanica 220/110 kV u gradskim (urbanim) područjima. Nedavno objavljena studija (1) za JNK CIGRE, Studijski komitet 23 (ožujak 1973), dala je rezultate koje je valjalo proširiti novim varijantnim rješenjima, te uzeti u obzir novije podatke o troškovima opreme raznih tipova postrojenja.

Problemi izgradnje stanice 220/110 kV u gradskim područjima, u kojima se cijena otkupa zemljišta kreće od 400—8.000 d/m², uzevši u obzir i rušenje postojećih zgrada, izgradnju novih stanova, itd., postaju sve aktualniji, pa već sada valja ozbiljno razmisliti o odgovarajućim rješenjima koja će slijedećih deset godina biti neizbježna.

Osnovna jednopolna shema spoja uzeta je iz spomenute studije (1), jer najbolje odgovara većini naših većih gradova, kako je to na ranijim sastancima studijskog komiteta JNK CIGRE za rasklopna postrojenja zaključeno (vidi obrazloženje u (1)).

Jednopolna shema stanice prikazana je u sl. 1.

Za oba naponska nivoa predviđena su dva sistema sabirnica a transformacija putem 2 transformatora nazivne snage 250 MVA. Na strani 220 kV predviđena su 3 vodna polja, a na strani 110 kV, 9 vodnih polja i odgovarajuća trafospojna i mjerna polja. Rasklopna snaga na strani 220 kV za koju je dimenzionirano postrojenje neće prijeći 10 GVA a na strani 110 kV, 5 GVA.

Jedan od dva transformatora predviđen je kao 100% rezerva.

Svrha ove studije je, da se dade analiza mogućih tehničkih rješenja, kako u tzv. konvencionalnoj, tako i u SF_6 tehnici i da se, uvaživši troškove izgradnje, odrede granice ekonomičnosti primjene SF_6 postrojenja u našim prilikama.

2. Konvencionalna rješenja

Od niza raznih rješenja koja su manje ili više poznata iz prakse, i za koja postoje dovoljna iskustva, odabrana su tri rješenja koja prema današnjem stanju tehnologije jedino dolaze u obzir za gradska područja.

To su:

(a) *Varijanta 1:* Vanjska tzv. »visoka izvedba« kod koje su sabirnice i spojni vodovi izvedeni iz Al cijevi;

(b) *Varijanta 2:* Unutarnja izvedba kod koje je klasična oprema (za unutarnju montažu) smještena u zgradi;

(c) *Varijanta 3:* Vanjska »poluvisoka izvedba« sa cijevima Al sabirnicama i spojnim vodičima, sa »mješanim fazama«, za razliku od varijanti 1 i 2, koje su riješene sa »pridruženim fazama«.

Tlocrti i karakteristični presjeci navedenih varijantnih rješenja prikazani su slikama 2 do 9.

Varijanta 1 karakteristična je po tome što su sabirnički rastavljači smješteni na posebnoj konstrukciji uz sabirnice koje su nošene na zajedničkoj čeličnoj konstrukciji. Kod 2 sabirnička sistema postoji mogućnost izlaza na obje strane. Ovakva dispozicija zahtijeva najmanju tlocrtnu površinu od svih rješenja vanjske izvedbe.

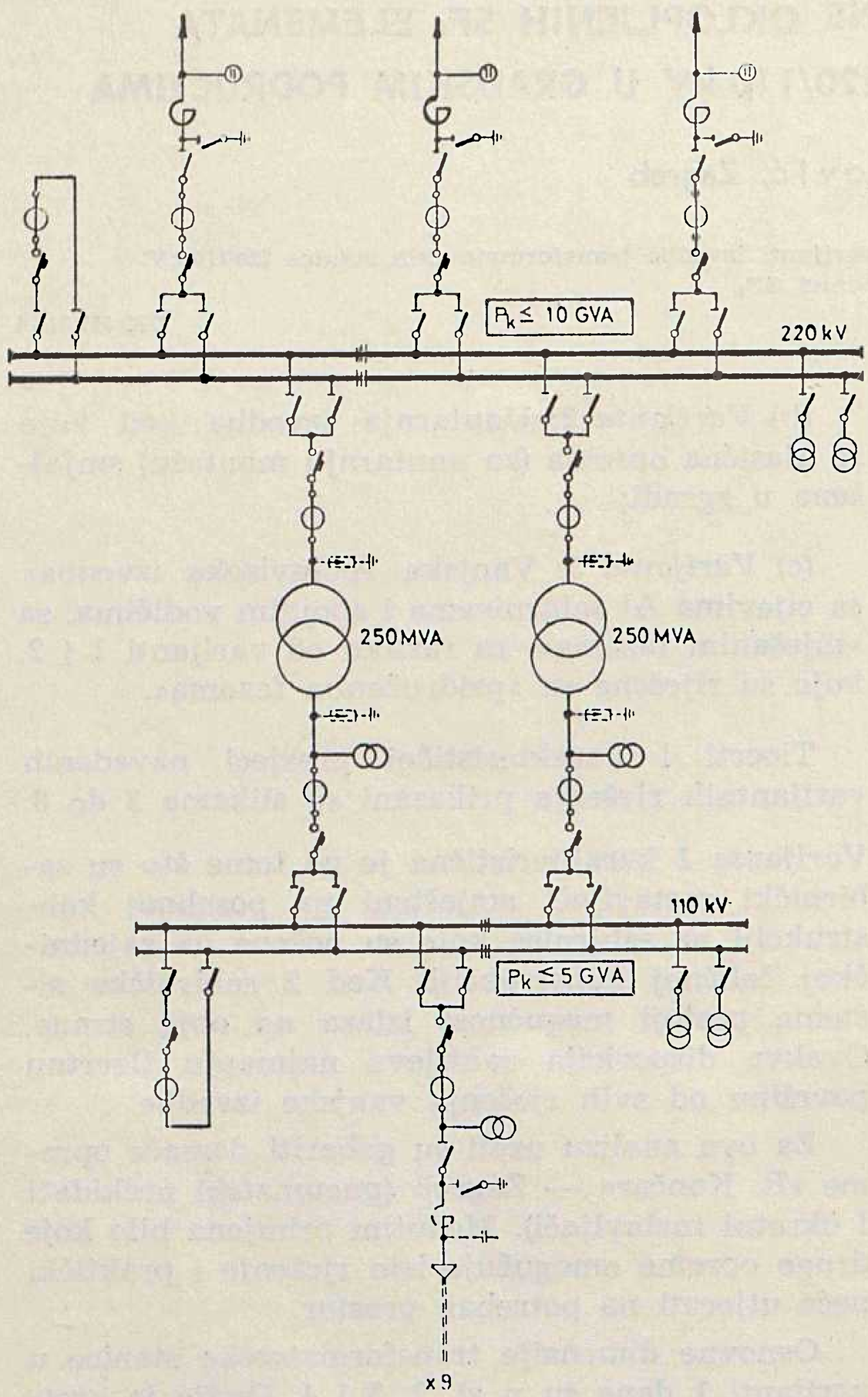
Za ovu analizu uzeti su gabariti domaće opreme »R. Končar« — Zagreb (pneumatski prekidači i okretni rastavljači). Međutim primjena bilo koje druge opreme omogućuje isto rješenje i praktički neće utjecati na potreban prostor.

Osnovne dimenzije transformatorske stanice u varijanti 1 dane su u sl. 2, 3 i 4. Ovdje je pretpostavljena primjena cijevi E-AlMgSi 0,5 F22 odgovarajućih dimenzija (2), čelična konstrukcija u laganoj rešetkastoj izvedbi. Transformatori su smješteni između oba sistema 110 i 220 kV a zgrada s pomoćnim uređajima uz postrojenje 220 kV (v. sl. 2). Potrebna tlocrtna površina iznosi 9.160 m² uzevši u obzir vanjsku ogradu oko postrojenja.

Varijanta 2. Ovo je poznato rješenje s konvencionalnom opremom za unutrašnju montažu, koja je smještena u zgradi. Ovo rješenje karakterizira smještaj sabirnica iz cijevi, kao u varijanti 1, na laganoj čeličnoj konstrukciji te sabirničkih rastavljača iznad prekidača, dakle tzv. klasična visoka izvedba. Potrebna površina zgrade iznosi 3.640 m², što ukazuje, s obzirom na troškove zgrade, na već preživjelu koncepciju. Ipak je razmotrena i ova varijanta da bi se pokazalo da ona, unatoč nekih tendencija, u stvari ne može doći u obzir. Ova varijanta je prikazana u sl. 5 i 6.

Zgrada s pomoćnim uređajima smještena je posebno uz transformatore koji su postavljeni između glavne i pomoćne zgrade.

Varijanta 3. Ovo je suvremeno rješenja za oba naponska sistema u vanjskoj poluvisokoj izvedbi. Sabirnički sistemi za oba napona riješeni su u cijevnoj konstrukciji sa cijevima E-AlMgSi 0,5



Sl. 1. Jednopolna električna shema spoja transformatorskih stanica 220/110 kV za gradska (urbana) područja

F22, sa $\sigma_{0,2} = 2200$ kp/cm² koje nose potporni izolatori na nezavisnoj konstrukciji. Radi uštede na prostoru postrojenje je riješeno sa miješanim fazama. Osnovne dimenzije postrojenja koje zauzima 12.675 m² uzevši u obzir i ogradu, dane su u sl. 7, 8 i 9.

Što se tiče osnovne opreme, vrijedi ono što je spomenuto u varijanti 1.

Pomoćna oprema za sve tri varijante je praktički ista. To su uređaji upravljanja, zaštite, dojave i mjerenja, uređaji istosmjernog napona, komprimiranog zraka, protupožarni uređaji, vanjska i unutrašnja rasvjeta, vlastita potrošnja i razvod niskog napona, itd.

Kao zaključak se o tri razmatrane varijante može konstatirati slijedeće:

a) Predložena rješenja izrađena su uz pretpostavku primjene domaće opreme uvaživši propisane sigurnosne razmake, te ostale uvjete po JUS-u (Sl. list SFRJ br. 14/67 i br 13/69) odn. po VDE 0101/4.71.

b) U svim varijantama uzete su u obzir suvremene koncepcije, pa su spojni vodiči i sabirnice predviđeni iz cijevi (Al legura), kako bi se dobila kompaktna i pogonski sigurna izvedba.

c) Sve čelične konstrukcije predviđene su u laganoj rešetkastoj izvedbi a spojevi, odnosno veze transformatora snage najkraće moguće.

d) Na taj način dobivena su konkurentna konvencionalna rješenja koja se mogu realno uspoređivati s novom tehnologijom SF_6 postrojenja.

3. Rješenja sa SF_6

Oklopljena postrojenja sa konstruktivnim elementima izoliranim sa SF_6, za napone od 110 do 400 kV, naglo prodiru na svjetsko tržište, pa su osobito u gradskim područjima, gdje je raspoloživi prostor ograničen, vrlo atraktivna i ekonomski opravdana u određenim prilikama.

U prilog ovoj konstaticiji govori činjenica o nizu novih postrojenja koja su izgrađena u mnogim velikim gradovima Evrope i ostalog svijeta. Danas imade u pogonu ili montaži niz ovakvih postrojenja gotovo u svim velikim svjetskim gradovima.

Glavne prednosti oklopljenih postrojenja sa SF_6 izolacijom su slijedeće:

a) Bitna ušteda na prostoru, kako površini tako i volumenu (više od 90% volumena).

b) Bolja zaštita izolacije aparata od atmosferskih utjecaja, zagađenosti okoline (industrijska i pustinjska okolina).

c) Nema utjecaja nadmorske visine jer su svi sklopovi aparata izolirani u SF^6 i zatvoreni.

d) Povećana je sigurnost pogonskog osoblja.

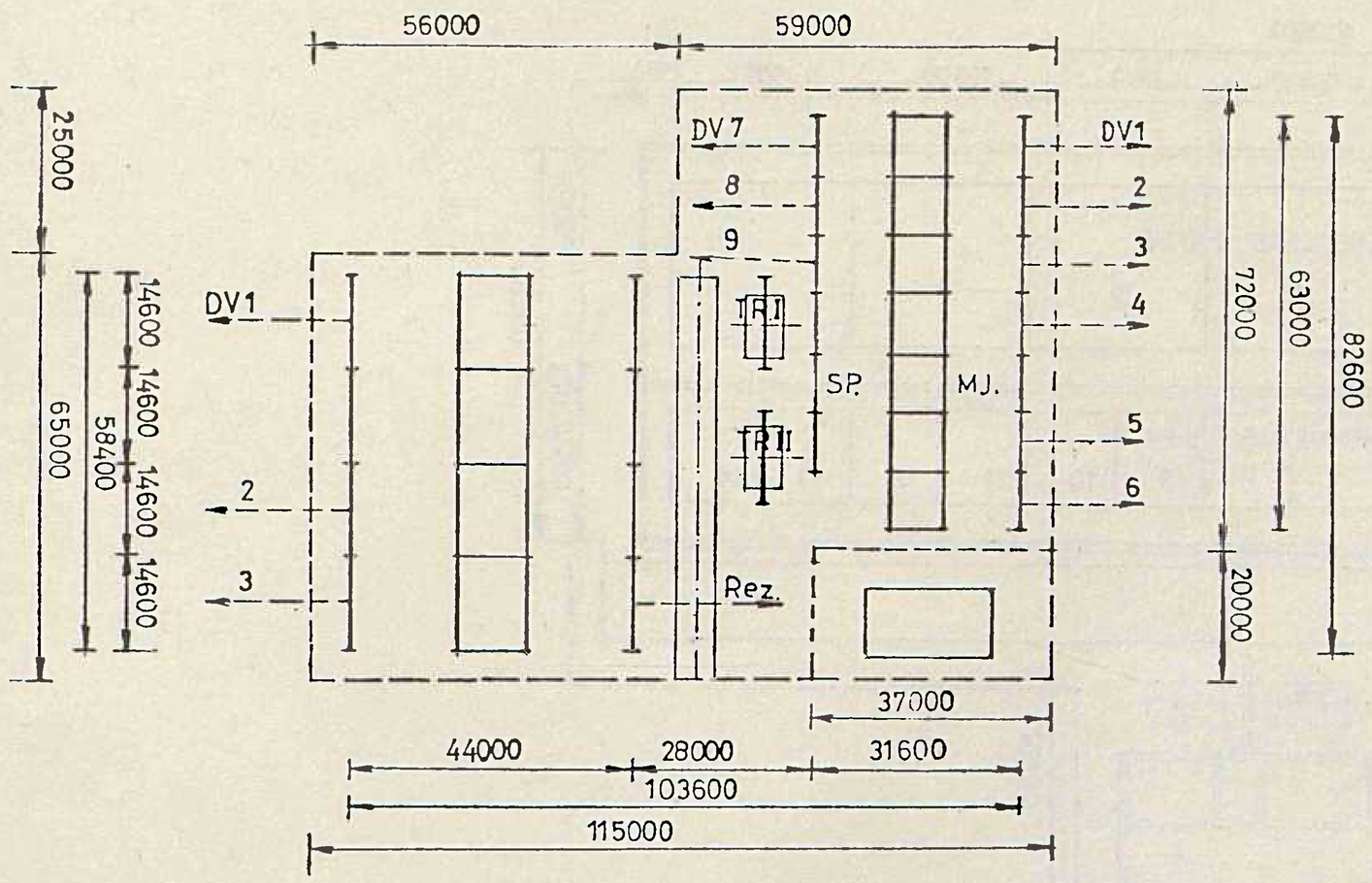
e) Konstruktivni elementi postrojenja mogu se primijeniti u istoj izvedbi za unutrašnju i vanjsku montažu (uz dodatak posebnog zaštitnog premaza za vanjsku montažu).

f) Svi konstruktivni elementi mogu se kompletno proizvesti u tvornici i montirati u gotovim sklopovima na mjestu ugradnje, čime se bitno skraćuje vrijeme montaže.

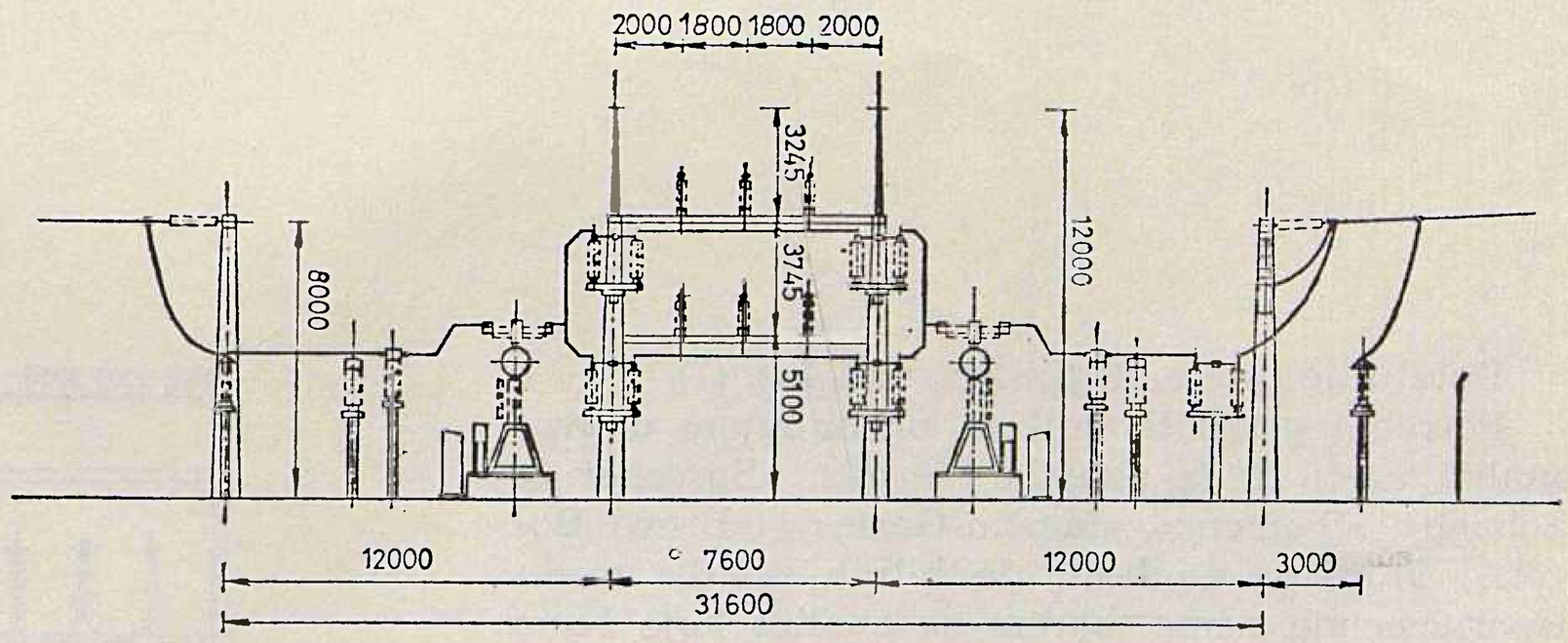
g) Vrlo povoljne mogućnosti za proširenje ili čak za premještanje cijelog postrojenja na drugu lokaciju.

Sva SF_6 postrojenja izvode se prema IEC propisima i prema različitim nacionalnim propisima. U elementima postrojenja primijenjuje se pritisak SF_6 plina od oko 1,5 atp kod 20°C, pa on služi kao izolacija elementima postrojenja posebno oblikovanih. I kod pada pritiska na atmosferski, zadržava se još 2,5-struki izolacioni nivo: napon faza-zemlja, pa nema potrebe za brzo dodavanje plina.

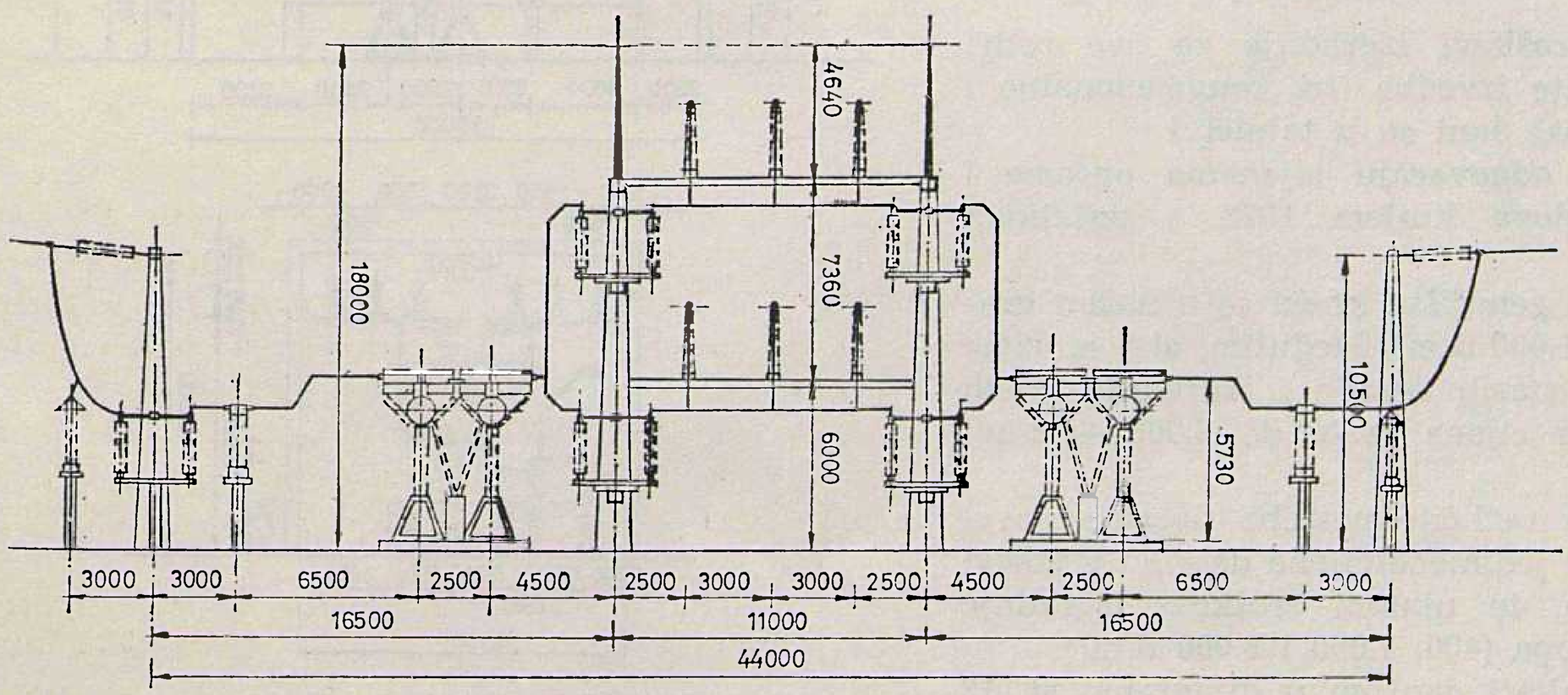
Prekidači razvijeni za ova postrojenja upotrebljavaju u komorama za gašenje električnog luka plin SF_6 pritiska 17—18 atp, dok se kao izolacioni medij primjenjuje SF_6 pritiska 3—3,5 atp.



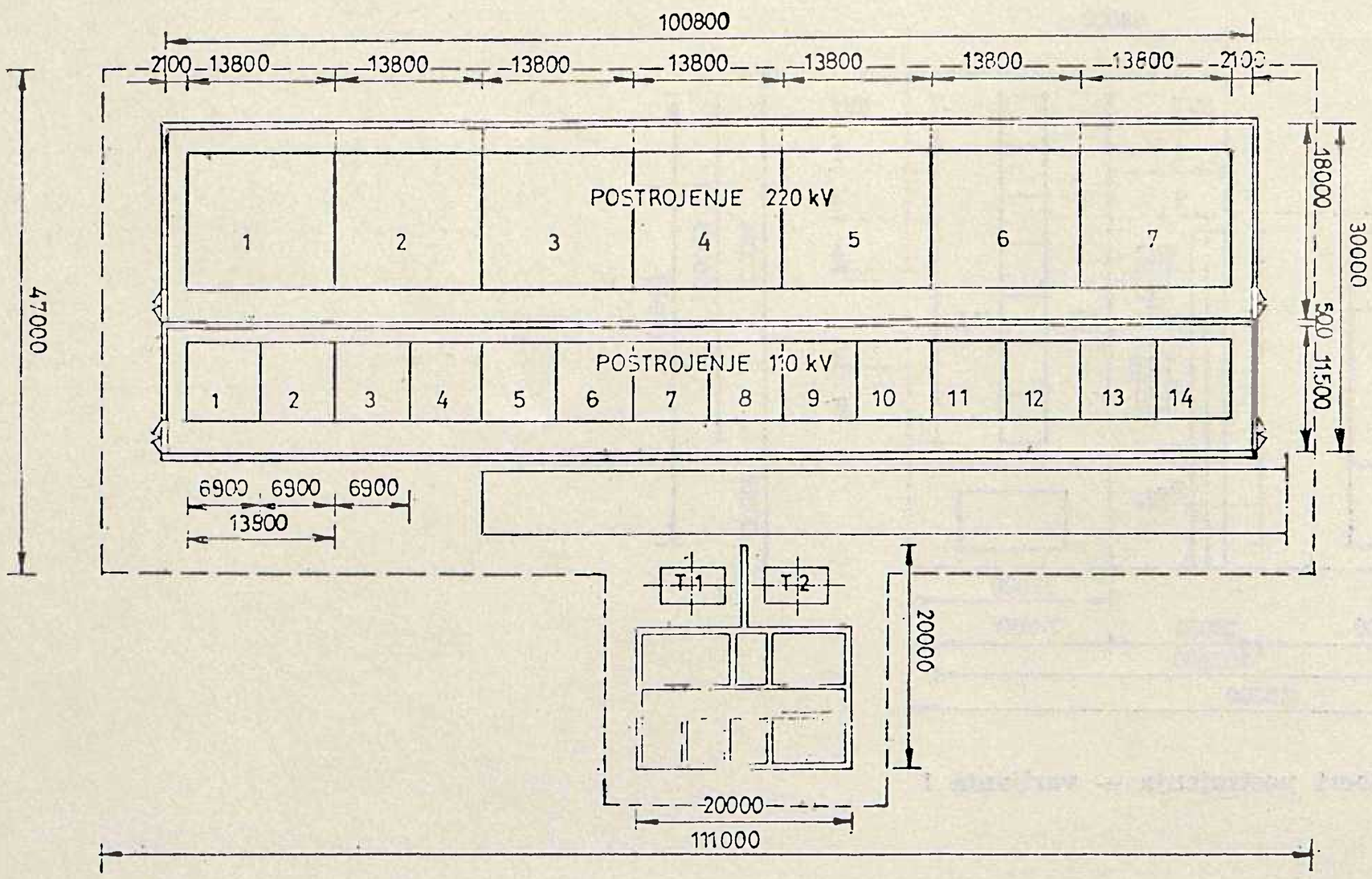
Sl. 2. Tlocrt postrojenja — varijanta 1



Sl. 3. Karakteristični presjeci 110 kV strane postrojenja u varijanti 1



Sl. 4. Karakteristični presjeci 220 kV strane postrojenja u varijanti 1



Sl. 5. Tlocrt postrojenja — varijanta 2

Detaljnije o tehnologiji SF_6 vidi Lit. (7).

Potrebni gabariti, koji su primijenjeni u ovoj analizi uzeti su iz ponuda tvornica »Sprecher & Schuch«, »Siemens«, »Merlin-Gerin« i »Brown Boveri«. Mora se naglasiti da bitnih razlika među isporučiocima nema, barem za analize koje ćemo provesti.

Dispoziciono rješenje naše stanice u SF_6 izvedbi dano je u sl. 10 i 11. Ovo rješenje nazvano je varijanta 4.

4. Ekonomski odnosi i granice ekonomičnosti za primjenu SF_6 elemenata

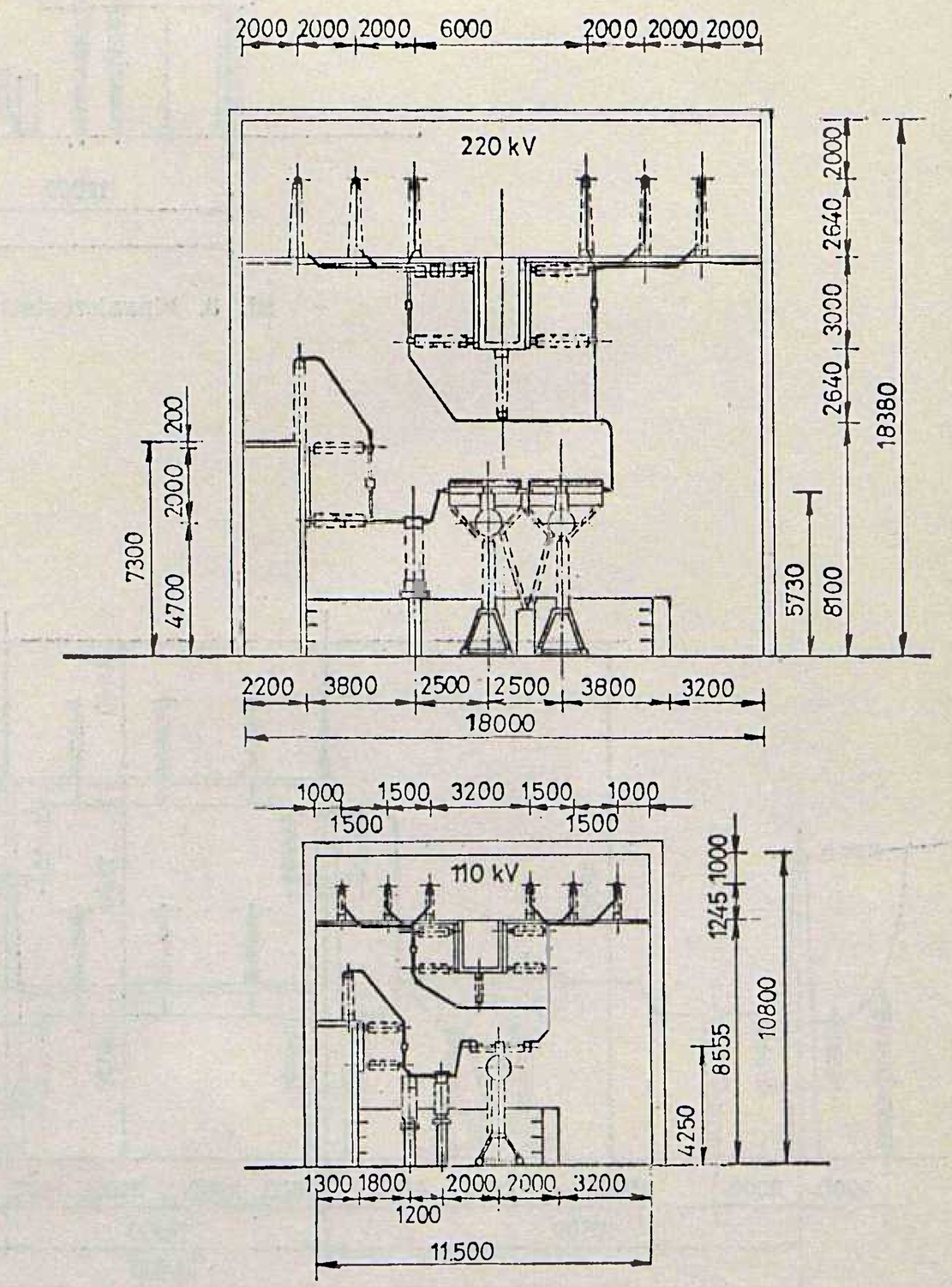
Investicioni troškovi izgradnje za sve četiri odabrane varijante izvedbe (tri konvencionalne i jedna SF_6 izvedba) dani su u tablici 1.

Ovi troškovi odgovaraju cijenama opreme i građevinskih radova krajem 1972. i početkom 1973. godine.

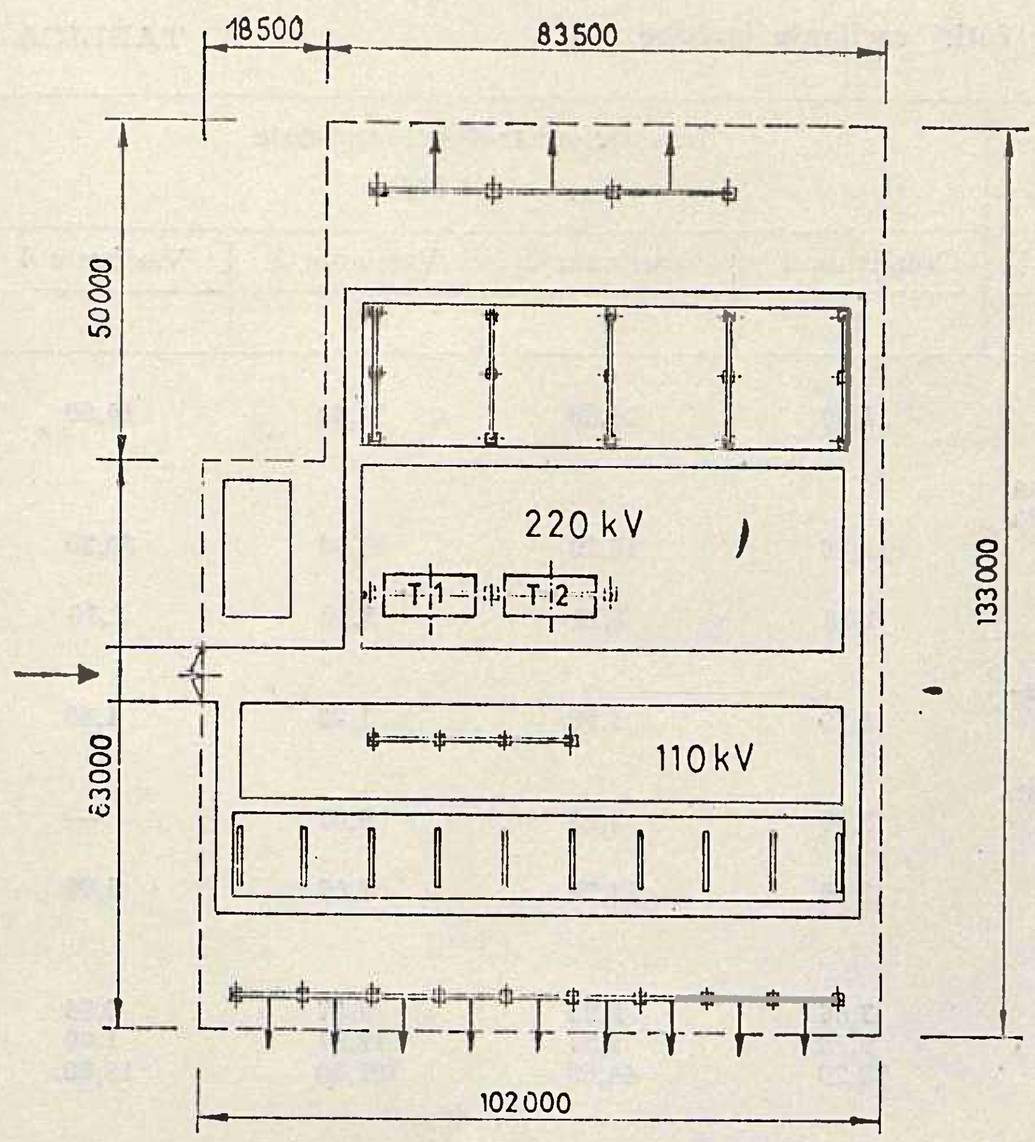
Cijene otkupa zemljišta kreću se u našim gradovima od 400—1.000 d/m². Međutim, ako se uzme u obzir rušenje starih zgrada i izgradnja novih stanova, onda ta cijena raste do 8.000.— d/m², pa i više.

S obzirom na različite potrebe tlocrtne površine uz navedene jedinične cijene dani su troškovi otkupa zemljišta, te ukupni troškovi izgradnje za tri cijene otkupa (400, 1.000 i 8.000 d/m²).

Dobiveni rezultati dani su u dijagramu sl. 12 za sve četiri varijante izvedbe, te u sl. 13, gdje su



Sl. 6. Karakteristični presjeci 110 i 220 kV strane u varijanti 2



Sl. 7. Tlocrt postrojenja u varijanti 3

prikazani odnosi troškova otkupa zemljišta i troškovi opreme i građevinskih radova za sve varijante izvedbe.

Budući da su troškovi dobave i montaže 1 polja SF_6 (prema većini raspoloživih podataka iz ponuda) oko 1,6—2,0 viši od troškova dobave i montaže odgovarajućeg konvencionalnog polja, to su u dijagramu prikazani odnosi troškova za oba slučaja. Radi komparacije prikazan je i pravac troškova za slučaj da je $C_{SF_6} = 3 \cdot C_{KL}$, tj. tri puta viši troškovi dobave SF_6 od klasičnog polja.

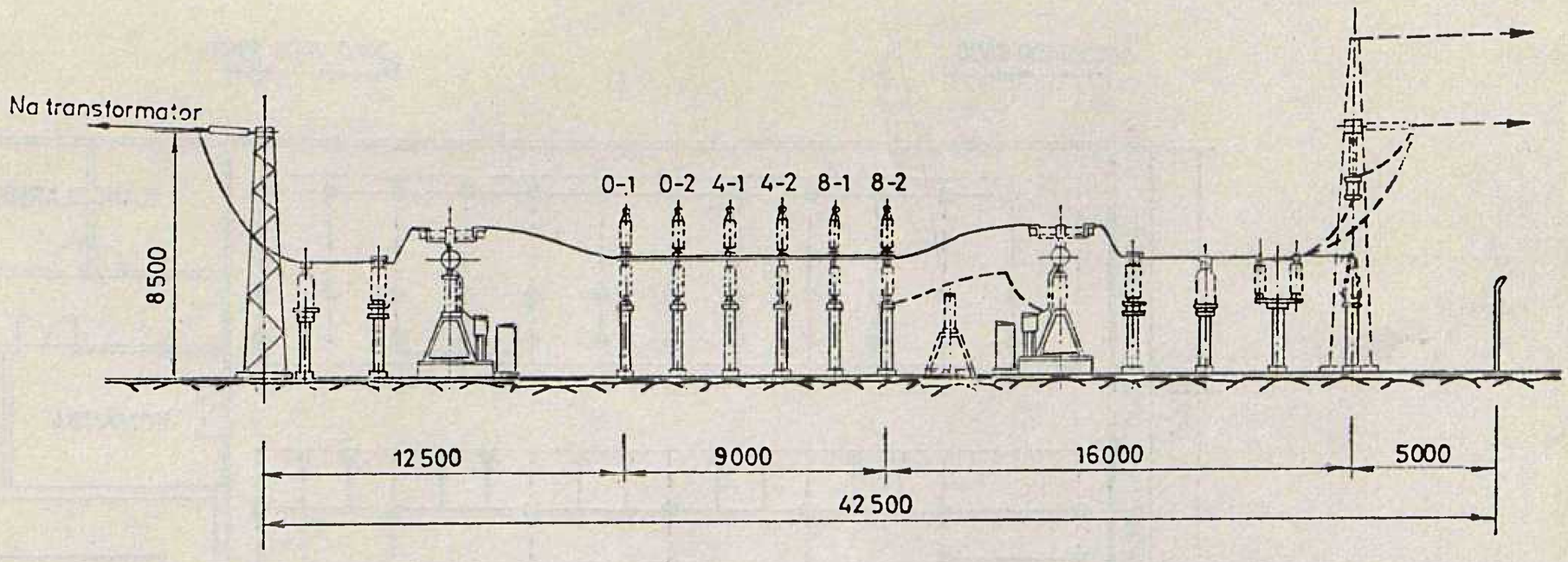
Inače, odnosi troškova kreću se za razne napone otprilike u ovim granicama:

Troškovi dobave polja $_{SF_6}$	Nazivni napon			
	110	220	330	400
C_{SF_6}	$2{,}0 \cdot C_{KL}$	$1{,}6 \cdot C_{KL}$	$1{,}3 \cdot C_{KL}$	$0{,}9 \cdot C_{KL}$

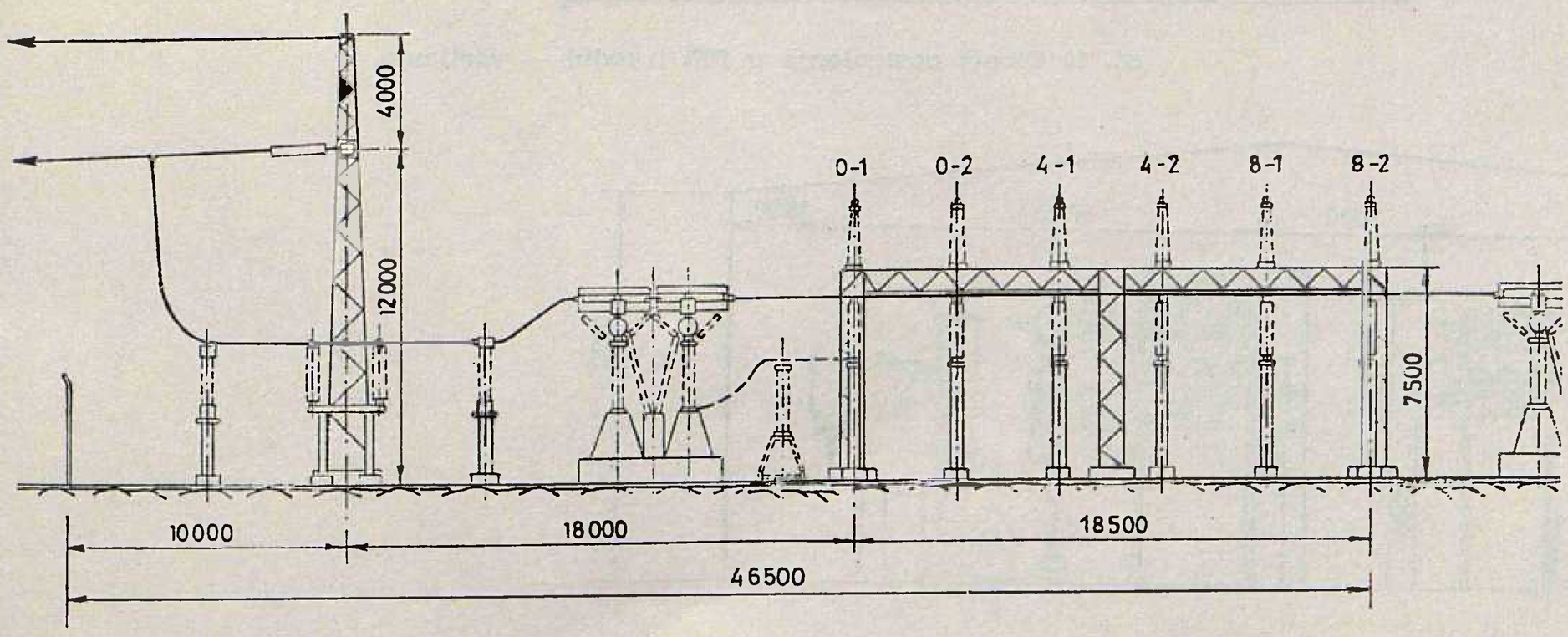
gdje su:

C_{KL} — troškovi dobave i montaže klasičnog polja raskl. postrojenja

C_{SF_6} — troškovi dobave i montaže konvencionalnog polja istih električkih parametara.



Sl. 8. Karakteristični presjeci 110 kV strane postrojenja u varijanti 3



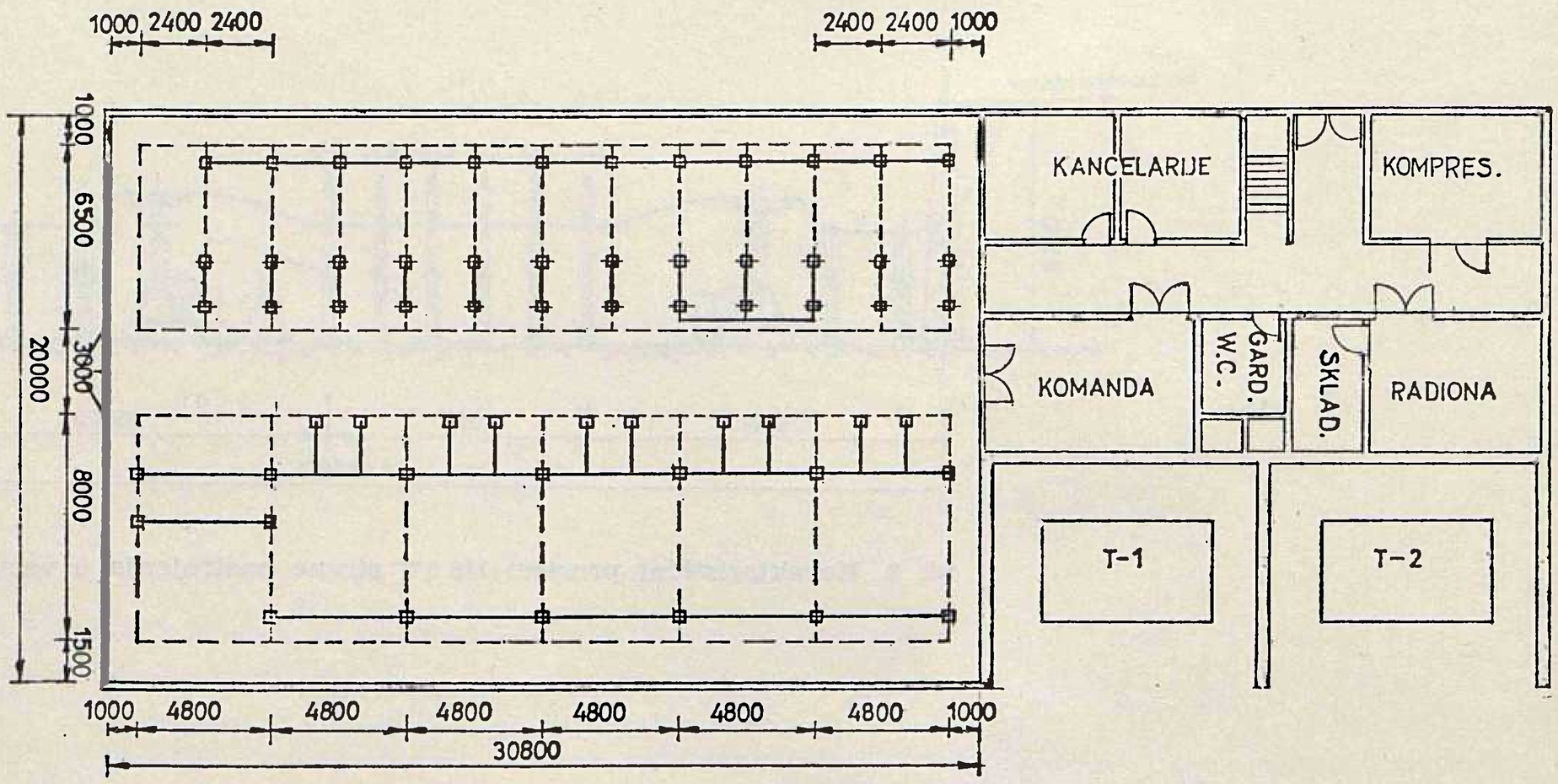
Sl. 9. Karakteristični presjek 220 kV strane postrojenja u varijanti 3

Investicioni troškovi izgradnje za četiri varijante izvedbe TABLICA 1

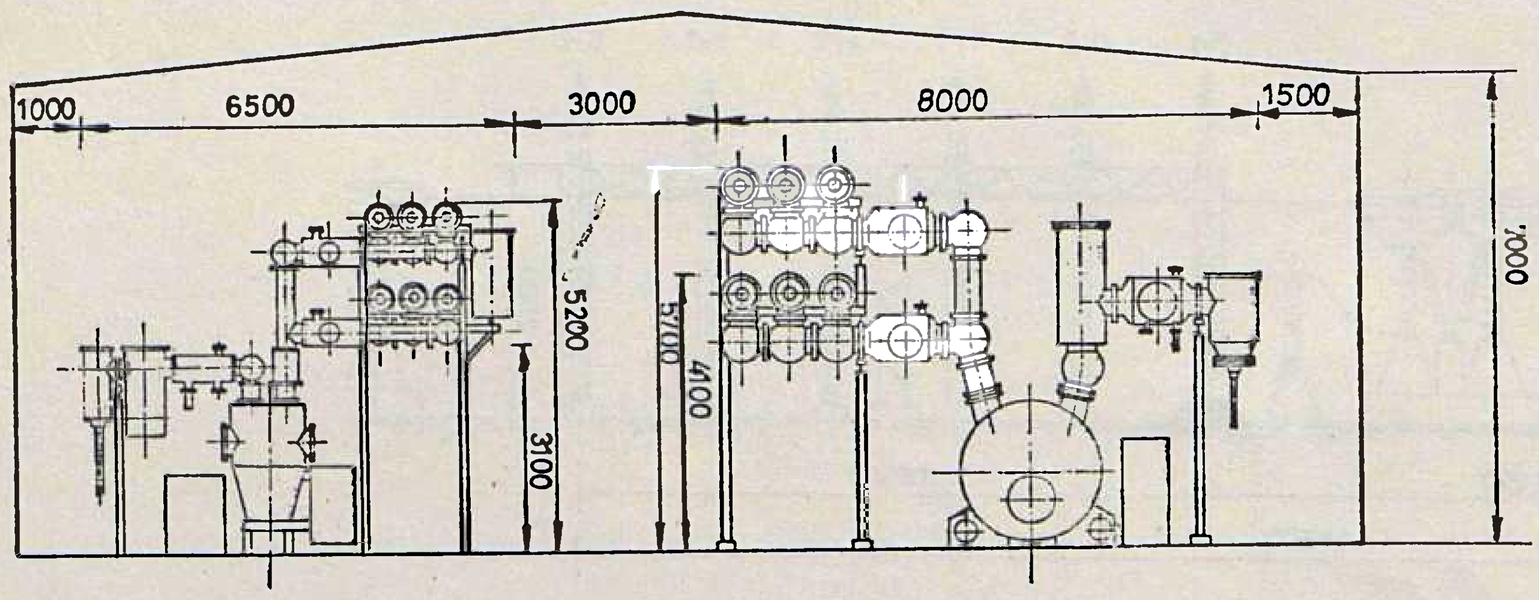
Redni broj	Grupa opreme odnosno građevinskih radova	Investicioni troškovi izgradnje J (· 10^6 Nd)			
		Varijanta 1	Varijanta 2	Varijanta 3	Varijanta 4
1	2	3	4	5	6
1	Transformatori 2 × 250 MVA	14,00	14,00	14,00	14,00
2	Oprema vanjskih postrojenja sa čeličnim konstrukcijama (postr. 220 kV — 7 polja, 110 kV — 13 polja) odn. SF_6 oprema	19,10	18,10	17,50	38,20
3	Uređaji upravljanja, zaštite, dojave i mjerenja	1,10	1,10	1,10	1,10
4	Pomoćni uređaji stanice: istosmjerni napon, protupožarni uređaji, rasvjeta, vlastita potrošnja	1,20	1,20	1,20	1,20
5	Građevinski radovi u postrojenju (temelji, kanali, ceste, vodovod, ograde)*1	3,66	2,23	5,07	—
6	Zgrade*2	2,00	18,20	2,00	8,00
7	Otkup zemljišta				
	za C = 400.— d/m²	3,66	2,23	5,07	0,64
	C = 1.000.— ,,	9,16	5,57	12,67	1,60
	C = 8.000.— ,,	73,20	44,60	101,50	12,80
	UKUPNI TROŠKOVI IZGRADNJE				
	za C = 400.— d/m²	44,72	57,06	45,94	61,14
	C = 1.000.— ,,	50,22	60,40	53,54	62,10
	C = 8.000.— ,,	114,26	99,43	142,37	73,30

*1 za var. 1: 9.160 m²
,, 2: 5.570 m²
,, 3: 12.675 m²
,, 4: —

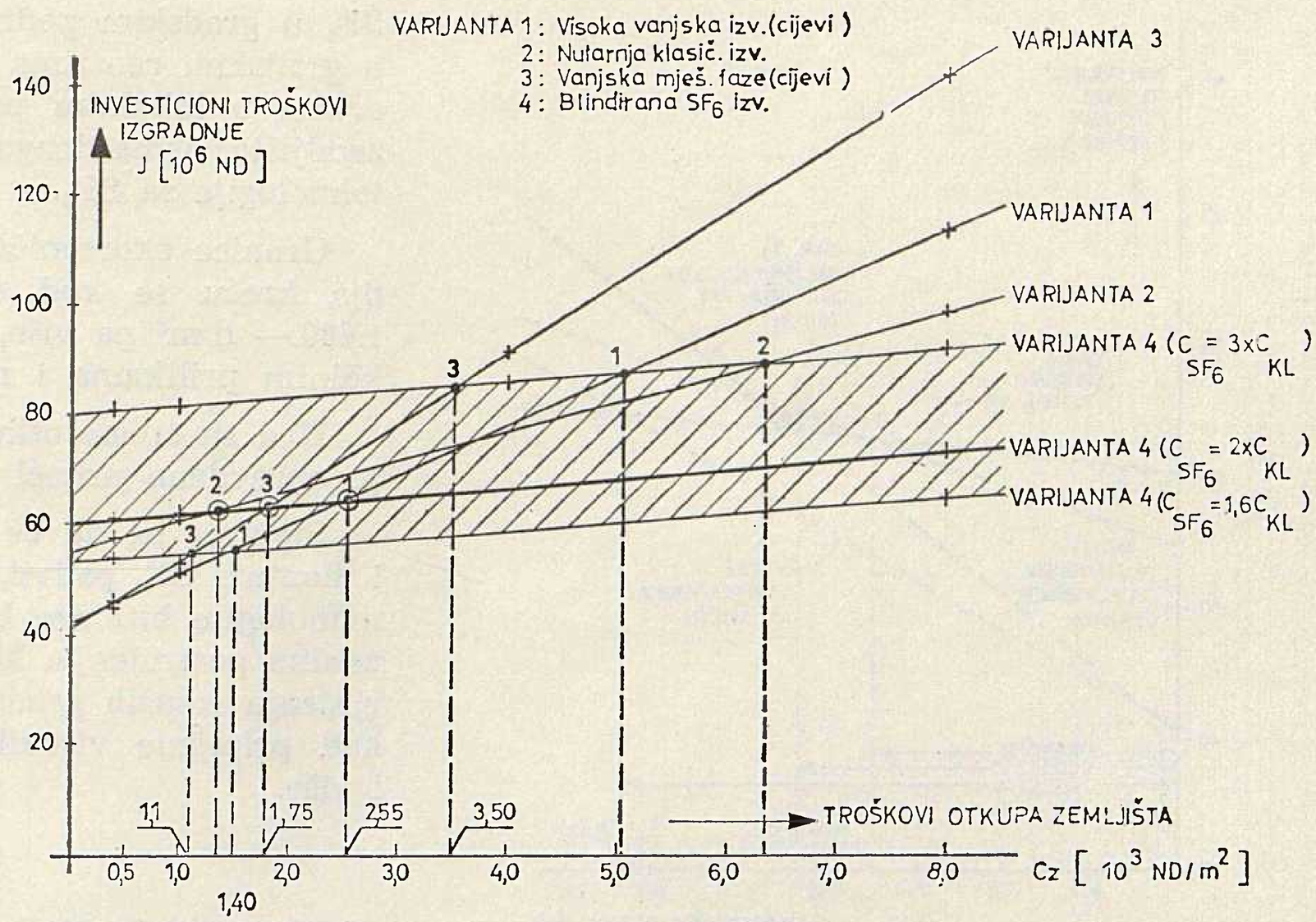
*2 za var. 1: 400 m²
,, 2: 3.640 m²
,, 3: 400 m²
,, 4: 1.600 m²



Sl. 10 Tlocrt postrojenja u SF_6 izvedbi — varijanta 4



Sl. 11 Karakteristični presjeci polja 110 i 220 kV u SF_6 izvedbi



Sl. 12. Investicioni troškovi izgradnje kao funkcija troškova otkupa zemljišta (C_z= 0—8.000.— d/m²)

Kao što se iz sl. 12 razabire već kod cijena otkupa zemljišta C_z = 1.400 d/m² i više, opravdano je ići na SF_6 izvedbu u usporedbi sa varijantom 2 konvencionalnog rješenja, dok je kod

$$C_z = 1.750.— \ d/m^2$$

i više opravdana primjena SF_6 u usporedbi sa varijantom 3 a kod

$$C_z = 2.550.— \ d/m^2$$

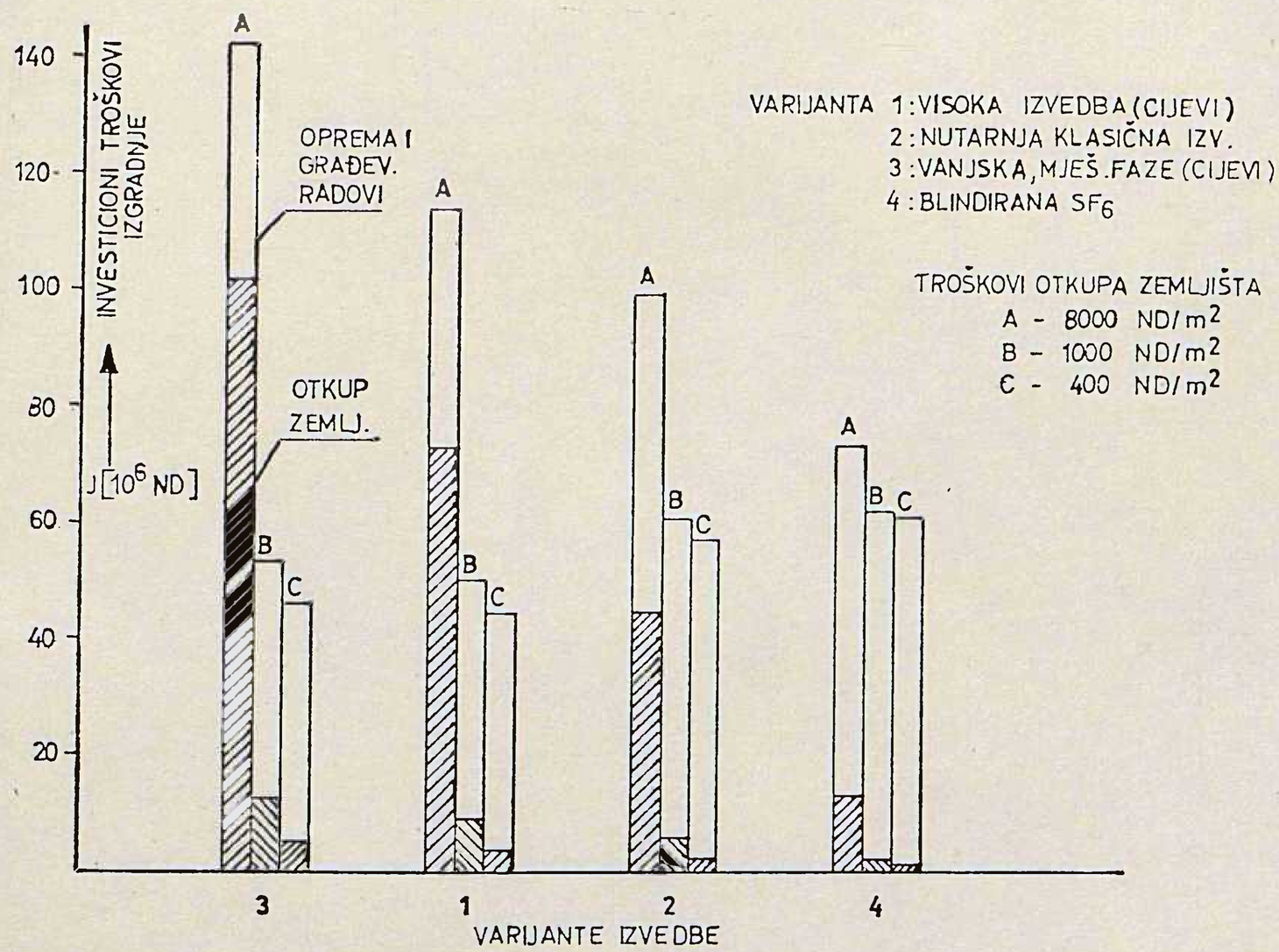
i više opravdana primjena SF_6 u usporedbi sa varijantom 1.

