

ENERGIJA

STRUČNI ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

SADRŽAJ »ENERGIJE« U 1979. GODINI

Studije i istraživanja

	Str.	Broj		Str.	Broj
<i>Balog M.</i> : Pretpogonsko ispiranje sistema regenerativnog zagrijavanja pojne vode i sistema svježe pare u NE Krško . . .	413	11—12	<i>Nevečerel D.</i> : Proračun električnih parametara nadzemnih vodova	8	1—2
<i>Baranović B.</i> : Istraživanja za lokaciju nuklearne elektrane na rijeci	1	1—2	<i>Piperski D.</i> : Ocena kvaliteta automatske regulacije termotehničkih procesa u termoelektrani	34	1—2
<i>Crnčić M.</i> : Racionalno korištenje električne energije u domaćinstvu	171	5—6	<i>Piperski D.</i> : Tehnološke zaštite i blokade postrojenja TE	323	9—10
<i>Čupin N.</i> : Primjena teorije pouzdanosti u nalaženju optimalne sheme električnih postrojenja (I dio)	65	3—4	<i>Požar H.</i> : Utjecaj tipova vršnih elektrana na elektroenergetski sistem	227	7—8
<i>Čupin N.</i> : Primjena teorije pouzdanosti u nalaženju optimalne sheme električnih postrojenja (II dio)	235	7—8	<i>Prelec Z.</i> : Primjena metode Langrangeovog multiplikatora kod optimizacije stacioniranih režima rada parnoproizvodnog postrojenja	253	7—8
<i>Čupin N.</i> : Problemi izrade priključnih planova na računalu	247	7—8	<i>Sadović S.</i> : Model ventilnog odvodnika prenapona kod proračuna prenaponskih pojava na digitalnom računalu . .	301	9—10
<i>Fagarazzi A.</i> : Izbor sheme modernih gradskih transformatorskih stanica 110/10 i 110/20 kV s obzirom na koncepciju mreže i pouzdanost napajanja	157	5—6	<i>Schenner R.</i> : Određivanje nazivne snage TS/110/10,20 kV kablaskog voda pomoću ispitivanja na modelu	295	9—10
<i>Herr S.</i> : Gornja temperaturna granica primjene feritnog materijala 10 CrMo	193	5—6	<i>Schenner R.</i> : Primjer proračuna pouzdanosti u distributivnoj mreži	18	1—2
<i>Jemrić B.</i> : Metalno-halogenke žarulje kao perspektivni izvor danje svjetlosti . .	81	3—4	<i>Siročić Z.</i> : Proizvodnja sinhronih generatora u jugoslaviji	155	5—6
<i>Jurković B.-Gajski I.</i> : Veliki motori u distributivnoj mreži	367	11—12	<i>Smolčić Z.</i> : Suvremeni istosmjerni strojevi velikih snaga	77	3—4
<i>Kalan B.</i> : O standardima na području instrumentacije i regulacije koji se primjenjuju kod izgradnje NE Krško	393	11—12	<i>Širola E.</i> : Rasvjeta tunela	23	1—2
<i>Kavur V.</i> : Izbor konfiguracije digitalnog sistema za vođenje elektroenergetskog procesa	71	3—4	<i>Štahan I.</i> : Utjecaj zagađenja zraka na dielektričku čvrstoću izolatora visokih napona	313	9—10
<i>Kavur V.</i> : Važnost i mjesto informiranja o elektroenergetskom procesu u hijerarhijskoj strukturi informacijskog sistema	129	5—6	<i>Tokić B.</i> : Podloge za vrednovanje i izbor 110 kV kabela	379	11—12
<i>Kontić J.</i> : Primjena neutralnog vodenog režima kod termoenergetskog postrojenja	259	7—8	<i>Udovičić B.</i> : Potrebe i mogućnosti izgradnje elektrana u Hrvatskoj za podmirenje potrošnje električne energije u budućnosti	139	5—6
<i>Kovačević S. - Hlevnjak M.</i> : Anatomski građa četinjača i mogućnost impregnacije otopinama konzervirajućih tvari .	405	11—12	<i>Vuković V.</i> : Nuklearna elektrana Krško (I dio)	85	3—4
<i>Kučer M.</i> : Posljedice priključivanja statičkih (tiristorskih) usmjerivača na distributivnu električnu mrežu	319	9—10	<i>Vuković V.</i> : Nuklearna elektrana Krško (II dio)	239	7—8
<i>Markovčić B.</i> : Prijeratna elektrifikacija sjeverne Hrvatske	147	5—6			
<i>Markovčić B.</i> : Visokonaponski kabeli s krutim dielektrikom	371	11—12	Pogonska problematika		
			<i>Gulin Ž.</i> : Neka iskustva s popravcima podzemnih kabela	389	11—12
			<i>Matanić D.</i> : Rješavanje problema pulzacija u ložištu kotla 7 u EL-TO Zagreb kod loženja zemnim plinom	187	5—6
			<i>Mehičić K. - Mihalek E.</i> : Stupovi u nadzemnoj mreži niskog napona u distribuciji SR Hrvatske	97	3—4

	Str.	Broj		Str.	Broj
<i>Novkoski K.:</i> Elektroenergetska mjerenja u distributivnim mrežama neophodna za neprekidnu opskrbu potrošača	401	11—12	<i>Markovčić B.:</i> Izvještaj o radu i zaključci XIV savjetovanja elektroenergetičara Jugoslavije	331	9—10
Savjetovanja i konferencije			<i>Markovčić B.:</i> VII savjetovanje o prijenosu električne energije	38	1—2
<i>Markovčić B.:</i> XXVII zasjedanje CIGRE u Parizu	39	1—2	Vijesti iz elektroprivrede		
			—:Rad Instituta za elektroprivredu u 1978.	265	7—8

ISTRAŽIVANJA ZA LOKACIJU NUKLEARNE ELEKTRANE NA RIJECI

Borivoj Baranović, Zagreb

Nuklearna elektrana potencijalna je opasnost za stanovništvo i okolinu uopće. U pripremi izgradnje nuklearne elektrane treba obaviti niz veoma opsežnih istraživanja o stanju ekološke sredine i prostora u koji se ugrađuje nuklearno postrojenje. U članku se daje pregled istraživanja koja treba provesti za nuklearne elektrane na rijekama.

DK 621.039.5

UVOD

Nuklearna elektrana kao izvor električne energije mora zadovoljiti zahtjevima potražnje energije u određenom opskrbnom području svojim kapacitetom i ostalim energetske karakteristika, sposobnošću kontinuirane raspoloživosti za pogon i što manjim troškovima proizvodnje i prijenosom do centara potrošnje.

Od nuklearnih elektrana traži se nadalje izrazito visok stupanj sigurnosti, posebno zbog činjenice da one sadrže velike količine radioaktivnih i fizičnih materija, koji intenzitetom ionizirajućeg zračenja čine potencijalnu opasnost za stanovništvo i okolinu uopće.

Izbor lokacija nuklearnih elektrana zavisi prema tome od tehničko-ekonomskih analiza i od posebnih mjera za sigurnost stanovništva i zaštitu okoline.

Tehničko-ekonomski važan faktor jest opskrba elektrane rashladnom vodom u značajnim količinama u slučaju protočnog hlađenja, odnosno sa samo 3—4% od tih količina u slučaju povratnog hlađenja, ali s posljedicom nešto manjeg stupnja iskorištenja proizvodnog ciklusa zbog više temperature rashladne vode.

Kod izbora lokacija na sigurnost okoline utječu seizmološki, geološki, meteorološki i hidrološki faktori te blizina naseljenih mjesta, vrste ljudskih djelatnosti u okolici, sastav flore i faune, prehrambeni ciklus itd.

Odgovornost za optimalni izbor lokacije s obzirom na uklapanje u okolinu jest stvar društvenih organa, a na temelju ekspertiza kompetentnih i kvalificiranih naučnoistraživačkih institucija. Radi toga Savezni komitet za zdravstvo priprema Pravilnik o tehničkim normativima i uvjetima za lokaciju, izgradnju, probni pogon, puštanje u rad i korištenje nuklearnih objekata i postrojenja.

U ovom članku opisana su samo nužna istraživanja za lokaciju nuklearne elektrane na rijeci, i to samo za potrebe definiranja mjera za zaštitu okoline kako u rednovnom pogonu elektrane, tako i za izvanredne prilike.

ZAŠTITA OKOLINE OD RADIOAKTIVNOG DJELOVANJA

Nuklearne elektrane proizvode visoko radioaktivne atome iz fisije uranovih atoma. Ti se radioaktivni materijali najvećim dijelom nalaze u gorivim elementima smještenim u reaktorskoj posudi. Najveća su opasnost za okolinu teški kvarovi u reaktoru (taljenje gorivih elemenata, pucanja njihovih košuljica) i izlaz tih materija u okolinu.

Vjerojatnost pojave takvog akcidenta vrlo je mala. Reaktori su inherentno stabilni (porast temperature dovodi do smanjenja radioaktivnosti), a snabdjeveni su višestrukim kontrolnim i zaštitnim sistemima radi sprečavanja pojave akcidentne aktivnosti (dopunske kontrolne šipke, sistem sigurnosnog zatvaranja jezgre). Komponente primarnog kruga izrađuju se prema veoma strogim standardima, ispituju i testiraju prema posebnom sistemu garantiranja kvalitete, tako da je vjerojatnost pucanja u sistemu veoma mala. Osim toga, primjenjuju se višestruki sistemi hlađenja (dodatno hlađenje jezgre vodom, ubrizgavanje vode u kontejment) koji osiguravaju odvod topline iz jezgre čak i kod raskida primarnog kruga.

Osim vlastitom posudom, reaktor je još zaštićen i čeličnim oklopom velike debljine (kontejment), u kojem je smješteno čitavo reaktorsko postrojenje s pomoćnim uređajima i parogeneratorima, a sve je to zaštićeno i betonskim zidovima i teškim

temeljima koji sprečavaju prodiranje radioaktivnih materija u okolinu. Oklop štiti i od vanjskih eksplozija, granata i bombi. Nadalje, da se elektrana zaštiti od utjecaja elementarnih nepogoda, poplava i potresa, građevni objekti i konstruktivni dijelovi postrojenja projektiraju se tako da budu sigurni od tih djelovanja. Elektrana se gradi na platou terena koji je zaštićen od visokih voda u rijeci, a koji se pojavljuju jednom u 1000 g. Radi zaštite od potresa građevine se projektiraju aseizmično, pri čemu se uzimaju najnepovoljnije prilike koje se mogu očekivati.

Procjenu posljedica teškog akcidenta obavila je Američka komisija za atomsku energiju (AFC) u izvještaju Rapport WASH-740 od 1957, a ponovio ju je autor Forbes i dr. (Nucl. News, 9. 1971). Obnovljena je zaključcima izvještaja AEC Rapport WASH-1400, od 8. 1974., nazvanim »Rapport Rasmussen«.

Vjerojatnost pojave takvog akcidenta, naravno, teško je ocijeniti, ali bitno je da je ona izuzetno mala i da je reda veličine jedne pojave kod jednog postrojenja u 10 milijuna godina pogona.

S druge strane, ne može se tvrditi da je nemoguće da se kvar ne dogodi unatoč svim mjerama sigurnosti. Zato je ipak potrebno računati s takvom mogućnošću radi zaštite stanovništva u bližoj i većoj udaljenosti od postrojenja.

U redovnom pogonu komercijalne elektrane tipa PWR i BWR proizvode radioaktivne plinove neutronsom aktivacijom nekih materija, a također oslobađaju neke plinovite produkte iz procesa nuklearne fisije koji ulaze u primarni rashladni krug. U BWR plinovi iz primarnog kruga idu dalje i dolaze s parom do turbine i kondenzatora. Njih se putem izlučuje i odvodi u filtarski sistem. U PWR većina plinova ostaje u zatvorenom primarnom krugu. Voda tog kruga odvojena je od sekundarnog kruga u kojem se stvara para. U sadašnjim je reaktorima radioaktivnost oslobođena u obliku plina kod BWR elektrana znatno veća nego kod PWR.

Osim ovog glavnog izlučivanja u redovnom pogonu elektrane, postoji niz otpadnih voda i materijala koji su u procesu proizvodnje bili ozračeni. To su npr. procurivanja raznih brtvila, pa razni kruti otpaci. Tu je nadalje bazen za privremeno odlaganje ozračenog goriva.

Radioaktivni materijali iz nuklearnih elektrana mogu dospjeti do stanovništva izravno putem plinova i aerosola i putem ispusnih voda, a posebno preko tzv. prehrambenog lanca, odnosno ekoloških ciklusa.

Radi ograničenja ispuštanja postoje propisi kojima moraju nuklearne elektrane odnosno njihovi zaštitni filtri i ostali zaštitni uređaji zadovoljavati.

Redovno ispuštanje radioaktivnih tekućih otpadaka u rijeku ograničeno je u pogledu koncentracija u ispusnom kanalu, a u samoj rijeci razrađuje se prema unaprijed poznatim procesima. Rasprostiranje podzemnim vodama čiji se pravci i brzine tokovima unaprijed proučavaju, sprečava se dre-

nažnim sistemima, a za slučaj procurivanja postoje signalni uređaji koji su djelotvorni jer je brzina širenja zagađenja nekoliko metara na mjesec.

Isto tako, kod redovnog ispuštanja radioaktivnih plinova i aerosola u atmosferu uzimaju se u obzir propisane maksimalno dopuštene koncentracije i meteorološki uvjeti koji definiraju difuziju i kretanje ispuštenih elemenata.

Za vrijeme normalnog pogona oslobađaju se na opisani način male količine radioaktivnih materija iz reaktorskog sistema i ova ispuštanja su pod kontrolom, tako da se mogu uklopiti u dozvoljene norme.

U mješavini radioaktivnih izotopa koji se ispuštaju u vode najopasniji je tricij. Zato lokacija mora raspolagati dovoljnim količinama vode za razblaživanje koncentracije ovog i ostalih zagađivača.

Prije ispuštanja u atmosferu zrak koji sadržava plinovite radioaktivne izotope filtrira se radi njihova zadržavanja i tretiranja. Međutim, neki izotopi (kripton, ksenon, jod) ne mogu filtriranjem biti odstranjeni iz zraka, pa se moraju ispuštati iz dimnjaka na većim visinama (120—140 m). Najopasniji izotop koji se ispušta je jod 131, poznat kao izazivač raka štitnjače. On se lako prenosi hranom.

Istraživanja okoline radi određivanja kvalitete i nivoa zaštite u prethodnoj fazi projektiranja NE obuhvaćaju mjerenja postojeće radioaktivnosti protočne i podzemne vode, mulja, flore i faune, uzoraka zemlje i poljoprivrednih proizvoda na širem području lokacije. Potrebna su nadalje mjerenja doza radioaktivnosti zbog prirodnog zračenja, koje se sastoji od kozmičkog zračenja, Zemljinog zračenja i aerosola, te mogućeg zračenja od klasičnih tehničkih instalacija i, konačno, od posljedica atomskih eksplozija.

Opširan program mjerenja treba da ustanovi kritične radionuklide i definira kritične putove za ekspoziciju okolnog stanovništva. Također treba utvrditi indikatorske organizme, ako takvi postoje, koji će omogućiti osjetljivu identifikaciju koncentracije radioaktivnosti na raznim nivoima.

Nadalje, važno je određivanje sorpcijskih kapaciteta za radioaktivne elemente kod prostiranja kroz pijesak i humus koeficijenata filtracije, te brzine migracije nuklearnih zagađivača putem podzemnih voda.

Sve rezultate ovih i drugih ispitivanja treba privesti krajnjem cilju istraživanja, tj.:

— odrediti maksimalno dozvoljene koncentracije za poljoprivredne artikle, riječnu, bunarsku i podzemnu vodu,

— utvrditi sezonske varijacije prirodne radioaktivnosti u odnosu prema drugim zagađivačima,

— identificirati konvencionalne zagađivače koji mogu na sebe vezati određene radionuklide radi kontrole kontaminacije u širem geografskom području,

— proračunati širenje radionuklida u atmosferi,

— izraditi norme za kapacitete okoline za prihvaćanje ispuštane radioaktivnosti.

Na temelju Zakona o zaštiti od ionizirajućih zračenja (Službeni list FNRJ br. 54/76) Savezni komitet za zdravstvo priprema niz propisa o granicama ozračenja stanovništva, o ispitivanjima i mjeranjima kontaminacije itd.

Sistemi zaštite od opasnosti nuklearne elektrane dobro se definiraju u elaboratu Instituta »Ruđer Bošković« »Sigurnost nuklearnih elektrana«, pa prenosimo iz tog elaborata dio teksta:

U fazi projektiranja i izgradnje elektrane treba, dakle, unaprijed identificirati opasnosti i primijeniti sva projektna, konstruktivna i znanstvena dostignuća za njihovo otklanjanje, odnosno ublažavanje na temelju računa vjerojatnosti o njihovoj pojavnosti. U pogonu elektrane treba ispravno i odgovorno iskorištavati zasnovana rješenja, ali ujedno pripremiti se na nepredviđeno.

Mjere sigurnosti, nazvane barijerama, mogu se podijeliti na tri nivoa zaštite. U literaturi se ovako definiraju ova tri nivoa:

P r v i n i v o definiran je zahtjevom maksimalne sigurnosti u toku normalnog pogona, kao i zahtjevom maksimalne fleksibilnosti sistema ako neka od komponenata prestane funkcionirati.

D r u g i n i v o sigurnosti polazi od pretpostavke da nema savršenih sistema i da je unatoč svim poduzetim mjerama akcident moguć. Za ovaj slučaj treba postojati zaštita za operatora i za okolno stanovništvo.

T r e ć i n i v o pretpostavlja da i zaštitni sistem predviđen drugim nivoom može zatajiti, pa su potrebne i druge mjere koje ne mogu zatajiti. Tu se već misli na prostornu barijeru i na organizaciju evakuacije stanovništva, dekontaminaciju zemljišta i ograničenje upotrebe određene hrane.

Barijere prvog i drugog nivoa za lakovodne reaktore sastoje se uglavnom u slijedećem:

P r v u b a r i j e r u čine sami gorivi elementi. Prirodni ili obogaćeni uran u formi oksida stabilan je i lako podnosi visoke radne temperature, do 1673°C. Iznad te temperature on se rekristalizira, pa se velik dio hlapljivih fisionih produkata (jod, plemeniti plinovi) oslobađa. Kod nižih temperatura oslobađanje je znatno manje i zadržava se unutar ovojnice gorivih elemenata sprečavajući na taj način kontaminaciju primarnog hladioca.

D r u g u b a r i j e r u čini zatvoreni rashladni sistem, koji se kontinuirano čisti prvenstveno od radioaktivnih fisionih produkata, koji zbog nekih oštećenih gorivih elemenata ipak dospijevaju u primarni hladilac.

T r e ć u b a r i j e r u čini reaktorska posuda koja je konstruirana tako da izdrži visoke temperature i pritiske koji bi nastali u slučaju hipotetskog akcidenta.

Č e t v r t u b a r i j e r u čini kontejment dvostrukih zidova. Međuprostor se održava na potpritisku, čime se bitno smanjuje prirodno curenje kontejmenta. Kontejment sadrži dodatne sisteme koji zadovoljavaju kriterije drugog nivoa sigurnosti. To su npr. sistemi za prskanje radi smanjenja temperature i tlaka u kontejmentu. Ti sistemi, uz

one za recirkulaciju i filtriranje uzduha primarnog kontejmenta, služe ujedno za pročišćavanje zraka od radioizotopa joda, čime se bitno smanjuju doze koje bi primalo ljudstvo na granici zone s ograničenim pristupom.

Iz dosad izloženog treba zaključiti da komercijalni reaktori PWR i BWR mogu ispustiti hazardne količine radioaktivnosti samo u slučaju ako mnogostrukke barijere, koje se po djelovanju nadovezuju jedna na drugu, budu probijene. Praktički jedina mogućnost takve hipotetske najveće zamislive nezgode pružio bi slučaj potpunog loma glavnog cjevovoda primarnog hladioca. Gubitak hladioca u primarnom krugu rezultirao bi taljenjem reaktorske jezgre pri čemu bi prve dvije zaštitne barijere bile probijene.

Treća i četvrta barijera ne mogu tada potpuno zaustaviti oslobođene plinove fisione produkte (jod i plemeniti plinovi), što rezultira ispuštanjem radioaktivnosti u čovjekovu sredinu.

Naseljenost u okolini nuklearne elektrane treba da bude zato ograničena. Nekim propisima je, na primjer, određena zona polumjera 500 m kao zaštitni pojas bez naselja, zatim u zoni polumjera 1 500 m dozvoljava se oko 500 stanovnika i dalje postepeno više sve do 20 km. Međutim, te se norme razlikuju od slučaja do slučaja.

Iz elaborata:

Analiza kriterija i parametara za izbor tehnologije nuklearnih elektrana u Jugoslaviji, prilog: Sigurnost nuklearnih elektrana Institut »Ruđer Bošković«, Zagreb.

GEOLOŠKA I SEIZMOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

Koncentracija energije u nuklearnoj elektrani mora biti potpuno kontrolirana, pa se one grade s velikom sigurnošću s obzirom na najveće moguće pretpostavljeno potresno djelovanje. Radi zaštite čovjeka i okoline građevni i svi ostali konstruktivni dijelovi moraju ostati neoštećeni, a isto tako moraju bez zastoja djelovati sigurnosni uređaji za gašenje reaktora i uređaji za zaštitu pogonskog osoblja i okolnog stanovništva.

Za određivanje djelovanja mogućih seizmičkih sila na građevine i postrojenja nije dovoljno poznavanje samo historičkih podataka o potresima i epicentrima nego treba proučiti i geološku strukturu i tektoniku na širem i užem području lokacije radi proračuna širenja seizmičkih valova, uglavnom putem prijelomnih linija kao i periode lokalnog njihanja tla. Razorno djelovanje seizmičkih sila na lokaciji elektrane ogleda se na deformacijama podloge, stvaranju pukotina u tlu, aktiviranju klizišta, odrona i u izazivanju oscilacije objekata za određene periode pomaka tla, brzine i akceleracije i zbog toga u opasnostima oštećenja objekata, te sekundarnih pojava (požari, poplave, eksplozije, radioaktivno zagađenje okoline).

smjernice za meteorološke studije u vezi s izgradnjom nuklearnih elektrana. Tako je u SAD izdan 1972. AEC Regulatory Guide itd.

Na lokaciji potrebno je obuhvatiti ova meteorološka opažanja:

a) frekvencu pojava magli i njihova trajanja i visinu sloja,

b) režim oblačnosti, dnevni i sezonski po terminima, visinu baze oblaka,

c) trajanje sunčanog sjaja u satima,

d) raspodjelu količina oborina po mjesecima, broj dana s oborinama, ekstremne dnevne količine,

e) ruže vjetrova po mjesecima s raspodjelom brzina za svaki pravac,

f) vertikalnu raspodjelu temperatura zraka (i vlažnog termometra),

g) podatke o lokalnoj cirkulaciji zraka, ako postoji.

Za potrebe proračuna difuzije radioaktivnih čestica potrebni su ti podaci barem po dvostrukoj visini nivoa ispuštanja.

Za potrebe proračuna rashladnih tornjeva kao uzročnika promjene mikroklima treba osim gornje veličine mjeriti i atmosferski pritisak, relativnu i apsolutnu vlažnost zraka i napetost vodene pare. Svi podaci su potrebni za tzv. prizemni sloj koji u ovisnosti o lokalnim uvjetima, sezoni i dobi dana varira od nekoliko stotina do nekoliko tisuća metara i unutar kojeg se termička i mehanička turbulencija, zajedno s brzinom vjetrova, značajno mijenjaju s visinom.

Temperaturna stratifikacija bitno određuje silu potiska za koju je vezana termička turbulencija, kod čega su izražene dnevne promjene i povećana inverzija ili izotermija u toku noći. Drugim riječima, promjena temperature s visinom jedna je od najvažnijih varijabli koje utječu na disperziju u atmosferi.

Meteorološka mjerenja na odabranoj lokaciji po visini, mogu se obavljati balonima, a do određene visine i pomoću meteorološkog tornja. Sa serijama mjerenja na lokaciji i s podacima meteorološke službe na obližnjim meteorološkim stanicama treba izračunati korelativne odnose, zakon vjerojatnosti pojava, trajanja debljine i drugih karakteristika prizemnog sloja.

Mjerenja na lokaciji treba obavljati nekoliko godina unaprijed, najmanje 3—5 god. i vezati ih na mjerenja u meteorološkoj mreži za razdoblja 15—30 god.

Procjena disperzije polutanata, promjena mikroklima kao i procjena kontaminacije okoline u slučaju hipotetičkog kvara traži poznavanje regionalnih i užih meteoroloških podataka. Za te račune primjenjuju se različite metode, o čemu postoji bogata literatura.

Za potrebe proračuna difuzije radioaktivnih plinova potrebno je u nekim slučajevima postavljanje monitoring-sistema s meteorološkim stupom i senzorima na raznim visinama.

HIDROLOŠKA ISTRAŽIVANJA

Hidrološka istraživanja trebaju dati sve informacije o površinskim i podzemnim vodama na lokaciji i u okolini, koje mogu utjecati na sigurnost postrojenja i zaštitu okoline, kao i na rješenje rashladnog sistema. Treba ustanoviti kvantitativne podatke o vodama, upotrebi voda, kako sadanjoj, tako i budućoj.

U slučaju lokacije na rijeci treba uglavnom poznavati slijedeće podatke za duži niz godina opažanja (20—40 g.):

- srednje mjesečne protoke,
- srednje mjesečne temperature,
- minimalne dnevne protoke,
- maksimalne dnevne temperature,
- minimalne srednje protoke tokom 7—15 sukcesivnih dana,
- male protoke koji se javljaju s vjerojatnošću pojave 5%,
- korespondentne temperature minimalnim protocima,
- korespondentne protoke maksimalnim temperaturama,
- količine otopljenog kisika i potreba za kisikom u karakterističnim situacijama u pogledu protoka i temperatura,
- kretanje podzemnih voda na lokaciji i nizvodno, u korelaciji s površinskim tokom,
- stanje zagađenosti voda organskim i neorganskim tvarima.

Svakako je kod proračuna srednjih protoka tokom više sukcesivnih dana značajno ustanoviti vjerojatnost pojave u nizu godina. Također treba izabirati nivoe vjerojatnosti koji će se upotrijebiti za proračun rashladnog sistema, odnosno tim povezanog toplinskog opterećenja rijeke.

Prema općem stajalištu razumno je pretpostaviti da normalno funkcioniranje rashladnog sistema bude zadovoljeno kod 95% sigurnosti, odnosno da će se deformanse sistema pojaviti svakih 20 god. Toj sigurnosti odgovara malovodni period 5% i pripadne minimalne protoke. Isto tako je utvrđeno da protoci neznatno ovise o dužini trajanja do intervala do 15 dana, odnosno da se razlikuju za manje od 10% npr. od intervala za 5 dana. Zato je uobičajeno da se srednji protoci od 5 do 7 dana uzimaju kao referentni za određivanje kapaciteta pojedine dionice rijeke da primi odgovarajuće dodatno toplinsko opterećenje.

Svi hidrološki, temperaturni i fizikalno-kemijski podaci poslužiti će za definiranje karakteristika rijeke, i to:

- visokih voda, radi zaštite kod poplave,
- minimalnih voda i maksimalnih temperatura, radi definiranja rashladnog sistema i njegovog utjecaja na okolinu,
- režima voda, radi definiranja vodograđevnih objekata za zahvat i povrat rashladne vode,
- režima vodostaja, radi određivanja perioda plovnosti za potrebe prijevoza opreme.

Kod svih proračuna uzimaju se u obzir i promjene u režimu rijeke koje će nastati dovršenjem vodograđevnih zahvata radi zaštita od poplava kao i podizanja brana za energetske svrhe i za plovidbu. Isto tako uzimaju se u obzir poboljšanja u stanju zagađenosti organskim i neorganskim tvarima koja će se postići primjenom propisanih zaštitnih mjera okoline.

Sva promatranja hidroloških i ostalih karakteristika rijeke imaju značenje ne samo za potrebe projekta NE, nego često još više za uklapanje elektrane u okolinu, odnosno za zaštitu okoline i čovjeka, u normalnom pogonu elektrane, kao i kod kvarova i kod elementarnih nepogoda i posebnih vanjskih situacija. Kod zaštite okoline u vezi s režimom voda radi se u prvom redu o:

— održanju flore i faune u vodi, koritu i priobalju,

— očuvanju, odnosno rješenju opskrbe pučanstva pitkom vodom,

— sprečavanju širenja radioaktivnih materijala putem voda, a posebno podzemnih, također i kod naročito visokih vodostaja.

Za očuvanje flore i faune od termičkog djelovanja u normalnom pogonu elektrane veliko značenje imaju minimalni protoci i maksimalne temperature vode, pa proučavanju tih podataka treba obratiti naročitu pažnju.

Važnije za očuvanje živog svijeta su prilike koje traju nekoliko dana. Te su prilike ujedno manje ekstremne.

Za održanje biljnog i životinjskog svijeta isto je tako, ako ne i važnije, stanje u pogledu zagađenosti organskim i neorganskim tvarima.

U pogledu poznavanja kota visokih voda potrebno je definirati najviši vodostaj na mjestu lokacije koji može nastupiti jednom u 1 000 godina, kako bi se sasvim sigurno zaštitila okolina od radioaktivnog zagađenja i zato kritični dijelovi postrojenja nuklearne elektrane izradili iznad te kote.

RAVNOTEŽA TOPLINSKOG STANJA I BIOLOŠKOG SVIJETA U RIJECI

Velike termoelektrane, naročito na nuklearni pogon, trebaju za hlađenje kondenzatora znatne količine rashladne vode koja se pri prolazu kroz kondenzator zagrijava za 8–16°C. Količina otpadne topline proporcionalna je snazi elektrane i temperaturi zagrijavanja u kondenzatoru (npr. za NE 900 MW potrebno je oko 35 m³/s kod povećanja za 12°C, a to znači 1 500 Gcal/h).

Ispuštanje topline u rijeku može djelovati povoljno, neutralno ili nepovoljno na fizikalnu i biološku situaciju sredine. Osim direktnog utjecaja na fiziologiju živog svijeta, indirektan utjecaj je preko sadržaja otopljenog kisika i eventualno preko povećanja toksičnosti već postojećih supstanci. Općenito, povišena temperatura ubrzava sve život-

ne funkcije pa i razgradnju organskih onečišćenja u vodi i time ubrzava proces trošenja u vodi otopljenog kisika. S druge strane stimulira razvoj algi i time pospješuje stvaranje kisika fotosintezom. Vidljivo je da je utjecaj povišenja temperature rijeke zavisao u vrlo velikoj mjeri od postojećeg onečišćenja rijeke organskim i neorganskim tvarima i od prozirnosti vode (radi fotosinteze). Za konačno određivanje utjecaja ispuštene topline u rijeku potrebno je poznavati osim hidroloških te fizikalnih podataka rijeke i okoliša u prvom redu biokemijsku potrebu za kisikom te podatke o živom svijetu.

Te podatke potrebno je poznavati za duži potez rijeke (najmanje 100 km), pri čemu treba uzeti u obzir sve postojeće i buduće korisnike i zagađivače riječne vode. Ukratko, potrebno je postaviti plan toplinskog opterećenja rijeke u cijelom njezinu toku. Kod toga su mjerodavni mali protoci i korespondentne temperature rijeke, kako je već to opisano u prošlom dijelu ovog članka (Hidrologija), tj. za određivanje mjerodavnih protoka i temperatura potrebno je provesti detaljnu statističku analizu dnevnih vrijednosti protoka i temperatura za duži niz godina, uključujući i korelaciju analizu protoka i temperatura za svaki mjesec u godini posebno.

Posebno su za održanje ekološke ravnoteže interesantni i procesi koji se događaju neposredno na ispustu tople vode u rijeku pa do nekoliko stotina metara nizvodno, u tzv. zoni miješanja, gdje može doći do pojava temperaturnog šoka za živi svijet, naročito kod pokretanja i zaustavljanja elektrane. Isto tako su važne pojave prilikom protoka rashladne vode kroz kondenzator, naročito kod velikih proizvodnih jedinica kao što su to nuklearne elektrane.

Radi konkretnih saznanja o ekološkim ograničenjima za potrebe projektiranja rashladnog sistema i njegovog režima u pogonu, kao i za potrebe obavezne ekološke studije, potrebna su istraživanja nultog stanja strukture i rasporeda biocenoza i procesa autopurifikacije. Nadalje potrebni su laboratorijski eksperimenti o ponašanju mortaliteta i letalnim temperaturama dominantnih vrsta pod utjecajem različitih prilika u vodotoku (brzina strujanja, temperat. šokova itd.)

Radi pobližeg definiranja ispusnih organa NE nužna je studija temperaturnog polja na izljevu tople vode u rijeku.

U fazi projektiranja elektrane potrebna su modelna ispitivanja radi nalaženja najpovoljnijeg rješenja ispusta.

Ograničenje toplinskog zagađenja putem vode

Zbog prethodno opisanog toplinskog djelovanja, u većini zemalja ograničuju se propisima količine ispuštanja topline u vodene recipijente. U našoj zemlji postoji jedino zakonsko ograničenje temperature nakon miješanja s ugrijanom vodom 28°C

(Sl. list br. 3 od 1966. i br. 7 od 1966). Vodoprivredni organi su nadalje ovlašteni da propisuju i daljnja ograničenja. Tako je npr. za NE Krško dozvoljeno najveće zagrijavanje rijeke, nakon miješanja, za 3°C, uz određene uvjete, a ograničeno je i uzimanje rashladne vode iz rijeke na 1/4 od količine protoka. Osim toga postoji »Uredba o klasifikaciji voda« (Nar. nov. br. 33 od 1967) s propisima o sadržaju kisika. Na primjer, rijeka II kategorije ne smije sadržavati manje otopljenog kisika od 5 mg/l, a BPK-5 ne smije prekoračiti 4 mg/, računato sve kod 20°C. S obzirom na toplinsko djelovanje na ove veličine i ove odredbe predstavljaju zakonska ograničenja.

Ograničenja u pojedinim zemljama u pogledu maksimalnog zagrijavanja vode nakon miješanja kreću se od 3 do 5°C. Propisi u SSSR-u dozvoljavaju ljeti 3°C a zimi 5°C. Isto i u Poljskoj, s razlikom da u ostalim sezonama dozvoljavaju 4°C.

Različita ograničenja za najtoplije mjesece zasni-vaju se na činjenici da za određeni organizam termalno djelovanje zavisi od tri faktora: postojeća temperatura okoliša, povećanje te temperature i trajanje izlaganja povećanju. Pokazalo se da je manji porast temperature štetniji ljeti nego veći zimi. Također i kod prolaza planktona kroz rashladni sistem pokazuje se veći porast smrtnosti na visokim ljetnim temperaturama.

Razlozi ograničenja povećanja temperature i maksimalno dozvoljene temperature u rijeci nakon miješanja, kao i ograničenja uzimanja količina vode za hlađenje iz rijeke imaju, kako se vidi, svoja opravdanja u očuvanju živog svijeta kod raznih situacija, prirodnih i nametnutih.

Odavanje topline u atmosferu

Ako se ne nađe rješenje za rashladni sistem s direktnim hlađenjem i ako se moraju primijeniti vodoprivredna ograničenja za zagrijavanje rijeke, moraju se postavljati dodatni rashladni tornjevi za rad u kritičnim ljetnim mjesecima.

Lokalni efekti koji mogu nastupiti u tom slučaju jesu smanjenje insolacije i vlaženje neposredne okoline. Ako bi tornjevi morali biti u pogonu u jesen i zimi, eventualno bi došlo i do pojave dodatne magle i leda (na cestama).

Unaprijed se može reći da opasnosti od promjene mikroklimе u suhim ljetnim mjesecima nisu gotovo nikakve. Problem padanja rose postoji samo u najbližoj okolini tornjeva, a nakon 500 m naglo opada. Rasprostiranje maglenog oblaka i zbog toga smanjenje insolacije također ljeti nema značenja. U jesenskim mjesecima, ako bi trebalo računati da će doći do iznimnog rada tornjeva, potrebno je obaviti prethodne analize s raznim vrstama tornjeva, pomoću matematičkih ili fizičkih modela. Na primjer, za NE Krško provedena je matematička analiza za tri jesenska mjeseca na bazi meteoroloških podataka Opservatorija Zagreb Maksimir. U 70% analiziranih situacija dobivaju se kratki (manje od 300 m) i srednje dugi oblaci (300—900 m) koji ne utječu značajnije na okolinu. Kod inverzija i bez vjetra u okolini nastaje niska magla. U ostalim razdobljima, nastaju razne varijante oblačnosti, ovisno o inverziji, vjetru i vlažnosti zraka.

Naslov pisca:

Borivoj Baranović, dipl. inž.

Zajednica elektroprivrednih organizacija SRH



**ELEKTROPRIVREDA
ZAGREB**

**PODUZEĆE ZA PROIZVODNJU, PRIJENOS I KUPOPRODAJU
ELEKTRIČNE I TOPLINSKE ENERGIJE**

ZAGREB, Proleterskih brigada 37 • Telefon: 513-072 i 513-822

PRORAČUN ELEKTRIČNIH PARAMETARA NADZEMNIH VODOVA

Davor Nevećerel, Zagreb

U članku je izložen proračun električnih parametara visokonaponskih nadzemnih vodova. Proračun polazi od točnih matematičkih izraza za uzdužne i poprečne konstante. Dane su osnovne informacije o zadavanju ulaznih podataka i o ograničenjima programa. Dalje ukratko slijedi matematička podloga programa, koji je pisan u matričnom obliku.

DK 621.315.1

UVOD

Dva osnovna zahtjeva: povećanje brzine provedbe proračuna i povećanje točnosti rezultata, praćena sve složenijim izvedbama visokonaponskih nadzemnih vodova, inicirala su izradu odgovarajućeg programa za elektroničko digitalno računalo. Proračun je izražen u matričnoj formi jer primjena elektroničkog računala uvodi nov matematički pristup problemu. U ovom slučaju odustalo se, dakle, od poznatog proračuna po metodi srednjih geometrijskih udaljenosti (metoda SGU).

Program polazi od osnovnih matematičkih izraza za induktivitet i kapacitet okruglog homogenog vodiča. Utjecaj zemlje uzet je u obzir prema izrazima Carsona iz 1926. godine. Oni su dovoljni za postavljanje osnovnih matrica potrebnih za proračun uzdužnih i poprečnih konstanta voda: matrice uzdužnih impedancija vodiča i matrice potencijalnih koeficijenata. Provedba linearnih transformacija na matricama ekvivalentnih faznih konstanta, koje slijede nakon redukcije zaštitnih užeta i snopova vodiča, rezultira matricama simetričnih komponenta sistema. One sadrže sve potrebne informacije o jediničnim uzdužnim impedancijama i poprečnim admitancijama, odnosno susceptancijama vodova. Na osnovi poznatih izraza na kraju su izvršeni proračuni parametara nezavisnih od dužine voda: valnog otpora, konstante prodiranja, valne brzine i valne dužine, a zatim i parametara zavisnih od dužine voda; općih konstanti prijenosnih jednadžbi, nadomjesti π i T sheme, impedancije praznog hoda i kratkog spoja, sve za direktnu i nultu simetričnu komponentu struje. Posebno je istaknut proračun redukcionog faktora zaštitnih užeta.

Izvršeni proračuni provedeni su na temelju jed-nopolne sheme voda, koji je pretpostavljen jednakim po izvedbi od početka do kraja. Dobiveni izrazi vrijede za kratki vod kao i za dugi vod, ako se promatraju prilike samo na početku i kraju voda.

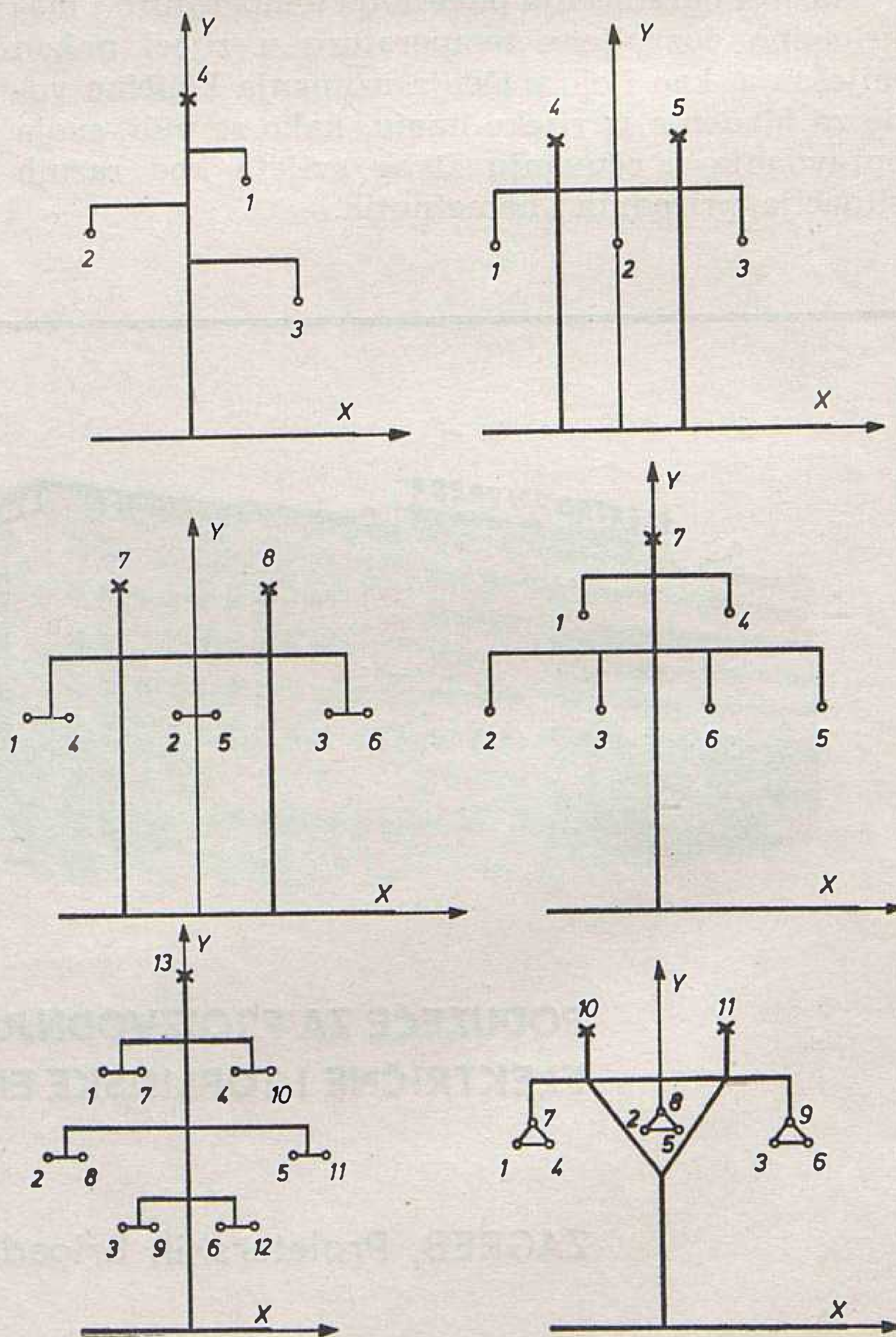
2. ULAZNI PODACI

Program polazi od fiksnih ulaznih parametara: temperature vodiča $t = +10^{\circ}\text{C}$ relativne permeabilnosti materijala i zemlje $\mu_r = 1$, dok su visina vodiča odnosno zaštitnih užeta iznad tla uzima ne-

kom prosječnom vrijednošću prema pojednostavljenom izrazu za lančanicu.

Ulazni podaci koji program traži jesu: materijal i presjek vodiča i zaštitnih užeta, geometrija glave stupa, prosječna visina do donje konzole svih stupova na trasi voda, prosječni raspon, prosječni provjes vodiča i zaštitnih užeta u sredini raspona, nadomjesni specifični otpor tla i eventualni razmak vodiča u snopu.

Program je dovoljno općenit da zadovoljava sve moguće kombinacije vodiča odnosno snopova vodiča i zaštitnih užeta. Ograničenje programa je u broju mogućih stvarnih vodiča odnosno zaštitnih užeta, koji ne može biti veći od 14. Zanimljivo je



Sl. 1. Situacije glava stupova

vidjeti područje raznolikih izvedbi trofaznih nadzemnih visokonaponskih vodova, koje program obuhvaća. To su (vidi sl. 1):

1. jedna trojka i jedno zaštitno uže,
2. jedna trojka i dva zaštitna užeta,
3. jedna trojka sa dva vodiča u snopu i sa dva zaštitna užeta (vidi: Primjer),
4. dvije trojke i jedno zaštitno uže,
5. dvije trojke i dva zaštitna užeta,
6. dvije trojke sa dva vodiča u snopu i sa jednim zaštitnim užetom,
7. jedna trojka sa tri vodiča u snopu i sa dva zaštitna užeta.

Prema tome, program zadovoljava u svim konkretnim slučajevima koji se susreću u našoj praksi.

3. MATEMATIČKI MODEL

3.1. Matrica uzdužnih impedancija

Veza između napona i struja u trofaznim sistemima definirana je Ohmovim zakonom u matrice obliku

$$\mathbf{v} = \mathbf{z} \cdot \mathbf{i}, \quad (1)$$

gdje su:

$\mathbf{v}$ — vektor padova napona u impedancijama grane

$\mathbf{z}$ — matrica uzdužnih impedancija, odn. impedancija grana

$\mathbf{i}$ — vektor struje u granama.

U razvijenom obliku izraz (1) glasi:

$$-\frac{d}{dx} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \\ \vdots \\ V_{n+m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1n} & \cdots & Z_{1,n+m} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2n} & \cdots & Z_{2,n+m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \cdots & Z_{nn} & \cdots & Z_{n,n+m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Z_{n+m,1} & Z_{n+m,2} & \cdots & Z_{n+m,n} & \cdots & Z_{n+m,n+m} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \\ \vdots \\ I_{n+m} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Matrica impedancija je reda $N + M$, gdje je N -broj vodiča, a M -broj zaštitnih užeta. Dijagonalni članovi matrice impedancija $Z_{ii} = R_{ii} + j\omega L_{ii}$ predstavljaju vlastite impedancije petlji koje tvore vodič, odnosno zaštitno uže i povratna staza kroz zemlju, a vandijagonalni članovi $Z_{ij} = R_{ij} + j\omega L_{ij}$ predstavljaju uzdužne međupredmetne impedancije između petlji i -ti vodič — zemlja i j -ti vodič — zemlja.

Elementi matrice impedancije jednostavno se određuju iz geometrija stupa i podataka o vodičima i zaštitnim užetima. Parametri utjecaja okoline — temperatura, specifični otpor tla i dr. moraju također biti definirani.

Matrica uzdužnih impedancija vodiča ovako određena jest jedinična, tj. ima dimenziju ohm/km.

Ulazni podaci za proračun matrice impedancija jesu:

N	— broj vodiča
M	— broj zaštitnih užeta
S	— broj vodiča u snopu
DS (m)	— vlastita SGU vodiča u proračunu induktiviteta
DSC (m)	— vlastita SGU vodiča u proračunu kapaciteta
R_l (ohm/km)	— djelatni otpor vodiča kod t °C (t — temperatura vodiča)
DG (m)	— vlastita SGU zaštitnog užeta u proračunu induktiviteta
DGC (m)	— vlastita SGU zaštitnog užeta u proračunu kapaciteta
R_G (ohm/km)	— djelatni otpor zaštitnog užeta kod t °C
$x_i y$	— koordinate vodiča
$x_i y$	— koordinate zaštitnih užeta
OR (ohm m)	— specifični otpor tla.

Dijagonalni članovi matrice impedancija određuju se iz izraza:

$$\begin{aligned} R_{ii} &= R_l + \pi^2 \cdot f \cdot 10^{-4} \quad \text{ohm/km} \\ X_{ii} &= 2\pi \cdot 10^{-2} \cdot \ln \frac{HE^2}{DS} \quad \text{ohm/km} \end{aligned} \quad (3)$$

odn.

$$\begin{aligned} R_{ii} &= R_G + \pi^2 \cdot f \cdot 10^{-4} \quad \text{ohm/km} \\ X_{ii} &= 2\pi \cdot 10^{-2} \cdot \ln \frac{HE^2}{DG} \quad \text{ohm/km} \end{aligned} \quad (4)$$

Izraz (3) odnosi se na vodiče, a izraz (4) odnosi se na zaštitna užeta.

Vandijagonalni članovi matrice impedancije određuju se iz izraza

$$\begin{aligned} R_{ij} &= \pi^2 \cdot f \cdot 10^{-4} \quad \text{ohm/km} \\ X_{ij} &= 2\pi \cdot 10^2 \cdot \ln \frac{HE^2}{D_{ij}} \quad \text{ohm/km} \end{aligned} \quad (5)$$

U izrazima (3) — (5) pojedine oznake predstavljaju slijedeće:

R_l (ohm/km)	— djelatni otpor vodiča
R_G (ohm/km)	— djelatni otpor zaštitnog užeta
$HE^2 = 93,1036 \cdot \sqrt{\rho}$ (m. stopa)	— kvadrat ekvivalentne visine po Carsonu
DS (m)	— vlastita SGU vodiča
DG (m)	— vlastita SGU zaštitnog užeta
D_{ij} (m)	— udaljenost između vodiča odnosno zaštitnog užeta i i vodiča odn. zaštitnog užeta j (vodič i zaštitno uže su ravnopravno tretirani).

Tvorba matrica impedancije odvija se u skladu s ovim pravilima:

1. Matrica uzdužnih impedancija je reda $N + M$, gdje je N — ukupni broj vodiča, a M — ukupni broj zaštitnih užeta.

2. Vodiči imaju manji redni broj od zaštitnih užeta, tj. vodiči se navode od 1 do N , a zaštitna užeta od $N + 1$ do $N + M$.

3. Vodiči u snopu se također pojedinačno zadaju, u skladu s pravilom da se po redu navode prvi vodiči po fazama, zatim drugi itd. (vidi sl. 1).

3. 2. Redukcija zaštitnih užeta

Svrha redukcije zaštitnih užeta je pojednostavljenje proračuna, jer se vrši eliminacija čvorova koji predstavljaju zaštitna užeta.

Ako se matrica u izrazu (2) podijeli na submatrice u skladu s pravilom, da se indeks »a« odnosi na petlje koji se neće eliminirati, a indeks »b« na petlje koje će se eliminirati, slijedi

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} \\ Z_{ba} & Z_{bb} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} \quad (6)$$

Formula redukcija na jednadžbe metode petlji (vidi L. 4) glasi:

$$(Z_{aa} - Z_{ab} Z_{bb}^{-1} Z_{ba}) I_a = V_a - Z_{ab} Z_{bb}^{-1} V_b \quad (7)$$

pri čemu je formula redukcije za impedancije

$$Z' = Z_{aa} - Z_{ab} \cdot Z_{bb}^{-1} Z_{ba}, \quad (8)$$

a formula redukcije za napone

$$V' = V_a - Z_{ab} \cdot Z_{bb}^{-1} V_b. \quad (9)$$

Budući da redukcija zaštitnih užeta predstavlja specijalan slučaj redukcije, za koju je $V_b = 0$ (zaštitna užeta su uzemljena), nije potrebno vršiti nikakve transformacije na vektoru napona. Prema tome, za provedbu redukcije zaštitnih užeta dovoljna je formula redukcije za impedancije (8).

3. 3. Redukcija vodiča u snopu

Ako je zadan vod s vodičima u snopu, nakon redukcije zaštitnih užeta vrši se i redukcija snopa vodiča, pa se na kraju poslije svih obavljenih redukcija dobiva kao rezultat matrica faznih impedancija. Matrica faznih impedancija je, prema tome, trećeg reda za jednostruki vod, a šestog reda za dvostruki vod.

Redukciju snopova vodiča nije tako jednostavno obaviti kao u slučaju zaštitnih užeta, jer treba provesti i redukciju stupacne matrice napona na lijevoj strani (vidi izraz 9). Prema tome, redukcija vodiča u snopu traži provedbu stanovitih transformacija na matričnoj jednadžbi (2).

Polazi se od osnovne jednadžbe (2) na kojoj je već izvršena redukcija zaštitnih užeta. Vodiči su numerirani u skladu s iznesenim pravilima za tvorbu matrice uzdužnih impedancija.

Na primjer, za jednostruki trofazni vod s dva vodiča u snopu slijed potrebnih transformacija je slijedeći:

1) izvrši oduzimanje stupca i od stupca k , gdje su $i = 1, \dots, 3$ i $k = 4, \dots, 6$.

2) izvrši oduzimanje retka i od retka k , gdje za i i k vrijedi isto kao gore.

Nakon navedenih transformacija jednadžba je transformirana u oblik prikladan za redukciju koja rezultira matricom ekvivalentnih faznih impedancija, u ovom slučaju trećeg reda.

Za faze A, B i C matrična jednadžba sada glasi:

$$-\frac{d}{dx} \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{AA} & Z_{AB} & Z_{AC} \\ Z_{BA} & Z_{BB} & Z_{BC} \\ Z_{CA} & Z_{CB} & Z_{CC} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{faz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} \quad (10)$$

Dijagonalni element Z_{ii} predstavlja sada vlastitu impedanciju petlje faza i i zemlje kao povratni vodič. Vandijagonalni element Z_{ij} predstavlja uzdužnu međusobnu impedanciju između faza i i j .

Z_{faz} je sada matrica ekvivalentnih faznih impedancija.

3. 4. Proračun matrice simetričnih komponenata

Matrica simetričnih komponenata izlazi iz matrice ekvivalentnih faznih impedancija primjenom linearnih transformacija. Matrice transformacija za jednostruke vodove glase:

$$|S| = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$|T| = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Matrice transformacije za dvostruke vodove analogno su jednostavne kombinacije matrica transformacija (11) i (12).

U navedenim izrazima su operatori a i a^2 .

$$\bar{a} = a \cdot e^{j\frac{2\pi}{3}} = -0,5 + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (13)$$

$$\bar{a}^2 = a \cdot e^{j\frac{4\pi}{3}} = -0,5 - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

Jednadžbe transformacije za struje glase:

$$\begin{bmatrix} I_o \\ I_d \\ I_l \end{bmatrix} = |S| \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} I_B \\ I_C \\ I_A \end{bmatrix} = |T| \cdot \begin{bmatrix} I_o \\ I_d \\ I_l \end{bmatrix} \quad (14)$$

Jednadžbe transformacije za napone glase:

$$\begin{bmatrix} V_o \\ V_d \\ V_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_o \\ V_d \\ V_i \end{bmatrix} \quad (15)$$

Matricu (10) transformiramo u matricu simetričnih komponentata:

$$\frac{d}{dx} \begin{bmatrix} V_o \\ V_d \\ V_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_{fax} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_o \\ I_d \\ I_i \end{bmatrix} \quad (16)$$

Očito je $T^{-1} = S$. Konačno nakon sređenja proizlazi:

$$\frac{d}{dx} \begin{bmatrix} V_o \\ V_d \\ V_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{sim} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_o \\ I_d \\ I_i \end{bmatrix} \quad (17)$$

U izrazu (17) je matrica simetričnih komponentata $\begin{bmatrix} Z_{sim} \end{bmatrix}$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} Z_{sim} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} S \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_{faz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T \end{bmatrix} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_{AA} & Z_{AB} & Z_{AC} \\ Z_{BA} & Z_{BB} & Z_{BC} \\ Z_{CA} & Z_{CB} & Z_{CC} \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Matrica simetričnih komponentata može se skraćeno izraziti:

$$\begin{bmatrix} Z_{sim} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_o & Z_{o,d} & Z_{o,i} \\ Z_{d,o} & Z_d & Z_{d,i} \\ Z_{i,o} & Z_{i,d} & Z_i \end{bmatrix} \quad (18)$$

Kod potpuno prepletenog voda svi su vandijagonalni elementi jednaki nuli.

U matrici simetričnih komponentata za sistem ekvivalentnih faznih impedancija član Z_o predstavlja rezultatsku jediničnu nultu reaktanciju, dok su direktna i inverzna jedinična nulta reaktancija međusobno jednake, $Z_d = Z_i$. Dimenzija članova matrice simetričnih komponentata za sistem ekvivalentnih faznih impedancija je ohm/km.