Ovi odnosi su detaljnije prikazani u sl. 14.

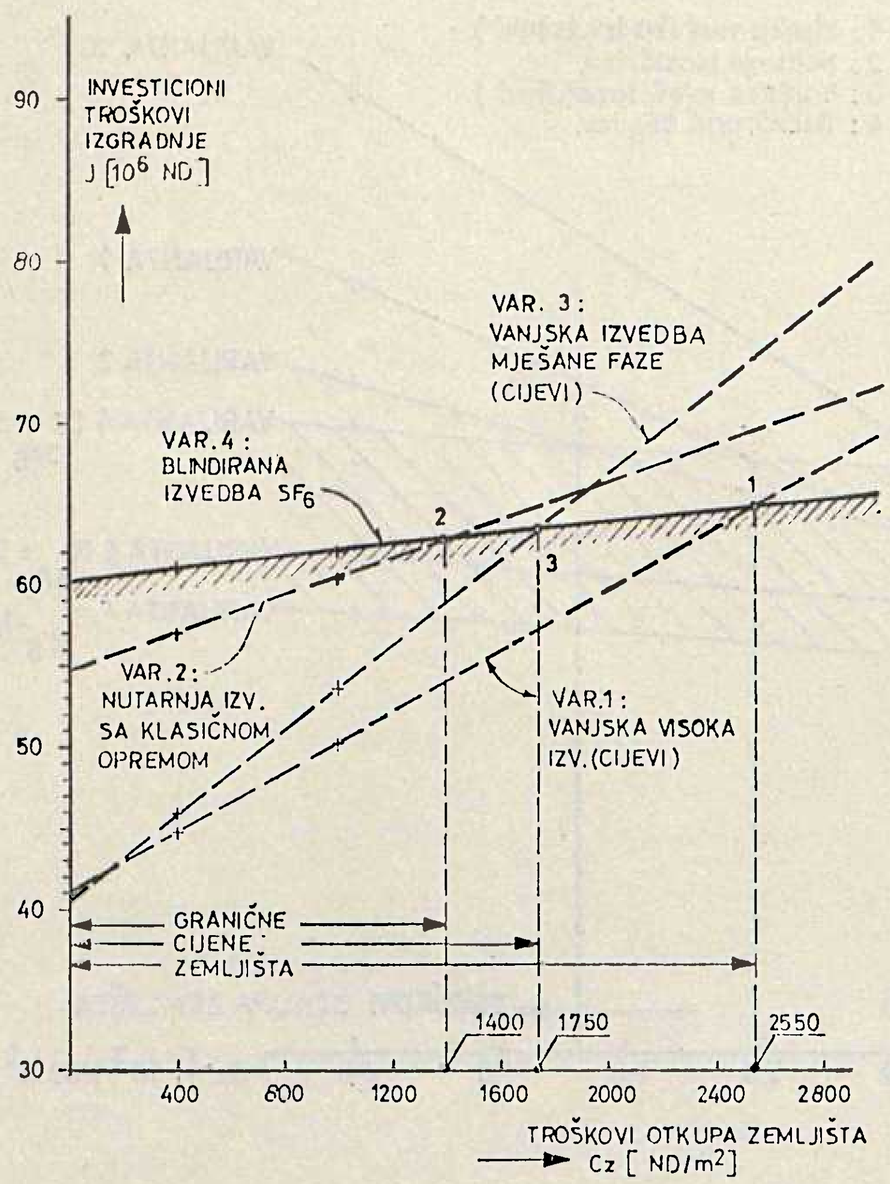
Može se zaključiti da je od konvencionalnih rješenja najkonkurentnija varijanta 1, tj. visoka izvedba sa cijevnim vodičima. Razvoj rasklopnih postrojenja za gradska područja u mnogim zemljama potvrđuje ovaj zaključak.

Tako su npr. na zasjedanju CIGRE u Parizu 1970 god. učesnicima pokazane dvije karakteristične transformatorske stanice: »Puteaux« u konvencionalnoj vanjskoj visokoj izvedbi (225/63/10,5 kV, 2 × 100 + 2 × 40 MVA), i »Perret« u SF_6 izvedbi, (225/10—20 kV).

Upravo ove dvije stanice mogu se usporediti, jer je u konvencionalnoj izvedbi učinjeno sve što



Sl. 13. Struktura troškova izgradnje za 4 varijante izvedbe



Sl. 14. Investicioni troškovi izgradnje kao funkcija troškova otkupa zemljišta (C_z = 0—2.800.— d/m²)

je moguće u toj tehnologiji pa je daljnje smanjenje prostora nemoguće.

Iz sl. 14. proizlazi, nadalje, interesantna činjenica. Kod vrlo niskih cijena zemljišta varijanta 2 (unutarnja izvedba u zgradi sa klasičnom opremom) uopće ne dolazi u obzir, a varijanta 3 je povoljnija od varijante 1.

5. Zaključak

Provedena analiza pokazuje da je i za naše prilike sazrela primjena oklopljenih postrojenja SF_6 u gradskim područjima. Buduji da je danas u gradskim centrima nužan napon 110 i 220 kV, ovisno o lokalnim prilikama i cijenama otkupa zemljišta, nema drugog rješenja od primjene nove tehnologije sa SF_6.

Granice ekonomičnosti primjene SF_6 postrojenja kreću se kod cijena otkupa zemljišta od 1.400.— d/m² pa više, ovisno o nekoj veličini, lokalnim prilikama i mogućnostima izgradnje.

Kad su cijene otkupa zemljišta više, apsolutno je opravdano prijeći na tehnologiju SF_6.

Sigurno je, da će vremenom troškovi dobave i montaže SF_6 padati, pa će granica primjene ove tehnologije biti sve bliža u odnosu na konvencionalna postrojenja. Može se očekivati da će stara rješenja iz užih gradskih područja uskoro nestati kod primjene visokih napona, tj. 110, 220 kV, i više.

Literatura:

(1) Begović K., Mrša Z. *Problematika izgradnje transformatorskih stanica 220/110 kV i 110/10 kV u urbanim područjima*, JNK CIGRÉ, Zagreb, 1973. god.

(2) Begović K. *Rasklopna postrojenja visokih napona u cijevnoj izvedbi*, »Elektrotehnika«, Zagreb 1972. br. 5—6.

(3) Begović K. *Utjecaj opreme i rješenja dispozicije na optimalno korištenje prostora unutarnjih rasklopnih postrojenja 110 kV*, »Energija«, 14 (1965), br. 1—2

(4) Garbari R. *Vollgekapselte SF₆ — isolierte 110 kV Schaltanlage für KW Charlottenburg der Bewag Berlin*, BBC — Nachrichten 55 (1973), H. 3/4

(5) Hermann G. *Vollgekapselte 220 kV Schaltanlage (SF₆) im Grosskraftwerk Mannheim*, »Elektrizitätswirtschaft« 70 (1971).

(6) Menon K., Spendal E. *Die erste metallgekapselte 220 kV Schaltanlage mit SF₆ — Isolation in Deutschland*, BBC — Miteilungen 60 (1963), H. 2—3.

(7) Specher & Schuh, *Metalgekapselte, SF₆ — Isolierte Hochspannungsanlagen für 123—362 kV*, Publ. br. A 47.020.004.

Naslov pisca: Krunoslav Begović, dipl. ing.
»Elektroprojekt«, Zagreb

PRILAGOĐENJE RASKLOPNIH POSTROJENJA PRIJENOSNE MREŽE ZA POGON U SUSTAVU DALJINSKOG NADZORA I UPRAVLJANJA

B. Radmilović i M. Marić, Zagreb

Opisuje se kako valja neku transformatorsku stanicu prilagoditi radu u sistemu daljinskog upravljanja. Autori uzimaju primjer jedne stanice i sistema usvojenog u mreži »Elektroprivreda« Zagreb.

DK 621.398:621.311.4

Uvodna razmatranja

Sve veći broj jugoslavenskih elektroprivrednih organizacija koje imaju svoje objekte smještene na više mjesta (organizacije koje se bave distribucijom ili prijenosom električne energije, sistemi hidroelektrana na jednom slivu) intenzivno se bavi proučavanjem problematike u vezi s prijenosom i koncentracijom informatike iz postrojenja u jednoj ili nekoliko pogodnih točaka mreže, kao i s problematikom daljinskog upravljanja izvjesnih aparata ili funkcija u objektima. Ovo pojačano interesiranje i pripremanje za izgradnju većih ili manjih sustava za daljinski nadzor, upravljanje i dispečiranje elektroprivrednih objekata, normalna je posljedica veličina pojedinih mreža i gustoće objekata u njima s jedne strane, te općeg evropskog i svjetskog stanja, kao i tendencija kretanja u ovoj oblasti, s druge strane (Tablica I prema L 1).

Kada se danas u nas razmatraju opravdanost, mogućnost, sigurnost i ostali problemi vezani uz izgradnju jednog takvog sustava, onda se u prvi plan stavlja problematika iz oblasti prijenosa informacija između objekata i centralnih točaka mreže, kao i problematika prikaza i obrade informacija u tim centrima. Raspravljajući praktički samo o navedenoj problematici skoro se zaboravlja, da je sustav za daljinski nadzor i upravljanje objekata jedne električne mreže sastavljen zapravo od više nizova pojedinih uređaja, aparata i funkcija, pa je prema tome djelovanje takvog sustava kao cjeline ovisno (u većoj ili manjoj mjeri) o pouzdanosti djelovanja svakog ulančenog elementa. Da bi se dakle mogla utvrditi pouzdanost sustava valja utvrditi pouzdanost funkcioniranja svakog elementa. Valja nadalje utvrditi koji su elementi nedovoljno pouzdani, te pronaći načine da se i podignu na traženi stupanj pouzdanosti ovisan o njihovom položaju i funkciji u promatranom sustavu.

Elementi opreme u lancu daljinskog nadzora i upravljanja jednog elektroenergetskog postrojenja jesu:

1. aparati u postrojenju (sklopni aparati, mjerni transformatori)
2. zaštitni uređaji, lokalna automatika, oprema u upravljačko-signalnim krugovima
3. oprema u pomoćnim pogonima postrojenja
4. oprema za prilagođenje postrojenja opremi teleinformatike.
5. Oprema teleinformatike i to:
   — uređaji za daljinski nadzor i upravljanje
   — uređaji za prijenos informacija.
6. Prijenosni putovi (u fizičkom smislu) zajedno s uređajima za priključenje opreme teleinformatike na njih.
7. Skup uređaja u nadzorno-upravljačkom centru i to:
   — za prihvat prenesenih informacija
   — za objavu informacija na sinoptičkoj ploči, signalnom uređaju, uređaju za automatski zapis, katodnom ekranu, na stalnim i izbornim mjernim instrumentima, itd.,
   — za retransmisiju jednog broja informacija prema centru više hijerarhije
   — za stvaranje i predaju naloga prema postrojenjima.

Elektronička oprema teleinformatike, tj. ona navedena u točkama 5. i 7., te djelomično u točki 6, predstavlja najkompliciraniji dio jednog teleinformacijskog i telekomandnog sustava. Međutim ova oprema koja je karaterizirana sa:

— kvalitetnim, pouzdanim i trajnim elementima
— visokokvalitetnom tehnologijom izvedbe
— brzim razvojem tehnologije izrade samih elemenata kao i načina ugradnje
— višestruko modularnom izvedbom
— rigoroznim sistemom kontrole i ispitivanja
— skoro potpunom izvedbom u tvornici sa relativno veoma malim dodatnim ožičenjem i kratkim međuvezama na mjestu ugradnje,

garantira svojom izvedbom visoku sigurnost.

Elektronička oprema biti će sigurno najpouzdaniji dio sustava, što potvrđuje i višegodišnje eksploataciono iskustvo takve ili tehnološki slične opreme u teleinformacijskom sistemu »Elektroprivrede« — Zagreb (uređaji za VF vezu po vodovima visokog napona, usmjerene UKV veze).

Obrnuto za visokonaponske sklopne aparate u postrojenjima i njima pridružene niskonaponske aparate (signalne sklopke, uređaji za zagon), može se očekivati da će biti »usko grlo« u pogledu sigurnosti cjelokupnog sustava. To ovisi s jedne strane o kvaliteti same opreme (osobito one koja se već godinama nalazi u pogonu) a s druge strane, to je posljedica velikog broja elemenata, razmještenih na više mjesta (visokonaponsko postrojenje, komandna ploča, relejna ploča i drugo), s velikim ožičenjem koje se izvodi pri ugradnji i dugačkim kabelskim međuvezama, što sve pove-

Pregled automatiziranih postrojenja Tablica 1

Država	Način posluživanja	Rasklopna-transformatorska postrojenja						Hidroelektrane					
		380 kV		220 kV		110 kV		10—50 MW		50—100 MW		> 100 MW	
		br.	%	br.	%	br.	%	br.	%	br.	%	br.	%
Austrija (A)	stalna posada	—		12	92	45	39	28	69	6	75	13	87
	daljinsko upravljanje	—		1	8	61	53	12	29	2	25	2	13
	čuvana postrojenja	—		—		10	8	1	2	—		—	
Belgija (B)	stalna posada	—		1	33	1	2,3	—		—		—	
	daljinsko upravljanje	3	100	1	33	35	77,7	—		—		—	
	čuvana postrojenja	—		1	33	9	20	—		—		1	100
Švicarska (CH)	stalna posada	7	100	12	29	15	25	41	60	23	77	19	79
	daljinsko upravljanje	—		26	64	35	60	17	25	7	23	4	17
	čuvana postrojenja	—		3	7	9	15	11	15	—		1	4
Njemačka BRD (D)	stalna posada	16	84	108	79,4	235	33,4	21	75	3	60	9	100
	daljinsko upravljanje	3	16	21	15,4	343	48,8	6	21,4	2	40	—	
	čuvana postrojenja	—		7	5,2	125	17,8	1	3,6	—		—	
Francuska (F)	stalna posada	3	12,5	24	9,1	28	29,1	66	43	15	54	31	86
	daljinsko upravljanje	2	8,3	70	26,6	21	21,9	36	23	6	21	4	11
	čuvana postrojenja	19	79,2	169	64,3	47	49	53	34	7	25	1	3
Italija (I)	stalna posada	5	55,5	71	80,7	85	52,5	122	77,7	9	60	23	100
	daljinsko upravljanje	4	44,5	14	15,9	55	33,9	32	20,4	6	40	—	
	čuvana postrojenja	—		3	3,4	22	13,6	3	1,9	—		—	
Nizozemska (NL)	stalna posada	—		—		3	2	—		—		—	
	daljinsko upravljanje	6	100	4	100	91	74	—		—		—	
	čuvana postrojenja	—		—		29	24	—		—		—	

U.C.P.T.E. — Radna grupa za pogonsku problematiku Dr.H. Lautensach 3. 1972.

ćava mogućnost da dođe do neispravnog funkcioniranja. Sada su te smetnje, donekle, ublažene postojanjem posada u postrojenjima (ako ne djeluje električno upravljanje s komandne ploče aparat se može ručno zagoniti iz postrojenja), no očito je, da je preduvjet za uvođenje daljinskog nadzora i upravljanja u jedno postrojenje, osiguranje njegovog besprijekornog funkcioniranja pri lokalnom upravljanju.

Prilagođenje postrojenja opremi teleinformatike treba da odgovori slijedećim zahtjevima:

— da za svaku telesignalizaciju bude siguran jedan beznaponski kontakt,
— da za svaku telekomandu bude siguran jedan izvršni relej sa svitkom određenog napona i snage
— da za svako telemjerenje bude osiguran dovod mjernog napona (100 V) ili i mjerne struje (1 odn. 5A).
— da za svako telebrojenje budu osigurani potrebni beznaponski kontakti koji prekapčaju u ritmu djelovanja obračunskog mjernog sloga (impulsni član brojila ili uklopni sat),
— da se lokalno upravljanje, mjerenje, signalizacija i registracija događaja riješe tako da postrojenje može djelovati sa lokalnim i sa daljinskim režimom nadzora i upravljanja,
— da se riješe potrebne blokade između aparata u postrojenju, kao i između lokalnog i daljinskog upravljanja,
— da se postavi što je moguće jasnija granica odgovornosti između službi koje održavaju električku opremu u postrojenju i službe koja održava telekomunikacionu opremu.

Sva ova rješenja moraju biti tako izvedena da elektronička oprema bude sigurna od smetnji iz visokonaponskog postrojenja.

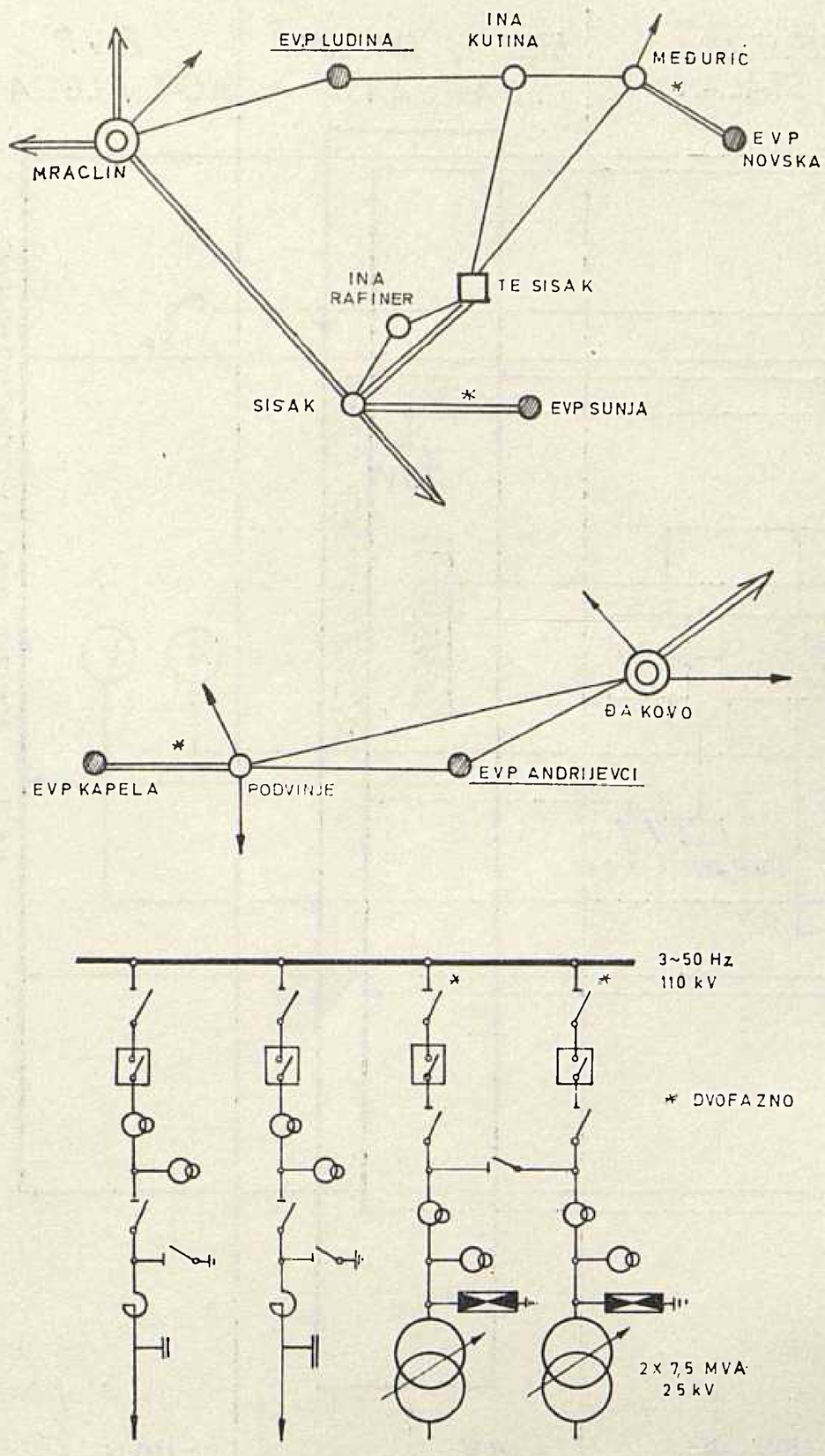
Analizirajući izvjesne poteškoće što su se pojavljivale kod nekih elektroprivrednih organizacija pri prvim pokušajima uvođenja telekomande, utvrđeno je da su one uglavnom dolazile zbog nesposobnosti postrojenja da bude daljinski upravljano, kao i neprilagođenja njegovih aparata na opremu teleinformatike. Oslanjajući se na ova iskustva u zemlji, kao i na rješenja viđena u nekim inozemnim elektroprivrednim organizacijama koje imaju razvijene telekomandne sustave, u »Elektroprenosu« — Zagreb razrađena su neka rješenja koja — u skladu sa usvojenom filozofijom — rješavaju ovu problematiku.

S obzirom na već navedenu aktualnost cjelokupne problematike, skopčane sa uvođenjem sustava daljinskog nadzora i upravljanja objekata u elektroprivrednim mrežama, u daljem izlaganju će biti prikazano kako je riješeno prilagođenje dvaju malih postrojenja na opremu teleinformatike (EVP Ludina i Andrijevci), kao i kompletno rješenje koje se predviđa za nove TS 110/35 kV u mreži »Eleketroprenosa« — Zagreb.

Prilagođavanje i opremanje trofaznih postrojenja u EVP Ludina i Andrijevci za daljinski nadzor i upravljanje

1. Općenito

Kao što se vidi na sl. 1, elektrovučne podstanice (EVP) Ludina i Andrijevci su kombinirana trofazno rasklopna — dvofazno transformatorska postrojenja (110/25 kV) koja su uključena u 110



Sl. 1. EVP 110/25 kV Ludina i Andrijevci. Smještaj u mreži 110 kV i osnovna shema

kV elektroprivredne vodove Mraclin — Kutina i Đakovo — Podvinje. Sva postrojenja 110 i 25 kV koja služe za napajanje električne vuče na pruzi Zagreb—Tovarnik—(Beograd) nadziru se i upravljaju iz centara daljinskog upravljanja ŽTP Zagreb smještenih u Zagrebu i Vinkovcima. Kako su trofazni dijelovi postrojenja u EVP Ludina i Andrijevci (vodna polja i sabirnice) serijski dijelovi 110 kV elektroprivrednih vodova u koje su umetnuti, odlučeno je da se oprema u tim vodnim poljima također daljinski nadzire i upravlja, ali iz objekata elektroprivrede. Tako se navedeni elementi u EVP Ludina upravljaju i nadziru iz TS 220/110 kV Mraclin, a oni u EVP Andrijevci iz TS 110/35 kV Podvinje. Oprema teleinformatike je u oba postrojenja proizvodnje »Siemens«: uređaj za daljinsko upravljanje, signalizaciju i mjerenje je tipa EFD, a uređaj za VF vezu je tipa ESB—300. (L 2.).

Rješavajući rasklopno — transformatorska postrojenja u EVP Ludina i Andrijevci, investitor (ŽTP Zagreb) je, imajući u vidu dvojni karakter ovih postrojenja, izgradio dvije zgrade. U jednu (zgrada EVP) smješteno je 25 kV rasklopno postrojenje, komandna prostorija cjelokupnog postrojenja, akumulatorska baterija 110 V = i potrebne pomoćne prostorije. U drugoj, manjoj, zasebnoj zgradi (dim. 6 x 3,3 m, sl. 2) nazvanoj »kućica pomoćnih postrojenja« smještena je cjelokupna oprema za upravljanje, signalizaciju i mjerenje aparata u 110 kV vodnim poljima, zaštitni uređaji, telekomunikaciona oprema, te baterija 48 V = sa odgovarajućim ispravljačem. U njoj se nalazi i obračunski mjerni slog za kupoprodaju električne energije na 110 kV strani dvofaznih transformatora 110/25 kV.

2. Prilagođivanje postrojenja opremi teleinformatike

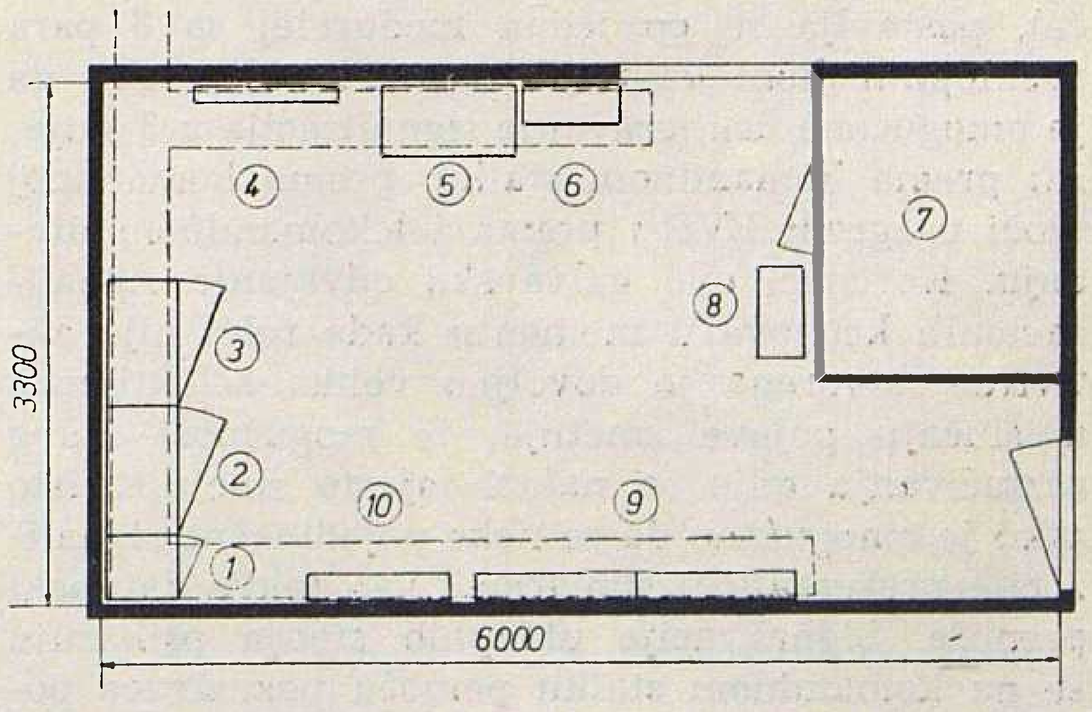
Na Sl. 3. dana je blok — shema upravljanja, signalizacije i mjerenja iz jednog vodnog polja 110 kV, kako lokalno tako i daljinski.

2.1. Upravljanje

Iz sheme se vidi da se daljinski upravlja prekidačima (motorni zagon) a da rastavljači imaju samo ručne zagone, što se osjetno pojednostavilo rješavanje upravljanja. Ovisno o položaju izborne preklopke prekidačima se upravlja ili lokalno s komandnog stalka pomoću komandno-potvrdne sklopke (KPS), ili daljinski preko izvršnih releja koji su smješteni u telekomandnom uređaju EFD. Eventualno, u položaju izborne preklopke »Lokalno«, prekidačima se može upravljati i s komandne ploče u zgradi EVP, odnosno daljinski iz odgovarajućih upravljačkih centara ŽTP, ali se ta mogućnost može eliminirati izvlačenjem mostića na odgovarajućim rednim stezaljkama.

2.2. Signalizacija

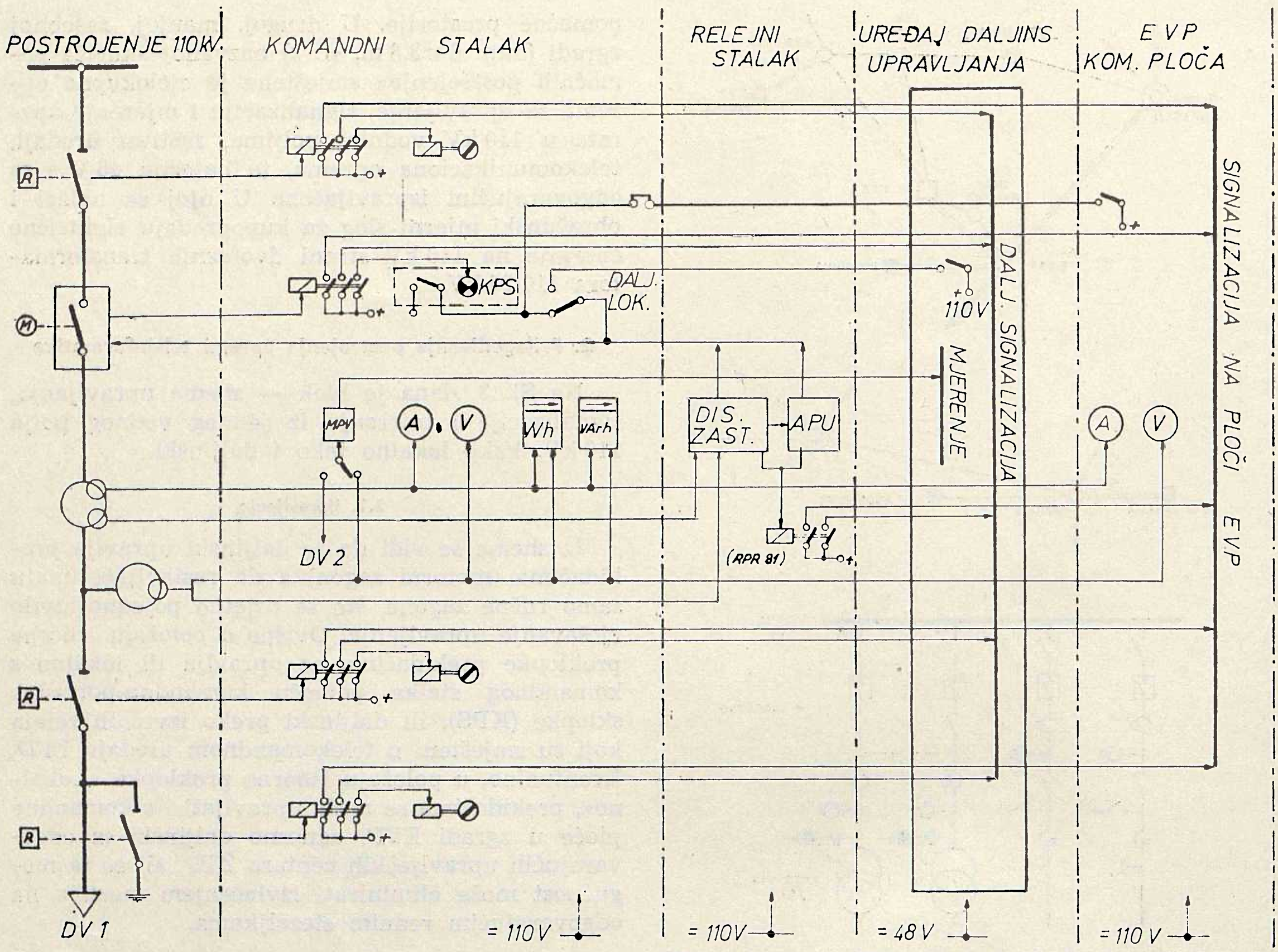
Za svaku povratnu signalizaciju uklopnog stanje, kao i neke druge signalizacije (nestanci uprav-



LEGENDA:

1. Polje 1 – razvod napona vlastite potrošnje
2. Polje 2 – komanda DV 110 kV
3. Rezerva
4. Razdjelnik
5. EFD-uređaj dalj. upravljanja
6. ESB – VF uređaj
7. AKU – baterija 48 V
8. Ispravljač 220 V~/48 V=
9. Zaštita DV 110 kV
10. Brojila

Sl. 2. EVP 110/25 kV Ludina i Andrijevci. Tlocrt kućice pomoćnih postrojenja



Sl. 3. EVP 110/25 kV Ludina i Andrijevci. Blok-shema 110 kV vodnog polja

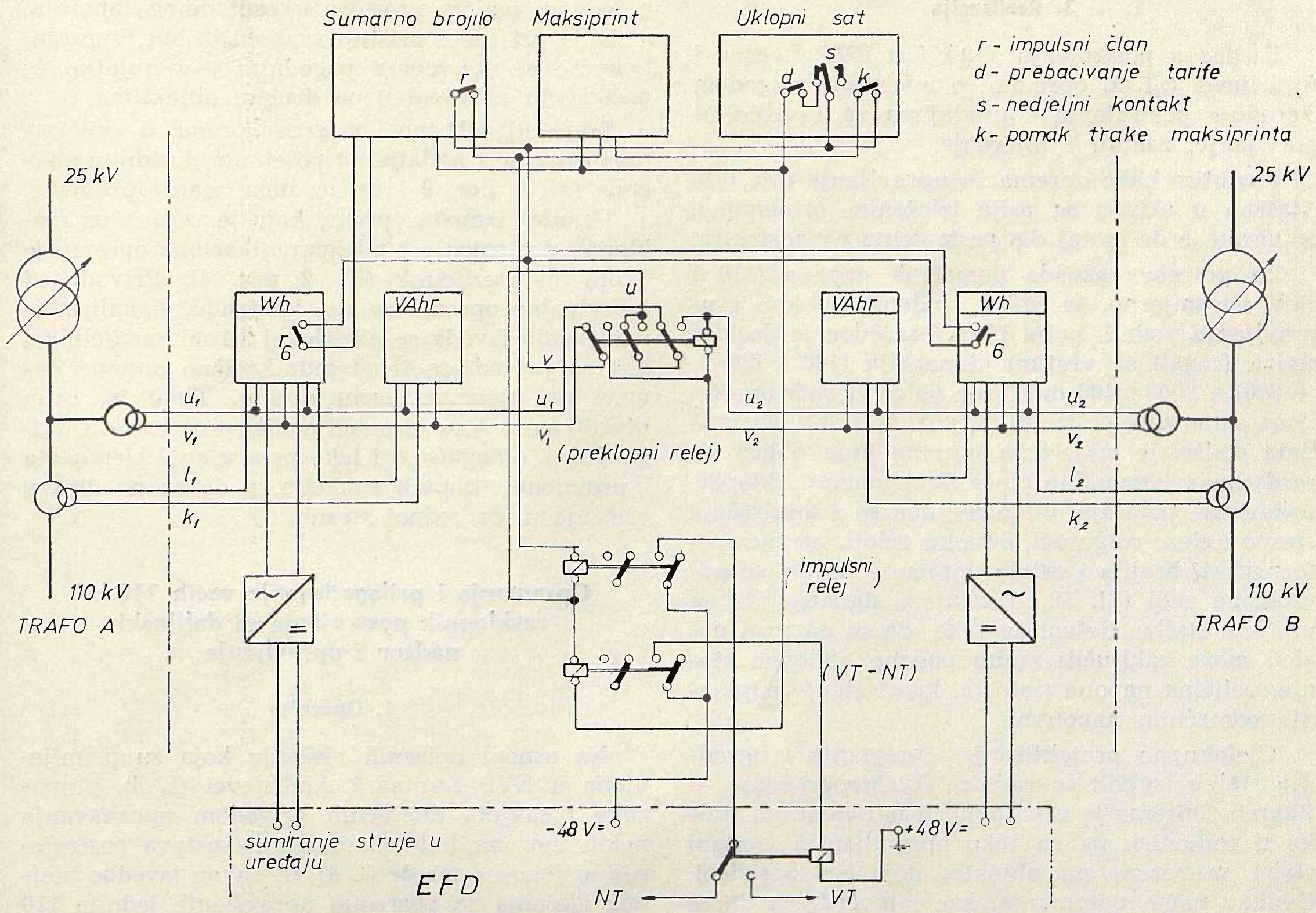
ljačkih i mjernih napona, stanje opruge prekidača), postavlja se po jedan međurelej sa 3 para preklopnih kontakata (»Iskra« PR 59), tako da je omogućeno usmjeravanje signalizacija u 3 smjera: prema komandnom stalku, prema komandnoj ploči u zgradi EVP i prema telekomandnom uređaju. Koristeći ovo galvansko odvajanje signalizacionih krugova u momentu kada relej nije aktiviran, stvorena je dovoljno velika selektivnost u slučaju pojave smetnje, te mogućnost lakog razlučivanja gdje se nalazi mjesto smetnje. Isto tako je omogućeno da se neke pojedinačne signalizacije pretvaraju u sumarne i kao takve daljinski prenose. Signalizacije uklopnih stanja prikazuju se na komandnom stalku pomoću pokazivača položaja za rastavljače, odnosno pomoću mirnog svjetla sijalice u komandno-potvrdnoj sklopki za prekidače. U slučaju položaja izborne preklopke na »Daljinski« sijalica u komandno-potvrdnoj sklopki je isključena.

Signalizacije u vezi s proradom distantne zaštite (BBC—L3w) i uređaja za ponovno ukapčanje (BBC — P12wb/1) privode se u uređaj za daljinski nadzor preko jedne relejne kombinacije (»Iskra« RP81), koja trenutne signale ovih uređaja pretvara u trajne. Ovo je učinjeno zbog toga, da bi prikaz svih signalizacija na telekomandnim pločama u TS Mraclin i Podvinje bio isti, bez obzira na dužinu trajanja poticaja. Za razrešenje (kvitiranje) pridržnog sistema u kombinaciji predviđena je daljinska komanda, tako da postoji i mogućnost lokalnog razrešenja. Na taj se način tretira po jednom vodu 6 signala distantne zaštite i 1 signal uređaja za ponovno ukapčanje.

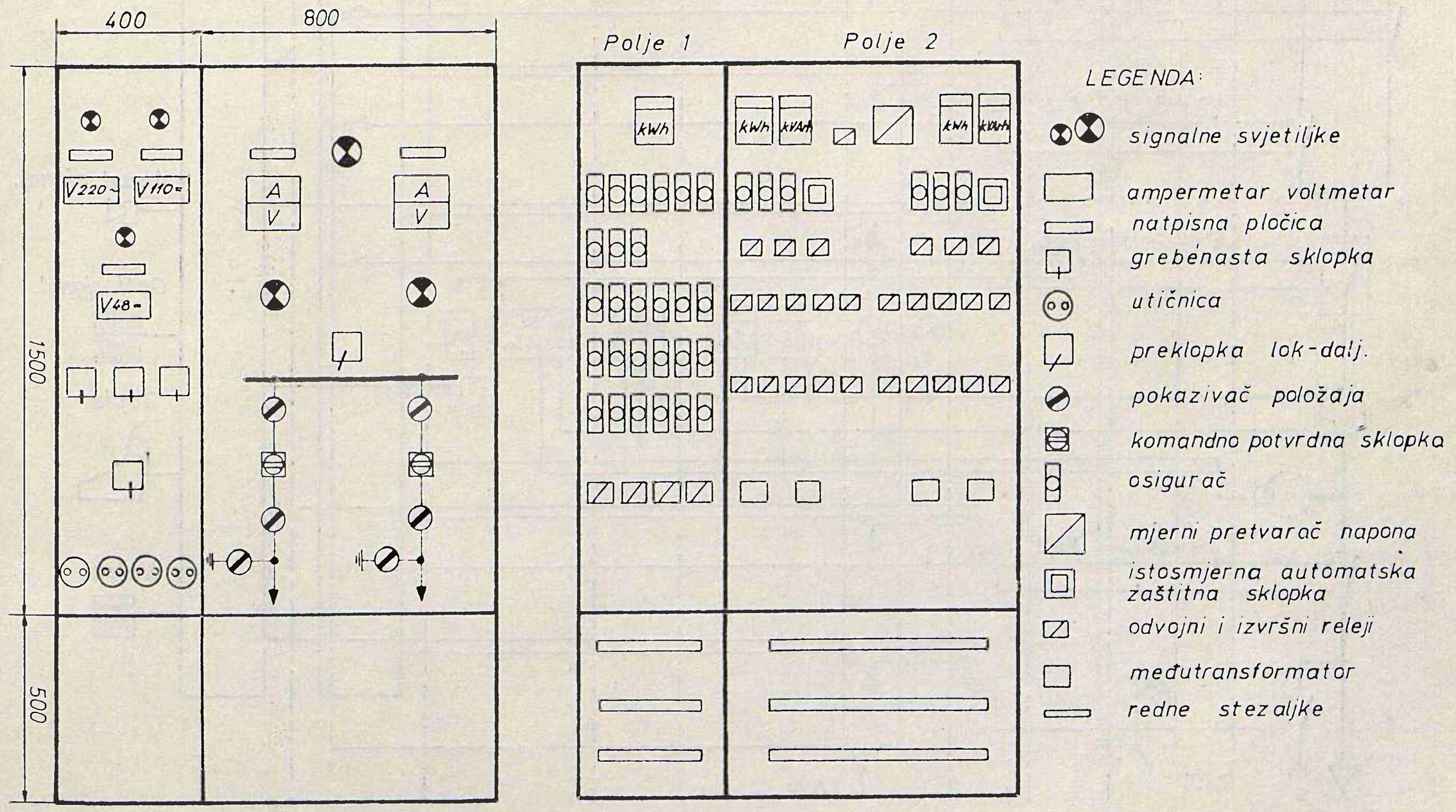
2.3. Mjerenja i brojenja

Iz EPV Ludina i Andrijevci prenose se u upravljačke točke »Elektroprenosa« — Zagreb slijedeće mjerne veličine:

— Napon 110 kV strane. Kako u sabirnicama nema naponskog mjernog transformatora, mjerni pretvarač (MPV) je priključen na mjerni napon iz DV1 ili DV2 preko jednog preklopnog releja, tako da se mjeri napon s onog voda koji je u pogonu (Sl. 3).
— Sumarna struja 110 kV strane transformatora 110/25 kV.
— Stanje sumarnog brojila radne energije sa 110 kV strane transformatora 110/25 kV. Način prilagođavanja mjerenja struja i brojila na uređaj za daljinski nadzor prikazan je na sl. 4.



Sl. 4. EVP 110/25 kV Ludina i Andrijevci. Principijelna shema daljinskog mjerenja i brojenja



Sl. 5. EVP 110/25 kV Ludina i Andrijevci. Dozidni stalak

3. Realizacija

Kućice u postrojenju 110 kV u EVP Ludina i Andrijevci (Sl. 2) opremio je investitor prigodom izgradnje postrojenja s uređajima za lokalno upravljanje, zaštitu i mjerenje.

Međutim kako oprema za upravljanje nije bila riješena u skladu sa prije izloženim principima, odlučeno je da se taj dio postrojenja rekonstruira.

Za potrebe razvoda pomoćnih napona (110 i 48 V istosmjerno, te 220 V izmjenično), kao i upravljanja vodnih polja 110 kV izveden je dozidni stalak (regal) sa vratima dimenzija (400 + 800 + + 800) x 2000 x 400 mm time da su za sada opremljena samo dva polja (Sl. 2, poz. 1, 2, 3.). Na vratima stalka je smještena oprema koja dolazi na razdjelne i komandne ploče (instrumenti, sklopke, pokazivači položaja, utičnice), dok se s unutrašnje strane nalaze osigurači, odvojni releji, međutransformatori, brojila i ostala oprema s kojom se povremeno radi (Sl. 5). Mjerenje i signalizacija na vratima stalka rješeni su tako, da se na prvi pogled može zaključiti režim pogona, uklopno stanje, veličina napona i struja, kao i stanje napajanja pomoćnim naponima.

Cjelokupno projektiranje, opremanje i ugradnju stalka izvršili su radnici »Elektroprenosa« — Zagreb. Oprema je u potpunosti ugrađena na stalke u radionici, pa su tako opremljeni i ispitani stalci prevezeni na objekte, gdje su ugrađeni. Ovakav način opremanja, kao i mogućnost da se u jednom malom prostoru ugradi mnogo aparata, a da je pri tome pristup svakom dijelu osiguran, pokazao se je veoma pogodnim i vjerojatno će naći svoju primjenu i na drugim objektima.