3. 5. Proračun redukcionog faktora zaštitnih užeta

Prilikom projektiranja novih postrojenja i kontrolnih mjerenja koja se vrše u postojećim postrojenjima provode se kontrole napona dodira i koraka kao i napona induciranih u telekomunikacionim vodovima. Budući da je porast struja jednopolnog kratkog spoja znatan, teškoće održavanja spomenutih induciranih napona postaju sve izraženiji. Javlja se stoga potreba što točnijeg određivanja struje

jednopolnog kratkog spoja (misli se na nultu komponentu), kao i njezina raspodjela na struju u zaštitnom užetu odnosno zemlji. Taj odnos definira tzv. redukcionni faktor zaštitnog užeta, koji predstavlja omjer struje jednopolnog kratkog spoja što teče kroz zemlju I_{kz} i struje koja teče u faznom vodiču $I_{kf} = I_k$.

$$r = \frac{I_{kz}}{I_{kf}} \quad (19)$$

Budući da su se doskora za zaštitna užeta upotrebljavala čelična zaštitna užeta, smatrana praktički nevodljivim u odnosu prema vodljivosti faznih vodiča, dovoljno je bilo uzeti za redukcionni faktor prema propisima $r = 0,95$. Danas, međutim, sve više nalaze primjenu vodljiva zaštitna užeta, što zaoštrava potrebu za točnijim određivanjem redukcionnog faktora.

U općenitom slučaju, koji vrijedi za prilike što vladaju kod kvara na udaljenosti, više od desetak stupova od stanice, struja u zemlji I_z poprima maksimalnu vrijednost

$$I_z = k \cdot I_k. \quad (20)$$

Struja koja teče natrag po zaštitnom užetu definirana je strujom kvara i omjerom nulte međuimpedancije između skupa faznih vodiča i skupa zaštitnih užeta i vlastite impedancije skupa zaštitnih užeta. Preostali dio struje kvara teče u zemlji, pa se prema tome redukcionni faktor može definirati kao:

$$r = 1 - \frac{Z_{ag}}{Z_{gz}}. \quad (21)$$

U matrici jediničnih uzdužnih impedancija vodiča članovi u $N + 1$ do $N + M$ stupcima odnosno $N + 1$ do $N + M$ recima, s izuzetkom članova Z_{ij} , gdje se varijable i i j kreću u gornjim granicama, definiraju jedinične međuimpedancije između vodiča i zaštitnih užeta.

Ukupna jedinična međuimpedancija između vodiča i zaštitnih užeta definira se kao srednja aritmetička vrijednost svih članova koji imaju karakter međuinduktivnog djelovanja vodiča i zaštitnih užeta.

Ukupna jedinična impedancija skupa zaštitnih užeta također se definira na sličan način, kao srednja aritmetička suma.

3. 6. Matrica potencijalnih koeficijenata

Veza napona i naboja vodiča može se izraziti jednadžbom koja definira matricu potencijalnih koeficijenata

$$\mathbf{v} = \mathbf{P} \mathbf{q} \quad (22)$$

gdje su:

- $\mathbf{v}$ — vektor napona na vodičima
- $\mathbf{P}$ — matrica potencijalnih koeficijenata
- $\mathbf{q}$ — vektor naboja na vodičima,

Potencijali vodiča prema zemlji su funkcija naboja na vodičima. U stacionarnom stanju vrijedi izraz:

$$\begin{vmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \\ \vdots \\ V_{n+m} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} & \cdots & P_{1,n+m} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} & \cdots & P_{2,n+m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ P_{n,1} & P_{n,2} & \cdots & P_{nn} & \cdots & P_{n,n+m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ P_{n+m,1} & P_{n+m,2} & \cdots & P_{n+m,n} & \cdots & P_{n+m,n+m} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_n \\ \vdots \\ Q_{n+m} \end{vmatrix} \quad (23)$$

Matrica $|P|$ naziva se matricom potencijalnih koeficijenata.

Vrijedi ponovo da je matrica potencijalnih koeficijenata reda $N + M$, gdje N i M imaju već ranije opisano značenje. Elementi matrice potencijalnih koeficijenata jednostavno se određuju iz geometrije stupa i podataka o vodičima i zaštitnim užetima.

Svi ulazni podaci za proračun impedancija grana su također i ulaz za matricu potencijalnih koeficijenata (s iznimkom specifičnog otpora zemlje).

Dijagonalni članovi matrice potencijalnih koeficijenata određuju se iz izraza:

$$P_{ii} = 18 \cdot 10^6 \ln(H_{ii}/DSC) \frac{\text{km}}{F} \quad (24)$$

odnosno

$$P_{ii} = 18 \cdot 10^6 \ln(H_{ii}/DGC) \frac{\text{km}}{F} \quad (25)$$

Izraz (24) odnosi se na vodiče, a izraz (25) na zaštitna užeta.

Vandijagonalni članovi matrice potencijalnih koeficijenata određuju se iz izraza:

$$P_{ij} = 18 \cdot 10^6 \ln(H_{ij}/D_{ij}) \frac{\text{km}}{F} \quad (26)$$

U izrazima (24) — (26) pojedine oznake predstavljaju:

- DSC (m) — vlastita SGU vodiča u proračunu kapaciteta
- DGC (m) — vlastita SGU zaštitnog užeta u proračunu kapaciteta
- H_{ii} (m) — udaljenost vodiča odnosno zaštitnog užeta do svoje zrcalne slike
- H_{ij} (m) — udaljenost vodiča odnosno zaštitnog užeta i od zrcalne slike vodiča odnosno zaštitnog užeta j (vodič i zaštitno uže su ravnopravno tretirani)
- D_{ij} (m) — udaljenost između vodiča odnosno zaštitnog užeta i i vodiča odnosno zaštitnog užeta j . (vodič i zaštitno uže su ravnopravno tretirani).

Tvorba matrice potencijalnih koeficijenata podliježe svim pravilima kao i matrica impedancija.

Bitne razlike matrica potencijalnih koeficijenata u odnosu prema matrici impedancije jest da matrica potencijalnih koeficijenata nije kompleksna, nego je tipa REAL, što zahtijeva dvostruko manje zauzeće memorije računala.

Inverzija matrice potencijalnih koeficijenata daje matricu kapacitivnih koeficijenata. Međutim, budući da je krajnji rezultat matrica admitancija, odnosno susceptancija, već u prvom koraku se članovi matrice potencijalnih koeficijenata dijele kružnom frekvencijom $\omega = 2 \pi f$. Rezultat je tada inverzna matrica susceptancija.

Zatim se na inverznoj matrici susceptancija provodi redukcije zaštitnih užeta i eventualnih snopova vodiča, ekvivalentno iznesenom u poglavlju 3.2. i 3.3. Rezultat je inverzna matrica ekvivalentnih faznih susceptancija.

Inverzna matrica ekvivalentnih faznih susceptancija zatim se invertira, i rezultat je matrica ekvivalentnih faznih susceptancija. Proračun je brz jer invertira matricu minimalnog reda.

Matrica simetričnih komponenata za sistem ekvivalentnih faznih susceptancija vodiča dobiva se na isti način kao i matrica simetričnih komponenata za sistem ekvivalentnih faznih impedancija.

$$\begin{vmatrix} B_{sim} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} S \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} B_{faz} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} T \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} B_{sim} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} B_0 & B_{0,d} & B_{0,i} \\ B_{d,0} & B_d & B_{d,i} \\ B_{i,0} & B_{i,d} & B_i \end{vmatrix} \quad (27)$$

U izrazu (27) dijagonalni član B_0 predstavlja jediničnu nultu poprečnu susceptanciju, izraženu u $\mu S/\text{km}$. Budući da je vod simetričan i nema rotacionih dijelova, direktna i inverzna poprečna susceptancija su jednake, $B_d = B_i$.

3. 7. Dvostruki vod

Proračun dvostrukog voda odvija se ekvivalentno jednostrukom vodu sve do proračuna simetričnih komponenata. Poslije provedbe svih redukcija, a prije proračuna matrice simetričnih komponenata, matrica uzdužnih odnosno poprečnih parametara je reda 3×3 , dok je ona za dvostruki vod reda 6×6 . Nakon provedbe linearnih transformacija pomoću matrica transformacija za dvostruke vodove resultantna matrica simetričnih komponenata je također reda 6×6 .

Matrica simetričnih komponenata za dvostruke vodove može se općenito podijeliti na četiri podmatrice:

$$|A| = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{vmatrix} \quad (28)$$

gdje su:

$$A_{11} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} \quad A_{12} = \begin{vmatrix} a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{34} & a_{35} & a_{36} \end{vmatrix}$$

Potencijali vodiča prema zemlji su funkcija naboja na vodičima. U stacionarnom stanju vrijedi izraz:

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \\ \vdots \\ V_{n+m} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} & \cdots & P_{1,n+m} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} & \cdots & P_{2,n+m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ P_{n,1} & P_{n,2} & \cdots & P_{nn} & \cdots & P_{n,n+m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ P_{n+m,1} & P_{n+m,2} & \cdots & P_{n+m,n} & \cdots & P_{n+m,n+m} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_n \\ \vdots \\ Q_{n+m} \end{pmatrix} \quad (23)$$

Matrica $|P|$ naziva se matricom potencijalnih koeficijenata.

Vrijedi ponovo da je matrica potencijalnih koeficijenata reda $N + M$, gdje N i M imaju već ranije opisano značenje. Elementi matrice potencijalnih koeficijenata jednostavno se određuju iz geometrije stupa i podataka o vodičima i zaštitnim užetima.

Svi ulazni podaci za proračun impedancija grana su također i ulaz za matricu potencijalnih koeficijenata (s iznimkom specifičnog otpora zemlje).

Dijagonalni članovi matrice potencijalnih koeficijenata određuju se iz izraza:

$$P_{ii} = 18 \cdot 10^6 \ln (H_{ii}/DSC) \frac{\text{km}}{F} \quad (24)$$

odnosno

$$P_{ii} = 18 \cdot 10^6 \ln (H_{ii}/DGC) \frac{\text{km}}{F} \quad (25)$$

Izraz (24) odnosi se na vodiče, a izraz (25) na zaštitna užeta.

Vandijagonalni članovi matrice potencijalnih koeficijenata određuju se iz izraza:

$$P_{ij} = 18 \cdot 10^6 \ln (H_{ij}/D_{ij}) \frac{\text{km}}{F} \quad (26)$$

U izrazima (24) — (26) pojedine oznake predstavljaju:

- DSC (m) — vlastita SGU vodiča u proračunu kapaciteta
- DGC (m) — vlastita SGU zaštitnog užeta u proračunu kapaciteta
- H_{ii} (m) — udaljenost vodiča odnosno zaštitnog užeta do svoje zrcalne slike
- H_{ij} (m) — udaljenost vodiča odnosno zaštitnog užeta i od zrcalne slike vodiča odnosno zaštitnog užeta j (vodič i zaštitno uže su ravnopravno tretirani)
- D_{ij} (m) — udaljenost između vodiča odnosno zaštitnog užeta i i vodiča odnosno zaštitnog užeta j . (vodič i zaštitno uže su ravnopravno tretirani).

Tvorba matrice potencijalnih koeficijenata podliježe svim pravilima kao i matrica impedancija.

Bitne razlike matrica potencijalnih koeficijenata u odnosu prema matrici impedancije jest da matrica potencijalnih koeficijenata nije kompleksna, nego je tipa REAL, što zahtijeva dvostruko manje zauzeće memorije računala.

Inverzija matrice potencijalnih koeficijenata daje matricu kapacitivnih koeficijenata. Međutim, budući da je krajnji rezultat matrica admitancija, odnosno susceptancija, već u prvom koraku se članovi matrice potencijalnih koeficijenata dijele kružnom frekvencijom $\omega = 2 \pi f$. Rezultat je tada inverzna matrica susceptancija.

Zatim se na inverznoj matrici susceptancija provodi redukcije zaštitnih užeta i eventualnih snopova vodiča, ekvivalentno iznesenom u poglavlju 3.2. i 3.3. Rezultat je inverzna matrica ekvivalentnih faznih susceptancija.

Inverzna matrica ekvivalentnih faznih susceptancija zatim se invertira, i rezultat je matrica ekvivalentnih faznih susceptancija. Proračun je brz jer invertira matricu minimalnog reda.

Matrica simetričnih komponenata za sistem ekvivalentnih faznih susceptancija vodiča dobiva se na isti način kao i matrica simetričnih komponenata za sistem ekvivalentnih faznih impedancija.

$$\begin{aligned} |B_{sim}| &= |S| \cdot |B_{faz}| \cdot |T| = \\ |B_{sim}| &= \begin{pmatrix} B_0 & B_{0,d} & B_{0,i} \\ B_{d,0} & B_d & B_{d,i} \\ B_{i,0} & B_{i,d} & B_i \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (27)$$

U izrazu (27) dijagonalni član B_0 predstavlja jediničnu nultu poprečnu susceptanciju, izraženu u $\mu S/\text{km}$. Budući da je vod simetričan i nema rotacionih dijelova, direktna i inverzna poprečna susceptancija su jednake, $B_d = B_i$.

3. 7. Dvostruki vod

Proračun dvostrukog voda odvija se ekvivalentno jednostrukom vodu sve do proračuna simetričnih komponenata. Poslije provedbe svih redukcija, a prije proračuna matrice simetričnih komponenata, matrica uzdužnih odnosno poprečnih parametara je reda 3×3 , dok je ona za dvostruki vod reda 6×6 . Nakon provedbe linearnih transformacija pomoću matrica transformacija za dvostruke vodove rezultantna matrica simetričnih komponenata je također reda 6×6 .

Matrica simetričnih komponenata za dvostruke vodove može se općenito podijeliti na četiri podmatrice:

$$|A| = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \quad (28)$$

gdje su:

$$A_{11} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \quad A_{12} = \begin{pmatrix} a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{34} & a_{35} & a_{36} \end{pmatrix}$$

$$A_{21} = \begin{vmatrix} a_{41} & a_{42} & a_{43} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} \end{vmatrix}, \quad A_{22} = \begin{vmatrix} a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{vmatrix}$$

Podmatrice A_{11} odnosno A_{22} opisuju prvu odnosno drugu trojku dvostrukog voda, a podmatrice A_{12} i A_{21} sadrže sve informacije o vezi između njih.

Proračun uzdužnih i poprečnih konstanta dvostrukog voda može se prema tome svesti na proračun pojedinih trojki zajedno s proračunom utjecaja koji vlada između njih.

Poznato je (vidi poglavlje 3.4) da element s adresom 1,1 matrice simetričnih komponenata predstavlja nultu konstantu, element s adresom 2,2 direktnu konstantu, a element s adresom 3,3 inverznu konstantu. Za vod su direktna i inverzna konstanta međusobno jednake. Spomenute elemente lako je prepoznati u izrazu (28) u podmatricama A_{11} i A_{22} , koji opisuju prvu odnosno drugu trojku dvostrukog voda.

Promatrajmo sada podmatrice A_{12} i A_{21} . One sadrže informacije o međusobnoj vezi trojki dvostrukog voda izraženoj pomoću simetričnih komponenata i međusobno su jednake. Analogno član adrese 1,1 odnosno adrese 1,4 određuje nultu međusobnu konstantu, 2,2 odnosno 2,5 direktnu, a 3,3 odnosno 3,5 inverznu.

Prema tome su konstante, uzdužne i poprečne:

$$\begin{aligned} a_{10} &= (a_{11} + a_{14})/2 & a_{10} &= (a_{11} + a_{14}) \cdot 2 \\ a_{20} &= (a_{22} + a_{25})/2 & \text{odn.} & a_{20} = (a_{22} + a_{25}) \cdot 2 \\ a_{30} &= (a_{30} + a_{36})/2 & a_{30} &= (a_{33} + a_{36}) \cdot 2 \end{aligned} \quad (29)$$

Uzdužne konstante dvostrukog voda odnose se kao otpori, a poprečne kao vodljivosti.

Preostali članovi pojedinih podmatrica predstavljaju elemente veze između nultog, direktnog i inverznog sistema, u skladu s izrazom (18) u poglavlju 3.4.

3. 8. Parametri nezavisni od dužine voda

Matrice simetričnih komponenata za sistem ekvivalentnih faznih impedancija odnosno ekvivalentnih faznih susceptancija (odvod je zanemaren!) sadrže članove koji su dovoljni za prijelaz na jednodoljni model voda.

Parametri nezavisni od dužine voda: valni otpor, konstanta prodiranja, valna brzina i valna dužina, za direktnu i nultu simetričnu komponentu struje, definirani su ovim izrazima:

$$Z_v = \sqrt{\frac{Z_1}{Y_1}} \quad - \text{valni otpor} \quad (30)$$

$$\gamma = \sqrt{Z_1 Y_1} \quad - \text{konstanta prodiranja} \quad (31)$$

$$v = \omega/\beta \quad - \text{valna brzina} \quad (32)$$

$$\lambda = v/f \quad - \text{valna dužina} \quad (33)$$

Ulazni podaci za proračun navedenih parametara su Z i Y , a izlazni Z_v , γ , v i λ . Učitavanjem direktnih impedancija i admitancija izračunavaju se direktni parametri. Isto vrijedi i za nulte.

3. 9. Parametri zavisni od dužine voda

Parametri zavisni od duljine voda: opće konstante prijenosnih jednadžbi, nadomjesne π i T shema, impedancije praznog hoda i kratkog spoja, za direktnu i nultu simetričnu komponentu struje, definirani su ovim izrazima:

Za ekvivalentnu π -shemu vrijede izrazi:

$$Z_\pi = Z_v \operatorname{sh} \gamma l \quad - \text{impedancije nadomjesne } \pi\text{-sheme} \quad (34)$$

$$\frac{Y_\pi}{2} = \frac{\operatorname{ch} \gamma l - 1}{Z_\pi} \quad - \text{admitancija nadomjesne } \pi\text{-sheme} \quad (35)$$

Za ekvivalentnu T-shemu vrijedi:

$$Y_T = \frac{1}{Z_v} \operatorname{sh} \gamma l \quad - \text{admitancija nadomjesne T-sheme} \quad (36)$$

$$\frac{Z_T}{2} = \frac{\operatorname{ch} \gamma l - 1}{Y_T} \quad - \text{impedancija nadomjesne T-sheme} \quad (37)$$

Impedancija praznog hoda i kratkog spoja:

$$Z_{PH} = Z_v \operatorname{cth} \gamma l \quad - \text{impedancija praznog hoda} \quad (38)$$

$$Z_{KS} = Z_v \operatorname{th} \gamma l \quad - \text{impedancija kratkog spoja} \quad (39)$$

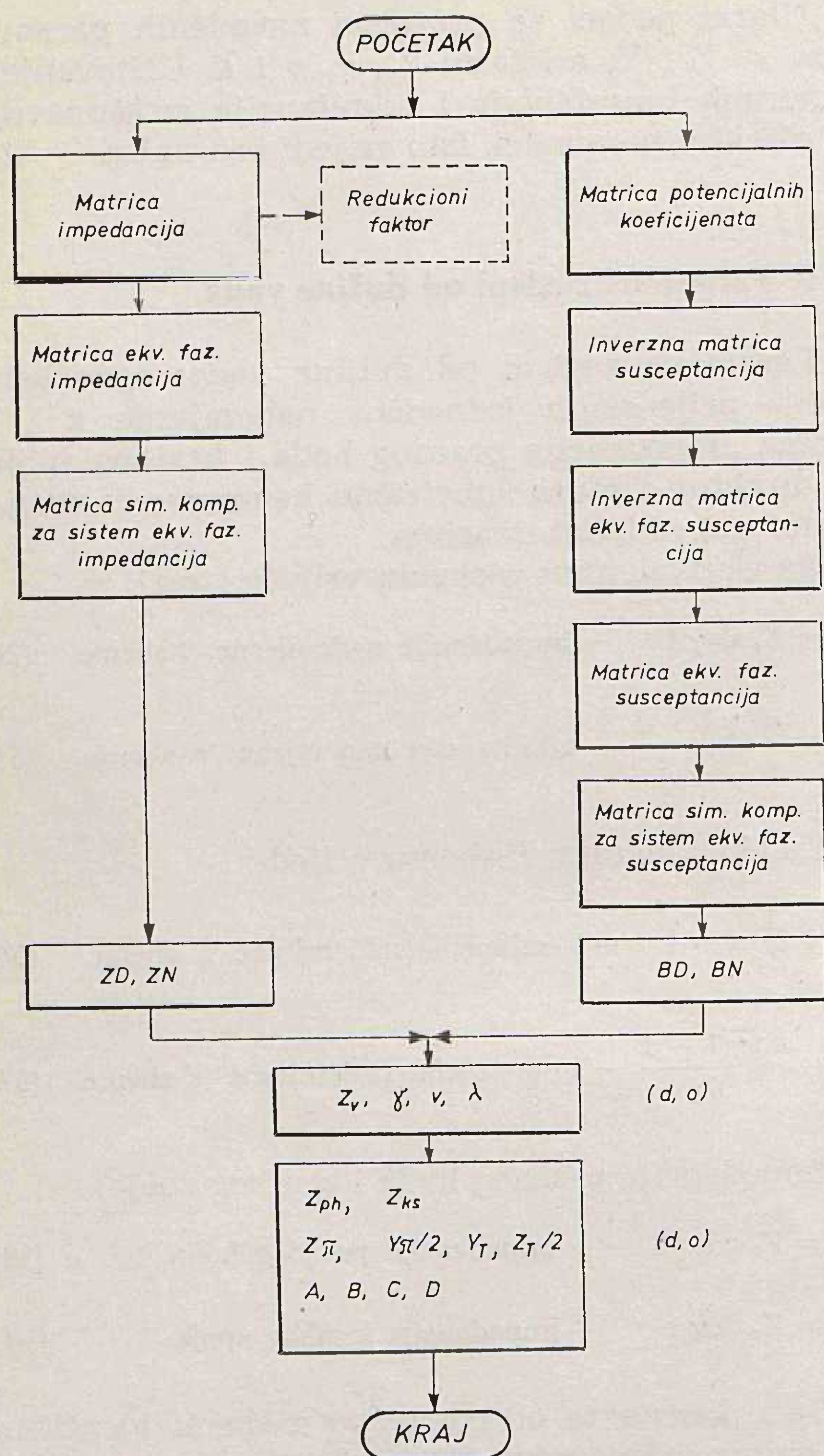
Opće konstante određene po π -shemi identične su onima određenim po T-shemi. Prema tome, dovoljno je navesti jedne, npr. one po π -shemi:

$$\left. \begin{aligned} A &= 1 + Z_\pi \cdot Y_\pi/2 \\ B &= Z_\pi \\ C &= Y_\pi + Z_\pi Y_\pi^2/4 \\ D &= 1 + Z_\pi Y_\pi/2 \end{aligned} \right\} \text{opće konstante po } \pi\text{-shemi} \quad (40)$$

Ulazni podaci za proračun navedenih parametara jesu: valni otpor Z_v , konstanta prodiranja γ i dužina voda l . Učitavanjem direktnih odnosno nultih parametara Z_v i γ potprogram izračunava direktne odnosno nulte nadomjesne π , odnosno T sheme, impedancije praznog hoda i kratkog spoja te opće konstante prijenosa sistema, tzv. Blondelove konstante. Naravno, u oba slučaja treba učitati identičnu vrijednost za dužinu voda l .

4. BLOK-SHEMA PROGRAMA

Na osnovi fizikalnih temelja i matematičke podloge, iz kojih slijede matematički modeli i programi za proračun parametara mjerodavnih kod direktne i nulte simetrične komponente struje, izrađen je program PRKO. Blok-shema kompleksnog programa PRKO je prikazana na sl. 2. Nakon učitavanja i ispisa ulaznih podataka program po dva



Sl. 2. Blok shema programa PRKO

nezavisna kolosijeka računa matrice uzdužnih i poprečnih konstanata.

Proračun matrica uzdužnih konstanata počinje od matrice uzdužnih impedancija vodiča odnosno zaštitnih užeta. Redukcijom zaštitnih užeta i eventualnih snopova vodiča postavlja se matrica ekvivalentnih faznih impedancija. Množenjem matrice ekvivalentnih faznih impedancija lijevo i desno s matricama transformacija prelazi se na matricu simetričnih komponenata za sistem ekvivalentnih faznih impedancija. Dijagonalni članovi matrice simetričnih komponenata predstavljaju nultu, direktnu i inverznu jediničnu impedanciju.

Slično ide i proračun matrica poprečnih konstanata. Najprije se izračunava matrica potencijalnih koeficijenata. Budući da je cilj ovih proračuna matrica admitancije, odnosno uz zanemarenu konduktanciju proračun matrice susceptancija, odmah se prelazi u područje vodljivosti određivanjem inverzne matrice susceptancija. Dalje se u inverznom području vrše redukcije zaštitnih užeta odnosno snopova vodiča, pa se tek s tako priređenom matricom prilazi inverziji. Proračun inver-

zije provodi se posredno, preko poziva potprograma ICL scientific subrutinom FPINVE. Analognim postupkom linearnih transformacija dobiva se matrica simetričnih komponenata za sistem ekvivalentnih faznih susceptancija. Dijagonalni članovi matrice su redom nulta, direktna i inverzna jedinična susceptancija.

Program dalje ide zajednički, pa se pozivom potprograma ANEZKO izračunavanje direktne i nulte konstante neovisne o dužini voda. To su valni otpor, konstanta prodiranja, valna brzina i valna duljina. Zatim se na isti način poziva potprogram AZAVKO za proračun parametara zavisnih od dužine voda. To su impedancije praznog hoda i kratkog spoja, parametri nadomjesne π odnosno T sheme i opće konstante prijenosnih jednadžbi.

Kompleksni program PRKO vrši proračun parametara nadzemnog voda u matricnom obliku u skladu s ovim pretpostavkama:

1. Parametri se odnose na struju pogonske frekvencije $f = 50$ Hz.
2. Relativni permeabilitet je pretpostavljen jediničnom.
3. Visina iznad tla zadaje se kao konstantna vrijednost.
4. Specifični otpor zemlje također se zadaje kao konstantna vrijednost.
5. Pretpostavka je da je vod homogen i predložuje se jednopolno jednom nadomjesnom π ili T-shemom.
6. Redukcioni faktor je izračunat za mjesto kvara koje je udaljeno od stanice desetak stupova.

6. IZLAZNI REZULTATI PROGRAMA

Program predviđa mogućnost kompletnog ili skraćenog izlaza. Traženi opseg izlaza se zadaje integer konstantom ISPIS. Ukoliko je $ISPIS = 2$, izlaz je kompletan, a za $ISPIS = 1$ ili $ISPIS = 0$ izlaz je skraćen.

Prvi skraćeni ispis izlaznih rezultata programa PRKO ($ISPIS = 0$). Ispis je sažet na jednu stranicu. Nakon ispisa ulaznih podataka slijedi ispis parametara nezavisnih od dužine voda za direktni i nulti sistem. On sadrži po redu:

- jediničnu impedanciju z voda po fazi (Ω/km)
- jediničnu susceptanciju b voda po fazi (S/km)
- valni otpor Z_v (Ω)
- konstantu prodiranja γ ($1/\text{km}$)
- brzinu vala v (km/s)
- valnu dužinu λ (km).

Nakon ispisa parametara nultog sistema izračunat je još i redukcioni faktor zaštitnog užeta r_f , kao i faktor $1-r_f = rr_f$. Struja u zemlji računa se po izrazu:

$$I_z = r_f \cdot I_k \quad (I_k \text{ — struja kvara}),$$

a struja u zaštitnom užetu

$$I_{zu} = r r_f \cdot I_k$$

Drugi skraćeni ispis izlaznih rezultata programa PRKO (ISPIS = 1). Izlaz predstavlja dopunu skraćenog ispisa izlaznih rezultata programa i prema tome je širi: On sadrži uz ispis parametara nezavisnih od dužine voda i ispis parametara zavisnih od dužine voda. To su, ponovo za direktni i multi-sistem:

- impedancija kratkog spoja voda Z_{KS} (Ω)
- impedancija praznog hoda voda Z_{PH} (Ω)
- parametri nadomjesne π -sheme voda: $Z\pi$ (Ω) i $Y\pi/2$ (S)
- parametri nadomjesne T-sheme voda: Y_T (S) i $Z_T/2$ (Ω).
- opće konstante prijenosnih jednadžbi A, B, C i D.

Puni ispis izlaznih rezultata programa PRKO (ISPIS = 2). Ispis rezultata proračuna parametara vodova proteže se sada na više stranica, a započinje kao i u svim slučajevima ispisom ulaznih podataka.

U nastavku slijede ispisi matrica uzdužnih konstanata vodiča, po redu:

1. matrica impedancija, reda $N + M$,
2. matrica ekvivalentnih faznih impedancija (reducirana zaštitna užad), reda N,
3. matrica ekvivalentnih faznih impedancija (reducirana zaštitna užad i snopovi vodiča), reda N/S,
4. matrica simetričnih komponenata za sistem ekvivalentnih faznih impedancija. Matrica je reda 3 za jednostruke vodove, odnosno reda 6 za dvostruke vodove.

Ispis matrica poprečnih konstanata vodiča sadrži ove matrice:

5. matricu potencijalnih koeficijenata, reda $N + M$,
6. inverznu matricu susceptancije, reda $N + M$,
7. inverznu matricu ekvivalentnih faznih susceptancija (reducirana zaštitna užad), reda N,
8. inverznu matricu ekvivalentnih faznih susceptancija (reducirana zaštitna užad i snopovi vodiča), reda N/S,
9. matrica simetričnih komponenata za sistem ekvivalentnih faznih susceptancija. Matrica je ponovo 3. reda za jednostruke vodove, odnosno 6. reda za dvostruke vodove.

U gornjim matricama konstante N, M i S predstavljaju:

- N — broj stvarnih vodiča
- M — broj zaštitnih užeta
- S — broj vodiča u snopu.

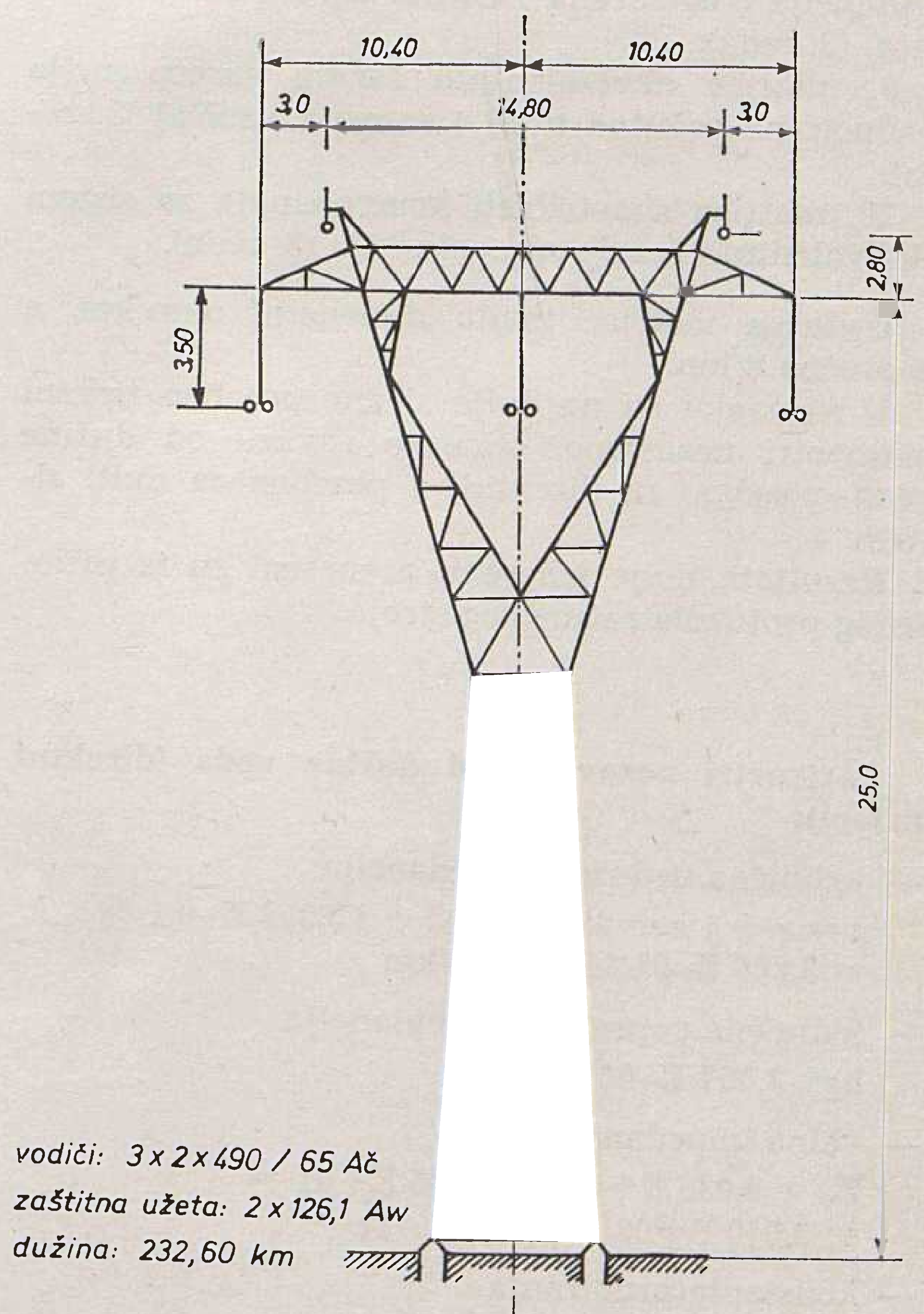
Slijede ispisi parametara nezavisnih odnosno zavisnih od dužine voda, tj. kompletni ispis sadrži prvi i drugi skraćeni ispis izlaznih rezultata programa.

6.1. Primjer

Proračun parametara 400 kV voda Ernestinovo-Zagreb. Visokonaponski vod 400 kV Ernestinovo-Zagreb, karakteriziraju ove veličine (vidi sl. 3):

Glava nosnih stupova, koji su Y izvedbe, tj. ima vodiče u horizontalnom rasporedu, ima ove dimenzije:

— duljina konzole	20,8 m
— visina rogova (nosači zaštitnih užeta)	3,0 m
— duljina izolatorskog lanca	3,5 m
Vodiči 3 x 2 x 490/65 Ač	(JUS N. C1.351)
Zaštitna užeta 2 x 126,1 Aw	
Maks. provjes vodiča za prosječni raspon $a = 380$ m, kod $+10^\circ\text{C}$	$f_a = 11,7$ m
Maks. provjes zaštitnih užeta za prosječni raspon $a = 380$ m kod $+10^\circ\text{C}$	$f_g = 11,7$ m
Razmak vodiča u snopu	$d = 0,40$ m
Duljina trase	$l = 232,6$ km
Prosječni raspon	$a = 380$ m
Prosječna visina stupa do donje konzole	$h = 25,0$ m
Nazivni napon	$U = 380$ kV
Prosječni specifični otpor tla	50 om m



Sl. 3. DV 400 kV Zagreb — Ernestinovo

Vodiči su ovješeni na jednakim razmacima $D = 10,40 \text{ m}$

Zaštitna užeta su obješena na male kutne nosače dimenzija $30 \times 20 \text{ cm}$.

Rezultati proračuna konstanata DV 400 kV Ernestinovo-Zagreb $3 \times 2 \times 490/65 \text{ Ač} + 2 \times 126,1 \text{ Aw}$, 232,6 km. Nakon ispisa ulaznih podataka (koordinate vodiča i zaštitnih užeta, specifični otpor tla, dužina voda, djelatni otpor vodiča i zaštitnog užeta) program ispisuje matrice uzdužnih impedancija vodiča. To su:

1. matrica impedancije (8. reda),
2. matrica ekvivalentnih faznih impedancija (reducirana zaštitna užad) (6. reda),
3. matrica ekvivalentnih faznih impedancija (reducirana zaštitna užad i snopovi vodiča) (3. reda)
4. matrica simetričnih komponenata za sistem ekvivalentnih faznih impedancija (3. reda).

Zatim slijede matrice poprečnih konstanata:

5. matrica potencijalnih koeficijenata (8. reda),
6. inverzna matrica susceptancija (8. reda),
7. inverzna matrica ekvivalentnih faznih susceptancija (reducirana zaštitna užad) (6. reda),
8. inverzna matrica ekvivalentnih faznih susceptancija (reducirana zaštitna užad i snopovi vodiča) (3. reda),
9. matrica ekvivalentnih faznih susceptancija (reducirana zaštitna užad i snopovi vodiča) (3. reda),
10. matrica simetričnih komponenata za sistem ekvivalentnih faznih susceptancija (3. reda).

Uzdužne matrice imaju dimenziju ohm/km , a poprečne S/km .

U nastavku su na dvije strane posebno tiskani parametri nezavisno, odnosno zavisni od dužine voda, posebno za direktni, a posebno za nulti sistem.

Rezultati, dolje izneseni, preneseni su iz priloženog protokola računskog stroja.

Parametri nezavisni od dužine voda (direktni sistem):

- jedinična uzdužna impedancija
 $z = r + jx = 2,992 \text{ E-02} + j 3,272 \text{ E-01} = 3,286 \text{ E-01}/84,78^\circ \text{ } \Omega/\text{km}$
- jedinična poprečna susceptancija
 $b = 3,557 \text{ E-06} \text{ S/km}$
- valna impedancija
 $Z_v = 3,036 \text{ E+02} - j 1,385 \text{ E+01} = 3,040 \text{ E+02}/-2,612^\circ \text{ } \Omega$
- konstanta prodiranja
 $\gamma = 4,927 \text{ E-05} + j 1,080 \text{ E-03} = 1,081 \text{ E-03}/+87,39^\circ \text{ } 1/\text{km}$

- valna brzina
 $v = 2,909 \text{ E+05} \text{ km/s}$
- valna dužina
 $\lambda = 5,818 \text{ E+03} \text{ km}$

Parametri nezavisni od dužine voda (nulti sistem):

- jedinična uzdužna impedancija
 $z = r + jx = 2,617 \text{ E-01} + j 7,600 \text{ E-01} = 8,038 \text{ E-01}/71,00^\circ \text{ } \Omega/\text{km}$
- jedinična poprečna susceptancija
 $b = 2,668 \text{ E-06} \text{ S/km}$
- valna impedancija
 $Z_v = 5,413 \text{ E+02} - j 9,060 \text{ E+01} = 5,489 \text{ E+02}/-9,501^\circ \text{ } \Omega$
- konstantna prodiranja
 $\gamma = 2,417 \text{ E-04} + j 1,444 \text{ E-03} = 1,464 \text{ E-03}/80,50^\circ \text{ } 1/\text{km}$
- valna brzina
 $v = 2,175 \text{ E+05} \text{ km/s}$
- valna dužina
 $\lambda = 4,350 \text{ E+03} \text{ km}$
- redukcionni faktori
 $r_f = 6,559 \text{ E-01}/-16,53^\circ$
 $rr_f = 1 - r_f = 4,155 \text{ E-01}/26,68^\circ$

Parametri zavisni od dužine voda (direktni sistem):

- impedancija kratkog spoja
 $Z_{KS} = 7,263 \text{ E+00} + j 7,774 \text{ E+01} = 7,808 \text{ E+01}/84,66^\circ \text{ } \Omega$
- impedancija praznog hoda
 $Z_{PH} = 2,339 \text{ E+00} - j 1,183 \text{ E+03} = 1,183 \text{ E+03}/-89,89^\circ \text{ } \Omega$
- nadomjesna π -shema
 $Z_\pi = 6,814 \text{ E+00} + j 7,533 \text{ E+01} = 7,563 \text{ E+01}/84,83^\circ \text{ } \Omega$
 $Y_{\pi/2} = 2,010 \text{ E-07} + j 4,158 \text{ E-04} = 4,158 \text{ E-04}/89,97^\circ \text{ S}$
- nadomjesna T-shema
 $Y_T = -7,888 \text{ E-07} + j 8,186 \text{ E-04} = 8,186 \text{ E-04}/90,06^\circ \text{ S}$
 $Z_{T/2} = 3,517 \text{ E+00} + j 3,826 \text{ E+01} = 3,842 \text{ E+01}/84,75^\circ \text{ } \Omega$
- opće konstante prijenosnih jednadžbi
 $A = 9,687 \text{ E-01} + j 2,848 \text{ E-03} = 9,687 \text{ E-01}/0,169^\circ$
 $B = 6,814 \text{ E+00} + j 7,533 \text{ E+01} = 7,563 \text{ E+01}/84,83^\circ \text{ } \Omega$
 $C = -7,888 \text{ E-07} + j 8,186 \text{ E-04} = 8,186 \text{ E-04}/90,06^\circ \text{ S}$
 $D = 9,687 \text{ E-01} + j 2,848 \text{ E-03} = 9,687 \text{ E-01}/0,169^\circ$

Parametri zavisni od dužine voda (nulti sistem):

— impedancija kratkog spoja

$$Z_{KS} = 6,563 E+01 + j 1,827 E+02 = \\ = 1,941 E+02/70,24^\circ \Omega$$

— impedancija praznog hoda

$$Z_{PH} = 2,059 E+06 - j 1,552 E+03 = \\ = 1,552 E+03/-89,24^\circ \Omega$$

— nadomjesna π -shema

$$Z_\pi = 5,867 E+01 + j 1,739 E+02 = \\ = 1,836 E+02/71,36^\circ \pi \\ Y_{\pi/2} = 9,987 E-07 + j 3,132 E-04 = \\ = 3,132 E-04/89,82^\circ S$$

— nadomjesna T-shema

$$Y_T = -3,865 E-06 + j 6,093 E-04 = \\ = 6,093 E-04/90,36^\circ S \\ Z_{T/2} = 3,100 E+01 + j 8,910 E+01 = \\ = 9,434 E+01/70,81^\circ \Omega$$

— opće konstante prijenosnih jednadžbi

$$A = 9,456 E-01 + j 1,855 E-02 = \\ = 9,458 E-01/1,124^\circ \\ B = 5,867 E+01 + j 1,739 E+02 = \\ = 1,836 E+02/71,36^\circ \Omega \\ C = -3,865 E-06 + j 6,093 E-04 = \\ = 6,093 E-04/90,36^\circ S \\ D = 9,456 E-01 + j 1,855 E-02 = \\ = 9,458 E-01/1,124^\circ$$

7. ZAKLJUČAK

Program za proračun parametara nadzemnih vodova na digitalnom elektroničkom računalu je solidna osnova za daljnje korake na dobivanju točnijih parametara za postojeće i nove vodove. Metodologija proračuna znatno je suvremenija u odnosu prema klasičnoj metodi srednjih geometrijskih udaljenosti. Povećana je točnost proračuna i njegova općenitost, a posebno kod složenijih geometrija glave stupa dolazi do izražaja jednostavnost matematičkog opisivanja zadatka prema izloženoj metodologiji baziranoj na matričnom računu.

Potrebno je nastaviti istraživanja u pravcu provjere ulaznih pretpostavki koji su nužne kod proračuna parametara nadzemnih vodova, a to se odnosi na problematiku: specifičnog otpora tla, utjecaj temperature, korone, odvoda i dr. i u tu svrhu bi trebalo usporediti proračuna sa mjerenjima koja dijelom postoje, a neka mjerenja na karakterističnim vodovima treba dodatno izvršiti.

Dalje mislimo da bi bilo preporučljivo izvršiti proračune električnih parametara nadzemnih vodova za sve izgrađene vodove i za one u izgradnji, iako će se najveći značaj iznesenog proračuna odnositi na planirane vodove.

LITERATURA

1. Prof. dr B. STEFANINI, dipl. ing.: Prijenos električne energije I, Sveučilište u Zagreb, Zagreb, 1966.
2. Prof. dr B. STEFANINI, dipl. ing.: Prijenos električne energije II dio, Nadzemni vodovi, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1964.
3. Prof. dr B. STEFANINI, dipl. ing.: Konstante nadzemnih vodova za nesimetrične prilike — Zavod za visoki napon, Zagreb, 1967.
4. Prof. dr B. STEFANINI, Mr. S. BABIĆ, dipl. ing., Mr. M. URBIHA-FEUEBACH, dipl. ing.: Matrične metode u analizi elektroenergetskih mreža, Školska knjiga, Zagreb, 1975.
5. Prof. dr B. STEFANINI, dipl. ing.: Prenos električne energije, II dio — Mreže, Zagreb, 1971.
6. R. CARSON: Wave Propagation in Overhead Wires with Ground Return. Bell System Tech. Journal, vol 5., str. 539—554, 1926.
7. Prof. dr J. BIERMANN, dipl. ing.: Hochspannung und Hochleistung, C. H. Verlag, München, 1949.
8. Priručnik od WESTNIG-HOUSE-a: Prijenos i distribucija električne energije, 4. izdanje — Građevinska knjiga, Beograd, 1964.
9. Prof. W. D. STEVENSON, JR. Elements of Power System Analysis —, Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York Toronto, London, 1955.
10. Prof. dr H. KOETTINITZ, dipl. ing., prof. dr H. PUNDT, dipl. ing.: Berechnung elektrischer Energieversorgungsnetze — VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie — Leipzig, 1968.
11. Prof. H. H. SKILLING, Ph. D.: Electric Transmission Lines, Mc Graw-Hill Company, Inc., New York, 1951.
12. D. NEVEČEREL, dipl. ing.: Proračun nultih konstanti vodova, Diplomski rad, Elektrotehnički fakultet — Zagreb, 1972.
13. Prof. dr F. KRANJC, dipl. ing. i suradnici: Osnovni elektriški parametri trofaznih prostih vodov, Ljubljana, 1975.
14. Prof. K. HORÁK, CSc: K výpočtu vnitřní i indukčnosti složených lan. — Elektrotechn. Obz. 62 (1973) Čís. 10 — str. 588—591.
15. Doc. Š. FECKO, dipl. ing., D. REVÁKOVÁ, dipl. ing.: Výpočet elektrických parametrov trojfazových vedení. — Elektrotechn. Obz. 62 (1973) čis. 9. — str. 544—549.
16. Prof. dr. K. SIMONYI: Over-ground Power Transmission Line Systems, Politechn. University Budapest, 1964.
17. B. RIBAR, N. ČUK, B. MILOSAVLJEVIĆ, Dr. M. ČALINIĆ — ZEPS, Beograd — Analiza gubitaka u prijenosnoj mreži ZEPS-a.
(Referat 321.06 na XII stručnom savjetovanju elektroenergetičara Jugoslavije, Budva, 1975. god.)

Naslov pisca:

Davor Nevečerel, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

PRIMJER PRORAČUNA POUZDANOSTI U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

Rihard Schenner, Zagreb

U članku se analizira praktičan primjer primjene proračuna pouzdanosti jednog sistema napajanja 30 kV mreže. Račun je zanimljiv zbog nekih specifičnosti koje se razmjerno rijetko susreću.

DK 621.316.004

1. OPIS PROBLEMA

Prilikom razrade 30 kV i 110 kV mreže grada Zagreba pojavio se problem pouzdanosti napajanja jednog dijela 30 kV mreže grada. Ta 30 kV mreža napaja se iz jedne transformatorske stanice 110/30 kV u kojoj su instalirana dva transformatora nazivne snage 60 MVA i iz dva generatora nazivne snage 12 MW odnosno 30 MW. Maksimalno vršno opterećenje koje se dobilo analizom konzuma iznosi oko 120 MW, pa je očito da u slučaju zastoja na jednom transformatoru u vrijeme tog vršnog opterećenja dolazi do redukcije napajanja konzuma.

Postojala su dva rješenja:

1. Montiranjem trećeg transformatora znatno bi se povećala pouzdanost napajanja 30 kV mreže, ali je u tom slučaju potrebno investirati u taj transformator i 30 kV i 110 kV transformatorsko polje. Građevinski je to također izvedivo jer je predviđeno mjesto za još jedan transformator. To bi također bilo u skladu i s dosta starim pravilom pouzdanosti, tzv. pravilom n-1, koje kaže da električna mreža mora izdržati ispad jednog elementa iz pogona.

2. Kad se treći transformator nebi montirao, dovela bi se u pitanje pouzdanost napajanja 30 kV mreže, ali bi se štedjelo na investicijama. Tome ide u prilog i to što je u planu da distribucija električne energije u gradu Zagrebu prijeđe na direktnu transformaciju 110/20/0,4 kV etapno 110/10/0,4 kV, tako da se predviđa postepeno odumiranje 30 kV napona. Mora se napomenuti da to odumiranje neće biti momentano, ali se mora imati na umu da se vršna opterećenja 30 kV mreže analiziranog područja od oko 120 MW pred-

viđaju u razdoblju između 5 i 10 godina. Kasnije se predviđa postepeno smanjenje vršnog opterećenja 30 kV mreže.

Odlučilo se prekontrolirati pouzdanost napajanja 30 kV mreže iz navedenih razloga, jer se osim svih spomenutih momenata imalo na umu da je transformator prilično pouzdan element u mreži.

2. NAČIN PRORAČUNA POUZDANOSTI

Proračun pouzdanosti napajanja 30 kV mreže proveden je prema (1, 2, 3, 4, 5). Kao procjena pouzdanosti poslužit će u ovom slučaju veličina vjerojatnosti redukcije u godini dana (3). Druga je mogućnost proračuna pouzdanosti usporedba troškova neisporučene električne energije i troškova investiranja u veću pouzdanost (4). Međutim, kod nas ne postoji mogućnost takvog proračuna, jer nema definiranih tarifa za takav slučaj.

U proračunu pouzdanosti ovog primjera bili su upotrijebljeni neki postupci koji nisu spomenuti u (1, 2, 3 i 4). Radi se o slijedećem:

— u literaturi se obično razmatra slučaj napajanja odnosno nenapajanja određene točke analizirane pomoću vršnog opterećenja te točke. Međutim, obično se ne uzima u obzir promjenljivost opterećenja tokom godine. Naime, moguće je da kod manjeg opterećenja od vršnog ne dolazi do redukcije energije kod određenog kvara, ali da kod istog kvara u slučaju vršnog opterećenja dolazi do redukcije;

— u analiziranom slučaju bilo je promjenljivo i napajanje 30 kV mreže, jer je rad generatora bio vezan za toplinski konzum koji se napajao iz kotlova termoelektrane.

Kako se postupilo s obzirom na te nove momente, objasniti će se u daljnjem tekstu.

2. 1. Određivanje vjerojatnosti zastoja na pojnim elementima 30 kV mreže

Pojni elementi za 30 kV mrežu u ovom su slučaju dva generatora u blok-spoju s turbinom i kotlom nazivne snage 12 MW odnosno 30 MW i dva transformatora nazivne snage 60 MVA odnosno 57 MW.

Tabela 1.

ZASTOJI NA TRANSFORMATORU BROJ 1							
Godina	Broj ispada	Broj isključenja	Prolazna smetnja h	Trajni kvar h	Zastoj zbog drugih postrojenja h	Revizija ostali radovi h	Ukupni zastoj h
1977.	—	3	—	—	0,40	—	0,40
1976.	1	1	—	—	14,10	—	14,10
1975.	6	1	—	—	13,70	—	13,70
1974.	—	—	—	—	—	—	—
1973.	4	5	0,75	—	4,75	—	5,50
1972.	6	1	0,16	—	8,00	—	8,16
1971.	1	4	0,60	—	0,90	—	1,50
Ukupno	18	15	1,51	—	41,85	—	43,36

Tabela 2.

ZASTOJI NA TRANSFORMATORU BROJ 2							
Godina	Broj ispada	Broj isključenja	Prolazna smetnja h	Trajni kvar h	Zastoj zbog drugih postrojenja h	Revizija ostali radovi h	Ukupni zastoj h
1977.	—	2	—	—	0,40	—	0,40
1976.	1	1	—	—	14,60	—	14,60
1975.	4	1	0,08	—	1,60	—	1,67
1974.	2	—	0,13	—	—	—	0,13
1973.	2	3	0,10	—	10,30	—	10,40
1972.	1	—	—	5,5	—	—	5,5
1971.	—	3	0,15	—	0,90	—	1,05
Ukupno	10	10	0,46	5,5	27,80	—	33,76

Vjerojatnost zastoja na transformatorima 110/30 kV određena je prema tehničkim izvještajima Elektroprenosa Zagreb o zastojima. Za transformator broj jedan nalaze se podaci u tabeli 1.

Podaci za drugi transformator nalaze se u tabeli 2.

Zastoji prema tabeli 1. i 2. podijeljeni su na prolazne smetnje, trajni kvar, zastoj zbog drugih postrojenja te revizije i ostali radovi. Prolazne smetnje i trajni kvarovi su zastoji zbog kvara na transformatoru, a zastoji zbog drugih postrojenja i revizije su zastoji kada se transformator isključuje iz pogona zbog zahtjeva, odnosno potreba nekih drugih elemenata mreže ili zbog bilo kojih drugih razloga. U literaturi se obično zastoji ne razlikuju na taj način, nego postoji samo prosječno vrijeme zastoja odnosno pogona i cijeli račun se provodi prema statističkoj matematici. Međutim, postoji određena razlika u zastojima s obzirom na njihov tretman. Naime, prije isključenja transformatora zbog revizije odnosno zastoja zbog drugih postrojenja mogu se u ponekim slučajevima u distributivnim mrežama poduzeti mjere za povećanje pouzdanosti u vrijeme isključenja. To se ponajprije odnosi na smanjenje opterećenja analizirane točke. Na žalost, takva mogućnost nije bila moguća u ovom konkretnom slučaju, jer je 30 kV mreža radila u otočnom pogonu.

Druga stvar koja se uglavnom ne analizira jest mogućnost smanjenja vremena zastoja. U ovom konkretnom primjeru bila je na primjer zaštita 30 kV vodnih polja povezana sa zaštitom transformatora pa je transformator isključivan u slučaju kvara na bilo kojem 30 kV kabelskom vodu koji se napaja iz te transformatorske stanice. Ponovni pogon uspostavljao je ručno uklopničar. Ta mjera poboljšava zaštitu transformatora, ali povećava broj i vrijeme zastoja. Ovakav zastoj uvrštavao se u zastoj zbog drugih postrojenja. U ovom računu nije se analiziralo da li se isplati mijenjati zaštita jer se nakon provedenih proračuna pokazalo da je i bez toga pouzdanost zadovoljavajuća.

Prema tabeli 1. i 2. vidi se da su oba transformatora bila izvan pogona u periodu od sedam godina u iznosu od

77,12 sati.

Od toga je ukupno vrijeme zastoja zbog drugih postrojenja bilo 69,65 sati, odnosno 90,3% svih zastoja, prolaznih smetnji 1,97 sati (2,6%), trajnih kvarova 5,50 sati (7,1%) i remonta 0 sati. U razdoblju od sedam godina bio je samo jedan trajni kvar u trajanju od 5,5 sati.

U razdoblju od sedam godina bilo je ukupno 53 zastoj. Ti se zastoji dijele na ispade i isključenja. Ispad je slučaj prekida pogona zbog prorade zaštite, a isključenje je prekid pogona od uklopničara. Ukupan broj ispada iznosio je 28 a isključenja 25.

Prosječno vrijeme trajanja prekida pogona iznosi 1,46 sati. To je dosta važan podatak, jer se može prihvatiti da će se opterećenje 30 kV mreže u tom razdoblju vrlo malo promijeniti. Naime, u slučaju kvara na primjer jednog transformatora u vrijeme opterećenja koje mogu ostali elementi napajanja 30 kV mreže izdržati, može se s dosta sigurnosti tvrditi da će se u prosjeku taj isti transformator opet uključiti u pogon a da se ne promijeni opterećenje. Također je potrebno napomenuti da se neki ekstremno dugi zastoji transformatora i ne mogu očekivati, jer se u krajnjem slučaju transformator može zamijeniti.

Vjerojatnost zastoja na transformatorima odredila se pomoću ukupnog vremena zastoja prema izrazu:

$$p_{zt} = n \cdot \frac{t}{8760} \quad (1)$$

- p_{zt} — vjerojatnost zastoja na transformatoru
 n — prosječan broj zastoja u godini dana
 t — prosječno trajanje jednog zastoja (sati).