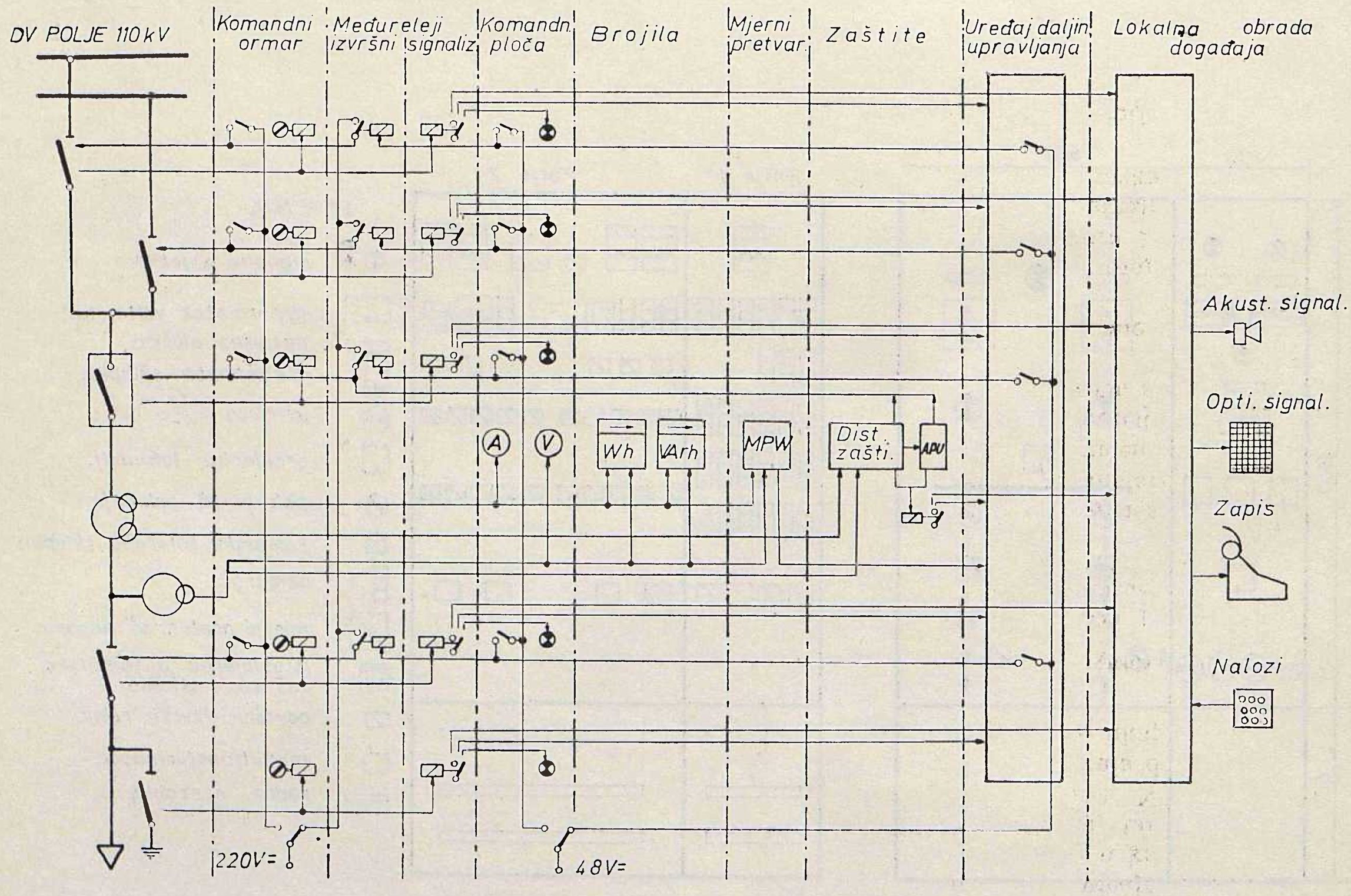
Smještaj zaštitne i mjerne opreme u »kućicama« ostao je i nadalje na posebnim dozidnim stalcima (Sl. 2. poz. 9 i 10) uz neke manje preinake.

Granica između opreme koja je vezana uz rasklopno postrojenje i telekomunikacione opreme je dvodjelni razdjelnik (Sl. 2 poz. 4). Privodi od jakostrujne opreme za sve komande, signalizacije i mjerenja izvode se na lijevoj strani razdjelnika, dok se privodi sa telekomunikacione opreme dovode na njegovu desnu stranu. Time je, osim utvrđivanja jasne granice nadležnosti između dviju službi, omogućeno i lako prespajanje elemenata i promjene njihovih funkcija, a da se ne dira u ožičenja ni na jednoj strani.

Opremanje i prilagođavanje većih 110 kV rasklopnih postrojenja za daljinski nadzor i upravljanje

1. Općenito

Na osnovi opisanih rješenja koja su primijenjena u EVP Ludina i Andrijevci (L 3), preporuke i savjeta dobivenih prigodom upoznavanja nekih inozemnih telekomandnih sustava postrojenja prijenosne mreže (L 4), te nakon izvedbe idejnog rješenja za posredno upravljanje jednim 110



Sl. 6. Blok-shema jednog 110 kV vodnog polja (L. 5)

kV vodnim poljem, u »Elektroprenosu« — Zagreb je izrađen projekt shema djelovanja za jednu veću TS 110/35 kV koja će raditi u sustavu daljinskog nadzora i upravljanja (L 5). Ove sheme djelovanja koje su izrađene za jedno vodno polje 110 kV, i za jedan tronamotajni transformator 110/35/10 kV daju, među ostalim, i sva potrebna rješenja za prilagođavanje ovog postrojenja opremi teleinformatike. Osim toga niz ovdje danih rješenja moći će se primijeniti za upravljanje i signalizaciju u objektima 220 i 380 kV koji se opremaju sa tzv. »kućicama« (mjernim kabinama) u samim visokonaponskim postrojenjima.

2. Prilagođenje postrojenja opremi teleinformatike

Na sl. 6 dana je blok shema upravljanja, signalizacije i mjerenja (kako lokalne tako i daljinske) u jednom 110 kV vodnom polju prema L 5, gdje su vidljive sve gore navedene funkcije.

2.1. Upravljanje

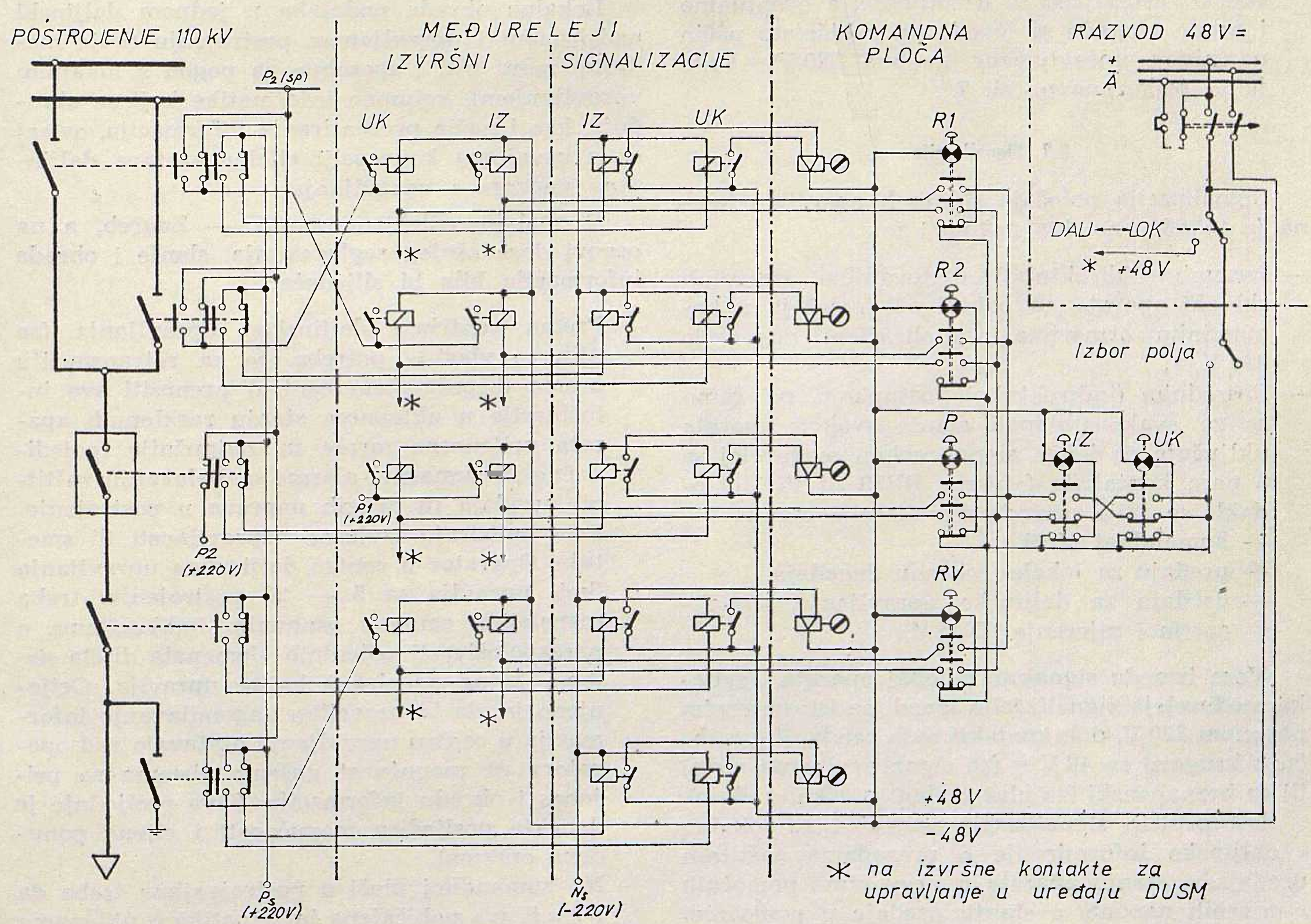
Upravljanje visokonaponskih sklopnih aparata rješeno je dvojako:

— Izravnim (direktnim) djelovanjem upravljačkih organa na poticajne organe upravljačkih mehanizama aparata. Ovo se odnosi na upravljanje pomoću tipkala (tastera) iz komandnog ormara u polju 110 kV odakle se izravno upravlja elektro-pneumatskim organima u zagonima prekidača i rastavljača. Upravljački napon je u ovom slučaju 220 V istosmjerno.

— Posrednim (indirektnim) djelovanjem upravljačkih organa na izvršne međureleje koji zatim djeluju na poticajne organe upravljačkih mehanizama aparata kao u prvom slučaju. Ovo se odnosi na upravljanje pomoću komandno-potvrdnih sklopki ili tipkala sa lokalne komandne ploče ili na upravljanje na daljinu, aktiviranjem odgovarajućih izvršnih releja u uređaju za daljinsko upravljanje, signalizaciju i mjerenje (DUSM). Upravljački napon je do izvršnih međureleja 48 V istosmjerno (standardni napon telekomunikacionih uređaja), a dalje je 220 V istosmjerno, isto kao u prvom slučaju.

Zaštitni uređaji voda (distantna zaštita, prekostrujni relej), kao i uređaji za automatsko ponovno ukapčanje (APU) izravno djeluju na poticanje organe upravljačkih mehanizama prekidača naponom 220 V istosmjerno, zaobilazeći tako izvršne međureleje.

Ovakav način upravljanja usvojen je da bi se na najlakši način izvele željene blokade u upravljanju, i to:



Sl. 7. Principijelna shema posrednog upravljanja i signalizacije u jednom 110 kV vodnom polju (L. 5)

— Upravljanje iz ormara dolazi samo u slučaju rada na aparatima u vodnom polju a samo izuzetno u slučaju pogonskih manevara. U svakom se ormaru nalazi jedna izborna preklopka pomoću koje se upravljački naponi 220 V = usmjeravaju ili prema tipkalima u ormaru ili prema kontaktima izvršnih međureleja. Istovremeno upravljanje iz ormarića i komandne ploče, odnosno iz centra daljinskog upravljanja je onemogućeno. Ovom se mjerom podiže nivo zaštite radnika što održavaju visokonaponsku opremu.
— Upravljanje s lokalne komandne ploče i centra za daljinsko upravljanje (CDU) međusobno se blokira pomoću jedne preklopke za cijelo postrojenje, kojom se upravljački napon 48 V = usmjerava ili prema upravljačkim organima na komandnoj ploči ili prema izvršnim kontaktima u uređaju DUSM. Ova mjera sprečava da nenadležne osobe izvrše neželjene manevre.

Ostale upravljačke blokade su funkcija uklopnog stanja aparata, kao npr:

— blokada rastavljača ovisno o uklopnom stanju prekidača
— blokada sabirničkih rastavljača međusobno
— blokada sabirničkih rastavljača ovisno o uklopnom stanju aparata u spojnom polju
— blokada vodnog rastavljača ovisno o uklopnom stanju rastavljača za uzemljenje, a eventualno i ostale blokade se izvode na uobičajeni način na nivou upravljačkog napona 220 V = kako je to prikazano na sl. 7.

2.2. Signalizacija

Signalizacija položaja sklopnih aparata riješena je također na dva načina i to:

— Izravnim (direktnim) djelovanjem signalnih sklopki aparata na pokazivače položaja u komandnim ormarima, signalizacioni napon je 220 V =.
— Posrednim (indirektnim) postupkom, pri čemu se za svako uklopno stanje svakog aparata uključuje po jedan signalizacioni međurelej sa 3 para kontakata (»Iskra« PR59 ili PR41c) odakle se dalje razvode signalizacije prema:
  — komandnoj ploči
  — uređaju za lokalnu obradu događaja
  — uređaju za daljinsko upravljanje, signalizaciju i mjerenje (DUSM).

Veza između signalnih sklopki aparata i svitaka međureleja signalizacija izvodi se istosmjernim naponom 220 V, dok kontakti ovih releja, ili uključuju krugove sa 48 V = (za signalizaciju na ploči) ili su beznaponski (za ulaz u elektroničke uređaje).

Isti princip signalizacije vrijedi i za lokalno i daljinsko informiranje o proradama zaštitnih uređaja, o stanju aparata u krugovima pomoćnih i mjernih napona, o stanju uređaja u pomoćnim pogonima postrojenja, te o drugim alarmima.

Navedeni međureleji — osim svoje izolacione funkcije — omogućuju stvaranje skupnih (sumarnih) signala, što je važno u sustavu daljinskog nadzora.

Za razliku od upravljanja, koje je u danom momentu omogućeno samo s jednog mjesta (ormar, komandna ploča ili daljinski), signalizacije se neprestano šalju prema svim navedenim mjestima, bez obzira odakle se vrši upravljanje.

2.3. Mjerenja

Pokazni instrumenti na ploči kao i brojila radne i jalove energije priključuju se na uobičajeni način, tj. izravno na krugove mjernog napona (100 V) ili i mjerne struje (1A). Eventualni mjerni pretvarači (u ovom slučaju samo mjerni pretvarač snage — MPW) priključuju se na iste mjerne grane. Princip da su sva mjerenja na ploči istosmjerna, tj. preko mjernih pretvarača je u ovom slučaju odbačen kao nepodesan, to više što se na tržištu mogu naći pogodni mikro-pokazni instrumenti za 100 V i 1A. Međutim u slučaju objekata mreže 220 i 380 kV sa tzv. »mjernim kabinama« u postrojenju, sva će mjerenja na ploči biti istosmjerna (0 — 10 mA ili — 5/0/ + 5 mA).

3. Lokalna obrada događaja

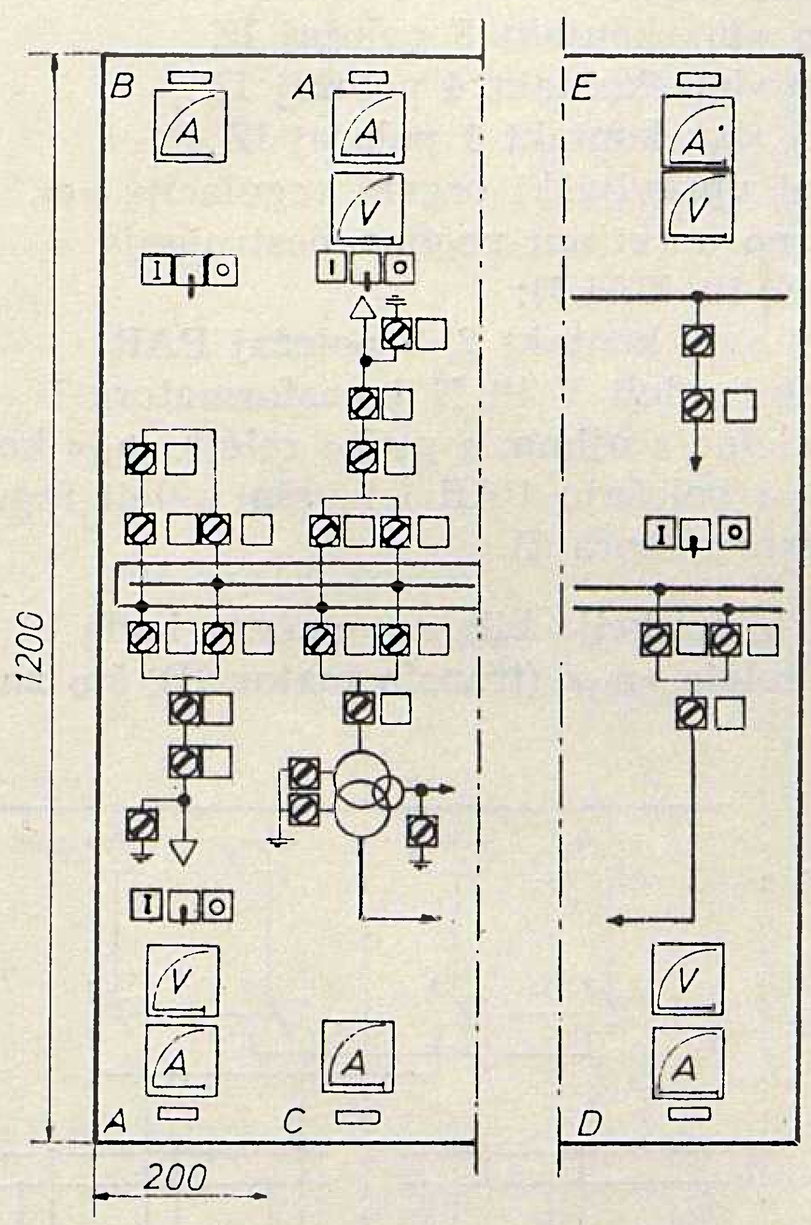
Lokalna obrada podataka u jednom daljinski nadziranom i upravljanom postrojenju (koje međutim mora biti i sposobno za pogon s lokalnim upravljanjem), volumen informatike koji se obrađuje, kao i način prezentiranja informacija, ovisni su o usvojenoj koncepciji cijelog sustava daljinskog nadzora i upravljanja.

U slučaju »Elektroprenosa« — Zagreb, a na osnovi dosadašnjeg sagledavanja, slanje i obrada informacija bila bi slijedeća:

— Prema centrima daljinskog upravljanja (za njihove vlastite potrebe, te za retransmisiju prema dispečerskom centru) prenositi sve informacije u uklopnom stanju rasklopnih aparata prijenosne mreže uz najnužnije (pojedinačne ili sumarne) alarme o djelovanju zaštitnih uređaja ili drugih naprava u postrojenju, koje indiciraju izvjesne nepravilnosti ili smetnje. Operator u centru daljinskog upravljanja (koji upravlja sa 5 — 20 postrojenja) treba raspolagati samo s osnovnim indikacijama o neraspoloživosti pojedinih elemenata dijela sistema kojeg nadzire i kojim upravlja. Ocijenjeno je, da bi preveliko nagomilavanje informacija u centru upravljanja otežavalo rad operatora uz mogućnost gušenja sistema za prijenos i obradu informacija. (Ovo posljednje je donekle posljedica mogućnosti i cijena ponuđene opreme).
— Na komandnoj ploči u postrojenjima treba da postoji sva uobičajena informatika o uklopnom stanju kao i uobičajena svjetlosno-zvučna sig-

nalizacija o proradama i djelovanju zaštitnih uređaja, te o drugim alarmima iz postrojenja. U slučaju daljinskog upravljanja i nadzora, djelovanje alarmne signalizacije na komandnoj ploči mora biti lsključeno.

— U uređaju za obradu događaja moraju se uvesti i obraditi, te na pogodni način registrirati svi alarmi koji mogu detaljnije objasniti same događaje, kao i kronološki poredak njihovog nastanka. Prema tome od ovih se uređaja traži:
  — dovoljni kapacitet ulaznih i memorijskih članova,
  — dovoljna točnost u razlikovanju vremena nastanka događaja,
  — mogućnost korekcije lokalnog sata s vanjskim impulsom (distribucija točnog vremena),
  — dovoljna veličina poruke i brzina zapisa događaja, no tako da to ne ide na štetu lakog dešifriranja zapisane poruke.



pokazivač položaja
tipkalo sa sijalicom
izbor polja
instrument 96x96mm
natpisna pločica

A vodno polje 110 kV
B spojno polje 110 kV
C trafo polje 110 kV
D trafo polje 35 kV
E trafo polje 10 kV (tercijar)

Sl. 8. Principijelno rješenje komandne ploče (L. 5)

Prema dosadašnjim razmatranjima radi se o uređajima ulaznog kapaciteta 400 signala (postrojenja 110 kV) do 1200 signala (postrojenja 380 kV), s vremenom razlikovanja signala reda 10 msek, s kapacitetom memorije 8 — 12% od ulaznog kapaciteta, sa zapisom u numeričkom kodu (uz korištenje još nekih pomoćnih znakova), te vremenom zapisa reda 400 m sek po informaciji. U slučaju korištenja procesnog računala u objektu (npr. postrojenja 380 kV mreže), zapis informacije će biti sa alfa-numeričkim kodom, ali sa znatno dužim vremenom trajanja registracije jedne informacije.

Za postrojenja 110 kV mreže u obzir dolaze isključivo uređaji sa krutim ožičenjem koji moraju imati slijedeće izlaze:

— zapis (sve informacije),
— optički alarmi (neke informacije),
— jedan ili nekoliko zvučnih alarma.

Uređaji koji ispunjavaju prethodno postavljene zahtjeve proizvode ove domaće organizacije:

— Institut »Mihajlo Pupin« — Beograd, uređaj tipa DD—2,
— »Iskra« — Zavod za avtomatizacijo — Ljubljana, uređaj tipa DL—670,
— Elektrotehnički institut »Rade Končar« — Zagreb, parcijalne uređaje tipa JAL—01/02 + + KRD—01, te kompletne uređaje tipa SRD —110.

4. Opremanje komandne ploče

Način upravljanja i signalizacije, prethodno opisane, zahtijeva posebno rješenje komandne ploče. Razmatrane su dvije solucije:

— Opremanje ploče na uobičajeni način, tj. sa komandno-potvrdnim sklopkama,
— Opremanje ploče sa pokazivačima položaja (za indikaciju sklopnog stanja), te sa tipkalima (za izdavanje komandi).

U oba slučaja dolaze u obzir mikro-aparati za napon 48 V. Izvedba ploče, osim za najveće objekte, predviđena je na uobičajeni način (limena izvedba), a ne mozaik s obzirom na njegovu visoku cijenu. Kompariraći ova rješenja utvrđeno je da varijanta »pokazivači + tipkala« bolje odgovara za jedan režim pogona daljinskog nadzora i upravljanja uz povremeno lokalno upravljanje. Radi se naime o tode da ploča koja je opremljena pokazivačima položaja automatski korigira sinoptičku sliku sheme ovisno o uklopnom stanju aparata, dok je za to — u slučaju korištenja komandno-potvrdnih sklopki — potrebna ljudska intervencija. Međutim komandno-potvrdne sklopke imaju tu prednost, da svojim treptajućim svjetlom privlače pažnju operatora samo na onaj element ploče koji nije usklađen sa stvarnim stanjem.

Kako ploča opremljena pokazivačima položaja ima prednost u statičkom stanju nadziranog ob-

jekta, a ploča sa komandno-potvrdnim sklopkama u prelaznim stanjima, to će se manjkavost prvog rješenja nastojati umanjiti dovođenjem na ploču jednom sumarnog alarma o izvršenju svakog manevra ili pojave alarma iz jednog polja.

Da bi se, u izvedbi s tipkama, osiguralo od nehotičnog izvršenja krivih manevara, predviđa se višestruko izborno upravljanje i to:

— izbor polja
— izbor aparata
— izbor i izvršenje manevra.

Na sl. 7 dana je pojednostavljena shema upravljanja i povratne signalizacije u jednom vodnom polju 110 kV, a na sl. 8 prikaz karakterističkih dijelova za predloženu komandnu ploču TS 110/35/10 kV Jarun.

Ovdje su korišteni mikro-elementi za komandne ploče proizvodnje »ASEA« modul 30, s kojima, na osnovi ugovora o kooperaciji, »Rade Končar« — Zagreb — Tvornica rasklopnih uređaja Sesvetski Kraljevac, može opremati i isporučivati komandne ploče.

5. Regulacija napona

Osim upravljanja sklopnih aparata u jednom daljinski nadziranom i upravljanom postrojenju dolazi do potrebe da se daljinski upravlja i funkcijama koje su vezane uz regulaciju napona na transformatorima 110/35 kV i eventualno 220/110 kV. Funkcije kojima treba daljinski upravljati (uz prijenos odgovarajuće povratne signalizacije) za dva ili više regulaciona transformatora u jednom postrojenju su:

— izbor režima pogona transformatora (individualni ili paralelni pogon),
— izbor režima rada regulacije (ručna ili automatska regulacija),
— ručna regulacija napona odabranog transformatora (više ili niže).

Sve te mogućnosti izbora već postoje u postrojenjima, no one su izvedene tako da je moguć samo lokalni izbor funkcija (izvedba sa višepoložajnim preklopkama). Potrebno je dakle iste funkcije riješiti sa relejnim sustavima uz mogućnost lokalnog i daljinskog upravljanja.

Na sl. 9 dano je principijelno rješenje jednog sklopa koji obuhvaća sve funkcije, uz zadovoljenje traženih blokada. Ovo je rješenje obrađeno do uključivo svitaka izvršnih releja regulacija (napon 48 V =) odakle se dalje razvijaju krugovi koji su svojstveni za svaki tip regulacione sklopke (napon 220 V =).

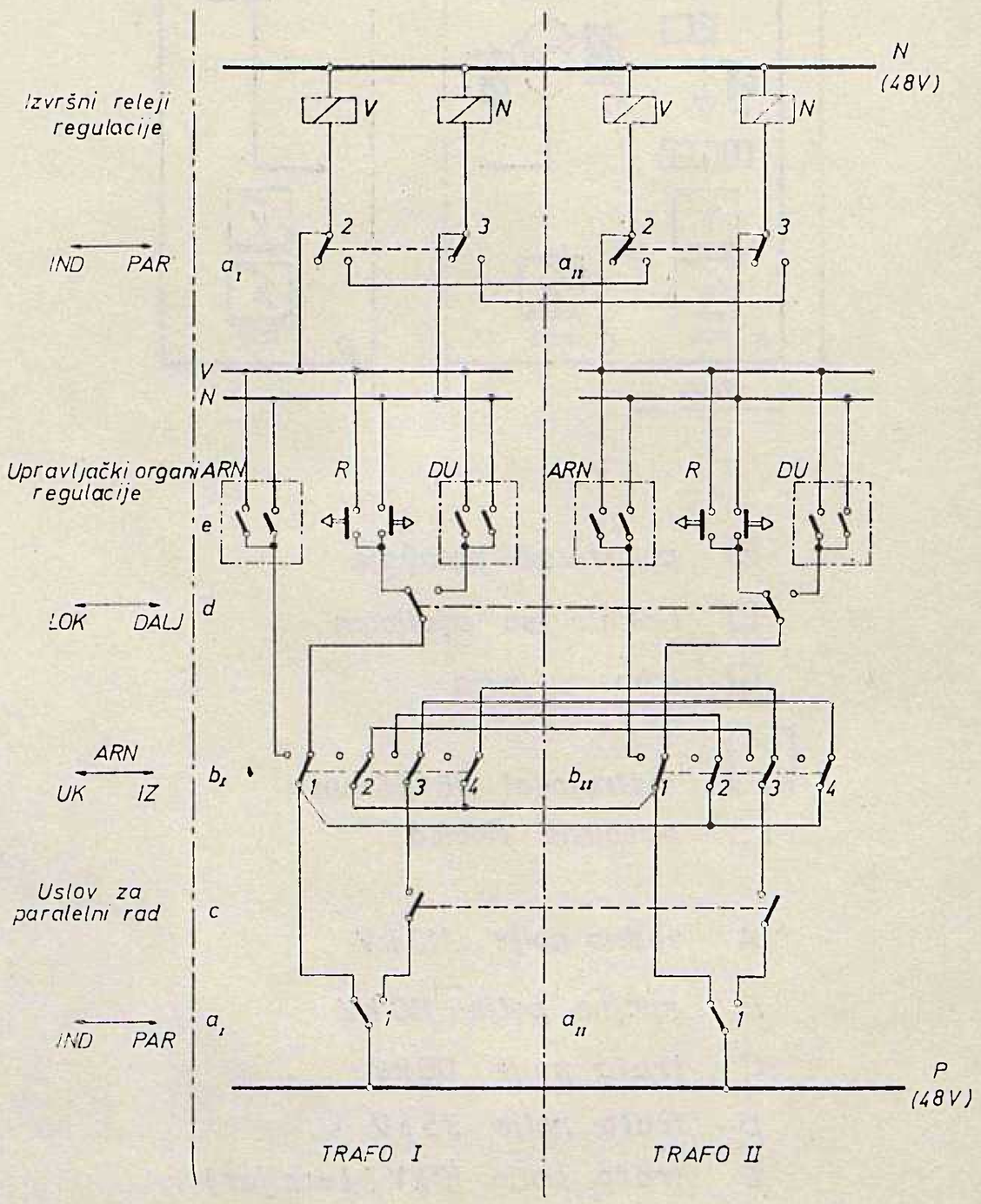
Položaj releja »a« (kontakti 1, 2, 3) ovisan je o izabranom režimu pogona transformatora (IND-PAR). U slučaju IND (naznačen na slici) upravljački napon (+ 48 V) prosljeđuje se do releja »b« (kontakt 1) koji određuje uključno stanje regulatora (ARN — UK ili IZ), te prema tome i način regulacije (automatski ili ručni). U slučaju uklopnog stanja releja »b« na ARN — UK — upravljački napon upućuje se na izvršne kontakte regulatora, preko njih na odgovarajuće svitke izvršnih releja regulacije (V ili N).

U slučaju pak da je relej »b« u poziciji ARN-IZ (kako je naznačeno na slici) moguća je ručna regulacija. Ovisno o položaju izborne preklopke »d« koja određuje režim pogona cijelog postrojenja (LOK-DALJ), upravljački napon (+ 48 V) se upućuje ili na lokalna tipkala regulacije ili na odgovarajuće kontakte u uređaju DUSM, a zatim na izvršne releje regulacije (V ili N), kao i u prijašnjem slučaju.

Ako je pogon dvaju transformatora u paraleli, a sam režim regulacije ručni, tada se upravljački napon (+ 48 V) prosljeđuje slijedećim redoslijedom:

— relej »a« kontakt 1 položaj PAR
— kontakti »c« zatvoreni (ispunjen uvjet za paralelni rad)
— relej »b_I« kontakt 3 položaj IZ
— relej »b_{II}« kontakt 4 položaj IZ
— relej »b_I« kontakt 1 položaj IZ
— ručni upravljački organi regulacije »e«
Ovisno o režimu pogona postrojenja (LOK ili DALJ):
— relej »a_I« kontakt 2, 3 položaj PAR
— izvršni releji V ili N transformatora I
— paralelno s njima, a preko releja »a_{II}« kontakti 2, 3 u položaju PAR i izvršni releji regulacije transformatora II.

Ista bi funkcija bila omogućena kada bi se pošlo od releja »a_{II}« (transformator II), što znači da



Sl. 9. Principijelna shema regulacije napona (L. 5)

se u ovom slučaju može davati ručni nalog za regulaciju oba transformatora sa bilo kojeg ručnog upravljačkog organa (e).

Međutim u slučaju paralelnog rada dvaju transformatora pri automatskoj regulaciji napona, potrebno je odrediti »vodeći transformator«, tj. onaj transformator čiji će automatski regulator biti uključen. Prema tome u ovoj kombinaciji oba releja »a« moraju biti u položaju PAR, a releji »b« jedan u položaju ARN — UNK, dok drugi u položaju ARN — IZ.

Ako bi u ovom režimu pogona uključili oba regulatora, regulacija se ne bi izvršavala. Oba se stanja lako mogu utvrditi, na identični način kao u prijašnjem slučaju na shemi sl. 9.

Sama realizacija ovih funkcija može biti na dva načina:

— ili da se izvede onako kako je opisano, tj. da upravljanje bude na način »korak po korak«, omogućavajući time da uklopničar učini i izvjesne logičke greške (u kome slučaju je regulacija blokirana).
— ili da se biraju željene funkcije, pri čemu lokalna automatika onemogućava postavljanje nelogičkih kombinacija.

Rješavajući obje varijante konstatirali smo da je u prvom slučaju veće zauzeće telekomandnog uređaja uz relativno jednostavnu automatiku u postrojenju. U drugom rješenju automatika se veoma komplicira, pogotovo u slučaju konkretno rješavanog postrojenja (TS Jarun) sa 3 transformatora i 2 — 3 regulatora. Očito je da će konačno rješenje ovisiti o mogućnosti dobave pomoćnih releja odgovarajuće kvalitete i s dovoljnim brojem kontakata, što je ujedno i jedan od najvećih problema u svim razmatranjima prilagođenja postrojenja telekomandnoj opremi.

Zaključak

Od mnogo problema koje sa sobom nosi uvođenje sustava daljinskog nadzora i upravljanja u mrežu za prijenos električne energije, prilagođenje opreme u objektima prijenosne mreže na opremu teleinformatike predstavlja jedan od ključnih problema. Ovdje su bili prikazani načini kako se ovi problemi rješavaju u postrojenjima »Elektroprenosa« — Zagreb. Sigurno je, da postoji još mnogo načina kako se ova problematika može riješiti, a u skladu s općom koncepcijom upravljanja i nadzora. Međutim sigurno je, da će svaki pokušaj improvizacije, svako necjelovito rješenje prilagođenja postrojenja na elektroničku opremu teleinformatike brzo dovesti do otkazivanja rada cijelog sistema daljinskog nadzora i upravljanja i do njegovog kompromitiranja. A kako jedan takav događaj može dovesti do veoma neugodnih elektro-političkih posljedica, (pa čak i do zaključaka da telekomanda nije pogodna ni dovoljno sigurna za naše prilike), to više je opravdano da se ova problematika studira i riješi onako, kako najbolje odgovara sistemu u cjelini.

Literatura:

1. H. Lautensach: *Izvještaj o problematici automatiziranih postrojenja* — Dokument radne grupe za pogonsku problematiku U.C.P.T.E. 1972.
2. B. Radmilović: *Daljinsko upravljanje postrojenjima prijenosne mreže — Zbornik referata* IV. Savjetovanje o eksploataciji i izgradnji TS, RP i DV prijenosne mreže Jugoslavije — Sarajevo 1971.
3. B. Radmilović, M. Marić, J. Kljaić: *Sheme djelovanja i vezivanja 110 kV vodnih polja u EVP Ludina i Andrijevci.* »Elektroprenos«, Zagreb 1972.
4. E. Mileusnić, M. Majić, B. Radmilović: *Izvještaj o obilasku postrojenja sa daljinskim upravljanjem u nekim elektroprivrednim organizacijama Nizozemske i SR Njemačke.* »Elektroprenos«, Zagreb, 1970.
5. B. Radmilović, M. Majić, J. Kljajić: *Prijedlog shema djelovanja dijela postrojenja TS 110/35/10 kV Jarun.* »Elektroprenos« — Zagreb, 1973.

Naslov pisaca: B. Radmilović, dipl. ing., M. Marić, dipl. ing., »Elektroprenos«, Zagreb

ANALIZA PARAMETARA GENERATORA NE KRŠKO S OBZIROM NA DINAMIČKU STABILNOST SISTEMA 400 kV

M. Mehmedović — M. Kajari — Ž. Petrović, Zagreb

Da bi se utvrdili najpovoljniji parametri generatora buduće nuklearne elektrane Krško izvršeno je na elektrodistributivnoj mreži Jugoslavije niz ispitivanja stabilnosti sistema kod kratkog spoja na vodu 400 kV Zagreb—Osijek i kod ispada eletkrane. Utvrđen je utjecaj pojedinih parametara i predloženi su najbolji

DK 621.313.12

1. Uvod

Istraživanje ponašanja elektroenergetskog sistema u prijelaznim stanjima postavlja se uvijek kao jedan od važnijih zadataka pri njegovoj gradnji, proširenju ili eksploataciji.

Prijelazna stanja elektroenergetskog sistema razvijaju se poslije velikih smetnji unešenih u sistem kao: tropolni kratki spoj na linijama elektroprijenosa, otključenje prijenosnih linija, u režimu opterećenja, otključenjem izvora generatora ili elektrana i slično.

Svako prijelazno stanje sistema karakterizirano je procesom, tijekom kojeg se mijenjaju parametri režima sistema po određenim zakonima.

Da bi se jedan takav proces mogao simulirati prije same simulacije je potrebno:

— definirati model elektroenergetskog sistema kako u smislu njegove veličine, tako i u smislu stupnja detaljiziranja, što je ovisno o cilju postavljenog zadatka;

— odrediti izvjesno stacionarno stanje modela elektroenergetskog sistema koje će biti karakterizirano poznavanjem vrijednosti svih parametara režima prije nastupa smetnje.

1.1 Istraživani sistem. Stacionarno stanje

Na sl. 1. prikazana je konfiguracija dijela mreže SFRJ sa izvorima i linijama elektroprijenosa. Budući da je glavni cilj rada bio da se podrobnije istraži ponašanje nuklearne elektrane Krško, suvislost i veličina mreže odabrani su s tog stanovišta. Konfiguracija i veličina mreže zadana je od elektroprivrednih stručnjaka po čijem je mišljenju to minimalna mreža koja bi mogla biti izgrađena do časa puštanja NE Krško u pogon.

Na slici 1 lako je uočljiva i otvorenost veze na 400 kV nivou što valja imati u vidu pri analiziranju ponašanja elektroenergetskog sistema u prijelaznim režimima.

U model sistema unesen je utjecaj Primorskih i Dravskih elektrana ekvivalentiranjem. Utjecaj je uzet u obzir prema dva ekvivalentna izvora (HE) sa slijedećim parametrima (Tablica 1):

Tablica 1

	EKV »Primorje«	EKV »Drava«
S_n	3.	1.18
X_d	0.329	1.164
X_q	0.224	0.615
X'_d	0.080	0.368
$2H$ (sek)	23.115	7.173

Ovdje je:

X_d — ekvivalentna sinhrona reaktancija u d osi;
X_q — ekvivalentna sinhrona reaktancija u q osi;
X'_d — ekvivalentna tranzijentna reaktancija;
$2H$ — konstanta inercije.

U tablici 1 vrijednosti navedenih parametara su dane u odnosu na vrijednosti:

— bazne snage: $S_B = 500$ MVA
— baznog napona: $U_B = 400$ kV.

Budući da je konfiguracija elektroenergetskog sistema definirana, moglo se prići proračunu stacionarnog stanja. Proračun stacionarnog stanja proveden je na osnovi metode koja primjenjuje matricu impedancija čvorova, a u literaturi se navodi kao »metoda nulte ostatne struje« (L1). Čvorovi mreže podijeljeni su u tri skupine:

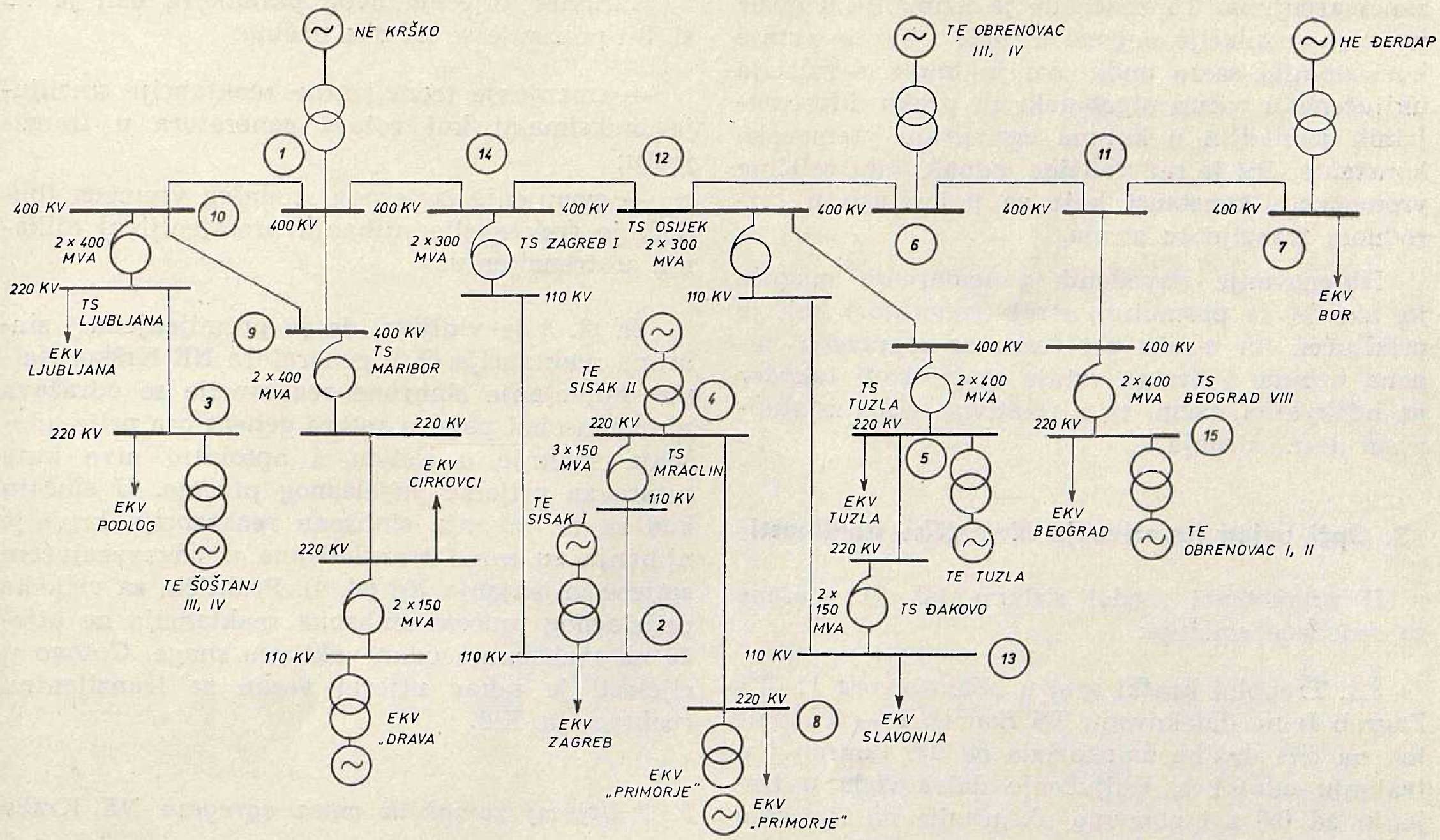
— čvorovi snage (potrošački i pasivni (P, Q),
— generatorski čvorovi (P, $\overline{V}$),
— balansni čvorovi ($\overline{V}$, kut),

pa se kao takvi moraju uzeti u obzir pri proračunu stacionarnog stanja. Prijenosne linije su modelirane tzv. uzdužnim i poprečnim admitanciama, pri čemu se poprečne admitancije uzimaju u obzir modificiranjem struja injektiranih u čvorove mreže. Transformatori su modelirani samo uzdužnom nadomjesnom shemom. Potrošači su u stacionarnom stanju predstavljeni iznosom aktivne i reaktivne snage, a u prijelaznom procesu konstantnom impedancijom. Za konkretan sistem (sl. 1) provedena su 2 proračuna stacionarnog stanja i to za slučajeve:

a) Elektrana NE Krško uvodi u sistem aktivnu snagu od 675 MW;
b) Elektrana NE Krško uvodi u sistem 772.5 MW.

O modelu generatora bit će poslije više riječi. Kad su dobiveni rezultati o naponima i snagama na svim čvorovima mreže, provjerena su stacionarna stanja pod a) i b). Metoda kojom se provjerava stacionarno stanje svodi se na ispitivanje korijena karakterističnog polinoma dobivenog iz jakobijane sistema s jednostavnijim utjecajem regulacije uzbude generatora.[1] Predznak i karakter korjena ukazuju na regularnost stacionarnog stanja. Iako upotrebljena metoda predstavlja način istraživanja periodske statičke stabilnosti, uka-

[1] Konstantnost napona iza sinhrone reaktancije



Sl. 1. Konfiguracija dijela mreže SFRJ 1978.

zuje i na aperiodsku statičku stabilnost. Ukoliko su dobiveni korjeni realni i negativni sistem je i aperiodski statički stabilan, jer je u tom slučaju slobodni član karakterističnog polinoma sigurno veći od nule. Put istraživanja isključivo aperiodske statičke stabilnosti zahtijevao bi i promjenu metode proračuna stacionarnog stanja (zbog eficijentnosti računa). U tu svrhu primijenili bismo Newton-Raphsonovu metodu pomoću koje nije teško pratiti predznak slobodnog člana u karakterističnom polinomu (determinanta jakobijane) i na kraju određivanja stacionarnog stanja konačno zaključiti na aperiodsku statičku stabilnost cijelog sistema.

2. Fizikalni uvjeti modela generatora u razmatranju prijelaznog procesa u cijelom sistemu

Modeliranje generatora u prijelaznom procesu provedeno je uz ove uvjete:

a) zanemaruju se elektromagnetski prijelazni procesi u dodatnim krugovima rotora;
b) zanemaruje se elektromagnetski prijelazni proces u armaturnom krugu, pri čemu je istovremeno potrebno zanemariti utjecaj promjene brzine vrtnje na armaturni napon;
c) zanemaruje se zasićenje u željezu (usvaja se pretpostavka linearne krivulje magnetiziranja);
d) elektromagnetski prijelazni proces odvija se isključivo u uzbudnom krugu (uzbudni namot);
e) elektromehanički prijelazni proces se uz uvjet d) opisuje još jednadžbom rotora.

Zanemarenje pod a) može se djelomično izbjeći, ako se u jednadžbi gibanja pod e) uključi i član proporcionalan brzini vrtnje, pri čemu je konstanta proporcionalnosti dana konstantom prigušenja D. Tretiranje elektromagnetskog prijelaznog procesa u dodatnim krugovima u rotoru u cijelosti, prouzrokovala bi ineficijentnost računanja, jer su subranzijentni procesi brži za jedan ili dva reda veličine od tranzijentnih procesa, pogotovo kad se uzme u obzir da su i brzine prijelaznih procesa u elektroprijenosnom sistemu otprilike istog reda veličine kao i brzine subptranzijentnih pojava u generatoru. Inficijentnost računa bi se prema tome sastojala u tretiranju ogromnog broja diferencijalnih jednadžbi u kojima egzistiraju male vremenske konstante (dužina računanja).

S druge strane, zanemarenje pod b) je nužno sve dotle, dok je mreža tretirana algebarskim jednadžbama (konstantnost operatora koji opisuje elektroprijenosni sistem). Istovremeno zanemarenje utjecaja promjene brzine vrtnje na armaturni napon je ekvivalentno izbjegavanju pogreške nastale zbog zanemarenja elektromagnetskog prijelaznog procesa u armaturi (vremenskih promjena tokova u uzdužnoj i poprečnoj osi stroja).

Uvjetima pod d) i e) mogu biti pridodane još i mogućnosti uzimanja u obzir regulacije napona uzbude i brzine vrtnje, no tako dugo dok je tretiranje takve regulacije u skladu s navedenim

zanemarenjima. To znači, da je uzimanje u obzir utjecaja regulacije napona uzbude i brzine vrtnje konzistentno samo onda ako je takva regulacija uključena u račun algebarski ili preko diferencijalnih jednadžbi u kojima egzistiraju vremenske konstante, čiji je red veličine jednak redu veličine vremenskih konstanti koje se pojavljuju u prirodnom tranzijentu stroja.

Izbjegavanje navedenih zanemarenja moguće je, ako bi se promatrao stroj (generator) koji je priključen na mrežu pri čemu se regulacija napona uzbude i brzine vrtnje može uzeti također na adekvatan način, tj. s relativno visokim stupnjem detaljiziranja.

3. Opći uvjeti istraživanja dinamičke stabilnosti

U promatrani model sistema (sl. 1) unesene su slijedeće smetnje:

3.1. Tropolni kratki spoj u blizini čvora 14 (TS Zagreb I) na dalekovodu TS Zagreb I — TS Osijek na 5% dužine dalekovoda od TS Zagreb I u trajanju od 0.1 s, isključenje dalekovoda u trajanju od 0.3 s i ponovno uključenje na ispravno sklopno stanje.

3.2. Isključenje generatora NE Krško iz režima normalnog opterećenja za dva slučaja koja odgovaraju navodu u 1.1.

Za slučaj 3.1 istraživao se utjecaj slijedećih parametara generatora NE Krško:

3.1.1 Tranzijentne reaktancije generatora: X'd

3.1.2 Zamašnih masa agregata: GD^2

3.1.3 Stropnog napona uzbude: Vmax (v. E 41187)

3.1.4 Faktora pojačanja po naponu generatora za slučaj kad je veza: napon generatora — uzbudni napon bezinerciona (v. E 41187). U istraživanjima pod 3.1.1 i 3.1.2 za sve elektrane u sistemu usvojena je pretpostavka konstantnog ulančenog toka s uzbudnim namotom. Pri tome se napon uzbude mijenja tako da ta pretpostavka bude zadovoljena (anticipirano).

3.1.1. *Utjecaj tranzijentne reaktancije*

Usvojimo li kao funkciju maksimalni kut rotora generatora u tranzijentu, a kao varijablu tranzijentnu reaktanciju NE Krško (X'd), dobijemo ovisnost prikazanu na sl. 2. Na toj slici dane su te ovisnosti za sve generatore.

Utjecaj tranzijentne reaktancije generatora elektrane NE Krško na ponašanje nekih elektrana u tranzijentu je ovisan o mjestu smetnje i mjestu dotične elektrane u sistemu. Utjecaj ovog parametra je najveći na bliske elektrane: TE Sisak, TE Šoštanj, EKV »Drava« i, naravno, na NE Krško.

Karakter utjecaja ovog parametra dan je na sl. 3 i pokazuje se na dva načina:

— smanjenje tranzijentne reaktancije smanjuje maksimalni kut rotora generatora u tranzijentu;

— smanjenje izvjesnog srednjeg vremena (budući je frekvencija njihanja promjenljiva) njihanja u tranzijentu.

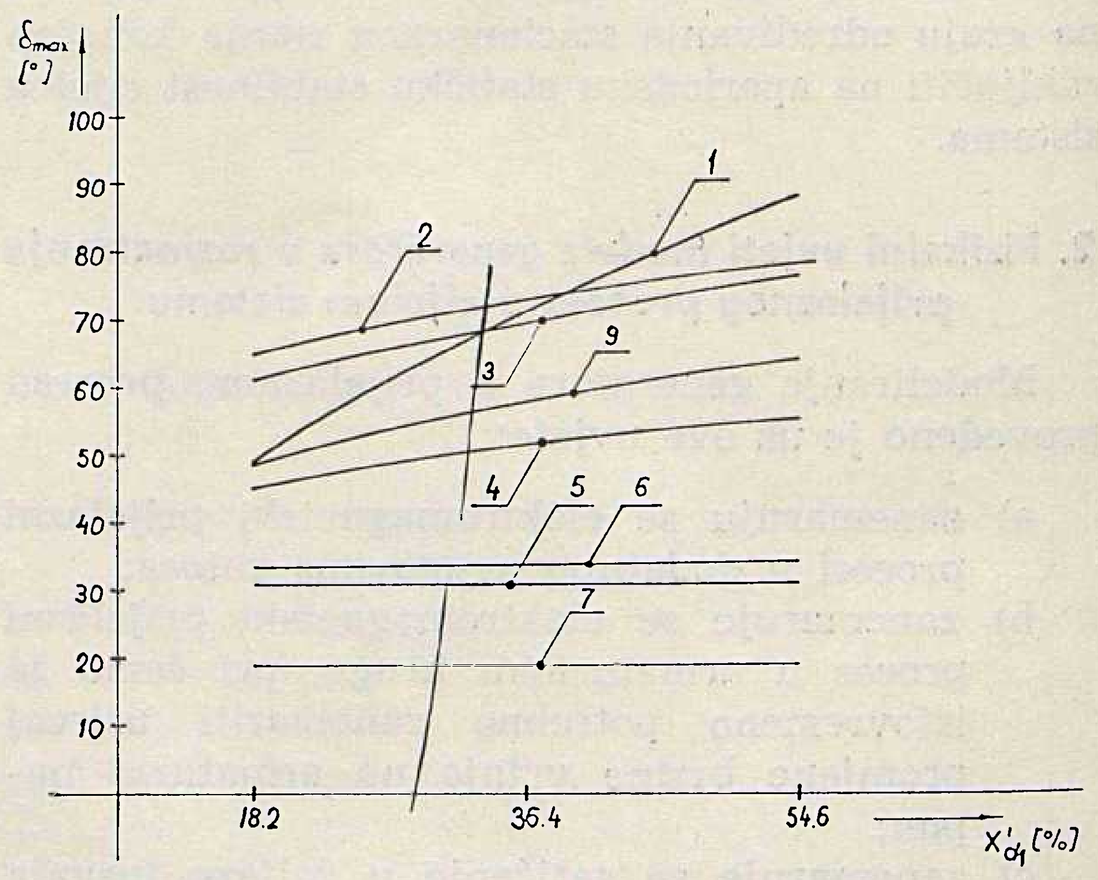
Sa sl. 3 je vidljivo, da je promijenjena i sinhrona reaktancija (Xd) generatora NE Krško. Naime, mijenjanje sinhrone reaktancije se odražava na međusobni položaj rotora generatora prije unošenja smetnje u sistem, i apsolutni nivo kuta rotora za vrijeme prijelaznog procesa. U slučaju kad se ne mijenja sinhrona reaktancija krivulje njihanja su samo translatirane u odgovarajućem smjeru mijenjanja Xd (sl. 4). Praktički za vrijeme prijelaznog procesa sinhrona reaktancija ne utječe na maksimum odane aktivne snage. Gotovo u cijelosti je takav utjecaj vezan za tranzijentnu reaktanciju X'd.