Za prvi transformator se dobije:

$$p_{zt} = 6,97 \cdot 10^{-4} \quad (n = 4,7 \text{ zastoja/godini}) \\ (t = 1,3 \text{ sati}).$$

Za drugi transformator se dobije:

$$p_{zt} = 5,53 \cdot 10^{-4} \quad (n = 2,85 \text{ zastoja/godini}) \\ (t = 1,7 \text{ sati}).$$

Računalo se pomoću prosječne vrijednosti od:

$$p_{zt} = 6,25 \cdot 10^{-4}.$$

2. 2. Promjena opterećenja konzuma u toku godine dana

Promjena opterećenja u toku godine dana analizirala se za svaki mjesec posebno. Zamisao je bila odrediti odnose mjesečnog vršnog opterećenja i godišnjeg vršnog opterećenja za svaki mjesec u godini, kao i odnose satnog dnevnog opterećenja i mjesečnog vršnog opterećenja za svaki sat u mjesecu.

Tabela 3.

PROSJEK ODNOSA DNEVNOG SATNOG I DNEVNOG VRŠNOG OPTEREĆENJA ZA KARAKTERISTIČNE SRIJEDE U 1974, 1975, 1976. i 1977. god.																								
Mjesec u godini	Sat u danu																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
I	0,41	0,39	0,37	0,37	0,49	0,68	0,89	0,92	0,91	0,9	0,89	0,89	0,87	0,84	0,84	0,88	0,97	0,97	0,99	0,99	0,91	0,81	0,61	0,48
II	0,41	0,41	0,39	0,39	0,43	0,61	0,82	0,88	0,88	0,87	0,87	0,86	0,84	0,78	0,78	0,79	0,82	0,88	0,98	0,97	0,87	0,72	0,65	0,63
III	0,40	0,39	0,38	0,43	0,43	0,58	0,80	0,88	0,88	0,86	0,89	0,87	0,85	0,79	0,77	0,73	0,72	0,78	0,98	1,00	0,92	0,78	0,61	0,52
IV	0,33	0,31	0,29	0,29	0,35	0,52	0,71	0,79	0,81	0,76	0,80	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70	0,71	0,76	0,80	1,00	0,91	0,75	0,51	0,43
V	0,36	0,33	0,31	0,31	0,33	0,51	0,76	0,84	0,83	0,78	0,83	0,88	0,86	0,67	0,74	0,73	0,73	0,71	0,79	0,96	0,98	0,79	0,60	0,45
VI	0,40	0,38	0,36	0,34	0,41	0,57	0,78	0,83	0,84	0,83	0,87	0,88	0,87	0,82	0,80	0,80	0,80	0,79	0,84	0,90	0,97	0,78	0,61	0,48
VII	0,45	0,40	0,40	0,42	0,43	0,57	0,88	0,86	0,88	0,88	0,92	0,94	0,93	0,88	0,82	0,79	0,77	0,76	0,78	0,89	0,94	0,77	0,55	0,53
VIII	0,45	0,44	0,44	0,44	0,45	0,54	0,79	0,87	0,88	0,87	0,88	0,96	0,94	0,83	0,79	0,77	0,74	0,73	0,83	1,00	0,90	0,73	0,59	0,51
IX	0,37	0,36	0,36	0,36	0,41	0,51	0,71	0,81	0,83	0,80	0,83	0,85	0,84	0,74	0,75	0,72	0,75	0,78	1,00	1,00	0,88	0,69	0,52	0,44
X	0,39	0,49	0,38	0,38	0,44	0,60	0,85	0,94	0,94	0,90	0,92	0,92	0,88	0,85	0,84	0,85	0,89	0,98	1,00	1,00	0,94	0,83	0,67	0,61
XI	0,37	0,36	0,36	0,35	0,40	0,62	0,84	0,91	0,90	0,86	0,89	0,89	0,87	0,81	0,81	0,85	0,96	0,95	0,98	0,99	0,92	0,75	0,66	0,45
XII	0,41	0,39	0,38	0,38	0,45	0,65	0,91	0,92	0,96	0,88	0,92	0,89	0,88	0,83	0,85	0,89	0,96	0,95	0,96	0,96	0,85	0,63	0,60	0,45

Obzirom na raspoložive podatke nije se mogao točno odrediti omjer satnog dnevnog opterećenja i mjesečnog vršnog opterećenja za svaki dan u mjesecu.

Mjerenja se provode u karakterističnim srijedama za svaki mjesec, i to svaki sat tog dana, a za ostale dane ti podaci nisu poznati. Zbog toga se karakteristična srijeda morala prihvatiti kao prosječan dan u određenom mjesecu, pa je formiran slijedeći faktor:

$$f_{dn \cdot opt} = \frac{S_{dn}}{S_{vr \cdot dn}}$$

(2)

$f_{dn \cdot opt}$ — faktor dnevnog opterećenja
 S_{dn} — dnevno satno opterećenje MVA
 $S_{vr \cdot dn}$ — dnevno vršno opterećenje MVA.

Mora se napomenuti da je s obzirom na raspoložive podatke dnevno vršno opterećenje bilo jednako mjesečnom vršnom opterećenju.

Prihvaćanjem karakteristične srijede kao prosječnog dana čini se pogreška, ali će na taj način biti vremena redukcije nešto veća od realnih. Ako će takvi rezultati zadovoljiti, tada će realni biti još povoljniji.

Da se odrede faktori dnevnog opterećenja analizirani su podaci iz 1974, 1975, 1976. i 1977. godine. Prosjek rezultata nalazi se u tabeli 3. Prema podacima iz tabele 3 može se vidjeti da prosjeci podataka nemaju za neke mjesece ni za jedan sat vrijednost koeficijenta 1, što je, sigurno, teoretski pogrešno. Do toga je došlo zbog toga jer se vršno opterećenje pojavljuje u raznim satima u toku godine. Međutim, razlike su vrlo malene i praktički ne djeluju na rezultat.

Za određivanje odnosa mjesečnih vršnih opterećenja i godišnjeg vršnog opterećenja korišteni su također podaci iz mjerenja u karakterističnim srijedama. Formiran je ovaj faktor:

$$f_{mj \cdot opt} = \frac{S_{vr \cdot mj}}{S_{vr \cdot god}}$$

(3)

$f_{mj \cdot opt}$ — faktor mjesečnog opterećenja
 $S_{vr \cdot mj}$ — mjesečno vršno opterećenje MVA
 $S_{vr \cdot god}$ — godišnje vršno opterećenje MVA.

Za godinu 1974, 1975, 1976. i 1977. g. nalaze se prosječni podaci za faktor mjesečnog opterećenja u tabeli 4.

Tabela 4.

FAKTOR MJESEČNOG OPTEREĆENJA ZA ANALIZIRANI SLUČAJ			
Mjesec	Faktor mjesečnog opterećenja	Mjesec	Faktor mjesečnog opterećenja
I	0,88	VII	0,73
II	0,93	VIII	0,73
III	0,83	IX	0,82
IV	0,83	X	0,95
V	0,75	XI	0,87
VI	0,80	XII	1,00

Te se vrijednosti mogu prihvatiti kao dosta realne, jer se mjerenja i obavljaju srijedom, kada se očekuju i vršna opterećenja.

2. 3. Mogućnost napajanja 30 kV mreže u godini dana

Već je spomenuto da 30 kV mrežu napajaju dva transformatora i dva generatora.

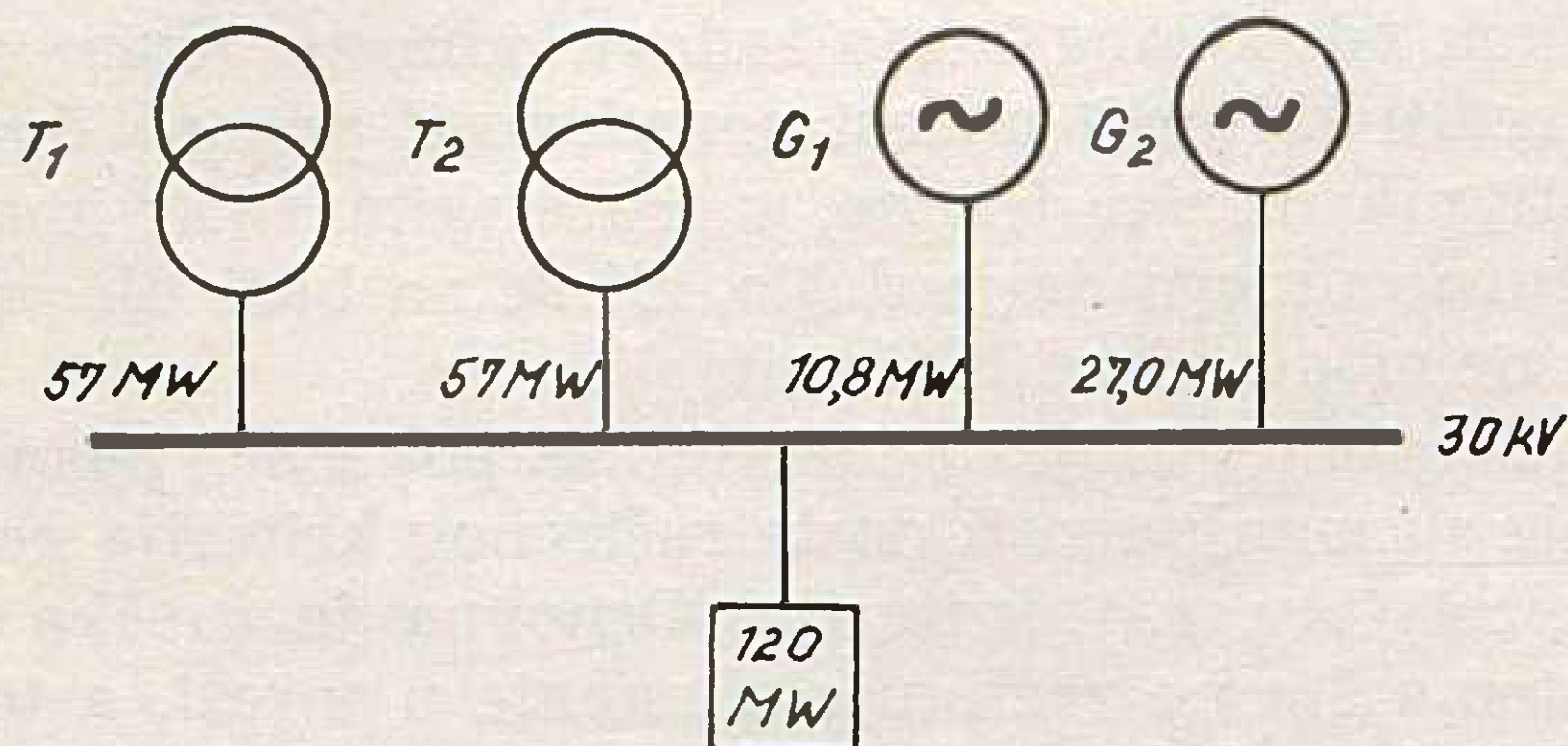
Pogon transformatora ne ovisi o mjesecu odnosno godišnjem dobu, dok je pogon generatora vezan za toplinski konzum, odnosno godišnje doba.

Period grijanja to jest period kada rade oba generatora jest period X, XI, XII, I, II, III mjeseca. U ostalim mjesecima (IV, V, VI, VII, VIII i IX) grijanje opada, ali je još uvijek toplinski konzum industrije takav da može raditi barem jedan generator. Ovdje je također potrebno imati na umu da se svake godine obavlja i remont u termoelektrani. Zbog toga se računalo da generator broj 1 radi u VII, VIII i IX mjesecu, a generator broj 2 u IV, V i VI mjesecu.

2. 4. Način računa

Osnovni cilj je bio odrediti prosječno vrijeme redukcije električne energije u godini dana i na bazi tog vremena procijeniti da li je potrebno montirati treći transformator u transformatorsku stanicu 110/30 kV ili ne.

Principijelna shema napajanja 30 kV mreže prikazana je sa svim potrebnim podacima na sl. 1.



T_1 : 60 MVA, 57 MW,	$p_{zt} = 6,25 \cdot 10^{-4}$
T_2 : 60 MVA, 57 MW	$p_{zt} = 6,25 \cdot 10^{-4}$
G_1 : 12 MW; 10,8 MW,	$p_{zg} = 0,1$
G_2 : 30 MW; 27,0 MW,	$p_{zg} = 0,1$

Sl. 1. Shematski prikaz napajanja 30 kV mreže (transformatori rade cijelu godinu, generator G_1 ne radi u IV, V i VI mjesecu, a generator G_2 ne radi u VII, VIII i IX mjesecu)

U termoelektranama je približno 10% energije generatora potrebno za vlastitu potrošnju, pa je zbog toga na pragu elektrane moguće dobiti manju snagu od snage generatora.

Najprije su za zimsko i ljetno razdoblje određeni slučajevi kada dolazi do redukcija zbog kvara na bilo kojem od elemenata napajanja. Zatim je za svaki takav slučaj određena raspoloživa snaga pomoću izraza:

$$Pr = \sum_{i=1}^N P_{ni} \quad (5)$$

- Pr — raspoloživa snaga MW
 P_{ni} — snaga elemenata napajanja 30 kV mreže koji su u pogonu MW
 N — ukupan broj elemenata napajanja 30 kV mreže koji su u pogonu.

Također je za svaki takav slučaj određena i vjerojatnost događaja pomoću izraza:

$$p_d = \prod_{i=1}^N (1 - p_{zi}) \cdot \prod_{i=1}^M p_{zi} \quad (5)$$

- p_d — vjerojatnost događaja
 p_{zi} — vjerojatnost zastoja na i-tom elementu
 M — ukupan broj elemenata napajanja 30 kV mreže koji su u kvaru

Za zimsko razdoblje nalaze se podaci za ovaj konkretan slučaj u tabeli 5.

Za ljetno razdoblje nalaze se podaci u tabeli 6. i 7.

Tabela 5.

SLUČAJEVI REDUKCIJE ELEKTRIČNE ENERGIJE, RASPOLOŽIVA SNAGA I VJEROJATNOST DOGAĐAJA ZA PERIOD GRIJANJA		
Slučaj redukcije električne energije	Raspoloživa snaga (MW)	Vjerojatnost događaja
a) svi elementi u kvaru	Ø	$3,906\ 250 \cdot 10^{-9}$
b) bilo koji transformator u kvaru	94,8	$1,011\ 867 \cdot 10^{-3}$
c) oba transformatora u kvaru	37,8	$3,164\ 062 \cdot 10^{-7}$
d) u kvaru bilo koji transformator i generator G_2	67,8	$1,124\ 297 \cdot 10^{-4}$
e) u kvaru bilo koji transformator i generator G_1	84,0	$1,124\ 297 \cdot 10^{-4}$
f) u kvaru bilo koji transformator i oba generatora	57,0	$1,249\ 219 \cdot 10^{-5}$
g) u kvaru oba transformatora i generator G_2	10,8	$3,515\ 625 \cdot 10^{-8}$
h) u kvaru oba transformatora i generator G_1	27,0	$3,515\ 625 \cdot 10^{-8}$

Tabela 6.

SLUČAJEVI REDUKCIJE ELEKTRIČNE ENERGIJE, RASPOLOŽIVA SNAGA I VJEROJATNOST DOGAĐAJA ZA LJETNO RAZDOBLJE (RADI GENERATOR G_2)		
Slučaj redukcije električne energije	Raspoloživa snaga (MW)	Vjerojatnost događaja
a) svi elementi u kvaru	Ø	$3,906\ 250 \cdot 10^{-8}$
b) bilo koji transformator u kvaru	84,0	$1,124\ 297 \cdot 10^{-3}$
c) oba transformatora u kvaru	27,0	$3,515\ 625 \cdot 10^{-7}$
d) u kvaru bilo koji transformator i generator G_2	57,0	$1,249\ 219 \cdot 10^{-4}$

Tabela 7.

SLUČAJEVI REDUKCIJE ELEKTRIČNE ENERGIJE, RASPOLOŽIVA SNAGA I VJEROJATNOST DOGAĐAJA ZA LJETNO RAZDOBLJE (RADI GENERATOR G_1)		
Slučaj redukcije električne energije	Raspoloživa snaga (MW)	Vjerojatnost događaja
a) svi elementi u kvaru	Ø	$3,906\ 250 \cdot 10^{-8}$
b) bilo koji transformator u kvaru	67,8	$1,124\ 297 \cdot 10^{-3}$
c) oba transformatora u kvaru	10,8	$3,515\ 625 \cdot 10^{-7}$
d) u kvaru bilo koji transformator i generator G_1	57,0	$1,249\ 219 \cdot 10^{-4}$

Nakon toga određeno je pomoću faktora mjesečnog opterećenja i godišnjeg vršnog opterećenja od 120 MW vršno opterećenje za svaki mjesec u godini. Zatim se za svaki slučaj redukcije električne energije za određeni mjesec u godini odredio omjer raspoložive snage elemenata napajanja 30 kV mreže i vršnog opterećenja za taj mjesec. Uporedbom tog omjera i faktora dnevnog opterećenja iz tabele 3. odredio se broj sati u prosječnom danu za taj mjesec u kojima nastupa veće opterećenje od raspoložive snage, a zatim je određen i broj sati u mjesecu kada nastupa veće opterećenje od raspoložive snage. Množenjem vjerojatnosti analiziranog događaja i broja sati u mjesec dana kada dolazi do opterećenja većeg od raspoložive snage elemenata napajanja 30 kV mreže za analizirani događaj dobije se prosječno vrijeme redukcije napajanja za takav slučaj kvara u mjesec dana. Sumiranjem svih prosječnih vremena redukcije za određeni mjesec dana dobije se ukupno prosječno vrijeme redukcije za taj mjesec. Ana-

lizom za sve mjesece dobije se i prosječno vrijeme redukcije za cijelu godinu. Primjer računa za mjesec siječanj nalazi se u tabeli 7.

Tabela 8.

PRIMJER PRORAČUNA PROSJEČNOG VREMENA REDUKCIJE ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA SIJEČANJ			
Slučaj redukcije el. energije	Omjer raspoložive snage i mjesečnog vršnog opterećenja	Period većeg opterećenja od raspoložive snage (h/mj)	Prosječno vrijeme redukcije (h/mj)
a	Ø	730	$2,851\,562 \cdot 10^{-6}$
b	0,89	240	$2,428\,481 \cdot 10^{-1}$
c	0,36	730	$2,309\,765 \cdot 10^{-1}$
d	0,64	510	$5,733\,915 \cdot 10^{-2}$
e	0,79	480	$5,396\,626 \cdot 10^{-2}$
f	0,54	570	$7,120\,548 \cdot 10^{-3}$
g	0,10	730	$2,566\,406 \cdot 10^{-5}$
h	0,26	730	$2,566\,406 \cdot 10^{-5}$
Ukupno			$3,615\,592 \cdot 10^{-1}$

Ukupna suma za cijelu godinu iznosi:

4,24 h/god.

To znači da će u 0,0484% vremena pogona s takvim vršnim opterećenjem (120 MW) doći do redukcije električne energije. Procijenilo se da je to dovoljno malo vrijeme i da nije potrebno montirati treći transformator. Pri tome se također imalo na umu da se radi o etapnom pogonu a i da je račun rađen s ulaznim podacima koji daju nešto veća vremena redukcije od realnih.

Uobičajeno je da se za takve proračune pouzdanosti odredi i prosječna raspoloživost (availability) (5) analiziranih elemenata mreže. Ona je određena iznosom:

A = tn / (tn + tr) (6)

A — prosječna raspoloživost analiziranih elemenata
tn — prosječno vrijeme napajanja konzuma (h)
tr — prosječno vrijeme redukcije napajanja konzuma (h).

U navedenom primjeru rađen je cijeli račun za godinu dana, pa prosječna raspoloživost iznosi:

0,999 516.

3. ZAKLJUČAK

U navedenom primjeru očito da se odluka temelji na procjeni rezultata, jer još ne postoje općepriznati kriteriji po kojima bi se donijela odluka. Razlog je tom premalo radova na tom području pa općepriznati kriteriji na području pouzdanosti pogona distributivnih mreža još nisu formirani.

Zbog toga se smatra da je potrebno što više raditi na praktičnim primjerima iz kojih bi se mogli nakon određenog broja radova odnosno vremena i odrediti kriteriji u vezi pouzdanosti pogona distributivnih mreža. Naime, u teoretskim radovima se sigurno mnogo dalje došlo, ali se na bazi tih radova ne mogu odrediti ti kriteriji.

U ovom primjeru također se pokušalo pokazati koje su manjkavosti dosta raširenog kriterija pouzdanosti tzv. n-1 kriterija. Osnovna je greška tog sistema što ne razlikuje elemente u mreži, a to je i daljnja zadaća ovakvih radova.

Prema navedenom primjeru može se zaključiti

— transformator je prilično pouzdan element električne mreže i može se postaviti pitanje je li kod tog elementa mreže potrebna pouzdanost kakva je definirana kriterijima n-1;

— vrlo malo se analiziraju razlozi zastoja na određenim elementima mreže, a još manje mogućnost utjecaja na njih, što može također povećati pouzdanost pogona i eventualno smanjiti investicije u određene objekte;

— očito je da određeni zastoji ne predstavljaju slučajnu pojavu i pitanje je na koji način matematički obrađivati takve slučajeve (zastoji zbog drugih postrojenja).

LITERATURA

(1) P. Denzel: Methoden zur Berechnung der Versorgungssicherheit in elektrischen Verteilernetzen, Energie, Jahr 21, Nr. 12, Dezember 1969
(2) E. Müller: Das Ausfallrisiko von Lastpunkten in vermascten Netzen, ETZ-A, Bd. 95 (1974), H. 9.
(3) H. Frey, K. Reichert: Anwendung moderner Zuverlässigkeits — Analysenmethoden in der elektrischen Energieversorgung, ETZ-A, Bd. 94 (1973) H. 5
(4) H. Böcher, W. Kaufmann: Optimierung des Aufwandes für die Zuverlässigkeit der Elektrizitätsversorgung in der Netzplanung zum Nutzen des Abnehmers, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 74 (1974), Heft 8
(5) H. J. Koglin: Berechnungsmethoden der Versorgungszuverlässigkeit, ETZ-A Bd. 96 (1975) H. 10

Naslov pisca:
Mr Rihard Schenner, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

RASVJETA TUNELA (AKTUALNI PRIMJER TUNELA UČKA)

Edo Širola, Zagreb

Na različitim pravcima magistralnih cesta moraju se graditi i dulji cestovni tuneli koje treba osvijetliti. Izneseni su principi kojih se projektant rasvjete mora držati prilikom projektiranja rasvjete tunela, a kao primjer izvedbe odgo-varajuće rasvjete opisan je tunel kroz Učku.

DK 628.9

1. UVOD

Porast cestovnog prometa izvan naseljenih mjesta i u njima uzrok je konstruktivno sve složenijih i financijski sve skupljih cestovnih poteza.

Promet treba teći bez zastoja, posebno na magistralnim pravcima. Prirodne prepreke kao što su planine, prijevoji, udoline, rijeke, kanjoni ili gusto izgrađena područja velikih gradova treba svladati prikladnim cestovnim objektima. U načelu to je ili most ili tunel.

Naša je republika tek na početku realizacije prvog programa izgradnje magistralnih cestovnih pravaca, na kojima se pojavljuje i nekoliko značajnih tunela kao što su »UČKA« (5 050 m), zatim »TRSAT«, »ŠKURINJE I«, »ŠKURINJE II« i »KATARINA« na riječkoj zaobilaznici u ukupnoj dužini od približno 5 000 m (dvije cijevi), te 4 tunela na poluauto-cesti dionica Strmica — Lička Kaldrma u ukupnoj dužini od približno 900 m.

Buduća auto-cesta Karlovac—Rijeka imat će 15 tunela ukupne približne dužine 17 km (obje cijevi).

Naša je zemlja većinom brdovita, osim relativno ravnog panonskog dijela, pa se može očekivati relativno velik broj cestovnih tunela. S druge strane, naši se veći gradovi već danas guše u nemogućem automobilskom prometu koji je naglim razvojem prerastao sve stare zatečene cestovne strukture i režime prometa. Jedino je rješenje spuštanje prometa pod zemlju.

Beograd je u tome već daleko odmakao, Ljubljana donekle, Split započinje svojim tunelom kroz legendarni »MARJAN«, u Zagrebu se planira tunel ispod Kaptola i Gornjeg grada na tzv. sjevernoj tangenti, itd.

Očito je da ćemo se u budućnosti sve više (u naseljenim mjestima i izvan njih) susretati s tunnelima. Dobrobit koju će oni pružati u prometu su očiti, ali isto tako i problemi koji će se javiti pri izvedbi ili u samom prometu.

Tunel (ma kako kratak bio) u biti je neugodna »rupa« ispod zemlje u koju svatko ulazi s nelagodom i presretan je kad ponovo ugleda danje svjetlo. S brzinom vožnje od 60 km/sat potrebno je oko 5 minuta da se svlada tunel »UČKA«. Pet minuta! Čitava vječnost, posebno u mogućim situacijama veoma intenzivnog prometa kad je i potencijalni rizik prometne nesreće veći i kad od takve opasnosti dobar dio vozača strahuje, postaje nepažljiv,

dekoncentriran i nervozan i — eto prometne nezgode.

Rasvjeta prometnih tunela zauzima posebno mjesto u tehnici javne rasvjete. Mi u tome nemamo doslovce nikakvog praktičnog iskustva. U zadnje vrijeme industrija čini stidljive korake u proizvodnji opreme za rasvjetu tunela i može se očekivati da će se ta proizvodnja uhodati i stabilizirati.

Svrha je ovog članka da upozna sa svom kompleksnom problematikom rasvjete tunela, da potakne na razmišljanje i da inicira načine rješavanja.

2. PROBLEMATIKA RASVJETE TUNELA

Bitna razlika u tehnici rasvjete tunela i otvorene ceste jest u činjenici da je tunnelska rasvjeta i njezino rješavanje prvenstveno vezano za dan i danje svjetlo. Teškoće s kojima se susrećemo u tehnici rasvjete tunela proizlaze općenito iz slijedećeg:

a) raspoloživa tehnička sredstva na današnjem stupnju razvoja svjetlotehnike ne omogućavaju rasvjetu tunela ni približno sličnu dnevnoj rasvjeti na otvorenoj cesti, a koja bi ekonomski bila prihvatljiva

b) postoji problem adaptacije ljudskog oka s vanjske dnevne rasvjete na relativno ograničenu rasvjetu u tunelu

c) kriteriji kvalitete rasvjete tunela veoma su strogi (stroži nego na otvorenoj cesti) pa su adekvatno tome znatni i investicijski troškovi i troškovi održavanja.

Rasvjeta tunela treba jamčiti jednaku ili približno jednaku sigurnost i dobnost prometa kao i na otvorenoj cesti. Ovdje se to prvenstveno odnosi na dnevne uvjete vožnje, pa taj zahtjev ima i svoju posebnu težinu. To praktički znači da se rasvjeta tunela može smatrati kvalitetnom ako omogućava vozaču prolaz kroz tunel (posebno kroz ulaznu i izlaznu zonu tunela) s približno jednakom brzinom i jednakim stupnjem sigurnosti kao na otvorenoj cesti. To znači da rasvjeta u tunelu treba jamčiti uočavanje svih objekata i prepreka u tunelu s dovoljno velike udaljenosti.

Nadalje, treba računati na psihološki faktor koji je nemoguće kvantitativno utvrditi. Osim neminovnih promjena u luminaciji okoline (koja direktno utječe na zapažanje), na vožnju kroz tunel općenito utječe i opći dojam okoline kao što je zatvorenost prostora, intenzivna buka, ispušni plinovi, ograničena mogućnost manevriranja (zabranjeno pretjecanje), strogo pridržavanje prometne signalizacije, osjećaj neizvjesnosti i slično.

Ta raznolikost utjecaja na vožnju zahtijeva vozačevu fizičku i psihičku adaptaciju danoj situaciji, koju je često nemoguće ostvariti relativno ograničenom raspoloživom vremenu, pa se svaki prolaz kroz tunel (danju i noću) može općenito tretirati kao mali šok za vozača.

Sa stajališta sigurnog i udobnog zapažanja svaki dio natkrivene ceste uvršten je u pojavu »tunela«, bez obzira na dužinu i prirodu nadgrađa. To praktički znači da svaki takav prolaz zahtijeva specifičan tretman kod rasvjetljavanja. U praksi su prevladala dva pojma:

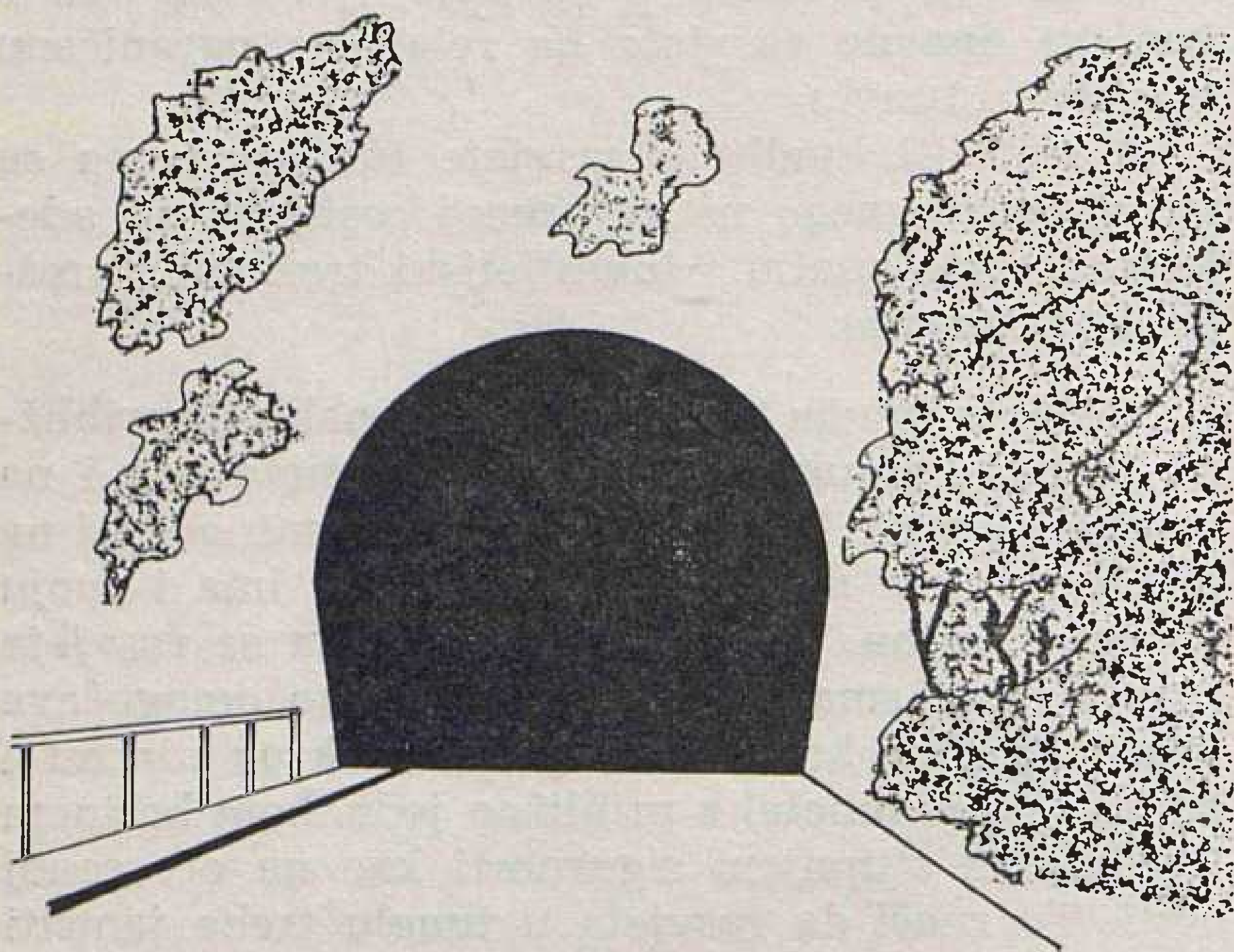
- a) »dugi« tunel,
- b) »kratki« tunel.

Sa stajališta rasvjete svaki tunel, bez obzira na njegovu dužinu, kod kojeg se ne vidi izlaz i njegova okolina iz točke neposredno prije ulaza ili samog ulaza u tunel (kod normalnih prometnih uvjeta) smatra se »dugim tunelom«. Svi se ostali tuneli smatraju »kratkim«.

3. RASVJETA DUGIH TUNELA

3. 1. Efekt crnog otvora

Najkritičniji trenutak za vozača koji danju ulazi u tunel nastupa na prilaznoj cesti neposredno ispred ulaza (zona prilaza). Stanje adaptacije oka vozača uvjetovano je nivoom luminancije okoline tunela (L_0).



Sl. 1. Efekt crnog otvora

Pri tome najveće značenje ima luminancija same površine kolnika pristupne ceste (jer je pažnja vozača obično usmjerena na cestu), zatim luminancija vidljivog dijela neba, te ostale lokalne luminancije (zgrade, drveće, neposredni okoliš otvora i slično).

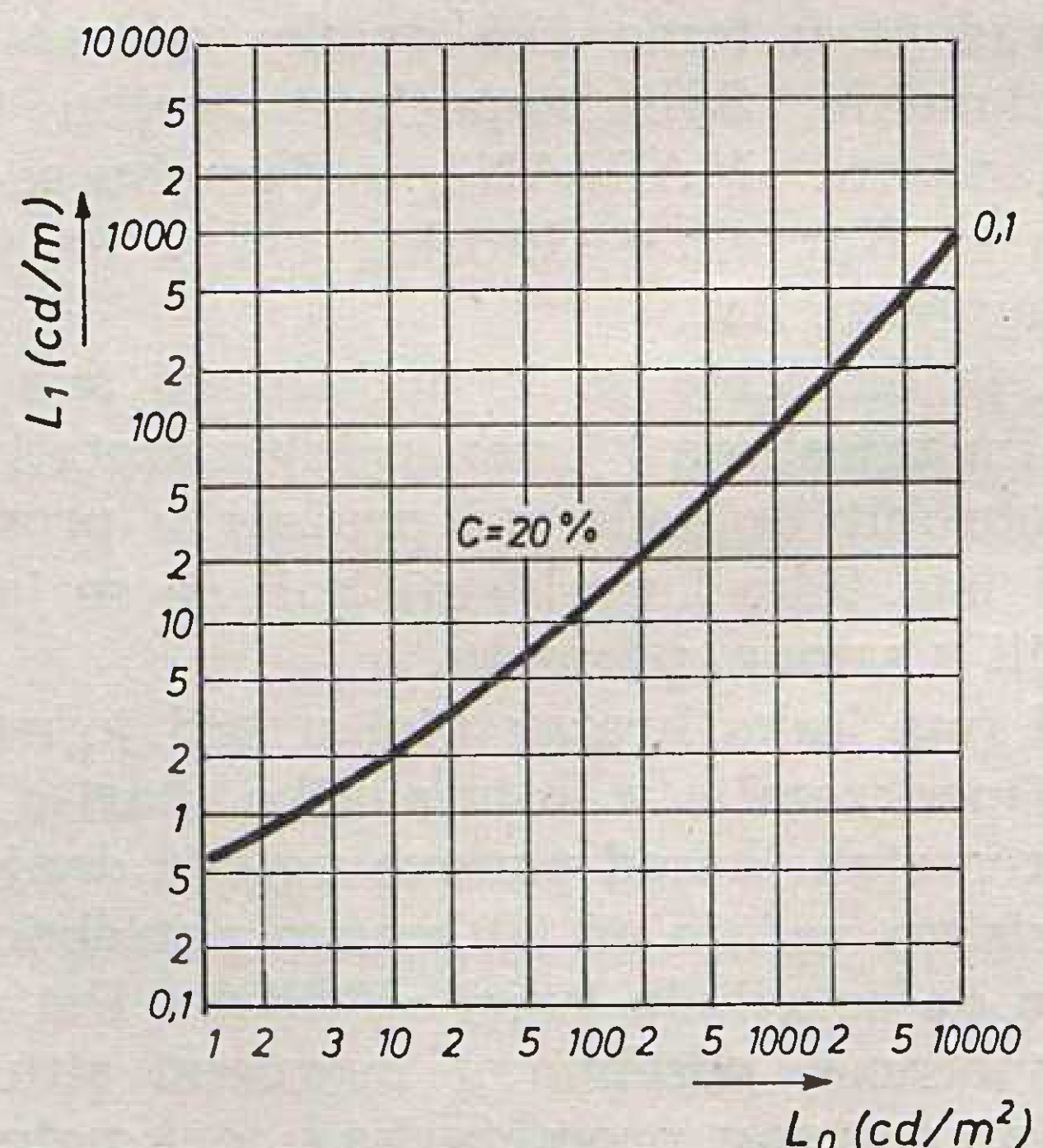
U normalnim uvjetima otvor tunela vozač doživljava kao tzv. crni otvor (crna rupa), ako je ulaz u tunel nedovoljno ili uopće nije rasvijetljen (slika 1). To je posebno značajno ako je luminancija okoline u zoni prilaza izuzetno visoka. U takvim slučajevima, kad je luminancija prepreke i njezine neposredne okoline (na ulazu u tunel) manja od luminancije na koju je trenutno adaptirano ljudsko oko, nastaju velike teškoće u zapažanju uzrokovane prisutnošću efekta crnog otvora.

Efekt crnog otvora moguće je teorijski eliminirati tako da se ulaz u tunel rasvijetli nivoom luminancije jednakim onom na pristupnoj cesti. To je, naravno, praktički neizvedivo. Pokusima je međutim utvrđeno da se efekt crnog otvora daje praktički eliminirati ako se samo kratki potez ulaza u tunel (zona praga) rasvijetli relativno visokim nivoom luminancije (L_1). Tako je utvrđena stroga međuzavisnost luminancije u zoni prilaza i u zoni praga.

Na slici 2. prikazani su rezultati istraživanja na statičkim i dinamičkim modelima odnosa luminancije u prilaznoj zoni L_0 i one u zoni praga L_1 . Uzeta je u obzir »kritična« prepreka vidljive površine 20×20 cm i pretpostavka da takva prepreka uz kontrast od 20% treba u 75% slučajeva biti vidljiva sa udaljenosti od 100 m gledana iz normalnog kuta promatranja vozača, i to u vremenu od 0,1 do 0,3 sekunde.

Iz slike 2. jasno je uočljivo da uz uobičajene iznose luminancija u zoni prilaza ona u zoni praga treba biti oko 10% od L_0 (1:10) da bi se eliminirao efekt crnog otvora.

Dakle, neophodno je što preciznije utvrditi luminanciju u prilaznoj zoni tunela kao najmjero-davniju veličinu za rasvjetu tunela.



Sl. 2. Odnos luminancije u prilaznoj zoni L_0 i luminancije u zoni praga L_1

3. 2. Luminancija prilazne zone (Lo)

Od nebrojeno mogućih situacija u konfiguraciji okoliša ulaza u tunel slika 3. prikazuje 3 tipična slučaja:

- planinski tunel,
- tunel u ravničarskom predjelu ili u gradskom području,
- tunel ispod vodotoka.

Kod planinskih (brdskih) tunela na luminaciju u zoni prilaza pretežno utječe neposredni šumoviti ili kameniti okoliš otvora u tunel. Šumovita okolina je povoljna. Ekstremni neugodni slučajevi su zimi kad je okoliš pokriven snijegom i kad luminancija zone može poprimiti izuzetno velike vrijednosti.

Kod ostalih dvaju tipova (gradski i tunel ispod vodotoka) uočljivo je da najvažniji dio luminancije u zoni prilaza otpada na luminaciju samog neba, koja kod vedrog vremena i orijentacije tunela u smjeru istok — zapad može biti vrlo neugodna. Za optimalno utvrđivanje vrijednosti luminancije u zoni prilaza postoji niz metoda i postupaka.

Najpreciznija i najprikladnija je metoda niza reprezentativnih mjerenja na samom objektu.

Mjerenja treba obaviti u pogodno vrijeme godine, pri različitim vremenskim prilikama i satima dana. U fazi projektiranja obično je to neizvedivo jer tada ne postoji ni otvor ni cesta, ni portal, pa bi mjerenja bila sasvim izlišna.

Slika 4. daje prikaz kumulativne procentualne zastupljenosti vrijednosti horizontalne rasvjetljenosti između 10 i 14 sati u prosjeku za čitavu godinu za dva kritična mjeseca, i to svibanj i kolovoz.¹

Uočljivo je da se vrijednosti horizontalne rasvjetljenosti oko 100 000 lx, premda visoka, ne može smatrati izuzetnom. Ta se vrijednost u načelu prihvaća kao maksimalna vrijednost prilazne zone.²

Ako koeficijent refleksije okoline ne prelazi 25% (obično je ispod toga) i uz pretpostavku difuzne refleksije, vrijednost luminancije u prilaznoj zoni za ravničarski predio može se izračunati ovako:

$$L_o = \frac{\rho}{\pi} \cdot E_m \text{ (cd/m}^2\text{)} \quad (1)$$

gdje je:

$\rho = 0,25$ — faktor refleksije okoliša

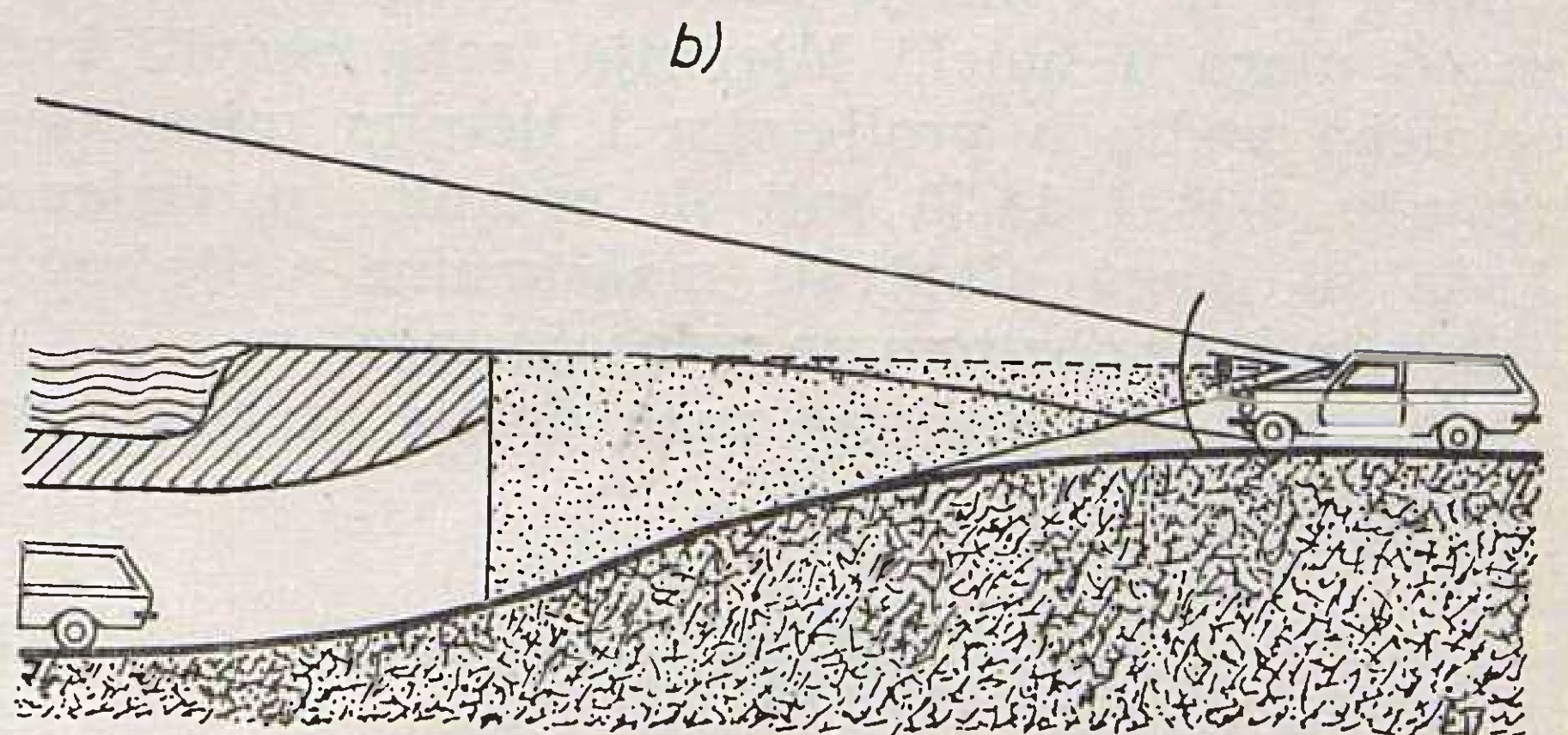
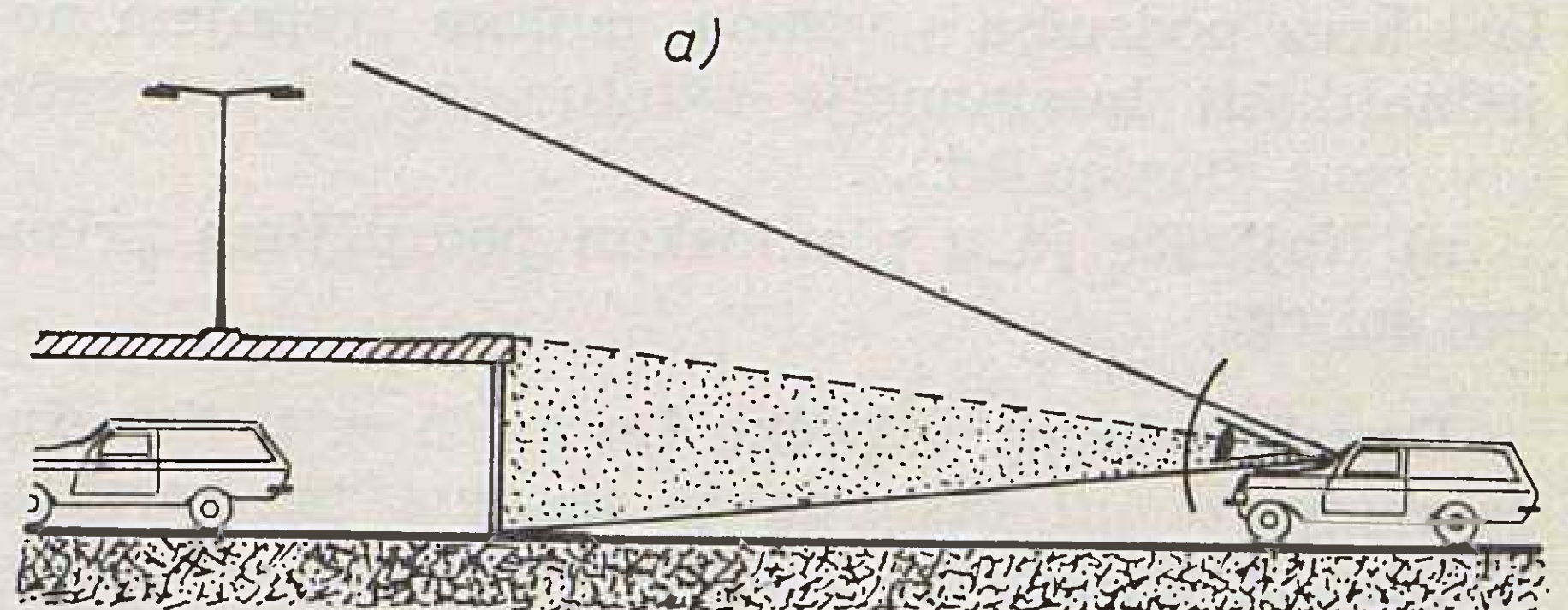
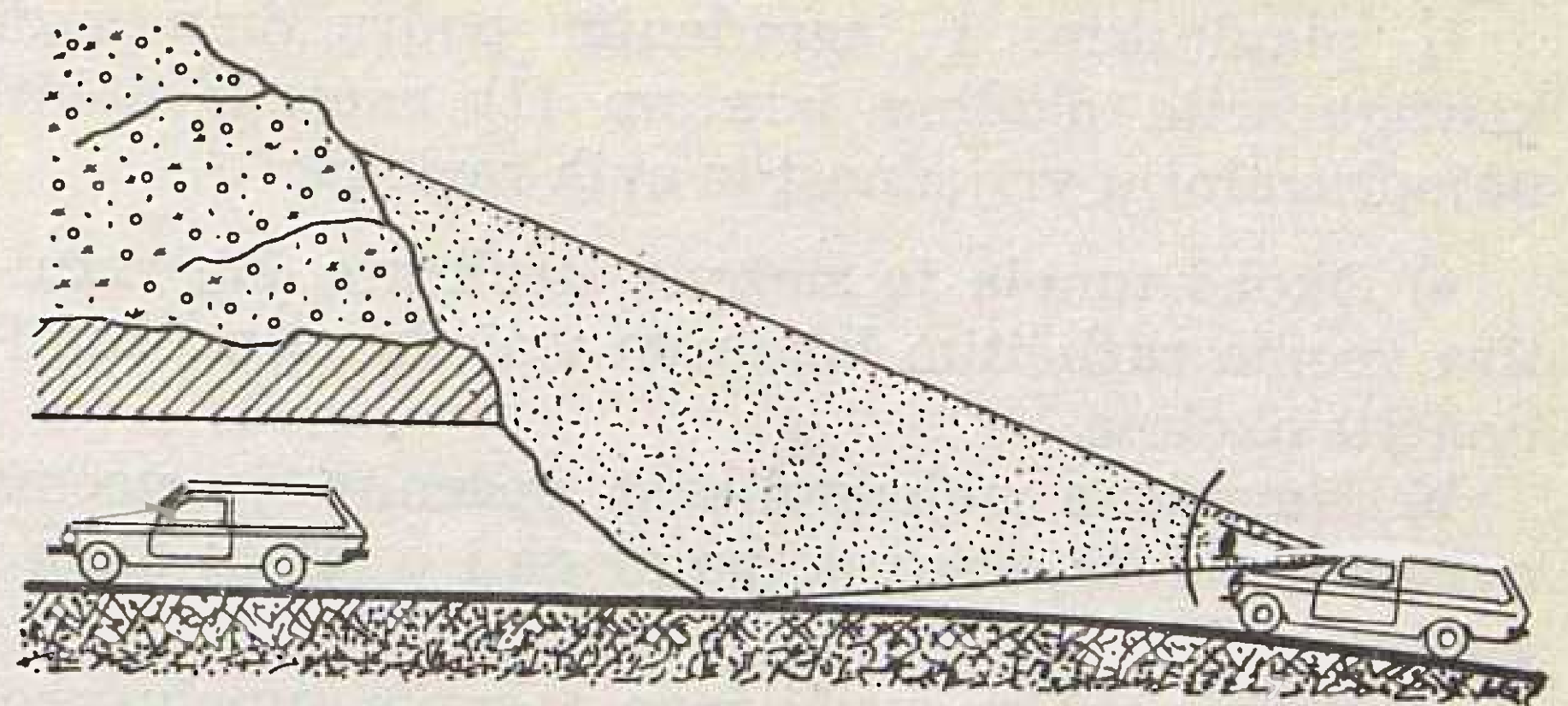
$\pi = 3,14$

$E_m = 100\,000\text{ lx}$ — srednja mjerodavna horizontalna rasvjetljenost u zoni prilaza.

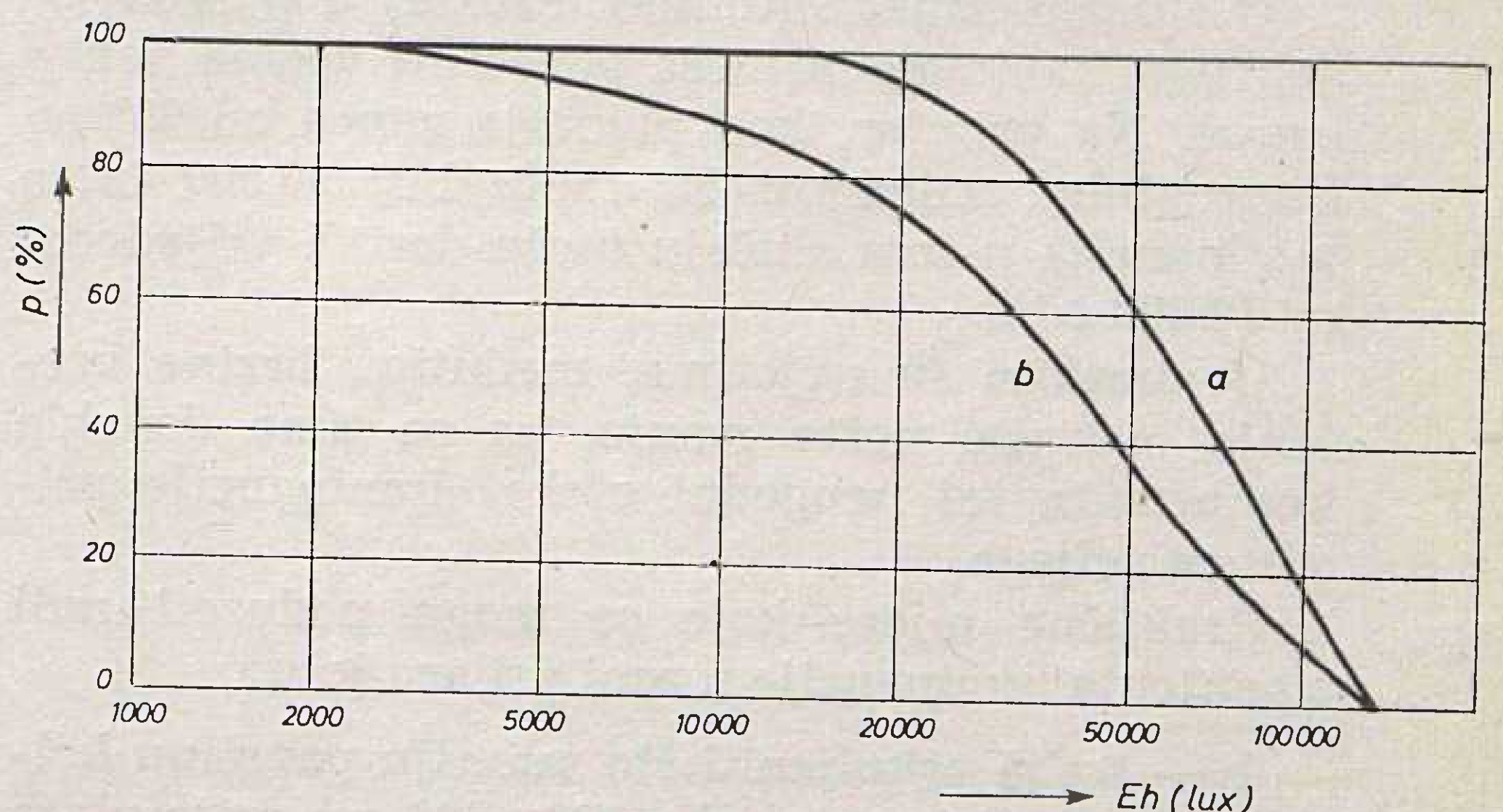
Uz navedene pretpostavke dobivamo vrijednosti od:

$$L_o = \frac{0,25}{3,14} \cdot 100\,000 = 8\,000 \text{ (cd/m}^2\text{)}.$$

$$\times 100\,000 = 8\,000 \text{ (cd/m}^2\text{)}.$$



Sl. 3. Luminacija u zoni prilaza ovisna je o konfiguraciji okoliša otvora tunela: a) planinski tunel, b) tunel u ravničarskom predjelu ili u gradskom području c) tunel ispod vodotoka.



Sl. 4. Kumulativna učestalost vrijednosti horizontalne rasvjetljenosti danjeg svjetla: a) srednja — središnji dio dana — ljeta, b) srednja — središnji dio dana — tokom čitave godine.

Ta se vrijednost koristi kao maksimalna vrijednost luminancije prilazne zone. Ovdje valja naglasiti da je u svakom konkretnom slučaju potrebno uzimati u obzir učestalost pojave tako visoke vrijednosti tokom godine. Ako su to samo izuzetno rijetki slučajevi, postavlja se opravdano pitanje instaliranja relativno skupe instalacije rasvjete u tunelu koja će u većini raditi s nižim nivoima.

¹ Podaci se odnose na Nizozemsku.

² U našim područjima, posebno u primorskim i dalmatinskim, mogu se očekivati i veće vrijednosti (oko 130 000 lx).