3.1.2 *Utjecaj zamašnih masa agregata NE Krško*

Razmotrimo zatim utjecaj mijenjanja zamašnih masa agregata NE Krško na dinamičku stabilnosti cijelog sistema. Uzimajući pak za funkciju maksimalni kut rotora generatora, ali u ovisnosti o zamašnim masama, dobijemo za pojedine elektrane utjecaj kakav je ilustriran na sl. 5.

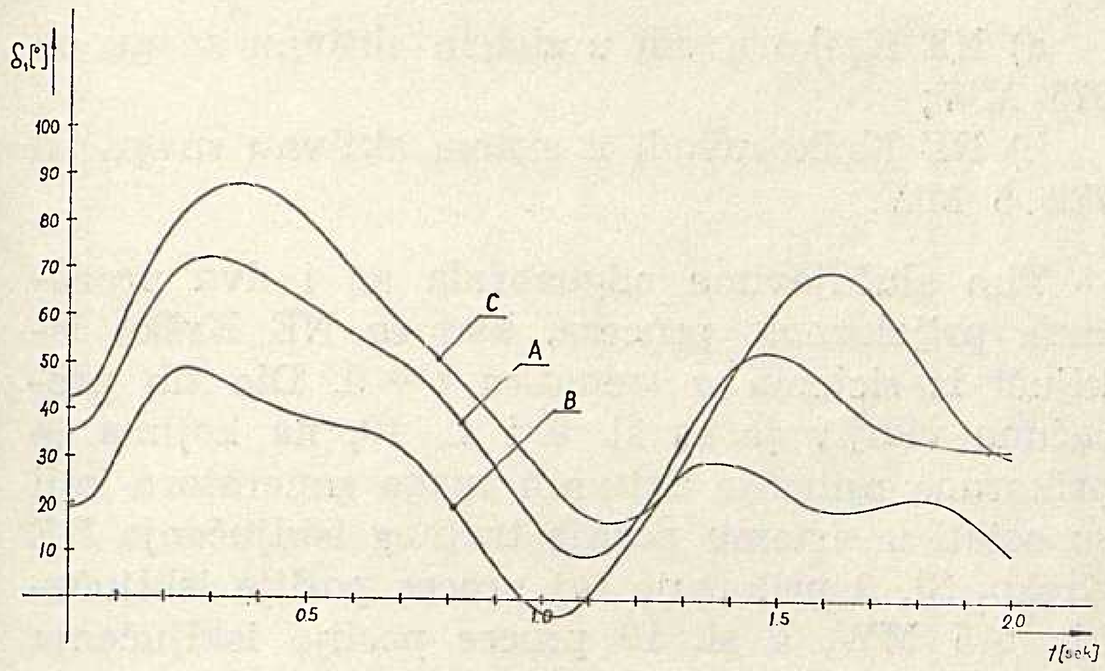
Utjecaj zamašnih masa agregata NE Krško se odražava slično kao i utjecaj tranzijentne reaktancije, s obzirom na mjesto elektrane u sistemu.

Najveći utjecaj promjene spomenutog parametra se osjeća kod bliskih elektrana.



Sl. 2. Utjecaj tranzijentne reaktancije generatora NE Krško u slučaju K 3 na DV Zagreb—Osijek 0.1/0.4 s

1 NE Krško
2 TE Sisak 110
3 TE Šoštanj III, IV
4 TE Sisak 220
5 TE Tuzla III, IV
6 TE Obrenovac III, IV
7 HE Đerdap
9 EKV »Drava«



Sl. 3. Utjecaj tranzijentne reaktancije na ponašanje generatora NE Krško za slučaj K 3 na DV Zagreb—Osijek 0.1/0.4 s

A . . . $x_d' = 36.4\%$ B . . . $x_d' = 18.2\%$ C . . . $x_d' = 54.6\%$

Pogledamo li sl. 6. na kojoj je prikazan utjecaj promjene zamašnih masa na karakter prijelaznog procesa, ustanovljujemo dva utjecaja kad se zamašne mase smanjuju:

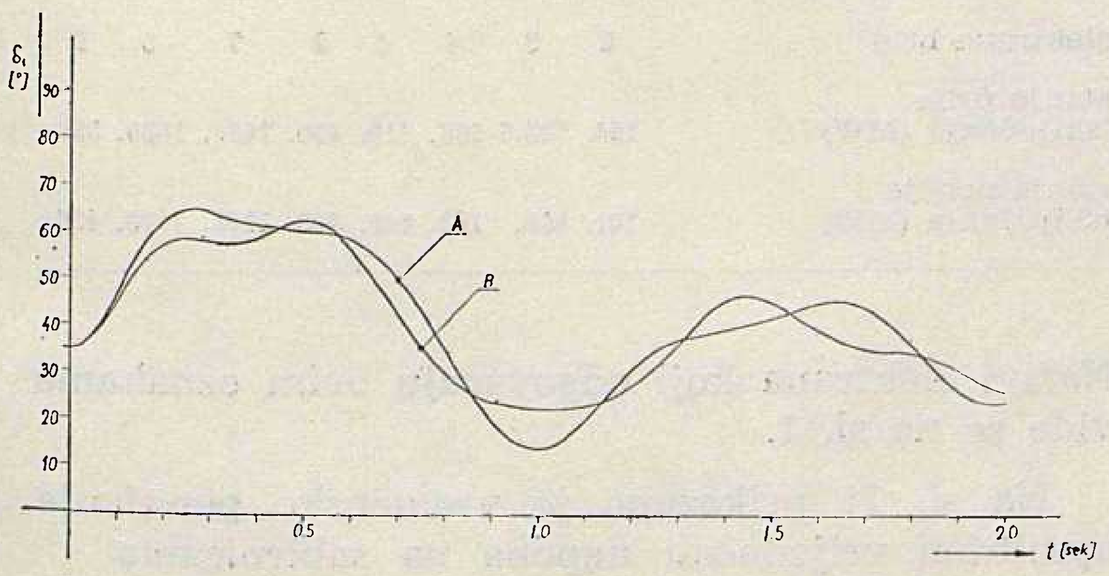
— povećavanje amplitude njihanja rotora generatora pojedinih elektrana;
— povećanje frekvencije njihanja rotora.

Amplitudni utjecaji tranzijentne reaktacije i zamašnih masa na karakter prijelaznog procesa, kada se ti parametri mijenjaju u istom smislu, su upravo obrnuti jedan drugome. Međutim, frekventni utjecaji su sličnog karaktera.

Utjecaj zamašnih masa agregata je ilustrativniji, ako se promatra maksimalno trajanje kratkog spoja. Ako bismo to vrijeme htjeli povećati, npr. za 2 puta, zamašne mase bi morale porasti za 4 puta. Inače, maksimalno trajanje kratkog spoja uz tako iskazani utjecaj je vezano za maksimalni kut rotora generatora poslije kojeg bi njihanja još uvijek imala sinhroni karakter i ne bi težila narušavanju dinamičke stabilnosti.

3.1.3 *Utjecaj stropnog napona uzbude generatora NE Krško*

Ako uzmemo da je iznos uzbudnog napona u stacionarnom stanju jedan, tada je Vmax maksimalni iznos stropnog napona, kakav može dati uzbudni sistem generatora u odgovarajućim uvjetima.



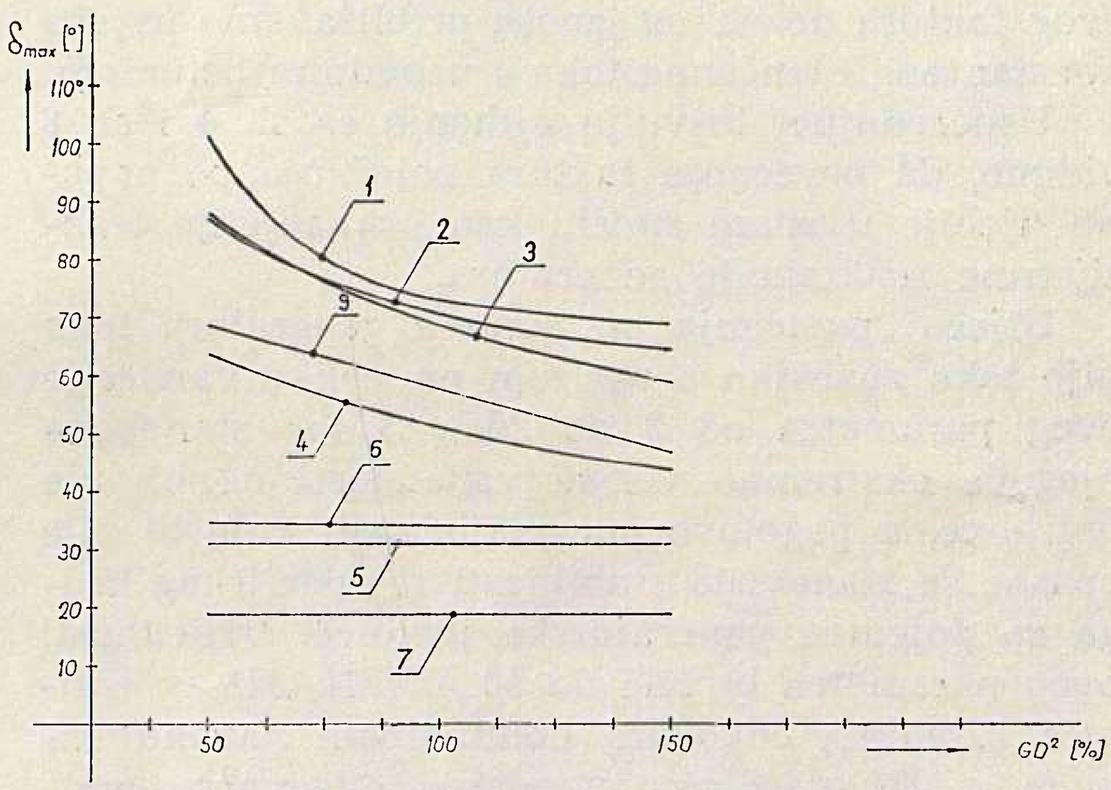
Sl. 4. Utjecaj tranzijentne reaktancije na ponašanje NE Krško (bez mijenjanja sinhrone reaktancije x_d)

A . . . $x_d' = 18{,}2\%$ B . . . $x_d' = 3{,}64\%$

Na sl. 7 je prikazan utjecaj tog parametra na njihanje rotora generatora NE Krško uz faktor pojačanja po naponu

$$K_U = \frac{\Delta E_{fd}}{\Delta U_G} = -50$$ (E_{fd} — uzbudni napon i U_G — napon generatora).

Vrlo je mali utjecaj ovog parametra na karakter prijelaznog procesa. Povećanje Vmax sa 1 . 8 na 4. neznatno smanjuje amplitudu njihanja. S iste slike se vidi da je taj utjecaj, mada mali, najizraženiji poslije nestanka kratkog spoja, a za vrijeme isključenog voda u kvaru, i neposredno poslije uključenja ispravnog sklopnog stanja mreže. Djelovanje je naknadno zbog velike vremenske konstante uzbudnog namota. Sagledavajući



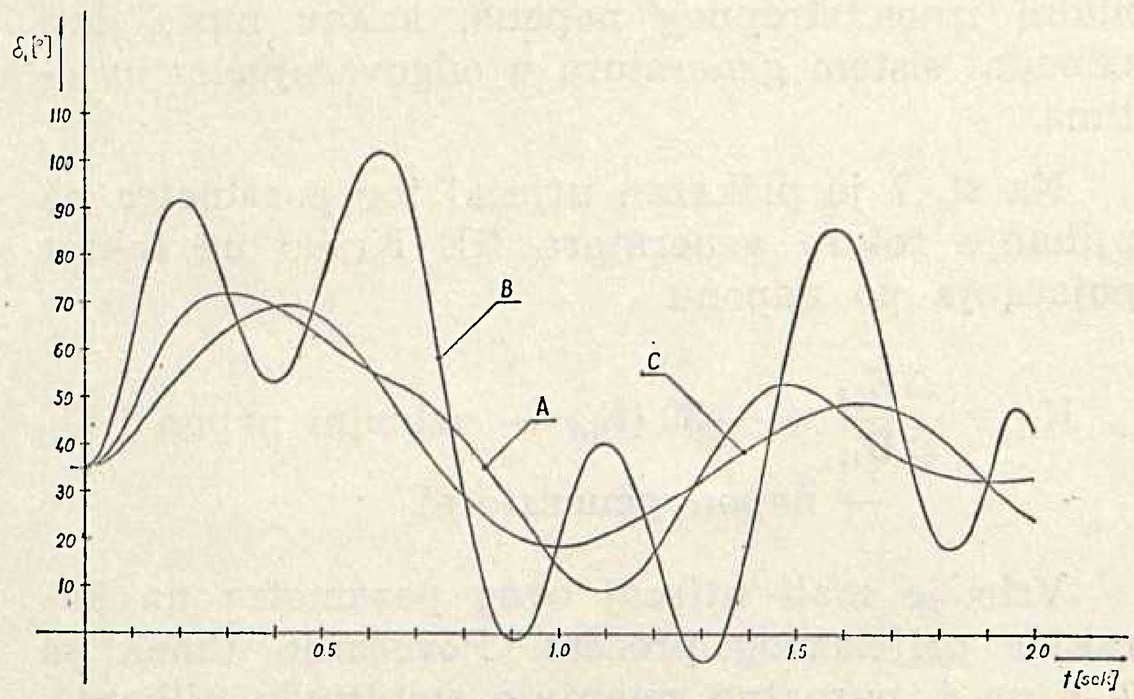
Sl. 5. Utjecaj zamašnih masa generatora NE Krško za slučaj K 3 na DV Zagreb—Osijek 0.1/0.4 s

1 NE Krško
2 TE Sisak 110
3 TE Šoštanj III, IV
4 TE Sisak 220
5 TE Tuzla III, IV
6 TE Obrenovac III, IV
7 HE Đerdap
9 EKV »Drava«

utjecaj stropnog napona uzbude, može se zaključiti da povećanje stropnog napona do ekstremnih granica ne bi bilo korisno. Zadovoljavajući iznosi stropnog napona bili bi između 1 . 5 i 1 . 8, uz uvjet da njegov iznos nije ovisan o naponu na stezaljkama generatora (kao kod sistema samouzbude bez kompaundacije). U protivnom, valjalo bi ići na veće stropne napone.

3.1.4. *Utjecaj faktora pojačanja po naponu generatora*

Na sl. 8 je ilustriran utjecaj ovog parametra na karakter odziva uz stropni napon uzbude generatora NE Krško $V_{max} = 1 . 8$. Za vrijednost $K_U = 0$ njihanja su prigušenija, ali s većim zamahom kuta u prvom poluvalu njihanja. Povećanje faktora K_U na vrijednosti redom — 25,



Sl. 6. Utjecaj zamašnih masa na ponašanje generatora NE Krško za slučaj K 3 na DV Zagreb—Osijek 0.1/0.4 s

A . . . 100% B . . . 50% C . . . 150%

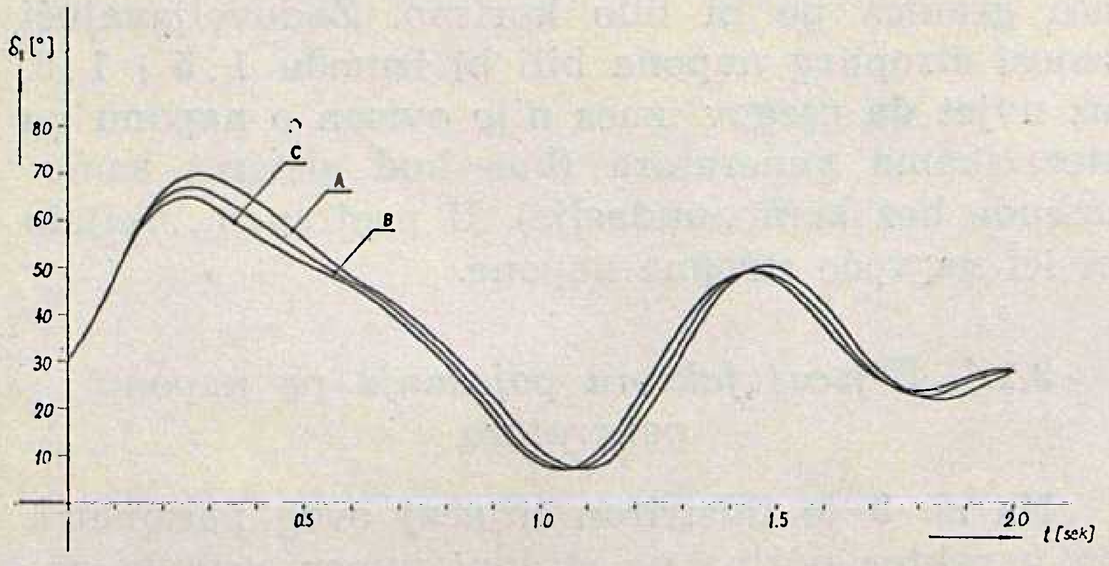
— 50, — 200 smanjuje zamah kuta, ali to povećavanje teži izjednačavanju amplituda i snižavanju nivoa prigušenja, što znači da se povećavanjem ovog faktora do nekog iznosa približavamo uvjetu konstantnog ulančenog toka s uzbudnim namotom.

Uspoređujući krivulje njihanja sa sl. 4 i sl. 8 vidimo, da povećanje faktora pojačanja po naponu djeluje u istom smislu kao i smanjenje tranzijentne reaktancije generatora.

Utjecaj pojačanja po naponu generatora ipak nije tako značajan s obzirom na velike varijacije ovog parametra od 0 do 200). S tog stanovišta njegove ekstremno visoke vrijednosti ne bi bile potrebne, a pogotovo one vrijednosti koje bi bile opasne sa stanovišta stabilnosti regulacijskog kruga za pojedine generatorske jedinice. Vrijednosti ovog parametra bi bile do 50 JU/JN (JU = jedinica uzbude i odgovara nominalnom naponu uzbude, a JN = jedinica napona i odgovara nominalnom naponu generatora) tj. zadovoljavajuće.

3.2 *Isključenje generatora NE Krško iz režima normalnog opterećenja*

Već je bilo rečeno, da je stacionarno stanje proračunato za dva slučaja:



Sl. 7. Utjecaj faktora stropnog napona uzbude na ponašanje generatora NE Krško

A . . . V_{max} = 1.80
B . . . V_{max} = 3.00 K_U = —50.
C . . . V_{max} = 4.00

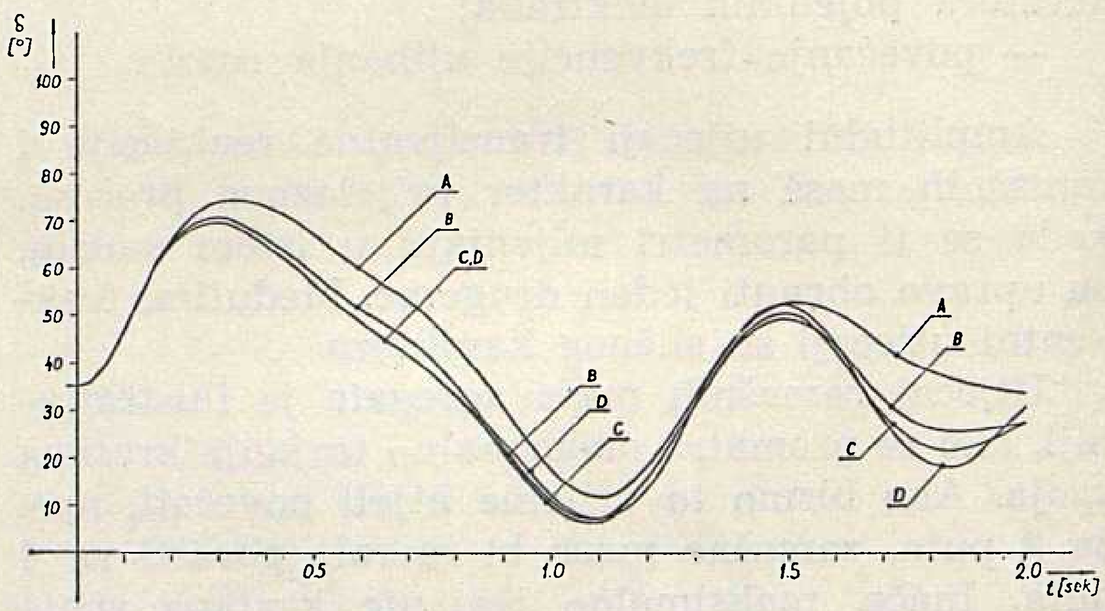
a) NE Krško uvodi u sistem aktivnu snagu od 675 MW;

b) NE Krško uvodi u sistem aktivnu snagu od 772.5 MW.

Tim slučajevima odgovarala su i dva proračuna prijelaznog procesa, kad se NE Krško isključi iz sistema u trenutku $t = 0$. Dio tih proračuna vidljiv je sa sl. 9 i sl. 10, na kojima je prikazano njihanje aktivnih snaga generatora koji su ostali u sistemu poslije trajnog isključenja NE Krško. Sl. 9 prikazuje taj proces poslije isključenja 675 MW, a sl. 10 proces poslije isključenja 772.5 MW.

Valja istaći još i to da je i u proračunima ovih prijelaznih stanja za modeliranje uzbudnih sistema pojedinih generatora usvojena pretpostavka konstantnog ulančenog toka s uzbudnim namotom.

Iz podataka o njihanju aktivnih snaga pojedinih elektrana i njihanja napona u mreži moglo se ekstrapolirati stacionarno stanje koje odgovara stanju sistema za slučajeve trajnog isključenja generatora NE Krško.



Sl. 8. Utjecaj faktora pojačanja po naponu generatora na ponašanje generatora NE Krško

A . . . K_U = 0. C . . . K_U = 50.
B . . . K_U = 25. D . . . K_U = 200.

Za slučaj isključenja generatora NE Krško kao pod a) ekstrapolirano stacionarno stanje je (stanje aktivnih snaga uvedenih u mrežu):

Tablica 2

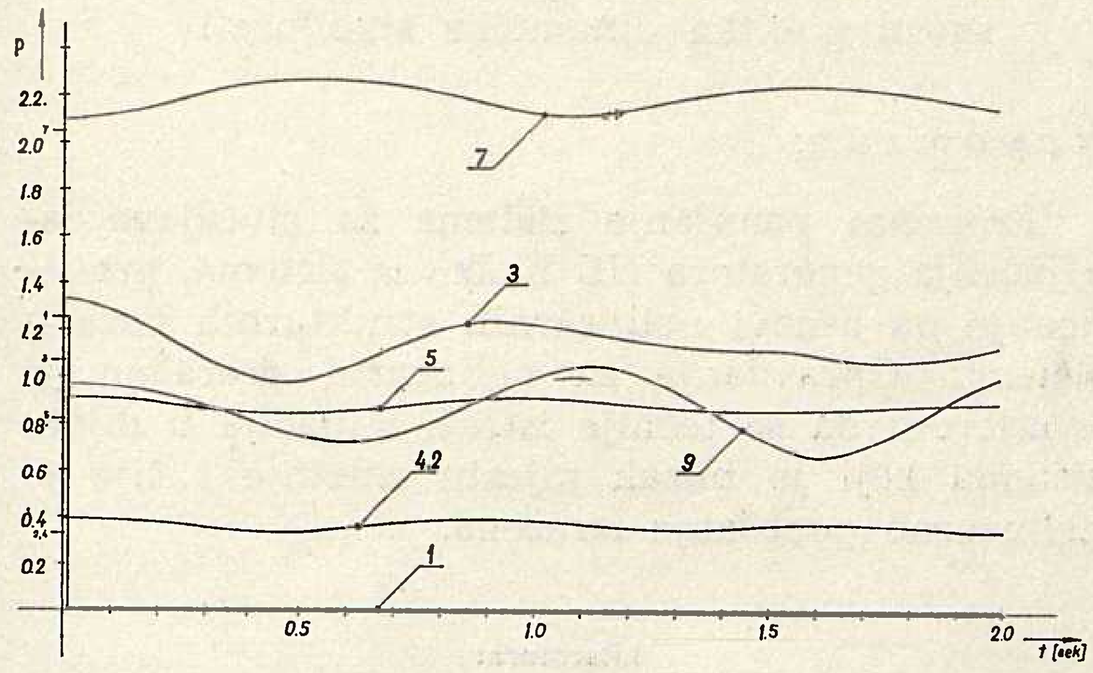
elektrana broj	2	3	4	5	6	7	8	9
stanje prije isključenja (MW)	168.	533.5	168.	410.	450.	1026.	1059.	399.
stanje poslije isključenja (MW)	181.	569.	183.	440.	493.	1103.	1178.	436.

Nazivi elektrana koji odgovaraju ovim oznakama vide se na sl. 1.

Na sl. 11 prikazano je vremensko ponašanje apsolutne vrijednosti napona na sabirnicama:

2 TE Sisak 110
10 TS Ljubljana
14 TS Zagreb I.

Mjerilo snage: 1 ≙ 500 MW



Sl. 9. Krivulje njihanja aktivnih snaga u slučaju isključenja generatora NE Krško (675 MW)

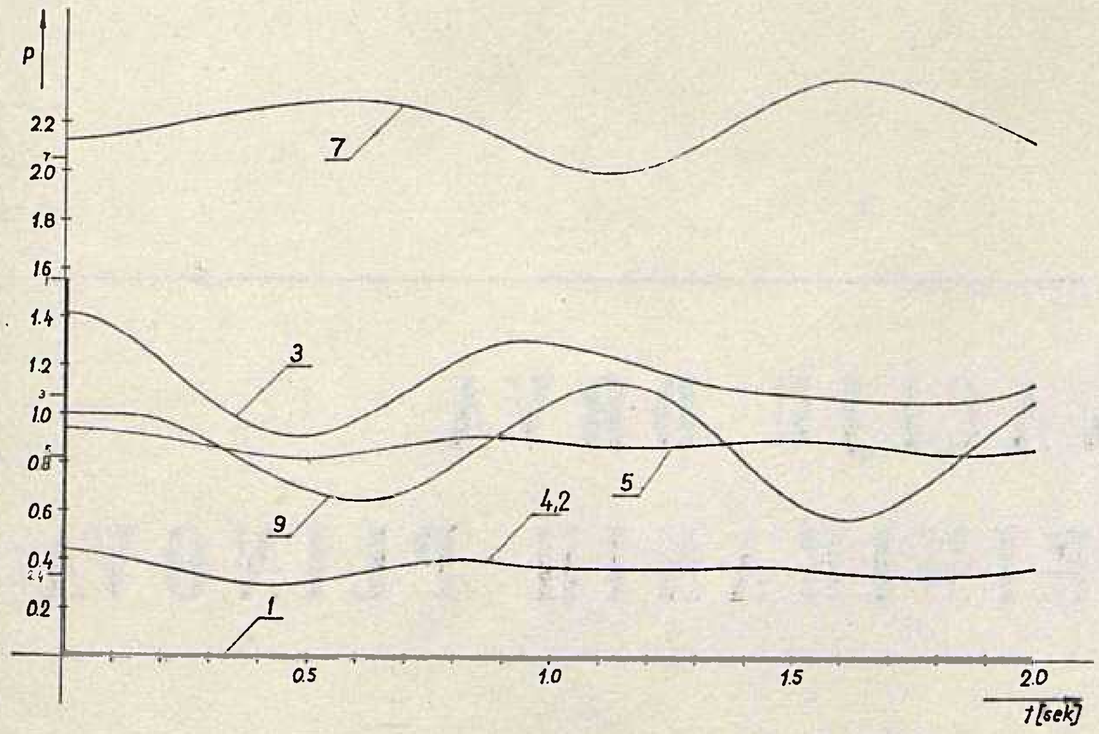
1 NE Krško
2 TE Sisak 110
3 TE Šoštanj III, IV
4 TE Sisak 220
5 TE Tuzla III, IV
6 TE Obrenovac III, IV
7 HE Đerdap
9 EKV »Drava«

Sa iste slike mogu se ustanoviti najveća sniženja napona u tranzijentu za ovaj slučaj:

Tablica 3

2 TE Sisak 110 (potrošač Zagreb)	5.45%	(4.07%)
10 TS Ljubljana	4.6 %	(3.76%)
14 TS Zagreb I	4.93%	(3.82%)

Mjerilo snage: 1 ≙ 500 MW



Sl. 10. Krivulje njihanja aktivnih snaga u slučaju isključenja generatora NE Krško (773 MW)

1 NE Krško
2 TE Sisak 110
3 TE Šoštanj III, IV
4 TE Sisak 220
5 TE Tuzla III, IV
6 TE Obrenovac III, IV
7 HE Đerdap
9 EKV »Drava«

U zagradama su dana trajna sniženja napona na odgovarajućim sabirnicama.

Za slučaj isključenja generatora NE Krško kao pod b) stacionarno stanje:

Tablica 4

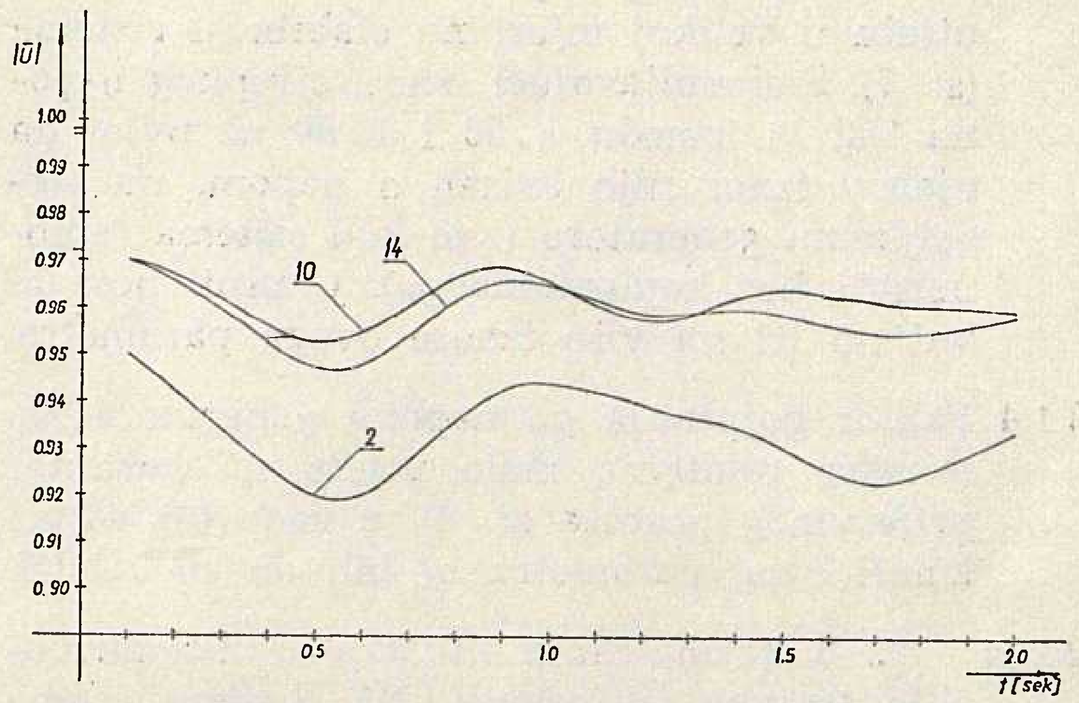
elektrana broj	2	3	4	5	6	7	8	9
stanje prije isključenja (MW)	168.	533.5	168.	410.	450.	1026.	1059.	399.
stanje poslije isključenja (MW)	188.	566.	184.	441.	499.	1108.	1185.	445.

Na sl. 12. prikazano je vremensko ponašanje apsolutne vrijednosti napona na sabirnicama kao u prethodnom slučaju, a s nje se mogu ustanoviti najveća sniženja:

Tablica 5

2 TE Sisak 110	8.44%	(6.32%)
10 TS Ljubljana	6. %	(4.8 %)
14 TS Zagreb I	6.44%	(4.87%)

400 kV ≙ Naponsko mjerilo: 1



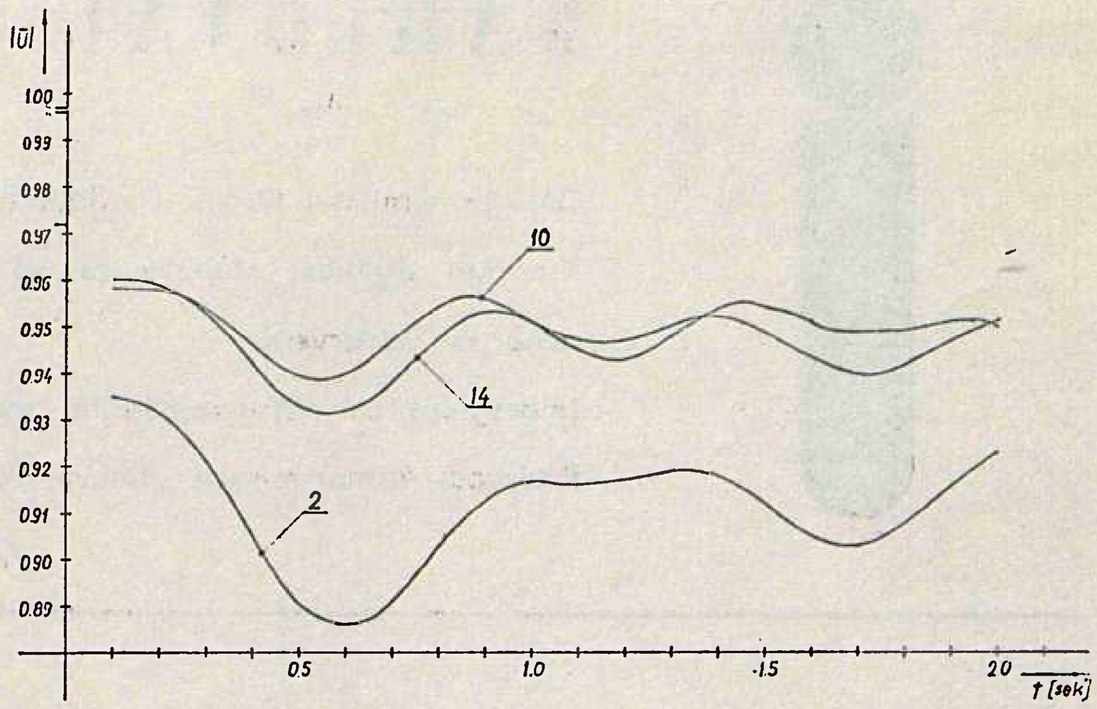
Sl. 11. Naponi sabirnica za slučaj isključenja generatora NE Krško (675 MW)

2 SISAK (potrošač Zagreb)
10 TS LJUBLJANA
14 TS ZAGREB I

Prema sl. 9, sl. 10, sl. 11 i 12 možemo konstatirati:

— Sistem je za slučajeve isključenja generatora NE Krško pod a) i b) sačuvao sinhronizam, tako što je slučaj isključenja generatora NE Krško kao pod b) (773 MW) opasniji za sistem u posttranzijentnom razdoblju nego slučaj isključenja NE Krško kao pod a) (675 MW).

Naponsko mjerilo: 1 ≙ 400 kV



Sl. 12. Naponi sabirnica za slučaj isključenja generatora NE Krško (773 MW)

2 SISAK (potrošač Zagreb)
10 TS LJUBLJANA
14 TS ZAGREB I

U skladu s razmatranjima pod: 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4. i 3.2 i s obzirom na uvjete istraživanja, možemo zaključiti slijedeće:

3.1.1 Vrijednost tranzijentne reaktancije generatora NE Krško sa stanovišta dinamičke stabilnosti odabrane mreže može biti prirodna (sl. 2 i sl. 3).

3.1.2 Prirodna vrijednost zamašnih masa agregata NE Krško osigurava dinamičku stabilnost (sl. 5 i sl. 6).

3.1.3 Faktor stropnog napona sistema uzbude ne utječe u velikoj mjeri na stabilnost sistema (sl. 7). Zadovoljavajući iznosi stropnog napona bili bi između 1.50 i 1.80 uz uvjet da njegov iznos nije ovisan o naponu na stezaljkama generatora (kao kod sistema samouzbude bez kompaundacije). U protivnom bi valjalo ići na više iznose ovoga parametra.

3.1.4 Faktor pojačanja po naponu generatora K_U također relativno malo utječe na karakter prijelaznog procesa sl. 8), a zadovoljavajući iznosi ovog parametra bi bili do 50 JU/JN.

3.2 a i 3.2 b Razmatranja situacije u sistemu poslije trajnog isključenja NE Krško iz normalnog pogonskog stanja pokazuju da se uz navedene uvjete (veličina i model mreže, uvjeti smetnje) generator NE Krško navedenih snaga može uključiti u sistem bez opasnosti gubitka dinamičke stabilnosti.

Napomena:

Proračun ponašanja sistema za slučajeve isključenja generatora NE Krško iz sistema, proveden je na osnovi nelinearnih strukturnih veza u sistemu. Opravdanje za nelinearni proračun je u interesu da se točnije istraži situacija u dijelu sistema koji je blizak mjestu smetnje i čije je nelinearno ponašanje izraženo.

Literatura:

1. M. Mehmedović: *Proračun toka snaga i raspodjela napona u elektroenergetskom sistemu.* XI stručno savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Ohrid, oktobar 1972.
2. V. A. Venikov: *Perehodnije elektromehaničeskie procesi v električeskih sistemah.* »Vsšaja škola«, Moskva 1970.
3. J. M. Undrill: *Structure in the Computation of Power-System Nonlinear Dynamical Response.* IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, No. 1, 1969.
4. C. J. Tavora, O. J. M. Smith: *Characterization of Equilibrium and Stability in Power Systems.* IEEE Summer Meeting, Portland, July 1971.
5. J. M. Undrill, A. E. Turner: *Construction of Power-System Electromechanical Equivalents by Modal Analysis.* IEEE Winter Power Meeting, New York, January 1971.
6. *** IEEE Committee Report: *Computer Representation of Excitation Systems.* IEEE Summer Power Meeting Portland, July 1967.

Naslovi pisaca:

Muharem Mehmedović, dipl. ing.
Zagreb, Institut »Rade Končar«
Mladen Kajari, dipl. ing.
Zagreb, Institut »Rade Končar«
Žarko Petrović, dipl. ing.
Zagreb, Elektroprivreda, Zajed. službe.

PODUZEĆE ZA IMPREGNACIJU DRVA I PROIZVODNJU KOMPRIMIRANIH PLINOVA

KARLOVAC

Obavlja kemijsku zaštitu (kotlovsku impregnaciju) svih vrsti željezničkih pragova, pragova za smještaj kranskih dizalica, stupova za TT i EV vodove, kocaka za hale, rudno drvo i ostali građevinski materijal od drveta.

Impregnira po najsuvremenijim metodama.

Proizvodi komprimirane plinove: kisik, disuplin i dušik.

PLINSKE TURBINE ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE I TOPLINSKE ENERGIJE

Vladimir Potočnik, Zagreb

Opisani su osnovni tipovi plinskoturbinskih postrojenja s najvažnijim karakteristikama. Dan je pregled područja primjene plinskih turbina za proizvodnju električne i toplinske energije s ograničenim popisom izvedenih postrojenja kao i trendovima perspektivnog razvoja.

DK 621.438

Uvod

Od četiri tipa primarnih pokretača (»prime mover«), koji se danas primjenjuju u proizvodnji električne energije (parna, vodna i plinska turbina, te dizelski motor), plinska turbina pokazuje trend najbrže ekspanzije. Prema podacima za razvijene zemlje, narudžbe plinskih turbina u prošlim godinama iznosile su oko 25% od ukupno instalirane snage u plinskim turbinama. Imamo li u vidu činjenicu, da se godišnji porast instaliranih kapaciteta za proizvodnju električne energije kreće oko 7%, onda je napredak plinskih turbina očevidan. Na području USA za razdoblje 1970—1975. od ukupnog godišnjeg porasta instalirane snage (oko 40.000 MW) na plinske turbine otpada oko 6000 MW, odnosno oko 15% ukupno instaliranih kapaciteta (lit 1).

Interesantan je primjer kompanije »Public Service Electric and Gas Company«, New Jersey, USA, koja u sistemu od oko 8000 MW ima instalirano oko 30% odnosno 2400 MW u plinskim turbinama loženim dizelskim ili lakim uljem (lit. 9). Godišnja proizvodnja električne energije iz plinskih turbina iznosi oko 7% od ukupne proizvodnje. Premda su bile planirane za 800 h/god. rada, plinske turbine su u prosjeku ostvarile 2500 h/god.

U SR Njemačkoj je 1970. godine naručeno oko 1000 MW plinskih turbina.

U razvijenim zemljama učešće plinskih turbina u ukupno instaliranoj snazi penje se do 10%, pa i više, dok je u našoj zemlji svedeno na simboličkih 1,5%.

Valja spomenuti, da su ranija predviđanja o brzini porasta učešća plinskih turbina bila znatno skromnija.

Ekspanzija plinskih turbina u posljednjim godinama omogućena je s jedne strane usavršavanjem njenih tehničko-ekonomskih karakteristika, koje se vrlo dobro podudaraju s novim zahtjevima proizvodnje električne i toplinske energije, a s druge strane trendom ka primjeni tzv. čistih goriva radi zaštite čovjekove sredine, posebno u gradovima.

Naravno, ne smijemo ispustiti iz vida činjenicu, da parna turbina, a u nekim zemljama i vodna turbina, još uvijek dominira u proiizvodnji energije. To je vidljivo i iz sl. 1, gdje su prikazane dosad najveće jedinice.

Međutim, dok su parne turbine danas praktički dostigle maksimum razvoja, a vodne turbine su ograničene raspoloživim vodnim snagama, plinske turbine se nalaze u punom razvoju.

Osnovni tipovi i karakteristike plinskih turbina

Temeljni termodinamički proces današnjih plinskih turbina je Joule-ov ili Brayton-ov proces, prikazan u idealnom obliku (bez gubitaka) na T-S ili toplinskom dijagramu (sl. 2).

Usis zraka u kompresor obavlja se kod stanja 1 (stanje okoline), a ispuh dimnih plinova iz plinske turbine kod stanja 4.
Termodinamički stupanj djelovanja dan je izrazom:

$$\eta_{th} = \frac{\text{Korisni rad}}{\text{Dovedena toplina}} = \frac{AL}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_0}{Q_1} = 1 - \frac{Q_0}{Q_1}$$

Uvrštenjem odgovarajućih vrijednosti dobivamo:

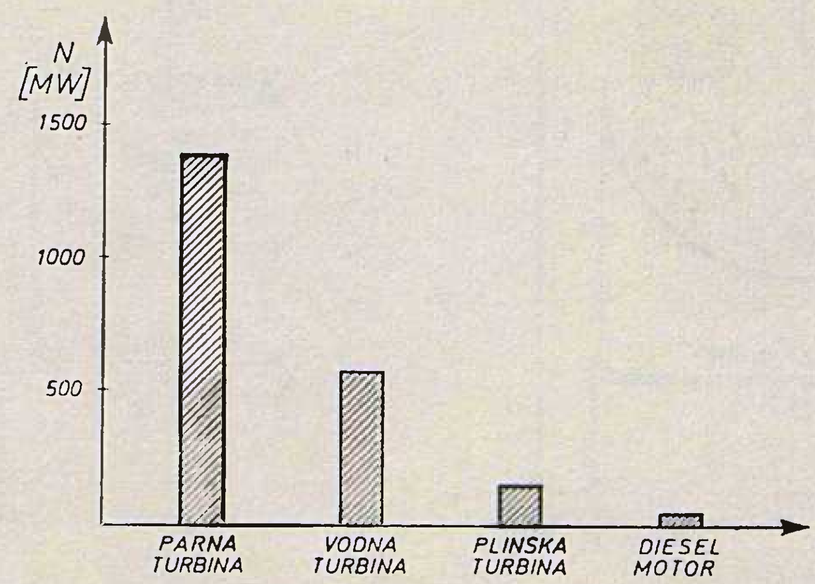
$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{T_4}{T_3}$$

Temperatura T_4 je definirana stanjem okolnog zraka. Dakle, kao glavni faktor povišenja ekonomičnosti postrojenja ostaje ulazna temperatura radne tvari u turbini, što vrijedi za sve vrste plinskih turbina, kao i ostale vrste termoenergetskih primarnih pokretača.

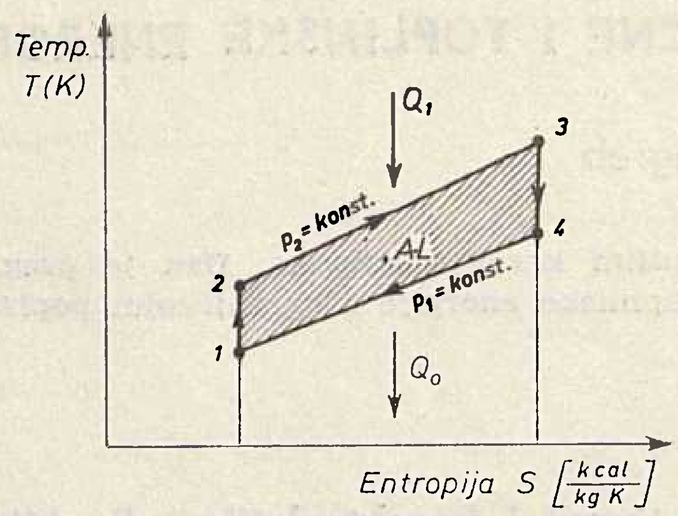
Temeljni proces u principu vrijedi za 2 osnovne danas primjenjivane grupe plinskih turbina:

— *plinske turbine otvorenog ciklusa* ili turbine s unutrašnjim izgaranjem, kod kojih se radna tvar (zrak — dimni plinovi) stalno obnavlja, odnosno svježa radna tvar (zrak) se usisava iz okoline, a odrađena radna tvar (dimni plinovi) se izbacuju u okolinu;

— *plinske turbine zatvorenog ciklusa* ili turbine s vanjskim izgaranjem, kod kojih ista radna tvar (zrak, He, CO_2) stalno cirkulira u krugu; ovakvo je postrojenje slično parnoturbinskom postrojenju, a turbine se nazivaju i vrelozračne turbine, jer kao radna tvar figurira zrak, dok su turbine za ostale fluide još u stadiju razvoja.



Sl. 1 Maksimalne snage primarnih pokretača



Sl. 2 Temeljni proces plinskih turbina

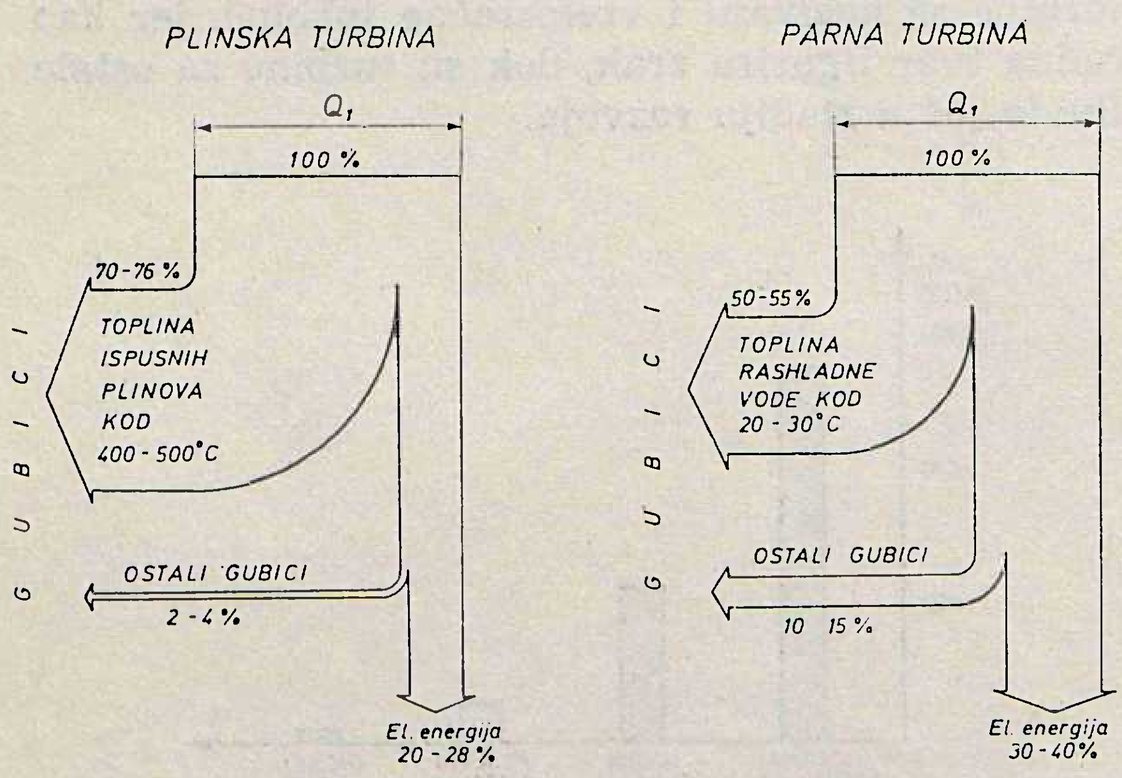
Q_1: dovedena toplina gorivom
Q_0: odvedena toplina na okolinu
1—2: adijabatska kompresija
2—3: izobarni dovod topline
3—4: adijabatska ekspanzija
4—1: izobarni odvod topline
AL: korisni rad

Od danas izvedenih postrojenja daleko su više zastupljene tlinske turbine otvorenog ciklusa.

Jedna od najvažnijih karakteristika jednostavnih plinskih turbina u termodinamičkom pogledu je da raspolažu velikom količinom topline na relativno visokom upotrebljivom temperaturnom nivou, za razliku od parnoturbinskih postrojenja, kod kojih se otpadna toplina nalazi na niskom temperaturnom nivou, praktički neiskoristivom. Ta razlika prikazana je na sl. 3 u obliku pojednostavljenih Sankey-evih dijagrama toka energije za jednostavnu plinsku turbinu otvorenog cikluca i kondenzacioonu parnu turbinu.

Zbog te karakteristike otpadna toplina kod mnogih tipova plinskih turbina se koristi bilo za predgrijavanje zraka za izgaranje, bilo za proizvodnju pare ili vrele vode, sve radi povećanja ekonomičnosti postrojenja.

Druga važna karakteristika, koja se odnosi na plinske turbine otvorenog ciklusa, je veliki višak zraka za izgaranje, jer se taj zrak upotrebljava i za hlađenje dimnih plinova na ulazu u turbinu. Radi toga ispušni plinovi iz turbine sadrže velike količine kisika (15 do 18%). Ta se činjenica, zajedno s velikom količinom ispušne topline, upotrebljava u plinsko-parnim postrojenjima, koja predstavljaju kombinaciju plinskog i parnoturbinskog postrojenja. Takva kombinacija (kombi blok) ujedinjuje u određenoj mjeri prednosti plinske i parne turbine tako da se u novije vrijeme sve češće primjenjuje za razne svrhe.



Sl. 3 Tok energije za jednostavnu plinsku turbinu otvorenog ciklusa i kondenzacionu parnu turbinu.

Od brojnih izvedbi plinskih turbina u tabličnom prikazu na sl. 4. opisana su 4 osnovna tipa, koji se s određenim varijacijama pojavljuju u najvećem broju izvedbi.

Uspoređujući plinskoturbinsko postrojenje s parnoturbinskim može se reći slijedeće:

Prednosti:

— niže specifične investicije
— kraći rok izgradnje (u USA danas oko 1 god.)
— znatno brži start
— daleko manji potrošak rashladne vode
— manji potrebni prostor
— manje onečišćenje okoline, itd.

Nedostaci:

— veći promjenjivi troškovi
— ograničenja u pogledu goriva
— manje jedinične snage
— veća buka, itd.