U planinskim i izgrađenim područjima radi konfiguracije okoline izrazom (1) nećemo dobiti najoptimalniju vrijednost iz ovih razloga:

a) Okoliš tunela je složene strukture, što rezultira veoma različitim lokalnim vrijednostima luminancije okoline.

b) Navedena nejednolikost općenito je veoma ovisna o položaju sunca, pa stoga i o dijelu dana i godine.

c) Vozač koji se približava takvom tunelu prolazi kroz područja s veoma velikim stupnjem nejednolikosti luminancije okoline (zgrade, drveće, otvorene dionice itd.).

d) Najčešće je u planinskim područjima prisutan snijeg.

Dovoljno točna vrijednost L_0 može se u tim slučajevima dobiti tako da se izmjere tri karakteristične vrijednosti srednje luminancije unutar vidnog polja na udaljenostima 250 m, 150 m, i 50 m od ulaza u tunel.¹ Mjerenja treba obaviti kad je nebo vedro u proljetnim i ljetnim mjesecima između 9,30 i 14,30 sati ili općenito u vrijeme kada se mogu očekivati maksimalne vrijednosti luminancije s obzirom na položaj sunca.

Luminancija prilazne zone dobije se zatim na temelju izraza:

$$L_0 = \frac{L_{d1} + 2L_{d2} + 3L_{d3}}{6} \text{ (cd/m}^2\text{)} \quad (2)$$

gdje su:

L_{d1} , L_{d2} i L_{d3} — karakteristične izmjerene vrijednosti srednje luminancije okoliša za udaljenosti $d_1 = 250$ m; $d_2 = 150$ m i $d_3 = 50$ m.

U slučaju snijega (totalni difuzor) u punom vidokrugu luminancija može poprimiti veoma velike iznose. Na primjer, kod položaja sunca od 25° od horizontale, vrijednost E_m može biti 30 000 lx, a luminancija u tom slučaju može dostići vrijednost od 10 000 cd/m².

U zimskim su uvjetima, međutim, brzine kretanja općenito nešto manje, pa se time donekle kompenzira taj neugodni efekat luminancije prisutnog snijega.

Praktične mjere koje se mogu poduzeti radi smanjenja luminancije u zoni prilaza jesu:

1 — treba primijeniti što tamniju površinu kolnika na dionici ceste (oko 100—200 m) prije ulaza u tunel;

2 — u usjecima valja izvesti zidove grube strukture i po mogućnosti obojati tamno, koristiti materijale s faktorom refleksije manji od 20%;

3 — portal ulaza u tunel treba obojati tamno i izvesti s grubom površinskom strukturom;

4 — pošumiti čitav okoliš ulaza tunela;

5 — treba izbjegavati orijentaciju istok—zapad, a ako je to nemoguće, izvesti konstruktivno ulaz

tunela da se nisko sunce ili dio svijetlog neba ne može zapaziti iz položaja vozača prije ulaza u tunel.

6 — treba privući pažnju vozača na sam intenzivno rasvijetljen ulaz tunela.

Nadalje, treba navesti da je u zoni prilaza za vozača veoma važno da sa znatne udaljenosti može pratiti pravilan tok ceste. To se može postići mjerama kojima se udovoljava zahtjevu dobrog optičkog vođenja. Poželjno je npr. da se niz svjetiljki na ulaznoj zoni vidi iz prilazne zone.

3. 3. Luminancija zone praga (L_1) i prijelazne zone (L_2)

Da bi se spriječio efekt crnog otvora potrebno je da odnos L_0/L_1 bude barem 10.

U praksi taj odnos može biti izuzetno do 15, a kod viših treba s gledišta sigurnosti prometa poduzeti dodatne mjere ograničenja brzine kretanja vozila ili održavanje minimalno dopuštene udaljenosti između vozila.

Ekstremni slučaj ograničenja brzine kretanja jest slučaj tunela s naplatnim rampama. Ako je udaljenost od naplatne rampe do ulaza u tunel manja ili jednaka 50 m, vrijednost luminancija u zoni praga može iznositi samo nekoliko postotaka vrijednosti luminancije prilazne zone.

Dužina zone praga proizlazi iz zahtjeva potrebe zapažanja karakteristične prepreke veličine 20 x 20 cm na udaljenosti od 100 m (ovisno o brzini vožnje). Luminancija zone praga L_1 treba biti takva da jamči zapažanja prepreke na svijetloj pozadini površine kolnika. To znači da minimalna dužina zone praga treba biti približno 120 m (20 m svijetle pozadine). Međutim, čim vozač uđe u tunel, počinje proces adaptacije oka na znatno niži nivo luminancije zone praga, pa stoga dužina zone praga (kod manjih dopuštenih brzina) može biti i ispod 100 m.

Luminancija zone praga treba biti konstantna.

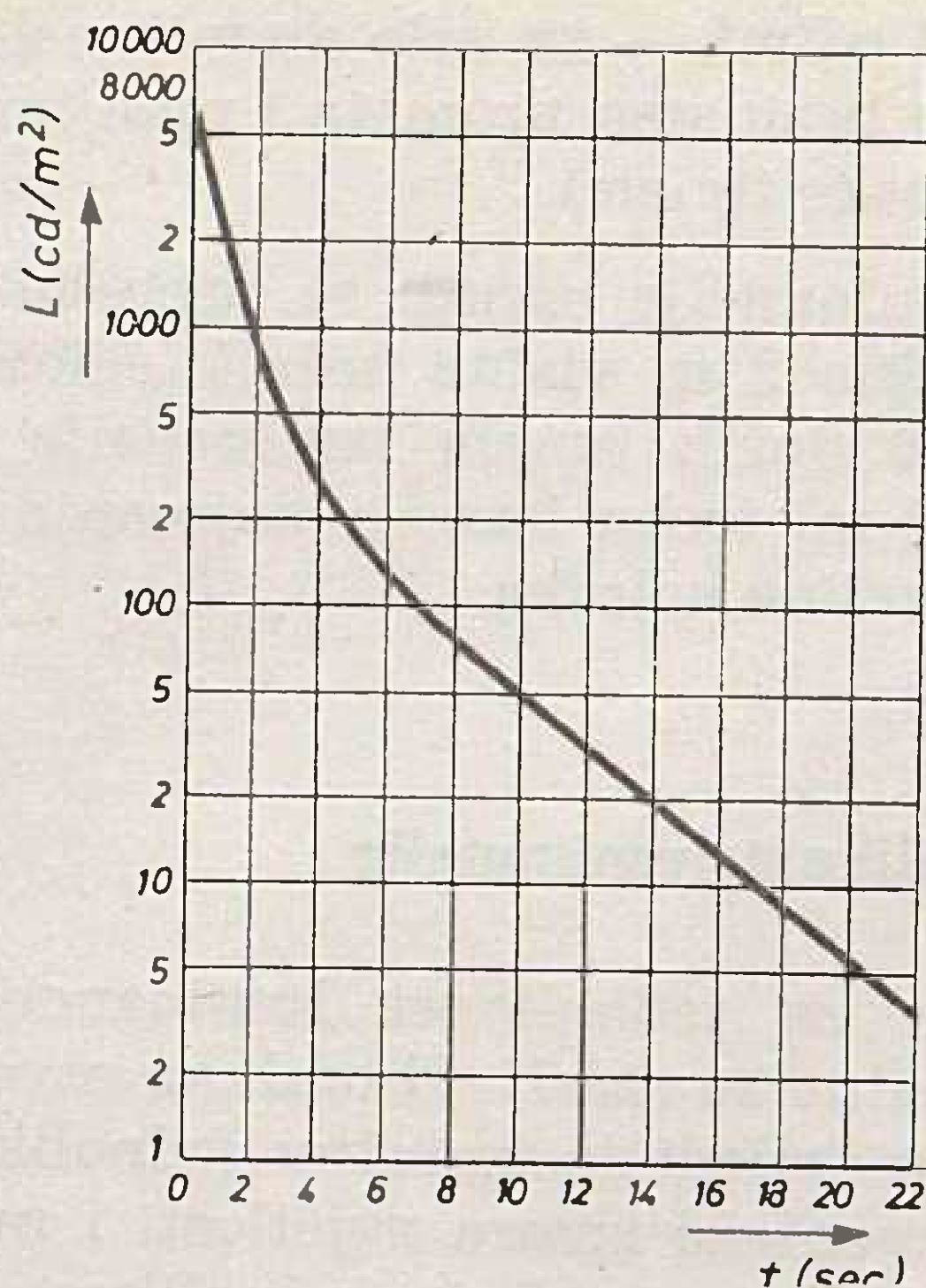
Od trenutka ulaza u tunel počinje proces adaptacije ljudskog oka na luminanciju tunela. Za praksu je najvažnije pitanje na koji iznos smije pasti nivo luminancije u tunelu koji će jamčiti sigurno i udobno zapažanje.

Dozvoljene promjene vrijednosti luminancije, koje omogućuju postepenu adaptaciju ljudskog oka u određenom intervalu vremena, a jamče zapažanje kritične prepreke, dobivene su eksperimentalnim putem (Kabayama i Schrender) i prikazane su na slici 5.

Ovisno o rezultatima prema krivulji 5, na slici 6. su prikazane sve preporučene vrijednosti luminancije u pojedinim zonama i dužine tih zona za brzinu kretanja od 75 km/sat.

U praktičnim realizacijama idealna krivulja vrijednosti luminancije prijelazne zone zamjenjuje se stepenastom uz uvjet da nijedan stupanj ne prelazi odnos luminancije 3:1 (slika 7).

¹ Te udaljenosti dane su za brzinu kretanja od 50 km/sat. Za veće brzine mogu se uzeti nešto veće udaljenosti.



Sl. 5. Križulja dozvoljenih promjena vrijednosti luminancije koje jamče postepenu adaptaciju oka vozača u određenom vremenu.

U praksi postoji nekoliko načina rasvjete zone praga:

1 — otvorenim zaslonom koji prigušuje dnevno svjetlo i koji se postavlja ispred ulaza u tunel pa taj natkriti dio ceste predstavlja zonu praga,

2 — zatvorenim zaslonom koji samo propušta dnevno svjetlo. Obično se izvodi staklenim opekama,

3 — električnom rasvjetom,

4 — kombinacijom pod 1), 2) i 3).

Slučajevi pod 1) i 2) pokazali su u praksi velike nedostatke, a osim toga to su veoma skupa rješenja.

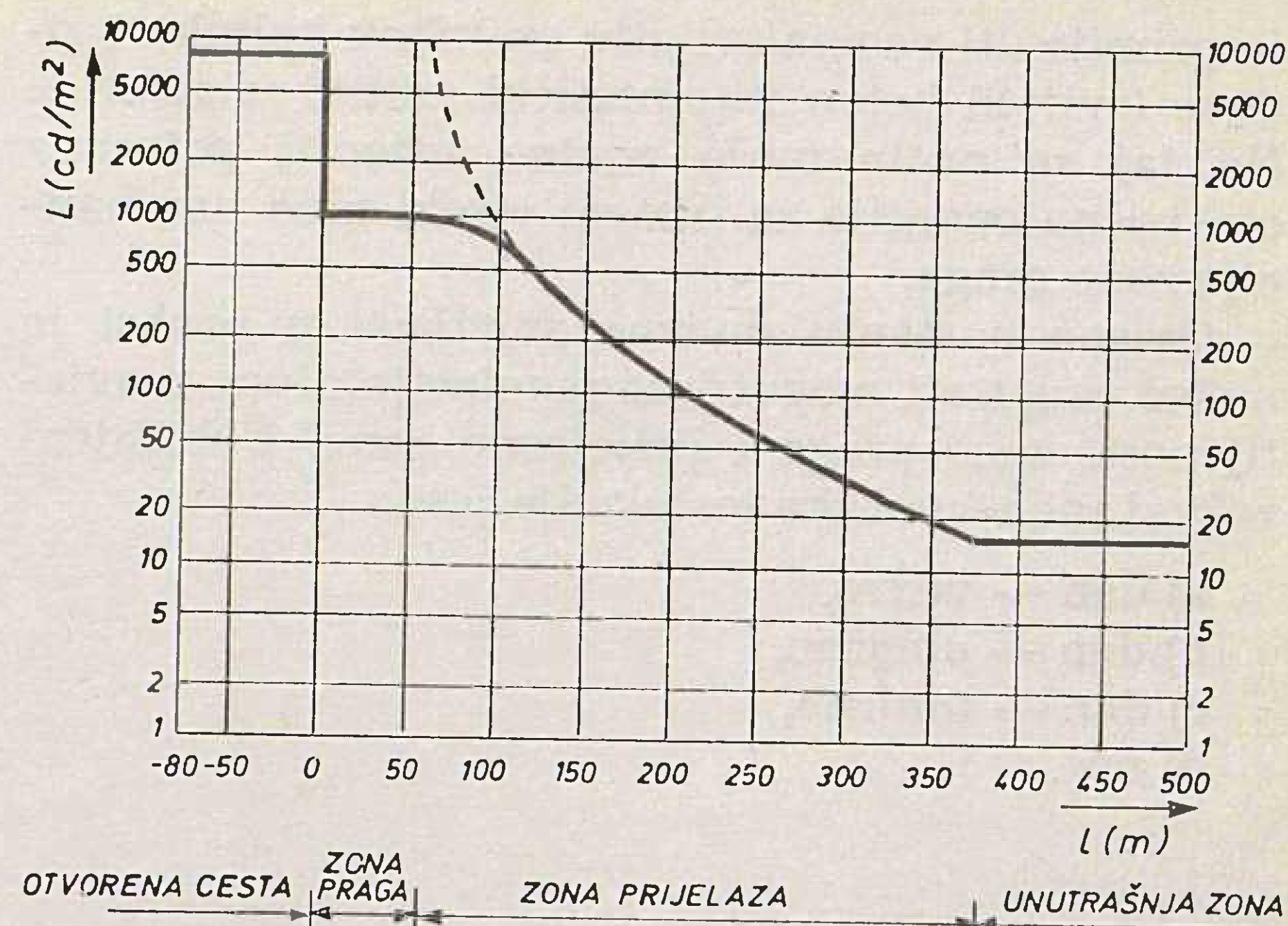
Pojava novih snažnih izvora svjetlosti kao što su natriji visokog i niskog tlaka omogućila je da se i tako visoki traženi nivo luminancije u zoni praga relativno lako i jeftino realiziraju.

Spretnim rasporedom izvora svjetlosti i njihovim grupiranjem prilično se lako udovoljava zahtjevima stepenaste krivulje tražene luminancije u prijelaznoj zoni.

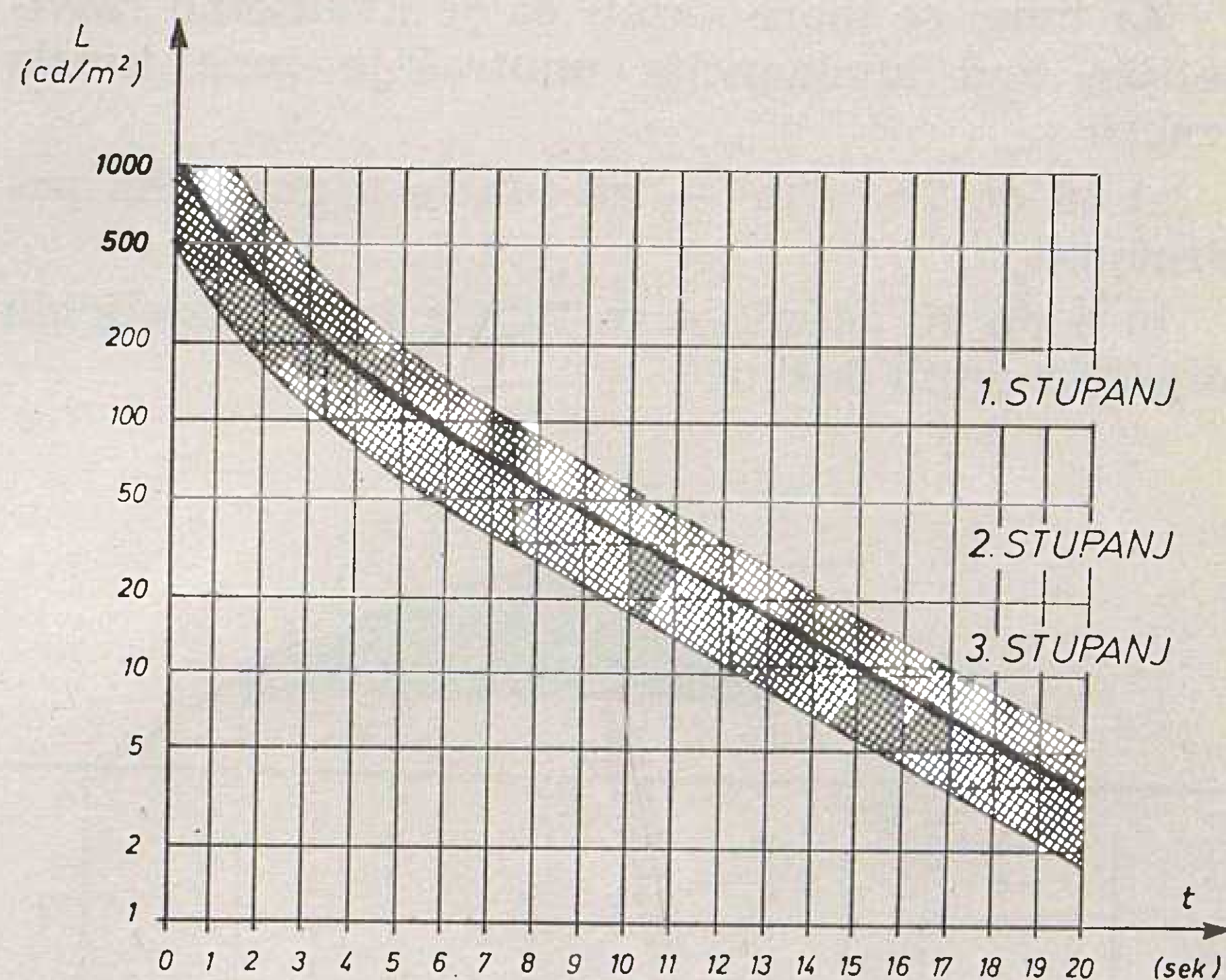
Dnevna svjetlost koja ulazi u tunel može se zanemariti nakon nekoliko metara ulaza u tunel. Raspodjela horizontalne rasvjetljenosti pada na nekoliko postotaka rasvjetljenosti od one izvan tunela (slika 8). Vidljivo je da već nakon 6 m od ulaza vrijednosti vanjske horizontalne rasvjetljenosti pada na samih 1%.

Drugačije, međutim, stoji s luminancijom za normalne upadne kutove sunčane svjetlosti pri ulazu u tunel. U tom slučaju luminancija u pravcu vozačevog oka relativno je beznačajna jer se veći dio upadne svjetlosti reflektira od vozačeva oka. Situacija je sasvim drugačija na izlazu tunela. Veći dio svjetlosti s površine kolnika i zidova reflektira se direktno u pravcu vozača.

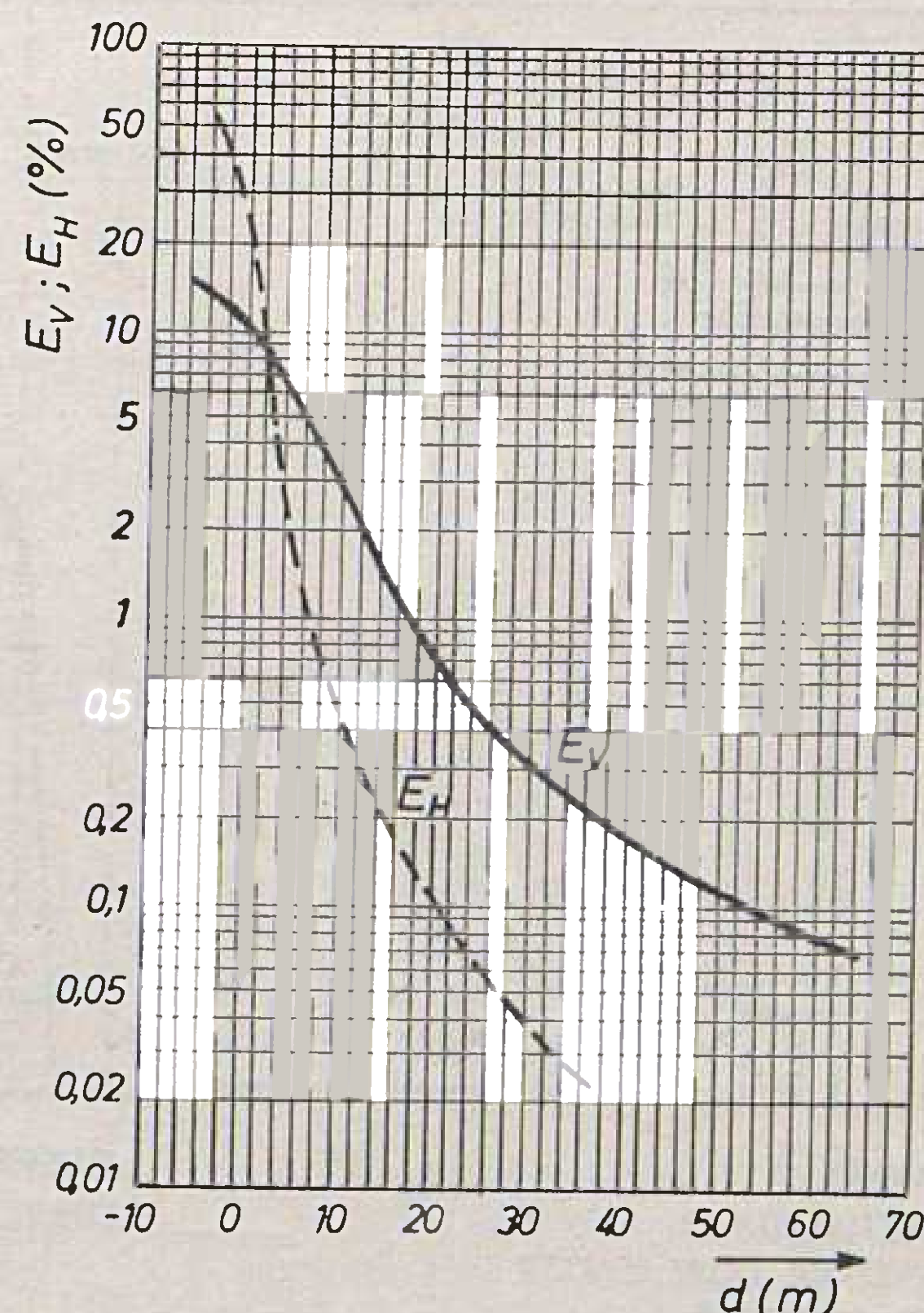
Luminanciju zone praga moguće je povećati i konstruktivnim elementima tunela. Preporučljivo



Sl. 6. Traženi zahtjevi promjene luminancije tunela za brzinu vožnje od 75 km/sat



Sl. 7. Prikaz načina stupnjevanja krivulje dopuštenih promjena luminancije. Odnos luminancije na početku i na kraju svakog stupnja smije biti najviše 3 : 1



Sl. 8. Utjecaj vanjske (dnevne) rasvjetljenosti na rasvjetu u tunelu ovisne o udaljenosti od ulaza u tunel. Postoji se odnose na rasvjetljenost

je primijeniti veoma svijetlu površinu kolnika i zidove (svijetli beton ili sintetički aditivi u asfaltu). Na taj se način može znatno uštediti potrebna električna energija za traženi visoki nivo luminancije zone praga.

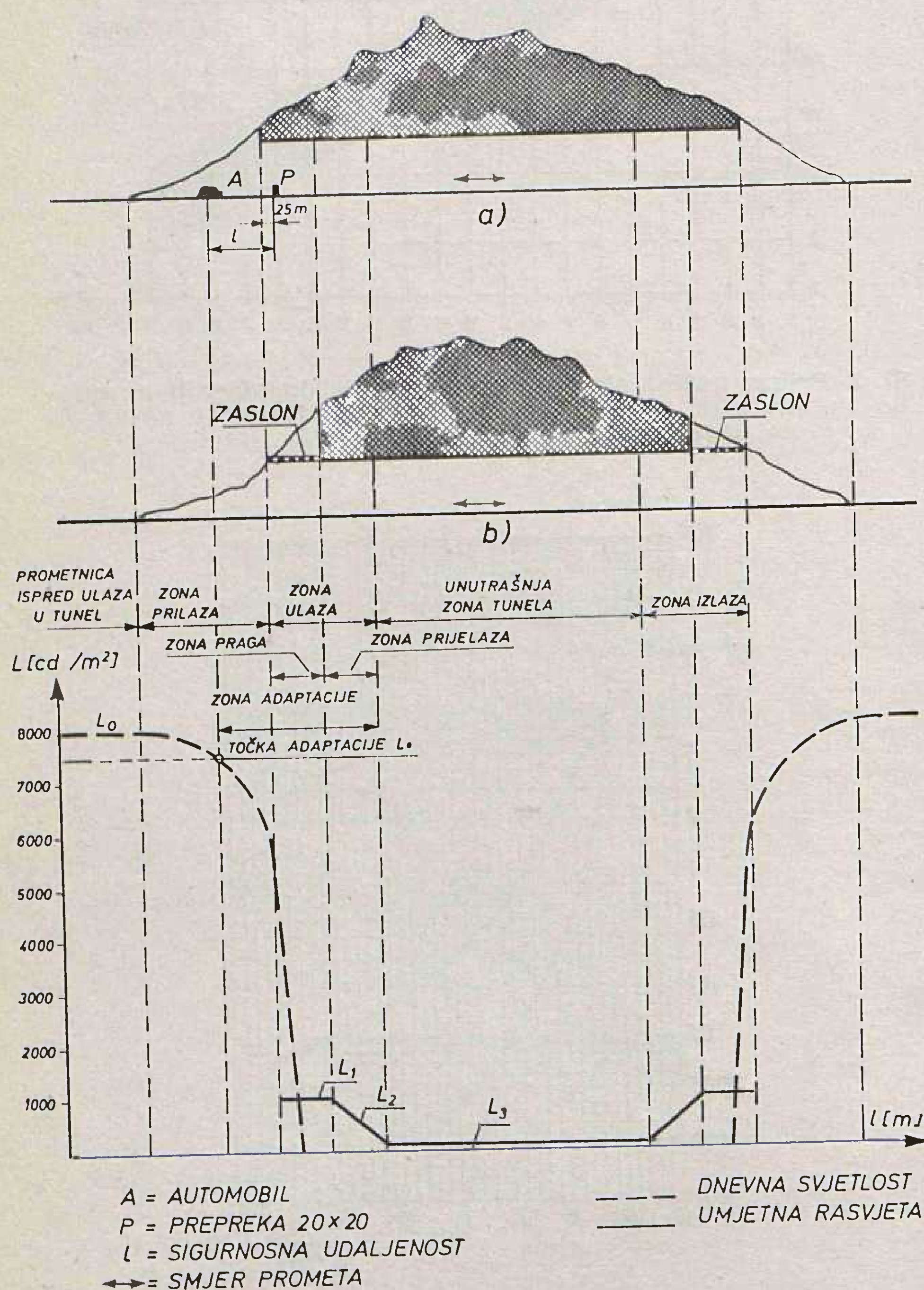
Ovisno o stanju dnevne svjetlosti u praksi je nužno osigurati mogućnost regulacije nivoa rasvjetljenosti zone praga i prijelazne zone. Uobičajeni režimi rada tunelske instalacije jesu:

- a) dan — vedro,
- b) dan — oblačno,
- c) dan — tmurno,
- d) noć.

3. 4. Luminancija unutrašnje zone tunela (L_3)

Za tunel se može kazati da je kvalitetno rasvijetljen kad luminancija unutrašnje zone tunela iznosi:

- a) 10 do 20 cd/m^2 — za tunele u gradskim područjima,
- b) 5 do 10 cd/m^2 — za tunele izvan naseljenih mjesta manjih dužina,



Sl. 9. Definicije pojedinih zona tunela: a) tunel bez zaslona, b) tunel sa zaslonom

c) 3 do 5 cd/m^2 — za vrlo duge tunele s manjim dopuštenim brzinama prometa i manjim prometom (npr. planinske tunele).

Nivo luminancije odnosi se pretežno na kolnik i na približno 2 m visine bočnih zidova za kraće tunele. Kod dužih tunela luminancija zidova (do visine od 2 m) treba iznositi najmanje 30% luminancije površine kolnika.

3. 5. Jednolikost luminancije

Zahtjevi za jednolikost luminancije površine kolnika znatno su stroži od onih na otvorenoj cesti. To posebno vrijedi za uzdužnu jednolikost, a kako su visina montaže izvora svjetlosti i međurazmaci relativno mali, na traženu jednolikost treba obratiti posebnu pažnju. U zoni i u prijelaznoj zoni to ne predstavlja neki naročiti problem jer su izvori svjetlosti praktički jedan do drugog. Isto tako, kod primijenjenih izvora u nizu (fluorescentna rasvjeta) u unutrašnjoj zoni tunela postižu se visoki iznosi jednolikosti. Problemi se pojavljuju kod primjene snažnih izvora u unutrašnjoj zoni tunela (NaVT i NaNPI).

Preporučljivo je da srednja jednolikost luminancije (odnos minimalne i srednje luminancije) ne bude manja od 60% za kolnik i približno 2 m visine bočnih zidova. Naime, u procesu zapažanja niži dijelovi zidova sudjeluju isto kao i rasvijetljena površina kolnika.

3. 6. Luminancija izlazne zone tunela

Rasvjeta izlaza tunela općenito stvara mnogo manje poteškoće danju nego što je to slučaj s ulazom, jer je adaptacija ljudskog oka s niskih vrijednosti luminancije na visoke veoma brza i jer se sve prepreke ocrtavaju na osvijetljenom otvoru izlaza. Vrijednost od približno 20 cd/m^2 praktički zadovoljava sve slučajeve.

Kod tunela za dvosmjerni promet oba kraja tunela treba tretirati kao zonu praga.

Na slici 9. dan je grafički prikaz svih definiranih zona kao i približni međusobni odnosi luminancija pojedinih zona.

3. 7. Rasvjeta tunela noću

Kad vozač noću izlazi iz dobro rasvijetljenog tunela na nerasvijetljenu ili slabo rasvijetljenu cestu, doživljava pojavu efekta crnog otvora (ovaj put na cesti). Stoga je nužno smanjiti rasvjetu tunela noću na vrijednost luminancije od 2 do 5 cd/m^2 , i to konstantno duž čitave dužine tunela.

Pristupne i odlazne ceste izvan tunela moraju se kvalitetno rasvijetliti na dužini od barem 200 m, a vrijednosti nivoa luminancije ne smiju biti manje od 30% od one u tunelu.

4. EFEKT TREPERENJA I MONOTONIJE

Svjetiljke u tunelu montirane s međurazmakom izazivaju pojavu efekta treperenja. To je posebno izraženo kod montaže svjetiljki na bočne zidove. Treperenje se očituje u promjeni luminancija zidova ili stropa a nastaje direktnim sukcesivnim kratkotrajnim blještanjem izvora svjetlosti ili refleksijom s vlastitih ili tuđih vozila.

Smetnje su prvenstveno ovisne o učestalosti pojave, zatim o vrsti izvora svjetlosti i, naravno, o brzini kretanja. Istraživanjima je utvrđeno područje smetnji koje se kreće od 2,5 do 15 Hz.

Slika 10. daje mogućnost praktičnog izbora odgovarajućeg međurazmaka svjetiljki ovisno o navedenim utjecajnim faktorima kako bi se izbjegla pojava efekta treperenja. Dijagram vrijedi za brzinu od 80 km/sat. Zatomnjeno područje na dijagramu valja izbjegavati.

Istraživanja su u novije vrijeme pokazala interesantnu ovisnost efekta treperenja o dužini tunela (sl. 11).

Što je tunel duži, to i dopuštena smetnja može biti manja, i obratno, kod kraćeg tunela dopušta se nešto jača smetnja. Pojava se temelji na efektu kumulacije psihičke smetnje, tako da ukupna kumulativna smetnja efekta treperenja (kod iste brzine vožnje) i za kratki i za dugi tunel bude približno ista. To u praksi veoma olakšava postavu svjetiljki kod kraćih i tunela srednje dužine (najviše zastupljeni), jer je područje zabrane znatno manje.

Kod veoma dugih tunela, jednolikost i harmonija rasvjetljenosti tunela (posebno centralne zone tunela) može izazvati osjećaj monotonije kod vozača, što može biti potencijalnim uzrokom prometne nesreće.

Prikladnim mjerama ta se pojava daje znatno ublažiti.

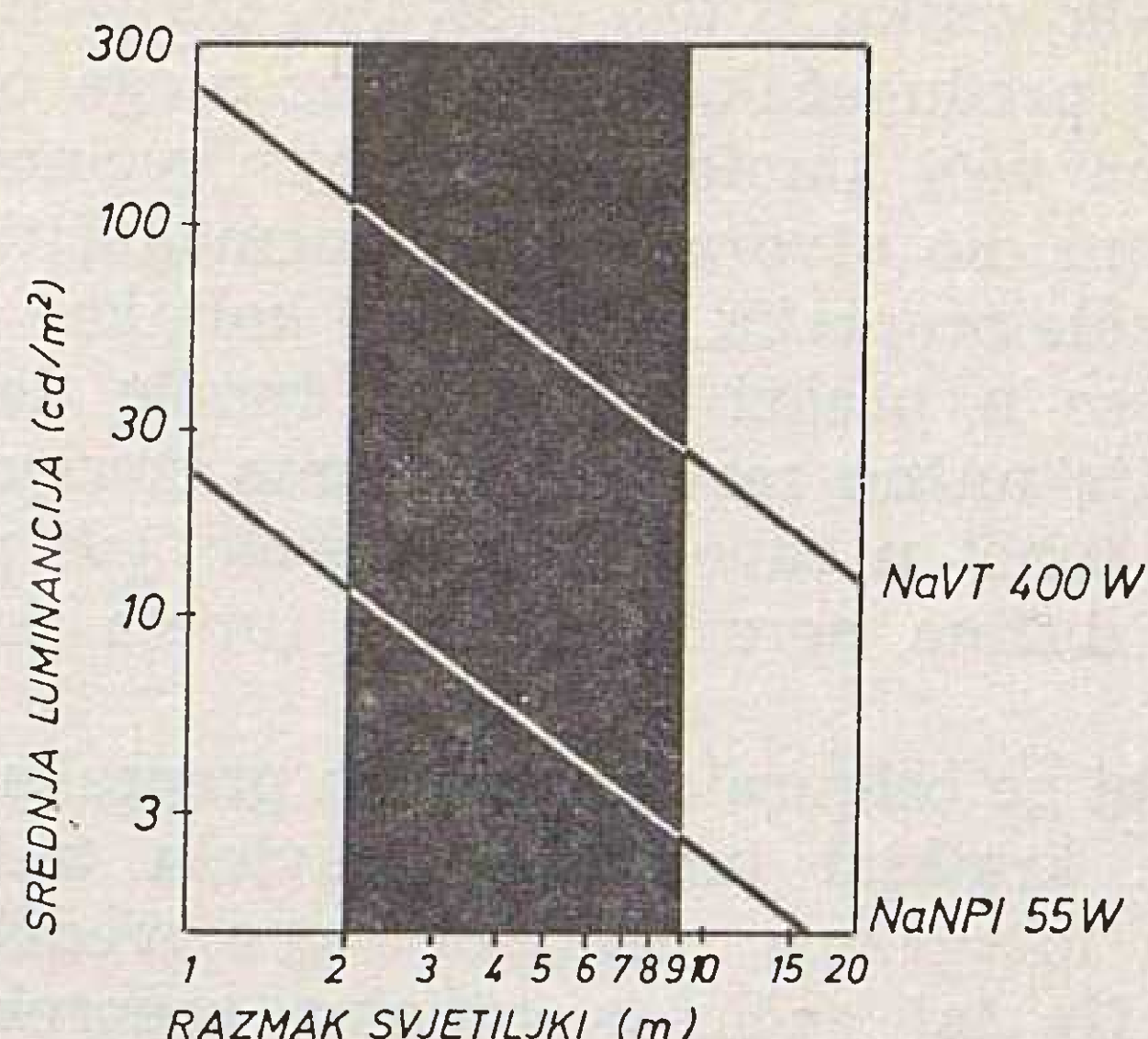
5. ISPUŠNI PLINOV I, PRAŠINA, VENTILACIJA I BUKA

Ispušni plinovi i oblaci prašine koji nastaju kao posljedica velikog prometa kroz tunel smanjuju vidljivost u tunelu. Osim toga, svjetiljke, zidovi i površina kolnika lako i brzo se prljaju pa im refleksiona svojstva opadaju.

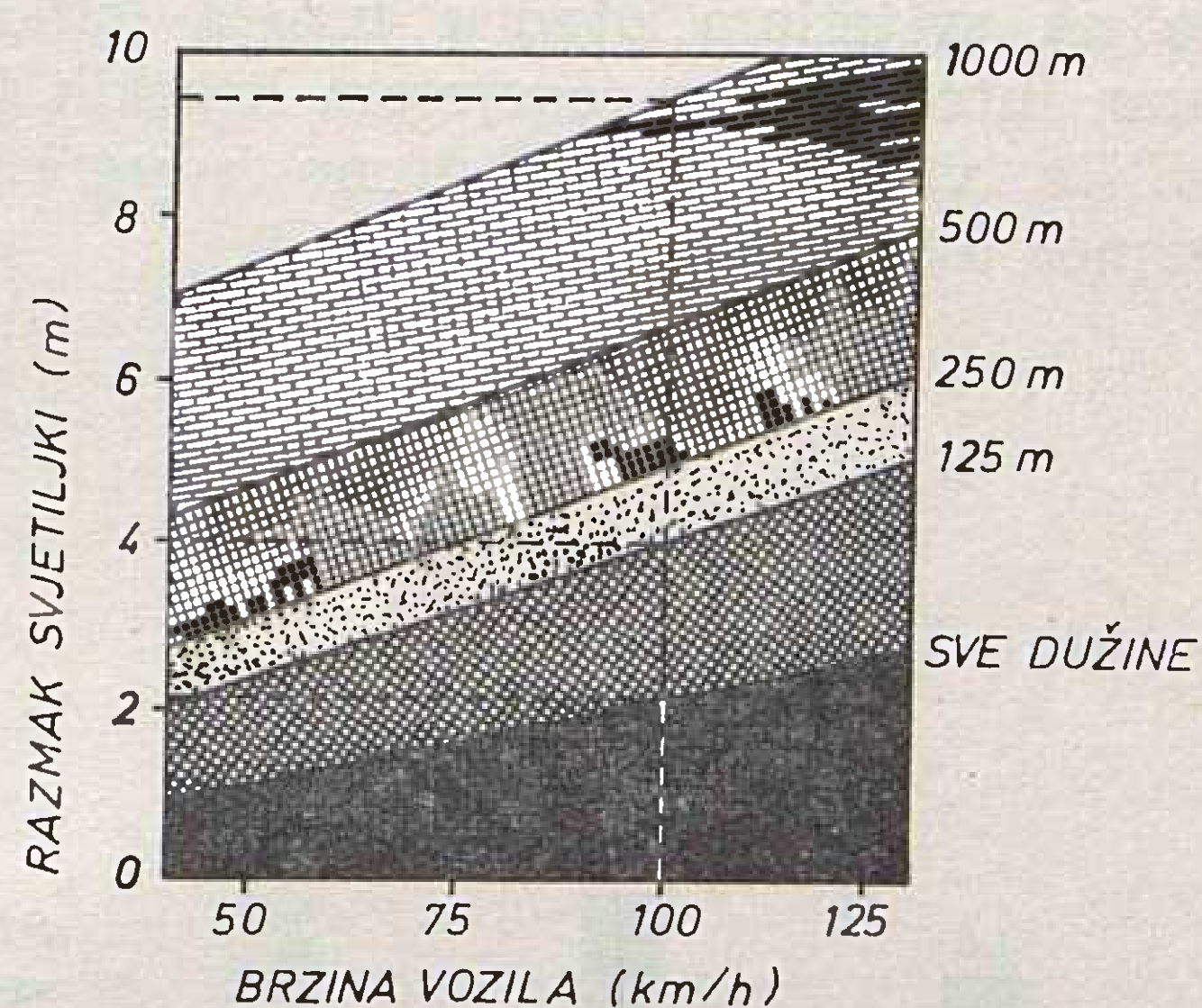
Stoga su i zahtjevi na rasvjetu u tunelu veći od onih na otvorenoj cesti. Ti se zahtjevi odnose i na sve elemente instalacije. U dužim tunelima preporuča se dobra i efikasna ventilacija.

Prašina i čađa taloži se na zidovima i svjetiljkama i njih je ventilacijom nemoguće odstraniti. Zato je nužno redovito pranje i čišćenje, posebno zidova tunela i svjetiljki.

Buka se sprečava konstruktivnijim oblikom poprečnog profila tunela i dodatnom zvučnom izolacijom koju se montira na strop. U praksi ta rješenja dolaze u obzir samo kod izuzetno jakog prometa.



Sl. 10. Ovisnost međurazmaka svjetiljki o srednjoj luminanciji za razne vrste izvora svjetlosti. Vrijednosti unutar tamnog područja valja izbjegavati.



Sl. 11. Ovisnost međurazmaka svjetiljki o brzini kretanja vozila za razne dužine tunela kako bi se izbjegao efekt treperenja (npr. kod tunela dužine 125 m treba izbjegavati razmake svjetiljki između 2,2 — 4,1 m, a kod tunela dužine 1000 m područje zabranjenih razmaka je od 2,2 do 9,5 m)

6. RASVJETA KRATKIH TUNELA

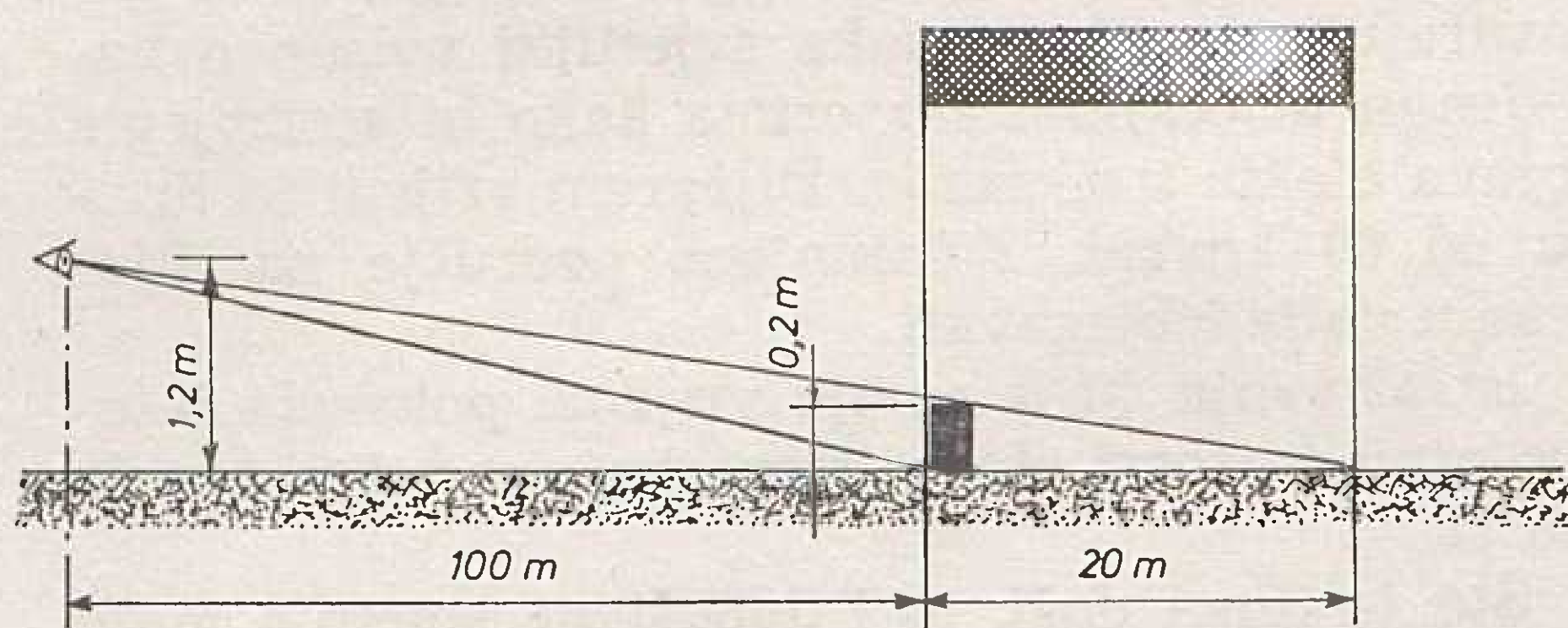
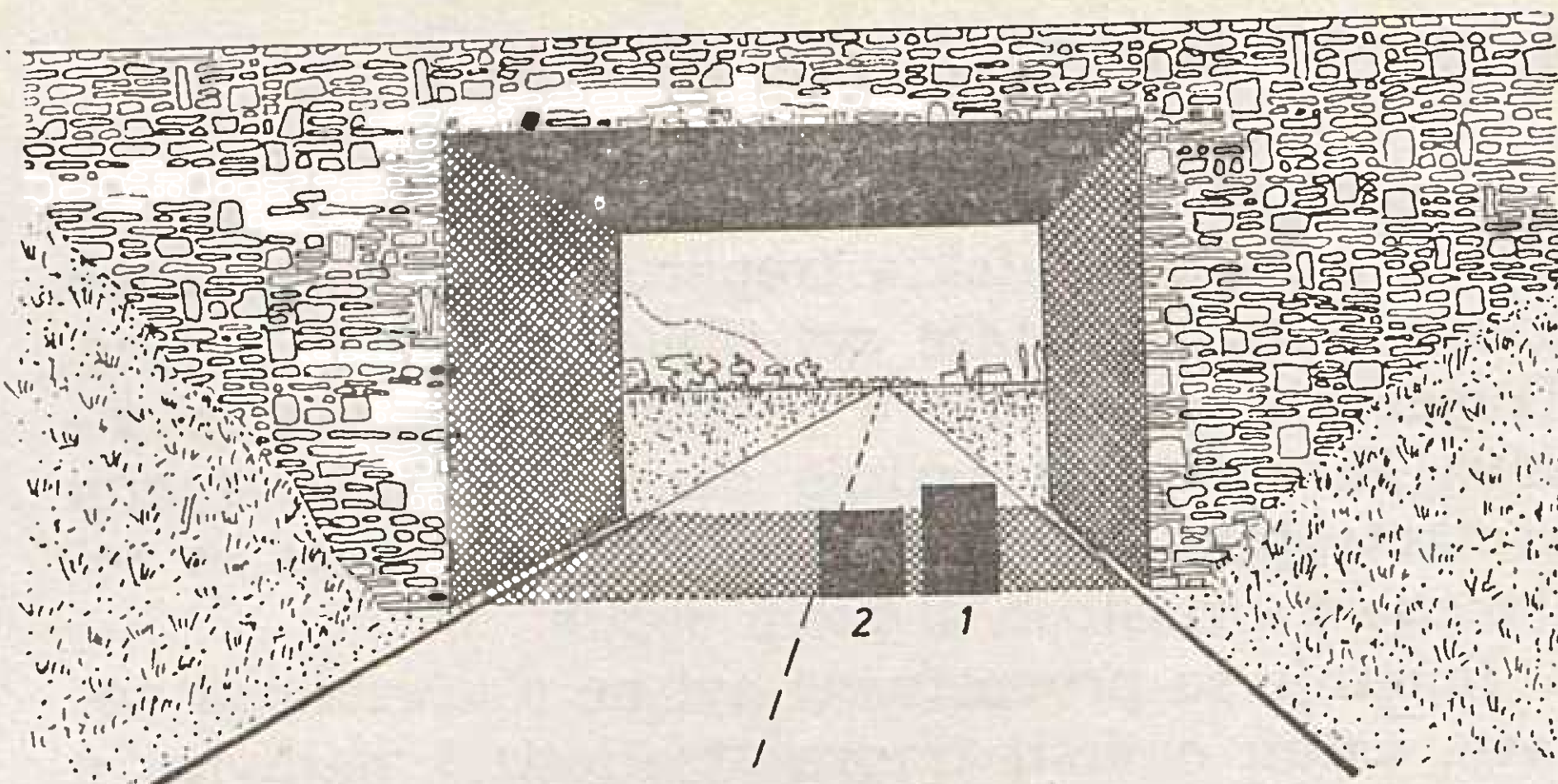
Tunel je sa stajališta rasvjete »kratak« kad su izlaz i njegova pozadina vidljivi s određene udaljenosti ispred tunela u normalnim prometnim uvjetima. Da li će izlaz biti vidljiv, ovisi o dispoziciji (nagibu ceste, krivini) i o duljini tunela. Kad je izlaz vidljiv, tunel se s neke udaljenosti čini vozaču kao crni okvir (slika 12). Da li je potrebna rasvjeta takvog tunela, ovisi o veličini tamnog polja koji se vidi na površini ceste i zidovima tunela. Ako je veličina tamnog polja manja od prepreke koju treba uočiti, prepreka će se uvijek ocrtavati na svijetloj pozadini i bit će vidljiva (makar i djelomično) kao pozitivna silueta. Takav je tunel nepotrebno rasvijetliti ako se za kriterij uzima samo zapažanje prepreke.

Kada prepreka veličine 20 x 20 cm treba biti vidljiva s udaljenosti od 100 m, maksimalna dužina tamnog dijela ravnog tunela treba biti manja od 20 m. To ne znači da sam tunel ne može biti i dulji od 20 m, posebno kad na zidovima imamo visok stupanj refleksije te je luminancija na ula-

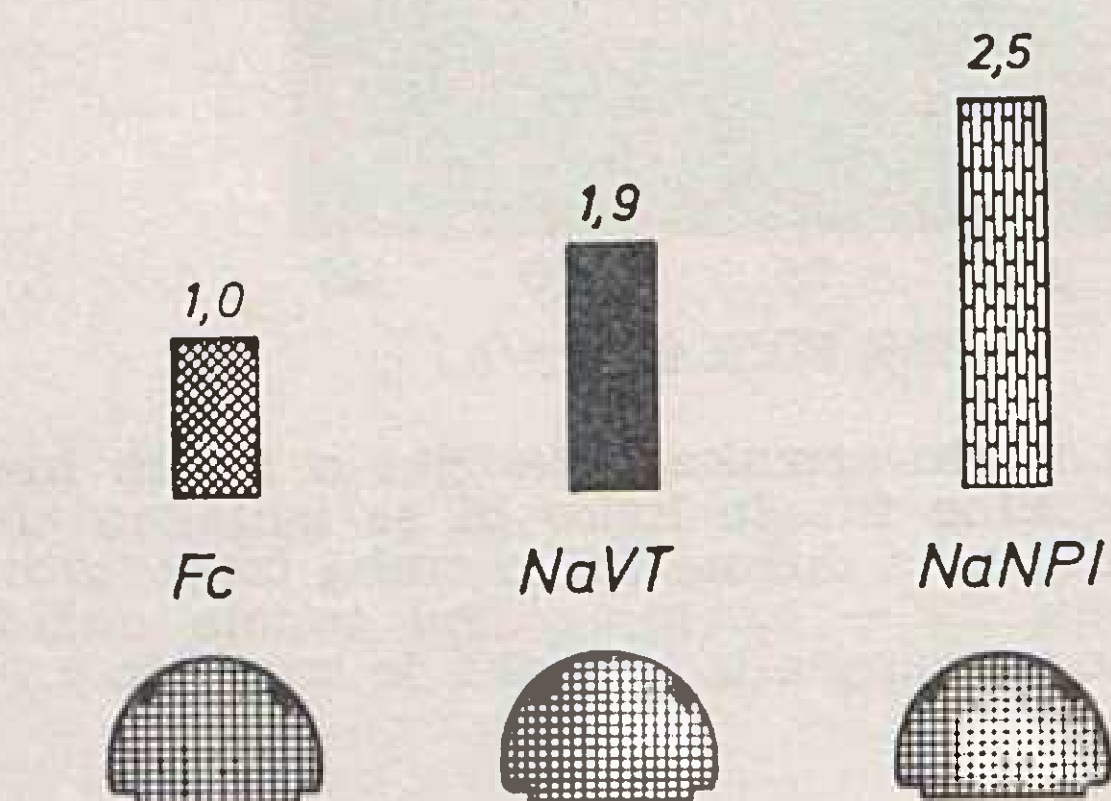
zima tunela velika. S druge strane, takav tunel ne smije biti predugačak, jer se kroz njega odvija i promet, pa veći kamion ili autobus većinom prekrije znatni dio otvora koji će onemogućiti ocrtaivanje siluete prepreka na površini kolnika.

Stoga se u praksi uzima da tunele do 50 m dužine nije nužno rasvijetliti. Samo izuzetno, ako je takav tunel u zavoju i uz veoma jak promet, granična dužina neraskvijetljenog tunela iznosi 25 m.

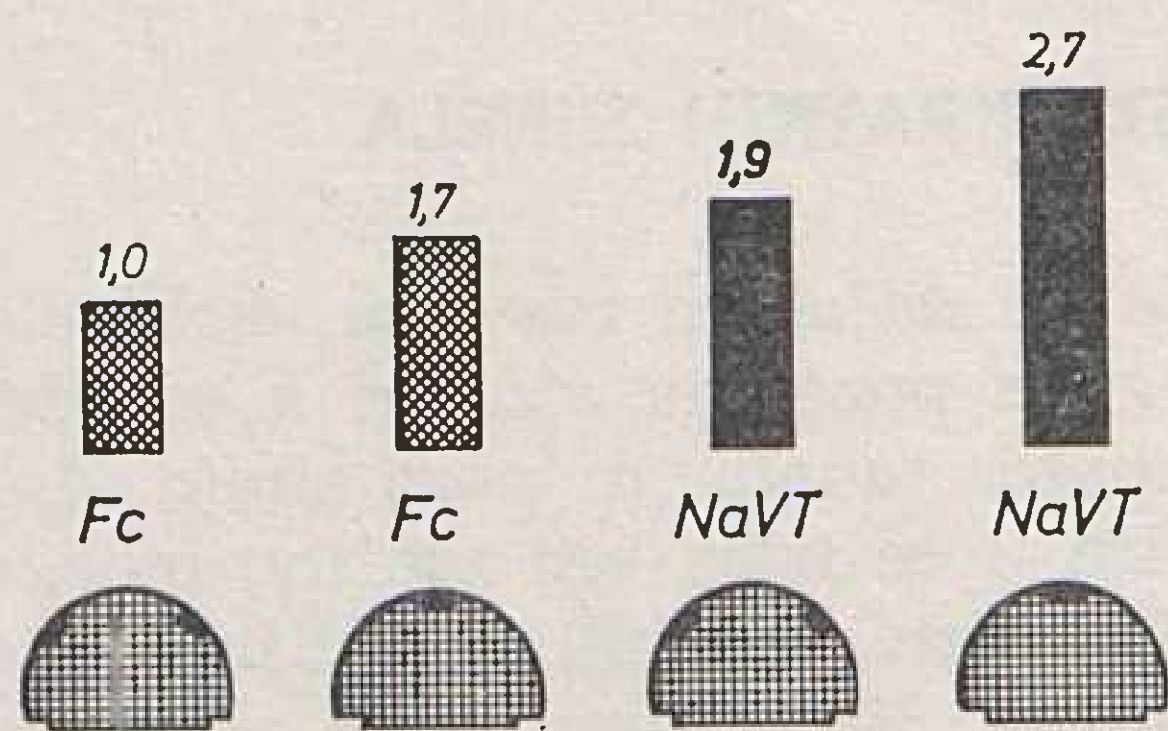
Kako bi se osiguralo zapažanje prepreke putem siluete u kratkim tunelima, rasvjeta treba biti takva da intenzivno rasvijetli samo središnji dio kolnika. Na taj način eventualna prepreka koja se nađe u prvom dijelu tunela ocrtat će se kao silueta na rasvijetljenoj površini kolnika; ona koja se nađe u zoni rasvjete vidljiva je od same rasvjete, a ona koja se nađe u drugom dijelu tunela, ocrtat će na svijetlom otvoru tunela (slika 13). Centralnom intenzivnom rasvjetom kratkih tunela (sa stajališta vidljivosti) relativno »dugi« tunel »pretvaramo« u dva »kratka«.



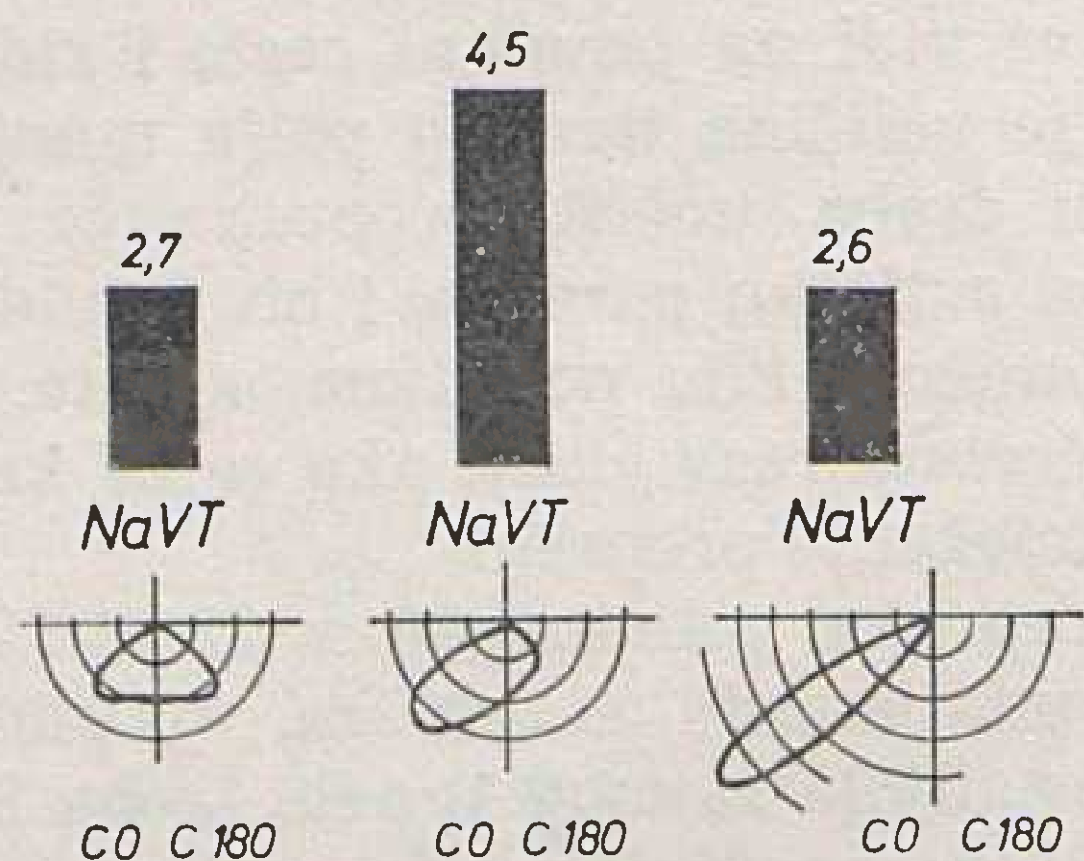
Sl. 12. Efekt crnog okvira kod »kratkog tunela«: prepreka 1 je vidljiva (veća od širine »crnog okvira«), prepreka 2 je nevidljiva (jednaka ili manja od širine »crnog okvira«)



a) Vrsta izvora svjetlosti

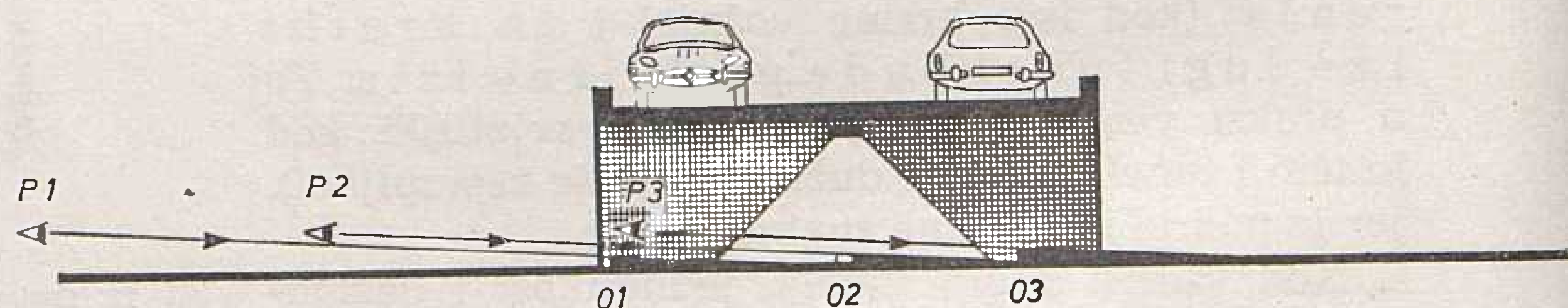


b) Raspored svjetiljki



c) Krivulje zračenja svjetlosti

Sl. 14. Iskoristivost luminancije »τ«



Sl. 13. Vidljivost prepreka u »kratkim tunelima«: P1, P2, P3 — položaji promatrača; 0,1 0,2 0,3 — prepreke u tunelu (01 i 03 — vidljiva putem pozitivne siluete 02 — vidljiva putem negativne siluete)

7. EKONOMIČNOST RASVJETE TUNELA

Strogost u zahtjevima za rasvjetu tunela uzrok je znatnih novčanih izdataka, pa se ekonomičnosti tunelske rasvjete treba pokloniti izuzetna pažnja. To se jednako odnosi na investicione kao i na troškove održavanja.

Na ekonomičnost tunelske rasvjete prvenstveno utječu:

- izbor odgovarajućeg izvora svjetlosti
- izbor vrste rasporeda
- izbor prikladne svjetiljke.

U troškovima održavanja znatnu stavku čine izdaci potrošene električne energije, pa je normalna težnja da ona bude što niža za iste svjetlotehničke zahtjeve.

Najnovija istraživanja na izvedenim rasvjetnim tunelskim instalacijama u Švicarskoj kazuju da se ispravnim izborom odgovarajućeg izvora svjetlosti, rasporeda, i svjetiljke mogu postići znatne uštede.

Kao komparabilna veličina uzeta je tzv. iskoristivost luminancije koja je definirana:

$$\tau = \frac{L_m (\text{cd/m}^2)}{P_k (\text{w/m}^2)} \quad (3)$$

gdje je:

L_m — srednja luminancija površine kolnika

P_k — instalirana snaga po metru kvadratnom površine kolnika.

Slika 14. a) prikazuje vrijednost »T« ovisno o primjeni različitih izvora svjetlosti za isti raspored, i to:

- a) fluorescentne cijevi (Fc)
- b) natrijske visokotlačne žarulje (NaVT)
- c) natrijske niskotlačne cijevi (NaNPI).

Slika 14. b daje komparaciju vrijednosti za » τ « za različite rasporede, i to:

- a) centralni,
- b) bočni.

Slika 14. c daje vrijednosti za τ za isti izvor, a različite karakteristike isijavanja svjetlosnog toka primijenjene svjetiljke.

Kod ove komparacije jednolikost luminancije i refleksiona svojstva površine kolnika u svim slučajevima u biti su približno isti ili su računski svedeni na približno iste vrijednosti.

Zaključak koji se nameće može se izreći: Najekonomičnija rješenja u rasvjetnim sistemima tunnelske rasvjete postižu se primjenom izvora svjetlosti s najvećom svjetlosnom iskoristivosti (natrij niskog tlaka), centralnim rasporedom i svjetiljkama

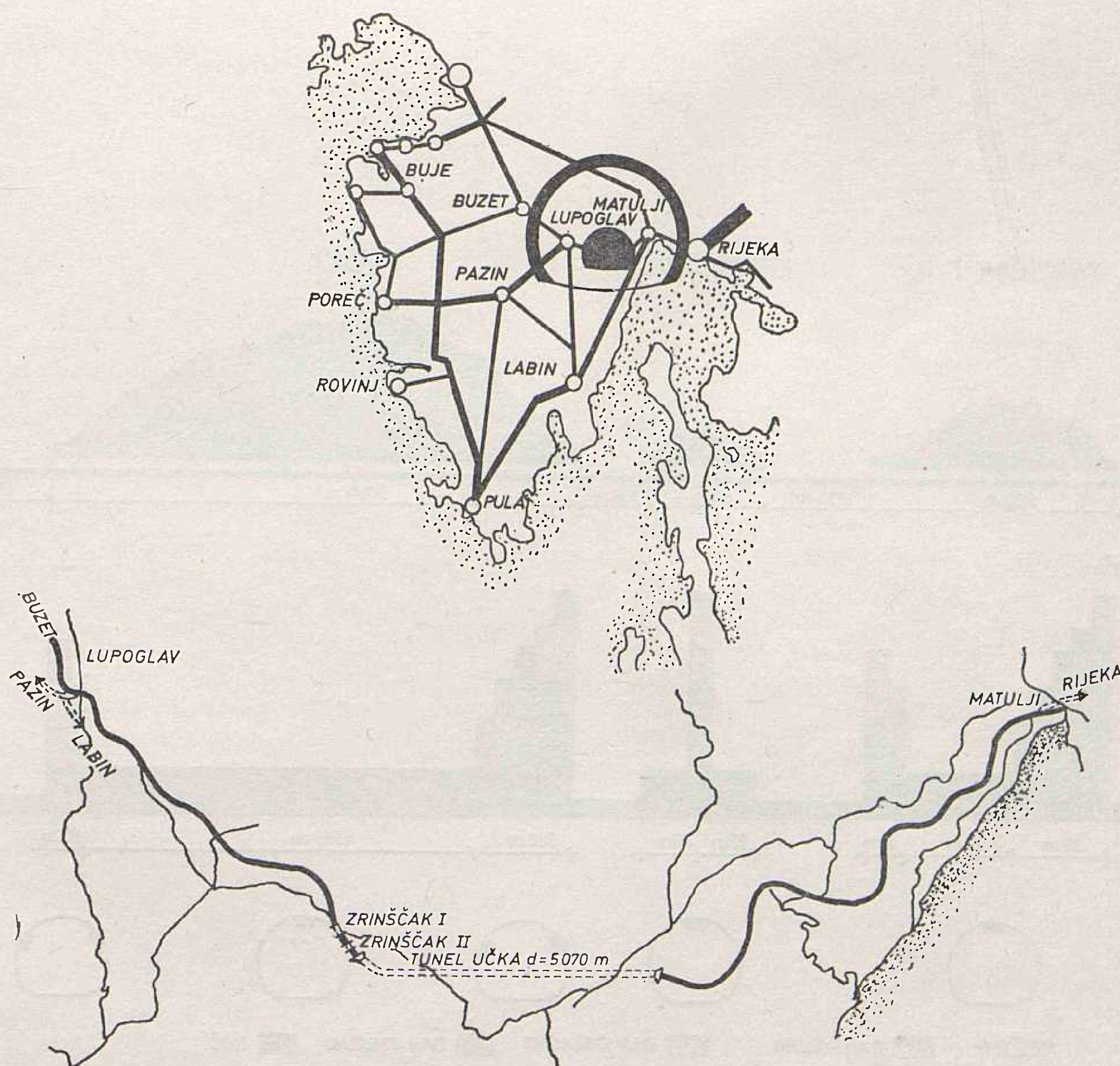
sa širokom asimetričnom karakteristikom u Č-0 ravnini (maksimalno isijavanje u smjeru kretanja vozila). U takvim rješenjima iskoristivost luminancije nekoliko je puta veća, što značajno smanjuje potrošnju električne energije, a posredno i troškove održavanja.

8. TUNEL »UČKA«

8. 1. Općenito

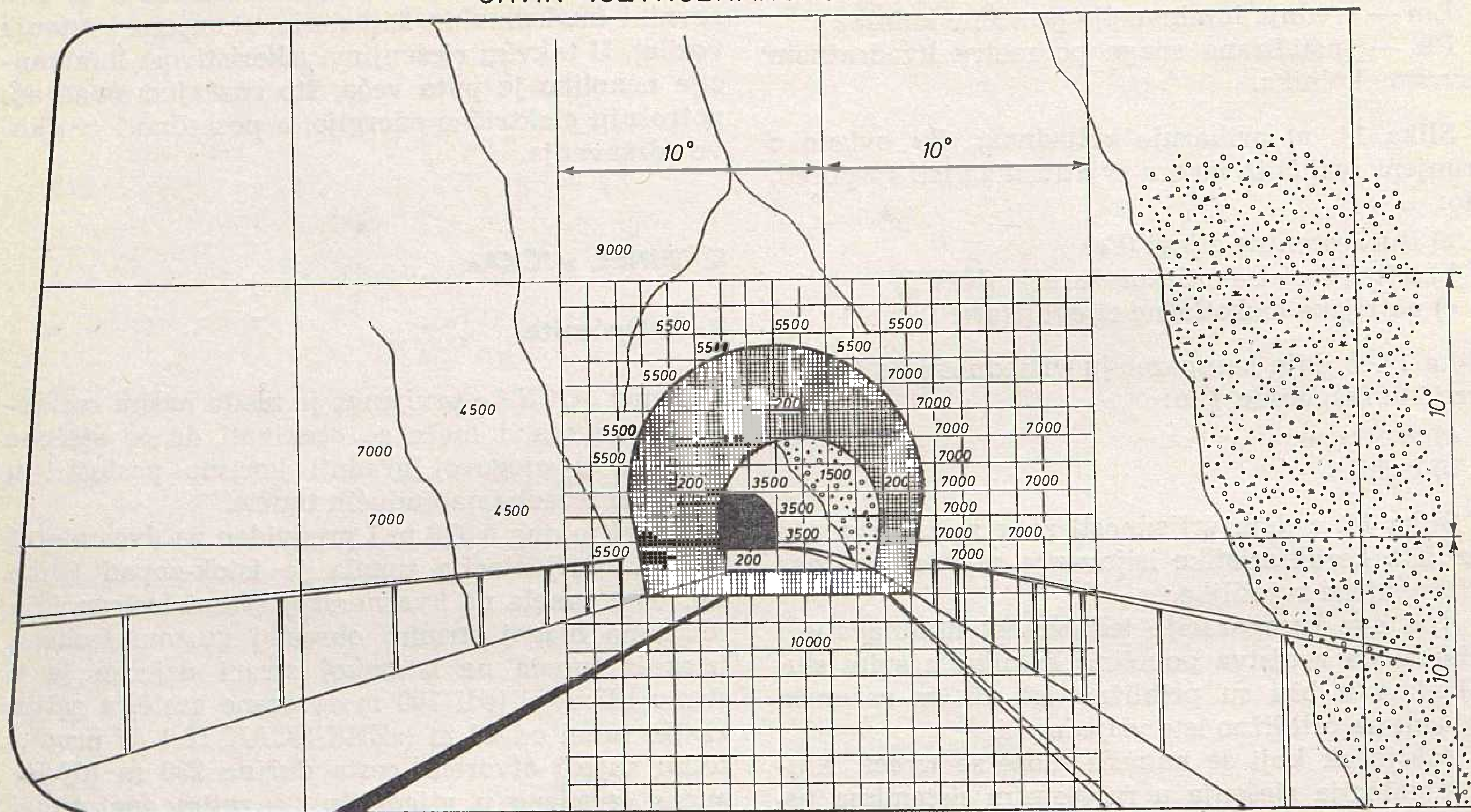
Tunel »UČKA« prvijenac je među našim cestovnim tunelima, i može se očekivati da će stečena iskustva u njegovoj gradnji korisno poslužiti u daljnjim izvedbama budućih tunela.

Tunel je dug 5 070 m i predviđen za dvosmjerni promet. Orijentacija tunela je istok-zapad (slika 15). Ulaz tunela na kvarnerskoj strani lociran je u relativno blagoj strmini obrasloj gustom šumom. Izlaz iz tunela na istarskoj strani usječen je u strmu liticu; slijedi 100 m otvorene ceste, a zatim kratki tunel od 50 m (»ZRINŠČAK II«). U produžetku slijedi otvorena cesta dužine 230 m (djelomično izvedeno u vijaduktu), a zatim opet tunel dug 200 m (»ZRINŠČAK I«). Okoliš je ovdje izrazito kamenit i pretežno bez raslinja, sa strmim okomitim liticama.

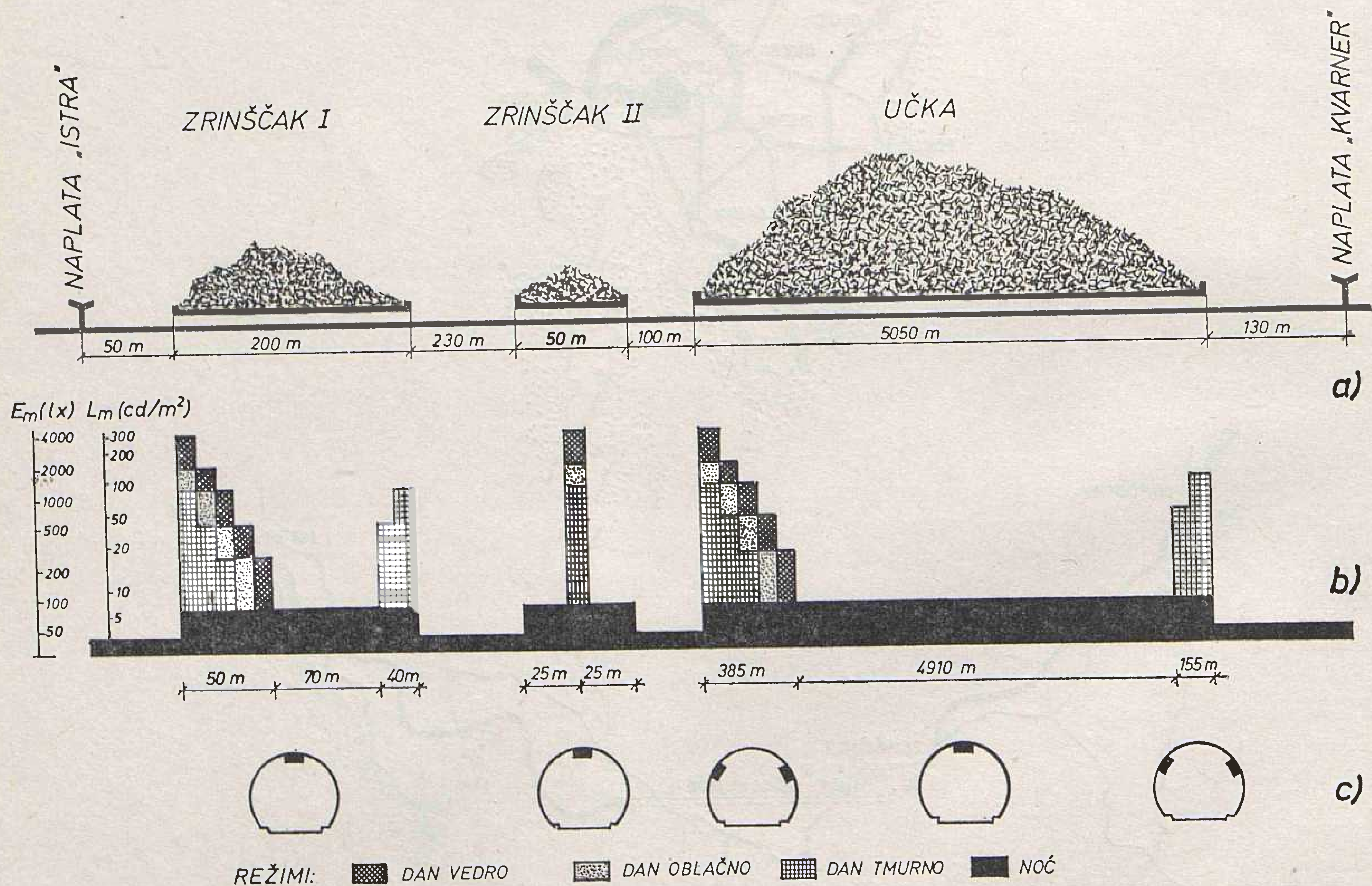


Sl. 15. Planirana cestovna mreža Istre i situacija tunela »UČKA«

OKVIR VJETROBRANSKOG STAKLA



Sl. 16. Skica izgleda prilazne zone tunelu s izmjerenim vrijednostima luminancije okoliša u cd/m^2 . Mjesto: 50 m ispred zapadnog portala, Zrinščaka II (vidi sliku 17.a) u pravcu otvora tunela »UČKA«. Mjereno 2. 7. 74. u 14,00 po vedrom vremenu. Srednja vrijednost $L_0 = 4.444 \text{ cd/m}^2$



Sl. 17. Tunel »UČKA« — shematski prikaz svjetlotehničkog rješenja

8. 2. Svjetlotehničko rješenje

Svjetlotehničko rješenje rasvjete tunela »UČKA« temelji se na izvršenim mjerenjima luminancije u zoni prilaza.

Prvo mjerenje obavljeno je 1974. godine luminancimetrom »Hagner S1« sa standardnih udaljenosti 50, 150 i 250 m od portala (slika 16). Na temelju tih mjerenja izrađen je projekt rasvjete tunela.

Preciznija mjerenja obavljena su 1976. godine (prof. Massart iz belgijske tvrtke »Schreder«) na temelju kojih je učinjena korekcija ranije projektiranih vrijenosti naniže.

U svjetlotehničkom pogledu pod tunel »UČKA« uzima se čitav prometni potez od portala »Kvarner« do izlaznog portala »Zrinščak I« na istarskoj strani (slika 17. a).

Primijenjeni izvor je natrijeva niskotlačna cijev 55 W i 180 W s centralnim rasporedom u unutrašnjoj zoni tunela (dužina 4,910 m) te u »Zrinščaku I« i »Zrinščaku II«, a bočnim rasporedom u ulaznim zonama tunela (slika 17. c).

Na slici 17. b prikazan je dijagram primijenjenih iznosa luminancija za čitav prometni potez tunela »UČKA«, od naplatne rampe na kvarneskoj strani do one na istarskoj strani.

9. ZAKLJUČAK

Rasvjeta tunela zahtijeva specifičan tretman u tehnici rasvjetljavanja, a njezino tehnički ispravno rješenje jamči sigurnu i udobnu vožnju tunelom

danju i noću. Ispravnim izborom izvora svjetlosti, rasporeda i prikladne svjetiljke znatno se može utjecati na sniženje troškova održavanja, a time i na ekonomičnost instalacije.

Odgovarajući konstruktivni detalji tunela imaju također znatan utjecaj (dobar i loš) na efikasnost rasvjete tunela pa se naglašava nužnost tijesne suradnje konstruktora tunela i svjetlotehničara.

Bez suvremenih jakih izvora svjetlosti (NaVT i NaNPI) i kvalitetnih svjetiljaka teško se mogu ostvariti kvalitetna rješenja rasvjete tunela. Perspektivni zacrtani program izgradnje tunela na magistralnim pravcima (i u gradovima) širom Jugoslavije treba biti ozbiljan putokaz domaćoj industriji da se snažnije uključi u rješavanje ove specifične problematike.

Konačno, valjalo bi poraditi i na izradi odgovarajuće regulative, za što bi se aktivnije trebale prvenstveno angažirati republičke samoupravne interesne zajednice za ceste, uprave naših većih gradova i konačno industrija.

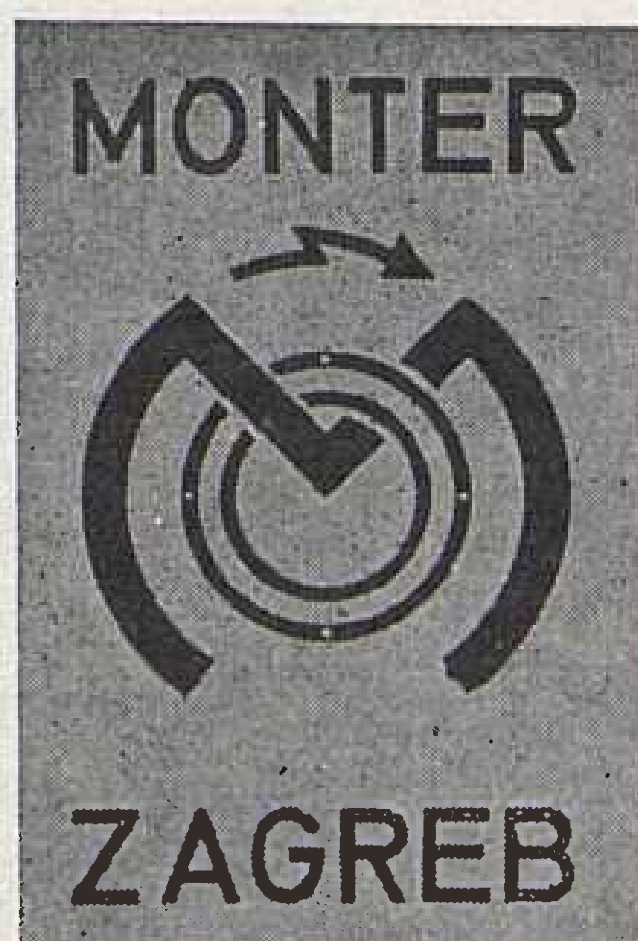
LITERATURA

1. International Recommendations for Tunnel Lighting (Publication C.I.E. № 26, 1973)
2. ILR »International Lighting Review«, 1977/4
a) Tunnel Lighting (W. J. M. van Bommel)
b) Tunnel Lighting systems (Roland Walthert)
3. Lighting Manuel (PHILIPS, 1974).
4. J. B. De Boer — D. A. Schreder: »Public Lighting«, 1967
5. Proff. P. Massart: »Determinations des niveaux d'éclairage aux entrees du tunnel d'UČKA«, 1976.
6. Izvedbeni projekt javne rasvjete tunela »UČKA«, IPZ — Zagreb, 1977.

Naslov pisca:

Edo Širola, dipl. inž.

Industrijsko projektni zavod, Zagreb



„MONTER“ MONTAŽNO PODUZEĆE

OOOUR ELEKTROPOGON ■ 41000 ZAGREB, Demonjlna 4

Tel. centrala: 571-866 ■ direktor: 574-024 ■ telex: 21-433 yu monter

- *IZVODIMO SVE VRSTE INSTALACIJA JAKE I SLABE STRUJE, POGONSKE INSTALACIJE, TRAFOSTANICE, DALEKOVODE, ZRAČNE I KABELSKE MREŽE I GROMOBRANE TE SVE PO SEKTORU AUTOMATIKE, MJERENJA I REGULACIJE ZA KLIMATIZACIJU I PROCESNU INDUSTRIJU.*
- *PROIZVODIMO RAZVODNE, KOMANDNE I KONTROLNE UREĐAJE ZA VISOKI I NISKI NAPON OBLIKA I SADRŽAJA PO ŽELJI NARUČIOCA.*
- *PROJEKTIRAMO U VLASTITOM »OOOUR PROJEKTNI BIRO« NAVEDENE INSTALACIJE.*

OCENA KVALITETA AUTOMATSKE REGULACIJE TERMOTEHNIČKIH PROCESA U TERMoeLEKTRANAMA

Dragoljub P i p e r s k i, Priština

Opisani su principi regulacije u postrojenju za proizvodnju pare u termoelektranama koje rade s više paralelnih blokova. Obrazloženi su zahtjevi koji se stavljaju na regulaciju i istaknute poteškoće. Kao primjer izložena je regulacija termoelektrana »Kosovo B« koja se nalazi u izgradnji.

DK 621.311.22.004:621—52

UVOD

Tehnološko postrojenje, njegov deo ili jedan tehnički uređaj u kome treba da se održava normalni režim rada predstavlja objekt upravljanja. Automatsko upravljanje podrazumeva upravljanje objektom bez neposrednog delovanja čoveka. Uređaj automatskog upravljanja je tehničko sredstvo koje ostvaruje automatsko upravljanje.

Objekt upravljanja i uređaj automatskog upravljanja predstavljaju celinu i čine sistem automatskog upravljanja.

Sistem automatskog upravljanja podvrgnut je različitim spoljnim i unutrašnjim poremećajima. Pod spoljnim poremećajem razumeva se delovanje spoljne sredine ili uređaja koji ne čine deo ovog sistema. Unutrašnji poremećaj predstavlja delovanje jednog dela sistema automatskog upravljanja na drugi.

U termoelektranama se u velikom broju slučajeva primenjuju sistemi automatskog upravljanja sa zatvorenim (spregnutim) kolom delovanja (sl. 1). Upravljačko dejstvo — upravljanje se dobija kao rezultat upoređivanja stvarne vrednosti regulacione veličine koju meri merni član sa zadatkom vrednosti koju formira uređaj za zadatu vrednost. Razlika tih signala (regulaciono odstupanje) pojačava se u upravljačkom uređaju (regulatoru) do vrednosti koja je dovoljna za pokretanje izvršnog pogonskog mehanizma i regulacionog izvršnog organa.

Na taj način upravljački uređaj upravljački deluje na objekt upravljanja. Objekt upravljanja pak preko mernog člana ispoljava svoje kontinualno

delovanje na upravljački uređaj. Sistemi automatskog upravljanja sa spregnutim kolom delovanja održavaju (regulišu) upravljanu veličinu na zadatu vrednost i nazivaju se sistemima automatske regulacije.

Merni član, uređaj za zadatu vrednost, regulatorski uređaj i izvršni pogonski mehanizam čine elemente sistema automatske regulacije.

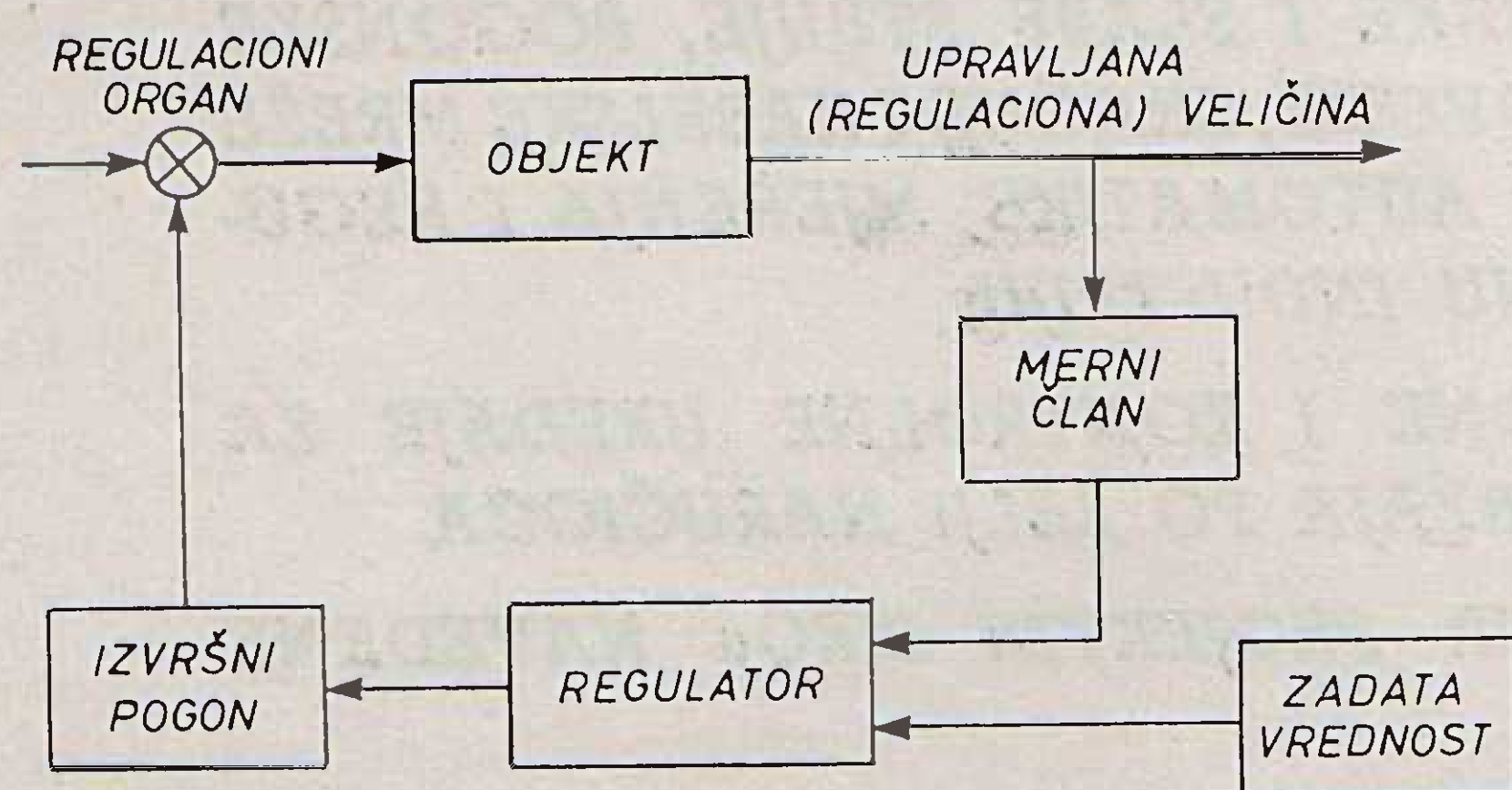
PRELAZNI PROCESI U SISTEMIMA AUTOMATSKE REGULACIJE

Pod uticajem spoljnih i unutrašnjih poremećaja u sistemima automatske regulacije nastaju odstupanja regulacione veličine (parametra) od zadate vrednosti. Proces svođenja regulacione veličine koja je pod uticajem poremećaja odstupila od zadate vrednosti predstavlja prelazni proces sistema automatske regulacije ili jednostavno prelazni proces.

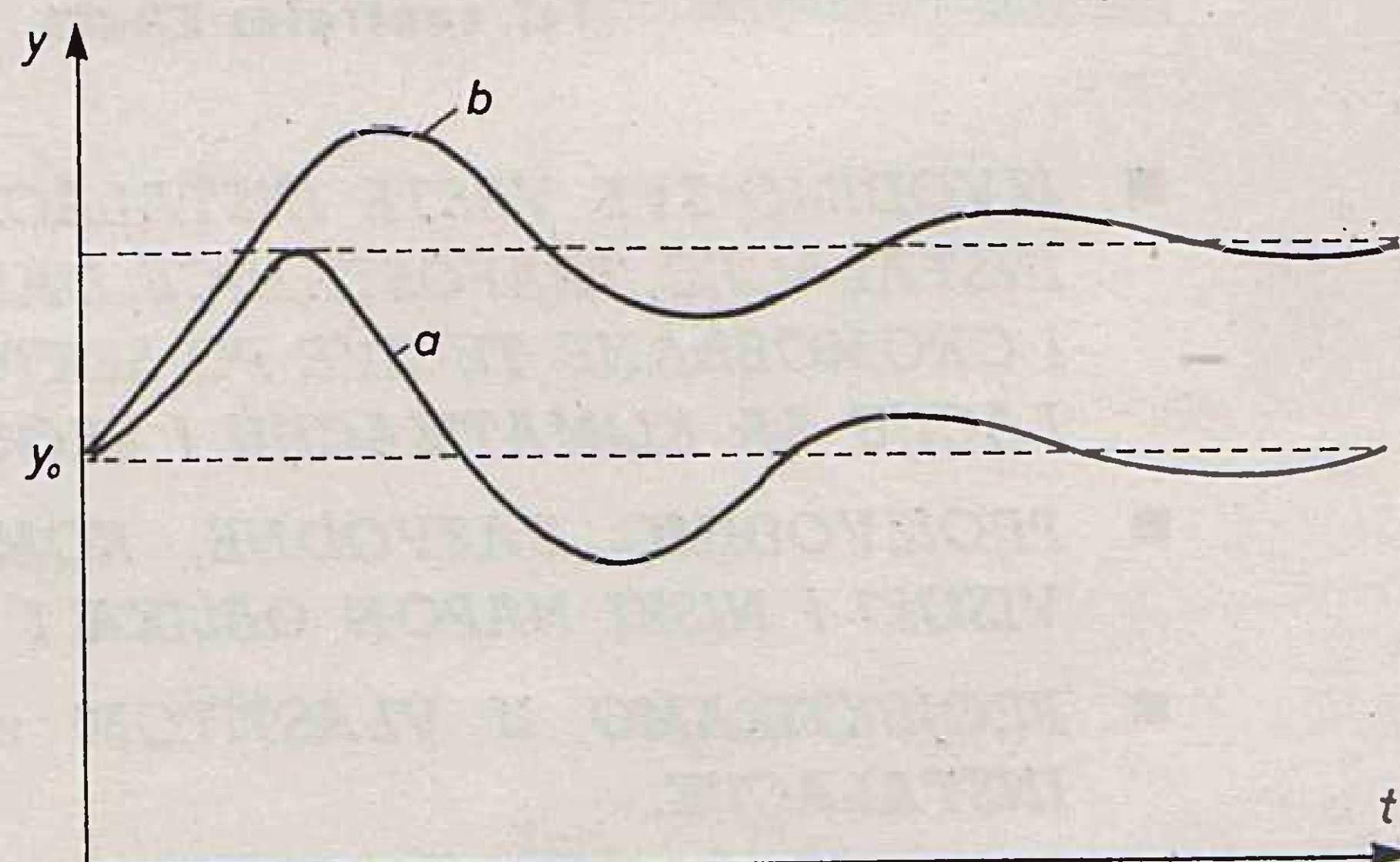
Karakter prelaznog procesa zavisi od veličine i mesta delovanja poremećaja, osobina regulacije i uređaja za regulaciju.

U sistemima automatske regulacije dopuštena su samo dva oblika prelaznog procesa: aperioidični (neoscilatorni) i prigušeni oscilatorni. Ti procesi se mogu odvijati kao u slučaju (sl. 2. a) kada se regulaciona veličina vraća na prethodnu vrednost y_0 , tako i u slučaju (sl. 2. b) kada regulaciona veličina dostigne vrednost posle završetka prelaznog procesa.

U sistemima automatske regulacije mogu nastati neprigušeni oscilatorni procesi kada oscilacije re-



Sl. 1.

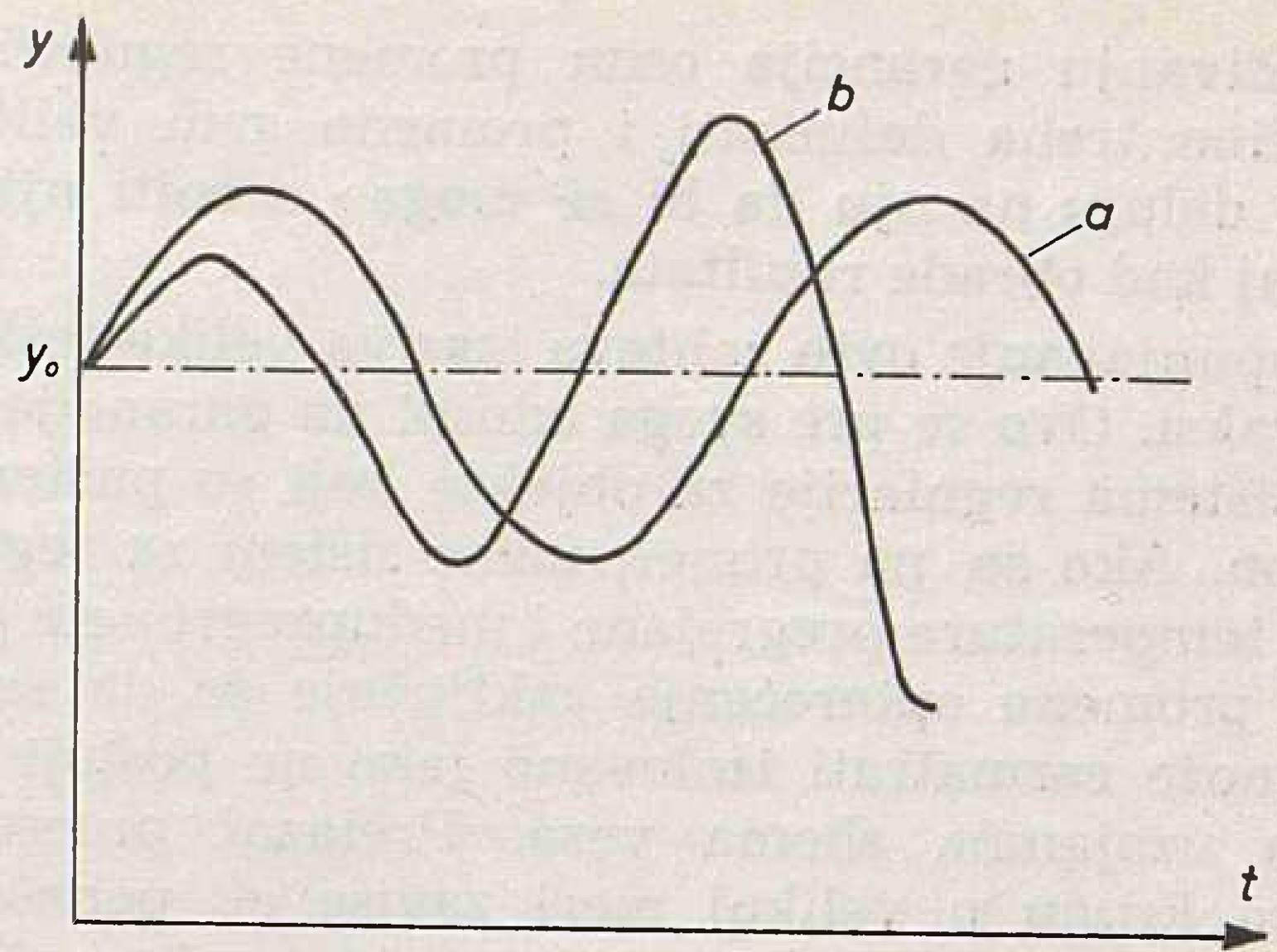


Sl. 2.

gulacione veličine y ne opadaju, već se održavaju sa stalnom amplitudom (sl. 3. a). U kolima automatske regulacije termičkih procesa termoelektrane takvi prelazni procesi su nedopustivi jer nepri- gušeni prelazni procesi mogu da pređu u rastući oscilatorni proces (sl. 3. b) gde se amplituda oscila- cija regulacione veličine neprekidno povećava.

Sistem automatske regulacije treba da bude stabilan. Ako je režim rada narušen bilo kojim poremećajem (na primer: promenom opterećenja objekta), tada je regulator dužan da vrati regu- lacionu veličinu na prethodnu vrednost ili na vred- nost koja se malo razlikuje od prethodne, ali koja zavisi od veličine nastalog poremećaja.

Karakteristike objekta regulacije određene su njegovom konstrukcijom koja se u procesu eks- ploatacije obično ne može menjati. Međutim, kod regulatora postoje organi za podešavanje pomoću kojih se mogu u širokim granicama menjati odre- đeni parametri regulatora da bi se dobio najbolji prelazni proces u sistemu automatske regulacije.



Sl. 3.

Sledi da sve pojedinačne regulacione krugove ne treba optimirati na poremećaje.

Ako se ima u vidu složnost dinamike jednog generatora pare, onda je jasno da se dinamička analiza može potpuno savladati samo uz pomoć elektronskih računskih mašina. Primenuju se ka- ko analogni, tako i digitalni računari. Velika po- godnost analognog računara leži u njegovoj brzini računanja, a digitalnog u njegovom kapacitetu. Kod primene računara treba da bude jasno da je matematički model jednog fizičkog sistema uvek samo aproksimacija stvarnog objekta. Teškoće na- staju zbog ograničenosti kapaciteta računara i teo- rijskih problema.

Dinamička razmatranja se mogu razvrstati uslovno u tri nivoa. Najviši nivo predstavlja simu- lacija čitavog postrojenja na računaru kao što je, na primer, parni generator i turbina. Taj nivo si- mulacije je veoma iscrpan i potreban je za veoma tačne studije, na primer za ispitivanje novog kon- cepta regulacije ili za analizu dinamičkih osobina nove konstrukcije parnog generatora. Taj nivo je retko potreban kod ocenjivanja kvaliteta regulacije. Drugi nivo koji se često primenjuje sastoji se u tome da se pojedini regulacioni krugovi izdvoje iz čitavog postrojenja radi simulacije na računaru. To se ostvaruje sa malim ili srednjim računalom, a čitav utrošak vremena ostaje u podnošljivim gra- nicama. Pri tome je veoma važno da postupci upraščavanja budu jasni i prihvaćeni, da ne bi došlo do neprijatnih iznenađenja kasnije u pogonu kod realizovanih postrojenja. Pre svega treba da se uvaži i simuliraju delovanja glavnih poremećaja regulacionih krugova. Treći i najjednostavniji nivo je primena poznatih formula i dijagrama pomoću kojih se mogu dobiti maksimalna regulaciona od- stupanja i ostali parametri vremenskog odziva sistema. Te formule i dijagrami se formiraju kroz sistematska istraživanja sistema.

Jasno definisanje kvaliteta regulacije veoma je važno kod izvršavanja garancija. Garantovani po- daci su realni tek kada se dogovori kriterijum, oblik i veličina poremećaja (na primer: odskočni spoljni poremećaj ili odskočna promena zadate vrednosti) i početni uslovi. Ako dinamičke osobine objekta zavise od opterećenja, tada treba izkazati opterećenje za koje važe garancije. Zbog toga pri

KVALITET REGULACIJE — GARANCIJE

Kvalitet regulacije se izražava pre svega prelaz- nim procesom koji se javlja u postrojenju. Dina- mičke osobine pojedinih kontura regulacije odre- đene su osobinama objekta regulacije i regulatora. Prelazni proces zavisi od oblika konture regulacije, karaktera poremećaja i stanja konture u trenutku nastajanja poremećaja.

Najčešće se kvalitet regulacije ocenjuje prema ustaljenom maksimalnom regulacionom odstupanju koje se može sresti posle nekog poremećaja, kao i prema obliku vremenskog odziva odvijanja regu- lacije. Što je manje maksimalno regulaciono od- stupanje i što se brže uspostavlja novo ustaljeno stanje, to je bolji kvalitet regulacije. Osim ovog kvalitativnog kriterijuma koji je za praksu naj- pogodniji, primenjuju se i drugi kriterijumi iz teo- rije sistema automatske regulacije (integralni i dr.).

Osim uspostavljanja samog kvalitativnog krite- rijuma treba utvrditi odgovarajuće regulacione ve- ličine sistema u odnosu na koje se vrši optimiza- cija kvaliteta regulacije. Uopšte uzevši, to je izlazni pritisak kotla, temperatura sveže i međupregre- jane pare i izlazna snaga. Jasno je da ima malo smisla, na primer, realizovanje regulacije nivoa jednog bubanjskog kotla sa vrlo uskim toleran- cijama ako se time napojne pumpe žestoko na- prežu. Čuvanje napojnih pumpi u određenim uslo- vima jako promenljivog nivoa svakako je mnogo važnije.

Poremećaj se najčešće definiše kao impulsna, odskočna ili nagibna funkcija.

Kod datog bloka termoelektrane dominirajući poremećaj je snaga koja se traži od bloka. To znači da se ukupna regulacija bloka treba da optimira prema vodećem ponašanju odnosne zadate snage.

utvrđivanju garancija osim promene regulacione veličine treba definisati i promene svih veličina koje deluju na nju da bi se mogao oceniti njihov uticaj kod obrade rezultata.

Ispunjavanje ovih zahteva izaziva velike teškoće u praksi. Ovo se pre svega odnosi na garancije rada sistema regulacije za objekte koji su pušteni u pogon. Ako se, na primer, uzme sistem za regulaciju temperature pregrevane i međupregrevane pare kod promene opterećenja zaključuje se da se on ne može razmatrati izolovano iako ne postoji složena uzajamna shema veza. Prelazni procesi u ovom krugu u velikoj meri zavise od ponašanja sistema regulacije čitavog postrojenja. Bez obzira na to teorijski se može ispitati ponašanje jednog izolovanog kruga i onda kada je povezan sa drugim krugovima. Zbog toga treba odrediti sve poremećajne veličine i oceniti njihov uticaj na ponašanje dela koji se reguliše. U praksi se ti zahtevi zbog tehničkih i eksploatacionih razloga vrlo retko mogu ispuniti.

Druga teškoća koja se susreće posebno kod parnih generatora sastoji se u tome da se ne može potpuno isključiti pojava slučajnih poremećaja koji iskrivljuju oblik prelaznih procesa. Izvor je takvih fluktuacija poremećaja pre svega bubanj parnog generatora. Kod prisustva tih poremećaja ne mogu se dobiti ni približno verni rezultati kada se vrše jednostruka ispitivanja.

Zbog ukazanih teškoća nastaje situacija da se garantni uslovi mogu formulirati dosta dobro, ali je njihova provera prilično teška. Pouzdani i provereni rezultati najčešće se mogu dobiti tek kod relativno velikog broja merenja uz statističku obradu izmerenih rezultata.

Navedene teškoće sprečavaju da se u praksi daju garancije za čitavo postrojenje ili za njegove najvažnije delove kao što je, na primer, parni generator. Taj prilaz je prihvatljiv kada se simulacijom dublje uđe u proces, uređaje i sheme regulacije još u toku projektovanja i preduzmu sve mere da rad regulacije zadovolji. Ako ti uslovi nisu ispunjeni, onda davanje uopštenih garancija nije tehnički opravdano.

Šta se može učiniti kada izračunata tačnost regulacije prekorači utvrđene granice? Dinamičko ponašanje čitavog regulacionog kruga određeno je, kao što je poznato, odzivom čitave regulacione staze, dakle objektom koji se reguliše i regulacionim uređajima. Ako treba poboljšati kvalitet regulacije, onda mora da se poboljša dinamičko ponašanje pojedinih komponenti. Kod regulacionih uređaja postoje dve mogućnosti: podešavanje parametara regulatora i izbor sheme regulacije. Podešavanje parametara regulatora predstavlja optimiziranje regulatora, što je osnovna pretpostavka svakog proračuna. S druge strane, često se kroz izbor drugog oblika sheme regulacije, kroz dodavanje potrebnih poremećajnih veličina, sa pomoćnih regulacionim krugovima ili sa članovima za diferenciranje može da ostvari poboljšanje rezultata regulacije. Kada se iscrpe sve mogućnosti teorije auto-

matske regulacije, ostaje da se putem konstruktivnih zahvata ostvare pogodnije dinamičke karakteristike objekta regulacije.

Kao ilustraciju prethodnog izlaganja izložit će se ugovorene garancije za kola automatske regulacije termoenergetskih postrojenja za termoelektranu »Kosovo B« od 2 x 340 MW koja se nalazi u fazi izgradnje.

Automatska regulacija sledećih veličina:

- pritisak pregrevane pare
- temperatura pregrevane pare
- temperatura međupregrevane pare
- višak vazduha
- temperatura mešavine vazduh-ugalj

zadovoljit će vrednosti koje su specificirane u tabelama 1—5.

Date vrednosti u tabelama pretpostavljaju da su broj i raspoloživost gorionika u pogonu adaptirani programu opterećenja a za slučaj B i C koristi se stalan broj mlinova koji odgovaraju definisanim uslovima funkcionisanja parnog generatora.

Tabela 1.

RAZLIČITI SLUČAJEVI FUNKCIONISANJA GENERATORA PARE ZA KOJE SE DEFINIŠU GARANCIJE		
Vrste opterećenja	Opseg razmatranog opterećenja*	Srednje apsolutne vrednosti brzine varijacije opterećenja u % u minuti
A—konstantno opterećenje	0,5 ÷ 1,0 QM	1
B—sporo promenljivo opterećenje (varijacije ograničene na 5 min)	0,5 ÷ 1,0 QM	5
C—brzo promenljivo opterećenje (varijacije ograničene na 1 min)	0,5 ÷ 1,0 QM	10
D—konstantno opterećenje	MT ÷ 0,5 QM	1

QM—maksimalno kontinualno isparavanje

MT—tehnički minimum bez podržavanja vatre

* opseg varijacije opterećenja za temperaturu međupregrevane pare od 0,65 ÷ 1,0 QM.

Tabela 2.

TOLERANCIJE GREŠAKA (USTALJENIH MAKSIMALNIH REGULACIONIH ODSTUPANJA)					
Regulaciona veličina	Jedinica	A	B	C	D
Pritisak pregrevane pare na ulazu u turbinu (pritisak na izlazu iz kotla se menja sa opterećenjem)	bar	4*			4*
Temperatura pregrevane pare na ulazu u turbinu	°C	5	12	15	
Temperatura međupregrevane pare na ulazu u turbinu	°C	5	10	12	
Višak vazduha (vrednost ostaje stalna u toku 2 min)	% O ₂	0,5	1	2	1,5
Temperatura mešavine ugalj-vazduh	°C	5	5	8	5

* Date vrednosti su garantovane za funkcionisanje sa stalnim pritiskom, varijacije opterećenja turbine ostvaruje se otvaranjem ventila za preopterećenje, ostali ventili su potpuno otvoreni.

Tabela 3.

KAŠNJENJE KOD POVRATKA U RAVNOTEŽNI POLOŽAJ REGULACIONIH VELIČINA POSLE ZAVRŠETKA PROMENE OPTEREĆENJA			
Regulaciona veličina	Jedinica	B	C
Temperatura pregrijane i među-pregrijane pare	minut	10	15
Višak vazduha	minut	4	6
Temperatura mešavine vazduh-ugalj	minut	6	10

Tabela 4.

ZONE U KOJIMA JE PREDVIĐENA AUTOMATSKA REGULACIJA			
Regulaciona veličina	Jedinica	Zona regulacije*	Zona u kojoj regulacija treba da funkcioniše**
Pritisak pregrijane pare	bar	klizni prit.	od P_{min} do $1,1P_{nom}$
Temperatura pregrijane i među-pregrijane pare	°C	od +5 do -20 oko t_n	od +30 do -200 oko t_n
Višak vazduha	% O ₂	6 ÷ 3	0 ÷ 10
Temperatura mešavine ugalj-vazduh	°C	100 ÷ 200	30 ÷ 220

* — preciznost regulacije je data u tabelama 2. i 3.

** — nikakva preciznost regulacije se ne zahteva ali regulacija treba da funkcioniše bez izazivanja incidenata

 t_n — nominalna vrednost temperature P_{min} — minimalna vrednost pritiska P_{nom} — nominalna vrednost pritiska

Tabela 5.

PRECIZNOST MERENJA KOJA SE KORISTE ZA REGULACIJU				
Razmatrana kola	merenja	jedinica	preciznost	primedba
Pritisak pare	pritisak pare	bar	1	od MT do punog opterećenja
Gorivo	protok vazduha	%	5	
Gorivo	višak vazduha	% O ₂	0,1	
Temperatura pare	temperatura pare	°C	3	za opseg skale od 300 °C

Prijemna ispitivanja će se izvršiti ili prema preporukama VDI/VDE 3507 ili nekom drugom metodom koja će biti usaglašena između isporučioaca i investitora.

LITERATURA

1. G. Klefenz — Die Regelung von Dampfkraft werken: 2. verbesserte Auflage — Herausgegeben von Gerhard Pressler, Hartman und Braun, Frankfurt, 1973.
2. P. Profos — Regulirovanije parosilovih ustanovok — Energija, Moskva, 1967.
3. G. P. Pletnjev — Avtomatičeskoje regulirovanije i zaštita teploenergetičeskih ustanovok električeskih stancij — Energija, Moskva, 1976.

Naslov pisca:

mr Dragoljub Piperski, dipl. inž.
REMHK »Kosovo« — Priština

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.

VII SAVJETOVANJE O PRIJENOSU ELEKTRIČNE ENERGIJE

Ovo VII savjetovanje o prijenosu električne energije održano je u prostorijama hotela »Desaret« na Ohridskom jezeru od 7. do 9. lipnja 1978. u organizaciji Zajednice Jugoslavenske elektroprivrede. Domaćin je bio Elektroprenos, Skopje.

Na Savjetovanju je podneseno 65 referata, a prisustvovalo mu je oko 300 stručnjaka koji se bave problemima prijenosa električne energije.

Svečano otvaranje Savjetovanja obavljeno je 6. VI 1978. u 19 sati. Prvi je govorio predsjednik Savjeta za prienos električne energije Jugela Nikola Pavičić, dipl. ing., a zatim su slijedili pozdravi ostalih predstavnika političkih, društvenih i radnih organizacija. Tom su prilikom prihvaćena predložena radna predsjedništva, stručni izvjestioci i komisije za sastavljanje prijedloga zaključka po grupama.

Rad se odvijao ujutro i popodne na 7. i 8. VI, a u petak 9. VI ujutro održano je plenarno zasjedanje i usvajanje prijedloga zaključaka koje su sastavile odgovarajuće komisije.

Referati o kojima se diskutiralo na Savjetovanju odštampani su i poslani sudionicima prije početka Savjetovanja.