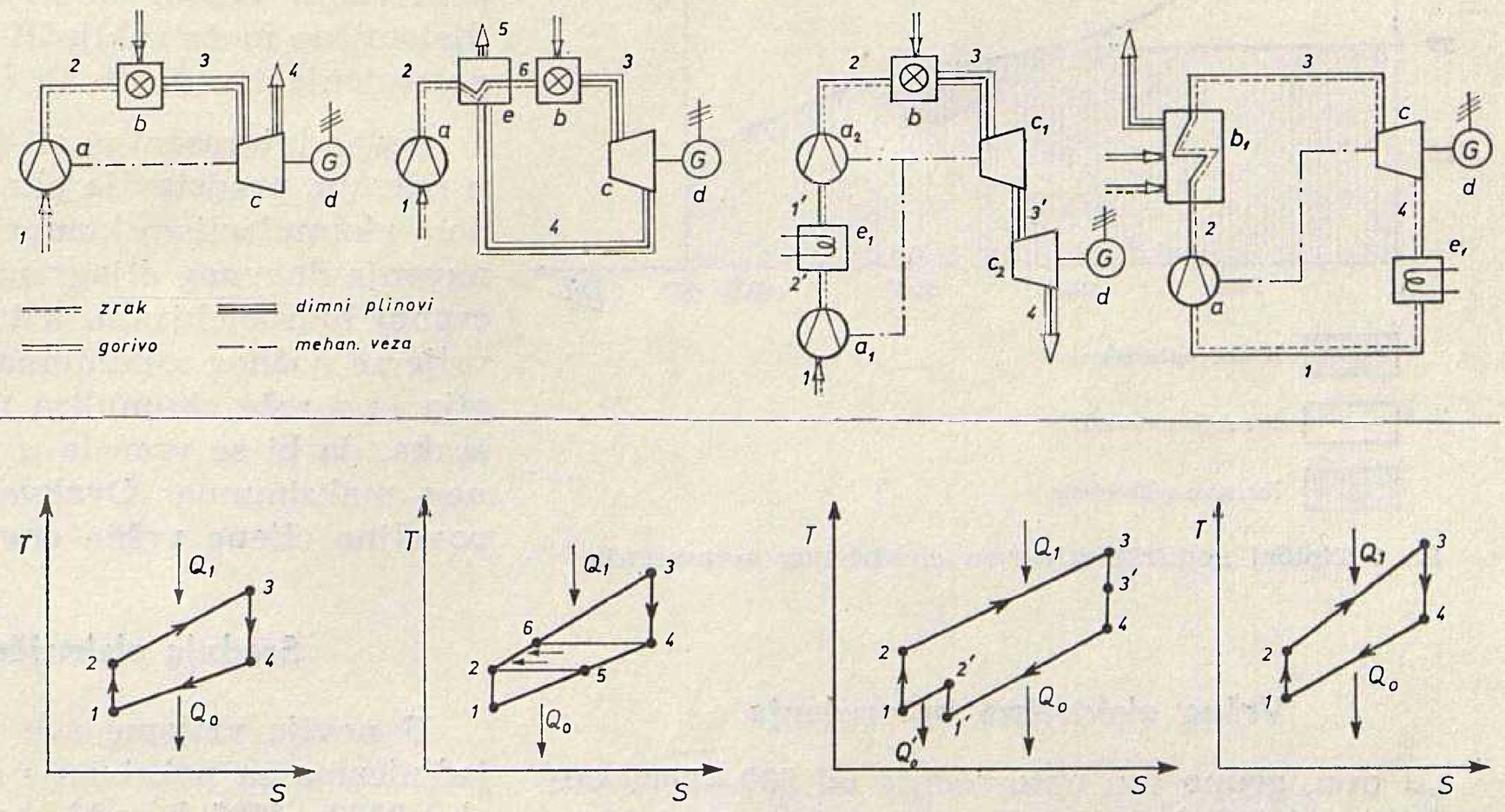
Problem goriva za plinske turbine jedan je od najvažnijih, koji djeluje donekle limitirajuće na širu primjenu plinskih turbina. Kod turbina zatvorenog ciklusa ograničenja praktički nema, osim u pogledu sadržaja sumpora.

Za turbine otvorenog ciklusa mogu se bez ograničenja primjenjivati plinovita i laka tekuća goriva s ograničenim količinama štetnih sastojina (vanadij i slični metali, te sumpor za postrojenje s korištenjem ispušne topline). Primjenjuju se i nekvalitetnija tekuća goriva uz adekvatnu pripremu goriva (separacija i dodavanje aditiva), te snižene ulazne temperature dimnih plinova.

Kruta goriva u izvornom obliku praktički ne dolaze u obzir za turbine otvorenog ciklusa.

Ovdje treba napomenuti, da se u svijetu mnogo radi na razvoju postupaka za oplemenjivanje nekvalitetnih tekućih i krutih goriva u vezi s propisima za čistoću zraka. Taj trend je uvjetovan relativnim neuspjehom postupaka za pročišćavanje dimnih plinova, koji su se pokazali za većinu slučajeva preskupim. Od brojnih postupaka oplemenjivanja goriva naveli bismo tzv. SGP (Shell Gasification Process), kojim se teško loživo ulje konvertira u loživi plin i paru uz kruti sumpor kao nusprodukt. Za kruta goriva razvijeno je također nekoliko postupaka oplemenjivanja ugljena, kao npr. Lurgi proces rasplinjavanja ugljena primijenjen u TE Lünen i tzv. SRC proces (Solvent Refined Coal), kojim se dobivaju pročišćeni ugljen i sumpor.

Ulazna temperatura dimnih plinova za plinske turbine otvorenog ciklusa, kao jedan od najvažnijih faktora ekonomičnosti postrojenja, ovisno o vrsti goriva, namjeni i materijalima visokotempe-

Tip	I	II	III	IV
Ciklus	Otvoreni	Otvoreni	Otvoreni	Zatvoreni
Naziv	Jednoosovinska pl. t. bez regeneracije topl.	Jednoosovinska pl. t. s regeneracijom topline	Dvoosovinska pl. t. bez regeneracije topl.	Jednoosovinska plinska turbina
Shema a — kompresor b — komora izgaranja c — plinska turbina d — generator e — izmj. topline				
Idealni proces				
Jedinična snaga (MW)	2—100	2—80	2—80	2—35
Specifični potrošak topline na stezaljkama (kcal/kWh)	4900—3000	3500—2500	3400—2400	3000—2500
Specifične investicije (US $/kW)	200—80	250—110	230—100	380—200
Količina zode za protočno hlađenje (m^3/MWh)	oko 5	oko 5	oko 40	oko 100
Trajanje hladnog starta do punog tereta (min)	1—10	10—30	1—10	60—90
Ograničenje u pogledu vrste goriva	srednje	jače	najjače	malo

Sl. 4 Osnovni tipovi plinskih turbina

raturnih dijelova turbine, kreće se danas od 650—950 °C. U toku su eksperimenti s ulaznim temperaturama višim od 1000 °C.

Područja primjene plinskih turbina u termoenergetici

Na sl. 5 i 6 prikazani su tipični dijagrami električnog opterećenja sistema s 3 osnovne vrste opterećenja — vršno, srednje i temeljno.

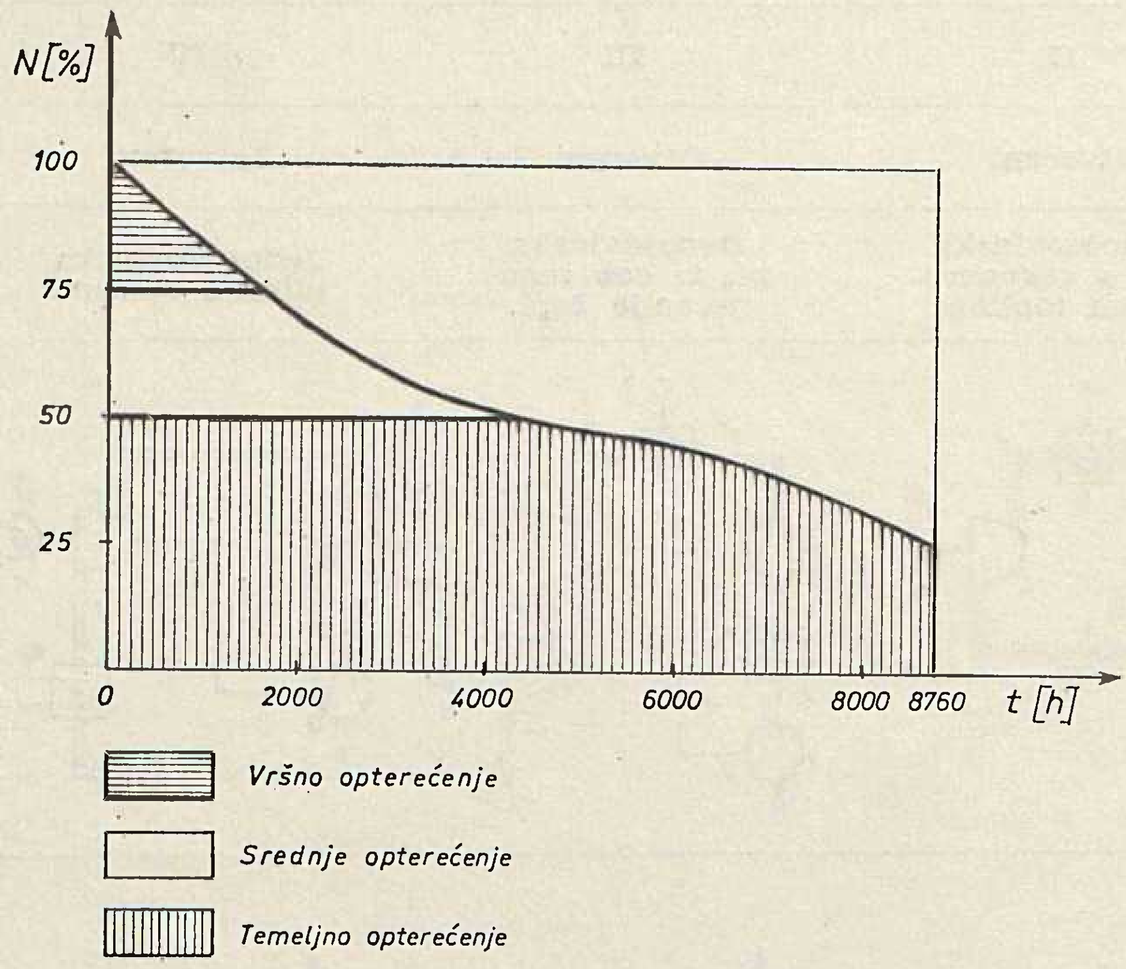
Može se reći, da su se plinske turbine dosad uspješno uključile u proizvodnju električne energije za pokrivanje vršnih opterećenja i da je u toku njihovo uključivanje na području srednjih opterećenja. Ozbiljni istražni napori obavljaju se u pravcu uključivanja plinskih turbina i za pokrivanje temeljnih opterećenja.

Na području toplifikacije plinske turbine se u posljednje vrijeme sve češće primijenjuju.

Jedna interesantna primjena plinskih turbina je za modernizaciju i proširenje starih neekonomičnih termoelektrana čime se, uz relativno jeftino povećanje kapaciteta znatno popravlja ekonomičnost postrojenja.

U industrijskoj termoenergetici plinske turbine se dosta često primjenjuju. Od područja izvan proizvodnje električne energije, plinske turbine su našle primjenu i za slijedeće svrhe:

— pogon brodova, aviona i vozila
— kompresorske stanice plinovoda
— pumpne stanice naftovoda
— pogon pomoćnih strojeva
— tzv. sistemi totalne energije (»total enery«) za snabdijevanje izoliranih potrošača električnom energijom, toplinom i hladnoćom
— desalinizacija morske vode, itd.



Sl. 5 Tipični godišnji dijagram električnog opterećenja

Vršna električna opterećenja

U ovu, grupu idu opterećenja od 500—2000 sati godišnjeg korištenja, ovisno o karakteristikama sistema. Služe za pokrivanje sezonskih i dnevnih vrhova opterećenja.

Područje opterećenja do 500 h/god. često se naziva i hipervršno opterećenje.

Za pokrivanje vršnih opterećenja služe termoelektrane s plinskim i zastarjelim parnim turbinama, te akumulacione i crpne hidroelektrane.

Blokovi za vršna opterećenja u općem smislu moraju zadovoljiti slijedeće glavne uvjete:

— sposobnost brzog automatskog i daljinskog starta
— niske investicije i troškove održavanja
— visoku pogonsku raspoloživost, itd.

Pogonski troškovi, odnosno u krajnjoj liniji cijena kWh, igraju ovdje sekundarnu ulogu zbog relativno kratkog godišnjeg korištenja.

Navedeni uvjeti u potenciranom obliku vrijede i za hitna opterećenja (»emergency power«), koja su posebno aktualna u centrima konzuma kod ispada većih agregata ili raspada mreže.

Svim tim uvjetima sasvim dobro odgovara plinska turbina tipa I ili tipa III (s novim ili odsluženim avioplinskim turbinama kao generatorima plina) prema sl. 4. Takve plinske turbine nude se danas često u paketnoj izvedbi, što znatno skraćuje trajanje montaže i zahtijeva minimalnu površinu. Problemi buke su adekvatnom zvučnom izolacijom svedeni na minimum, tako da se takvo postrojenje može bez problema smjestiti na gradsko područje, kao što je već i praksa pokazala.

Goriva za takve turbine — prirodni plin i kvalitetna tekuća goriva — odgovaraju propisima za čistoću zraka u gradovima.

Minimalni potrošak rashladne vode s jedne strane pruža veliku slobodu u izboru lokacije elektrane, a s druge strane svodi na minimum termičke polucije.

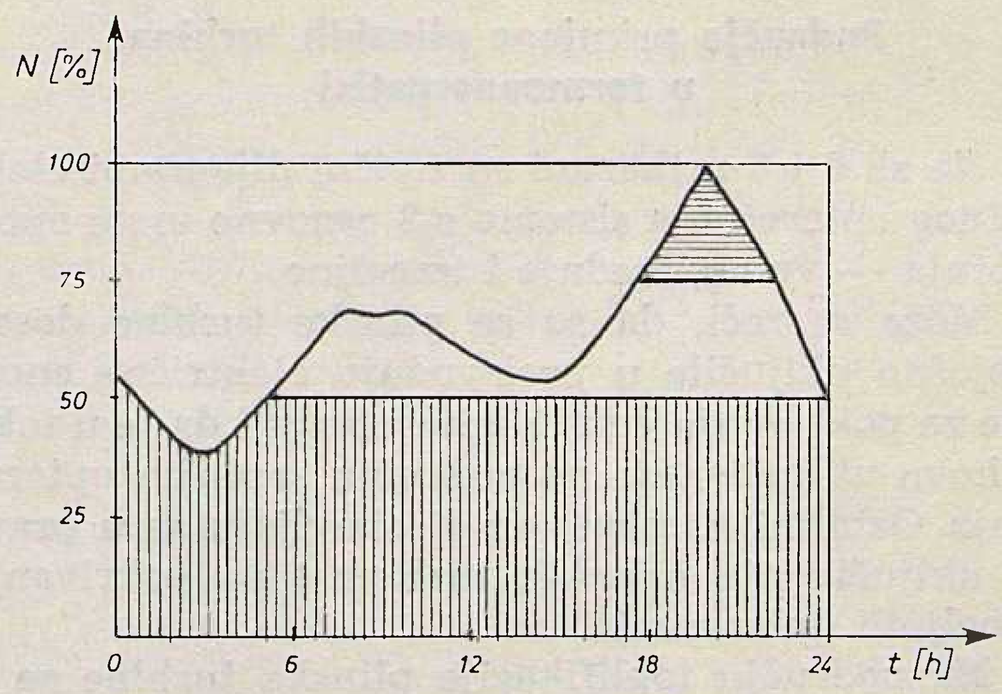
Zbog tih razloga plinske turbine su u proteklom desetljeću doživjele punu afirmaciju na području pokrivanja vršnih električnih opterećenja, što se djelomično može zaključiti i iz nepotpunog prikaza postrojenja izvedenih ili u gradnji (Tablica 1).

Jedno interesantno ali još nerealizirano rješenje u razvoju, predstavlja plinska elektrana s podzemnom akumulacijom komprimiranog zraka za izravnavanje dnevnog dijagrama opterećenja. Analogno crpnoj hidroelektrani, u takvom postrojenju se za vrijeme noćnog minimuma jeftina električna energija iz mreže akumulira u obliku komprimiranog zraka, da bi se vraćala u mrežu za vrijeme dnevnog maksimuma. Ovakvo rješenje obećava vrlo povoljne cijene vršne energije.

Srednja električna opterećenja

U novije vrijeme sve više pažnje se poklanja jedinicama za pokrivanje srednjih opterećenja (od oko 2000—4500 h/god.), kojima je zadatak vožnja po dnevnom dijagramu opterećenja, odnosno pokrivanje dnevnih vršnih opterećenja. Donedavno su se za takva opterećenja upotrebljavali bivši temeljni agregati, potisnuti od novih temeljnih blokova, posebno nuklearnih elektrana, u sredinu dijagrama električnog opterećenja. Danas se sve više shvaća, da je za takva opterećenja potreban novi tip jedinice iz slijedećih razloga:

— novi veliki temeljni blokovi pokazuju relativno nižu raspoloživost i slabu sposobnost za varijabilna opterećenja,
— rasponi između dnevnog maksimuma i minimuma opterećenja se povećavaju,
— jedinična veličina temeljnih agregata raste u odnosu na vršno opterećenje,
— problem svladavanja opterećenja za vrijeme ispada velikih jedinica postaje sve aktualniji.



Sl. 6 Tipični dnevni dijagram električnog opterećenja

Pregled elektrana s plinskim turbinama za pokrivanje vršnih opterećenja

Tablica 1

Zemlja	Elektrana	Učin (MW	Gorivo	Godina puštanja u pogon	Opaska
a	b	c	d	e	f
USA	Razne	oko 50 jedinica 10—70 MW	Zemni plin i razna loživa ulja	1973/74.	Narudžbe od 1. 6. 71. do 31. 5. 72.
SR Njemačka	Berlin-Steglitz	2 × 25	Teško loživo ulje s aditivima	1960.	
	Weinfelden	2 × 11	„	1959/60.	
	Wedel-Hamburg	2 × 55,9	Lako ulje	1971.	
	Stuttgart:				
	TE Gaisburg	2 × 57	Zemni plin	1971.	
	TE Münster	3 × 25		1974.	
	Dettingen	1 × 55,9	Lako ulje	1973.	
	Altbach B	2 × 55,9	Zemni plin i lako ulje	1973.	
	Wilhelmshaven	2 × 55,9	„	1973.	
	Bielefeld	1 × 55,9	Lako ulje	1974.	
	Amdorf	1 × 87,6	„	1974.	
Velika Britanija (oko 10 elektrana)	London:				
	Croydon	2 × 80	Dizel ulje	1965.	
	Wimbledon	Uk. 300	Lako ulje	1974/75.	
	Early	2 × 60	Dizel ulje		
	Letchworth	Uk. 150			
	Wattford	Uk. 150			
	Leicester	Uk. 150			
	Ocker Hill	Uk. 300			
Švedska	Västervik	1 × 43	Teško loživo ulje i destilati	1959.	
	Sundsvall	1 × 43	„	1962.	
	Stockholm	1 × 55		1969.	
	Razne	4 × 70	Loživo ulje i destilati	1970/72.	
	Oeresund Malmö	2 × 55,9	Lako ulje	1970/71.	
Austrija	Beč	1 × 80		1974.	
	Theiss	1 × 70			
Nizozemska	Hengelo	2 × 55	Zemni plin i lako ulje	1968.	
Belgija	Socolie	1 × 23	„	1969.	Kombi blok
	Razne	7 × 20	Destilati	1967/71.	
Francuska	Brest	1 × 20	Teško loživo ulje		
		1 × 82	Zemni plin i lako ulje	1974.	
Finska	Kellosaari Helsinki	2 × 55,9	Lako ulje	1972/73.	
	Tavastehus	1 × 50	Destilati	1970.	
Venezuela	Machado Caracas	3 × 21	Zemni plin i lako ulje	1973.	
Kuwait	Shuaiba Nord	4 × 30	„	1969.	

nastavak tablice na slijedećoj stranici

Nastava tablice sa prednje strane

a	b	c	d	e	f
Australija	Dry Creek	3 × 75			
	Razne	2 × 30 i 1 × 60	Dizel ulje	1968/70.	
Rumunjska	Bukurešt	3 × 34	Zemni plin i destilati	1966.	
Mađarska	Budimpešta	2 × 27,6	,,	1972.	
Italija	Rim	1 × 22,3	Destilati	1968.	
	Chivasso	1 × 30	Destilati i nafta	1962.	
Argentina	Buenos Aires	1 × 27,6 14 × 16,2	Zemni plin i destilati	1968—72.	
Grčka	Kreta	2 × 15		1974.	

Zahtjevi koji se postavljaju pred jedinice za pokrivanje srednjih opterećenja, bili bi slijedeći:

— sposobnost brzih promjena opterećenja
— brzi i jeftini svakodnevni start
— sposobnost daljinskog i brzog starta
— minimum pogonskog osoblja
— kratak rok izgradnje
— relativno niski investicioni troškovi uz umjerene pogonske troškove
— dobro ponašanje kod djelomičnih opterećenja
— visoka raspoloživost.

Jedno od optimalnih rješenja, koje odgovara većini spomenutih zahtjeva, je kombinirano plinsko-parno postrojenje (kombi blok) određene izvedbe. Osim ispunjavanja većine tih zahtjeva, takvo postrojenje ima još i ove karakteristike, koje ga čine atraktivnim za srednja opterećenja:

— mogućnost puštanja plinske turbine u pogon znatno prije od cijelog postrojenja,
— plinska i parna turbina mogu raditi nezavisno, tako da remont postrojenja ne mora značiti i obustavu rada cijelog bloka.

Kombi blokovi mogu se podijeliti na 2 osnovne grupe izvedbi:

a) *plinsko-parni blok,* kod kojeg je plinska turbina uključena ispred parnoturbinskog postrojenja; ispušni plinovi plinske turbine sa oko 400—500 °C idu u parni kotao, kojemu time dobavljaju kisik za izgaranje dodatnog goriva i ispušnu toplinu; dodatno loženje u parnom kotlu može varirati od 0% (čisti ispušni kotao) do 100% u odnosu na raspoloživi kisik; kod 100% dodatnog loženja odnos snage plinskoturbinskog i parnoturbinskog agregata kreće se oko 1 : 5 uz odnos goriva spaljenog u plinskoj turbini i parnom kotlu od oko 1 : 3.
b) *parno plinski blok* kod kojeg je plinska turbina uključena iza parnog kotla (tzv. prednabijeni kotao tipa Velox); spaljivanje goriva obavlja se samo na jednom mjestu — u parnom kotlu; ispušni plinovi iz parnog kotla idu u plinisku turbinu.

Uglavnom zbog konstruktivnih problema izvedbe prednabijenog kotla pod visokim tlakom na strani dimnih plinova i fleksibilnosti u pogonu, danas se za blokove veće snage većinom primjenjuje izvedba a) odnosno plinsko-parni blok.

Na sl. 7 prikazana je principijelna shema plinsko-parnog bloka, odgovarajući proces u toplinskom dijagramu prikazan je na sl. 8.

Stanja fluida plinskog procesa označena su na sl. 7 i 8 brojevima od 1 do 7, dok su stanja fluida na obje slike označene slovima od A do G.

Ovakvo rješenje kombi bloka predstavlja kombinaciju jednoosovinske plinske turbine otvorenog ciklusa tipa I prema sl. 4 i parnog bloka bez ili s jednim međupregrijanjem pare.

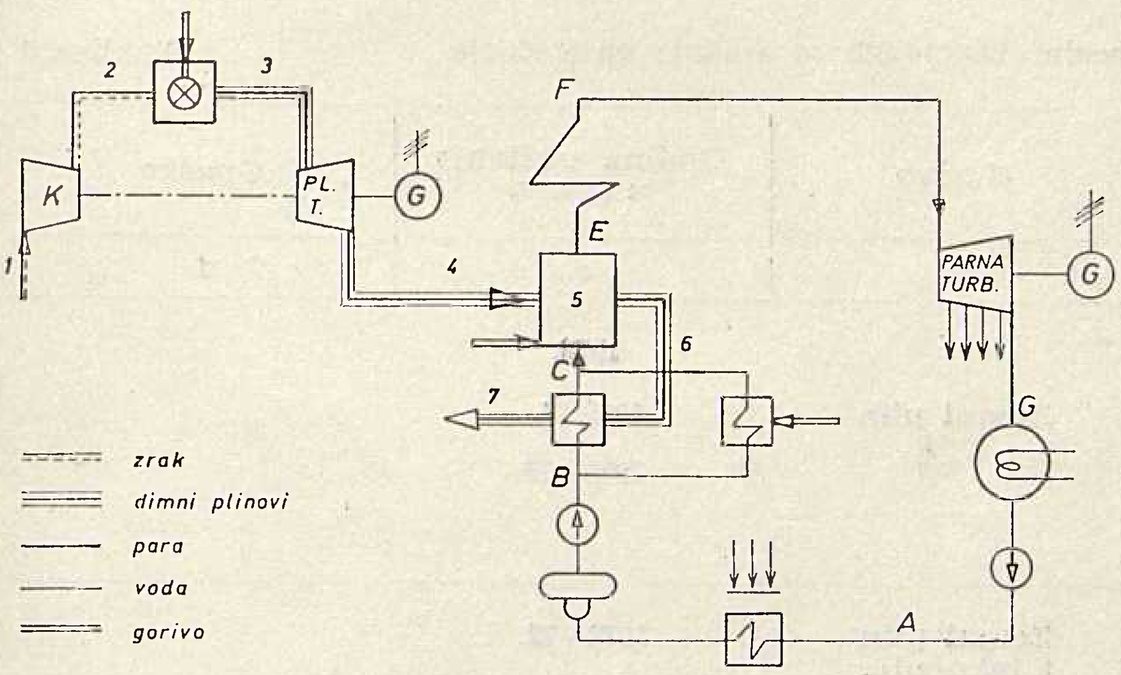
Tom kombinacijom postiže se ekonomičnije rješenje bloka u usporedbi sa čisto parnim blokom, što se očituje u povoljnijoj cijeni električne energije, kao rezultat bilo nižih specifičnih investicija, bilo nižih pogonskih troškova, ovisno o izvedbi kombi bloka.

Ekonomičnost takvih postrojenja za pokrivanje srednjih opterećenja u usporedbi s parnim blokovima dolazi naročito do izražaja, kad se uzme u obzir srednji godišnji specifični potrošak topline, na koji, osim potroška topline na klemama generatora u optimalnom režimu rada, utječu i slijedeći faktori:

— gubici topline kod starta i obustave bloka, koji su u uskoj vezi s trajanjem hladnog, odnosno toplog starta,
— tok krivulje specifičnog potroška topline za razna opterećenja,
— vlastiti električni potrošak elektrane.

U svim ovim faktorima kombi blok pokazuje značajnu prednost pred parno-turbinskim blokom.

Jedna od prednosti kombi bloka u odnosu na parni blok je i ta, da je za startanje potrebno znatno manje snage (za blok od 320 MW oko 1,5 MW prema 6—10 MW za odgovarajući parni blok).



Sl. 7 Principijelna shema plinsko-parnog bloka

Danas se nalazi u pogonu, ili gradnji, čitav niz kombi blokova. Interesantno je spomenuti, da u SR Njemačkoj za razdoblje 1972—74. od oko 25.000 MW instalirane snage u novim blokovima, kombi blokovi učestvuju s oko 4500 MW, što u odnosu na blokove termoelektrana na tekuće i plinovito gorivo (oko 8500 MW) predstavlja oko 55% ukupne snage novih jedinica.

U 1970. godini u SR Njemačkoj su kombi blokovi učestvovali s oko 10% u ukupno instaliranoj snazi (51 GW), a za 1980. godinu se predviđa da bi to učešće moglo iznositi više od 30%. Za Sjevernu Ameriku se predviđa da bi ekonomično učešće kombi blokova u bližoj budućnosti moglo iznositi od 20—30% ukupno instaliranih kapaciteta.

Praktički, svi glavni proizvođači plinskih turbina u stanju su ponuditi i izvesti kombi blokove u širokom rasponu snaga.

Pregled najznačajnijih kombi blokova za srednja opterećenja dan je u tablici 2.

Temeljna električna opterećenja

U ovom području opterećenja, koje se proteže iznad oko 4500 sati godišnjeg korištenja punog učina, plinske turbine se dosad nisu ozbiljnije afirmirale, osim za male sisteme, kod kojih se plinska turbina tipa II i III prema sl. 4, kao i kombi blok mogu pokazati svrsishodnim. Interesantan je primjer TE Emden u SR Njemačkoj, u kojoj je 1972. pušten u pogon kombi blok učina 342 MW (plinska turbina 54 MW i parna turbina 288 MW) sa specifičnim potroškom topline od 1990 kcal/kWh u optimalnom režimu, namijenjen za temeljna opterećenja od 7000 h/god.

U razvijenim zemljama svijeta se poduzimaju značajni istražni i eksperimentalni napori radi primjene plinskih turbina zatvorenog ciklusa u nuklearnim elektranama s plinom hlađenim reaktorima. Radi se o plinskim turbinama na helij ili CO_2 snage do 1000 MW, pa i više. Zasad su u pogonu eksperimentalna i prototipna postrojenja manjih snaga.

Modernizacija zastarjelih parnih termoelektrana

Zbog svoje neekonomičnosti i visokih pogonskih troškova zastarjele parne termoelektrane sve se manje koriste u sistemu, preuzimajući sporedne uloge kao npr. rezerve u sistemu, pokrivanje vršnih opterećenja itd. Parni blokovi u takvim elektranama po svojim tehničkim karakteristikama nisu najpogodniji za takve namjene. Dodavanjem plinskoturbinskog postrojenja tipa I ili II (s ispušnim kotlom) na postojeće parnoturbinsko postrojenje dobiva se uz relativno niske investicije kombi blok. Time je s jedne strane povećana snaga elektrane, a s druge strane, bitno je povišena ekonomičnost i fleksibilnost elektrane. Takav blok može u kombiniranom pogonu ostvariti sve prednosti, koje su prethodno opisane za velike kombi blokove, uz specifični potrošak topline od oko 2400 kcal/kWh, tako da se može efikasno uključiti za pokrivanje vršnih opterećenja.

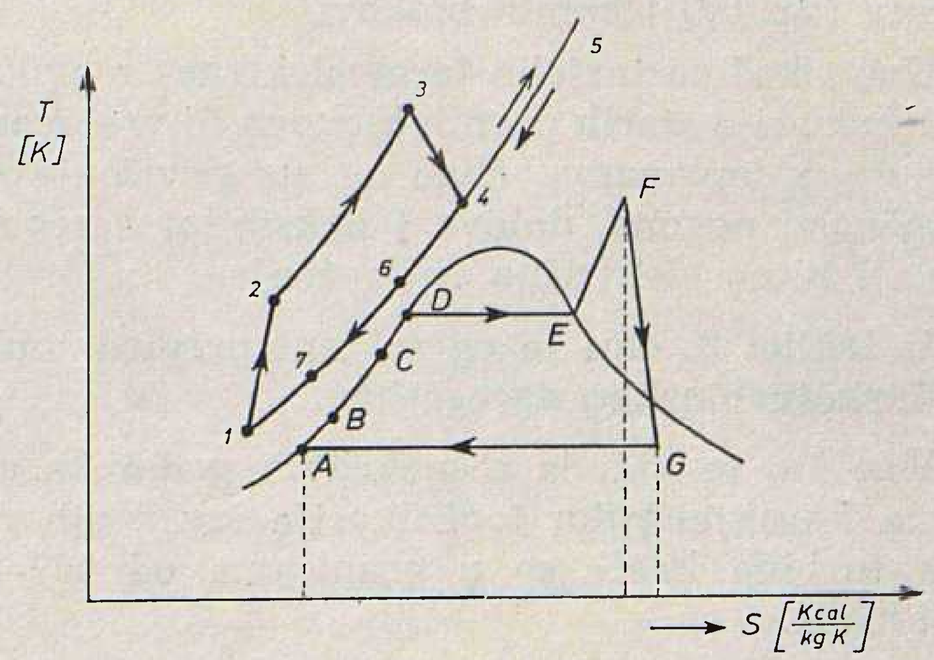
Dakle, na taj način se zastarjelim elektranama popravlja uloga u sistemu i produžuje vijek trajanja.

U našoj zemlji planiraju se takvi zahvati u TE Brestanica i TE Jertovec.

Termoelektrane-toplane

Nekoliko činjenica uvjetovalo je da se plinska turbina posljednjih godina sve više afirmira i u kombiniranoj proizvodnji električne i toplinske energije za grijanje gradova. To su:

- velika količina otpadne topline iz plinske turbine na relativno visokom temperaturnom nivou stoji na raspolaganju za ogrjevne svrhe;
- plinskom turbinom može se postići veća električna karakteristika toplifikacije tj. omjer instaliranog električnog i ogrjevnog učina (kWh/ /Gcal);
- proizvodnja električne energije neovisna je o proizvodnji toplinske energije i obrnuto, što ne vrijedi npr. za protutlačnu parnu turbinu;
- propisi za čistoću zraka u gradovima sve više ograničuju primjenu »nečistih« goriva (ugljen, mazut) u toplanama, što omogućuje nesmetanu primjenu plinskih turbina;
- plinska turbina s kratkim trajanjem starta služi ujedno i za pokrivanje vršnih i hitnih opterećenja.



Sl. 8 Plinsko-parni proces prema sl. 7. prikazan u toplinskom dijagramu

Pregled elektrana s kombiniranim plinsko-parnim blokovima za srednja opterećenja — Tablica 2

Zemlja	Elektrana	Učin (MW Pl. + Par. = Uk.	Gorivo	Godina puštanja u pogon	Opaska
a	b	c	d	e	f
USA	Horsehoe Lake	25 + 235 = 260		1973.	
	Lake Nasworthy	31 + 99 = 130	Zemni plin	1965/66.	
	Razne	12 blokova 140—600 MW uk. učina 4150 MW		1973—75.	
SR Njemačka	Emsland (3 bloka)	57 + 400 = 475	Zemni plin i lako ulje	1970—72.	
	Altbach	50 + 200 = 250	„	1972.	
	Gersteinwerk (4 bloka)	80 + 320 = 400	Zemni plin	1972—74.	
	Gebersdorf	55 + 370 = 425		1973.	
	Mainz	50 + 270 = 320		1972.	
	Brunsbüttel	240			
	Marbach	55 + 250 = 305	Zemni plin i mazut	1973.	
	Marl	134		1973.	
	Wilhelmshaven	53 + 400 = 453	„	1973.	
	Welcheim	60 + 310 = 370		1974.	
	Lingen (2 bloka)	50 + 350 = 400			
	Lausward	2 × 60 + 300 = 420	Lako ulje	1974—76.	
	Kellermann (Lünen)	74 + 96 = 170	Rasplinjeni kameni ugljen	1972.	Parno-plinski blok
Francuska	Vitry-sur-Seine (2 bloka)	45 + 280 = 325	Ugljen i zemni plin	1970/71.	
	Les Houllières du Bassin de Lorraine	3 × 16,5 + + 293,5 = 343			
Australija	Korneuburg	2 × 25 + 25,7 = 75,7		1960/61.	
	Hohe Wand	12 + 68 = 80		1964/65.	
Nizozemska	Amercentrale	15 + 390 = 405		1972.	
SSSR	Njevinomiska	50 + 150 = 200	Zemni plin i lako ulje	1973.	Parno-plinski blok

U obzir za toplane dolaze plinske turbine otvorenog ciklusa tipa II i III prema sl. 4 (s ispušnim kotlom umjesto predgrijača zraka), zatvorenog ciklusa (tip IV) i kombi blokovi.

Kao i kod zastarjelih termoelektrana moguća je modernizacija starih parnih blokova ili vrelovodnih kotlova u toplanama, čime se, uz povišenje ekonomičnosti pogona, dobiva i fleksibilni agregat za vršna i hitna električna opterećenja.

U tablici 3. dan je ograničeni pregled toplana s plinskoturbinskim agregatima.

Kao što se vidi iz raspoloživih podataka električna karakteristika toplifikacije izvedenih plinskih turbina kreće se u granicama od 500—800 kWh/Gcal.

Radi usporedbe navedimo električne karakteristike za dvije toplane u Zagrebu:

— TE-TO Zagreb II s dvije kondenzaciono-oduzimne parne turbine po 32 MW oko 400 kWh/Gcal
— EL-TO Zagreb I s jednom protutlačno-oduzimnom parnom turbinom 12 MW oko 250 kWh/Gcal

Dakle, plinskom turbinom se može proizvesti 2 i više puta veća količina električne energije za zadanu količinu toplinske energije.

Industrijske energane

Budući da kod industrijskih energana u većini slučajeva postoji potreba i za električnom energijom i za toplinskom energijom (para, vrela voda) za tehnološke i ogrjevne svrhe, primjena plinskih turbina opravdana je sličnim argumentima kao kod termoelektrana-toplana. Međutim, kod industrij-

Pregled termoelektrana-toplana s plinskim turbinama — Tablica 3

Zemlja	Toplana	Učin plin. turb. MW	Učin plin. turb. Gcal/h	Izvedba	Gorivo	Godina puštanja u pogon
SR Njemačka	Oberhausen	12,5	17/24	Zatvoreni ciklus 1-osovinska	Kameni ugljen	1960.
	Vahr-Bremen	2 × 25	2 × 30/47,5	Otvoreni ciklus 2-osovinska	Teško loživo ulje	1959/60.
	Sendling München	2 × 25/32	2 × 48/70	Otvoreni ciklus 1-osovinska	Zemni plin i lako ulje	1962/64.
	Nord Braunschweig	25/32	48/70			1963.
	Freimann München	2 × 83				1974/75.
	Flingern Düsseldorf	80 2 × 60		Otvoreni ciklus s avioplin. turb.		
	Oberhausen	50		Zatvoreni ciklus s helijem		1974/75.
SSSR	Moskva	10		Zatvoreni ciklus	i lako ulje	1962.
	Harkov	50		Otvoreni ciklus		1963.
	Krasnodar	100		Otvoreni ciklus		
	Novij Salavat (Sibir)	200		Kombi blok 40 + 140 MW	Rasplinjeno teško loživo ulje uz proizvodnju H_2SO_4	
Švedska	Nyhamn	45				
Austrija	Spittelau Beč	2 × 25/30	2 × 50	Zatvoreni ciklus	Teško loživo ulje	1971/72.
Jugoslavija	Novi Beograd	3 × 35	3 × 46,5 s dod. loženjem 3 × 68,5	Otvoreni ciklus 2-osovinska	Zemni plin, destilati, teško loživo ulje	1967.

skih energana javljaju se dodatni momenti, koji još više govore u prilog plinskih turbina. To su:

— odnos potreba za električnom i toplinskom energijom za razne industrije kreće se u širokom dijapazonu, koji se uspješno može pokriti raznim izvedbama plinskih turbina,
— industrijskim energanama često stoji na raspolaganju otpadni plin iz procesa (rafinerijski, koksni, visokopećni itd.), koji je pogodan za spaljivanje u plinskoturbinskom postrojenju,
— investicije za industrijsku energanu trebaju biti što niže, čemu se vrlo dobro može prilagoditi plinska turbina, itd.

Za ilustraciju učestalosti plinskih turbina u industrijskoj energetici možemo navesti, da je samo jedna svjetska firma (»General Electric«) u 1970. godini isporučila oko 125 plinskih turbina raznih snaga za proizvodnju električne energije u industriji.

Za primjenu u industrijskim energanama uglavnom dolaze plinske turbine otvorenog ciklusa tipa I i II ili kombinirana plinsko-parna postrojenja (obično jednoosovinska plinska turbina i protutlačna parna turbina).

Plinske turbine nisu novodošljaci u industrijskoj energetici, jer su se još prije 15—20 godina počele uključivati na to područje.

Od brojnih vrsta industrijskih postrojenja, u kojima su se plinske turbine afirmirale kao primarni pokretači, mogli bismo nabrojiti slijedeće:

— kemijska i petrokemijska industrija
— rafinerije
— željezare i čeličane
— koksare
— papirna industrija
— cementare
— duhanska industrija, itd.

U tablici 4. dan je ograničeni pregled značajnijih industrijskih energana.

Zaključak

Plinske turbine od svih primarnih pokretača u posljednje vrijeme pokazuju najbrži trend razvoja i primjene za proizvodnju električne i toplinske energije. To se može objasniti slijedećim glavnim karakteristikama plinskoturbinskih postrojenja:

— jednostavnost izvedbe
— niske investicije
— kratak rok izgradnje
— brzi automatski start
— raznovrsnost primjene

Pregled industrijskih energana s plinskim turbinama

Tablica 4

Lokacija	Vrsta industrije	Vrsta plinske turbine	Učin MW	Gorivo	Godina puštanja u pogon
Dudalange	Čeličana	Otvoreni ciklus — kombi blok	5,4 + 13,3		1951—56.
Cornigliano Italija	„	Otvoreni ciklus	16		1961/62.
Donawitz Austrija	„	Kombi blok	1 + 14		
Freeport USA	Kemijska	„	2 bloka 32 + 50, 1 blok 43 + 20		
Ferrera Italija	Rafinerija	Otvoreni ciklus	2 × 9,5		1964.
Tavaux Francuska		Kombi blok	15 + 3		

— mala potreba rashladne vode
— minimum štetnih utjecaja na okolinu
— sloboda pri izboru lokacije, itd.

Do danas postignutim jediničnim snagama do 100 MW u jednostavnoj izvedbi, odnosno do oko 600 MW u kombiniranoj izvedbi s parnoturbinskim postrojenjem, plinske turbine su se probile u većoj ili manjoj mjeri na sva područja proizvodnje električne i toplinske energije. Na području vršnih i hitnih električnih opterećenja plinske turbine dominiraju. Na području srednjih električnih opterećenja, u kombinaciji s parnim turbinama (kombi blokovi), plinske turbine se sve više uključuju. Na područjima termoelektrana-toplana i industrijskih energana, plinske turbine su postale ozbiljan konkurent parnim turbinama. Jedino na području temeljnog električnog opterećenja plinske turbine dosad nisu našle svoje mjesto, osim za male sisteme, premda bi se u vezi s nuklearnom energetikom mogla očekivati njihova afirmacija i na tom području.

Literatura:

1. *Annual Plant Design Report,* Power 116 (1972), Nov., S-2 do S-24.
2. Gašparović N., *Gasturbinen,* VDI Verlag 1967.
3. Schröder K., *Grosse Dampfkraftwerke,* Bd. 2, 1962, Bd. 3, Teil B, 1968., Springer Verlag.
4. *Ponude za blok 320 MW.*
5. Grupa autora, *Sudovije i stacionarnije gazoturbinije ustanovki zakritovo cikla,* Izdateljstvo »Sudostrojenije«, Lenjingrad 1971.
6. Časopisi BWK, Power, Archiv für Energiewirtschaft, Energie, Wärme, Tjeploenergetika, Tjeplovije elektrostanciji itd.
7. *Materijali s 8. svjetske konferencije o energiji,* Bukurešt 1971.
8. *Materijali s 2. G. E. evropskog kongresa o plinskim turbinama,* Palma de Mallorca 1970.
9. *Diesel and Gas Turbine Progress Worldwide,* Vol IV (1970) № 5/6.

Naslov pisca: Vladimir Potočnik, dipl. ing.
Elektroprojekt, Zagreb, član Društva termičara

PERSPEKTIVE ELEKTROPRIVREDE U EVROPI ZA RAZDOBLJE OD 1970—1985[1]

Uvod

Studija o dugoročnoj perspektivi nastoji otkriti glavne tendencije razvoja i tako zacrtati okvir kasnijoj izradi preciznih kratkoročnih i srednjoročnih studija. Studije ove vrste su neophodne elektroprivredi, jer se radi o industriji koja eksploatira velika postrojenja s dugom životnom dobi i koja se mora angažirati na veliko dugoročno investiranje. Pogrešne ocjene ekonomskog reda prijete teškim posljedicama: jedna velika električna jedinica naručna danas, bit će stavljena u pogon tek za četiri ili pet godina i treba da radi dvadeset ili trideset godina.

Može se očekivati da će lektroprvireda krajem ovog desetljeća biti uzdrmana poteškoćama koje će nastati zbog stalno rastuće potražnje za električnom energijom i višom proizvodnom cijenom po kWh, jer će svi realni troškovi proizvodnje i distribucije rasti. Tu valja uključiti i troškove za zaštitu prirode čovjekove okoline.

Iako će uloga ugljena u termičkoj proizvodnji postati manje značajna, ugljen predstavlja bogati energetski izvor koji još dugo neće biti iscrpljen i koji će opet postati interesantan čim tehnologija uplinjavanja postane ekonomičnom.

Primjena prirodnog plina može biti ekonomski interesantnija nego što je proizvodnja električne energije, a pronalazak značajnih nalazišta u Evropi omogućava da se na tržište stave veće količine prirodnog plina od predviđenih.

Od klasičnih goriva samo nafta može imati značajniji udio u proizvodnji električne energije u novim postrojenjima. Ali naftni izvori, iako znatni, mogli bi biti brzo iscrpljeni kod pojačanog ritma eksploatacije.

Proizvođači nemaju više namjeru da prepuste potrošačima kontrolu na svjetskom tržištu nafte. Energetski deficit u SAD (sada se uvozi 12% primarne energije, a u 1985. godini će vjerojatno iznositi 30%), stalno rastuća potražnja zemalja na putu razvoja i preuzimanja eksploatacije naftnih izvora od zemalja proizvođača, koje su svjesne važnosti nafte za njihovo gospodarstvo, povećat će tijekom slijedećih godina poteškoće na tržištu, osim ako ne dođe do zajedničke akcije zemalja potrošača i zemalja proizvođača. Otkriće nalazišta u regiji Ekonomske komisije za Evropu: ECE (tu se osim Evrope ubrajaju i SAD), moglo bi donekle ublažiti ovu situaciju.

Da bi se razgranalo snabdijevanje i na neki način »fiksirala« cijena loživog ulja na koju djeluje tržište, da bi se izbjegle posljedice veće krize goriva, industrija električne energije se sve više interesira za energiju nuklearnog porijekla. Rezultati ove politike su izgradnja oko 30000 MWe nuklearnih elektrana u regiji ECE, od kojih je polovica u Evropi. Pred kraj ovog desetljeća, gotovo će sve evropske zemlje raspolagati s nuklearnim elektranama, ili će u najmanju ruku imati precizne programe. Međutim, u posljednje vrijeme ne prestaju poteškoće u vezi s elektro-nuklearnom proizvodnjom: mišljenje javnosti, povećavanje troškova, dugo čekanje za dozvolu gradnje, kritike na vrste reaktora koji se sada upotrebljavaju (slabo iskorištenje uranija i posebno povišeno termičko pražnjenje). Dobri su izgledi za budućnost, iako kronološki nesigurni, u vezi s razvojem tehnologije (reaktori na visoku temperaturu, brzi oplodni reaktori, fuzija).

Ako se ne poduzmu određene mjere, ako se ne planira za relativno dugo razdoblje, ako se ne nastoji na istraživanjima i tehnološkom razvoju i ne pojača međunarodna suradnja na području električne energije, moglo bi se dogoditi da će se već tijekom ovog desetljeća osjetiti raskorak između potražnje i proizvodnje.

RAZVOJ ELEKTROPRIVREDE I OPĆA EKONOMSKA AKTIVNOST

Razvoj elektroprivrede je usko povezan s općom ekonomskom aktivnošću, posebno u industriji i transportu, pa važnost uloge koju ima električna energija u razvoju privrede premašuje ono što bi se moglo očekivati u vezi s njezinim skromnim udjelom u formiranju ekonomskog proizvoda. U 1970. godini novostvorena vrijednost za sektor »električna energija i plin« (bez prirodnog plina) predstavlja samo 4,8% industrijske proizvodnje za cijelu Evropu. To pokazuje tablica 1, u kojoj se pod energetskim sektorom podrazumijevaju: ugljen, sirova nafta, prirodni plin i industrijski plin a pod sektorom električne energije i plina nije obuhvaćen prirodni plin.

Električnu energiju karakterizira naročito dinamički razvoj unutar energetskog sektora. Dok, dugoročno gledano, energetski sektor ima tendenciju udvostručenja svakih 15 godina, to se u sektoru potrošnje električne energije zbiva svakih 10 godina. Uzrok tome je, što je električna energija najrazvijeniji oblik energije, što ona ima kvazimonopol za neka korištenja, kao što su npr. rasvjeta ili obrada i prijenos informacija, elektrokemija ili elektro-metalurgija, a s druge strane, ona je u stanju da podmiruje sve potrebe kao i drugi oblici energije. Valja se također podsjetiti, da je, u principu, električna energija oslonac eksploatacije elektro-nuklearne proizvodnje koja je pozvana da ubuduće podmiri veliki dio energetskih potreba. Električna energija ima prednosti koje je čine vrlo privlačivom za potrošače (komoditet upotrebe, lakoća transformacije, odsutnost svakog zagađivanja), prednosti koje bez sumnje igraju ulogu u smislu poticaja potrošnje električne energije u odnosu na ostale oblike energije.

Udio električnog sektora u formiranju industrijske proizvodnje ima tendenciju porasta. Iz prethodne tablice se vidi da je novostvorena vrijednost električnog sektora porasla za 8% prema ukupnom energetskom sektoru od 5,5%, dok se je industrijski proizvod povećao u prosjeku za 7%, posljednjih godina. Iako ove brojke predstavljaju samo red veličine, one su dovolj-

[1] Izvadak iz radnog dokumenta EP/R. 2-EP/GE. 2/R. 1, Stockholm, 1972. godine.

Tablica 1

	Industrija		Energetika		Električna energija i plin	
	1970.	god. stopa 1963./1970.	1970.	god. stopa 1963./1970.	1970.	god. stopa 1963./1970.
Novostvorena vrijednost (u 10^9 dolara)	476	7,2%	41	5,6%	22,7	8,1%
Broj zaposlenih (u milijunima)	90,9	1,7%	5,1	—1,3%	2,0	1,5%
Novostvorena vrijednost po zaposlenom (u 10^3 dolara)	5,2	5,4%	8,0	7 %	11,4	6,5%

no jasne. Valja također imati na umu da je industrija električne energije u Evropi (1970. godine) predstavljala više od polovice novostvorene vrijednosti u odnosu na energetski sektor, iako je samo 23% primarnih izvora energije bilo utrošeno putem električne energije.

Poteškoće u dobivanju radne snage u najdinamičnijim industrijama prijete ekonomskom rastu. Produktivnost će igrati značajnu ulogu na nivou kompetitivnosti između raznih grana industrije. U vezi s tim, izgleda da je industrija električne energije dobro plasirana. U 1970. godini, novostvorena vrijednost po zaposlenom u ovoj industriji u Evropi, popela se na 11400 dolara i povećala se je tijekom posljednjih godina ritmom većim od 6% (broj zaposlenih godišnje se je povećavao na 1,5% prema 8% povećanja novostvorene vrijednosti).

Električna energija ima i tu prednost što je elastična, tj. ako dođe do iscrpljenja ili smanjenja nekog energetskog resursa industrija električne energije će pribjeći drugim izvorima, a da potrošač ne mijenja svoja trošila.

PROJEKCIJA POTRAŽNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA RAZDOBLJE OD 1970—1985.

Potrošnja električne energije u Evropi (bez SSSR-a), u posljednjih pedeset godina slijedi »zakonitost« udvostručenja u razdoblju od deset godina. To pokazuje tablica 2, koja prikazuje indekse tendencija potrošnje električne energije u regiji ECE u posljednjih pedeset godina, i iz koje se može vidjeti da je tendencija porasta potrošnje u SSSR-u bila dinamičnija od prosjeka potrošnje ostalih evropskih zemalja. To je ovoj zemlji omogućilo da u razdoblju manjem od dvadeset godina nadoknadi znatno zakašnjenje (u 1946. godini je potrošnja po stanovniku u SSSR-u bila tek nešto veća od polovice evropskog prosjeka), te u 1971. prijeđe za 8,5% prosjek evropske potrošnje po stanovniku.