Uvodni referat održao je dr Lazar Ljubiša, dipl. ing., generalni direktor ZJE, a zatim se diskusija nastavila po grupama.

Zaključci Savjetovanja kakve je izdala ZJE su slijedeći:

ZAKLJUČCI

1. Referat »KONCEPCIJA RAZVOJA JUGOSLAVENSKOG 400 kV SISTEMA DO 2000. GODINE (s vizijom razvoja i viših napona)«, podnesen je neposredno na stručnom savjetovanju. U referatu je obrađen dosadašnji razvoj elektroenergetskog sistema, izvori energije i ocjena proizvodnje i potrošnje električne energije do 2000. godine, koncepcija razvoja 400 kV mreže Jugoslavije, oblikovanje i raspodjela snaga i napona u 400 kV mreži u godinama 1975, 1990. i 2000. godini s vizijom razvoja i viših napona.

U referatu je analiziran dosadašnji i budući razvoj prijenosne mreže najviših napona u Jugoslaviji i rezimirano:

— da je izgradnja Osnovne 400 kV mreže Jugoslavije bila nužna, a njezin daljnji razvoj neizbježan;

— da se izgradnjom Osnovne 400 kV mreže Jugoslavije ostvaruje tehničko-tehnološko jedinstvo elektroenergetskog sistema i znatne energetske-ekonomske pogodnosti i efekti;

— da Osnovna 400 kV mreža Jugoslavije može zadovoljiti potrebe proizvodnje, prijenosa i potrošnje električne energije do 1985. godine, a s dogradnjom do 1990. godine, i

— da poslije 1990. godine radi izgradnje elektrana velikih snaga na jednoj lokaciji, njihova međusobnog povezivanja s potrošačkim područjima u zemlji i povezivanja elektroenergetskog sistema Jugoslavije sa susjednim sistemima, odnosno evropskim elektroenergetskim interkonekcijama, razmatrana je vizija razvoja i viših napona i ocijenjeno da je potrebno proučiti za razdoblje poslije 1990. do 2000. godine i dalje pitanje izbora slijedećeg visokog napona iznad 400 kV (750 ili 1150 kV) i opravdanost njegova uvođenja, kao i utvrditi konfiguraciju mreže u Jugoslaviji.

Referat je imao za cilj upoznavanje najšireg kruga stručnih i naučnih radnika iz elektroprivrednih, naučnoistraživačkih, projektantskih, proizvođačkih, izvođačkih i montažnih organizacija s dosadašnjim i budućim razvojem jugoslavenskog 400 kV sistema i vizijom razvoja i viših napona.

Razmatranje i utvrđivanje programa daljeg razvoja jugoslavenskog 400 kV sistema i sistema viših napona u prvom redu je pravo, dužnost i obaveza udruženih elektroprivrednih organizacija u okviru Zajednice jugoslavenske elektroprivrede i njihovih stručnih tijela i samoupravnih organa u idućem razdoblju.

2. S obzirom na to da u budućnosti predstoji značajniji razvoj kabeleske podmorske mreže, potrebno je da se radne organizacije koje vrše eksploataciju te mreže što prije osposobe kadrovski i materijalno za što efikasnije otklanjanje svih kvarova na kabelima.

3. Treba ubrzati rad na donošenju tehničkih uvjeta za pogon jugoslavenske 400 kV mreže, te eventualne prateće propise koji proizlaze iz tih tehničkih uvjeta.

4. Kod donošenja standarda o utjecaju struja kratkog spoja na PTT vodove treba uzeti u obzir i utjecaj višestrukih vodova.

5. Teoriju pouzdanosti treba razraditi i za ostale vrste prekidača, odnosno za druge elemente visokonaponskih postrojenja, kao na primjer za relejnu zaštitu, rastavljače, sabirnice itd., kako bi se povećala pouzdanost cjelokupnog postrojenja, a time i elektroenergetskog sistema kao cjeline.

6. Treba nastaviti rad na primjeni procesnih računala u elektroenergetskom sistemu i razvoju samostalnih programa potrebnih za vođenje sistema.

7. Pravilnik o tehničkim normativima za elektroenergetska postrojenja iznad 1 kV potrebno je stalno usklađivati s novim dostignućima i nastaviti rad na pronalaženju novih rješenja koja omogućuju racionalno projektiranje uzemljivača visokonaponskih postrojenja.

8. Porast složenosti elektroenergetskog sistema i sve veća upotreba elektroničkih računala za obradu velikog broja podataka, nameće potrebu pronalaženja metoda za skupljanje i poboljšanje njihove obrade.

9. Iskustva s dosadašnjim relejnim uređajima nameću potrebu da se svi novi relejni uređaji koji će se ugrađivati u naš elektroenergetski sistem moraju, osim standardnih ispitivanja, podvrgnuti ispitivanjima na mikromreži prema programu Radne grupe za zaštitu JUGEL-a.

10. Primarna ispitivanja relejne zaštite pokazala su se vrlo korisnima, pa se preporučuje da se prošire i na ostalu primarnu i sekundarnu opremu.

11. Potrebno je da se već prema utvrđenim dogovorima do kraja provede frekventno rasterećenje elektroenergetskog sistema.

12. Nužno je provesti analize mogućnosti prijenosa električne energije preko ostalih dijelova sistema prije isključenja jako opterećenih prijenosnih vodova, odnosno većih energetske izvora, kako ne bi došlo do ispada vrlo dugih visoko opterećenih magistralnih vodova.

13. Preporučuje se proizvođačima uređaja za detekciju parcijalnih izbijanja i elektroprivrednim organizacijama, da zajednički pristupe mjerenjima i da tako dobivene rezultate usporede s rezultatima koji se dobivaju već uobičajenim metodama.

14. Sa stajališta pouzdanosti funkcija elektroenergetskog sistema značajno mjesto i ulogu imaju pojave prenapona, njegova raspodjela u postrojenjima, kao i izolacioni i zaštitni nivoi. U tom smislu predlažu se dalja istraživanja ove problematike kako posredstvom računskih metoda, tako i eksperimentalno. Posebno se smatra važnim utvrđivanje postupka za ocjenu pouzdanosti pogona sa stajališta statističke vjerojatnosti pojave prenapona i raspodjela zaštitnih sredstava, kao i utvrđivanje izolacionih karakteristika opreme i karakteristika zaštitnih sredstava.

15. Rezultate dobivene numeričkim metodama u vezi problematike prenapona i zaštite treba verificirati preko rezultata utvrđenim eksperimentalno na mreži ili promatranjima u pogonu.

16. Eksploataciona iskustva u pogonu mreže najviših napona uvjetovala su uvođenje zaštite od prekomjernih napona u stacionarnom stanju. U tom cilju razvijen je odgovarajući postupak za lokaciju i vremensko podešavanje releja. Predlaže se razrada jedinstvenog pristupa rješenju ovog problema.

17. U vezi s regulacijom napona pod opterećenjem u visokonaponskim mrežama za prienos električne energije potrebno je s korisnicima električne energije rješavati sve detalje problema ovakve regulacije, posebno za slučajeve daljinsko-upravljanih transformatorskih stanica.

18. Problematika modernizacije upravljanja postrojenjima visokog napona, dijelovima sistema i čitavim sistemom, zauzima sve značajnije mjesto u elektroprivrednoj djelatnosti. Nova tehnološko tehnička rješenja iz ovog područja omogućuje radikalnu racionalizaciju ovog procesa iz čega proizlazi potreba za radom na usklađivanju i provođenju modernizacije.

19. Treba dalje usavršavati nove metode za dijagnozu stanja izolacije transformatora i pratiti indikativnost tih metoda.

20. Treba dalje usavršavati i što šire primjenjivati metode za njegu izolacije transformatora, na mjestu montaže, zbog neospornih učestalih pogonskih i ekonomskih efekata.

21. Izložena iskustva potvrđuju dobro ponašanje staklenih izolatora u našoj praksi. Ponašanje obiju vrsta izolatora, porculanskih i staklenih u eksploataciji i dalje treba sistematski pratiti.

22. Započete radove na ispitivanju starenja opreme na vodovima treba i dalje sistematski nastaviti, u čemu punu podršku Radnoj grupi 22.4. JUKO CIGRE treba da pruže i sve ostale elektroprijenosne organizacije.

23. Na terenima s visokim izokerauničkim nivoima i teškim uvjetima za izvođenje uzemljenja treba studioznijim pristupima postići znatno veću raspoloživost vodova.

24. Parametri blok-transformatora u velikim termoelektranama, posebno prijenosni omjer, treba da su predmet kompleksne analize sklopa generator-transformator-sistem kako bi se, ako je moguće, ti parametri tipizirali.

25. Dosadašnja iskustva u eksploataciji velikih kondenzatorskih baterija upućuju na potrebu da se obave sve strane prethodne energetske, harmonijske i ostale analize, kako bi kondenzatorsko postrojenje bez poteškoća i uz najbolje efekte moglo vršiti svoju funkciju u mreži.

26. Potrebne su daljnje analize i istraživanja o načinu povezivanja našeg sistema sa sistemima UCPTE i SEV.

27. Uključivanje novih objekata 400 kV mreže prethodno svestrano analizirati s namjerom da se ustanove eventualna pogonska ograničenja i utjecaj na rad elektrana, režim reaktivnih snaga i slično.

28. Potrebno je pristupiti daljim ispitivanjima izolatorskih lanaca za mrežu 400 kV u svijetlu novih graničnih uvjeta za lance, drukčijim sagledavanjem koordinacije izolacije duž voda i tretmanu pojačane izolacije vezano uz uvjete zagađenja zraka, te iskustvima vezanim za početna ispitivanja lukom snage.

29. Potrebno je i dalje analizirati uvjete mogućnosti upotrebe cijevnih sabirnica s pantografskim rastavljačima uspoređivanjem s klasičnim rešenjem.

30. Upotrijebljeni snop vodiča u mreži »Nikola Tesla« $2 \times 490/65$ Ač pokazuje svoje puno opravdanje. U daljem razvoju mreže pojavit će se potrebe i za drugačijim rješenjima radi povećanih prijenosa, što treba dugoročno proučavati.

31. Potrebno je da se svi zainteresirani stručnjaci uključe u izradu novih pravilnika i standarda u vezi s poduzetim akcijama Saveznog zavoda za standardizaciju i time prido-nesu što boljem rješavanju uočenih problema.

32. Na osnovi iskustva pri isporuci materijala i opreme za I fazu izgradnje mreže »Nikola Tesla« uočeni su neki propusti, posebno u tenderima. Za iduće faze detaljnije definirati zahtjeve u vezi kvalitete, načina ispitivanja materijala i opreme i preuzimanja.

33. Iskustva sa zaštitnim užetom u kome se nalazi ugrađen telekomunikacioni kabel kod nas su nedovoljna i njih treba brižljivo prikupljati i proučavati radi budućeg korištenja.

34. Elektroprivreda Jugoslavije treba da nastoji da se asortiman valjanih čeličnih profila za stupove poveća i time omogući racionalnije izvođenje dalekovoda.

35. Treba da se za VII savjetovanje pri raspisivanju preferencijalnih tema predvide teme koje će obuhvatiti problematiku rada i djelovanja prijenosne mreže u ratnim uvjetima kao i za slučaj elementarnih nepogoda (poplava, potresa itd.) i izvanrednim mirnodopskim uvjetima (modifikacija propisa za gradnju i održavanje i sl.).

36. Predlaže se da »Savjet za prijenos električne energije u Jugoslaviji« IO ZJE svestrano razmotri način provođenja VIII Savjetovanja o prijenosu električne energije u SFRJ što se tiče pristupa pisanja referata ili tematski obrađenih područja.

37. Prihvaća se da se po redoslijedu održavanja Savjetovanja o prijenosu električne energije u SFRJ, VIII savjetovanje održi na području Elektrogospodarstva Slovenije 1980. godine.

Mjesto i točan datum održavanja VIII savjetovanja dogovorit će organizator Zajednica jugoslavenske elektroprivrede i domaćin Elektrogospodarstvo Slovenije.

XXVII ZASJEDANJE CIGRE U PARIZU

XXVII zasjedanje CIGRE (Conference Internationale des Grands Réseaux Électriques a Haute Tension), Međunarodne konferencije za velike električne mreže visokog napona, održano je u Parizu od 30. kolovoza do 7. rujna 1978. Ovakav skup se održava redovno svake dvije godine u dvoranama palače UNESCO.

Na skupu je sudjelovalo 47 država sa 2342 stručnjaka. Iz Jugoslavije oko 40 stručnjaka.

Zasjedanje je svečano otvoreno 30. kolovoza popodne, a zatim se tokom slijedećih 7 dana rad odvijao po grupama, istovremeno u dvije dvorane, a jedan dan u tri dvorane palače UNESCO.

Diskusije su bile podijeljene u četiri dijela. Prva su tri dijela bila posvećena trima preferencijalnim temama, a diskusija se odnosila na pitanja koja su za svaku grupu bila iznesena u specijalnom referatu što ga je za svaku grupu dao odgovarajući studijski komitet, odnosno njegov predstavnik. Četvrti pak dio diskusije bio je općeg karaktera i odnosio se na tehničko stanje problema i pogled na daljnji razvoj.

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

Na ovom su zasjedanju učinjene neke promjene u sadržaju koji obuhvaćaju grupe 31 i 32, a uvedena je nova grupa 41.

U pojedinim grupama bio je slijedeći broj referata:

11. Rotacioni strojevi	7 referata
12. Transformatori	11 referata
13. Sklopni aparati	10 referata
14. Istosmjerni prijenos	13 referata
15. Izolacioni materijali	12 referata
21. Kabeli visokog napona	11 referata
22. Nadzemni vodovi	13 referata
23. Transformatorske stanice	7 referata

31. Planiranje mreža	16 referata
32. Pogon i upravljanje sistema	13 referata
33. Prenaponi i koordinacija izolacije	16 referata
34. Zaštita	10 referata
35. Telekomunikacije	6 referata
36. Perturbacije	7 referata
41. Budući razvoj prijenosa električne energije i elektroenergetskih sistema	4 referata

Ukupno je na zasjedanju podneseno 156 referata, ne računajući uvodne referate označene nulom. Jugoslavija je dala jedan referat, i to:

32 - 06 M. Čalović, M. Đorović, D. Šiljak:

»Decentralizirano rješenje automatske regulacije povezanih elektroenergetskih sistema«.

Naši su stručnjaci sudjelovali u diskusiji u grupama 22, 33 i 34.

4. rujna popodne održana je generalna skupština CIGRE, kako je to uobičajeno na svakom dvogodišnjem zasjedanju.

Za vrijeme zasjedanja održan je niz tehničkih i turističkih ekskurzija. Održana su, nadalje, dva službena primanja za sve sudionike i nekoliko ekskluzivnih koje su priredili nacionalni komiteti CIGRE pojedinih zemalja i neke velike elektroindustrijske tvrtke.

Kratak pregled problematike o kojoj je vođena diskusija u pojedinim grupama iznesen je u prikazu koji slijedi.

Grupa 11. GENERATORI

Preferencijalne teme bile su slijedeće:

1. Današnji tehnički razvoj i iskustva u eksploataciji velikih generatora i njihovog sistema uzbuđene (4 ref.).
2. Postrojenja za proizvodnju vršne energije: pogon parnih turbina tokom dana, pumpni uređaji, plinske turbine (1 ref.).

3. Tok tehničkog razvoja velikih motora za pomoćne pogone elektrana i druge slične namjene. Utjecaj mreže na njihov rad (2 ref.).

O navedenim problemima diskutiralo je ukupno 50 govornika.

Prva preferencijalna tema raspravljana je u 3 grupe:

- Krajevi magnetskog kruga: grijanje i zaštita
- Koncepcije i ispitivanje turbogeneratorsa
- Sistemi uzbude.

U generalnoj diskusiji (izvan preferencijalnih tema) raspravljano je o slijedećim pitanjima (16 govornika):

- hlađenju rotora vodom; posebno o prikazu stroja 800 MW potpuno hlađenog vodom (SSSR),
- problemu prenapona između namota hidrogeneratorsa,
- materijalima za zamjenu azbesta,
- programu razvoja nove tehnologije, posebno kriogeneratorsa (u Francuskoj, SAD, Britaniji i SSSR-u),
- usavršavanju tehnike regulacije uzbude velikih generatorsa u Francuskoj,
- originalnom sinhronom motoru kojemu je snaga uzbude dobivena od harmonika.

Što se tiče razvoja nove tehnike i porasta snage jedinice, akcent je stavljen na pouzdanost kao prioritetni zadatak.

Grupa 12. TRANSFORMATORI

Preferencijalne teme bile su:

- Veliki mrežni i bloktransformatori za današnji i budući elektroenergetski sistem. Optimalne karakteristike s obzirom na konstrukciju transformatora i na sistem, ispitivanje, pogon, transport i pouzdanost (8 ref.).
- Ispitivanje izolacije. Utjecaj karakteristika krute i tekuće izolacije na konstrukciju i pogon transformatora (2 ref.).
- Fiksne i regulacione prigušnice (1. ref.).

Najopširnija se diskusija vodila u okviru prve preferencijalne teme, što je i razumljivo, jer je u njoj prihvaćeno najviše problema koji se tiču transformatora snage. Za diskusiju je postavljeno 13 pitanja o kojima se redom diskutiralo.

Druga preferencijalna tema donekle se poklapa s tematikom grupe 15 (izolacioni materijali), pa je imala samo 2 referata i jedan iz grupe 15.

O posljednjoj, trećoj, preferencijalnoj temi napisan je samo jedan referat koji govori o konstrukciji prigušnice s upravljivim tiristorima u sklopu statičkog kompenzatora.

Grupa 13. SKLOPNI APARATI

Preferencijalne teme su bile:

- Uvjeti sklapanja u mrežama danas i u budućnosti, naprezanja sklopnih aparata o kojima se do danas nije vodilo računa prilikom standardizacije (4 ref.).
- Razvoj ispitnih metoda za ocjenu rada sklopnih aparata pri prekidanju kratkog spoja (2 ref.).
- Pouzdanost i održavanje prekidača: mehanička, klimatska i električna naprezanja, specifikacija, metoda za ispitivanje i kontrolu (4 ref.).

U okviru prve preferencijalne teme raspravljalo se o poteškoćama (povratno paljenje, prenaponi) koje nastaju prilikom iskapčanja prigušnica na dugim vodovima i iskapčanja struja magnetiziranja transformatora. Predložene su i mjere koje treba poduzeti u oba slučaja. Današnje su tendencije da se isklapanje izvrši u što kraćem vremenu, kako bi se osigurala stabilnost sistema, snizila elektrodinamička naprezanja i ograničile perturbacije zbog indukcije. Istaknuto je da upravo zbog postizavanja navedenih prednosti postoji namjera da se zračni prekidači zamjenjuju prekidačima sa SF₆. Sugerirano je radnoj grupi da proučava utjecaj slijedećih prilika za isklapanje:

- kvarove na izlasku iz elektrana kad se stvaraju vrlo velike nesimetrije,
- kvarove nastale na dugim radijalnim distributivnim vodovima,
- paralelno vezane prekidače kojima se osigurava stabilnost u linijama bilo koje duljine.

Nadalje se u drugoj točki raspravljalo o:

- statističkom pristupu fenomenu sklapanja,
- o vrijednosti indirektnih ispitivanja.

U mnogim su zemljama provedene statističke studije pouzdanosti prekidača. Pokazalo se da je većina kvarova na sklopkama mehaničkog, a ne električkog karaktera, te da su kvarovi posljedica slabe izvedbe, a ne posljedica neuspjele koncepcije.

Prekidač treba promatrati kao sigurnosni uređaj sistema, kao element zaštite. Prema tome, treba rješavati pouzdanost kombinacije prekidač-zaštita. S obzirom pak na prenapone treba zajednički promatrati karakteristike prekidača i odvodnika prenapona.

Grupa 14. ISTOSMJERNI PRIJENOS

U ovoj se grupi raspravljalo o slijedećim preferencijalnim temama:

- Pogonska iskustva i specijalni problemi postojećih istosmjernih prijenosa i njihov utjecaj na povezanu mrežu (5 ref.).
- Razvoj, koncepcije, konstrukcije i ispitivanja istosmjernih prijenosa koji su u planu ili u gradnji (4 ref.).
- Komandni i zaštitni uređaji i nove primjene istosmjernih veza (4 ref.).

U diskusijama o navedenim temama sudjelovalo je 73 govornika.

Bilo je kritike na statističku obradu kvarova što ju je predložila radna grupa 14.04. Konstatirano je da su povratna paljenja na živinim usmjerivačima snižena od 2,3 do 0,1 paljenje po mostu i mjesecu. Smatra se da je za period između dvaju remonta dovoljno uzeti višak od 2,5% tiristora vezanih u seriju. Izražena su iskustva s novim istosmjernim postrojenjima. Posebno je diskutirano o problemu smetnji na TT vodovima (potreba filtra na istosmjernom dijelu i elektrostatsko djelovanje).

U vezi s ispitivanjem tiristorskih usmjerivača, odnosno modula, bilo je kontradiktornih mišljenja. Dosta je govoreno o odgovarajućim odvodnicima prenapona i budućim konstrukcijama na bazi cinkova oksida. Istaknuta je uloga mikroprocesora u upravljanju usmjerivačkih uređaja.

Budući da je već jedan statički kompenzator u pogonu u stanici Tristate, diskutiralo se o njegovoj prikladnosti u usporedbi sa asinhronim kompenzatorom. Sumnja se da ga statički kompenzator može potpuno zamijeniti.

U generalnoj diskusiji iznesen je indijski projekt istosmjernog prijenosa (900 km, 2 000 MW) i britansko-francuski projekt za istosmjerni prijenos između obih država također snage 2000 MW.

Predsjedavajući je zaključio sastanak uz konstataciju da postojeći istosmjerni prijenosi dobro funkcioniraju, a neposredni problemi koje treba rješavati su nivo izolacije za napone iznad 500 kV i pogon uz male snage kratkog spoja.

Grypa 15. IZOLACIONI MATERIJALI

Diskusija se vodila u okviru ovih triju tema:

- Analitičke ili identifikacione metode kojima se određuje stanje i ponašanje krutih prirodnih i sintetskih te tekućih izolacija, kako novih tako i onih iz pogona, s obzirom na termička, mehanička i električka naprezanja (3 ref.).
- Faktori koji utječu na ponašanje komprimiranog plina na električne udare (vrlo kratka i vrlo dugačka vremena preskoka) (2 ref.).
- Različiti električni preskoci i proces kvarenja odnosno uništenja čvrste izolacije zbog dugog trajanja električnog naprezanja. Mogućnost ubrzanja postupka ispitivanja (7 ref.).

Diskusija se u okviru prve teme vodila u dva dijela:

- izolacija kondenzatora (utjecaj vremena trajanja prenapona, parcijalnih pražnjenja i temperature, karakteristika izolacije s obzirom na biološke utjecaje;
- izolacija transformatora, gdje je raspravljeno o klasičnim izolacionim materijalima.

Druga je tema bila posvećena izolaciji plinom SF₆. Diskutirana korelacija između grubosti površine i električnih izbijanja, korist ispitivanja istosmjernim naponom za ustanovljenje defekata na vodičima. Promatrane su karakteri-

stike mješavina SF₆ sa zrakom, dušikom i ugljičnim dioksidom i potvrđene njihove dobre električne osobine.

U diskusijama o čvrstoj izolaciji mnogo je govoreno o upotrebi plastičnih masa u atmosferskim uvjetima i u plinu SF₆. Utvrđeno je da se sintetički izolatori pojačani staklenim nitima ne mogu smatrati samo zamjenom za današnje izolatore, već i kao koristan materijal za izgradnju vodova vrlo visokog napona. Činjenica je, međutim, da još treba provesti opširna ispitivanja da se potvrdi njihova pouzdanost.

Grupa 21. KABELI VISOKOG NAPONA

Preferencijalne teme za ovu grupu bile su:

1. Istosmjerni kabeli i mehanički problemi podmorskih kabela (2 ref.).
2. Kabeli sa sintetskom izolacijom i njihova oprema (3 ref.).
3. Podzemni uređaji za prijenos velikih snaga klasične i nove tehnike (6 ref.).

O tim temama raspravljalo je više od 50 govornika. Konstatirano je da istosmjerni kabeli s viskoznom izolacijom, koji se danas proizvode, mogu doseći napon do 300 kV i da je moguće sniženje cijene.

U vezi s podmorskim kabelima govorilo se o maksimalnim dubinama na kojima bi se još mogli vršiti popravci, kao i o zaštiti kabela ukapanjem u morsko dno i pokrivanjem betonskim blokovima.

Diskutiralo se o načinima proizvodnje kabela sa sintetskom izolacijom radi sprečavanja mikroskopskih šupljina (ispod 0,1 mikroma).

Referirano je o sintetskom kabelu 187 kV, 2000 mm² Cu u grupama, perspektivnom razvoju kabela 230 kV u Italiji, 345 kV u SAD i 400 kV u Francuskoj. Najviše je referata pripadalo trećoj preferencijalnoj temi koja govori o prijenosu velikih snaga kabelom.

Povećanje prijenosne snage u kanbelima za potrebe velikih gradova postiže se prvenstveno prisilno hlađenim klasičnim uljnim kabelima. Osobito je bio zanimljiv izvještaj o talijanskim pokusima za izgradnju kabela naponskog nivoa 750 kV i 1100 kV, i rad na razvoju trofaznih plinskih SF₆ kabela do 1200 kV, prijenosne snage 10 000 MVA u SAD.

Grupa 22. NADZEMNI VODOVI

U ovoj se grupi vodila diskusija u okviru ovih triju tema:

1. Konceptije i konstrukcije vodova vrlo visokog napona (iznad 400 kV) s mehaničkog i ekonomskog gledišta, uzimajući u obzir probleme okoline (5 ref.).
2. Osnovni principi i konceptije pojedinih elemenata nadzemnih vodova (temelji, stupovi, zatege vodiči, spojni materijal, izolatori) i koordinacija njihovih faktora sigurnosti (4 ref.).
3. Pogonska iskustva s nadzemnim vodovima: izvještaj o kvarovima, nezgodama i sličnim događajima (4 ref.).

Prije početka debate predsjedavajući je istakao ulogu nadzemnih vodova u svjetskoj energetici. Naglasio je potrebu razvoja i novih rješenja za vodove do 1200 kV, potrebnih slijedećih 20 godina, kako bi odgovarali u cijeni i udovoljili zahtjevu sigurnosti.

U okviru prve preferencijalne teme raspravljalo se o različitim hipotezama o longitudinalnim opterećenjima i metodama računanja samonosivih i zategnutih stupova. U vezi s atmosferskim utjecajima na nadzemni vod istaknuta je važnost tzv. faktora terena. Često potcjenjivanje lokalnih prilika dovodi do preranog istrošenja pojedinih elemenata. Nove konceptije u gradnji vodova naročito su isticali talijanski predstavnici, koji su i u drugim grupama (mreže, kabeli, transformatori, prekidači) dali izvještaje o svojim radovima na razvoju elemenata mreže za naponski nivo 1 000 kV.

U diskusiji o elementima nadzemnih vodova govorilo se o alternativni izgradnje čeličnih ili betonskih stupova, fundiranju i o kliznim stezaljkama.

U okviru treće preferencijalne teme izneseni su rezultati rada radnih grupa koje su radile na smjernicama za projektiranje vodova visoke sigurnosti.

Govornici su iznosili različita iskustva, iz čega se moglo zaključiti da su vodiči najsigurniji, a stupovi najranjiviji elementi nadzemnih vodova. Dani su također izvještaji o galopiranju vodiča i o prikladnim mjerama zaštite (tipovi odstoynika na snopovima vodiča).

Na kraju u generalnoj diskusiji izneseni su mnogi zanimljivi radovi na polju izgradnje dalekovoda u različitim zemljama. Bilo je također govora o budućim vodovima 1 200 kV, velikoj zagađenosti izolatora, izgradnji stupova od aluminijских legura, novim konstrukcijama stupova za napon 735 kV i više te o lančastim stupovima sa zategama. Ovaj dio diskusije dao je mnogo zanimljivih informacija iz svijeta.

Grupa 23. TRANSFORMATORSKE STANICE

Ova je grupa iznimno istaknula samo dvije preferencijalne teme:

1. Specifične mjere za kontrolu termičkih i dinamičkih efekata velikih normalnih struja i struja kratkog spoja te njihov utjecaj na uzemljenje. Primjena u stanicama i elektranama.
Praktične mjere kojima bi se omogućilo povećanje normalne struje u postojećim postrojenjima (4 ref.).
2. Primjena unutarnjeg nivoa izolacije u oklopljenim postrojenjima. Analiza prednosti i mana različitih shema oklopljenih postrojenja. Izbor i dispozicija specijalne opreme, kao odvodnika prenapona, iskrišta i rastavljača za uzemljenje (3 ref.).

Ukupno je diskutiralo 67 govornika. Rasprava se vodila o tri grupe pitanja iznesenih u uvodnom referatu:

1. grupa pitanja:

- standardizacija glavnih transformatora,
- dispozicija sabirnica između generatora i transformatora,
- ugrijavanje sabirnica,
- izdržljivost prema potresu.

2. grupa pitanja: Ovdje se govorilo o konstrukciji izolatora u stanici, oklopljenim stanicama, problemu oklopljenih sabirnica u jednofaznoj ili trofaznoj izvedbi, o uređajima za ograničenje struja kratkog spoja.

3. grupa pitanja: U trećoj grupi pitanja raspravljalo se o položaju i karakteristikama odvodnika prenapona. Neki su govornici zagovarali zamjenu odvodnika za iskrišta, no o ovom problemu nisu iskristalizirana jedinstvena gledišta.

U slobodnoj diskusiji mnogo se govorilo o prednostima oklopljenih postrojenja u domeni ultravisokih napona.

Grupa 31. PLANIRANJE MREŽA

Ova interesantna grupa, koja se kompleksno bavi planiranjem mreža, imala je slijedeće tri preferencijalne teme:

1. Napredak u projektiranju novih električnih mreža (9 ref.):
— problemi planiranja,
— izvođenje,
— prva pogonska iskustva,
— pokusne stanice najvišeg napona,
— specifični problemi mreže u zemljama u razvoju.
2. Utjecaj statičkih i dinamičkih karakteristika opterećenja na strukturu mreže:
— osjetljivost na promjene napona i frekvencije,
— metode analize i korištenje rezultata (3 ref.).
3. Strategija planiranja mreže, obuhvaćajući proizvodnju i prijenos, u cilju osiguranja elastičnosti s obzirom na buduće neizvjesnosti (4 ref.):
— metodologija postavljanja cilja,
— uloga prijenosa velikih snaga (posebno motivi i zahtjevi za razvoj vrlo visokih napona u vezi tehnike, pouzdanosti i okoline).

U diskusiji o navedenim temama sudjelovalo je oko 70 diskutanata.

U okviru prve preferencijalne teme iznesene su mogućnosti povećanja prijenosne snage vodova, i to:

- linijama sa 6 faza,
- linijama s različitim (miješanim) naponima,
- boljim termičkim iskorištenjem vodiča,
- boljim upravljanjem jalovom snagom,
- poboljšanjem nadzora nad kvarovima.

Nadalje se govorilo o regulaciji napona i uređajima za ograničenje kratkog spoja. Konstatirano je da istosmjerne veze mogu poboljšati pouzdanost trofaznog sistema. Mnogi

su govornici iznosili prednosti koje su pokazali nesimetrični snopovi vodiča i mogućnost upotrebe novih tipova izolatora na vodovima ultravisokog napona.

U vezi s drugom temom prikazani su rezultati ispitivanja statičkih karakteristika mreže, tj. ovisnosti opterećenja o naponu i frekvencije, ali su naglašene i poteškoće u vezi s dobivanjem i korištenjem takvih podataka.

U trećoj grupi problema diskutirano je o strategiji planiranja integriranog elektroenergetskog sistema uzimajući u razmatranje tri varijable: mogućnost porasta opterećenja, lokaciju izvora i prijenosna ograničenja. Govornici su nadalje iznosili potrebu viših napona iznad 420 kV u Evropi i korištenje postojećih trasa za vodove viših napona. Pokazan je velik interes za probabilističke metode planiranja, ali je konstatirano da se većina današnjih postupaka provodi determinističkim metodama.

Grupa 32. POGONI UPRAVLJANJA SISTEMA

Grupa koja se bavi pogonom mreža razvila je diskusiju na temelju slijedećih preferencijalnih tema:

1. *Povod, efekt i analiza značajnih kvarova i upravljanje mrežom u takvim slučajevima (5 ref.).*
2. *Koncepcija, karakteristike djelovanja i upotreba centraliziranog ili decentraliziranog upravljanja mrežom (6 ref.).*
3. *Predviđanje razdiobe energije i upravljanje mrežom u normalnom vremenu, u normalnim prilikama, vodeći brigu o sigurnosti i okolišu (2 ref.).*

O tim je temama raspravljalo ukupno 49 govornika.

Diskutiralo se o uzrocima velikih kvarova i o mjerama za njihovo sprečavanje. Smatra se nužnim da dispečerske informacije prilikom kvarova budu što brže dostavljene dispečerskom centru koncizno i selektivno i u takvoj formi da ih personal može koristiti. Detekcija kvara neobično je važna, kako bi se pravovremeno mogle poduzeti odgovarajuće mjere. S druge pak strane posebna se pažnja mora posvetiti sredstvima kojima dispečeri mogu prema potrebi djelovati. Istaknuta je potreba mogućnosti simuliranja mreže, no simulacija mora omogućiti uvid u ponašanje mreže u svim kriznim situacijama. Teško je, međutim, dovoljno točno simulirati promjene opterećenja u ovisnosti napona i frekvencije.

U vezi s upravljanjem mrežom govoreno je o telekomandi rastavljača, raspoloživosti uređaja za upravljanje mrežom, koristi i razvoju preglednih dispečerskih tabloa, kao i novih sredstava za vizualno predstavljanje podataka o stanju u mreži.

Posljednja grupa problema, prema preferencijalnim temama, bila su pitanja razdiobe električne energije i vođenja mreže. Pitanja su bila u vezi s informacijom dispečerskog centra o promjeni potrošnje i potrebama proizvodnje. Na kraju se raspravljalo o problemu razdiobe i upravljanja jalovom energijom.

U slobodnoj diskusiji dotaknuta su pitanja uloge velikih proizvodnih agregata u nekonektiranoj i konektiranoj mreži, kao i nuklearnih elektrana u pogledu prilagođivanja rada sistema karakteristikama takvih elektrana.

Grupa 33. PRENAPONI I KOORDINACIJA IZOLACIJE

Preferencijalne teme ove grupe, koja je uz grupu 31 imala najviše referata, bile su:

1. *Nove spoznaje o prenaponima sviju vrsta i o zaštiti od prenapona, posebno što se tiče njihova mjerenja u mreži (6 ref.).*
2. *Metode mjerenja intenziteta zagađenja na mjestu i u laboratoriju te primjena dobivenih rezultata kako bi se izabrala odgovarajuća izolacija (4 ref.).*
3. *Posebni problemi koordinacije izolacije: koordinacija izolacije za opremu visokog istosmjernog napona, za opremu SF₆ postrojenja i izolaciju između faza (6 ref.).*

Od novih vrsta prenapona referirano je o stepenastim prenaponskim valovima s visokim brojem ponavljanja, osobito opasnih za naponske mjerne transformatore. Diskutirano je također o utjecaju korone na prenapone. Mnogo se raspravljalo o novoj vrsti odvodnika prenapona na bazi cinkova oksida, bez iskrišta. Spomenuto je da bi nakon usavršavanja takvih odvodnika moglo doći do revolucionarne promjene u cijeloj koncepciji prenaponske zaštite.

U vezi s drugom preferencijalnom temom diskutanti su iznosili iskustva o ispitivanju zagađenih izolatora u svojoj zemlji. Istaknuto je da kriterij klizne staze nije dovoljan za ocjenu upotrebljivosti izolatora. Raspravljano je također o probabilističkom pristupu dimenzioniranja izolacije,

Diskusija o pitanjima koja je obuhvatila treća tema odnosila su se većinom na koordinaciju izolacije u FS: postrojenjima. Izneseni su rezultati i iskustva ispitivanja prenapona između faza i metode takvih ispitivanja.

Ukupno je bilo 67 sudionika diskusije.

Grupa 34. ZAŠTITA

Preferencijalne teme ove grupe bile su:

1. *Posebni aspekti zaštite:*
 - *linija vrlo visokog napona (500 kV i više),*
 - *drugih linija (500 km i više, kompenziranih i nekompenziranih,*
 - *visoko opterećenih visokonaponskih linija za opskrbu gradova i velikih industrija (5 ref.).*
2. *Zaštita generatora velike snage (600 MVA i više) ili cjeline od više jedinica smještenih na jednom mjestu, kao i mreže na koje su priključeni. Koordinacija zaštite u takvim slučajevima s obzirom na proizvodnju i prienos (4 ref.).*
3. *Novi razvoj na polju dobivanja podataka, tretmana i prijenosa podataka unutar stanica visokog napona radi funkcioniranja zaštite i automatike (1 ref.).*

Najprije se diskutiralo o problemu vremena isključenja kvara i napredak prema potrebama budućnosti. Osobito je istaknut problem zaštite dugih vodova za serijskim kondenzatorima, gdje je primijenjeno jednofazno ponovno uključivanje. Istaknute su praznine u internacionalnoj normalizaciji mjernih transformatora i diskutiran problem pouzdanosti i sigurnosti zaštite, kao i njezin najnoviji razvoj. Istaknuta je važnost prijelaznih pojava na zaštiti prijenosnih linija i metode simulacije mreže za ispitivanje odgovarajuće zaštite.

Nekoliko govornika se osvrnulo na vrlo brzo iskapčanje blizih trofaznih kvarova radi zaštite generatora. Ovi problemi bivaju to značajniji što je veća jedinica, zbog troškova popravka i neraspoloživosti stroja. U vezi sa zaštitom generatora još je diskutiran problem zaštite protiv poduzbuđenja i prekoračenja brzine. Za takve se releje traži velika pouzdanost i sigurnost.

Kad je bila riječ o novim tendencijama u razvoju zaštite i prijenosa informacija izložena su iskustva s mikrokompjutorima i fiberoptikom u rasklopnim i transformatorskim stanicama.

U generalnoj diskusiji govorilo se o:

- ispravnosti novih koncepcija u vezi s pouzdanosti, raspoloživosti, sigurnosti i uzdržavanja,
- novim problemima zaštite budućeg razvoja strukture mreže, zaštite vrlo jakih prijenosnih linija (4 500 A) i linija s mnogo završetaka,
- problem softvera,
- mogućnost utjecaja konstrukcije SF₆ stanica na zaštitu mreže.

Grupa 35. TELEKOMUNIKACIJE

Preferencijalne teme o kojima su raspravljali stručnjaci telekomunikacije bile su:

1. *Sistemi prijenosa — koncepcija, teoretske studije i rezultati mjerenja prijenosnih sistema koji se koriste u elektroenergetskim mrežama, uzimajući u obzir prienos nosećom frekvencijom preko linija ili druge metode koje se primjenjuju na energetskim vodovima, kao radio veze, veze optičkim fiberima te nadzemnim i podzemnim kabelima. Upotreba veza zakupljenih od PTT. Usporedba sistema prijenosa sa gledišta ekonomičnosti, sigurnosti i pouzdanosti (4 ref.).*
2. *Sistemi za daljinsko upravljanje — Prijenos podataka za upravljanje. Metode i sredstva za postizavanje kvalitete i pouzdanosti prijenosnih kanala. Sistemi za daljinsko upravljanje: potreba usaglašavanja parametara kao što su brzina odziva, preciznost, sigurnost i pouzdanost. Struktura sistema uzimajući u obzir upotrebu mikrokompjutora i mikroprocesima. Izvori energije za napajanje uređaja za daljinsko upravljanje (2 ref.).*
3. *Ostali sistemi telekomunikacije u eksploataciji. Telefonsko-telegrafska mreža: kriteriji koncepcija, posebni uređaji, sheme uklapanje uključivo upravljanje prema utvrđenom upisanom programu.*

Glavna se diskusija po preferencijalnim temama odvijala oko upotrebe telekomunikacija preko kanala prijenosnih energetskih linija s vodičima u snopu, posebno zbog

pomanjkanja raspoloživih frekvencija i problema zračenja. Zaključeno je da prijenos preko snopova vodiča ima prednosti u pogledu nivoa šuma.

Projektirani sistemi za skupljanje podataka za ocjenu kvalitete prijenosa mikrovalnim mnogokanalnim vezama razmatrani su s gledišta složenosti i troškova.

U daljoj je diskusiji pobudio velik interes prijenos na 600 bauda ultrasonično, pomoću veza na energetskim linijama.

Izlaganjem mnogih tipičnih primjena dobiven je dobar pregled različitih metoda za prijenos podataka.

U generalnoj diskusiji izneseno je mišljenje da je u pogledu prijenosa signala za potrebe zaštite, veza preko energetskih linija došla na kraj svojih mogućnosti, pa treba primijeniti druge metode ako se želi raspolagati mnogo kraćim vremenima prijenosa.

Nadalje se diskutiralo o prednostima i mogućnostima primjene sistema prijenosa unutar snopova vodiča i fiber-optičkog sistema. Diskutirane su mogućnosti upotrebe PTT veza za potrebe pogona u elektroprivredi, ali se većina govornika opredijelila za sigurne vlastite veze.

Grupa 36. PERTURBACIJE

Slijedeće tri preferencijalne teme bile su diskutirane iz problematike perturbacija.

1. Efekti opterećenja (usmjerivački uređaji, upravljanje pomoću tiristora, lučne peći, vučne podstanice), stanice za konverziju (za istosmjerni prijenos) i smetnje koje se pojavljuju na samoj mreži (efekt korone, momentani pad napona zbog kratkog spoja, ponovno uključivanje itd.), harmonici i nesimetrije ili brze promjene napona. Razumna granica smetnji i mjere sprečavanja (1 ref.).
2. Smetnje i opasnost od magnetskih i električkih polja povećanja potencijala zemlje, direktnog kontakta s krugovima telekomunikacija, mrežom niskog napona ili metalnim uređajima (upotreba stupova visokonaponskog voda za telekomunikativne vodove). Mjerenje napona koraka i impedancije elektroda (4 ref.).
3. Magnetsko i električno polje u stanicama i pod nadzemnim vodovima. Njihov efekt na žive organizme. Mjerenje i računске metode (2 ref.).

Iz diskusije je proizašlo da su glavni izvori flikera lučne peći i valjaonice. Potrebno je normalizirati aparate za njihovo mjerenje i razviti mjerne metode.

U vezi s harmonikom govorilo se o rezonanciji u krugu baterija kondenzatora i potrebi odgovarajućih filtra. Iznošene su smjernice za granične amplitude harmonika koje se primjenjuju u pojedinim zemljama. Nadalje se diskutiralo o tehnici proračuna i mjerenja uzemljenja, upotrebi telekomunikacionih vodova ugrađenih u zaštitno uže i zaštiti telekomunikacionih krugova (posebno u stanicama u slučaju podizanja potencijala zemlje). U posljednjoj grupi problema prema preferencijalnim temama raspravljalo se o problemu mjerenja električnog polja i njegovom biofiziološkom djelovanju. Konstatirano je da se biofiziološka ispitivanja djelovanja električnog polja vrše u mnogim zemljama, ali se rezultati mogu očekivati tek nakon višegodišnjeg rada. Neke su zemlje privremeno utvrdile dozvoljene granice s obzirom na ljudsko zdravlje.

U generalnoj diskusiji govoreno je o efektu korone na snopovima vodiča vodova preko 1 000 kV i utjecaju visine na bruhanje koje može biti značajan pokazatelj pri utvrđivanju maksimalnog polja prilikom projektiranja. Nadalje su izneseni neki prijedlozi u pogledu korozije i materijala za uzemljenje, ograničavanja struja zemnog spoja i solarnog efekta kao novog tipa perturbacije.

Grupa 41. BUDUĆI RAZVOJ PRIJENOSA ELEKTRIČNE ENERGIJE I ELEKTRIČNIH SISTEMA

Ova najnovija grupa, koja je prvi put zastupljena na zasjedanju, imala je također tri preferencijalne teme:

1. U kojoj će mjeri utjecati program za štednju energije na upotrebu električne energije? Da li je takav program potreban i poželjan?
2. Kakav je utjecaj izmjene oblika energije korištene u domaćinstvu, od komercijalnih i industrijskih potrošača na odnose energije dane u obliku električne energije.
3. Koji još drugi uzroci mogu utjecati na ulogu električne energije prema ostalim oblicima energije.

Tematika kojom se bavi ova grupa posebno prelazi tradicionalnu tematiku CIGRE, što se vidi i iz preferencijalnih tema. Osnovno pitanje na ovom zasjedanju bilo je »Uloga električne energije u zadovoljenju energetskih potreba u budućnosti«. Ukupno su prezentirana 4 referata napisana na inicijativu Studijskog komiteta 41.

Najprije se diskutiralo o raspoloživosti izvora primarne energije i utjecaju ograničenih količina nafte i plina na udio električne energije u općoj potražnji energije. Nafta i prirodni plin neće ubuduće biti raspoloživi za proizvodnju velikih količina električne energije, već ugljen i nuklearna energija. No u budućnosti treba poboljšati tehnologiju takvih elektrana i povećati brigu oko utjecaja na okoliš. Ne treba, međutim, zanemariti ni izvore energije koji se obnavljaju.

Raspravljano je također o metodama za planiranje potrošnje električne energije i naglašena potreba internacionalne suradnje na tom planu.

Mnogo se raspravljalo o ekonomskoj strani u energetici. Sa žaljenjem je konstatirano da odnos energetskih gubitaka prema korisnoj energiji raste. Nekoliko se govornika osvrnulo na činjenicu da način života ljudi jako utječe na potrošnju električne energije.

U okviru treće preferencijalne teme diskutiralo se o sistemu proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije i utjecaju javnog mišljenja. Konstatirano je da javno mišljenje igra sve veću ulogu u mogućnosti razvoja opskrbe električnom energijom. To je upravo bio jedan od razloga za osnivanje komiteta 41, a ova je sjednica potvrdila korist njegova djelovanja.

U vezi s diskutiranim problemima postoji mišljenje da CIGRE može pomoći u dva pravca:

- a) na tehnološkim poboljšanjima,
- b) na davanju činjeničnih i nepristranih informacija zainteresiranoj javnosti.

B. MARKOVČIĆ

XIV SAVJETOVANJE ELEKTROENERGETIČARA JUGOSLAVIJE — CIGRE

SARAJEVO, 14—19. SVIBNJA 1979.

ELEKTROPRIVREDA ITALIJE 1976. GODINE

Instalirana snaga u elektranama Italije i ENEL-a vidljiva je iz tablice I.

Tablica I

ELEKTROPRIVREDA ITALIJE					
INSTALIRANA SNAGA U ELEKTRONAMA SA 31. 12. 1976					
1	2	ITALIJA		ENEL	
		GENERATOR PRAG MW		GENERATOR PRAG	
3	4	5	6		
1	HIDRO-ELEKTRANE	19526	15 248	15 188	11 951
	TERMO-ELEKTRANE KLASIČNE	31612	25 894	22 726	18 984
	NUKLEARNE-TERMO-ELEKTRANE	792	577	792	577
	GEOMETRIJSKE-TERMO-ELEKTR.	502	421	502	421
2	UKUPNO TE	32 906	26 892	24 020	19 982
3	SVEUKUPNO :	52 432	42 140	39 208	31 933

Proizvodnja prema izvorima vidljiva je iz tablice III.

Tablica IV

ELEKTROPRIVREDA ITALIJE		
UČEŠĆE POJEDINIH ENERGETSKIH IZVORA U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE		
	GODINA	
	1963	1976
HIDRO-ELEKTRANE	66,3 %	23,5 %
TERMO-ELEKTRANE KLASIČNE	27,9 %	71,4 %
NUKLEARNE-TERMO-ELEKTRANE	0,7 %	3,1 %
GEO-TERMČKE-ELEKTRANE	5,1 %	2,0 %
UKUPNO :	100,0 %	100,0 %

Za 14 godina se proizvodnja povećala za nešto više od 2,5 puta, a došlo je do pomicanja proizvodnje prema tablici IV.

Tablica II

Vršno opterećenje 1976. godine treće srijede u mjesecu registrirano je 15. prosinca u 9h, a iznosilo je 28 300 MW (prema 25 500 MW protekle godine). Potrebe su pokrivena iz raznih izvora:

iz protočnih hidroelektrana	4,5%
iz HE sa dnevnim ili tjednim akumulacijama	13,0%
iz HE sa sezonskim akumulacijama	13,3%
iz klasičnih TE	58,8%
iz nuklearnih elektrana	2,0%
iz geotermičkih elektrana	1,3%
ostali proizvođači	7,1%
	100,0%

Srednji specifični potrošak u TE iznosio je 2 351 kcal/kWh neto (2 334 kcal/kWh za jedinice iznad 50 MW, a 3 204 kcal/kWh za manje jedinice). Godišnji prirast za cijelu zemlju iznosio je 10,5%, a ENEL-a (Nacionalne elektroprivrede Italije) 12,3%. Učešće ENEL-a u nacionalnoj proizvodnji je nešto veće od 75%.

Struktura potrošača, prema talijanskoj tarifi, dana je u tablici II.

Tablica III

ELEKTROPRIVREDA ITALIJE		
PROIZVEDENA ELEKTRIČNA ENERGIJA U 1976 GODINI		
	PROIZVODNJA	
	1976 kWh · 10 ⁶	1975 kWh · 10 ⁶
PROIZVEDENO NA GENERATORU		
HIDRO	40 900	42 576
TERMO KLASIČNA	115 900	98 474
TERMO NUKLEARNA	3 900	3 800
TERMO GEO	2 500	2 500
SVEUKUPNO :	163 100	147 333
VLASTITI POBON, PUMPANJE	- 9 800	- 8 653
PROIZVEDENO NA SABIRNICAMA	153 300	138 680
UVOZ	1 100	2 581
PREDAO MREŽI:	154 400	141 261

ELEKTROPRIVREDA ITALIJE					
STRUKTURA POTROŠAČA U 1976 GODINI					
	VRSTA POTROŠAČA	BROJ POTROŠAČA		FAKTURIRANA EL. ENERGIJA N · 10 ⁶ kWh	
		31. 12. 1976	31. 12. 1975	1976	1975
1	JAVNA RASVJETA	51 119	53 113	1845,8	1691,1
2	NN. MREŽA	3 522 876	3 369 769	5 552,5	4 937,6
3	DOMAĆINSTVO NIŽA TARIFA	16 030 389	15 464 266	21 214,9	18 799,4
	VIŠA TARIFA	1 027 882	1 214 582	3 294,0	3 849,8
4	INDUSTRIJA DO : 30 kV	2 664 402	2 557 024	10 784,0	9 896,9
	OBAT : 30 ÷ 500 kW	57 909	54 985	15 070,2	13 730,6
	PREKO : 500 kW	4 674	4 342	42 757,5	36 919,0
5	PREPRODAVAOCI	187	188	4 833,6	4 737,0
6	ŽELJEZNICA	1	1	3 320,5	3 209,5
7	UKUPNO FAKTURIRANO	23 359 412	22 718 270	108 673,0	97 770,9
8	PREPRODAVCI IZVOZ			1 386,3	1 230,1
9	SVEUKUPNO FAKTURIRANO			110 059,3	99 001,0

Tokovi energije uvoz-izvoz s inozemstvom dani su u tablici V.

S posebnom su se pažnjom planirale potrebe zemlje u budućnosti. Analize su vršene do 1986. godine, a procjene do 1962. godine prema tablici VI.

Kod planiranja se pazilo na stopu prirasta u zemljama članicama evropskog zajedničkog tržišta.

Za pokriće potreba do 1986. godine potrebno je izgraditi niz energetske potencijale, a trebalo je uzeti u obzir potrebe na kopnu i otocima Siciliji i Sardiniji.

U tablicama VII, VIII i IX dane su elektrane koje će se izgraditi do 1986. godine za pokriće planom predviđenih potreba.

Uočavaju se neimenovane NTE (pozicija: 7, 8, 9, 10). I u dnevnoj štampi je pisalo da ENEL, kao i sve zapadne zemlje, ima poteškoća sa stanovnicima — susjedima budućih NTE. Iz

Tablica V

ELEKTROPRIVREDA ITALIJE						
TOKOVI ELEKTRIČNE ENERGIJE ENEL-a SA INOZEMSTVOM U 1976 GODINI						
ZEMLJE	UVOZ	IZVOZ	PREUZETO	RAZNO PREUZETO	PRODANO	ZAMJENA
FRANCUSKA	697	751	—	79	39	74
ŠVICARSKA	2548	1892	2191	612	752	688
AUSTRIJA	382	23	115	67	139	67
JUGOSLAVIJA	477	350	128	193	456	83
SR. NJEMAČKA	—	—	—	—	—	—
EVROPSKA PARALELA	—	—	—	285	—	283
UKUPNO	4104	3016	2434	1236	1386	1195

Tablica VI

ELEKTROPRIVREDA ITALIJA						
PREDVIDENI PRIRAST POTROŠNJE ZIMSKOG VRŠNOG OPTEREĆENJA						
GODINA	POTRAŽNJA 10 ⁹ kWh		PRIRAST 60D. %	OPTEREĆENJE 10 ⁶ kW		PRIRAST 60D. %
	MAX.	MIN.		MAX.	MIN.	
1975	141,2	141,2	6,4	26,7	26,7	6,4
1976	154,4	154,4	6,4	28,9	28,9	6,4
1980	193,0	193,0	6,4	36,4	36,4	6,4
1985	283,0	263,0	8,5 ÷ 6,4	53,5	49,5	8,5 ÷ 6,4
1986	307,0	281,0	8,5 ÷ 6,8	58,0	53,0	8,5 ÷ 6,8
1987	333,0	300,0	8,5 ÷ 6,8	63,0	56,5	8,5 ÷ 6,6
1990	425,0	365,0	8,5 ÷ 6,8	81,0	69,0	8,5 ÷ 6,8
1992	500,0	415,0	8,5 ÷ 6,8	95,0	79,0	8,5 ÷ 6,8

Tablica VII

ELEKTROPRIVREDA ITALIJE						
HIDRO ELEKTRANE U IZGRADNJI ILI PLANU PREDVIĐENE DA BUDU U POGONU 1986 GODINE						
NAZIV HIDRO ELEKTRANE	INSTALIR. MW	PROIZVODNJA		ZIMSKO VRŠNO	OPASKA	
		PUMPNO kWh·10 ⁶	AKUMUL. kWh·10 ⁶			
BARDONECCHIA REKONSTR.	28	62	—	5	7	U IZGRADNJI
QUINCINETTO REKONSTR.	22	120	—	—	—	U PLANU
PIASTRA DERIV. CHIOTAS	1000	40	1000	78	1000	U IZGRADNJI
DERIV. ROSINA	100	150	100	2	100	U IZGRADNJI
PIEDILAGO	1000	—	1000	—	1000	U PLANU
EDOLO	1000	224	800	—	950	U IZGRADNJI
MERA II PROŠIR.	8	25	—	—	7	U IZGRADNJI
MON. ST. ANGELO JEZERA REATINI	45	20	43	3	44	U PLANU
PRESENZANO	1000	—	1000	—	1000	U PLANU
ORICHELLA PROŠIR.	129	233	40	345	86	U PLANU
TIMPAGRANDE PROŠIR.	191	404	—	—	76	U IZGRADNJI
ALBI	31	49	—	55	31	U IZGRADNJI
MAGISANO	36	54	—	—	56	U IZGRADNJI
TALARO	240	—	240	—	240	U IZGRADNJI
SOLASINO	500	—	500	—	500	U PLANU
AMARO	62	320	—	—	17	U PLANU
RAZNE PUMPNE HIDRO ELEKTRANE	400	—	400	—	400	U PLANU
UKUPNO :	5792	1701	5123	488	5494	

Tablica VIII

ELEKTROPRIVREDA ITALIJE				
KLASIČNE TERMO ELEKTRANE U IZGRADNJI ILI PLANU PREDVIĐENE DA BUDU U POGONU 1986 GODINE				
1	NAZIV TERMO ELEKTRANE		MW	
	SERMIDE	1 ETAPA	300	U PLANU
		2 ETAPA	300	
		3 ETAPA	300	
		4 ETAPA	300	
	TAVAZANO NOVA	1 ETAPA	300	
		2 ETAPA	300	U IZGRADNJI
	FUSINA	3 ETAPA	300	ZAVRŠNI RADOVI
		4 ETAPA	300	
	PORTO TELLE	1 ETAPA	640	U IZGRADNJI
		2 ETAPA	640	
		3 ETAPA	640	
		4 ETAPA	640	
	PIOMBINO	1 ETAPA	300	60TOVO
		2 ETAPA	300	U IZGRADNJI
		3 ETAPA	300	U IZGRADNJI
		4 ETAPA	300	
	TORVALDAGA NORD	1 ETAPA	640	PRIPREMNI RADOVI
		2 ETAPA	640	
		3 ETAPA	640	
		4 ETAPA	640	
	BRINDISI	4 ETAPA	300	U IZGRADNJI
	ROSSANO CALABRO	4 ETAPA	300	U IZGRADNJI
	TERMINI	1 ETAPA	300	U IZGRADNJI
		2 ETAPA	300	
	MELILLI	1 ETAPA	300	U IZGRADNJI
		2 ETAPA	300	
	MONFALCONE	3 ETAPA	300	U PRIPREMI
		4 ETAPA	300	
	FIUME SANTO	1 ETAPA	150	U IZGRADNJI
		2 ETAPA	150	
	SARDEGNA	1 ETAPA	150	U PLANU
		2 ETAPA	150	
		3 ETAPA	300	
		4 ETAPA	300	
	UKUPNO		12420	

tih razloga, a i kampanje u Italiji protiv izgradnje NTE, odgovarajuće službe nisu izdale suglasnost za lokacije, pa su prije više od dvije godine naručena postrojenja za sada još bez lokacije.

Opskrba NTE gorivom ugovorena je s američkim i britanskim isporučiocima, a neke elektrane se redovito opskrbljuju uranom iz Sovjetskog Saveza.

Za pokriće sve većih potreba u 1976. godini ušle su u pogon elektrane prema tablici X.

Isto su tako u tablici dana instalirana snaga transformatora prijenosa i distribucije u 1976. godini, a i ukupna instalirana snaga transformatora.

Tablica XII prikazuje dužinu izgrađenih vodova u 1976. godini, a i ukupne dužine vodova u zemlji.

Za razvoj i istraživanja ENEL je utrošio preko 33 milijarde lira. Od niza studija vrijedi napomenuti studiju o korištenju plutonija, o mogućnosti korištenja novih energetske izvora posebno geotermijskih, studije o zaštiti čovjekove okoline, o poboljšanju sigurnosti opskrbe, sigurnosti postrojenja uz smanjenje troškova. Provedena su ispitivanja za projektiranje 1000 kV voda.

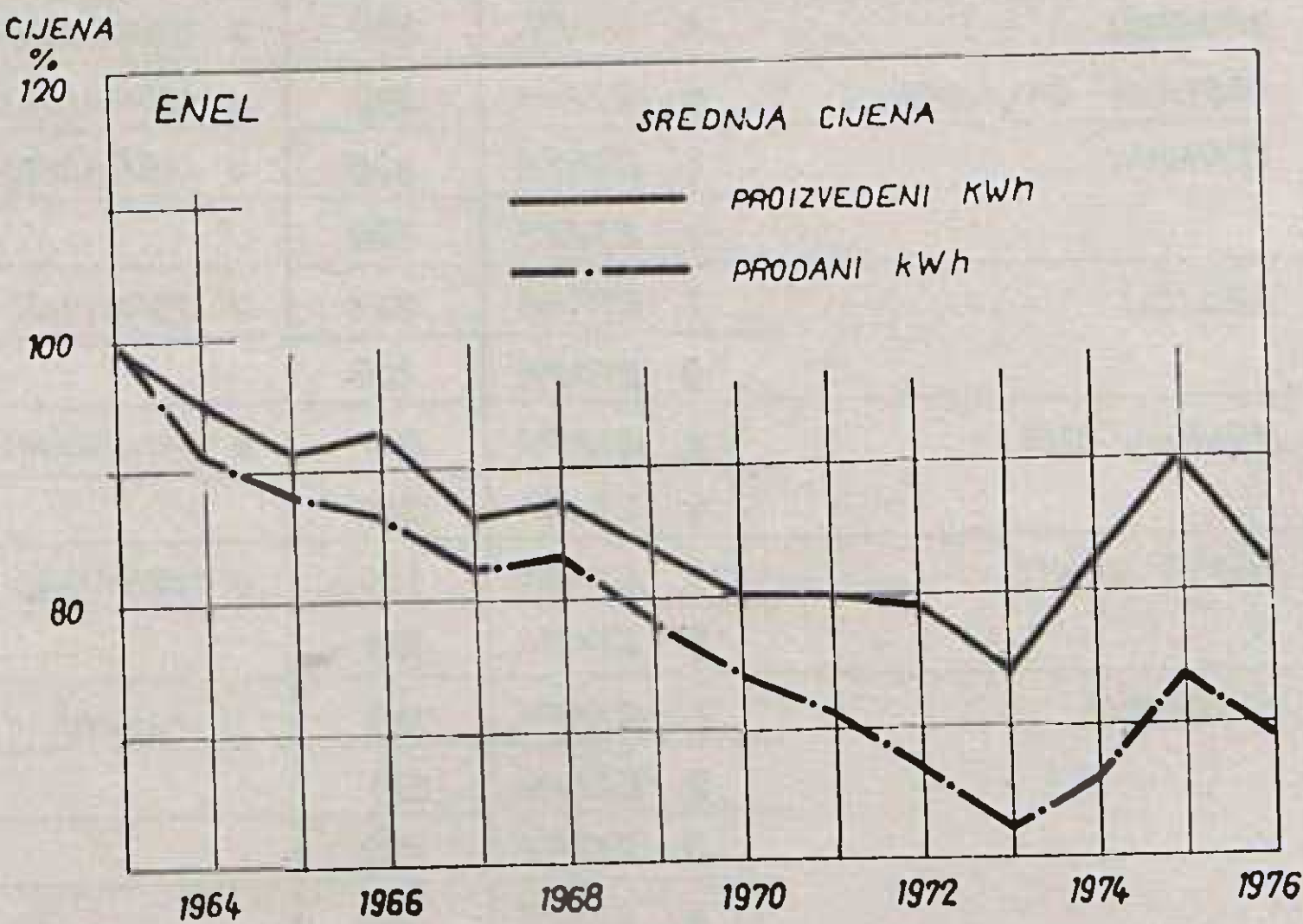
Tablica IX

ELEKTROPRIVREDA ITALIJE				
NUKLEARNE TERMO ELEKTRANE U IZGRADNJI ILI PLANU PREDVIĐENE DA BUDU U POGONU DO 1986 GODINE				
	NAZIV NUKLEARNE TERMO ELEKTRANE		SNAGA MW	
1	CAORSO	1 ETAPA	850	
2	MONTALTO DI CASTRO	1 ETAPA	1000	
		2 ETAPA	1000	
3	MOLISE	1 ETAPA	1000	
		2 ETAPA	1000	
4	LOMBARDIA	1 ETAPA	1000	
		2 ETAPA	1000	
5	PIEMONTE	1 ETAPA	1000	
		2 ETAPA	1000	
6	N.N.	1 ETAPA	1000	POSTROJENJE NARUČENO
		2 ETAPA	1000	LOKACIJA NIJE ODOBRENA
7	N.N.	1 ETAPA	1000	
		2 ETAPA	1000	
8	N.N.	1 ETAPA	1250	
9	N.N.	1 ETAPA	1250	
10	N.N.	1 ETAPA	1250	

Tablica XI

ELEKTROPRIVREDA ITALIJE			
INSTALIRANA SNAGA TRANSFORMATORA U 1976 GOD.			
	TRANSFORMATORI PRENOSA	UGRAĐENO 1976 MVA	UGRAĐENO UKUPNO MVA
1	380 kV	2550	27 020
2	220 kV	1283	22 995
3	150 ÷ 150 kV	—	13 862
	UKUPNO TRANSFORMATORI PRENOSA	3833	63 877
	TRANSFORMATORI DISTRIBUCIJE		
	150 ÷ 40 kV	10 584	206 484
	30 ÷ 1 kV	1 493	26 628
	UKUPNO TRANSFORMATORI DISTRIBUCIJE	12 077	233 112
	SVEUKUPNO	15 910	294 989

ODNOS CIJENE PROIZVEDENOG I PRODANOG kWh ZA RAZDOBLJE 1968 - 1976



Sl. 1.

Tablica X

ELEKTROPRIVREDA ITALIJE					
IZGRADENE ELEKTRANE U ITALIJI U 1976 GODINI					
NAZIV ELEKTRANE		INSTALIRANO NA			
		MVA	SABIRN MVA		
	ENEL				
1	HE SUVIANA JUG	185	150		
2	HE PELOS REKONST	37	30		
3	TE ROSSANO CALABRO 1 ETAPA	370	320	RADI NEDODBIJANJA SUGLASNOSTI, KASNI IZGRADNJA NAFTOVODA, PA JE RASPOLOŽIVA SNAGA OKO 500 MW	
	2 ETAPA	370	320		
	3 ETAPA	370	320		
4	TE MILAZZO 6 ETAPA	370	320		
5	GTE TRAVALE 2		3		
	OSTALI PROIZVOĐAČI				
6	TE TARANTO	190	160		
7	TE MONCALIERI	44	35	ITALSIDER	
	OSTALA MANJA POSTROJENJA	95	78	AEM TORINO	

Tablica XII

ELEKTROPRIVREDA ITALIJE			
UKUPNA DUŽINA VODOVA			
	VODOVI PRENOSA	IZGRADENO 1976 km	UKUPNO 1976 km
1	380 kV	333	4 084
2	220 kV	26	9 489
3	150 + 120 kV	3	20 735
	PRENOS UKUPNO	362	34 308
	VODOVI DISTRIBUCIJE		
4	150 40 kV	499	15 914
5	30 1 kV	10 584	206 484
6	N.N.	25 208	429 587
	DISTRIBUCIJA UKUPNO	36 291	651 985
	SVEUKUPNO	36 653	686 293

Osim toga, ENEL sudjeluje s Francuskom i SR Njemačkom na projektu sunčane TE snage 1,0 MW, koja bi se izgradila u Italiji. Suraduje na izradi industrijskog prototipa elektrane od 1,0 MW s koncentracijom svjetlosnih zraka pomoću galium arsenata.

Konačno, na slici 1. dan je odnos cijena proizvedenog i prodanog kWh.

Investicije ENEL-a u 1976. godini iznosile su 1 209 milijardi lira, što je 14% svih investicija u zemlji.

Prema L' E. E. 1978/2.

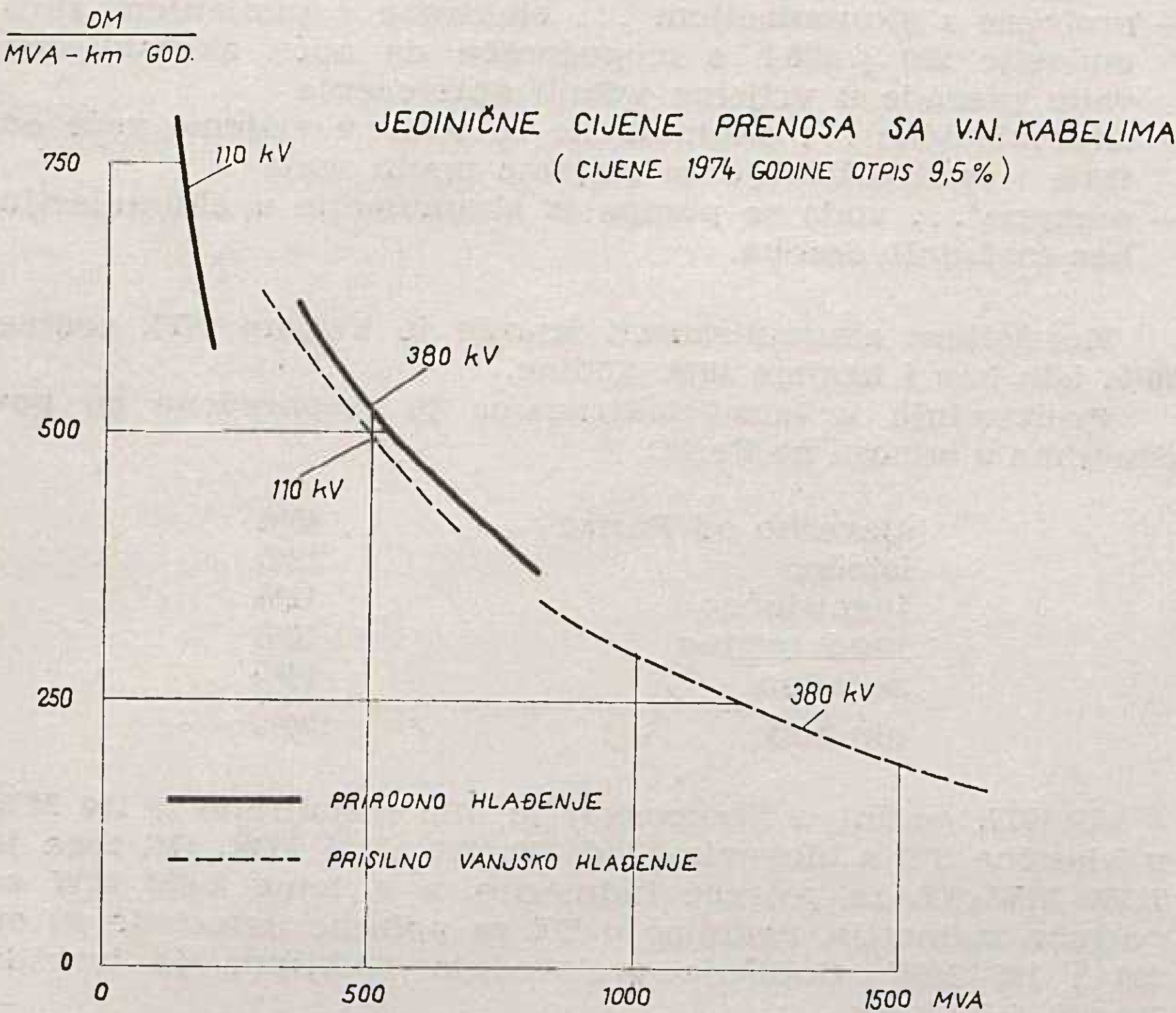
B. Mr.

VISOKONAPONSKI KABELI

Konstrukcije kabela su uvijek pratile potrebe elektroprivrede. Sve zahtjeve što se tiče pogonskog napona kabela i potrebne prijenosne snage kabela industrija je na vrijeme i kvalitetno riješila.

Iz sl. 1. vidi se da troškovi prijenosa kabelom padaju s povećanjem napona i prenesenom snagom. Danas se već proizvode kabele za napone 380 i 500 kV, a projektiraju za napone 760 i 1 100 kV.

Prema današnjim saznanjima za prirodno hlađeni kabel su maksimalni gubici 70 W/m koje još može preuzeti okolno tlo, a što odgovara presjeku od 2 500 mm². Kod napona 380 kV iznosila bi prijenosna moć kabela (vodeći računa o mogućnosti predaje topline, na okolno tlo) oko 600 MVA.



Sl. 1.

Ako kod tog napona treba prenesti veće snage, potrebno je prisilno hladiti kabel ili upotrijebiti supravodljive vodiče. Prisilno hlađenje može biti uljem, vanjsko ili unutrašnje. Može se primijeniti i modernije hlađenje s tekućim dušikom kod 80 K ili izolacija sa sumpornim heksafluoridom (SF₆).

Iz tabele 1. vidi se da je sa prijenosom sve većih snaga sve manji utjecaj okolnog tla, a sve veći kabelskog pribora (kabelskih glava i spojnica).

Prisilnim hlađenjem smanjuje se prijenosna rezerva kabela, a naročito kod unutrašnjeg prisilnog hlađenja (radi male količine rashladne vode u sistemu), pa zato treba s puno opreza odabrati sistem hlađenja.

Praktično jedino rashladno sredstvo je voda. Ulje zbog svog visokog viskoziteta ne dolazi u obzir.

Kod odabiranja kabela ne smije se kabel potpuno opteretiti. Najpovoljnije je opteretiti kabel s otprilike 2/3 minimalne prijenosne snage.

Prema danas konstruiranim uljnim kabelima 380 kV moguće je prenesti snage od:

- 1 030 MVA uz presjek 3 × 1 200 mm² Cu i uz indirektno hlađenje
- 2 600 MVA uz presjek 3 × 2 600 mm² Cu i direktno vanjsko hlađenje
- 1 120 MVA uz presjek 3 × 1 200 mm² Cu i direktno hlađenje
- 2 200 MVA uz presjek 3 × 2 000 mm² Cu i hlađenje direktno s unutrašnjom cirkulacijom ulja.

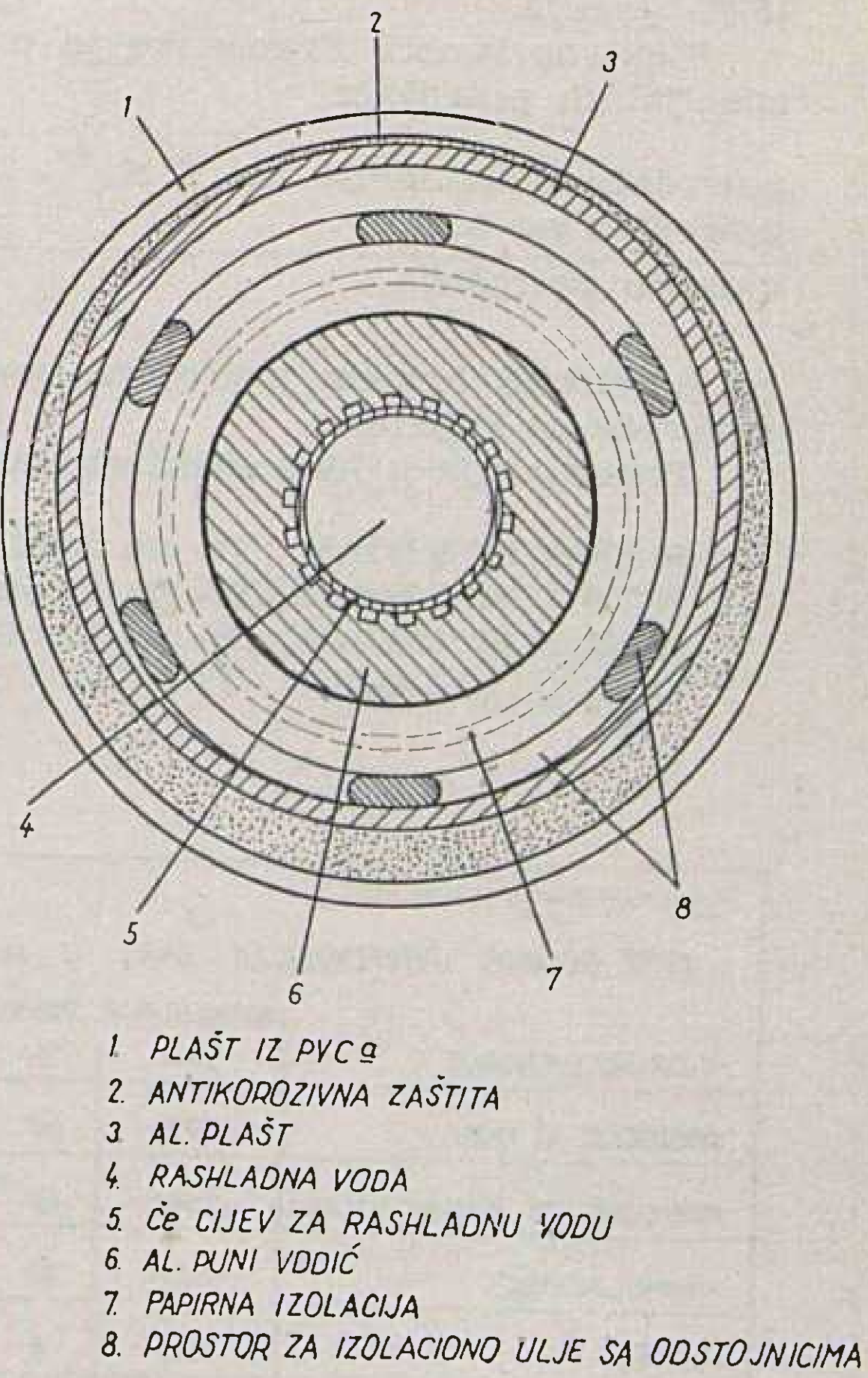
Kod 110 kV kabela postoji konstrukcija koja može prenesti: 600 MVA kod presjeka 3 × 2 200 mm² Al s direktnim unutrašnjim hlađenjem vodom.

Prema Bulletin ASE 1978/4.

B. Mr.

Raspored	Prenesena snaga MVA	Prednosti	Mane
Indirektno hlađenje			
	Do 1 500 MVA	— Kabel i sistem hlađenja odvojeni — Ukopani kabeli, spojnice normalno opterećene u ispitivanju	— Maksimalno prenesena snaga 1,5–1,7 — Prema kabelu s prirodnim hlađenjem
Direktno vanjsko hlađenje			
	Do 2 500 MVA	— Kabel i sistem hlađenja odvojeni — Velike prenesene snage u ispitivanju	— Pomicanje kabela prema sistemu hlađenja — Ovisnost između konstrukcije-rashlađenog sistema-načina polaganja
Direktno unutrašnje hlađenje			
	Do 5 000 MVA	— Vrlo velike prijenosne snage kod hlađenja vodom	— Ne može se odvojiti kabel od sistema hlađenja — Troškovi ovise o načinu odvajanja hlađenja od dijelova pod naponom — Tehnika u razvoju posebice s obzirom na pribor
Prisilna hlađenja 380			

PRESJEK KABELA 110 kV SA UNUTRAŠNJIM PRISILNIM HLAĐENJEM



Sl. 2.

ELEKTROPRIVREDA FRANCUSKE U 1977. GODINI

Proizvodnja od 207 milijardi kWh na sabirnicama generatora u 1977. godini povećana je za 5,3% prema 1976. godini. U tablici I dana je ukupna proizvodnja na sabirnicama generatora za svu proizvodnju u Francuskoj, tj. za EDF (Elektroprivreda Francuske), i za vlastitu proizvodnju industrije.

Tablica I

ELEKTROPRIVREDA FRANCUSKE				
1977 PRODANI kWh				
A	VISOKI NAPON	PRODAJA GWh	%	1977 1976 %
1	RAFINERIJE	2300		
2	ŽELJEZARE	12000		
3	ŽELJEZNICA	6500		
4	EL. KEMIJA I METALURGIJA	18500		
	INDUSTRIJA	87000		
	VISOKI NAPON	126300	61	+ 4,1
B	NISKI NAPON			
1	TREĆA LICA	18400		
2	DOMAĆINSTVA	47800		
	NISKI NAPON	66200	32	+ 10,1
C	GUBITCI	14500	7	
D	UKUPNO	207000	100	+ 6,0

Od toga je proizvedeno:

hidroenergija	76,00 × 10 ⁹ kWh ili	36,7%
termoenergija	126,00 × 10 ⁹ kWh ili	60,6%
uvoz	5,10 × 10 ⁹ kWh ili	2,4%
pumpanje	0,70 × 10 ⁹ kWh ili	0,3%
ukupno proizvedeno	207,00 × 10 ⁹ kWh ili	100,0%

Vršno opterećenje je u istom razdoblju iznosilo 37,0 GW, što je za 7,2% više od vršnog opterećenja u 1976. godini. Zbog povoljne hidrološke godine proizvodnja HE je za 56,2% veća od one u 1976. godini. U skladu s time je proizvodnja TE za 13,4% manja.

Elektroprivreda Francuske je u 1977. godini imala: 541 specijalnih potrošača

potrošača distribucije na V. N.	135 900
potrošača na n. n.	22 350 000
ukupno potrošača,	22 486 441

pa s tolikim brojem potrošača spada među najveće elektroprivrede na svijetu.

Proizvodnja u hidroelektranama je raspoređena:

55 100 × 10 ⁹ kWh ili 73% na Alpe uključivo Juru i Ronu
7 700 × 10 ⁹ kWh ili 10% na Pirineje
13 200 × 10 ⁹ kWh ili 17% na Centralni masiv
76 000 × 10 ⁹ kWh

Tablica II

ELEKTROPRIVREDA FRANCUSKE						
1977 GODINA PROIZVEDENI kWh U HIDRO-ELEKTRANAMA						
HIDROELEKTRANE	INSTALIRANA SNAGA MW	%	PRODUKTIVNOST GWh	%	PROIZVEDENO GWh	%
PROTOČNE U NIZU	7970	43	38700	63	46400	61
PROTOČNE SA AKUMULACIJOM	3500	19	11100	18	14100	18
AKUMULACIONE	6020	32	11200	18	17200	20
PUMPNE	1110	6	300	1	300	1
HE. UKUPNO	18600	100	61300	100	76000	100

Od toga 4 500 × 10⁹ kWh ili 6% nisu proizvedeni u postrojenjima EDF-a.

U tablici II pod nazivom HE misli se:

- protočne u nizu ... protočna elektrana gdje punjenje akumulacije iznosi do 2h
- protočne s akumulacijom ... elektrane s punjenjem akumulacije 200 ÷ 400 h s mogućnošću da noću akumuliranu vodu prerade u vrijeme vršnih opterećenja
- akumulacione ... akumulacije se pune u vrijeme veće od 400 h i upotrebljavaju za vrijeme malih voda
- pumpne ... voda se pumpa iz akumulacije u akumulaciju bez značajnih dotoka.

Koeficijent akumuliranosti iznosio je krajem 1977. godine 70%, isto kao i krajem 1976. godine.

Proizvodnja u termoelektranama je raspoređena po područjima u odnosu na Pariz:

sjeverno od Pariza	45%
istočno	19%
jugoistočno	12%
jugozapadno	10%
zapadno	14%
ukupno	100%

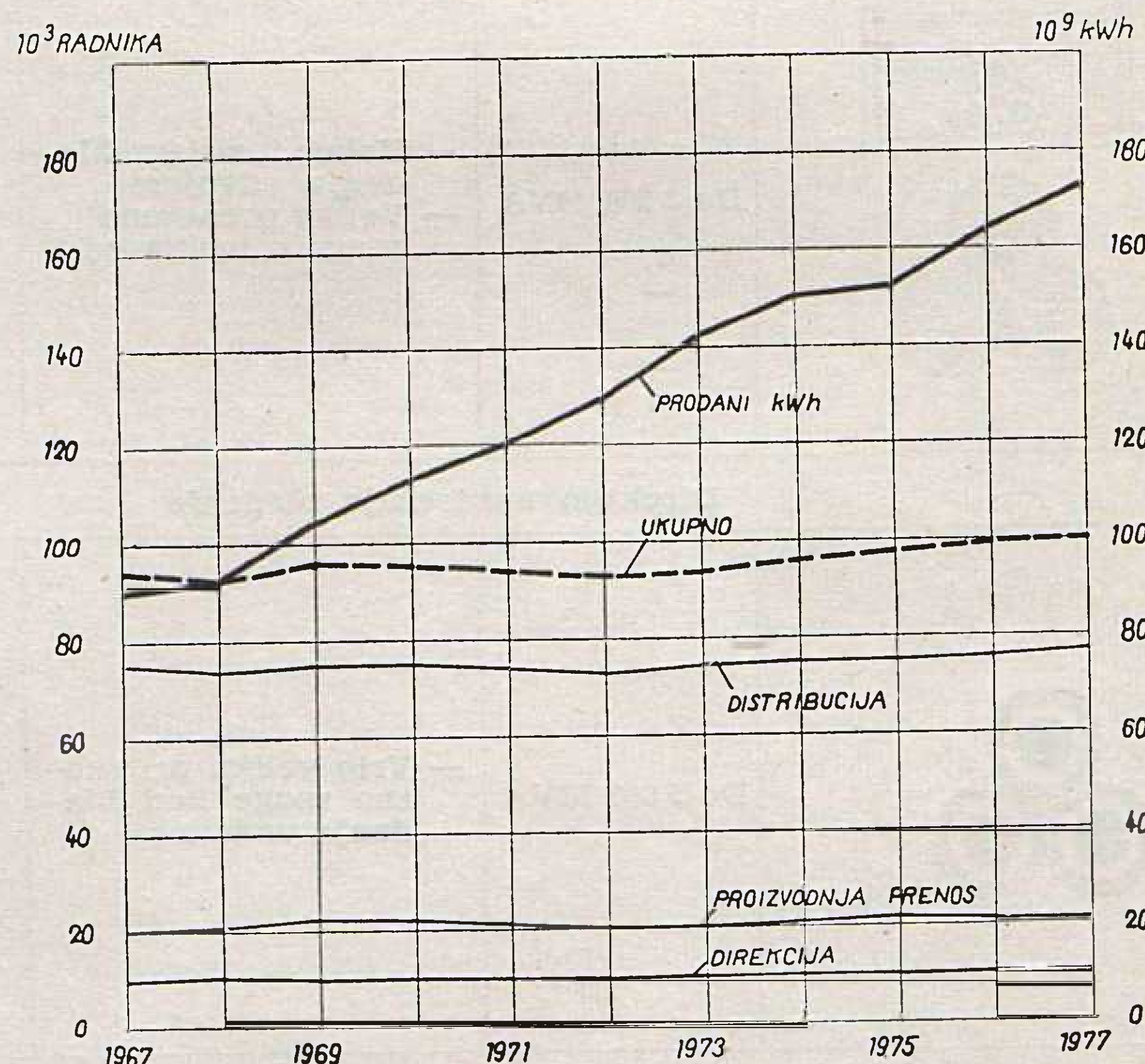
U 1977. godini u Francuskoj je bilo instalirano 29 100 MW u klasične TE s blokovima od 700, 250 i 125 MW. Od toga je 7 100 MW TE za potrebe industrije, a u tome 3 600 MW za potrebe rafinerija. Jedinice u TE za potrebe industrije su od 250 i 125 MW. Godišnja proizvodnja elektrana je iznosila 109 600 × 10⁹ kWh.

Tablica III

ELEKTROPRIVREDA FRANCUSKE					
DUŽINA ZRAČNIH VODOVA PO GODINAMA					
	kV	1974 km	1975 km	1976 km	1977 km
1	400	5900	6200	6300	6700
2	225	22430	22700	22950	23600
3	150	6720	6700	6400	6300
4	90 ÷ 45				37000
5	35 ÷ 05				425000
6	N.N.				575000

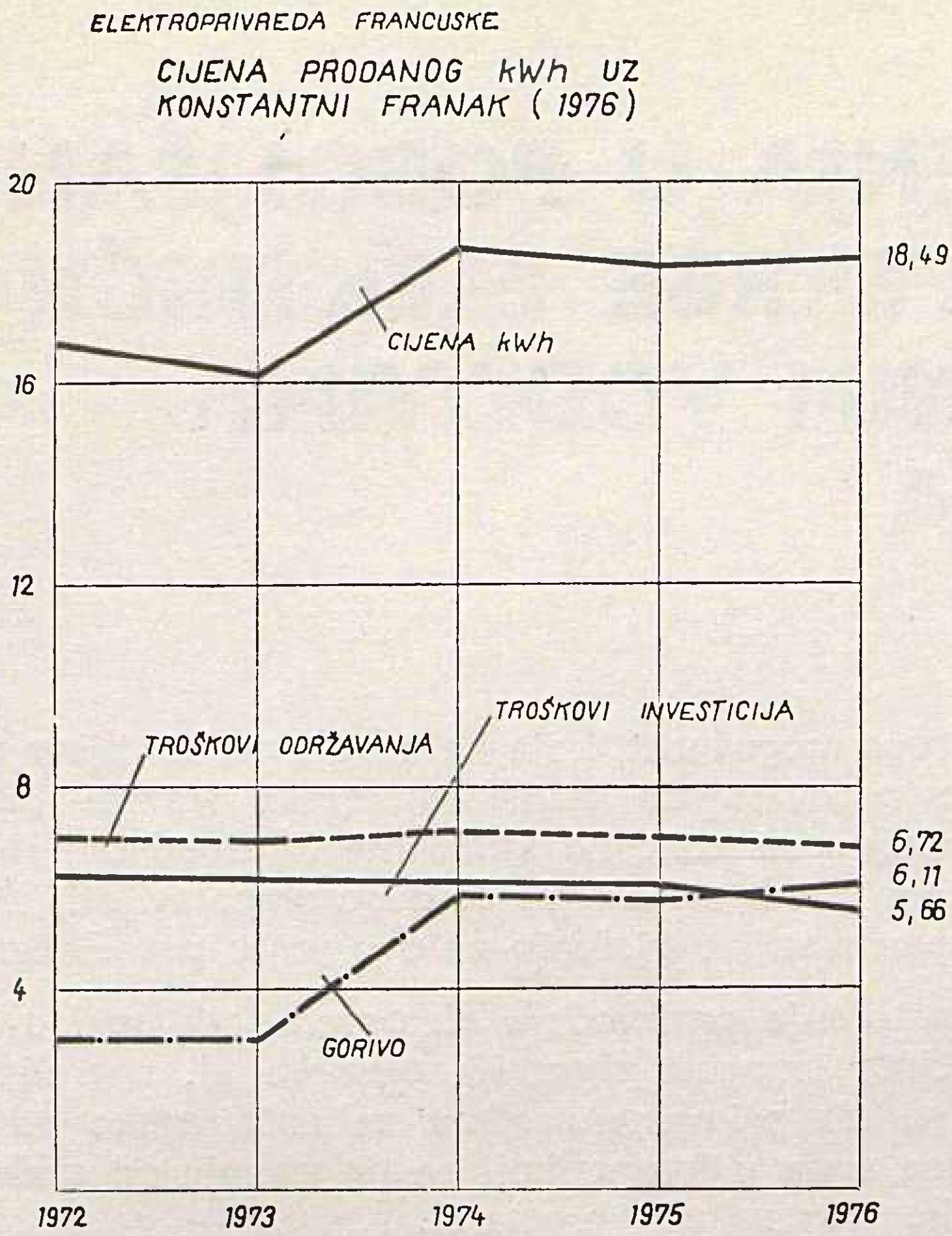
ELEKTROPRIVREDA FRANCUSKE

ODNOS ZAPOSLENIH PREMA PREDANIM kWh PO GODINAMA



Sl. 1.

Tablica IV



Sl. 2.

Instalirano u NTE bilo je u istom razdoblju 4 599 MW, a proizvedeno u njima $17\,000 \times 10^9$ kWh.

Dužina vodova krajem godine vidljiva je iz tablice III.

Slika 1. pokazuje broj zaposlenih po djelatnostima u odnosu na isporučenu električnu energiju po godinama.

Slika 2. pokazuje udio investicija — goriva — održavanja u prodanom kWh, sve računajući s konstantnim frankom preračunato na 1976. godinu.

Prema RGE 1978/4.

B. Mr.

ELEKTROPRIVREDA FRANCUSKE				
1977 GODINA ELEKTRANE U IZGRADNJI				
		SNAGA MW	U POGONU GOD.	
1	HE ARC ISÈRE	480	1979	
2	HE MONTÉZIC	920	1981/82	
A	HIDRO ELEKTRANE UKUPNO	1400		
1	DE LUCCIANA	22	1978	
2	TE VAZZIO	38	1979/80	
B	TERMO ELEKTRANE KLASIČNE UKUPNO	60		
1	NTE GRAVELINES B	1 ETAPA	925	1979
		2 ETAPA	925	1979
		3 ETAPA	925	1980
		4 ETAPA	925	1980
2	NTE PALVEL	1 ETAPA	1270	1982
		2 ETAPA	1270	1982
3	NTE ST. LAVRENT B	1 ETAPA	905	1980
		2 ETAPA	905	1981
4	NTE DAMPIERRE	1 ETAPA	905	1979
		2 ETAPA	905	1979
		3 ETAPA	905	1980
		4 ETAPA	905	1981
5	NTE CHINON B	1 ETAPA	905	1981
		2 ETAPA	905	1982
6	NTE BUGEY	2 ETAPA	925	1978
		3 ETAPA	925	1978
		4 ETAPA	905	1979
		5 ETAPA	905	1979
7	NTE CREYS MALVILLE	1 ETAPA	1200	1982
8	NTE BLAYAIS	1 ETAPA	925	1980
		2 ETAPA	925	1981
		3 ETAPA	925	1982
		4 ETAPA	925	1983
9	NTE TRICASTIM	1 ETAPA	925	1979
		2 ETAPA	925	1979
		3 ETAPA	925	1979
		4 ETAPA	925	1980
C	NUKLEARNE TERMO ELEKTRANE UKUPNO	25740		
D	SVEUKUPNO ELEKTRANE	27 200		

Elektra **ek**
KOPRIVNICA

OOOR ELEKTRE — ZAGREB

PODUZEĆA ZA DISTRIBUCIJU ELEKTRIČNE ENERGIJE

43 300 Koprivnica — Rade Končara 10 Telefoni: 72-422 i 72-420



R A D E
KONČAR

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

Uvod

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

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

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

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

Automatsko odvajanje voda u kvaru

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

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

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

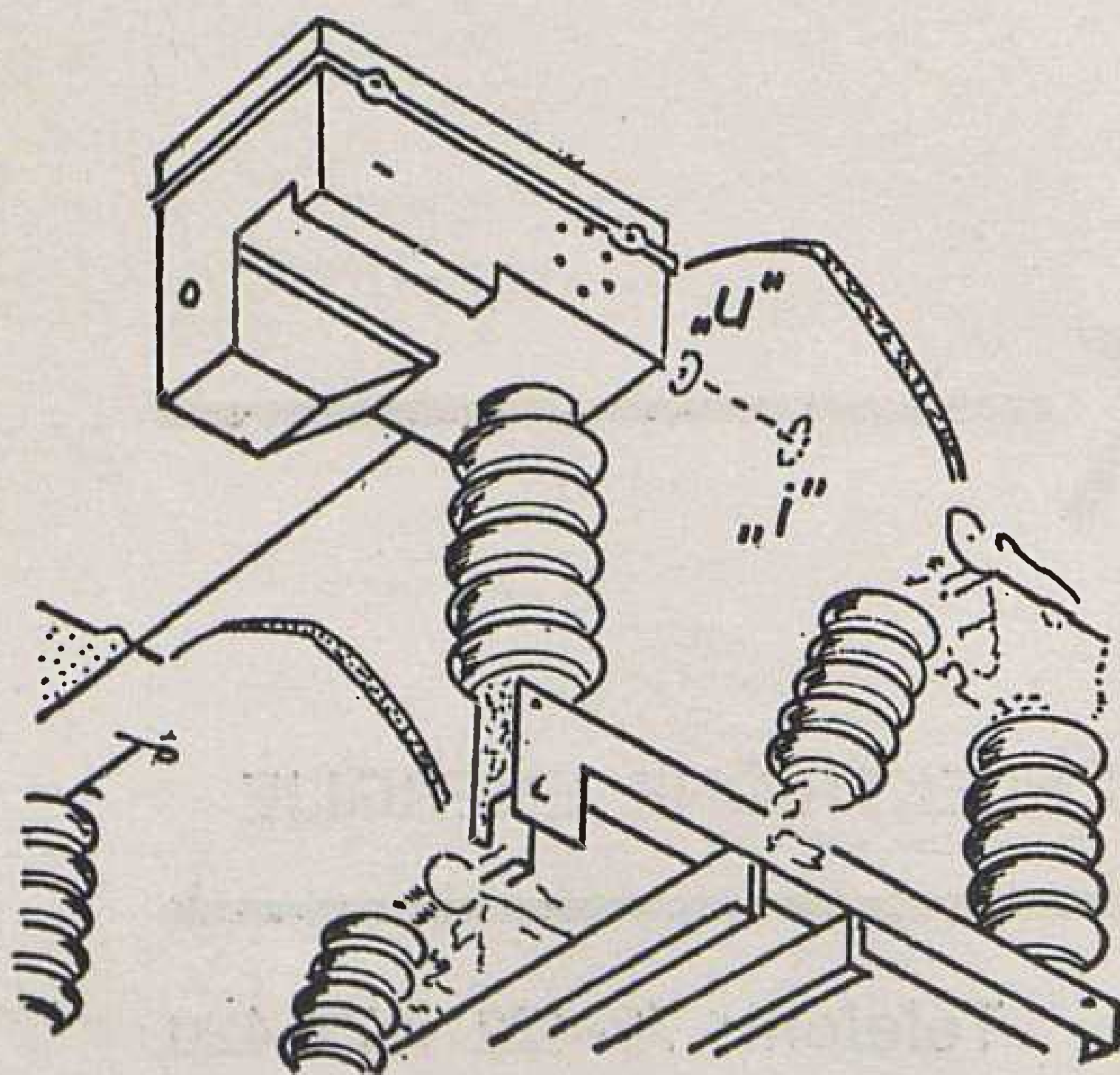
Primjenom ovog uređaja, omogućeno je veoma brzo odvajanje voda u kvaru, čime se osigurava nesmetana opskrba potrošača priključenih na druge krajnje vodove u promatranom konzumnom području.

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

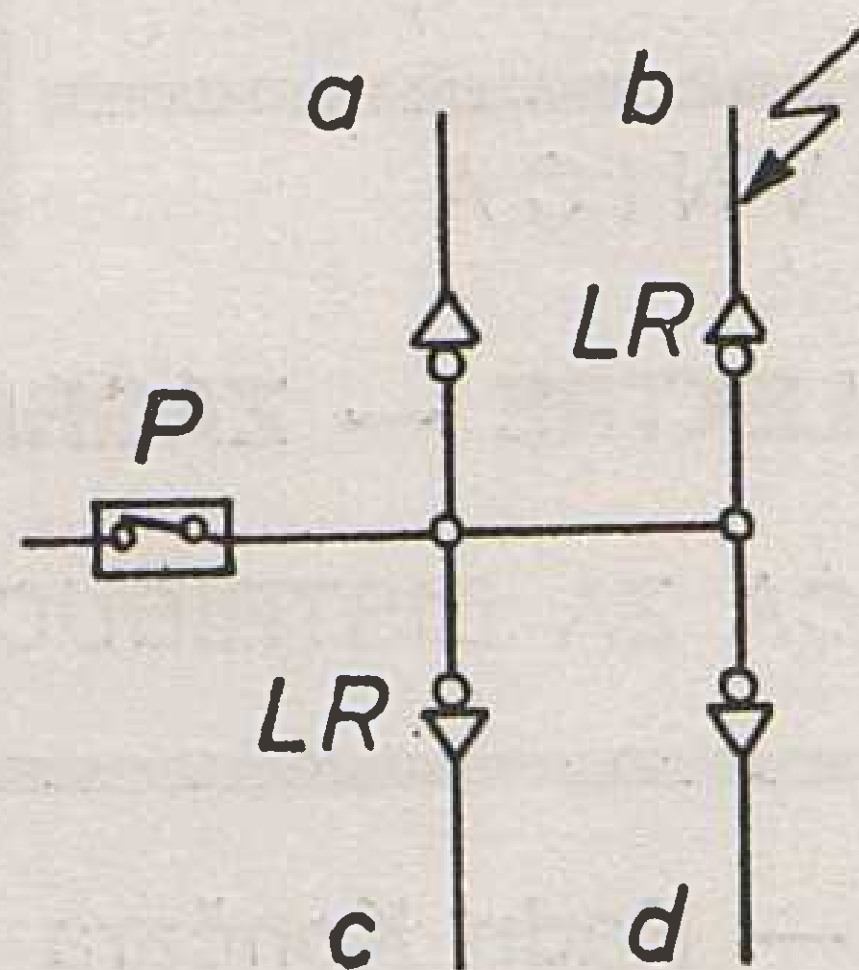
U slučaju pojave kvara na vodu (b), struja kratkog spoja I_k aktivira zaštitu prekidača (P), ugrađenog u TS na početku glavnog voda, koji prekida struju I_k za približno 0,1 — 0,2 sek. od njezinog nastanka.

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

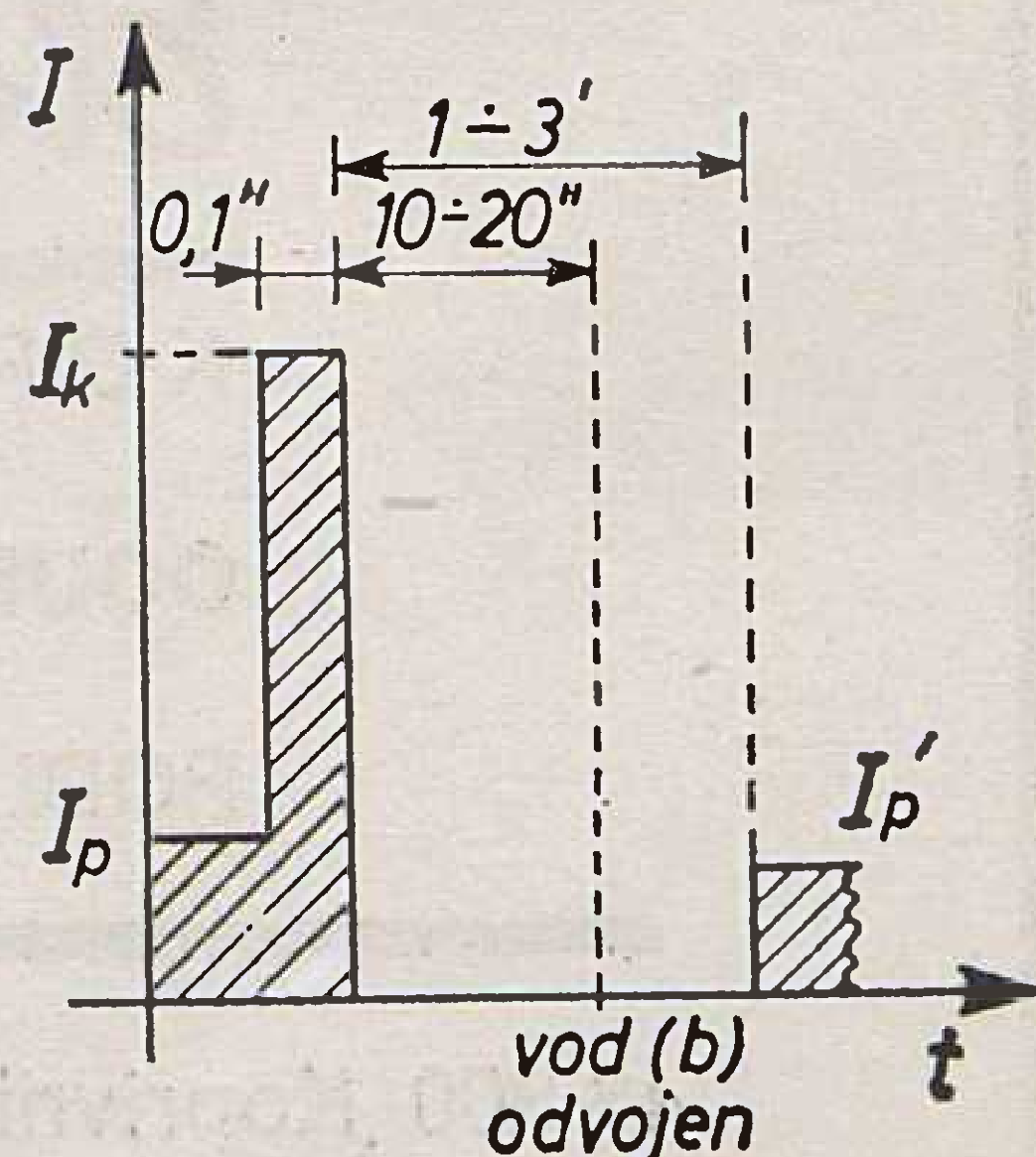
Uklapanjem prekidača, ručno ili automatski nakon pauze od 1 — 3 min., ponovno se nastavlja opskrba



Sl. 1.



Sl. 2.



Sl. 3.

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

$$I_p = I_k = 0$$

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

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

Neke mogućnosti primjene uređaja za automatsko odvajanje voda u kvaru

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

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

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

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

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

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

Zaključak

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

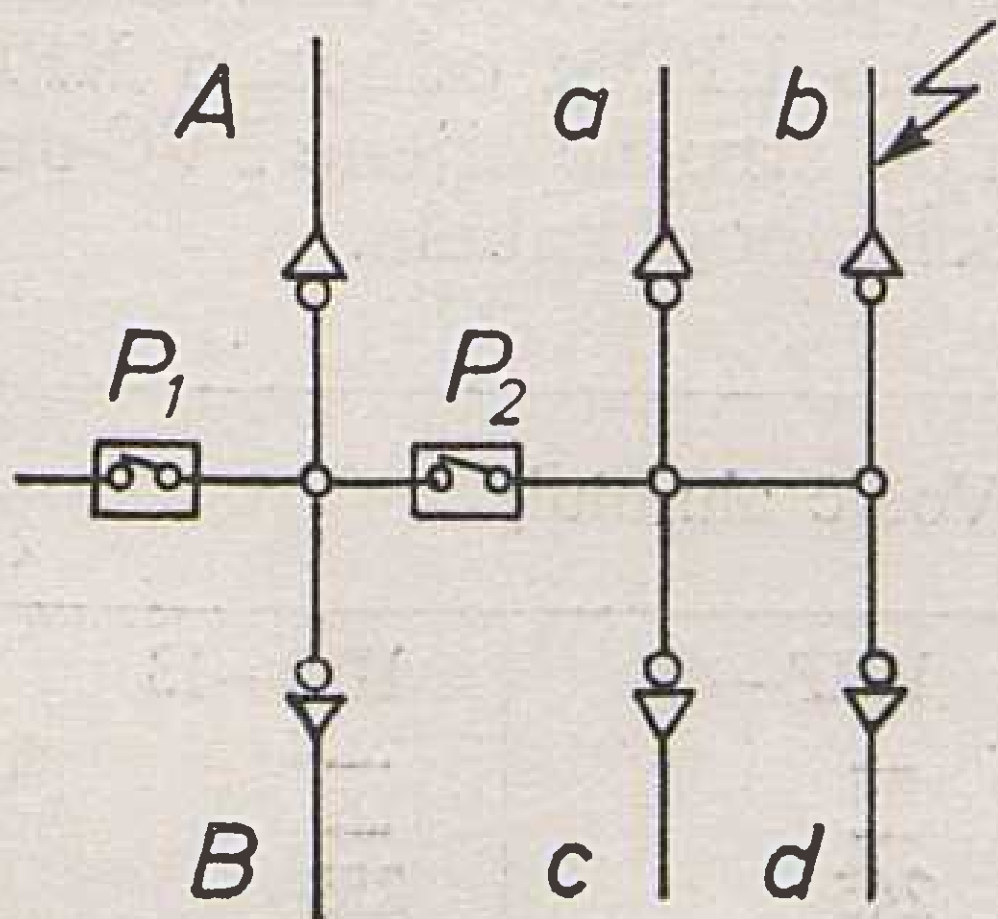
- sigurniju opskrbu el. energijom, radi manjeg broja ispada, jer izvan pogona ostaje samo vod u kvaru,
- kraće vrijeme za pronalaženje i otklanjanje kvara,
- manje troškove za otklanjanje nastalih kvarova,
- manje ljudstva i vozila za održavanje zračnih mreža srednjeg napona.

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

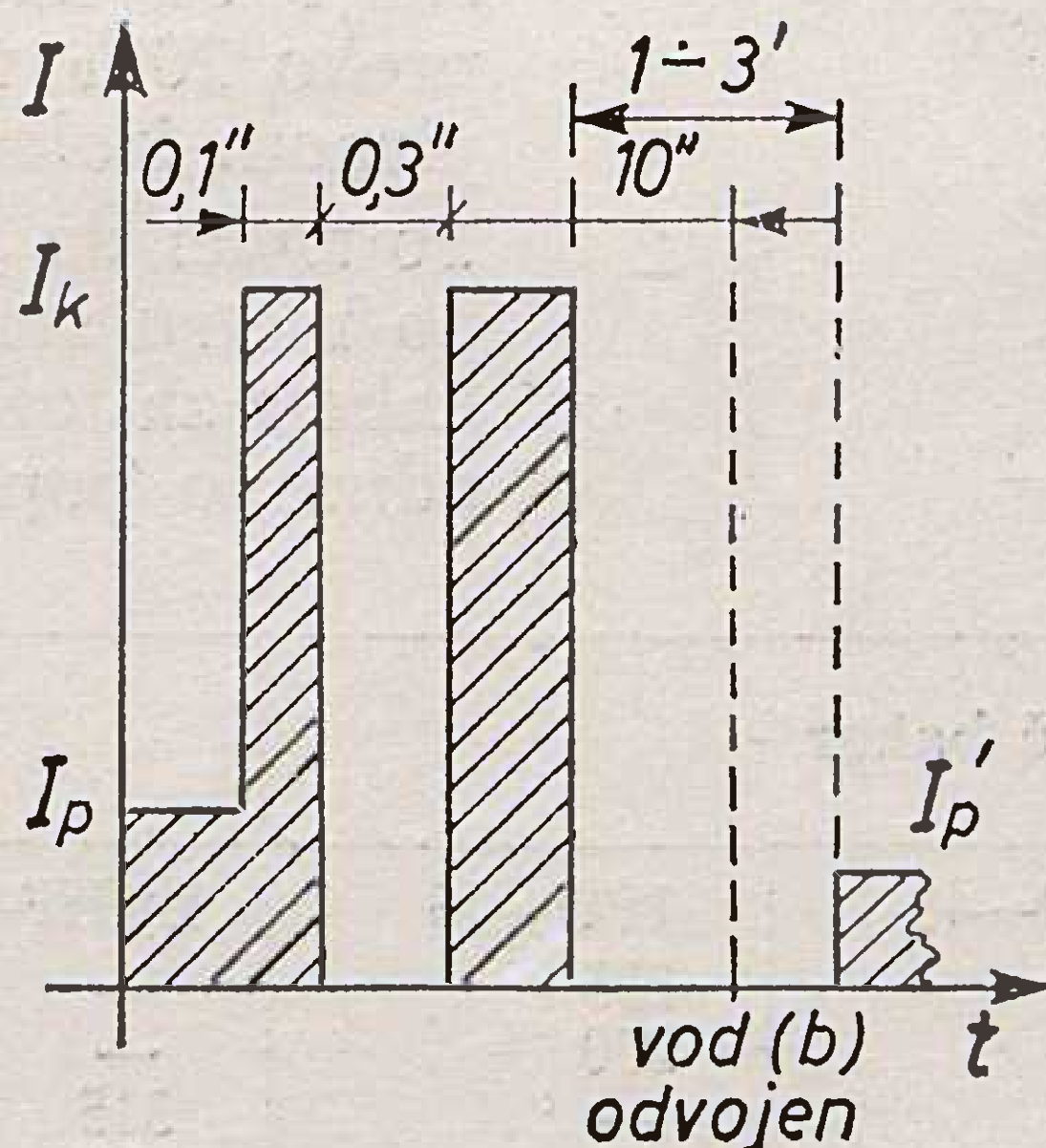
Naslov pisca:

Josip Polanc, dipl. ing.