Tablica 2

Godina	Evropa (bez SSSR)	SSSR	SAD
1921.	17	—	15
1931.	33	—	30
1941.	65	—	47
1951.	100	100	100
1961.	221	338	203
1971.	430	814	395

Ovu »zakonitost« udvostručenja u potrošnji električne energije u deset godina slijedile su i SAD. Ova bi konstatacija mogla imati istraživačku vrijednost za Evropu, jer potrošnja po stanovniku u toj zemlji predstavlja prednost od skoro petnaest godina, kako to pokazuje tablica 3 o potrošnji kWh po stanovniku:

Tablica 3

	1956.	1961.	1966.	1971.
Evropa (bez SSSR-a)	790	1602	2212	2971
SAD	2830	4809	6351	8314

Porast potrošnje ima tendenciju smanjenja, već prema tome kako raste specifična potrošnja po stanovniku. Smanjenje porasta je posebno brzo u prvoj etapi elektrifikacije, a početak zasićenja se opaža nakon što se prijeđe određeni nivo. Sagledavanje za evropske prilike, na temelju specifične potrošnje električne energije po stanovniku u 1960. godini i srednje stope rasta za razdoblje 1960—1970, pokazuje da bi se stopa porasta mogla stabilizirati između 6 i 8%, što opravdava primjenu eksponencijalne krivulje. Valja ipak voditi računa, da se ovakva situacija ne produži u nedogled. Potrošnja energije ima petnaestogodišnje razdoblje udvostručenja, dakle za jednu polovinu više nego što je razdoblje udvostručenja potrošnje električne energije. Potražnja električne energije morat će, dakle, nakon stanovitog vremena prilagoditi stopu porasta onoj za cjelokupni sektor energije. U tim uvjetima se neće više moći podržati sadašnji eksponencijalni ritam, već će se morati pribjeći drugim funkcijama (logistička, Gompertz, itd.).

Vodeći računa o tome da električna energija predstavlja sada relativno mali udio u cjelini energetskog sektora, riziko takvog zasićenja još je dosta daleko. Efekti se neće osjetiti u znatnijoj mjeri prije 1985. godine.

Pomoću ekonometrijskog modela, dobile su se sljedeće projekcije (indeks = 100 za 1970. godinu) potrošnje električne energije u Evropi, sa 95% sigurnosti:

Tablica 4

Godina	Vjerojatna vrijednost	Max.	Min.
1975.	146	152	140
1980.	213	223	204
1985.	311	322	292

Ove brojke ukazuju na srednju godišnju stopu rasta, tijekom razmatranog razdoblja, između 7,4 i 8,1%, nešto su veće od udvostručenja u deset godina,

Tablica 5

Zemlja	Potrošnja električne energije u TWh					Pučanstvo u milijunima					P i B (bruto proizvod) u 10^9 SAD dolara				kWh po jedinci P i B			
	1970.	1075.	1980.	1985.	God. stopa u %	1970.	1975.	1980.	1985.	God. stopa u %	1965.	1975.	1985.	God. stopa u %	1965.	1975.	1985.	God. stopa u %
Austrija	23,8	31,9	42,6	57,1	6	7,4	7,6	7,8	8,0	0,52	10,6	16,8	28,6	4,7	1,72	1,92	1,99	0,7
Belgija	29,3	40,7	55,7	76,2	6,6	9,7	9,9	10,1	10,4	0,46	17,9	27,0	40,7	4,2	1,13	1,50	1,86	1,6
Bugarska	19,4	33,8	58,4	82,4	10,1	8,5	8,9	9,1	9,4	0,67	7,1	13,4	25,3	6,5	1,42	2,52	3,25	4,2
Čehoslovačka	44,9	61,5	82,2	112,2	6,3	14,7	15,2	15,8	16,2	0,65	20,2	32,6	52,7	4,9	1,60	1,88	2,12	1,4
Finska	21,7	32,8	46,2	64,7	7,6	4,7	4,8	4,9	5,0	0,42	7,2	11,5	18,2	4,7	1,93	2,84	3,54	3,0
Francuska	140,1	198,9	281,6	400,7	7,3	51,1	53,1	55,3	57,6	0,80	78,8	123,6	193,8	4,6	1,29	1,60	2,06	2,4
Grčka	9,4	18,7	28,0	39,0	10,0	8,9	9,2	9,5	9,7	0,58	6,5	12,7	24,7	6,9	0,67	1,47	1,57	4,3
Italija	116,8	151,8	262,8	373,8	8,1	53,7	55,7	57,9	60,0	0,74	61,4	102,9	172,4	5,3	1,31	1,47	2,16	2,5
Jugoslavija	25,0	44,2	64,2	93,0	9,2	20,6	21,7	22,8	23,8	0,96	13,4	28,5	60,6	7,8	1,13	1,54	1,53	1,5
Mađarska	16,5	25,1	37,6	55,0	8,4	10,3	10,5	10,8	11,0	0,44	10,2	16,6	27,2	5,0	1,10	1,50	2,02	3,0
Nizozemska	38,8	55,9	80,3	103,6	6,8	13,0	13,7	14,5	15,3	1,09	22,0	34,6	54,3	4,6	1,07	1,61	1,90	5,6
Norveška	56,8	81,2	105,6	130,6	5,7	3,9	4,0	4,3	4,5	0,96	6,3	9,8	15,2	4,5	7,39	8,24	8,54	0,7
SR Njemačka	234,7	333,3	428,8	666,6	7,2	60,7	62,0	63,0	64,2	0,38	109,3	171,5	268,9	4,6	1,50	1,94	2,47	2,5
DR Njemačka	61,5	...	...	...	...	17,3	17,4	17,7	18,0	0,27	24,4	39,4	63,5	4,9	2,19	...	...	...
Poljska	59,9	87,4	127,0	198,3	8,3	33,0	34,8	36,6	38,2	0,98	31,1	55,7	99,9	6,1	1,26	1,56	1,98	2,3
Rumunjska	32,7	58,5	101,0	169,1	11,5	20,3	21,4	22,4	23,3	0,92	13,2	26,2	52,2	7,1	1,27	2,22	3,23	4,8
SSSR	735,7	1085,9	1603,1	2366,4	8,1	242,6	255,6	270,6	286,0	1,13	242,8	438,7	793,2	6,1	2,08	2,47	2,98	1,8
Švedska	64,8	100,9	145,6	198,6	7,8	8,0	8,3	8,6	8,7	0,56	16,7	25,2	38,0	4,2	2,88	4,00	5,21	3,0
Švicarska	28,4	38,3	45,4	56,8	4,7	6,3	6,6	7,0	7,4	1,08	10,9	...	...	...	2,07	...	...	...
Ujedinjeno kraljevstvo	233,3	...	...	...	...	56,0	57,7	59,5	61,8	0,66	105,3	150,0	213,6	3,6	1,75	...	...	...
Turska	8,2	15,9	26,1	40,1	11,2	35,6	40,7	46,5	52,8	2,66	10,3	...	...	...	0,45	...	...	...

Tablica 6

Proces	1975.		1980.		1985.	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1. Ekonometrijski model tendencije 1955—1970.	140	152	204	223	292	322
2. Ekonometrijski model tendencije 1960—1970.	139	148	199	215	283	312
3. Procjena po zemljama	142	146	203	213	292	312
4. Koleralicija sa P i B	140	150	201	219	289	320
Krajnje vrijednosti	139	152	199	223	283	322

a potvrđuju se podacima što su dobiveni procjenama pojedinih zemalja, na osnovi kojih je sačinjen grafikon i tablica projekcija u nekim zemljama Evrope u 1985. godini.

U tablici 6 daju se projekcije potrošnje električne energije u Evropi (bez SSSR-a) prema rezultatima četiriju različitih procesa računanja (indeks za 1970 = = 100).

Interesantna je usporedba razvoja bruto potrošnje električne energije po stanovniku u trima velikim sub-regijama ECE (srednje projekcije u kWh):

Tablica 7

Sub — regije	1970.	1985.	Indeks ukupnog porasta potrošnje 1970.—1985.
Evropa, bez SSSR-a	2608	6933	308
SSSR	3031	8263	322
SAD	8009	18800	289

Uvijek je industrijski sektor bio veliki potrošač električne energije, međutim, slijedom ekonomskog razvoja i porasta životnog standarda naglo se razvija potrošnja u kućanstvima. Sve više maha uzima sistem »sve električno«. Nije daleko vrijeme kada će (pod određenim uvjetima) i grijanje prostorija preuzeti električna energija. Valja voditi računa i o mogućnostima brzog i znatnog razvoja klimatizacije prostorija, osobito u južnim predjelima Evrope, gdje se kroz nekoliko mjeseci osjeća jaka toplina ljeta (u SAD je veći dio kućanskih potreba izazvan u toplim ljetnim mjesecima i vršno godišnje opterećenje je ljeti, od 1963. godine).

Projekcije dobivene ekonometrijskim modelima za tendencije utvrđene tijekom posljednjeg desetljeća (1960/1970) i za potrošnje namijenjene, kako industriji tako i ostaloj potrošnji, dane su u tablici 8. Grupa I. obuhvaća zemlje u kojima je potrošnja električne energije po stanovniku u 1970. godini bila veća od 2500 kWh, a grupa II, zemlje, gdje je potrošnja bila ispod 2500 kWh).

Iz podataka u tablici 8 proizlazi da bi, u najpovoljnijem slučaju široka potrošnja mogla prijeći industrijsku potrošnju početkom slijedećeg desetljeća. Ova tendencija je uočljiva kod viših nivoa potrošnje. U nekim se je evropskim zemljama to već dogodilo, ili će se dogoditi, prije kraja ovog desetljeća (u SAD industrijska potrošnja električne energije iznosila je

Tablica 8

	Godina	Ukupna potrošnja				Za potrebe industrije				Za potrebe široke potrošnje			
		E_{max},	E_{min},	$E_{procjena}$	$E_{ostvaeeno}$	E_{max},	E_{min},	$E_{procjena}$	$E_{ostvareno}$	E_{max},	E_{min},	$E_{procjena}$	$E_{ostvareno}$
Evropa (bez SSSR-a)	1960.	49,5	47,1	48,0	47,8	32,3	30,9	21,6	31,6	15,8	14,0	14,9	14,4
	1970.	102,6	97,5	100,0	99,4	61,1	58,2	59,6	59,1	40,0	35,2	37,5	37,3
	1975.	148,3	139,4	143,8	—	84,3	79,5	81,9	—	64,4	55,4	59,7	—
	1980.	214,9	199,0	206,8	—	116,6	108,4	112,4	—	104,2	86,4	94,9	—
	1985.	311,7	283,6	297,3	—	161,3	147,7	154,3	—	169,1	134,6	150,8	—
Grupa I	1960.	53,6	50,1	51,9	51,1	34,3	32,2	33,2	33,0	18,1	15,6	16,8	16,2
	1970.	103,4	96,7	100,0	99,4	58,4	54,9	56,7	56,4	43,7	37,8	40,6	40,1
	1975.	144,5	133,2	138,3	—	76,9	71,3	74,0	—	69,0	57,8	63,1	—
	1980.	202,7	183,1	192,7	—	101,3	92,4	96,7	—	110,6	87,1	98,1	—
	1985.	284,7	251,4	267,6	—	133,7	119,3	126,3	—	178,8	130,2	152,6	—
Grupa II	1960.	38,8	37,4	38,1	38,3	28,3	25,7	27,0	27,1	9,5	8,8	9,1	9,2
	1970.	102,2	98,0	100,0	98,9	71,3	65,4	68,4	66,5	30,0	27,4	28,7	29,1
	1975.	166,5	157,6	161,9	—	114,7	103,2	108,8	—	54,1	48,8	51,5	—
	1980.	270,0	253,4	261,6	—	185,3	162,2	173,3	—	94,5	83,4	88,6	—
	1985.	439,4	406,8	422,8	—	299,0	254,0	275,6	—	168,4	144,6	156,0	—

40% u 1970. godini, prema 43% za domaće potrebe i trgovinu. Predviđanja za 1985. godinu kažu da će to iznositi 41%, odnosno 44%).

Odlazak seoskog stanovništva izaziva pomanjkanje radne snage na poljima. To se kompenzira povećanjem produktivnosti pojačanom mehanizacijom i automatizacijom procesa u poljoprivrednoj eksploataciji. Elektrifikacija ima i vrlo pogodnih socijalnih reperkusija za poljoprivredno stanovništvo.

Urbana koncentracija povećava javne potrebe za električnom energijom. To je osobito slučaj kod rasvjete cesta, eksploatacije stanica za čišćenje i transport. S druge strane, borba protiv zagađivanja zraka, koja je osobito teška u velikim aglomeracijama, većim će se dijelom oslanjati na električnu energiju, osobito u transportu.

EVOLUCIJA STRUKTURE PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U BUDUĆNOSTI

Evolucija strukture proizvodnje između 1970. i 1985. godine bit će karakterizirana inkorporacijom nuklearnih elektrana i relativnim smanjenjem primarne hidraulične proizvodnje, dok će termička proizvodnja ostati relativno ista i imati tendenciju smanjivanja prema kraju razmatranog razdoblja. Nuklearne elektrane, koje predstavljaju samo 3% proizvodnje električne energije u 1970. godini, mogle bi pokrivati 28% potreba električne energije u 1985. godini.

Slijede projekcije snaga što će se instalirati u Evropi u razdoblju od 1970—1985. (indeks u odnosu na 1970 = 100):

Tablica 9

	1975.	1980.	1985.
Hidroelektrane	126	157	181
Termoelektrane	144	208	268
Nuklearne elektrane	265	1100	2900
Ukupno	145	214	311

Perspektive evolucije strukture proizvodnje električne energije u Evropi za razdoblje 1970—1985. dane su u tablici 10 (postotak od ukupnog):

Tako bi projekcija evropske proizvodnje električne energije i instaliranih snaga za razdoblje 1970—1985, bila prikazana tablicom 11.

Tablica 10

	Snaga	Energija	Snaga	Energija	Snaga	Energija	Snaga	Energija
Hidroelektrane	26	22	23	18	19	14	16	11
Termoelektrane	72	75	73	76	70	71	64	61
Nuklearne elektrane	2	3	4	6	11	15	20	28

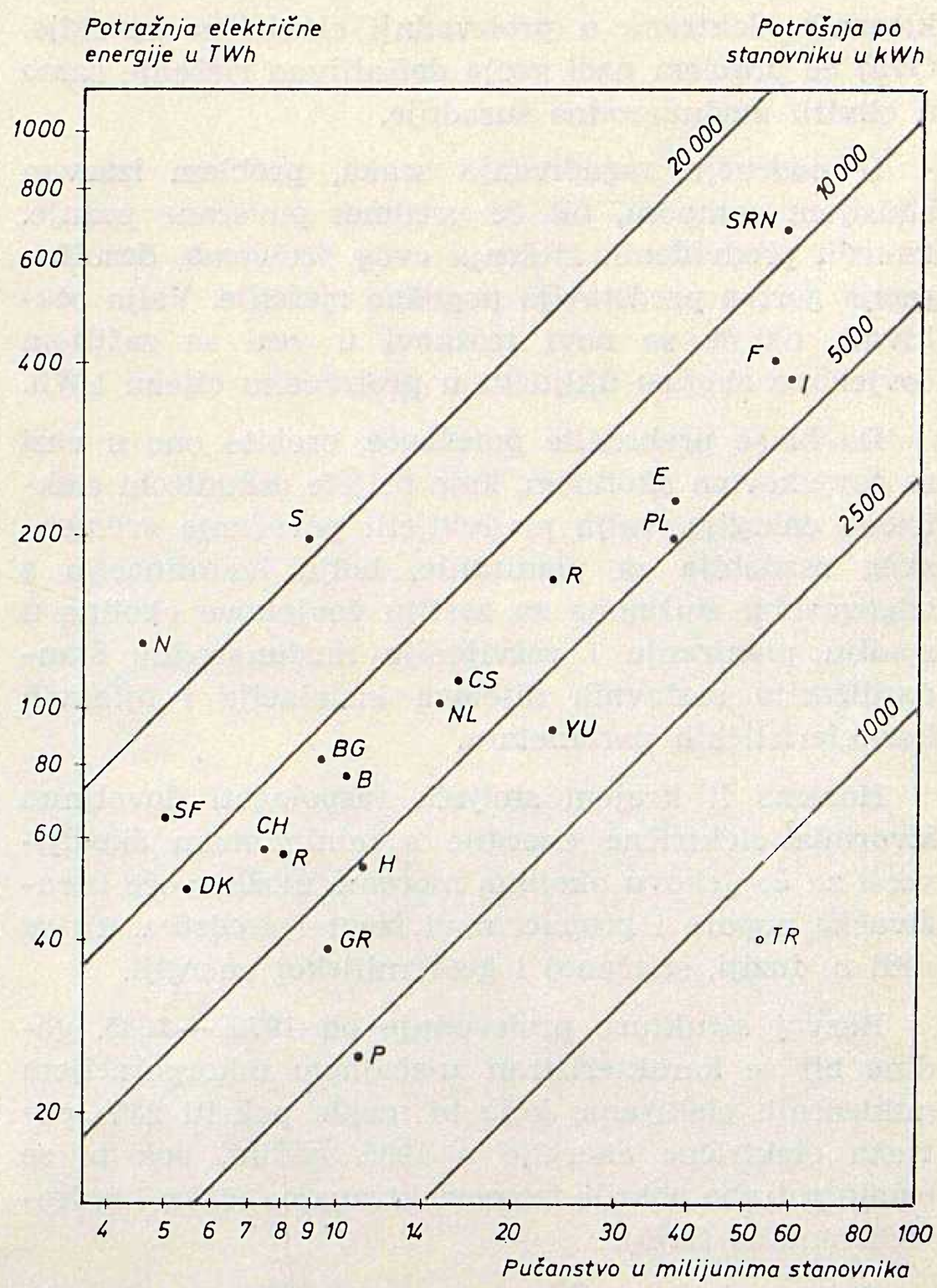
Tablica 11

	1970.		1975.		1980.		1985.	
	GW	TWh	GW	TWh	GW	TWh	GW	TWh
Hidroelektrane	133	473	168	554	210	640	240	740
Termoelektrane	370	1612	530	2337	770	3250	990	4100
Nuklearne elektrane	11	65	32	184	120	690	320	1885
Ukupno	514	2150	730	3075	1110	4580	1550	6725

Dobivene projekcije traže u Evropi instaliranje oko 1100 GW, od 1970—1985. godine, dvostruko od raspoložive snage u 1970. Ukupne investicije, cijene konstantne, mogle bi se popeti na više od 200 milijardi dolara. Ako se tome dodaju investicije za mrežu prijenosa i distribucije, mogu se očekivati izdaci od 400 i 450 milijarde dolara u petnaest godina, kod konstantnih cijena, za cjelokupnu evropsku elektroprivredu. Polazeći od podataka s kojima se raspolaže, ocijenjeno je da su ukupne investicije evropskih elektroprivreda (bez SSSR) iznosile u 1970. godini oko 9 milijardi dolara, čija je raspodjela bila približno ovakva (u milijardama dolara):

Elektrane		4,3
od čega:		
— termoelektrane	2,6	
— hidroelektrane	0,9	
— nuklearne elektrane	0,8	
Mreže transporta i distribucije		4,7
Ukupno		9,0

Tako će za stavljanje u eksploataciju potrebne opreme predviđene od 1970—1985. godine, trebati udvostručiti investiciona ulaganja svakih sedam do osam godina u prosjeku i to u hipotezi nepromjenljivosti jediničnih investicija, hipotezi koja se neće održati, jer, kako će nuklearna proizvodnja smjenjivati klasičnu termičku, rasti će investicije po kW.



Slika 1

ZAKLJUČCI[2]

Evropska potrošnja električne energije (bez SSSR) u 1985. godini, mogla bi biti 2,8 do 3,2 puta veća nego u 1970. godini, što je prosječno godišnje povećanje od 7,2 do 8,1% tijekom ovog razdoblja.

Ako se sadašnje tendencije održe, možda će evropska potrošnja električne energije (bez SSSR) za široku potrošnju prijeći industrijsku potrošnju početkom slijedećeg desetljeća.

Kvantitativne reperkusije koje bi razmatranjem zaštite prirode čovjekove okoline mogle utjecati na potražnju električne energije, mogle bi se utvrditi samo na temelju detaljne analize socijalnih troškova i beneficija vezanih korištenjem električne energije.

Nagli razvoj električnog grijanja, koji bi se temeljio samo na procesu akumulacije, ne izgleda uvijek opravdanim. Što se tiče direktnog grijanja, koje je općenito vrlo skupo u starim nastambama, moglo bi postati kompetitivno i za nove zgrade koje bi svojom konstrukcijom bile prilagođene ovoj vrsti grijanja.

Kao i u SAD, klimatizacija prostorija mogla bi se širiti, naročito u južnim zemljama Evrope, već prema tome kako bi rastao životni standard.

Malo je vjerojatno da će električno vozilo postati značajno transportno cestovno sredstvo prije 1985. godine. Ono će pomalo i sigurno širiti u unutrašnjem gradskom prometu, gdje su problemi zagađivanja već vrlo oštri. Međugradski promet ostat će u nadležnosti elektrificiranih željeznica.

Poboljšanje stupnja djelovanja elektrana nudi dvostruku prednost, bolje korištenje goriva i smanjivanje toplinskog pražnjenja. U tom pogledu nuklearne elektrane se nalaze u nepovoljnijem položaju. Ova će se situacija razvijati prema izjednačavanju stupnja djelovanja ovih vrsti elektrana. Napori mogu i moraju biti ostvareni, gledani na korištenje degažirane topline elektrana, bilo direktnim korištenjem pare, bilo vode sa slabom temperaturom na izlazu iz kondenzatora.

Sistem rashlađivanja otvorenog ciklusa je pogodniji u vezi s ekonomikom elektrane. On predstavlja i manju neprijatnost za čovjekovu okolinu, tamo gdje je dovoljan protok vode. Međutim, potražnja za vodom je sve veća. Rastuće zagađivanje vodnih tokova i oštra ograničenja koja postavlja zaštita čovjekove okoline smanjuju mogućnosti korištenja otvorenog ciklusa rashlađivanja samo uz morsku obalu. U drugim slučajevima valja pribjeći velikim tornjevima za rashlađivanje.

Izgleda, da će eliminacija radioaktivnih otpadaka biti velika poteškoća za masovno inkorporiranje nu-

[2] U radnom dokumentu tretiraju se poglavlja o faktorima koji bi mogli utjecati na buduću potražnju električne energije: aspekti čovjekove okoline i razvoj proizvodnje električne energije, tendencije i perspektive elektronuklearne proizvodnje, termičke proizvodnje i buduća uloga hidroelektričnih postrojenja, kao i perspektive razvoja prijenosnih mreža i interkonekcija, što se u ovom prikazu ne može sve reproducirati. Eventualno će se izraditi poseban izvadak iz radnog dokumenta nakon njegove konačne redakcije.

klearnih elektrana u proizvodnji električne energije. Ovaj će problem naći svoje definitivno rješenje samo u okviru međunarodne suradnje.

U području zagađivanja zraka, problem izazvan emisijom sumpora, bit će predmet povećane pažnje. Između predviđenih rješenja ovog problema, desulfuracija goriva predstavlja pogodno rješenje. Valja očekivati, da će se novi troškovi u vezi sa zaštitom čovjekove okoline uključiti u proizvodnu cijenu kWh.

Da bi se prebrodile poteškoće, osobito one u vezi sa čovjekovom okolinom, koje prijete oskudicom električne energije, valja predvidjeti: povećanje vremenskog razdoblja za planiranje, bolju koordinaciju s odgovornim službama za zaštitu čovjekove okoline u stadiju planiranja i razvijeniju međunarodnu standardizaciju sastavnih dijelova instalacija i njihovih karakterističkih parametara.

Hoćemo li krajem stoljeća raspolagati dovoljnim izvorima električne energije s minimumom škodljivosti za čovjekovu okolinu, moramo uložiti veće istraživačke napore i pronaći novi izvor i sredstva. Tu se radi o: fuziji, sunčanoj i geotermijskoj energiji.

Razvoj strukture proizvodnje od 1970. — 1985. godine bit će karakteriziran značajnom inkorporacijom nuklearnih elektrana, koje bi mogle pokriti 28% potreba električne energije u 1985. godini, dok bi se ostale potrebe pokrile termoelektranama (61%) i hidroelektranama (11%).

Razvoj elektro-nuklearne proizvodnje je usko vezan za: povećanje proizvodnog kapaciteta opreme, ubrzanje postupka dobivanja građevinske dozvole i stavljanja u pogon, instalaciju dodatnih kapaciteta bogaćenja, razumnu politiku lokacije elektrana i za što veće razumjevanje javnosti.

Do 1985. godine tržište nuklearnih elektrana bit će kontrolirano s lakovodnim reaktorima. Sadašnjom tehnologijom vjerojatno će se doseći i jedinice od 2000 MWe, tijekom slijedećeg desetljeća. Nesigurna je budućnost reaktora sa teškom vodom, jer još valja dokazati njihov rentabilitet u odnosu na LWR. AGR bi mogle zadovoljiti dio tržišta, ako ispune svoja obećanja.

Proizvodnja električne energije iz brzih oplodnih reaktora na komercijalnoj osnovi, ne izgleda moguća prije 1985. godine. Možda će do tada i reaktori na visoku temperaturu (HTR) biti eksploatirani u Evropi.

Situacija na tržištu goriva može jako utjecati na budućonst proizvodnje električne energije. Naročito neke zemlje spremaju srednjoročne i dugoročne mjere radi smanjenja, ili ograničenja ovisnosti o uvozu nafte. U tom smislu bi bilo poželjno da se uspostavi uska suradnja, na realnoj osnovi, između proizvođača nafte i zemalja potrošača, kako bi se izbjeglo da se ne pojavi veća kriza na tržištu nafte.

Razvoj potrošnje prirodnog plina za termičku proizvodnju ovisit će naročito o raspoloživim količinama, kada druge potrebe budu zadovoljene, i o problemu zagađivanja zraka, što će morati riješiti neke termoelektrane.

Neki se faktori sve više odupiru upotrebi ugljena u elektranama. Valjalo bi pojačati međunarodnu suradnju radi usvajanja novih tehnologija, naročito uplinjavanja, kako bi se spriječilo da značajni resursi energije u obliku ugljena ostaju neiskorišteni.

Za planiranje termo-proizvodnje, valja voditi računa o tome da je cijena mazuta tržišna, koja će se orijentirati prema cijeni ugljena ili cijeni nuklearnih kWh, već prema tome o kojoj se zemlji radi.

Ugljen sada predstavlja glavno gorivo termoelektrana, ali njegov udio u ukupnoj proizvodnji električne energije, koji je bio 53% u 1970. godini, mogao bi se smanjiti na 31% u 1985. godini. Udio tekućeg goriva mogao bi porasti od 16% u 1970. godni na 26% u 1980. godini, i otada bi se smanjivala njegova važnost, jer bi u 1985. godini njegov udio iznosio samo 22%. Udio prirodnog plina, iako uz godišnji rast od 10%, ne bi bio značajan u apsolutnom iznosu.

Značaj hidro-električnih postrojenja, kao snabdjevača primarnom energijom, progresivno bi se smanjivao. Radi svoje raspoloživosti i elastičnosti u eksploataciji — bit će pozvani da daju rastući doprinos pokrivanju moduliranog dijela dijagrama opterećenja, uključujući tu i pokrivanje vršnih opterećenja. U planu izgradnje i transformacije hidro-električnih postrojenja, crpno-akumulaciona postrojenja zauzimaju prvo mjesto. Ipak, crpne elektrane ne bi smjele prijeći, u principu, 10 do 25% ukupno instalirane snage.

Od 1970. — 1985. godine, jedna trećina instaliranih snaga bit će nuklearnog porijekla. Nuklearne elektrane bit će rezervirane za pokriće najvećeg dijela porasta potražnje »temeljne« energije. Stoga, problem pokrivanja »vrhova« opterećenja, mora biti predmet pojačane pažnje.

Bilo bi uputno pojačati međunarodnu interkonekciju, jer ona omogućava realizaciju ušteda, kako u investicijama tako i u troškovima eksploatacije. Ujedno, premještanje na međunarodnom planu problema sigurnosti u snabdijevanju putem velikih jedinica u budućnosti.

Izgleda da će početkom slijedećeg desetljeća biti ekonomski opravdan nivo napona od 765 kV. No, pitanje je ne bi li trebalo prijeći direktno i na viši napon tj. reda 1000 kV.

Budući da će se razvoj prijenosnih mreža s nadzemnim vodovima naći u jakoj kontraverziji bit će sve više hendikepiran zaštitom čovjekove okoline. Stoga valja ozbiljno misliti na istraživanja i razvoj tehnologija koje će dozvoliti da ekonomično prenosimo električnu energiju na velikim udaljenostima podzemnim kabelom.

D. Mijić

PRIMJENA SAMONOSIVOG KABELA U MREŽAMA DISTRIBUCIJE

Tvornica kabela »Elka« usvaja proizvodnju samonosivog kabelskog snopa pod nazivom »ELKALEX-1« prema francuskim normama, koji odgovara francuskom tipu kabela »TORSADES«. Ovaj tip kabela masovno se primjenjuje u distributivnim mrežama EdFa, kao zamjena za klasične zračne mreže sa golim vodičima.

Konstruktivno je to kabel sa više izoliranih faznih vodiča od aluminija i nultim vodičem od aluminijske legure, koji ujedno služi i kao nosivo uže, sve zajedno použeno u kabelski snop.

Samonosivi zračni kabeli pružaju mogućnost interesantnih rješenja kod novih, ali često i kod rekonstrukcija postojećih mreža. Sve veća primjena samonosivih kabela nudi velike prednosti kod montaže i pogona, dobrim dijelom i zbog razrađenih svrsishodnih specijalnih armatura.

1. Faktori koji su utjecali na razvoj nadzemnih mreža sa samonosivim kabelima

A. Problemi koji nastaju kod nadzemnih mreža
B. Evolucija izolirajućih materijala
C. Prednosti mreža s izoliranim vodičima:

— s tehničkog stanovišta,
— sa stanovišta eksploatacije,
— s estetskog stanovišta i
— s ekonomskog stanovišta.

A. Problemi koji nastaju kod nadzemnih mreža

U francuskoj distributivnoj mreži svake se godine ugrađuje 9—10 tisuća kilometara vodova niskog napona (gradskog, polugradskog i seoskog područja) sa samonosivim kabelima, tražeći investicije 3 puta veće od investicija koje se daju i odobravaju za izgradnju novih mreža niskog napona.

Iznos troškova s jedne strane, a s druge strane sve veće investicije i eksploatacije nadzemnih mreža, usmjerili su francuske distribucije na orijentaciju prema tehnici mreže niskog napona, koje se bitno razlikuju od klasične tehnike upotrebljavane na mrežama niskog napona do sada.

B. Razvoj izolirajućih materijala

Ova se tehnologija naročito razvija od 1962. godine. Uvedene su razne sintetičke izolacije u Francuskoj koje su omogućile osjetno smanjenje cijene koštanja izolacije, garantirajući značajne tehničke rezultate kao:

— le polychlorure de vinyle spécial (polikloriranje specijal. vinila)
— le polyéthyléne reticule chimiquement (polietilen mrežasti spojen kemijski)
— l' hypalon.

Ove izolacije su bile podvrgnute testovima u laboratorijima Direkcije za proučavanja i istraživanja ubrzanog starenja:

— na utjecaj ultravioletnih zraka,
— na otpornost na kemijske agense (soli, ozon i kiseline),
— na mehaničko i električno ponašanje na temperaturama od −30°C do +120°C,
— na izvržljivost na struganje i mehaničke šokove,
— na dobru vremensku stabilnost izvedbe.

Laboratorijska služba obrade materijala u Direkciji za proučavanje i istraživanje u Fontenayu, pristupila je pokusima kontrole novih materijala i usko surađuje s konstruktorima u istraživanju sintetičnih izolacija.

C. Prednosti mreža s izoliranim vodičima s tehničkog stanovišta

Jedna od najvažnijih prednosti je povećanje prijenosne moći u odnosu na nadzemnu mrežu iste sekcije, ili čak iste prirode metala. Zbog smanjene reaktancije (do 40%) povećava se prijenosna moć djelatne snage.

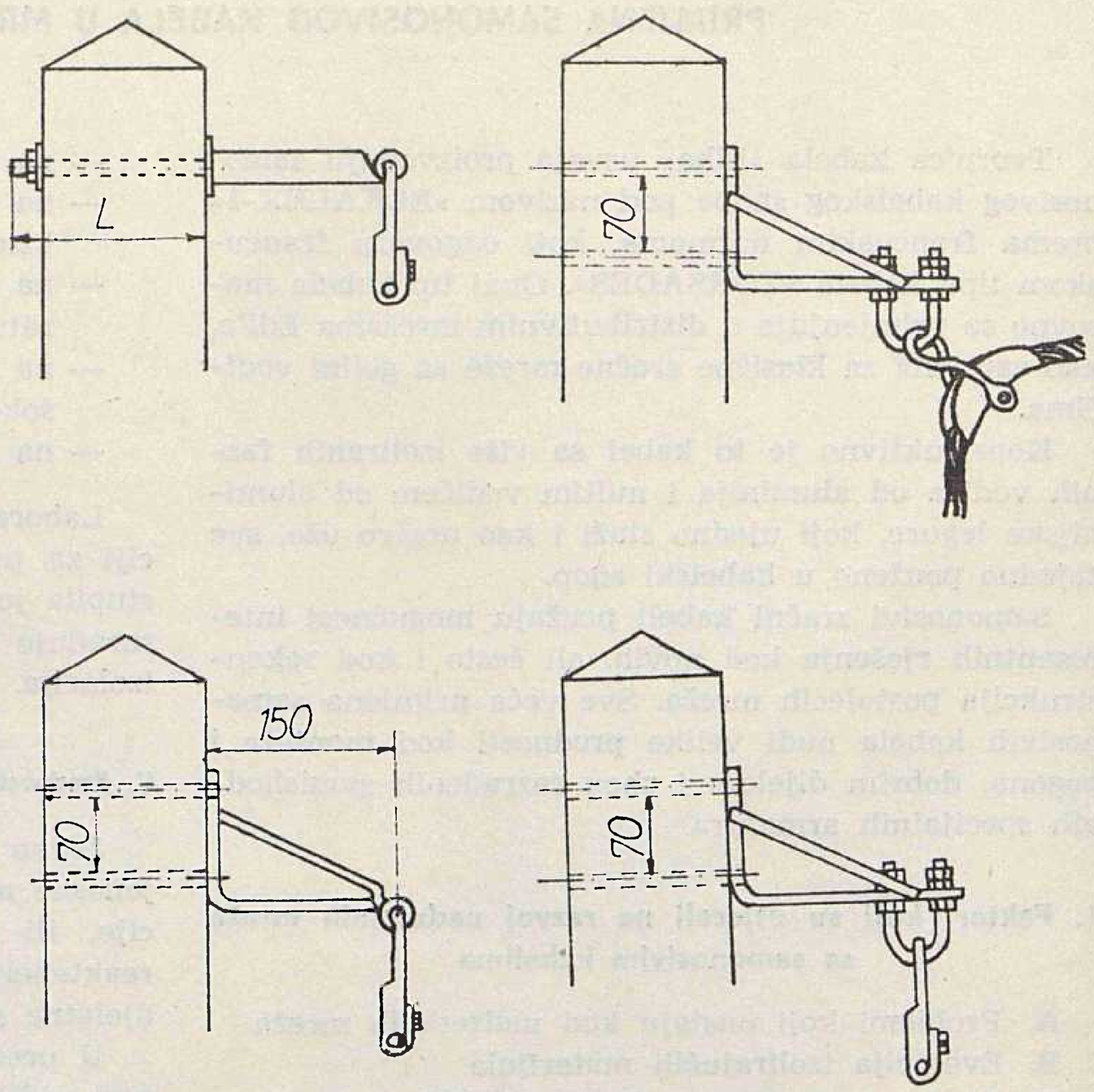
U predjelima gdje ima dosta inja, snop s izoliranim vodičima nosi opterećnje 4 ili 5 puta lakše negoli nadzemna mreža sa 4 ili 5 odvojenih vodiča. Moguće je proračunati sam nosač za najveća opterećenja, dajući faznim vodičima pravi presjek za kapacitet traženog prijenosa.

Kao ostale prednosti mogu se navesti:

1. Otklanjanje svih problema postavljanja nosača na javnim putovima i vrlo značajno smanjenje postavljanja.
2. Mogućnost da se lako pristupi konstrukciji nove mreže, praktički neovisno o staroj.
3. Eventualno učvršćenje antene za BT lako izvedivo nekom drugom žicom na postavljenim nosačima.
4. Mogućnost upotrebe aluminija u odnosu na nadzemnu mrežu s golim vodičima.
5. Mogućnost kanaliziranja dviju strana ulice bez smetanja PTT-a.
6. Lakše je odrediti trasu, budući da sada žice mogu prodrijeti u zaštitnu zonu pod određenim uvjetima.

Ako valja pojačati postojeću mrežu golim vodičima, koja još može izdržati što se tiče starosti, lako je instalirati drugu mrežu s izoliranim vodičima na suprotnoj strani ulice. To nam rješenje omogućuje:

— da se samo spoje grananja odvojaka smještena na strani gdje se instalira nova mreža i da se izbjegnu svi prelasci preko ceste, što umanjuje dužinu grananja odvojaka i opterećenja stare mreže;
— da se koristi za vrijeme trajanja stare mreže kapacitet prijenosa nove i stare mreže;
— da se smanje troškovi investicija, budući da se druga strana ulice kanalizira izoliranim vodičima, tek onda kada je stara mreža zasićena ili istrošena;



SI. 1. Tipovi nosača sa stezaljkom

— način polaganja je znatno brži i jeftiniji od polaganja na klasičnim mrežama;
— visina stupova može biti mnogo niža od klasičnih, a posao podizanja vodiča na stup mogu obavljati polukvalificirani radnici;
— mreža je znatno sigurnija za okolinu i mnogo otpornija na mehanička opterećenja i atmosferska pražnjenja;
— napajanje električnom energijom mnogo je sigurnije i kvalitetnije;
— prilikom popravka voda, monter pri montaži priključaka na stup nije opterećen raznim alatom i priborom.

Sa stanovišta iskorištavanja:

Smanjenje trajanja prekida struje zbog izmjene postojeće mreže;
Mogućnost eventualne lake intervencije budući da je mreža smještena nisko;
Veća sigurnost od nezgoda, jer je sistem izoliran.

S estetske strane i ekonomskog stanovišta:

Vodove mjesnih mreža na samonosivim zračnim kabelima većina ljudi slabo primjećuje, pa su tendencije i s estetskog stanovišta u korist izoliranih zračnih mreža.

Iz usporedbe troškova nadzemnih mreža na klasičnim golim vodičima u odnosu na mreže sa samonosivim kabelima, dobiva se povoljnija cijena od 15—25% u korist nadzemnih vodova izvedenih samonosivim kabelima.

Valja spomenuti, da bitne prednosti dolaze do izražaja tek u pogonu.

Povećanu sigurnost od nezgoda s potpuno izoliranim sistemom valja ocijeniti kao veliku prednost.

2. Konstrukcija samonosivog kabela

Samonovisi kabel se sastoji od 3-fazna aluminijska vodiča i nultog vodiča od aluminijske legure, odnosno legure 5005 prema ASTM, koji ujedno služi i kao nosivo uže.

Kabelske žile izolirane su umreženim polietilenom koji je vrlo otporan na promjene temperature i do −40°C.

Nosivo uže izrađeno je iz al-legure 33 kp/mm² prekidne čvrstoće, promjera 9,45 mm.

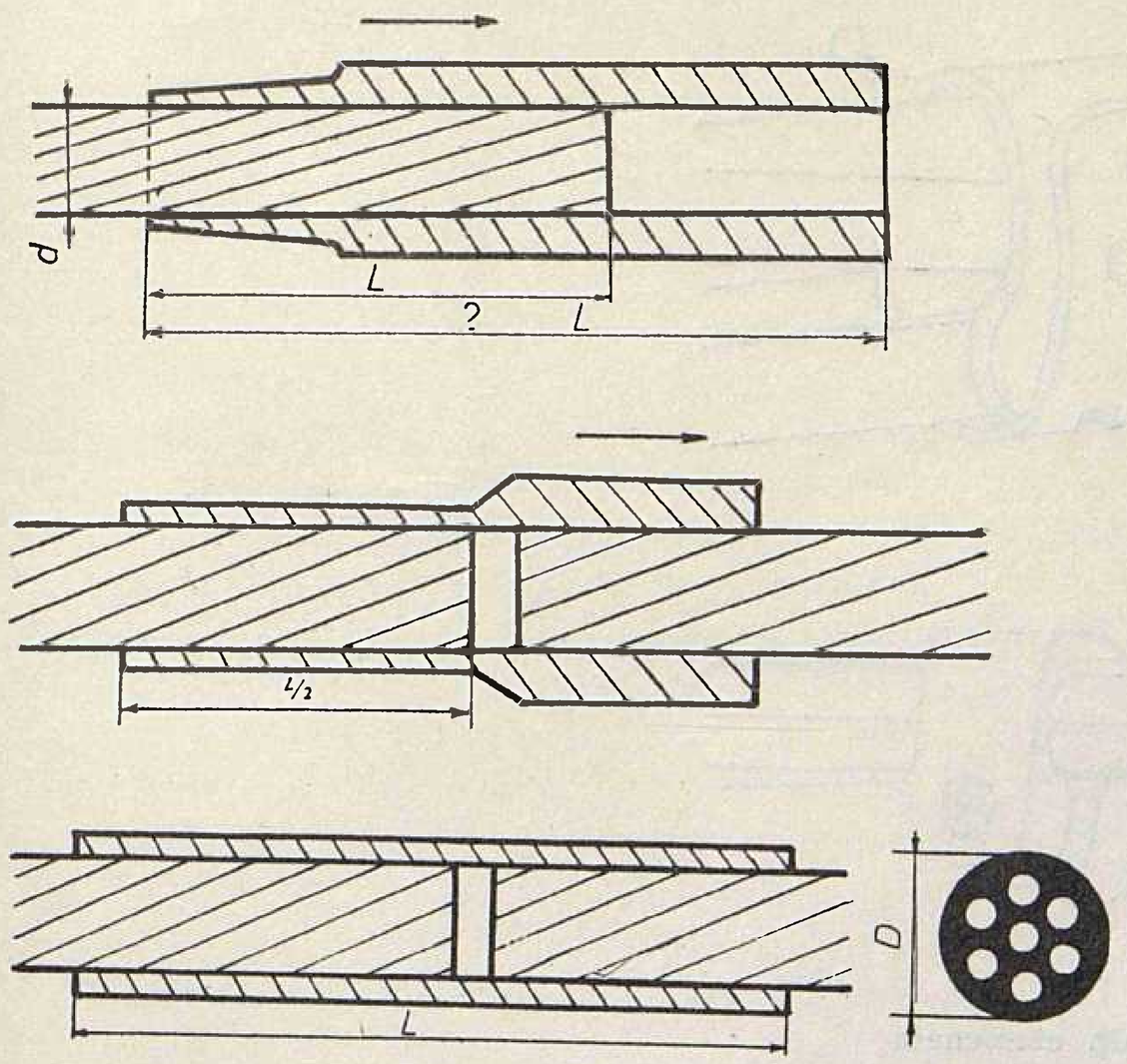
Težina izoliranog užeta iznosi 200 kg/km, a kritični raspon užeta kod −5°C s ledom ili −20°C bez leda iznosi 175 m.

3. Upotreba kabela

Ovaj kabel iz al-legure namijenjen je uglavnom za izvedbu distributivnih mreža niskog napona. Posjeduje odlična električna i mehanička svojstva, i može se primjeniti u različitim specifičnim uvjetima (sportske, kulturne manifestacije, elementarne nepogode, za gradilišta i sl.).

Postoje dva načina ovješenja samonosivog kabela. Ako se radi o mreži u gradskim naseljima kabel se pričvršćuje na fasade zgrada s ulice, a kod seoskih mreža kabel se polaže na drvene stupove.

Kod polaganja na fasadu zgrada, mogu se primjenjivati dva načina polaganja ovisno o razmacima kuća i širine ulica, a ako je polaganje kabela između kuća, gdje nema razmaka, polaganje se obavlja na nosačima koji su smješteni na 700 mm udaljenosti jedan od drugoga.

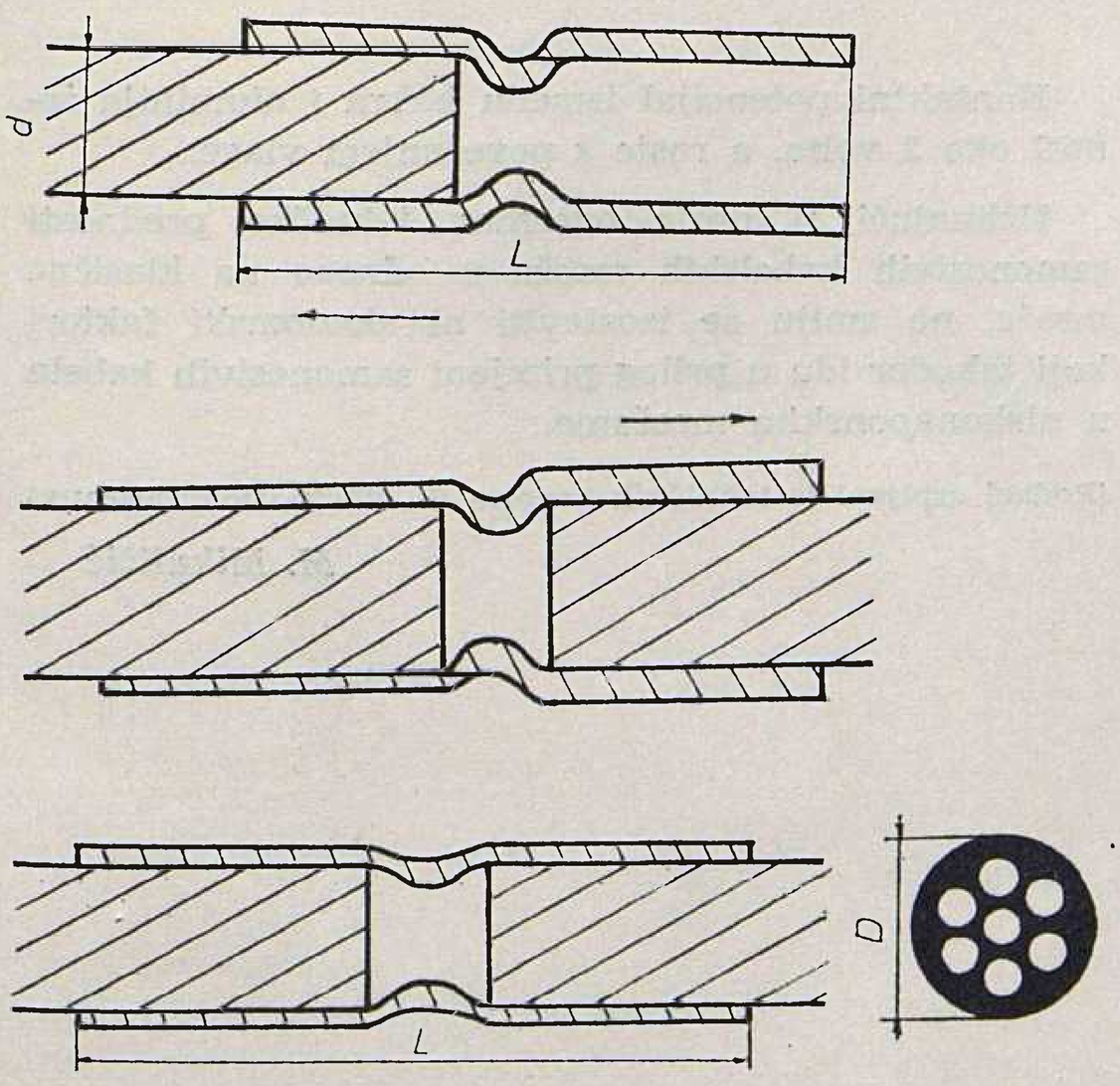


Sl. 2. Način spajanja vodiča za presjeke do 25 mm²

Pregled maksimalnog raspona za osnovne konstrukcije

Presjek kabela	Raspon
3 × 25 + 54,6	64 m
3 × 35 + 54,6	53 u
3 × 50 + 54,6	51 m
3 × 70 + 54,6	44 m

Ovješenje na stupu mora omogućiti horizontalno pomicanje (*vidi sliku 13*).



Sl. 3. Način spajanja vodiča za presjeke veće od 25 mm²

4. Postupak pri spajanju

Kod samonosivih kabela primjenjuju se dvije metode spajanja i to:

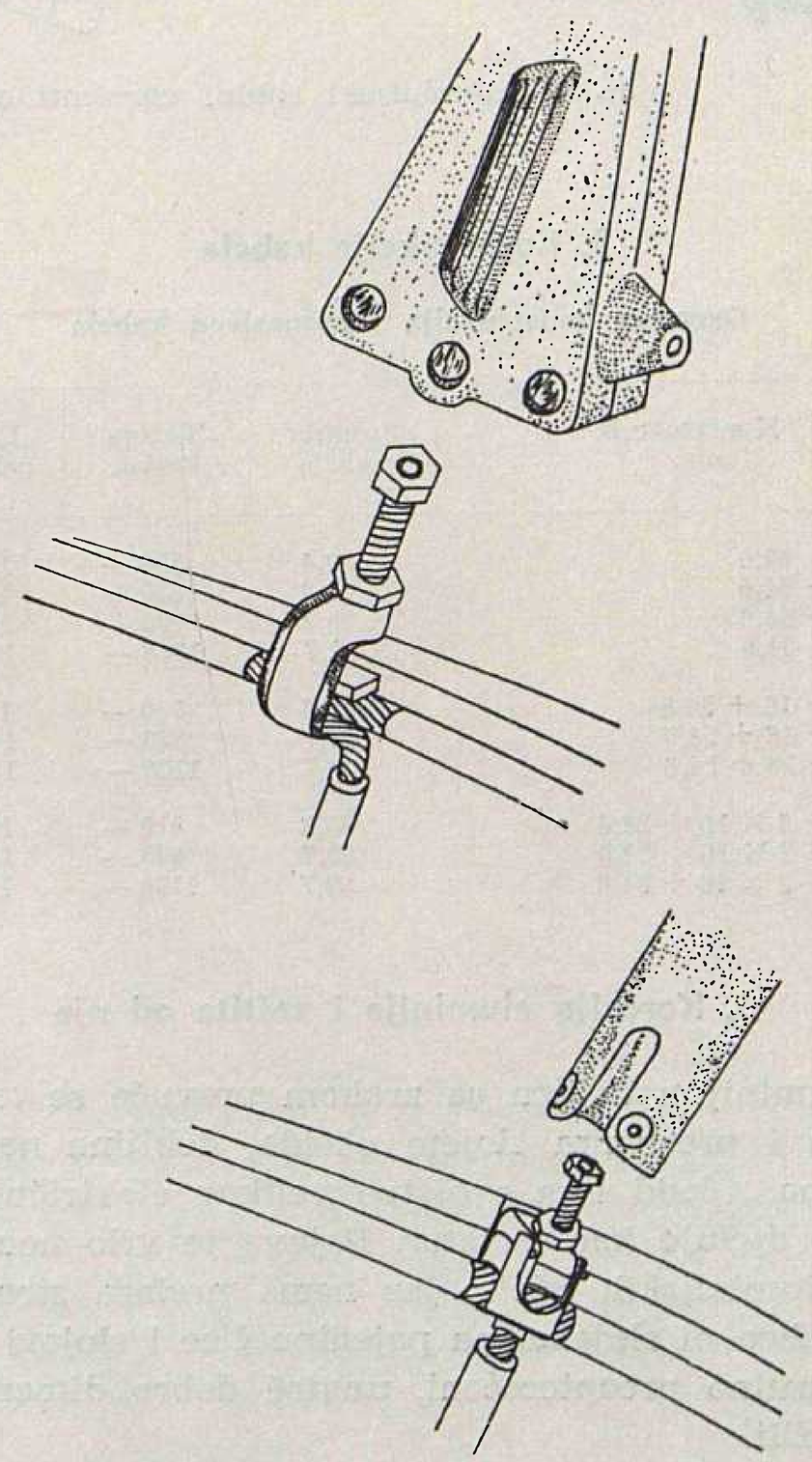
a) spajanje putem prešanja faznih vodiča i spajanje nosivog užeta duž čitave linije,
b) spajanje pomoću vijčanih stezaljki za priključke (*vidi sliku 4, 5 i 6*).

Spajanje žila kabela

Kontaktni otpor ovisan je o veličini kontaktnog pritiska i površini

$$R = \frac{r}{s}.$$

r = jedinica površine spoja (kontaktni otpor)
s = ukupna površina spoja



Sl. 4. Spajanje pomoću vijčanih stezaljki

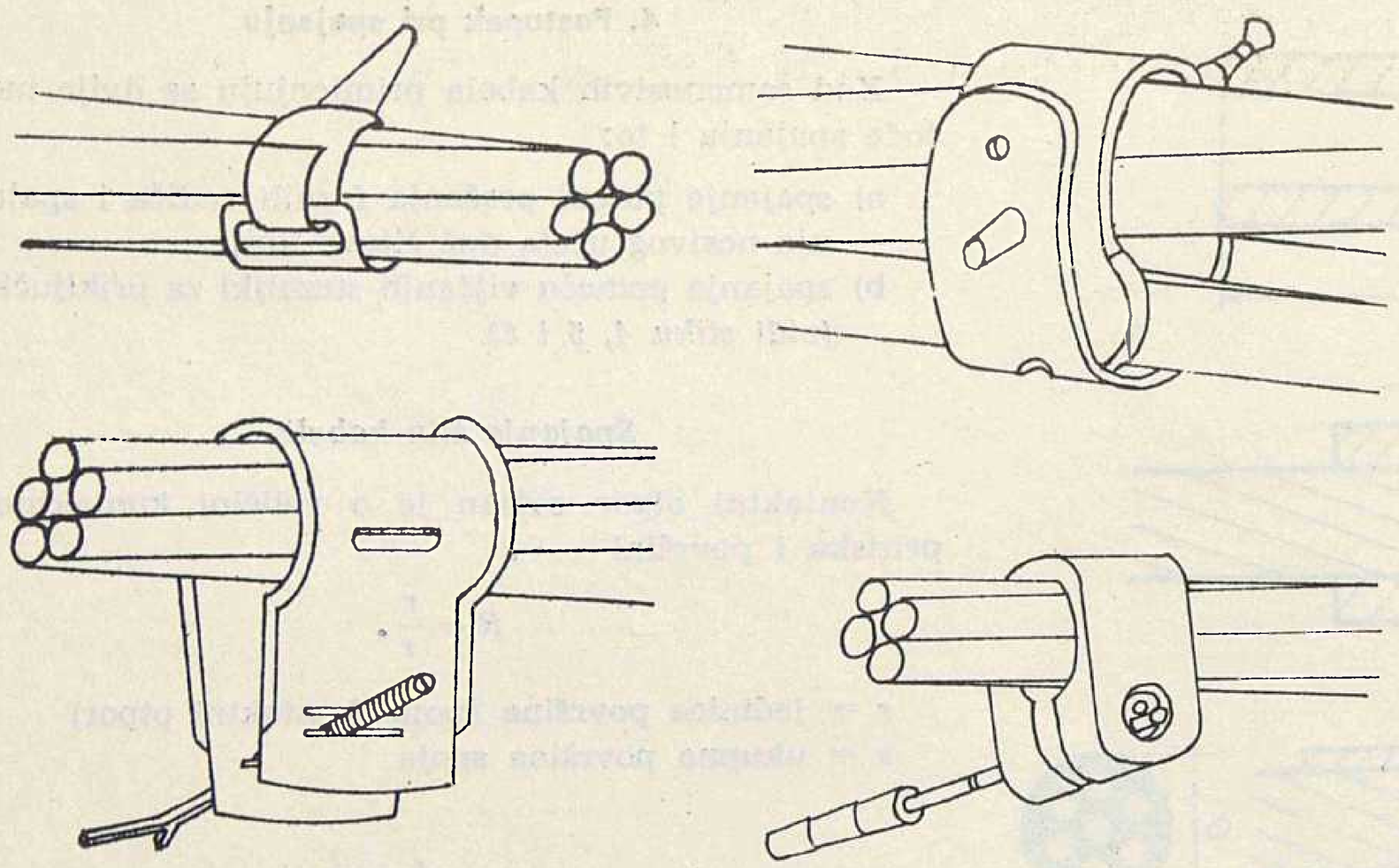
Kontaktni otpor (r) ovisi o vrsti materijala, obradi materijala, čistoći površine i tvrdoći materijala.

Povećanjem pritiska vrijednost mu opada.

$$r = \frac{k}{p}.$$

k = konstanta materijala
p = pritisak

Poznato je svojstvo aluminija, da kod pritiska većeg od 2,8 kg/mm² dolazi do hladnog pucanja. Zbog toga se uzimaju masivniji aluminijski spojni elementi od bakrenih elemenata, *slika 2*.



Sl. 6. Aluminijski spojni elementi od bakrenih elemenata

5. Konstrukcija kabela

Osnovna konstrukcija samonosivog kabela

Konstrukcija mm²	Promjer kabela	Težina kg/km	Dužina pakiranja
3 × 25 + 54,6	30,4	550.—	1000 m
3 × 35 + 54,6	33,3	670.—	1000 m
3 × 50 + 54,6	35,7	795.—	1000 m
3 × 70 + 54,6	39,7	1020.—	1000 m
3 × 35 + 16 + 54,6	33,3	750.—	1000 m
3 × 50 + 16 + 54,6	35,7	870.—	1000 m
3 × 70 + 16 + 54,6	39,7	1100.—	1000 m
3 × 35 + 2 × 16 + 54,6	33,3	810.—	1000 m
3 × 50 + 2 × 16 + 54,6	35,7	930.—	1000 m
3 × 70 + 2 × 16 + 54,6	39,7	1160.—	1000 m

6. Korozija aluminija i zaštita od nje

Aluminij u dodiru sa zrakom prevuče se tankim, tvrdim i prozirnim slojem oksida, debljine nekoliko mikrona. Oksid ima svojstvo velikog električnog otpora i djeluje kao izolator. Pojava je vrlo neugodna kod aluminijskih užeta, jer nema prelaza struje između žica ni slojeva, pa pojedine žice i slojevi mogu biti strujno preopterećeni, unatoč dobro dimenzioniranoj žili.

Ako bi došlo do oksidiranja na kontaktnim mjestima, povećao bi se kontaktni otpor, što bi dovelo do povećanja temperature i do razaranja kontaktnih mjesta.

Javlja se i drugi oblik korozije, a to je galvanska korozija. Ona nastaje kad aluminij dođe u dodir s drugim metalima, uslijed razlika u kontaktnom potencijalu između aluminija i metala s kojima je aluminij u neposrednom dodiru. Kontaktni potencijal je kod metala različit. Djelovanje galvanske korozije je to veće, što je veća razlika potencijala. Metal s nižim potencijalom biva uništen. U slučaju dodira Al i Cu propada aluminij.

Materijal	*Kontaktni potencijal*
aluminij	— 1,60 Volta
bakar	+ 0,34 ,,
srebro	+ 0,80 ,,
olovo	— 0,13 ,,
kositar	— 0,14 ,,
željezo	— 0,44 ,,
magnezij	— 2,38 ,,
cink	— 0,76 ,,

Kontaktni potencijal između bakra i aluminija iznosi oko 2 volta, a raste s povećanjem vlage.

Uzimajući u obzir ogromne tehničke prednosti samonosivih kabelskih mreža u odnosu na klasične mreže, ne smiju se izostaviti ni ekonomski faktori koji također idu u prilog primjeni samonosivih kabela u niskonaponskim mrežama.

(Podaci crpljeni iz tehničkih propisa B_{33} Réalisation Déseaux)

M. Mikuličić

Elektroprivreda Japana

Japan je, kao što je poznato, država otoka (4 velika i 3340 malih otoka), površine 370.000 km² sa 105 milijuna stanovnika. Jedna trećina stanovništva živi u Tokiju i njegovoj okolini. Dio između Tokija i Osake, duž obale Tihog oceana, najjače je industrijaliziran i daje 70% japanske proizvodnje. Industrijski razvoj i porast nacionalnog dohotka bio je poslije rata jedan od najvećih na svijetu. Dok je proizvodnja 1946. pala na 27,6% one iz 1936, u 1960. je narasla 3,5 puta iznad toga nivoa.

Japan je siromašan izvorima sirovina. Ima nešto nalazišta slabokaloričnih ugljena, ali uvozi svu potrebnu naftu i njene derivate (1972. uvezeno 200 milijuna tona). Zemni plin se također uvozi. Od 1939. ukapljeni plin se dobavlja s Aljaske. U budućnosti će se plin uvoziti s Bornea, i eventualno iz SSSR-a. Planira se, da bi se 1975. uvezlo 11 milijardi m³.

Japan proizvodi 80% svoje električne energije u termoelektranama, a ostalo u hidroelektranama. Oko 80% proizvodnje u termoelektranama dobiva se loženjem naftom, a 17% ugljenom. Udio nuklearne energije bio je 1972. 3%, a prema planu njen će udio porasti 1969. na 16%, a 1983. na 26% ukupne proizvodnje električne energije. Do 1979. je predviđena gradnja 49 nuklearnih elektrana, ukupne snage 47.000 MW. Paralelno s izgradnjom novih nuklearnih elektrana, grade se pumpne hidroelektrane za pokrivanje vrhova opterećenja.

Elektroprivreda je organizirana u privatna regionalna elektroprivredna poduzeća i jednim poludržavnim poduzećem koje eksploatira prvenstveno hidroelektrane.

Krajem 1970. bio je udjel pojedinih poduzeća u proizvodnji električne energije slijedeći:

— 9 regionalnih elektroprivrednih poduzeća	72 %
— poludržavno poduzeće: EI. Power Development Co.	6 %
— privatna i komunalna poduzeća	8 %
— industrija za vlastite potrebe	14 %

Instalirana snaga sviju elektrana iznosila je 1971. 68.300 MW, od čega na javne elektrane otpada 59.000 MW.

Posljednjih godina godišnji porast proizvodnje električne energije iznosio je oko 10%, pa je 1971. dostigao 308.000 GWh (u javnim elektranama).

U usporedbi s nekim visoko-industrijaliziranim zemljama dani su ovi podaci o ukupnoj godišnjoj proizvodnji (za proizvodnju industrijskih elektrana) u 1970:

USA	1.640 TWh
SSSR	750 ,,
Japan	360 ,,
V. Britanija	250 ,,
SR Njemačka	240 ,,
Francuska	140 ,,

Prave interkonektirane mreže Japan nema. Mreže najveće prijenosne snage izgrađene su oko velikih gradova. Razdioba električne energije u gradovima je prvenstveno nadzemnim vodovima. Kablirane su samo linije u glavnim ulicama.

Interesantno je iznijeti da u Japanu postoji posebna ustanova Environment Agency (pod Ministarstvom trgovine i industrije), koja se bavi problemima zagađenja okoline u svim njenim oblicima. Zbog velike koncentracije ljudskih naselja i industrije problem zagađenja je neobično važan. Ova je ustanova organizirala širom zemlje vrlo veliki broj mjernih mjesta, gdje se kontrolira postotak sumpornog dioksida i ugljičnog monoksida. Mnogo se radi na problemu odsumporavanja dimnih plinova, odnosno ulja za loženje. Metode i uređaji su još u ispitivanju, pa se ne može govoriti ni o načinu odsumporavanja ni o troškovima. Prema statistici navedene ustanove, u 1970. se trošilo oko 10% investicija na zaštitu okoline. Prema opreznim procjenama Japan će za zaštitu okoline morati trošiti oko 20 milijardi DM godišnje.

(Prema: Elektrizitätswirtschaft 1973. br. 17)

B. M.

Kombinirane parno-plinske termoelektrane u Saveznoj Republici Njemačkoj*

Interes za elektrane s kombinacijom parnih i plinskih turbina je u posljednje vrijeme velik. Razlog leži u poboljšanom stupnju korisnog djelovanja. Porastom temperatura plina, s kojim će plinske turbine moći raditi, taj interes će postojati i dalje. Naime, porastom ove temperature za 10 °K postiže se poboljšanje stupnja korisnog djelovanja za oko 0,1%. Pri tom se u širokom opsegu tereta dobije dobar stupanj korisnog djelovanja, koji čak može biti i viši kod djelomičnog tereta. Uvjet za primjenu ovakvih jedinica je prikladno gorivo, tj. zemni plin ili lako loživo ulje. Postoji i mogućnost upotrebe rasplinutog ugljena za loženje ovakvih blokova. U odnosu na direktno loženje ugljenom ovo je povoljnije zbog manjeg zagađivanja okoline. U pogledu ponašanja u pogonu postoji još uvijek skepsa u odnosu na primjenu ovakvih postrojenja. Jedino kratko iskustvo s jedinicama iznad 200 MW postoji iz elektrane Altbach, Neckarwerke

* Prikaz članka: H. Phost, *Kombinierte Dampf- und Gasturbinenanlagen in Deutschland.* BWK 25 (1973) Nr. 8

Kombinirani blokovi u SR Njemačkoj u pogonu ili izgradnji (stanje XI 1972)

Elektrana	Snaga (MW)		Gorivo		Parametri pare $p/t/t_m$ (bar/°C/°C)	Izlazna temp. dimnih plinova (°C)	Temperatura pregrijanja pojne vode (°C)	Broj odcjepa pregrijanja pojne vode	Dodatni ventilator	Puštanje u pogon
	Ukupno	Plinska turbina	Plinska turbina	Kotao						
Neckarwerke, Altbach II	270	55	LU	LU	116/535	175	155	4	rezerva	1971.
NWK Emden IV	455	55	ZP	ZP	241/540/540	120	270	8	da	1972.
STEAG — Lünen	170	74	RU	*	konces. 149/530 pred turb. 101/525	168	109	2	ne	1972.
VEW — Gesteinwerk	4×400	4×55	ZP	ZP	181/530/530	110	252	5	u ljet. pogonu	1972.
PREAG — Robert Frank	510	55	ZP	ZP	251/535/535	140	260	6	za 78% snage kotla	1973.
EVS — Marbach	325	55	LU	LU	110/535	180	161	3	rezerva	1973.
Chem. Werke Hüls	2×145	2×55	ZP	ZP	85/505	120	—	—		
Weser, Veltheim	360	55	ZP, LU	ZP, LU	181/535/535	120, 115	255	7,5	rezerva	Plinska t. 1974. Parna t. 1975.
VEW — Emsland	2×400	2×55	ZP	ZP	181/530/530	110	252	5	rezerva	1974/75.
Stadtwerke Duisburg	173	33	ZP	ZP	186/530/530	157	233	6	rezerva	1974/75.
Franken I	400	55	ZP	ulje/plin	200/535/535	168/170	255	8	da	1975.
KW Mainz, Wiesbaden	325	55	LU	LU	251/540/540	156	272	8	rezerva	1976.
Stadtwerke Düsseldorf	410	2×55	ZP, LU	ZP, LU	187/535/535	120 do 150	257	7	rezerva	1976/77.

* Kotao pod visokim pritiskom kompresora za izgaranje ZP = zemni plin, LU = loživo ulje, RU = rasplinuti ugljen
p, t = pritisak i temperatura svježe pare, t_m = temperatura međupregrijanja

AG. Tu se radi o početnim teškoćama, koje možda ukazuju i na tipične nedostatke ovakvih postrojenja. Iskustvo kroz dulje razdoblje postoji na postrojenju »Hohe Wand« u Austriji. Unatoč pomanjkanju bogatijeg iskustva, interes za ovakva kombinirana postrojenja je velik (tablica), a bio bi vjerojatno i veći, da ne postoje ograničene mogućnosti u snabdijevanju zemnim plinom.

J. L.

Nova elektrana na Arktiku

Krajem lipnja stavljena je u pogon na poluotoku Kola (SSSR) nuklearna elektrana snage 440 MW. Elektrana će napajati područje Karelije, Arhangelska i Lenjingrada električnom energijom. Do 1975. trebao bi biti u pogonu i drugi reaktor.

(Prema: Elektrizitätwirtschaft 1973, br. 15)

Istosmjerni prijenos u Africi

Tvrtka ASEA dobila je narudžbu za izgradnju istosmjernog prijenosa u Zaire (Kongo-Kinšasa). Vod će graditi američki konzorcij. Bit će dug 1800 km, i time najdulji na svijetu. Prijenosna će linija početi kod Inga-brane, gdje će biti izgrađena elektrana na rijeci. Zaire (Kongo), blizu Atlanske obale. Zatim će teći u jugoistočnom pravcu prema provinciji Shaba (prije Katange) do stanice Kolvezi. Vrijednost narudžbe je 225 milijuna dolara. Prijenosna snaga će iznositi 560 MW uz napon ± 500 kV. Stanice bi morale ući u pogon 1976. Predviđa se u budućnosti udvostručenje prijenosne snage. Bit će izgrađena dva prijenosna istosmjerna voda na međusobnoj udaljenosti od 45 m. Vodiči će imati tri užeta u snopu.

(Prema: Elektrizitätwirtschaft 1973, br. 15)

Veza 380 kV između Austrije, Švicarske i Italije

Zaključena je izgradnja voda 380 kV između Švicarske (Pradella), Italije (Dugale) i zapadnog Tirola u Austriji. Osim sporazuma o izgradnji voda učinjen je također ugovor o dobavi energije i ugovor o međusobnom održavanju rezerve.

Do sada austrijska mreža nije bila dovoljno povezana sa Švicarskom, a s Italijom postoji samo jedan vod 220 kV.

(Prema: Elektrizitätwirtschaft 1973, br. 15)

Posljednja francuska elektrana na ugljen

Kako je prilikom svečanog stavljanja u pogon francuske elektrane Carling iznio francuski ministar Pierre Messmer, ovo je posljednja francuska elektrana na ugljen.

U budućnosti su predviđene samo nuklearne elektrane. Nova elektrana ima snagu od 380 MW.

(Prema: Elektrizitätwirtschaft 1973, br. 15)

Nova hidroelektrana na Dunavu

Na temelju sporazuma između Rumunjske i Bugarske izgradit će se na Dunavu zajedničkim snagama elektrana snage preko 700 MW. Osnovana je posebna stručna grupa koja će raditi na projektima i pripremama za gradnju elektrane. Elektrana će biti izgrađena 14 km uzvodno od mjesta Turm-Magurele. Brana će biti dugačka 2800 m.

(Prema: Elektrizitätwirtschaft 1973, br. 15)

U pogonu prva nuklearna elektrana u Čehoslovačkoj

Nuklearna elektrana Jaroslavske Bohunice, u srednjoj Slovačkoj dala je u mrežu prve kWh. Stavljanje u pogon dvaju turbogeneratora, prve nuklearne elektrane u ČSSR, rezultat je intenzivne suradnje čehoslovačkih i sovjetskih specijalista.

B. M.

Sovjetsko nuklearno energetsko gospodarstvo

U bliskoj budućnosti u Sovjetskom Savezu će se nastaviti s izgradnjom nuklearnih elektrana tako velike snage, kao što je ona u Novovoronježu na Donu. U toj je elektrani u ožujku 1973. ušao u pogon i četvrti reaktor, čime se snaga popela na 1500 MW. Tokom tekućeg petogodišnjeg plana trebala bi se snaga sovjetskih nuklearnih elektrana povećati za 6000 do 8000 MW, pa bi energetski potencijal zemlje porastao za 12%.

Perspektivne energetske analize su pokazale da je korisno graditi nuklearne elektrane u svim područjima evropskog dijela SSSR-a. U budućnosti će se njihove lokacije pomicati prema istoku. Prva atomska elektrana izgrađena je u SSSR-u prije 18 godina u blizini Moskve, a imala je snagu 5 MW.

Izgradnjoj nuklearne elektrane Novovoronjež u 1964. postavljen je kamen temeljac industrijskom nuklearnom energetskom gospodarstvu. U bližoj budućnosti će ova elektrana imati snagu od 2500 MW.

Unatoč velikom opsegu gradnje nuklearnih elektrana, klasične termoelektrane će zadržati svoju ključnu poziciju. Na njih će otpasti 80% sovjetske proizvodnje elektroenergije.

(Prema: Energietechnik 1973, br. 7.)

B. M.

Članice SEV-a grade termoelektranu Bobov Dol u Bugarskoj

U 1973. ući će u pogon prvi blok termoelektrane Bobov Dol u blizini Ćustendila u Bugarskoj. Snaga prve etape izgradnje iznosit će 630 MW. To je prva elektrana što su je u punom opsegu projektirali bugarski stručnjaci. Izgradnja ove elektrane lijep je primjer suradnje prijateljskih država.

Turbine gradi sovjetska tvornica Elektrosila, transformatorsko i rasklopno postrojenje dobavlja DR Njemačka i Čehoslovačka, kotlovi dolaze iz Poljske, a uređaj za otpremu šljake i pepela dobavlja Madžarska. Jugoslavija je dobavljač ventilacionih uređaja u kotlovnici. U ovaj energetski kompleks spada još i izgradnja rudnika smeđeg ugljena Babino i akumulaciono jezero Đakovo zbog čega će za potrebe elektrane i navodnjavanja biti akumulirana voda triju rječica sa planine Rila.

(Prema: Energietechnik 1973, br. 7.)

B. M.

Početak gradnje najveće poljske termoelektrane

Započela je izgradnja najveće poljske termoelektrane, projektirane za instaliranu snagu od 3100 MW. Elektrana će biti u blizini mjesta Polaniec (Vojvodstvo Kielce) na rijeci Visli. Kao gorivo upotrebljavat će se kameni ugljen.

Elektrana će biti visoko automatizirana. U prvoj će se etapi ugraditi 8 turbogrupa od 200 MW, a u drugoj 3 od po 500 MW. Prva će energija poteći iz elektrane u mrežu oko 1977. godine.

(Prema: Energietechnik 1973, br. 7.)

B. M.

Sl. 1. Goste je pozdravio Ivo Hrs, direktor Instituta i dao prikaz dvadesetogodišnjeg rada ove značajne institucije

U četvrtak 15. studenoga, u prisustvu brojnih uzvanika, proslavio je Institut za elektroprivredu 20. obljetnicu svoga rada. Koliko je bio uspješan rad Instituta u proteklom razdoblju najbolje govori to što su proslavi prisustvovali gotovo svi oni koji su bili pozvani. Bili su to njegovi inicijatori i osnivači, predstavnici jugoslavenske elektroprivrede, elektroprivrede i elektroprivrednih poduzeća Hrvatske, sveučilišni profesori, dugogodišnji suradnici, predstavnici instituta iz Beograda, Ljubljane i Zagreba i još mnogi drugi uzvanici. Svi su oni svojim prisustvom ili svojom izjavom uveličali ovu zgodu, odajući tako priznanje instituciji koja je, kao što je rekao Ljubiša Lazar, generalni direktor JUGELA: »... bila pionir elektrifikacije ne samo Hrvatske, već i Jugoslavije«. A znamo što znači biti »pionir«. To je borba ne samo za elektrifikaciju , već i za životni prostor, za kadrove.

»Rezultati istraživanja u Institutu«, rekao je u svom pozdravnom govoru Anđelko Marušić, pomoćnik direktora Poslovnog udruženja elektroprivrednih organizacija SRH, »njegove energetsko-ekonomske studije i radovi iz područja elektrotehnike i strojarstva, neposredno su utjecali na planove razvoja i funkcioniranje elektroprivrednog sistema«. Zato i nije neobično što je broj suradnika i prijatelja Instituta zaista velik.

Da bi se odužio svojim osnivačima i dugogodišnjim suradnicima, Institut im je podijelio Priznanja. Među onima koji su ih primili ističu se: Borivoj Baranović, glavni inicijator osnivanja Instituta, zatim Anđelko Marušić, Boris Markovčić, prof. dr Hrvoje Požar, Daniel Feöcze, Božidar Filipović i još mnogo njih.

Priznaja su primili i članovi Instituta koji su u njemu proveli 20 godina.

Posebnu pažnju izazvalo je na svečanosti pismo inž. Jamnickog, koji joj zbog bolesti nije mogao prisustvovati.

Pismo je zapravo poruka mladim kadrovima, pisana s puno topline, pa je po želji sviju uzvanika prenosimo u cijelosti.

Dragi drugovi!

Vaš poziv na proslavu 20-godišnjice našeg Instituta mnogo me je razveselio te Vam na njem puno zahvaljujem. Proslavi nažalost neću moći prisustvovati jer me je bolest već dulje vremena prikovala uz bolnički krevet. Upućujem Vam stoga ovim putem svoje čestitke, uz želju da i dalje uspješno radite na razvoju znanstvenih postupaka, rješavanju tehničkih i ekonomskih problema, te na rješavanju praktičkih problema i zadataka koji spadaju u okvir rada Instituta za elektroprivredu u Zagrebu.

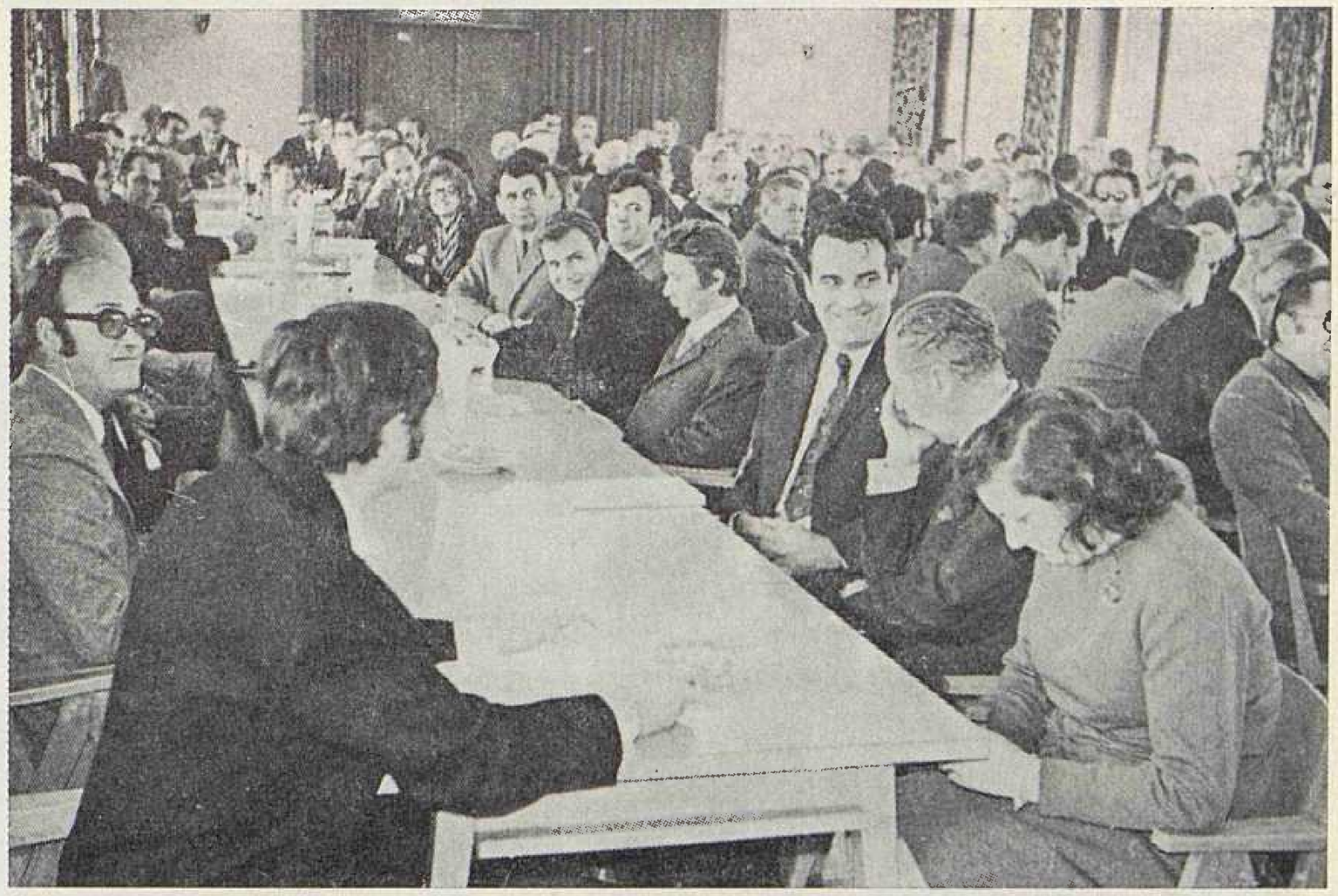
Kao zalog budućem uspješnom radu stavio bih Vam, dragi mladi drugovi i prijatelji, ovom prilikom na srce 3 vrijednosti:

Prva vrijednost je ljubav za posao koji obavljate. U svakoj djelatnosti, koja se ne protvii etici i moralu koje čovjek nosi po prirodi u sebi, može se naći ljepota, neovisno o tome da li se radi za ličnu korist ili za dobro zajednice. Ljubav za rad pridonosi ne samo boljem i većem stvaranju, već i postizavanju što veće vlastite unutarnje sreće, što je najviši cilj čovjeka kao

Sl. 2. Lazar Ljubiša, generalni direktor JUGELA, govorio je o značaju Instituta za jugoslavensku elektroprivredu

pojedinca. »Jer ako u srcu nećete nositi ljubav nećete uči u Tao (Lao ce — Traktat 67).

Druga vrijednost je stavljanje interesa društvene zajednice u cjelini ispred interesa pojedinih njenih regija i grana djelatnosti te interesa pojedinaca. Rješavajte probleme i zadatke tako da rješenja dadu što veću korist i široj društvenoj zajednici u kojoj živimo. Tek u okviru brzog rasta blagostanja šire društvene zajednice, moguć je trajni brzi rast blagostanja pojedinih njenih regija i pojedinih grana djelatnosti. Raznorazna rješenja, često međusobno vrlo oprečna, mogu se po jednom te istom postupku dobiti mijenjanjem ili izostavljanjem faktora koji na rješenje utiču; no odbijte donositi ona rješenja koja od Vas traži naručilac ako ona, uz primjenu faktora po Vašoj savjesti, donose korist naručiocu, a štetu ili manju korist od drugog rješenja, društvenoj zajednici u cjelini. »Ne poznaje pjesma zapovijedi, slobodna je, svomu glasu slijedi (Preradović — Djed i unuk).



Sl. 3. Svečanost je protekla u srdačnoj atmosferi. Uzvanika je bilo iz svih krajeva naše zemlje, pa je dvorana bila ispunjena do posljednjeg mjesta.

Sl. 4. Priznanje za dugogodišnju uspješnu suradnju primio je inž. Borivoje Baranović, osnivač Instituta, njegov nekadašnji direktor, a danas njegov veliki zagovornik.

Treća vrijednost je poštovanje činjenica. Od njih treba početi pri stvaranju novoga, sa njima treba provjeravati postupke kojima se od čvrstih činjenica dolazi do rezultata njihovih zajedničkih djelovanja. Ta provjera vrši se najbolje primjenom postupka u krajnostima i u usporedbi dobivenih rezultata sa stvarnosti ili sa onim što se razumno može očekivati. Pri pravilno odabranim osnovama i činjenicama provjerenom postupku, ne treba se uplašiti ni rezultata koji se kose sa rezultatima dobivenim klasičnim metodama, na kojima danas znanost gradi i počiva; jer »Stalna na tom svijetu samo mijena jest«. Nuklearna fizika nalazi se npr. danas u onom položaju u kojem se nalazila astronomija prije Kopernika, a stvarna svjetska zbivanja ukazuju na brojne slabosti ekonomskih zasada, koje se većinom i danas primjenjuju. Neslaganje rezultata dobivenih klasičnim metodama sa činjenicama, neka Vam čak bude poticaj za postavljanje novih postupaka, koji će davati pravilni rezultat i u najširem dijapazonu primjene.

Nanam se da ćete primjenom iznesenih vrijednosti moći još bolje usavršavati svoj rad i još više doprinositi svojim stvaranjem dobru cijele naše zemlje.

Uz nabolje želje sve Vas srdačno pozdavlja

Vaš Ivo Jamnicki

Sl. 5. Priznanje je primio i prof. dr Hrvoje Požar, dugogodišnji suradnik Instituta.

SIMPOZIJ O MATEMATIČKIM MODELIMA EKONOMIKE U PODRUČJU ENERGETIKE

Simpozij je organizirala Evropska ekonomska komisija OUN, a održan je u Alma-Ati (SSSR) od 17. do 21. rujna 1973. Na Simpoziju su osim predstavnika evropskih zemalja sudjelovali i predstavnici SAD. Prijavljen je bio 61 referat, ali je na Simpozij prispjelo 50. Referati su prema sadržaju podijeljeni u četiri skupine:

I. U ovu skupinu ušli su referati, koji su svojim sadržajem dali pregled radova o matematičkim modelima ekonomike iz područja energetike.
II. U drugu skupinu referata ušli su referati u kojima su opisani matematički modeli opće energetike ili nekih njezinih područja.
III. U treću skupinu su uključeni oni referati koji su tretirali problem elektroenergetskog sistema i njegov razvitak.
IV. U ovu skupinu ušli su referati u kojima je tretiran metodološki pristup konstrukcije matematičkih modela gospodarstva u općoj energetici i prognoziranja razvitka opće energetike.

Simpozij je 17. rujna u ime Organizacionog komiteta otvorio i pozdravio ministar za energetiku i elektrifikaciju SSR Kazahstan, T. I. Baturov.

Prvo plenarno zasjedanje, kao i preostala zasjedanja, održana su u lijepoj dvorani Saveza pisaca Kazahstana, u kojoj su prevodioci OUN simultano prevodili s ruskog, engleskog i francuskog jezika.

Nakon ceremonijala otvaranja, završeno je prijepodnevno zasjedanje. Poslije podne počeo je prvi radni sastanak o prvoj skupini referata u kojoj su se nalazila 4 referata: jedan, grupe autora iz SSSR, 2 iz SAD i jedan Sekretarijata Evropske ekonomske komisije OUN. Prvom zasjedanju predsjedavao je J. W. Reddington iz SAD, a generalni izvjestitelj za prvu grupu referata bio je A. C. Nekrasov (SSSR), kandidat ekonomskih nauka iz Centralnog ekonomsko-matematičkog instituta iz Moskve.

Nakon izlaganja generalnog izvjestitelja, u diskusiji su sudjelovali autori referata. Po završetku poslijepodnevnog zasjedanja priređen je koncert za

učesnike Simpozija, a nakon koncerta prijem (u dvorani ministarstva za prijeme).

Drugog dana u 9h počelo je zasjedanje o drugoj skupini referata. Zasjedanju je predsjedavao Prof. dr ing. Hrvoje Požar iz Jugoslavije, a generalni izvjestitelj za ovu grupu referata bio je M. A. Rubni (SSSR), kandidat tehničkih nauka instituta »Kvižižanovskoga« iz Moskve. Generalni izvjestitelj podnio je izvještaj o drugoj skupini od 18 referata, i to: 4 iz SSSR, 3 iz Velike Britanije, 2 iz SAD, 2 iz Mađarske, 1 iz DDR, 1 iz Francuske, 1 iz Jugoslavije, 1 iz SR Njemačke, 1 iz Poljske, 1 iz Bugarske i 1 iz Portugala. Nakon izvještaja izvjestitelja nastavljena je diskusija i prikaz referata.

O drugoj skupini referata nastavljena je diskusija i na poslijepodnevnom zasjedanju, kojemu je predsjedavao H. Quante iz SR Njemačke. Nakon završene diskusije uslijedilo je razgledavanje Alma-Ate.

Trećeg dana Simpozija nastavljen je rad o trećoj skupini referata, u kojoj je prezentirano 8 referata: 3 iz SSSR, 2 iz Turske, 1 iz Francuske, 1 iz Velike Britanije i 1 iz Bugarske. Zasjedanju je predsjedavao C. Destival (Francuska) načelnik odjela u Generalnom komesarijatu za plan, a generalni izvjestitelj je bio A. I. Zeilinger (SSSR), kandidat tehničkih nauka iz instituta »Energosetprojekt« Lenjingrad. Diskusije i izlaganja autora o ovoj grupi referata završene su prije podne.

Istoga dana poslije podne počela je diskusija o četvrtoj skupini referata. U ovoj skupini prezentirano je 20 referata: 6 iz SSSR, 5 iz Velike Britanije, 2 iz SAD, 2 iz Francuske, 1 iz Čehoslovačke, 1 iz Grčke, 1 iz Italije, 1 iz Poljske i 1 Ekonomske komisije OUN.

Zasjedanju je predsjedao F. Boselli (Italija) načelnik odjela nacionalne uprave za energetiku iz Milana, a glavni izvjestitelj je bio A. A. Makarov, dr ekonomskih nauka iz SSSR-a. O ovoj skupini referata bilo je dosta diskutanata, tako da je diskusija prekinuta oko 19h, a za učesnike Simpozija je organiziran posjet izložbi dostignuća SSR Kazahstana.

Četvrtog dana Simpozija nastavljena je diskusija započeta prethodnog dana. Prijepodnevnom zasjedanju predsjedavao je D. Vaverka (Čehoslovačka), zamjenik direktora Instituta za toplinu i energetiku, dok je poslijepodnevnom zasjedanju predsjedavao K. Kindner (DDR), naučni suradnik Instituta za energetiku.

Nakon završenih diskusija organizirana je za učesnike Simpozija ekskurzija na branu i sportski stadion »Medeo«. Brana služi za zaštitu grada Alma-Ate od bujica i poplava, jer se Alma-Ata nalazi na obroncima glečerskih planina. Brana je sagrađena prije sedam godina. Naime, u prošlosti (1921. godine) Alma-Ata je bila razrušena nakon naglog topljenja glečera, a u nekoliko navrata bile su manje poplave. Brana je nasuta, a sagrađena je na nadmorskoj visini od 1600 metara. U srpnju ove godine brana je spasila Alma-Atu od totalne katastrofe. Naime, učesnicima Simpozija prikazan je film o najezdi vode, kamena, zemlje i svega što voda u takvoj situaciji nosi sa sobom. Brana je u prvom naletu popucala, ali je uz ogromne napore i pomoć ljudi i tehnike izdržala i spasila grad od katastrofe. Ispod same brane izgrađen je veoma lijepi stadion za zimske sportove »Medeo«.

Posljednjeg dana Simpozija održana je plenarna sjednica i zatvaranje Simpozija, a poslije podne održan je koncert narodnih pjesama i igara Kazahstana u novom kazalištu. Po završetku koncerta predsjednik vlade SSR Kazahstana priredio je svečanu večeru za učesnike Simpozija.

Simpoziju je prisustvovalo 225 učesnika, 145 iz SSSR i 80 iz inozemstva. Broj učesnika iz pojedinih zemalja bio je slijedeći: Belgija (4), Bugarska (4), Velika Britanija (6), Mađarska (11), DDR (3), Holandija (1), Italija (3), Poljska (11), Portugal (2), SAD (8), Turska (1), Finska (3), Francuska (5), SR Njemačka (2), Čehoslovačka (9), Švedska (1), Švicarska (2) i Jugoslavija (4).

Organizacija prijepisa, prijevoda i umnažanja referata bila je veoma slaba. Neki referati nisu se mogli dobiti ni na jednom jeziku, tako da je bila prava potjera za autorima referata, ako se željelo doći do nekog referata.

Nakon Simpozija organizirane su ekskurzije, i to:

Alma-Ata — Irkutsk — Bratsk — Novosibirsk — Moskva, s posjetom velikim sibirskim hidroelektranama i kulturnim spomenicima, i

Alma-Ata — Taškent — Buhara — Samarkand — Moskva, s posjetom hidroelektranama na rijeci Čirčik, koje su građene primarno za potrebe navodnjavanja, a tek zatim za potrebe elektroprivrede.

Posjećena je i TE Taškent, kao i kulturni spomenici u svim gradovima koje smo posjetili.

Božo Udovičić, dipl. ing.

S KONGRESA U HAAGU

*(Rad Komiteta za nuklearnu energiju, termoelektričnu i hidroelektričnu proizvodnju)**

Članovi međunarodne unije proizvođača i distributera električne energije (UNIPEDE — Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique) uglavnom su elektroprivredna poduzeća iz zapadne Evrope, koja preko studijskih tijela izmjenjuju iskustva, pa se rezultati kongresa u Haagu imaju shvatiti kao gledanje na probleme tog područja.

U tri studijska komiteta, koja se bave problemima proizvodnje električne energije, a i u drugim komitetima koji su također obradili neke aspekte tog sadržaja, došla je do izražaja aktualnost ovih pitanja:

* Vidi generalni izvještaj o kongresu UNIPEDE u Haagu 1973. u časopisu »Energija« broj 9—10.

— zamjena ugljena, nafte i prirodnog plina nuklearnom energijom i problemi vezani uz program izgradnje nuklearnih elektrana,
— smanjenje i kontrola zagađivanja okoline uzrokovane klasičnim termoelektranama,
— izgradnja hidroelektrana uz opće vodoprivredne koristi i podjela troškova među korisnike,
— obavještavanje javnosti o perspektivi proizvodnje električne energije kao nosioca progresa u pogledu općeg razvoja životnih prilika, a u prvom redu kao glavnog nosioca zaštite prirode i čovjeka.

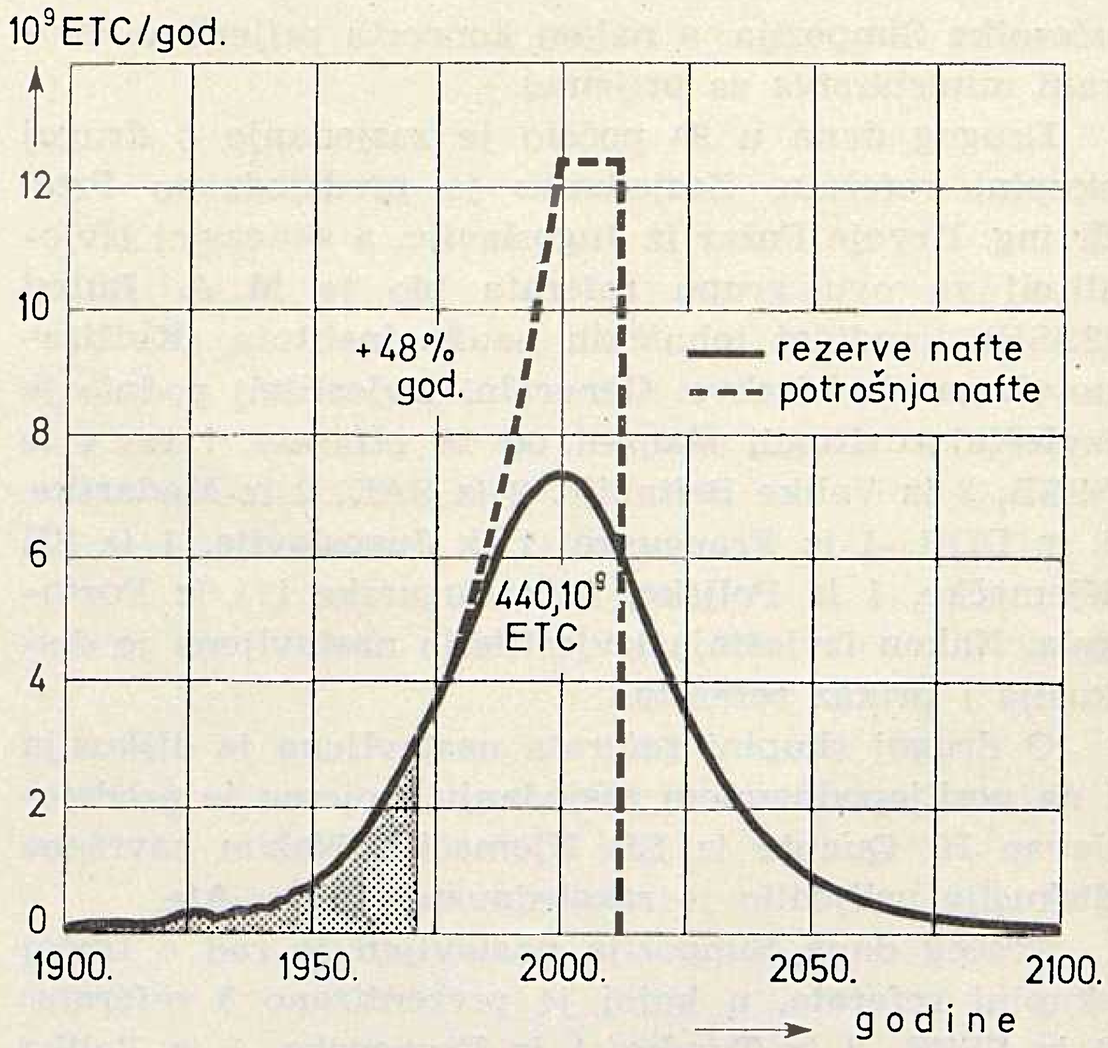
Nuklearne elektrane

U uvodnom predavanju prof J. J. Went smatra da dio čovječanstva troši energiju s takvim trendom porasta da bi u budućnosti trebalo očekivati smanjenje potrošačke trke, ako se želi izbjeći katastrofalno pomankanje prirodnih izvora. I u tom će slučaju poslije 2000 g. biti rezerve fosilnih goriva premalene za buduće potrebe.

U priloženom grafikonu vidi se npr. situacija s naftom (mjera količine ETC = ekvivalent tona ugljena).

Ako bi se ekonomski moglo podnijeti iskorištavanje bitumenoznih škriljaca i pijeska, kao i ugljenih nalazišta, onda bi se mogao produžiti vijek fosilnih goriva, još za jedno stoljeće, a možda i više. Međutim, 40% ugljičnih oksida nastalih sagorijevanjem fosilnih goriva, ne apsorbiraju se u prirodi, nego povećavaju sadržaj ovih spojeva u atmosferi, kao što se npr. pokazalo u prošlom desetljeću kada se njihov sadržaj povećao za 7%. Orijentacija na nuklearnu energiju je neminovnost i prema tome valja posvetiti svu pažnju naporima za svladavanje svih problema kod primjene ovog novog energetskog izvora.

Krajem 1972. bilo je u svijetu oko 200.000 MW nuklearnih elektrana u izgradnji i u narudžbi. U većini industrijskih zemalja će nuklearne elektrane oko



Slika 1

1980. g. zadovoljavati 15—25% potreba za električnom energijom, a do 1990, i više od 50%. Ipak, budućnost nije u današnjim tipovima reaktora koji fisijom iskorištavaju svega 1—2% atoma prirodnog urana i time otvaraju problem raspoloživosti ove rude za duži rok, o čemu postoje mnoge prognoze i diskusije koje upozoravaju da bi na taj način uskoro potrošili i ovaj energetski izvor. Stoga se najveće nade (i sredstva za istraživanja) daju novim tipovima reaktora koji bi iskoristili 30—70% svih atoma urana ili torija. Ovi tipovi ne samo da će bitno produžiti vrijeme raspoloživosti osnovnih sirovina za gorivo, već će dozvoliti da se povisi cijena ovom gorivu, što se očekuje tijekom idućih 10—15 godina, jer će se morati ići i na iskorištavanje ruda s manjim sadržajem

Tablica raspoloživosti nuklearnih elektrana Tablica 1

Br.	Elekrana	Neraspoloživost %					Promatrane godine
		Ukupno	Nuklearni dio	Klasičn' dio	Održavanje	Ostalo	
4	Chinon II	39,60	6,40	23,00	10,20		7,00
5	Chinon III	70,50	16,00	30,20	24,30		5,00
6	St. Laurent I	72,00	40,00	28,00	4,00		2,75
6a)	St. Laurent II	52,00	7,50	44,50			0,33
20	Bradwell	14,58	2,75	1,19	10,64		8,00
21	Berkeley	10,57	2,16	0,34	8,07		8,00
22	Hinkley Point A	34,83	4,24	27,10	3,49		7,00
23	Trawsfynnyd	31,17	10,25	9,91	11,01		7,00
24	Dungeness A	14,51	4,62	4,29	5,60		7,00
25	Sizewell	25,01	4,53	11,93	8,55		6,5
26	Oldbury	28,90	2,13	8,76	18,01		4,00
28	Hunterston A	14,96	4,41	3,58	6,97		8,00
34	Latina	26,63	12,71	3,99	7,60	2,33	8,00
8	Chooz	62,00	50,00	8,20	3,80		5,00
10	Gundremminghen	32,14	0,01	15,85	16,07	0,20	4,00
11	Lingen	16,51	1,32	4,35	10,32	0,52	2,5
12	Obrigheim	14,90	4,80	2,40	7,70		2,00
35	Trino Vercellese	60,92	53,82	2,92	4,18		7,00
36	Garigliano	24,75	9,90	4,12	10,19	0,54	7,5
39	José Cabrera	24,27	1,59	9,45	12,21	1,02	3,00
40	S. M. de Garona	24,99		15,63	4,28	5,08	0,67
45	Beznau	29,61	15,10	2,86	10,69	0,96	1,5

urana, a kasnije čak i na iskorištavanje drugih medija, npr. morske vode. Ako bi uspjelo, poslije 2.000. godine održati porast potrošnje energije u svijetu na konstantnom nivou od oko 30×10^9 ekviv. tona ugljena (dok je donašnji ukupni potrošak 10×10^9 ekv. t. uglj.), bio bi dovoljan sadržaj urana u morima (1%) da osigura snabdijevanje gorivom za daljnjih 2.000 godina.

Predsjednik talijanske elektroprivrede (ENEL) A. M. Angelini, koji je ujedno i predsjednik studijskog komiteta za nuklearne elektrane, dotakao je u svom generalnom izvještaju nekoliko osnovnih pitanja, od kojih navodim slijedeća:

Razvoj tipova reaktora — Danas je 90% reaktora u izgradnji i u narudžbi u izvedbi s vodom pod tlakom ili u stanju ključanja. Osim toga, imamo reaktore s teškom vodom i prirodnim uranom kanadskog tipa, s jedinicama većim od 500 MW, koji daju dobre rezultate s obzirom na jeftinije gorivo. Istraživanja u tom pravcu se nastavljaju i u Italiji, Japanu i Vel. Britaniji. Nadalje, u pokusnom pogonu je nekoliko prototipova reaktora s plinom visoke temperature, a zabilježene su u USA već i narudžbe na jedinice preko 1.000 MW tog tipa. Jedan drugi tip reaktora iz ove grupe razvija se u Vel. Britaniji. Jednodušno se smatra, da budućnost pripada reatkorima s brzim neutronima, hlađenim tekućim natrijem, pa se može reći da se prognoze o velikoj orijentaciji na nuklearnu energiju temelje na tom tipu reaktora.

Obogaćivanje prirodnog urana — Postoji suglasnost da će 1980, ili najkasnije prvih godina poslije 1980, postojeći uređaji za obogaćivanje urana biti nedovoljni. Elektroprivrede su za sada bez planova o izgradnji novih uređaja, bilo na nacionalnom ili internacionalnom planu. Radi velike ovisnosti o tim planovima, kao i primjeni tehnike (za sada dvije), potrebno bi bilo da se elektroprivrede aktiviraju i na tom području.

Sigurnost nuklearnih elektrana — Iako je na svijetu do 1972. proizvedeno 600 milijardi kWh iz nuklearnih elektrana, ipak se ne može reći da su rezultati u pogledu sigurnosti pogona potpuno zadovoljavajući. Na nedavnom međunarodnom skupu bilo je spomenuto da je srednja iskoristivost svih nuklearnih elektrana u svijetu oko 60%, što je malo s obzirom da se koriste u bazi dijagrama proizvodnje. Iako su tom rezultatu djelomice pridonijele razne poluindustrijske eksperimentalne elektrane, činjenica je, da je i u nekim najmodernijim jedinicama bilo kvarova i nezgoda. Diskusijom o problemu sigurnosti ne želi se staviti u pitanje primjena NE, već ona služi kao poticaj, da se učini sve što može poboljšati njihovu sigurnost. U tom smislu je obrađen i ovaj problem u referatu studijskog komiteta za termoelektrane. Među članovima UNIPEDE iz zapadne Evrope provedena je anketa o iskustvima eksploatacije nuklearnih elektrana. Iz tog referata navodim rezultate o 9 nuklearnih elektrana spremnih za pogon, od kojih su 5 s reaktorima s vodom pod tlakom, a 4 s ključajućom vodom. Ove elektrane su bile izvan pogona oko 25—30% vremena, izuzev Trino Vercellese i Chooz, koje su bile i duže radi težih nezgoda. U tablici 1 pokazani su podaci za dio anketiranih evropskih nuklearnih elektrana, od kojih su s reaktorima na vodu one pod brojevima 8, 10, 11, 12, 35, 36, 39, 40 i 45 (druga grupa u tablici, dok se prva odnosi na elektrane s reaktorima tipa plin — grafit).

U zapadnoj Evropi imaju najduže iskustvo s nuklearnim elektranama: Vel. Britanija sa 110 reaktor — godina, zatim Italija s 22 i Francuska s 20 reaktor — godina.

Odlaganje radioaktivnih ostataka — Kako je poznato, nema problema s radioaktivnim ostacima iz nuklearnih elektranama radi njihove male radioaktivnosti. Problem će se pojaviti nakon nekog vremena za radioaktivne ostatke visoke radioaktivnosti, koje valja odlagati na mjesta, gdje ne mogu doći u dodir s biosferom ni preko podzemnih voda. Profesor Went je u svom predavanju ovom pitanju također dao dosta važnosti, iako se radi o relativno malim količinama. Za cijeli vijek jedne nuklearne elektrane od 1000 MW ovi ostaci su 2—4 m^3, a za sve nuklearne elektrane do 2.000 godine to je 1% od količine kuhinjske soli iskopane u jednoj godini. Da bi se postigla potpuna dezintegracija dijela ovih ostataka, potrebno je 600 g., pa se javlja problem sigurnog uskladištenja. Postoje mnogobrojne geološke formacije sposobne za ovakvo odlaganje, kao npr. naslage soli od više stotina metara debljine. Međutim, i tu nastaju komplikacije čije rješenje donosi daljnje troškove. Mišljenje Studijskog komiteta je da bi elektroprivrede trebale pridonijeti rješavanju problema razvoja nuklearne energetike.

U studijskom komitetu za nuklearne elektrane bila su razmatrana u referatima i u diskusijama i ova pitanja:

Ispuštanje rashladnih voda i njihov utjecaj na okolinu — Termička izmjena između vodene mase i zraka neposredno iznad vode je pod utjecajem triju procesa:

— sunčanog zračenja
— isparavanja
— gubitaka topline konvekcijom i provođenjem.

Grupa eksperata iz raznih zemalja prikazala je u referatu 10/D. 1. način i primjere proračuna konvekcije i termičke disperzije između vode i zraka, i pokazala da je moguće izračunati termičko ponašanje neke vodene mase, kada se raspolaže s meteorološkim i hidrauličkim podacima. U većini slučajeva je moguće predvidjeti povišenje temperature vode, jednako za vodne tokove kao i jezera, prouzrokovane ispuštanjem rashladne vode iz elektrane, što je važno kod projektiranja radi postizavanja optimalnog rješenja sistema rashladne vode.

Važan problem kod ispuštanja zagrijanih voda je i sadržaj kisika u rijeci. U Nizozemskoj su uz dvije termoelektrane obavljena mjerenja, i ustanovljeno je da se malom prelivnom branom na ispustu zagrijane vode, visine oko 1 m, može znatno poboljšati sadržaj kisika u rijeci.

U pogledu bioloških posljedica na floru i faunu u vodama, u diskusiji je bilo ukazano, na temelju istraživanja koja su do sada izvršena, da nema ekoloških

šteta od zagrijavanja. Naprotiv, veliku štetu čine gradske kanalizacije i kemijski otpaci industrija. Npr. u Temzi je riblji život bio poboljšan tek nakon uvođenja postrojenja za čišćenje gradskih i industrijskih otpadnih voda. Štetni utjecaj od sve većeg zagrijavanja rijeke nije zapažen i može se reći, da je bolje investirati u uređaje za pročišćavanje vode nego li u rashladne tornjeve. Ipak, o tome postoje još uvijek proturječna mišljenja, što se odražava u različitim propisima o ograničenju zagrijavanja što su na snazi u raznim zemljama. U Francuskoj su više studirali ovu pojavu i dozvolili su mnogo više granične temperature nego u ostalim zemljama. Elektroprivrede treba da djeluju tako da se intenziviraju istraživanja u kooperaciji s nacionalnim ustanovama i laboratorijima, kako bi se izbjeglo donošenje krivih i preoštrih propisa.

U Nizozemskoj postoji primjer temeljito organiziranih istraživanja uz elektranu Flevo na jezeru. Studira se mehaničko oštećenje planktona pri prolazu krzo rashladni sistem i utjecaj povišenja temperature, zatim se istražuje ciklus reprodukcije riba, migracija riba i njihov uzgoj u zagrijanoj vodi. Do sada se nije mogao ustanoviti negativni utjecaj, već se naprotiv uspjelo, uz određeni režim uzgajanja i ishrane, dobiti ubrzani rast riba i veća težina.

Usklađivanje propisa o sigurnosti nuklearnih elektrana — Proizvođači električne energije nastoje da se radi sigurnosti stvore propisi i da se na taj način spriječe ne samo ozbiljni kvarovi nego i omogući nesmetan razvoj nuklearne energetike u svijetu. S druge strane, u nekim je zemljama došlo do prestrogih odredbi, što je opet djelovalo na troškove postrojenja. Autori referata 10.02, promatrajući detaljno tehničke aspekte, pokušali su odrediti zone, gdje se može postići usklađivanje, kao i one gdje se iz raznih razloga zahtijeva da se na tome radi oprezno. U principu se radi u prvom redu na definiranju pretpostavljenih kvarova, kao i metodi računa vjerojatnosti pojedinih događaja. Konstrukcija nuklearne elektrane mora biti takva da je potpuno sigurna u slučaju izvanrednih nezgoda kao što su potres, poplave, tornado itd., ovisno o lokalnim prilikama. Izrada normi za koncepciju elektrane s gledišta otpornosti prema potresu je primarno pitanje u USA, a i u Evropi se napredovalo u tom pogledu naročito kod tri nova velika projekta u Zap. Njemačkoj, Francuskoj i Italiji.

Osiguranje od nuklearnog rizika — Vrlo dobri rezultati u pogledu sigurnosti do sada izgrađenih NE, ne sprječavaju elektroprivredu da i dalje traži što veću kompletnost u tom smislu osiguravanjem od slabosti u koncepciji elektrane ili loše kvalitete materijala, te rizika od kvarova i nezgoda. Radna grupa za istraživanja kondicija osiguranja u referatu 10.05 dala je pregled situacije na tom području u SAD i Evropi. Dosadašnje principe izražene u »Pariškoj konvenciji« valja revidirati radi brzog razvoja tehnike NE; što se očekuje u 1974. U SAD je u međuvremenu počela s radom organizacija za osiguranje proizvođača električne energije »Nuclear Mutual Ltd.«.

Iskorištavanje plutonija — Radi sve više nuklearnih elektrana u pogonu, postavlja se kao veći ekonomski problem upotreba plutonija. Računa se da će se od danas pa do 1980. stokirati plutonija za 1.100 mil. dolara, a do 1985. za 3.200 mil. dolara. S tehničkog gledišta može se smatrati da je problem riješen u termičkim reaktorima. S ekonomskog gledišta, međutim, postavlja se pitanje da li koristiti plutonij odmah u termičkim reaktorima ili čekati razvoj brzih reaktora, čiji se komercijalni tipovi očekuju sredinom idućeg desetljeća. U referatu 10.03. se smatra, da je ekonomično odmah iskoristiti plutonij u reaktorima s lakom vodom, što se uostalom i predviđa u Italiji u Gariglianu i u SAD u Big Rock Pointu.

Upravljanje gorivom reaktora — U želji da proizvođači električne energije budu aktivni u svladavanju problema oko upravljanja gorivom, da bi pri tom mogli sami obavljati sve tehničko-ekonomske kalkulacije, Komitet UNIPEDE je organizirao izmjenu iskustava putem ankete. Rezultati su objavljeni u referatu 10.04. i sadržavaju informacije o uvjetima dobave goriva i garancijama i odgovornostima dobavljača. Iskazana je jednodušnost elektroprivrede da sama optimizira gorivo, prati njegovu eksploataciju i ocjenjuje kapacitete. Stoga se u nekim elektroprivredama već nalaze stručnjaci za to o čijim kvalifikacijama i broju postoje podaci.

Termoelektrane

Predsjednik Studijskog komiteta za termoelektrane R. W. Guck iz uprave Badenwerk AG, Karlsruhe, kao i mnogi diskutanti, utvrdili su da u sadašnje vrijeme više brige zadaju problemi oko zagađivanja okoline u smislu ispravnog obavještavanja javnosti nego li tehnički problemi, koji se uspješno rješavaju. Postoje veliki problemi oko dobivanja dozvola za gradnju termoelektrana, jer su one danas više no ikada u centru rasprave o čuvanju prirode. Pojavljuje se apsurd, da upravo električna postrojenja, koja najviše pridonose zaštiti prirode i čovjeka i koja su najviše potrebna za realizaciju progresa života na zemlji, trpe od brige za zaštitu okoline.

Posebno su bile obrađene slijedeće teme:

Tehnički aspekti razvoja — Opća je pojava udvostručenja veličina kod novih jedinica prema postojećima u pogonu. Više jedinica snage 200—600 MW radi s natkritičnim parametrima, a ipak je tendencija, da se u najnovijim jedinicama 500—700 MW ne ide preko 540°C, naročito u slučaju tekućeg goriva. Nije vjerojatno, da bi se i kod većih grupa od 1000—1200 MW išlo na više parametre.

Raspoloživost za pogon je sve manja, što se ide na veće jedinice. Za snage manje od 100 MW je anketama i statistikama utvrđen koeficijent vremenske neraspoloživosti za pogon 15—20%, za snage od 100 do 199 MW je on 20—25%, dok za 200—399 MW taj koeficijent oscilira između 25—50%. Ovo su prosječni godišnji koeficijenti iz statistike u nekoliko godina, gdje je uključeno i vrijeme potrebno za održavanje postrojenja.

U studijskom komitetu za statistiku se od 1966. skupljaju podaci o raspoloživosti po preciznijim kriterijima i s više aspekata.

Stupanj neraspoloživosti jedinica 100—199 MW na temelju podataka radnih dana u 8 sati iz Zapadne Njemačke, Austrije, Belgije, Danske, Španjolske, Francuske, Vel. Britanije, Italije, Nizozemske i Švedske Tablica 2

Mjesec	1969.			1970.			1971.		
	Broj grupa	Ukuanp snaga MW	Neraspolož. %	Broj grupa	Ukupna snaga MW	Neraspolož. %	Broj grupa	Ukupna snaga MW	Neraspolož. %
Siječanj	254	31514	7,4	253	32391	8,0	256	32861	11,0
Veljača	257	31768	7,8	253	32391	9,5	257	32964	12,3
Ožujak	258	31928	13,0	253	32391	12,9	257	32964	15,1
Travanj	259	32091	19,9	254	32555	19,3	261	33652	20,6
Svibanj	259	32091	22,9	254	32555	24,7	261	33652	25,6
Lipanj	259	32091	27,0	254	32555	28,9	261	33652	27,7
Srpanj	259	32091	28,3	255	32680	25,2	262	33812	27,5
Kolovoz	259	32091	30,0	255	32680	25,2	262	33812	29,2
Rujan	259	32091	22,6	257	32922	21,5	264	34052	24,3
Listopad	259	32091	15,1	257	32926	15,9	272	35288	20,8
Studeni	259	32091	12,0	257	32936	13,0	272	35288	17,4
Prosinac	259	32091	7,9	259	33221	11,4	272	35288	11,4
Godišnje			17,8			18,0			20,2

Stupanj neraspoloživosti jedinica 200—399 MW na temelju podataka radnih dana u 8 sati iz Zapadne Njemačke, Austrije, Belgije, Danske, Španjolske, Francuske, Vel. Britanije, Italije, Nizozemske i Švedske Tablica 3

	1969.					1970.					1971.				
	Broj grupa	Ukupno MW	Neraspoloživost %			Broj grupa	Ukupno MW	Neraspoloživost %			Broj grupa	Ukupno MW	Neraspojoživost %		
			b	c	d			b	c	d			b	c	d
Siječanj	59	15.099	3,5	15,6	19,1	73	19.134	2,9	15,7	18,6	83	22.117	2,3	13,8	16,1
Veljača	60	15.428	2,0	17,9	19,9	74	19.384	5,3	15,1	20,4	84	22.417	2,4	14,6	17,0
Ožujak	60	15,428	4,6	15,5	20,1	75	19.722	10,3	16,6	26,9	84	22.467	5,1	17,4	22,6
Travanj	61	15.668	12,0	29,9	41.9	77	20.342	9,0	17,0	26,0	87	23.325	16.3	15,2	31,5
Svibanj	61	15,668	16,8	23,0	39.8	79	20.902	20,6	13.9	34,5	89	23.958	23,6	17,0	40,6
Lipanj	61	15.668	20,1	20,0	40,1	79	20.902	18,6	21,4	40,0	89	23.958	23,9	16,1	40,0
Srpanj	63	16.148	19,1	19,9	39,0	81	21.437	15,7	17,8	33,5	90	24.208	19,4	19,2	38,6
Kolovoz	63	16.148	17,0	23,3	40,3	82	21.712	14.1	20,8	34,9	92	24.778	14,2	19,9	34,1
Rujan	64	16.468	10,5	21,8	32,3	83	22.025	7,8	21,6	29,4	96	25.818	8,1	14,9	23,0
Listopad	66	16.395	5,1	19,8	24,8	84	22.246	7,0	16,1	23,1	98	26.449	5,4	16,9	22,3
Studeni	67	17.244	2,2	21,8	24,0	84	22.246	1,7	15.9	17,6	99	26.769	6,4	15,0	21,4
Prosinac	67	17.244	2,4	16,9	19,3	84	22.246	0,2	18,0	18,2	99	26.769	3,2	15,7	18,9
Godišnje			9,6	20,4	30,0			9,4	17,5	26,9			10,8	16,3	27,1

b — stupanj neraspoloživosti od programiranog stajanja
c — stupanj neraspoloživosti od ispada
b — ukupni stupanj neraspoloživosti

U tablicama 2 i 3 dani su podaci o neraspoloživosti za radne dane, a u referatu 80.02. prikazana je raspoloživost po godinama starosti grupa agregata, zatim analiza 40 jedinica za vrijeme prvih 11 mjeseci eksploatacije. Nadalje su pokazane krivulje trajanja iskorištenja raspoložive snage u termoelektranama za vrijeme od 60 zimskih radnih dana, koje također ovdje reproduciramo, iz kojih se vidi, da su jedinice 100—199 MW postigle veću zrelost nego li one od 200—399 MW. Posebno su još skupljani podaci za dijelove postrojenja, kotlove, turbine, generatore, itd.

Općenito je utvrđeno, da je raspoloživost slabija prve i druge godine pogona, a uzroci su tehničke inovacije, velika automatiziranost postrojenja, tako reći do granica saznanja, pa velike dimenzije elemenata postrojenja koji ne dozvoljavaju dovoljno ispitivanja prije nego što su instalirani na gradilištu, tako da sama elektrana postaje ispitna stanica.

Iz diskusija je proizašla želja da se statističke metode dalje usavršavaju, da se detaljnije obrade prilike eksploatacije i da se uvede praćenje zakašnjenja puštanja u pogon novih jedinica što uzrokuje iste posljedice kao i ispad.

Ekonomski aspekti razvoja — Najvažniji proces u tom području je porast cijena ulju, uzrokovan porastom cijena u zemljama dobavljača, prijevoza i velikim pritiskom na tržište ulja. Elektroprivrede pridonose tom pritisku većim porastom konzuma, sve manjom izgradnjom hidroelektrana, što nije kompenzirano nuklearnim elektranama, jer one prepolagano ulaze u bilance pojedinih zemalja. Samo u jednoj godini (1969/70) cijena je kalorije porasla za 6%. Nakon pada udjela kamenog ugljena u proizvodnji električne energije i povećanja udjela tekućih goriva, kao glavnih karakteristika razvoja prošlog desetljeća, sada ulazimo u razdoblje u kojem bi se udio ulja trebao smanjivati.

Kompletna situacija 1970. u svijetu:

Stupanj neraspoloživosti jedinica 100—199 MW na temelju podataka radnih dana u 8 sati iz Zap. Njemačke, Austrije, Belgije, Danske, Španjolske, Francuske, Vel. Britanije, Italije, Nizozemske i Švedske

Ugljen (kameni)	50,5 %
Lignit	11,5 %
Ulje	27,6 %
Razno	3,8 %

Razvoj udjela nuklearnih elektrana u termičkoj proizvodnji:

1970.	1975.	1970.	1985.	
4	9	18	33	%

Usporedno će se povećavati udio plinskih turbina do 9% u 1985. godini.

Brzina kojom nuklearne elektrane preuzimaju proizvodnju električne energije ovisi o kretanju granica troškova proizvodnje nuklearnih i uljnih elektrana, što kod ovih posljednjih u prvom redu ovisi o cijeni tekućih goriva. Osim toga, bez obzira na ekonomsku kompletnost nuklearnih elektrana, potrebno je postupno zamijeniti tekuće gorivo, koje ima raznih nedostatak s obzirom na energetsku politiku, zatim radi svladavanja nove tehnike i vlastite proizvodnje nuklearne opreme, te radi zaštite okoline.

Nuklearne elektrane će djelovati na porast cijene ulja, naročito u ovom desetljeću, međutim poslije 1980. na poskupljenje ulja djelovat će sve veće cijene eksploatacije nafte, koje će se moći samo neko vrijeme kompenzirati sniženjem poreza u potrošačkim zemljama.

Onečišćenje zraka — Perspektive u pogledu odstranjivanja sumpora iz izlaznih plinova nisu nimalo ohrabrujuće, a povjerenje u čišćenje tekućih goriva od sumpora nije se još moglo afirmirati. Ostaje, da je još uvijek najbolje rješenje primjena visokih dimnjaka, i u određenim slučajevima, upotreba tekućeg goriva s malim sadržajem sumpora.

Mrogobrojnim mjerenjima ustanovljeno je da su visoki dimnjaci vrlo efikasno sredstvo, pa je zagađenje na površini zemlje neznatno. U naseljenim područjima najveći udio u zagađenju ima grijanje stanova, što se nepobitno utvrđuje uspoređenjem postotka sadržaja SO_2 zimi i ljeti. Termoelektrane samo izuzetno zagađuju i najniže slojeve zraka u posebnim atmosferskim prilikama, tj. kod inverzije temperature. Za to vrijeme valja spaljivati gorivo s malo sumpora.

Tehnika visokih dimnjaka također je jednako efikasna u pogledu sadržaja NO_x, na koji organi zaštite zdravlja polažu važnost. Osim toga može se već u procesu izgaranja djelovati na formiranje NO_x.

U referatu 20/D. 4. opisane su metode mjerenja koncentracije SO_2 na nivou zemlje u okolini termoelektrana, o čemu su govorili diskutanti iz raznih zemalja uz prikazivanje primjera vrlo obimnih mjerenja. Nadalje, bili su obrađeni utjecaji na zdravlje, vegetaciju, zemlju i vodu.

Iskustva s automatizacijom velikih termoelektrana — U izvještaju 20/D. 1. pokazuje se kako valja provesti studije koncepcije primjene automatizacije, da bi se dobilo optimalno rješenje za neku elektranu. Ukazuje se na potrebu da u pogonsko osoblje bude uključen i inženjer specijalista za automatizaciju. U drugom dijelu referata prikazani su, pregledno, rezultati i iskustva s automatizacijom trideset i tri jedinice. Naročito su opsežno obrađeni zahtjevi pogonske službe na automatsko upravljanje.

Planiranje održavanja, periodičnih revizija i tehničkih pregleda termo- i nuklearnih elektrana — U izvještaju 20/D. 2. dan je pregled raznih organizacionih struktura članova UNIPEDE, metoda i učestalosti sistematskih radova na održavanju, kao i praktičnih iskustava pomoću kojih može biti unapređeno održavanje. Iako se ne mogu uvijek preporučiti sve opisane mjere, ipak se mogu izvući zaključci u korist boljeg planiranja i centraliziranog grupiranja specijaliziranih kadrova kao i specijalne opreme za održavanje.

Problemi školovanja i stručnog usavršavanja kadrova za pogon i održavanje termo- i nuklearnih elektrana — U izvještaju 20/D. 3. opisani su postupci uvedeni u francuskoj elektroprivredi i u jednom švicarskom poduzeću. Kako se traži sve veća stručnost, potrebno je stalno usavršavanje i provjeravanje sposobnosti racionalnog upravljanja sve kompleksnijih postrojenja, uređaja i alata. Za ovu svrhu je najsavršenije sredstvo simulator upravljanja. Za nuklearne elektrane je to preskupi uređaj, pa je potrebno udruživanje više poduzeća ili zemalja. Opisane su i druge metode i principi usavršavanja znanja i sposobnosti tehničkih kadrova.

Hidroelektrane

Studijski komitet za hidroelektrane pod predsjedanjem A. C. Xerez-a iz Portugala, morao je uvjeravati da još uvijek ima razloga graditi hidroelektrane, jer još ima ekonomskih potencijala, a vodoprivredna kompleksna rješenja će i dalje, kao i do sada, tražiti uklapanje energetike. Osim toga ima i novih momenata, kao što je tehnički progres u građevinskim konstrukcijama i tehnologiji građenja, proizvodnja sve većih mašinskih jedinica (turbina i pumpa) i sve boljih karakteristika, automatizacija i telekomanda, što sve dozvoljava izgradnju postrojenja koje se do sada smatralo neekonomičnim. Zahvaljujući napretku i projekti malih postrojenja, koji su do sada čekali, mogu biti interesantni.

U okviru Komiteta razmatrala su se slijedeća pitanja:

Postrojenja s mnogostrukom namjenom — ekonomski problemi — U referatu 30.02. izvještava se da je studijski komitet prikupio podatke od članova UNIPEDE o mogućnosti zaustavljanja regresije hidraulične proizvodnje električne energije, izgradnjom postrojenja s mnogostrukom namjenom, i o metodama raspodjele troškova izgradnje.

Metoda raspodjele troškova na temelju procjene koristi za pojedine namjene može se primijeniti bilo izradom projekata koji alternativno obrađuju posebno svaku namjenu, ili direktnim proračunom dobiti za svaku namjenu.

Za vrijednost hidroelektrane, u Francuskoj upotrebljavaju usporedbu s termoelektranom (ili nuklearnom), koja daje iste efekte u bilanci u pogledu raspoložive snage, prosječne proizvodnje energije, položaja u dijagramu opterećenja i proizvodnje u kritičnom razdoblju. Pomoću matematskih modela za optimizaciju sistema ova je metoda proširena i po-

općena izračunavanjem marginalnih troškova za supstituciju energije i snage iz promatranog objekta.

U većini zemalja prodajne cijene električne energije (tarife) određuje država, pa je pitanje koliko se kod vrednovanja proizvodnje elektrana može poći od realizacije prihoda.

Kod navigacije se različno postupa, ako je vodotok već plovan ili nije, i u oba slučaja postoje mogućnosti proračuna koristi. Kod navodnjavanja, dobave pitke vode, zaštite od poplava, poboljšanja korita rijeke, itd., također se mogu izvršiti svi proračuni.

U poslijeratnom razdoblju najčešće su elektroprivredna poduzeća snosila troškove izgradnje postrojenja, premda je ono koristilo i za druge svrhe. Sada, u sve oštrijim ekonomskim prilikama za elektroprivredu, potrebno je da i ostale namjene snose svoj dio investicija. Kod primjene osnovnih principa raspodjele investicija, a zatim i troškova eksploatacije po namjeni, ima još mnogo podvarijanti, pogotovo jer su postrojenja i prilike u kojima nastaju vrlo različita, o čemu su dani detaljniji podaci u dopunskom referatu 30/D. 1. Potrebno je kod svakog slučaja donijeti odluku o primjeni najprikladnije metode.

Tendencije razvoja crpnih hidroelektrana — Usporedo s porastom veličina jedinica termo- i nuklearnih, rastu i snage pogonskih grupa crpnih hidroelektrana, tako da već imamo snage 250—300 MW, a jedinice od 660 MW su u projektu za Bremm u Zap. Njemačkoj. Novi projekti koriste gotovo uvijek reverzibilne grupe, za padove do 500 m. Za upuštanje u pogon velikih jedinica upotrebljava se pomoćni motor ili pomoćna turbina, i drugi pomoćni uređaji, kao i uređaji za smanjenje pada napona u mreži.

Raspoloživost za pogon je kod crpnih hidroelektrana veća nego kod termopostrojenja, jedino je razlika u tome što su nekad udaljene od centra konzuma. Međutim, podzemne crpne hidroelektrane mogu se graditi i u centrima konzuma.

Automatizacija i telekomanda hidroelektričkih postrojenja — U referatu 30.04. razmatran je motiv za uvođenje telekomande u raznim zemljama.

Upotreba telekomande ima svoje granice vezane uz značaj postrojenja i druge tehničke aspekte, a s druge strane i psiholoških problema, kao i sigurnosnih. U studijskom dokumentu 30/D. 3. dani su podaci dobiveni anketom iz 13 zemalja i 589 pogona, ukupne snage 45000 MW, od kojih su 80% s telekomandom, polovina od njih je naknadno automatizirana. Bez ljudskog nadzora je 70% automatiziranih pogona, ali imaju tjedne obilaske po regionalnim ekipama. Kao ekonomski razlozi navode se u odgovorima na anketu:

Smanjenje troškova nadzora	60 %
Bolja raspoloživost snage	39 %
Smanjenje troškova standarda za radnike	24 %
Bolje iskorištenje postrojenja	15 %

Zaključak — obavještavanje javnosti

U čitavom radu Kongresa u Haagu, a posebno u diskusijama o problemima proizvodnje električne energije naglašavana je potreba suradnje s partnerima u društvu, ili kako se to naziva — veze s javnosti.

Studijski komitet za veze s javnosti obradio je pitanja informiranja javnosti, naročito u vezi sa zaštitom okoline, o čemu je bila izrađena posebna publikacija u redakciji svih predsjednika komiteta UNIPEDE i snimljen film, prikazan uvodno za čitav kongres.

U dokumentu 110/D. 1. dan je izvještaj posebne komisije studijskog komiteta za veze s javnosti, koja je posjetila USA, gdje je upravo u toku ofenziva javnog mišljenja protiv elektroprivrednih projekata u okviru pokreta za zaštitu čovjekove okoline. Ove godine su potrošači ove zemlje podnosili restrikcije i prekide dobave električne energije, jer je potražnja premašila mogućnosti proizvodnje. Pokret širokih razmjera u USA, u kojem sudjeluje prava gomila raznih institucija za kontrolu, primjer je kakve posljedice može imati, gotovo histerična, reakcija javnosti na neki problem.

Predsjednik Studijskog komiteta i šef odjela za veze s javnošću u nizozemskoj elektroprivredi, D. J. Zaal, a i mnogi diskutanti, smatraju da bi se moglo postići da javnost i vlasti pristupaju ovim problemima s više racioalnosti, ali bi u tu svrhu trebalo:

— objektivno prikazati javnosti, vlastima i organizacijama pravo stanje,
— poboljšati uređaje za zaštitu okoline, gdje to nije učinjeno, i
— stalno nadzirati na sve moguće načine efekte zaštite od zagađivanja.

O problemima zaštite okoline i obavještavanja javnosti govore i dokumenti 100/D. 2., 100/D. 3 i 100/D. 6. koji prikazuju situaciju u Vel. Britaniji, Francuskoj i Italiji, a u diskusiji smo čuli i za oštre probleme u Zap. Njemačkoj.

Možda više nego u drugim sektorima od općeg interesa, uspjeh elektroprivrede sve više ovisi o stvaranju i održavanju efikasnih informacijskih kanala. Napori treba da budu upravljeni na obradu:

— administracije, društvenih tijela i organa vlasti,
— ustanova za zaštitu okoline,
— potrošača električne energije,
— sredstava za informiranje javnosti, a u prvom redu tiska.

U nekim elektroprivredama već postoje za to odjeljenja, sa specijalnim statusom u poduzeću, radi potrebnog autoriteta za nastup u javnosti organiziranjem konferencija za tisak i radioteleviziju, predavanja, izložbi, sastanaka s organima vlasti, članovima raznih biranih tijela, itd.

Za svo vrijeme kongresa prikazivani su u jednoj od kongresnih dvorana filmovi radi boljeg razumijevanja planova i realizacija elektroprivrede, pokazujući da je u interesu sviju da pomažu akcije elektroprivrede. Nizozemska elektroprivreda pokazala je poseban oblik prikazivanja problema audiovizuelnim programom na temu »Nuklearna energija u službi proizvodnje električne energije«.

Borivoj Baranović, dipl. ing.

IN MEMORIAM

AKADEMIK PROF. DR JOSIP LONČAR

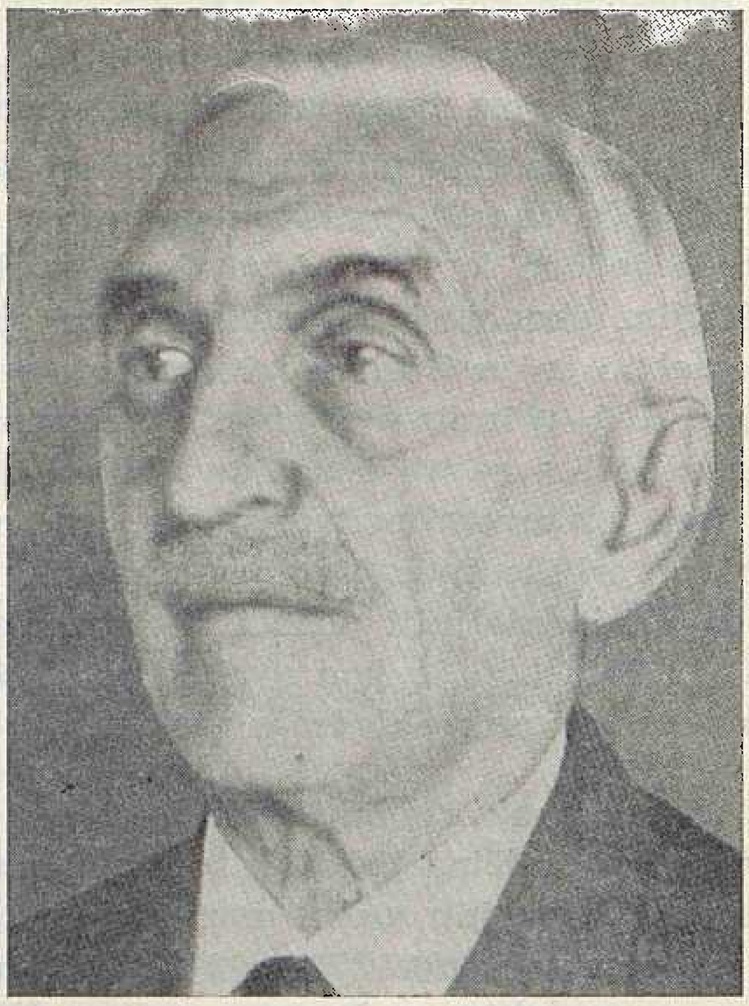
Ove godine 28. IX umro je član Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti i redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu, dr Josip Lončar.

Rodio se 21. XI 1891. u Đakovu, osnovnu školu završio je u Slavonskom Brodu, maturirao je 1910. u Vinkovcima. Fiziku i matematiku slušao je na Filozofskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu i u Parizu. Diplomirao je 1915. u Zagrebu na Filozofskom fakultetu, gdje je 1920. godine i obranio doktorsku disertaciju pod naslovom: »Historijski kritički prikaz drugog glavnog teorema termodinamike«.

Nastavničku karijeru započeo je odmah nakon završenog studija kao profesor Druge gimnazije u Zagrebu, gdje ostaje i nakon 1921. godine kad je pozvan da kao honorarni nastavnik predaje predmet »Teoretska elektrotehnika« na novoosnovanoj Tehničkoj visokoj školi u Zagrebu. Time je ustvari počela sveučilišna nastava elektrotehnike u Zagrebu koju je prof. Lončar obavljao do odlaska u mirovinu, a predmet je kasnije promijenio naziv u »Osnove elektrotehnike«. Predavao je i predmet »Električka mjerenja«. Uz svoj nastavnički rad pokazao je i naročitu sklonost za tehničko realiziranje svojih znanstvenih radova. U laboratoriju za tehnička mjerenja, gdje je bio predstojnik, organizirao je laboratorijske vježbe i obavljao znanstvena istraživanja na instrumentima vlastite izrade. Rezultate svojih istraživanja publicirao je u raznim stručnim časopisima, a surađivao je i sa mnogim inozemnim znanstvenim institutima.

Osim brojnih publikacija napisao je i poznati udžbenik »Osnove elektrotehnike« po kojem su se spremale i spremat će se brojne generacije studenata našeg fakulteta.

Za svoj pedagoški i znanstveni rad je 1961. godine odlikovan »Nagradom za životno djelo«. U povodu



300-te obljetnice Zagrebačkog sveučilišta promoviran je u počasnog doktora (honoris causa), a Elektrotehničko društvo Zagreb proglasilo ga je počasnim članom društva.

Profesor Lončar je bio interesantan i kao znanstveni radnik i kao čovjek. Svima koji su s njim surađivali, kao i brojnim studentima ostat će upravo zbog toga u lijepoj uspomeni.

Da se oduži za sav njegov požrtvovani rad na naučnom i nastavnom planu Elektrotehnički fakultet u Zagrebu je osnovao 1973. godine instituciju pod nazivom »Nagrada Josip Lončar« koja će se dodjeljivati pojedincima za uspjehe u studiju, znanstvenom radu i nastavi na području elektrotehnike.

CRPNI AGREGATI — JUGOTURBINA TIP VPM i VPT

Poduzeće »Rade Končar« počelo je proizvoditi crpne agregate, pa ćemo se u ovom napisu osvrnuti na taj proizvod.

Crpni agregati upotrebljavaju se za opskrbljivanje pitkom i potrošnom vodom u kućanstvu, stambenim zgradama, industriji, poljoprivredi, obrtu, školama, itd.

Veoma su jednostavni za rukovanje i jeftini za održavanje. Mogu se koristiti kao posebne jedinice ili u sklopu sa hidroforima.

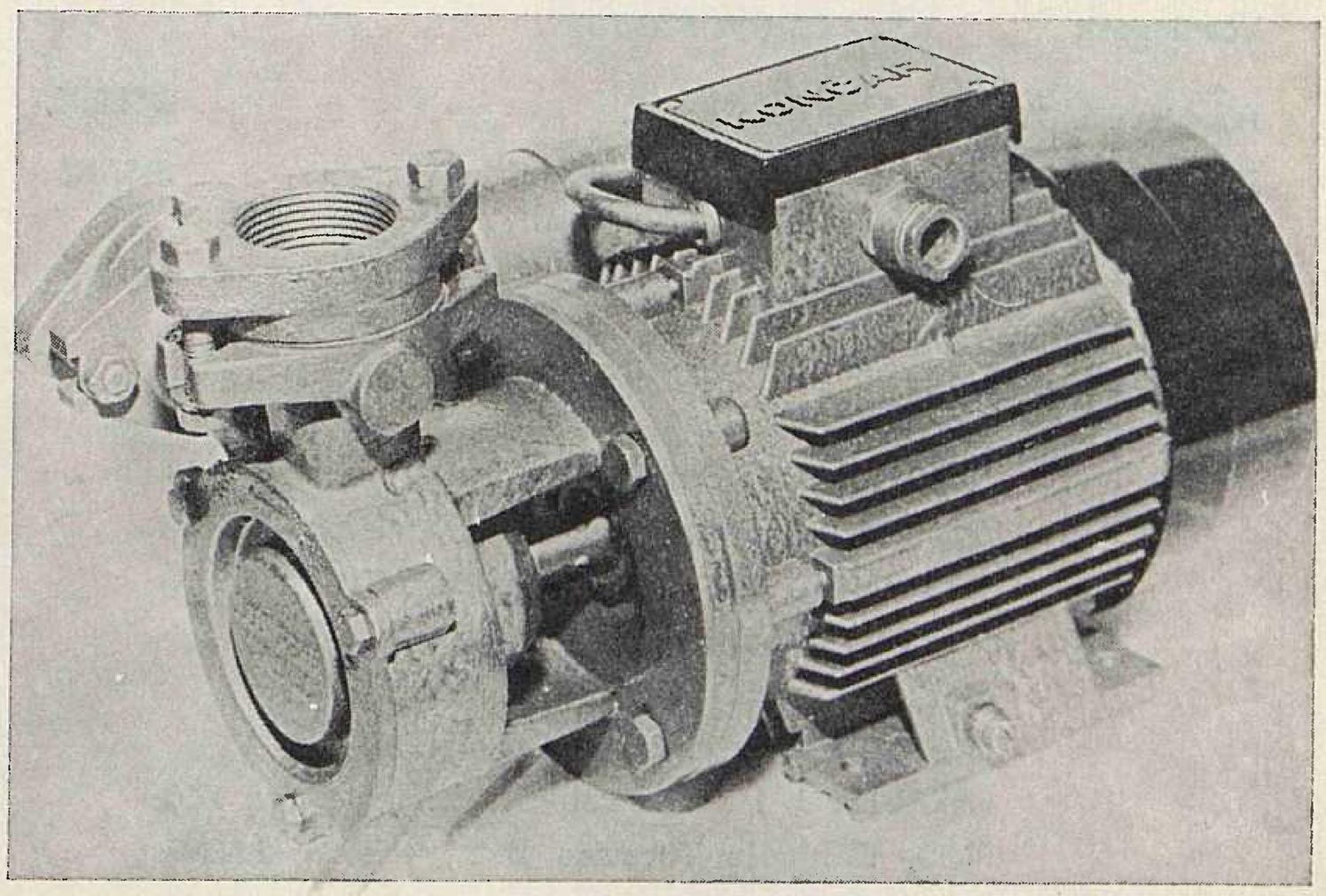
Crpni agregati VPM i VPT što se proizvode u poduzeću »Rade Končar« su jednostepene, horizontalne vrtložne crpke s pogonskim elektromotorima u monoblok izvedbi, te je osovina elektromotora ujedno i pogonska osovina crpke.

Pogonski elektromotor kod crpke VPM je jednofazni, a kod crpke VPT trofazni.

Mehanička zaštita motora je IP_{44} (prema IEC preporukama), što čini zaštitu od namjernog dodira, podizanja krupne prašine, prskajuće vode iz bilo kojeg smjera.

Elektromotor štiti osim postojećim mrežnim osiguračima i motorskom zaštitom sklopkom koja štiti od preopterećenja i od prekida struje u jednoj fazi (za trofazne motore).

Kod odabiranja automatske zaštitne sklopke valja paziti da odgovara podacima elektromotora, koji su naznačeni na natpisnoj pločici agregata. Samo pravilno odabrana sklopka sa sigurnošću štiti motor.



Crpni agregat proizvodnje »Rade Končar«

TEHNIČKI PODACI

Tip agregata	Snaga	Nazivna struja kod		Brzina vrtnje	Kondenzator		Protok	Visina dobave	Težina
	kW	220 V A	380 V A	c/min	Kapac. μF	Napon V	l/min	m V. S	kp
S jednofaznim motorom									
VPM — 82	0,55	4,8	—	2740	16	380	30 — 60	30 — 10	11
VPM — 88	0,75	5,8	—	2750	10	380	20 — 60	50 — 15	14,5
VPM — 94	1,1	7,8	—	2750	25	380	42 — 78	55 — 10	15,5
S trofaznim motorom									
VPT — 88	0,75	3,5	2	2750	—	—	20 — 60	50 — 15	14
VPT — 94	1,1	4,8	2,8	2750	—	—	42 — 78	55 — 10	15

»RADE KONČAR«
PODUZEĆE ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE OPREME, PROJEKTIRANJE I MONTAŽU POSTROJENJA — ZAGREB

Velika jugoslavenska špediterska kuća

JUGOTRANSPORT

Poduzeće za međunarodnu špediciju i skladišta

CENTRALA **ZAGREB** JUGOSLAVIJA

ZAGREB, Vodovodna 20a, Poštanski pretinac 786
Telefon: 572-722 serija, Telex: 21-127
Telegrafska adresa: Jugotrans
Uprava — telefon 571-477
Uvoz — telefon 571-243, 571-632, 572-939
571-529
Izvoz — telefon 571-411, 572-641
Tarifno konjunkturni sektor — telefon 571-518
Računovodstvo — telefon 571-066
Skladište — telefon 572-722
Loko odjel — telefon 572-722
Vozni park — telefon 572-722

Ispostave u Zagrebu

Zagrebački velesajam — telefon 511-493
Aerodrom Zagreb — telefon 511-422

FILIJALE:

BEOGRAD, Kneza Miloša 47
telefon 645-253, 645-860, 644-485
telex 11-319
Ispostava Zemun — telefon 608-153
Ispostava Aerodrom Beograd —
telefon 601-444
Ispostava Beogradski sajam —
telefon 51-080

RIJEKA, Rade Končara 7, telefon 25-641
telex 24-336

OSIJEK, Zrinjevac 12, telefon 57-37

SISAK, Vladimira Majdera, telefon 227-55
telex 21-305

ISPOSTAVE:

KOPRIVNICA, Đure Salaja br. 3, telefon 443
KOTORIBA, Željeznička stanica, telefon 12
VUKOVAR, I. L. Ribara, telefon 760
BELI MANASTIR, telefon 77-159
SPLIT, Tolstojeva 28, telefon 26-70
KOPER, Nabrežje SM 1a, telefon 21-677
KRALJEVO, Hajduk Veljkova b. b., telefon 760
NIŠ, Dimitrije Tucovića b. b., telefon 24-997
telex 16-146
VRŠAC, Maršala Tita br. 23, telefon 80-450
PANČEVO, ul. Oslobođenja 35, telefon 32-34

PREDSTAVNIŠTVA:

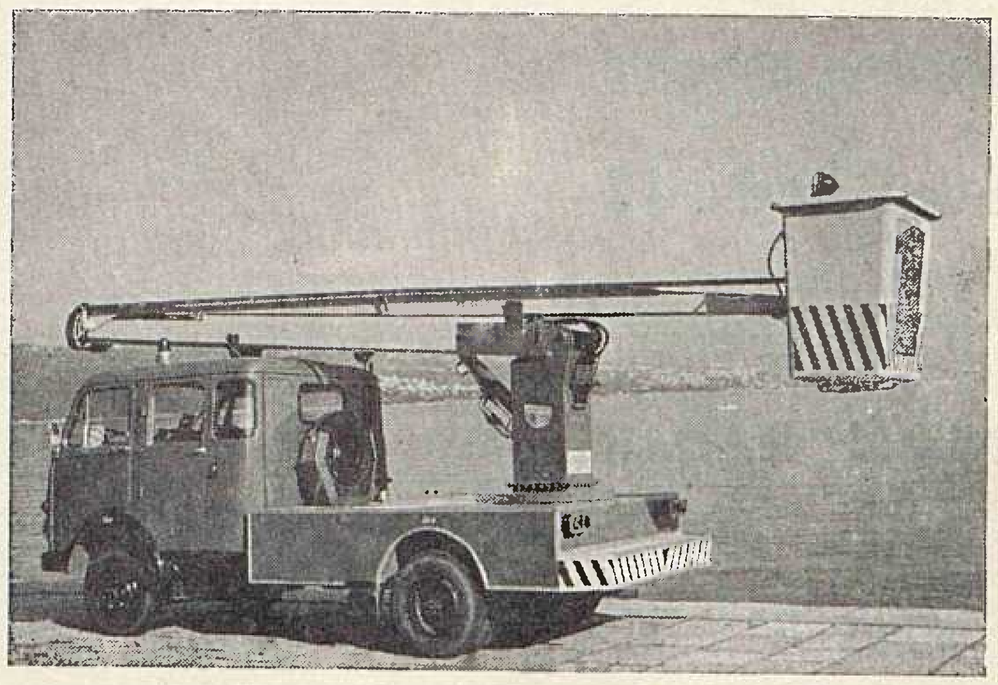
SEŽANA
NOVA GORICA
JESENICE
PREVALJE
MARIBOR
LJUBLJANA
ZADAR
NOVI SAD
SUBOTICA
DIMITROVGRAD
SKOPLJE
GEVGELIJA
BAR

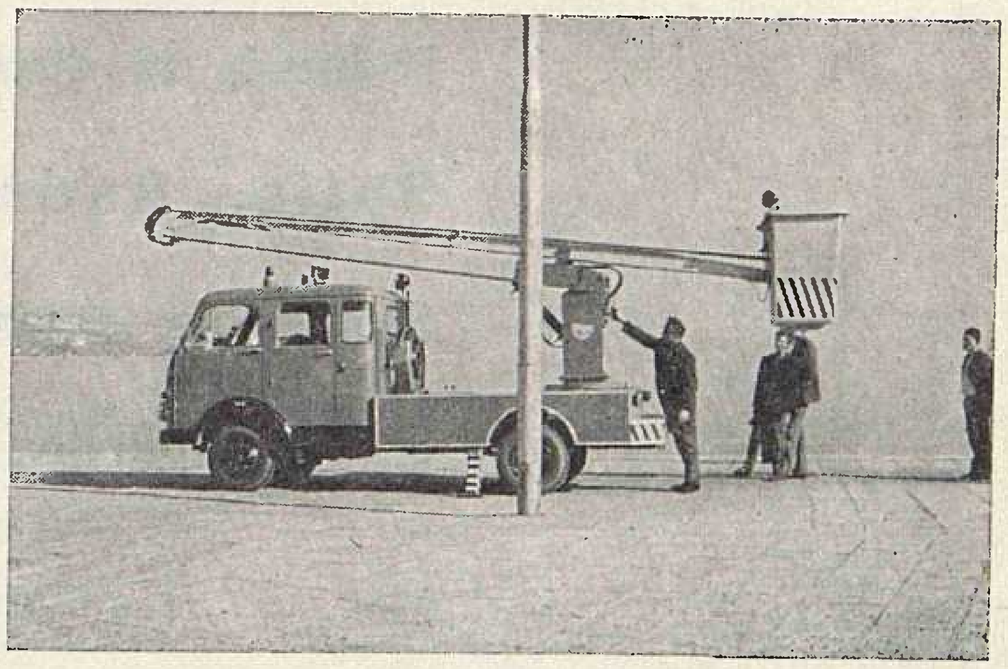
Područje rada međunarodne špedicije

JUGOTRANSPORT ZAGREB

Uvozni, izvozni i tranzitni poslovi
Masovni transporti — Industrijska postrojenja —
Strojevi — Specijalni tereti
Čarterovanje — Pomorski i zračni saobraćaj
Transporti živog i lakopokvarljive robe — Hranjenje — Pojenje — Doleđivanje
Zbirni saobraćaj
Riječna plovidba
Selidbe
Uskladištenje u vlastita skladišta
Pakovanje — Sortiranje — Vaganje
Carinsko posredovanje — Kontrola težine —
Vađenje uzoraka
Sajamska roba
Osiguranje
Savjetovanje o transportnim pitanjima
Oferte — Informacije — Kalkulacije — Instradacije — Kontrola tovarnih dokumenata
Ispostave i predstavništva na svim graničnim prelazima, važnijim sajmovima
i aerodromima

ZHP ZGLOBNA HIDRAULIČKA PLATFORMA ZHP-10, ZHP-12, ZHP-17, i ZHP-21 m





ZGLOBNA HIDRAULIČKA PLATFORMA JE SPECIJALNO VOZILO VELIKIH MANEVARSKIH SPOSOBNOSTI. SLUŽI ZA IZVOĐENJE ELEKTROMONTERSKIH RADOVA, GRAĐEVINSKIH RADOVA, KOD GAŠENJA POŽARA, ZA SPASAVANJE LJUDI I IMOVINE TE ZA VRŠENJE DRUGIH RADOVA NA VEĆIM VISINAMA.

PODUZEĆE »TEHNOMEHANIKA« IZRAĐUJE ČETIRI TIPA ZGLOBNIH HIDRAULIČKIH PLATFORMI: ZPH-10, ZHP-12, ZHP-17, ZHP-21 m.

ZGLOBNE HIDRAULIČKE PLATFORME UGRAĐUJEMO NA VOZILA TAM-a I NA OSTALA STABILNA VOZILA POZNATIH JUGOSLAVENSKIH I SVJETSKIH PROIZVOĐAČA.

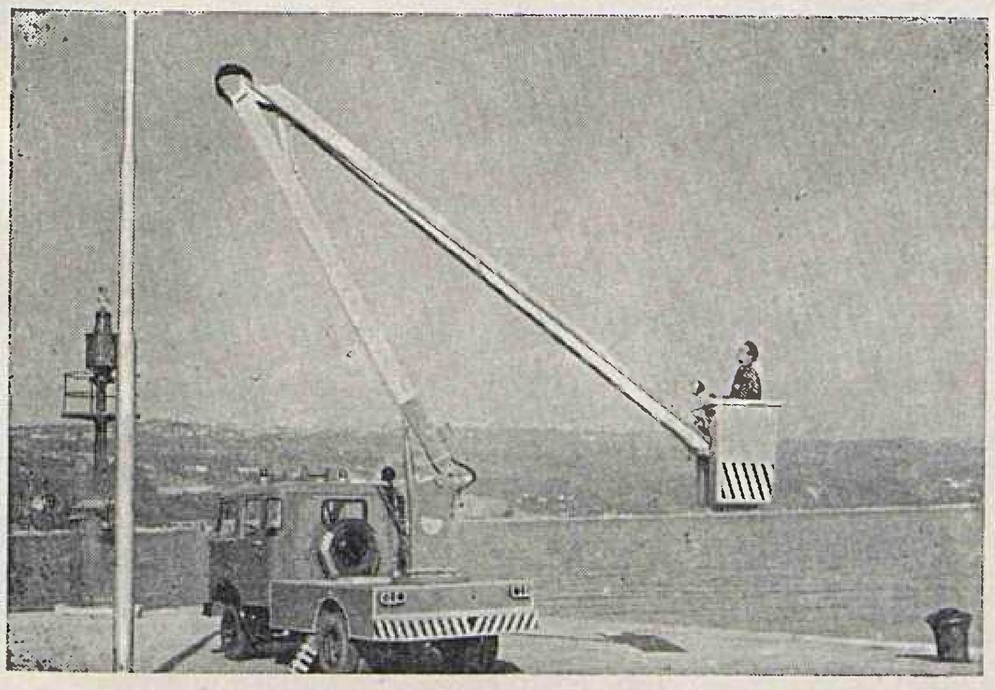
SVI POKRETI ZHP VRŠE SE POMOĆU HIDRAULIKE KOJA DOBIVA POGON OD MOTORA VOZILA. RADNA KOŠARA ZHP PODIŽE SE POMOĆU DVIJE POLUGE SA HIDRAULIČKIM CILINDRIMA NA ŽELJENU VISINU I ZAKREĆE SE OKO VERTIKALNE OSI KUPOLE ZA POTREBNI KUT, KOJI MOŽE IZNOSITI OD 0° DO 360°.

RADNA KOŠARA ZHP IZRAĐENA JE IZ ČVRSTIH ARMIRANIH PLASTIČNIH MASA KOJE ZAŠTIĆUJU RADNIKA OD ELEKTRIČNIH UDARA DO 1000 V.

MOTOR VOZILA POKREĆE HIDRAULIČKU PUMPU IZ KOJE PREKO RAZVODNIKA I CIJEVI DOLAZI ULJE U HIDRAULIČKE CILINDRE.

HIDRAULIČKI CILINDRI PO NAŠOJ ŽELJI IZVRŠAVAJU RADOVE UTVRDIVANJA VOZILA, DIZANJA I SPUŠTANJA KOŠARE NA ŽELJENU VISINU TE OKRETANJE KUPOLE OKO VERTIKALNE OSI ZA ŽELJENI KUT.

RUKOVANJE PLATFORMOM ZHP JE VRLO JEDNOSTAVNO. ZA RUKOVANJE POSTOJE DVA KOMANDNA MJESTA, NA RADNOJ KOŠARI I NA POSTOLJU VOZILA. OVIM SISTEMOM UPRAVLJANJA MOŽE SE KOŠARA DOVESTI U ŽELJENI POLOŽAJ RUKOVANJEM IZ SAME KOŠARE ILI SA POSTOLJA VOZILA.



PODUZEĆE METALNIH PROIZVODA

MARIJA BISTRICA — TELEFON 2

ZAGREB: KOMERCIJALNO PROJEKTNI SEKTOR, VUKOVIĆEVA 3 — tel. 574-284

BEOGRAD: PREDSTAVNIK, FRANCUSKA 38 — tel. 25-989

Tehnomehanika

»ELEKTRODALMACIJA«

Poduzeće za distribuciju električne energije

Split, Radničko šetalište 42

Samostalne organizacije — pravne osobe:

SPLIT, ŠIBENIK, DUBROVNIK I ZADAR

PROIZVODI, DISTRIBUIRA I PRODAJE

električnu energiju

•

IZRAĐUJE:

osnovne projekte za elektrifikaciju područja, programe investicione izgradnje, projekte dalekovoda, transformatorskih stanica i mreže niskog napona.

•

IZGRAĐUJE:

trafostanice, dalekovode i električne mreže.

•

VRŠI POPRAVKE I ISPITUJE:

transformatore, rasklopne aparate i mjerne uređaje visokog i niskog napona.