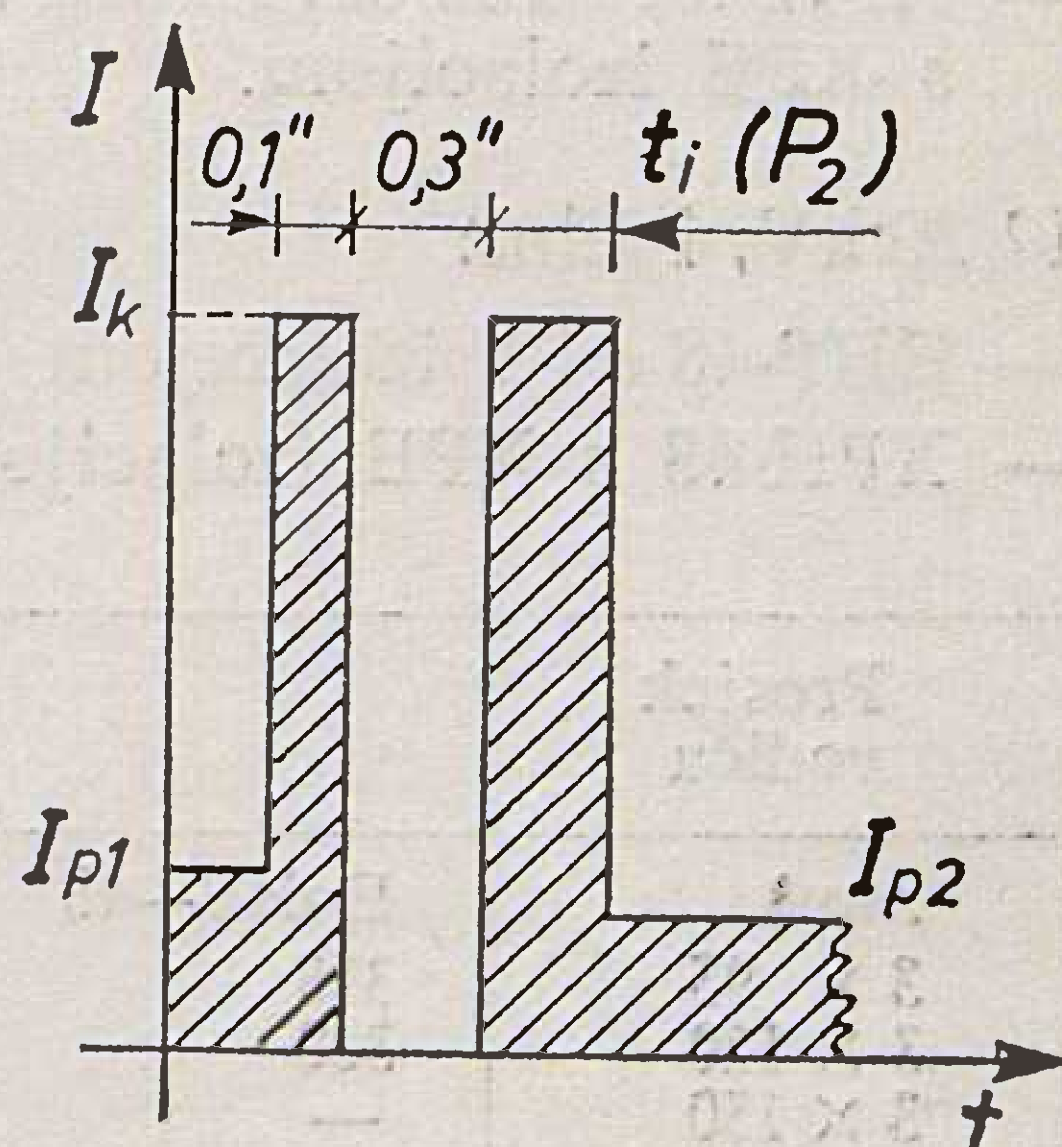
RO »Rade Končar« — Elektrouredaji



Sl. 4.



Sl. 5.



Sl. 6.



Program proizvodnje srednjonaponskih energetskih kabela

Redoviti program proizvodnje srednjonaponskih energetskih kabela tvornice ELKA obuhvaća energetske kabele od 1 do 35 kV.

Kabeli se proizvode u trožilnoj i jednožilnoj izvedbi, armirani i nearmirani, s aluminijskim i bakrenim vodičima i u četiri najvažnije vrste izolacija:

- PVC = polivinilklorid
- EPDM (EPR) = etilen — propilen
- PE = polietilen
- XPE = umreženi polietilen.

Najvažniji tipovi srednjonaponskih kabela grupirani prema naponskim nivoima su slijedeći:

3,6/6 kV, 3-žilni:

- PP-40, PP-41, PP-44, PP-45 s PVC izolacijom.

6/10 kV, 3-žilni:

- PHP-48, PHP-84, PHP-85 s PVC izolacijom
- EpHP-48, EpHP-81, EpHP-84, EpHP-85 s EPDM izolacijom
- XPH-48, XPH-81, XPH-84, XPH-85 s XPE izolacijom.

12/20 kV, 1-žilni:

- EHP-48 s PE izolacijom
- XPH-48 s XPE izolacijom.

20/35 kV, 1-žilni:

- EpHP-48 s EPDM izolacijom
- XHP-48 s XPE izolacijom.

Osim ovih varijanata moguće su i neke druge konstrukcijske izvedbe u skladu s JUS ili drugim inozemnim propisima ili standardima, odnosno prema posebnim pogonskim potrebama. Treba napomenuti da kod energetskih kabela valja upoređivati strujnu cijenu kabela, dakle izraženu u d/km, A, jer je samo tako moguće usporediti dva kabela istog napona i presjeka. Kabeli izolirani s XPE-om ili EPDM-om čija je termička klasa 90° C mogu trajno voditi znatno veću struju od kabela izoliranih papirom ili polietilenom termičkih klasa 65° C odnosno 70° C.

Primjera radi navodimo strujna opterećenja u amperima za nekoliko presjeka 10 kV kabela izoliranih EPDM-om (tip EpHP — 48), PVC-om (tip PHP-48) i papirom tip (IPO-13) s bakrenim i aluminijskim vodičima.

Bolje termičke karakteristike EPDM i XPE elastomera omogućuju veća strujna opterećenja kabela, pa kabeli s EPDM i XPE izolacijama imaju preko 25% veće strujno opterećenje od kabela s PVC izolacijom, odnosno preko 20% veće opterećenje od kabela s papirom izolacijom.

To znači da je uz približno istu cijenu kabela po metru strujna cijena EPDM odnosno XPE kabela za toliko niža od strujne cijene PVC-om odnosno papirom izoliranog kabela.

Presjek vodiča	Vodič bakar			Vodič aluminij		
	EpHP—48	PHP—48	IPO—13	EpHP—48	PHP—48	IPO—13
mm ²						
3 × 95	315	245	255	—	—	—
3 × 120	360	280	290	—	—	—
3 × 150	—	—	—	315	245	255
3 × 185	—	—	—	355	280	285

Nova tehnologija — izvanredna kvaliteta

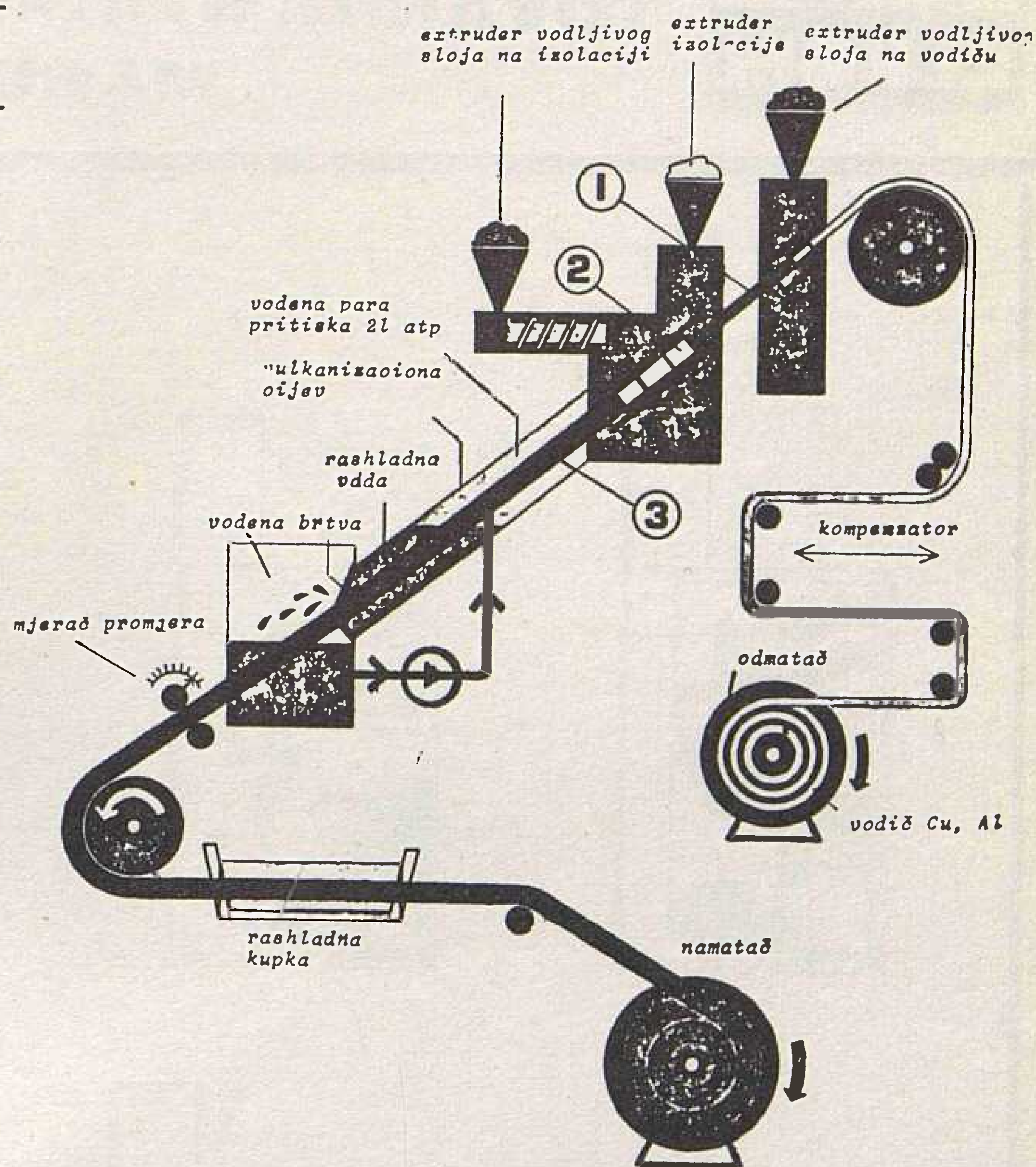
Elka je prva u zemlji uvela i zasad jedina proizvodi srednjonaponske kabele postupkom izoliranja u troslojnoj ekstruziji.

U takvom procesu se sva tri sloja (vidi shematski prikaz), brizgaju istovremeno i to:

- prvi poluvodljivi sloj na vodiču
- izolacija XPE i EPDM
- drugi poluvodljivi sloj na izolaciji.

Na taj način se postiže:

- Kvalitetan i čvrst spoj poluvodljivih slojeva čime se osigurava dugotrajan i pouzdan pogon kabela, bez pojave oslabljenja naponskog vijeka trajanja kabela zbog povišenih izbijanja na spojevima slojeva.
- Difuzija molekula vode u izolaciju u procesu proizvodnje je smanjena na minimum, a time je na minimum svedena pojava vodenog »treeinga«.
- Drugi poluvodljivi sloj preko izolacije predstavlja dodatni zaštitni sloj u slučaju da dođe do oštećenja PVC plašta kabela kod polaganja ili u eksploataciji.

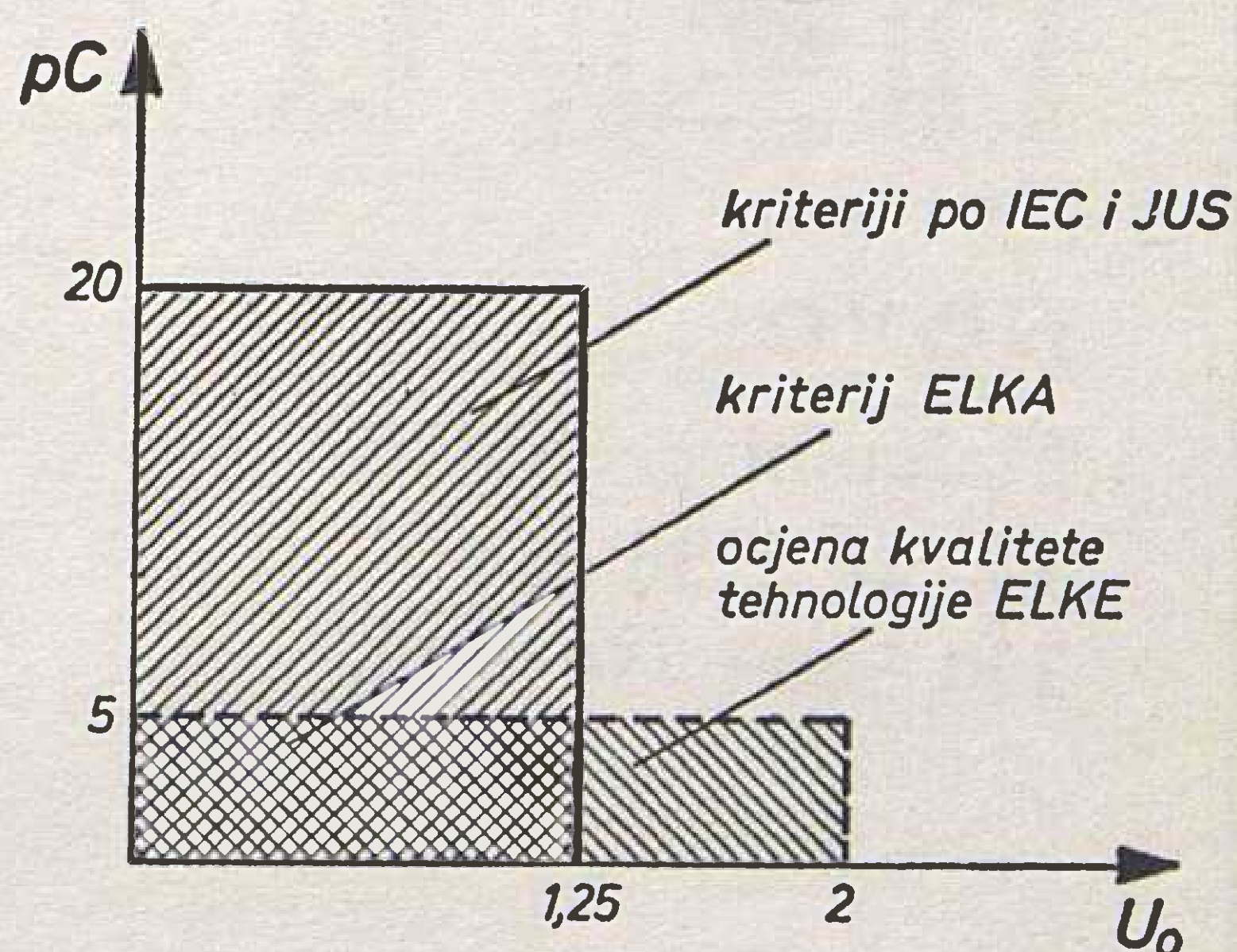


Ispitivanje srednjonaponskih kabela

Sva ispitivanja, tipska i rutinska provode se prema IEC standardu, publikacija 502-1 i JUS N.C5.225, N.C5.235 i N.C5.245.

Visoki tehnološki nivo proizvodnje osigurava izvanrednu kvalitetu srednjonaponskih kabela što pokazuju ispitivanja parcijalnih izbijanja prema donjem diagramu.

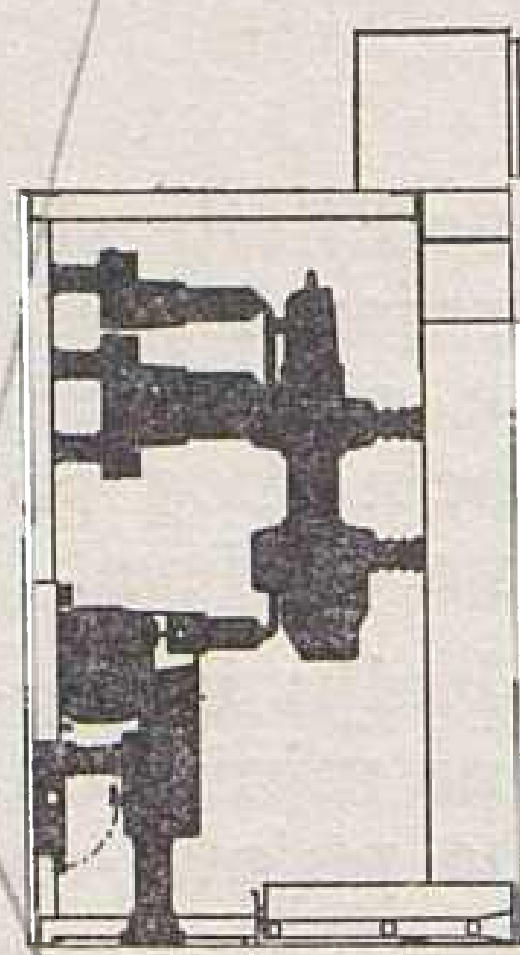
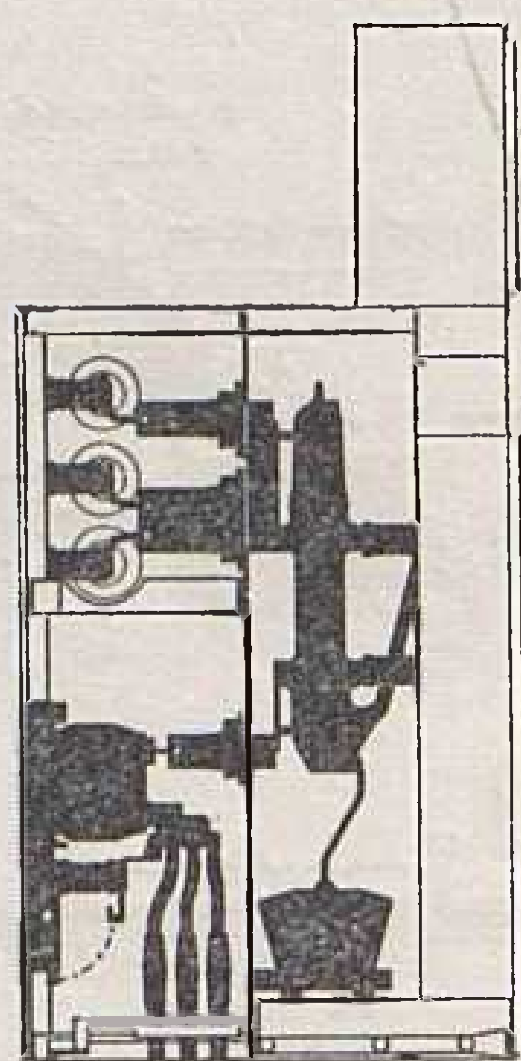
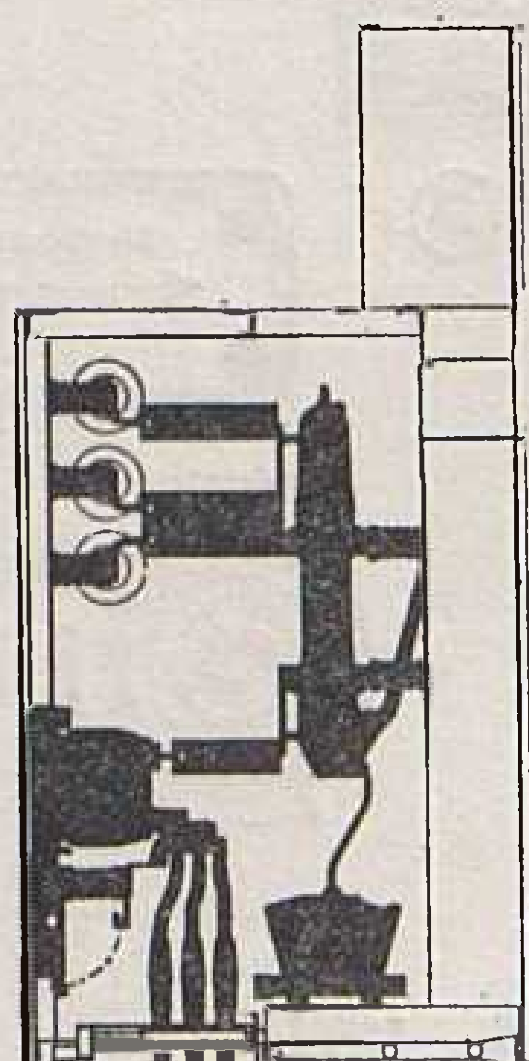
Elka daje sve potrebne stručne savjete i pomoć u vezi spajanja, polaganja i projektiranja kablskih trasa.



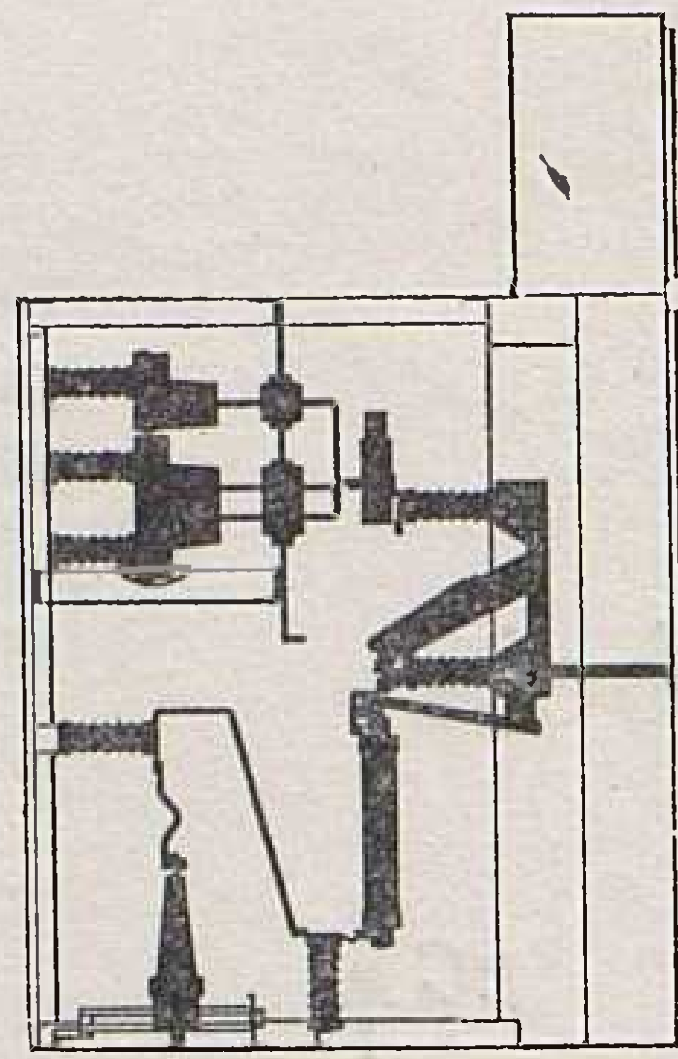
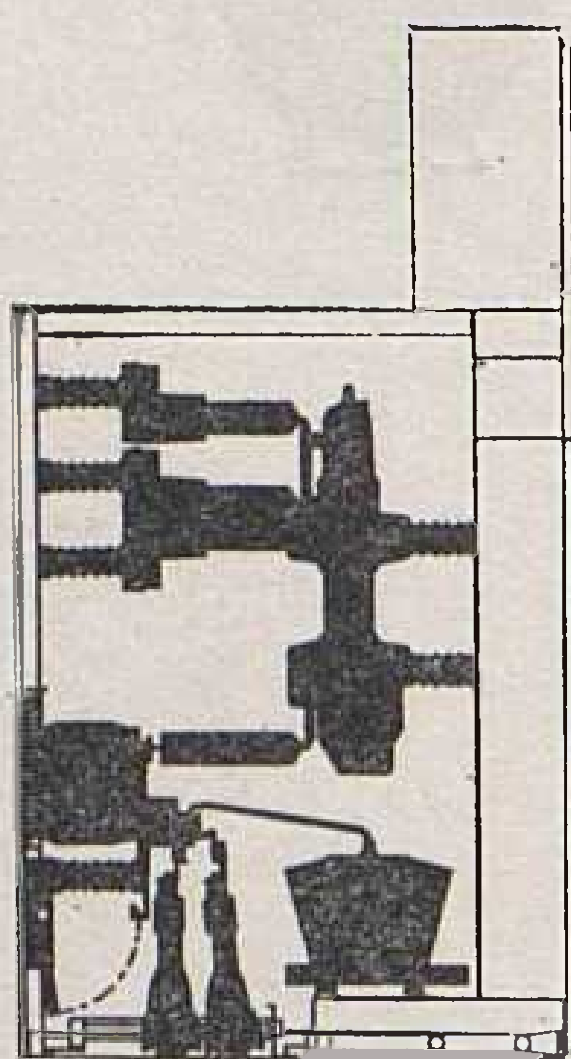
OOOR »K A B E L«, Zagreb • OOOR »M I K R O K A B E L«, Tugonica
Telefon: 412-211; Telex: 21-193 • Telegram: E L K A; P. O. B. 150



**TOVARNA STIKALNIH NAPRAV
MARIBOR**

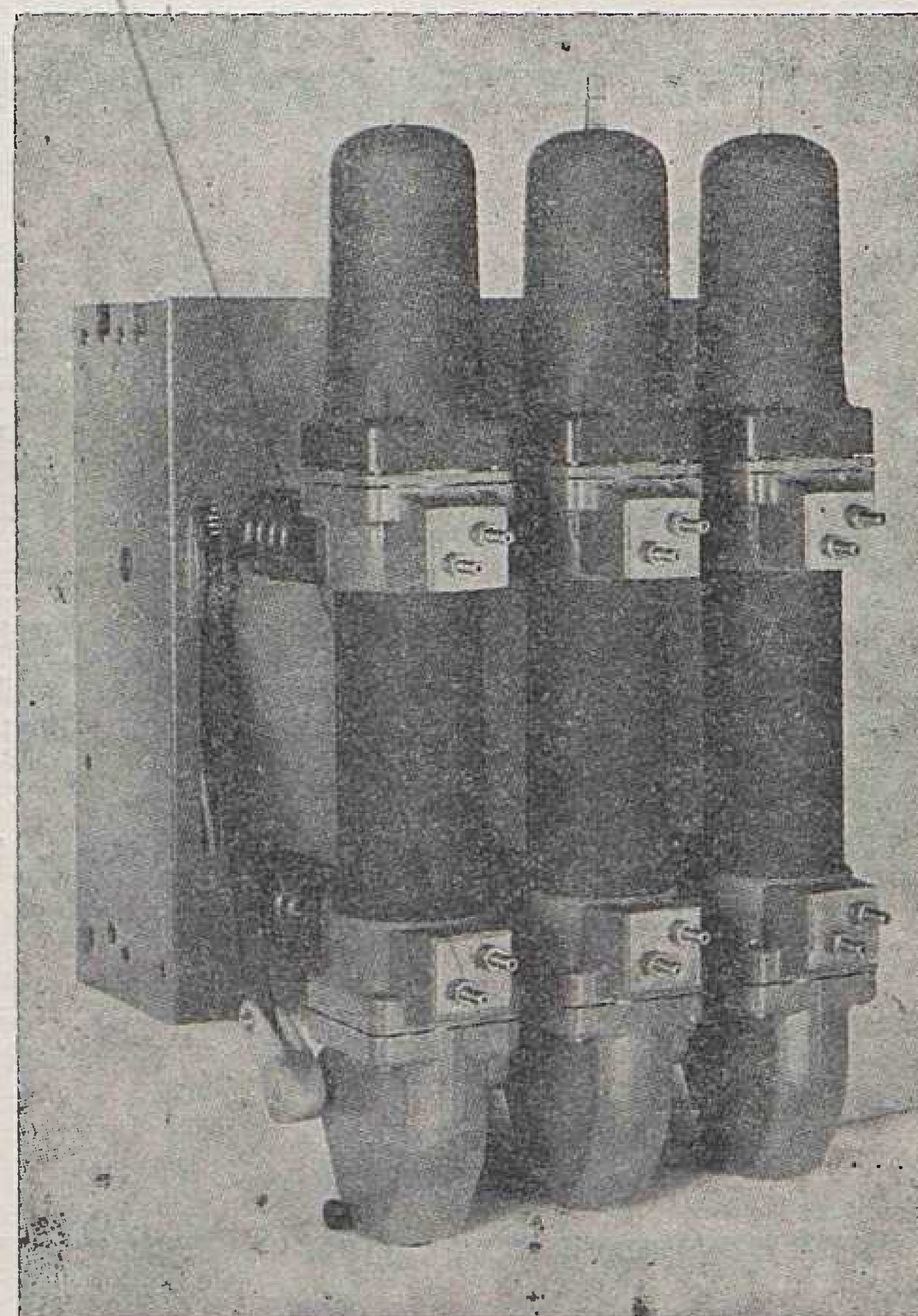


NOVO!
izvlačljive ćelije
12, 24 i 38 KV



NOVO!
Maloltni prekidači
12, 24 i 38 KV
350, 500 i 750 MVA

INFORMACIJE: TSN-Maribor
Šentiljska c. 49



PRIMJENA TEORIJE POUZDANOSTI U NALAŽENJU OPTIMALNE SCHEME ELEKTRIČNIH POSTROJENJA (I dio)

Nikola Čupin, Zagreb

UDK 621.31

U ovom radu dani su osnovni pojmovi iz teorije pouzdanosti koji su napisani i kao dodaci članka »O računanju pouzdanosti distributivnih trafostanica« (koautori: S. Mušura i S. Vajnaht) što je napisan za XIV savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Sarajevo 1979 (L. 1).

1. UVOD

Električno postrojenje je složen sistem kojim je realizirano jedno ili više čvorišta električne mreže. Zavisno od vrste čvorišta razlikuju se: postrojenja u elektrani, transformatorske stanice, industrijska postrojenja itd. Funkciju koju obavlja jedno postrojenje moguće je realizirati različitim strukturama. Na strukturu najviše utječu broj i vrsta sabirnica, broj i snaga transformatora, te rezerve aparata u odvodima. Povećanje broja rezervnih elemenata u postrojenju može povećati pouzdanost čitavog postrojenja, ali istovremeno povećava njegovu cijenu, zbog čega je opravdano naći optimalnu shemu, tj. onu koja daje minimalne ukupne troškove. Pri tome se zbog kvantitativnih pokazatelja nužno koristiti teorijom pouzdanosti.

2. OSNOVNI POJMOVI TEORIJE POUZDANOSTI

2. 1. Funkcija pouzdanosti $R(t)$ (Dodatak 1)¹

Pouzdanost nekog složenog sistema ovisi o pouzdanosti pojedinog elementa i o strukturi sistema, tj. međusobnoj vezi elemenata. Pouzdanost je funkcija vremena i uvjeta² u kojima radi određeni sistem ili element. Za sisteme bez popravka, tj. sisteme kod kojih prestanak rada znači ujedno trajni slom sistema, vremensku ovisnost pouzdanosti prikazuje funkcija pouzdanosti $R(t)$. Ona kaže kolika je vjerojatnost da sistem vrši svoju funkciju (da se nalazi u ispravnom stanju) u razdoblju t što, za sisteme bez popravka, znači kolika je vjerojatnost da životna dob sistema T bude veća od zadatog razdoblja t :

$$R(t) = P\{T > t\}, \quad (1)$$

gdje je:

T — životna dob sistema (god.)
 t — vrijeme do prvog kvara (god.)

Proračun pouzdanosti temelji se na pretpostavci da je kvar slučajna varijabla za koju je poznata funkcija razdiobe (distribucije) $F(t)$. Najčešće se kao model kvara upotrebljava eksponencijalna razdioba

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2)$$

koja ima samo jedan parametar, tzv. intenzitet kvara (failure rate, Feller-rate, intenzivnost otkaza) (vidi 2.2). Prema ovoj razdiobi vjerojatnost kvara nekog sistema raste s trajanjem pogona po eksponencijalnom zakonu. Iz funkcije na slici 1 ($\lambda = 0,21$) izlazi vjerojatnost kvara za razdoblje od 3 godine $F(3) = 0,5$, a za razdoblje od 10 godina $F(10) = 0,9$. Vjerojatnost da se kvar dogodi unutar intervala od 3 do 10 godina iznosi $F(10) - F(3) = 0,4$.

Budući da je suma vjerojatnosti da dođe do kvara i vjerojatnosti da ne dođe do kvara, tj. pouzdanosti* jednaka 1, možemo pisati

$$R(t) + F(t) = 1,$$

odnosno

$$R(t) = 1 - F(t).$$

Prema tome za eksponencijalni model kvara (2) funkcija pouzdanosti glasi:

$$R(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t}),$$

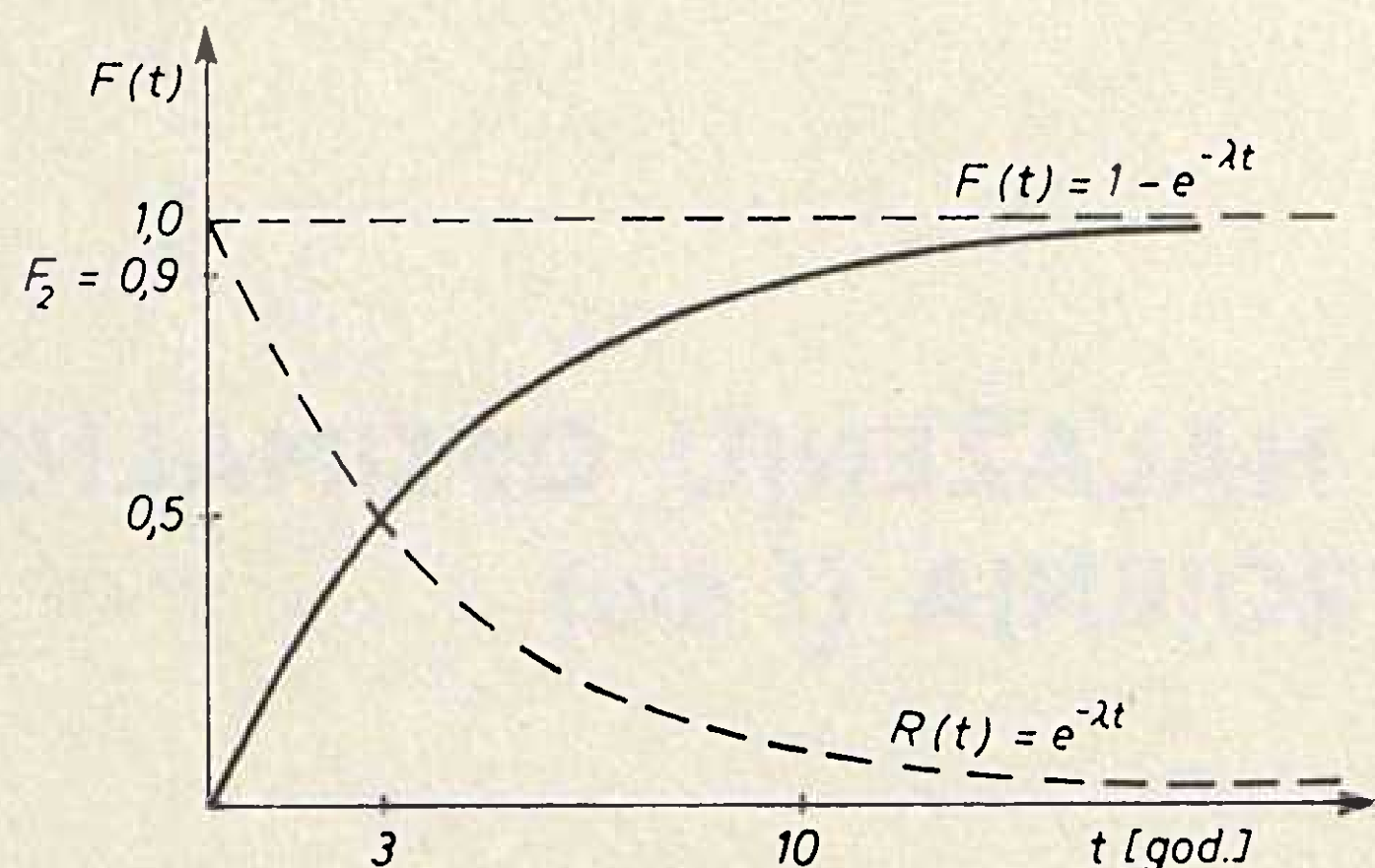
odnosno

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (4)$$

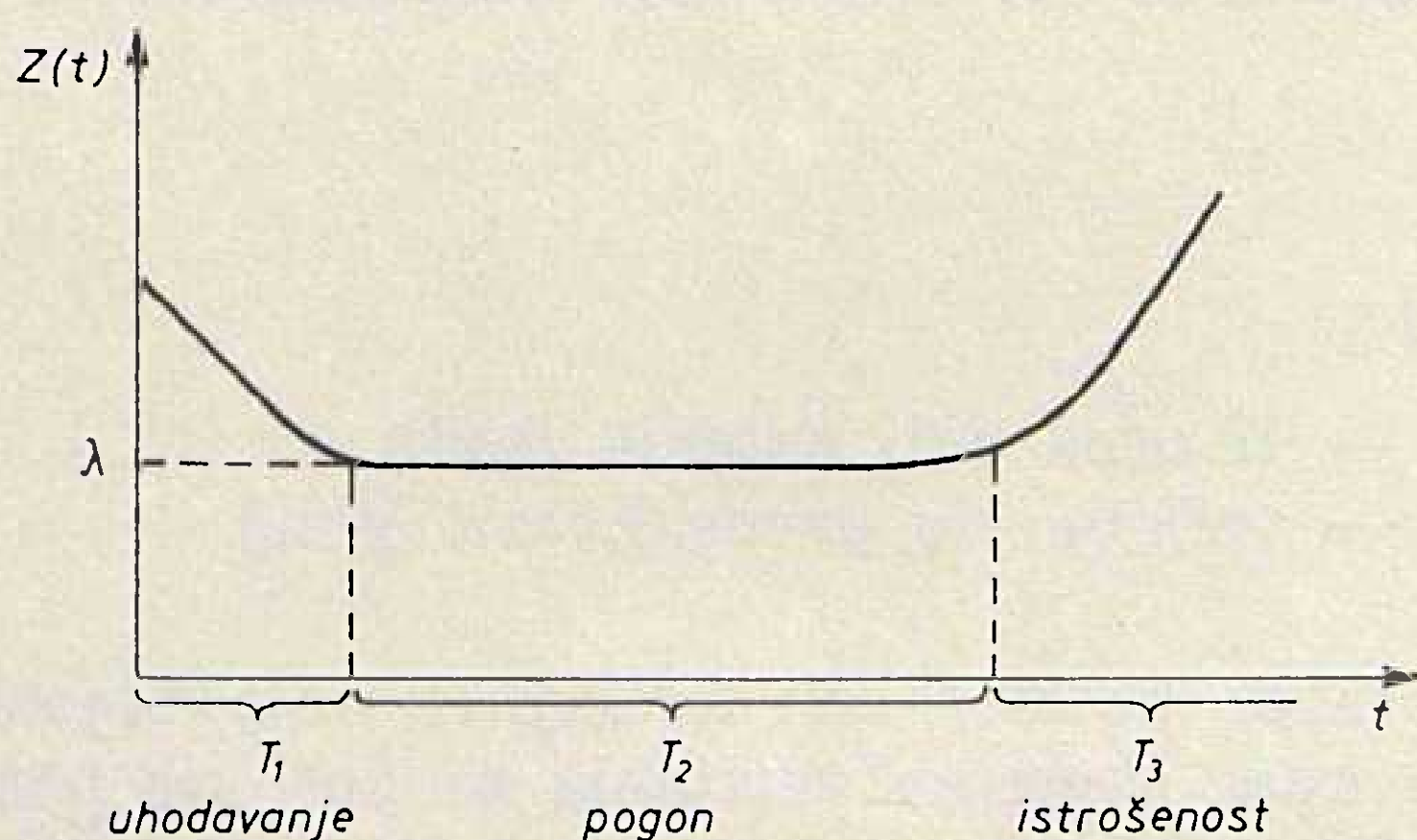
(črtkama linija na slici 1).

¹ Dodaci se, kako je u uvodu rečeno, odnose na (L. 1).

² Prema IEC 271/74 pouzdanost je sposobnost promatranog sistema ili elementa da vrši zadanu funkciju u određenim uvjetima i u određenom vremenskom razdoblju.



Sl. 1. Eksponencijalna funkcija razdiobe i pouzdanosti



Sl. 2. Intenzitet kvara kao funkcija vremena

2. 2. Intenzitet kvara (Dodatak 2)

Intenzitet kvara nekog sistema u pravilu je funkcija vremena $Z(t)$ i ima oblik »kade« (slika 2).

U našim razmatranjima dovoljno je točno pretpostaviti da je intenzitet kvara konstantan, tj. da je vrijeme uhodavanja zanemarivo (to se može postići i umjetnim starenjem), da se istrošenost sprečava pravovremenom zamjenom dotrajalih dijelova i da je za vrijeme pogona izloženost vanjskim (atmosferskim) utjecajima zanemariva (postrojenje u zgradi).

Pretpostavka da je intenzitet kvara konstantan, tj. da je

$$Z(t) = \lambda \quad (5)$$

mного olakšava proračune pouzdanosti.

Koliki je stvarni intenzitet kvara nekog aparata u određenoj mreži ovisi o kvaliteti aparata, načinu održavanja (njezi postrojenja), načinu vođenja pogona i izloženosti vanjskim utjecajima. U literaturi se navode podaci o tome, ali uvijek s rezervom zbog kratkog perioda istraživanja ili molog broja uzoraka, tako da procjena nije dovoljno točna.

Npr., podaci za intenzitet kvara prekidača iznose prema

L2, napon nije naveden	$\lambda_p = 0,08 \text{ god.}^{-1}$
L3, napon nije naveden	$\lambda_p = 0,04 \text{ god.}^{-1}$
L4, napon 110 kV	$\lambda_p = 0,47 \text{ god.}^{-1}$

Prema (L5) može se intenzitet ispada izračunati iz izraza

$$\lambda = \frac{F}{\sum P \cdot H} \quad (6)$$

gdje je:

F broj ispada za vrijeme perioda promatranja T

N broj uzoraka istog tipa

H vrijeme do svakog ispada

$P = N - H$ broj zdravih uzoraka preostalih nakon svakog ispada.

Primjer: Testira se $N = 1\,000$ prekidača

U vremenu $T = 1$ god.

ukupno je ispalo $F = 5$ prekidača u slijedećim vremenskim intervalima:

$t_1 = 0,25$ god.

$t_2 = 0,5$ god.

$t_3 = 0,75$ god.

$t_4 = 0,83$ god.

$t_5 = 1,0$ god.

$$\lambda_p = \frac{5}{0,25 \cdot 999 + 0,5 \cdot 998 + 0,75 \cdot 997 + 0,83 \cdot 996 + 1,0 \cdot 995}$$

$$\lambda_p = 0,0015 \text{ god.}^{-1}$$

Pouzdanost* prekidača s takvim intenzitetom ispada za period pogona od 10 god. iznosi:

$$R(10) = e^{-0,0015 \cdot 10} = 0,985,$$

što znači da je vjerojatnost da se prekidač za 10 godina rada nijednom ne pokvari 0,985.

2. 3. Funkcija raspoloživosti (Dodatak3)

Funkcija raspoloživosti $A(t)$ definira se za sisteme s popravkom. Ona kaže kolika je vjerojatnost da u određenom trenutku t sistem bude ispravan, tj. da obavlja svoju funkciju.

Ako uvedemo slučajnu varijablu $X(t)$ koja ima vrijednost

$X(t) = 1$ kada je sistem ispravan, i

$X(t) = 0$ kada je u kvaru,

tada možemo pisati za funkciju raspoloživosti

$$A(t) = P\{X(t) = 1\}. \quad (7)$$

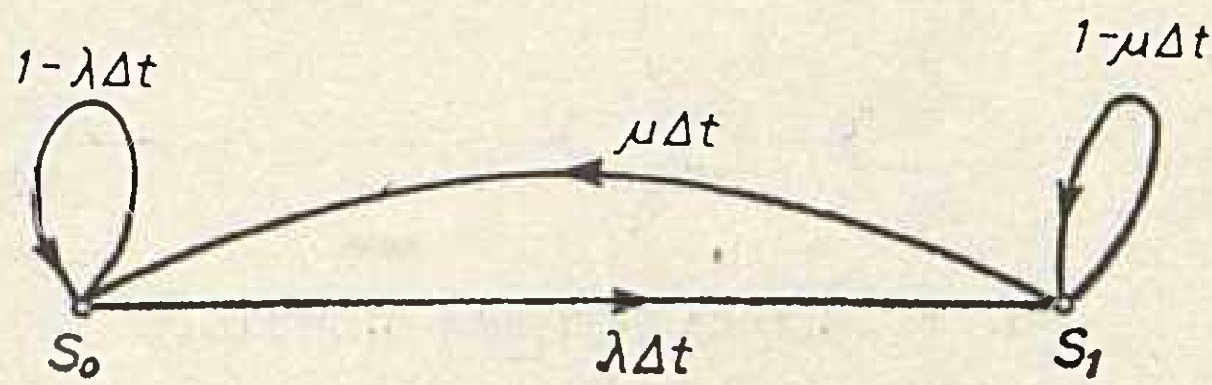
Raspoloživost $A(t)$ može se računati na temelju Markovih procesa (2.4) kod kojih je vrijeme promatranja kontinuirana slučajna varijabla, a stanje sistema diskretna varijabla. Promatramo dva diskretna stanja jednog elementa:

X_1 element je ispravan

X_2 element je u kvaru.

Sistem koji se sastoji samo od tog elementa imat će u tom slučaju dva stanja:

* Da bismo razlikovali pouzdanost kao pojam od pouzdanosti koja znači određenu vjerojatnost da sistem vrši svoju funkciju, ovu drugu ćemo označiti zvijezdicom (*).



Sl. 3. Prijelaz iz ispravnog stanja (S_0) u stanje kvara (S_1) i obrnuto

$$S_0 = X_1$$

$$S_1 = \bar{X}_1.$$

S pretpostavkom da je funkcija distribucije kvara i funkcija distribucije popravka eksponencijalna, tj. da se mogu opisati jednim parametrom, intenzitet kvara λ odnosno intenzitetom popravka μ (2.4), moguće je primijeniti model Markovih procesa.

Vjerojatnost prijelaza iz ispravnog stanja S_0 u stanje kvara S_1 određena je tada sa λ , a vjerojatnost prelaza iz stanja kvara S_1 u ispravno stanje S_0 intenzitetom popravka μ .

Pretpostavimo li da se u vremenu t može odigrati samo jedan prijelaz, tj. da je vjerojatnost više od jednog prijelaza jednaka nuli, možemo pisati:

$$P_0(t + \Delta t) = (1 - \lambda \Delta t) P_0(t) + \mu \cdot \Delta t \cdot P_1(t) \quad (8)$$

$$P_1(t + \Delta t) = \lambda \cdot \Delta t \cdot P_0(t) + (1 - \mu \cdot \Delta t) \cdot P_1(t).$$

Vrijednost $P_0(t + \Delta t)$ da sistem u vremenu $t + \Delta t$ bude u ispravnom stanju (tj. stanju S_0) jednaka je sumi vjerojatnosti $(1 - \lambda \Delta t) P_0(t)$ i vjerojatnosti $\mu \cdot P_1(t)$, odakle prva znači vjerojatnost da se sistem koji je u vremenu t bio u ispravnom stanju ostane u tom stanju, a druga vjerojatnost da se sistem koji je u vremenu t bio u kvaru popravi.

Analogno razmišljanje vrijedi i za vjerojatnost $P_1(t + \Delta t)$ da sistem u vremenu $t + \Delta t$ bude u kvaru.

Grafički prikaz prijelaza koji odgovara sustavu jednadžbi (8) dan je na slici 3.

Da bismo dobili sustav diferencijalnih jednadžbi, uredimo sustav (8) i potražimo graničnu vrijednost kada $\Delta t \rightarrow 0$:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_0(t + \Delta t) - P_0(t)}{\Delta t} = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t)$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_1(t + \Delta t) - P_1(t)}{\Delta t} = \lambda P_0(t) - \mu P_1(t),$$

odnosno

$$\begin{aligned} \frac{dP_0}{dt} &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) \\ \frac{dP_1}{dt} &= \lambda P_0(t) - \mu P_1(t) \end{aligned} \quad (9)$$

ili, u matričnom obliku:

$$\begin{bmatrix} \frac{dP_0}{dt} \\ \frac{dP_1}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\lambda & \mu \\ \lambda & -\mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0(t) \\ P_1(t) \end{bmatrix} \quad (9')$$

Rješenje sustava (9) uz početne uvjete $P_0(0) = 1$ i $P_1(0) = 0$, tj. uz pretpostavku da se sistem u vremenu $t = 0$ nalazi u ispravnom stanju, glasi:

$$P_0(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (10)$$

$$P_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} - \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}$$

Vjerojatnost $P_0(t)$ da se sistem u trenutku t nađe u stanju ispravnosti zapravo je raspoloživost $A(t)$

$$A(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}. \quad (11)$$

Često je važno poznavati tzv. stacionarnu raspoloživost, tj. raspoloživost za $t = \infty$:

$$A_\infty = \frac{\mu}{\lambda + \mu}. \quad (12)$$

2. 4. Markovi procesi i intenzitet popravka (Dodatak 4)

Modeli Markova (L6) jesu funkcije od dvije slučajne varijable:

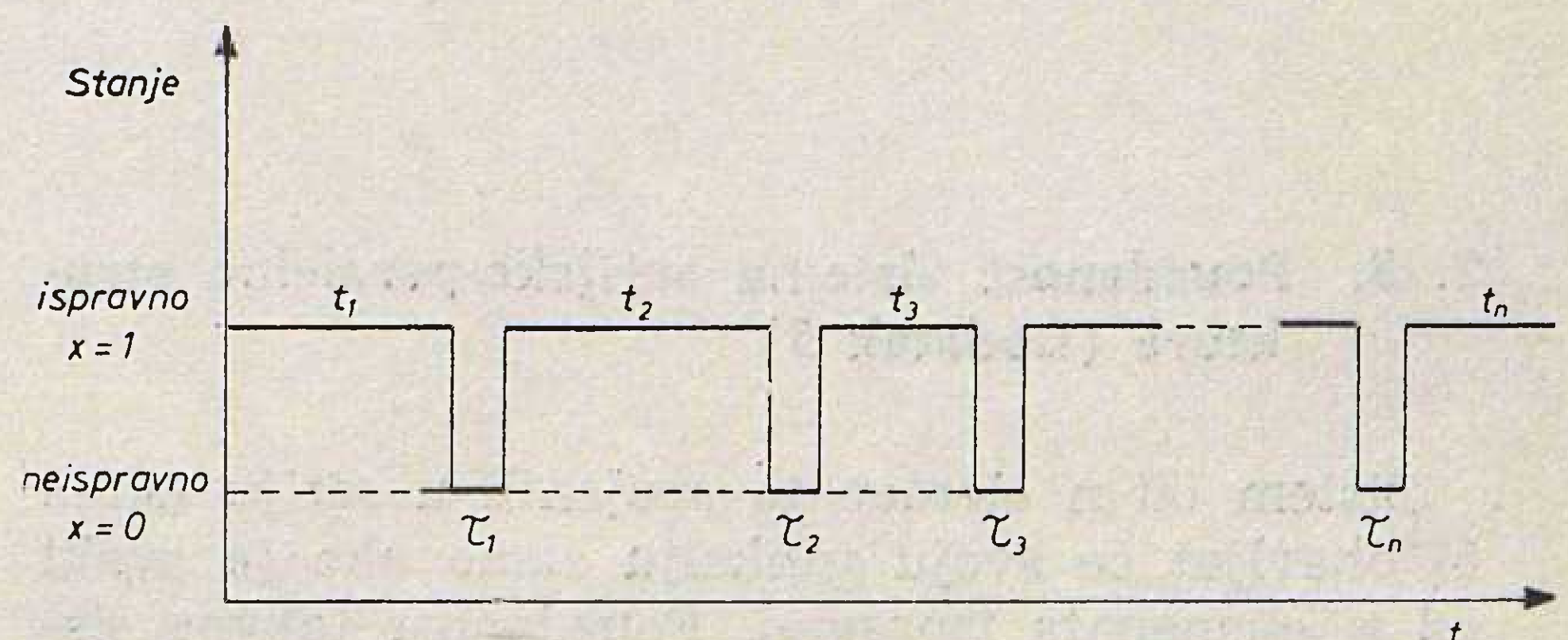
stanja sistema X
vremena promatranja t

koje mogu biti diskretne ili kontinuirane, iz čega izlazi da postoje četiri modela vjerojatnosti.

Model u kome je t diskretno i X diskretno naziva se model Markovih lanaca, a model u kome je X diskretno i t kontinuirano model Markovih procesa.

Za istraživanje pouzdanosti električnih postrojenja služimo se, kao matematičkom podlogom, Markovim procesima. U kontinuiranom vremenu aparat ili postrojenje može biti u ispravnom ili u neispravnom stanju; uvodimo, dakle, model sa dva moguća stanja (slika 4).

Da ilustriramo kontinuiranost vremena i diskretnost stanja, zamislimo tanki stol koji je pregradama podijeljen na četiri dijela 1, 2, 3, i 4 jednake površine i na njemu celuloidnu lopticu.



Sl. 4. Niz događaja u modelu sa dva stanja

Udarcem u stol s donje strane loptica će poskočiti i, ako pretpostavimo da se nalazila u dijelu 1, skočiti u neki drugi dio ili ostati u istome dijelu stola (vjerojatnost skoka izvan stola jednaka je nuli).

Kontinuiranim udarcima u stol loptica će neprestano poskakivati i mijenjati svoj položaj, tj. zauzimati jedno od četiri moguća stanja. Pri tome je jasno da je vjerojatnost prijelaza iz stanja i u stanje j, $p_{i,j}$, ovisna samo o stanjima i, j, a neovisna o svim prošlim stanjima u kojima se loptica nalazila. To je najvažnije svojstvo Markovih procesa. Ako je vjerojatnost prijelaza $p_{i,j}$ od stanja i u stanje j konstantna, proces je homogen. Homogenom Markovom procesu odgovara u slučaju električnih postrojenja konstantna vjerojatnost ispada aparata, tj. intenzitet ispada neovisan o vremenu

$$Z(t) = \lambda.$$

Analogno intenzitetu ispada, uvodi se pojam intenziteta popravka μ , također konstanta.

Često upotrebljavani pojmovi u analizi pouzdanosti postrojenja i elektroenergetskih sistema (tj. sistema s popravkom) jesu:

a) srednje trajanje pogona¹ (MTBF - mean time between failure) koje je, prema slici 4, definirano kao

$$m = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n}. \quad (13)$$

n - broj ciklusa ispravno-neispravno,

b) srednje trajanje kvara (MTTR - mean time to repair), definiran (slika 4) kao:

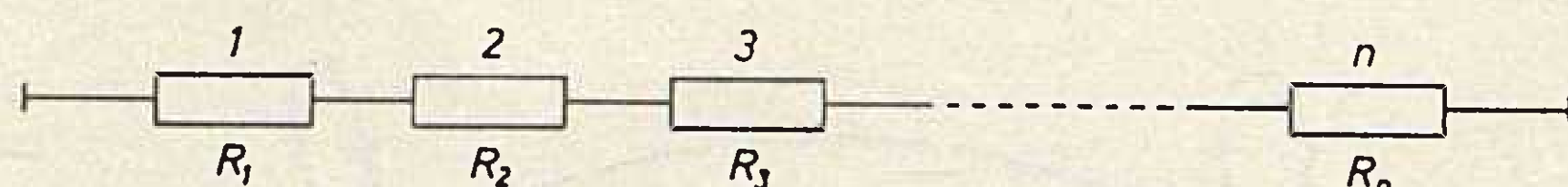
$$r = \frac{\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n}{n}. \quad (14)$$

Za eksponencijalni model kvara i popravka vrijede odnosi:

$$\begin{aligned} m &= \frac{1}{\lambda} \\ r &= \frac{1}{\mu}. \end{aligned} \quad (15)$$

2. 5. Pouzdanost sistema serijsko-paralelne strukture (Dodatak 5)

Sistem od n elemenata spojenih u seriju (slika 5) obavljat će svoju funkciju samo ako je svaki od n elemenata ispravan. Pouzdanost takvog sistema jednaka je, prema tome, vjerojatnosti da



Sl. 5. Sistem serijske strukture

radi prvi element, i drugi element, i i n-ti element:

$$R_S = P(P_1 \cdot P_2 \dots P_n).$$

Ako je kvar jednog elementa nezavisan, tj. ne utječe na ispad iz pogona drugog elementa, tada vrijedi

$$R_S = P_1 \cdot P_2 \dots P_n.$$

Umjesto simbola P za vjerojatnost, možemo koristiti simbol R za pouzdanost^{*}, jer je pouzdanost jednaka vjerojatnosti da element vrši svoju funkciju, i izostavljajući naznaku da je pouzdanost funkcija vremena pisati

$$R_S = R_1 \cdot R_2 \dots R_n,$$

odnosno kraće:

$$R_S = \prod_{i=1}^n R_i. \quad (18)$$

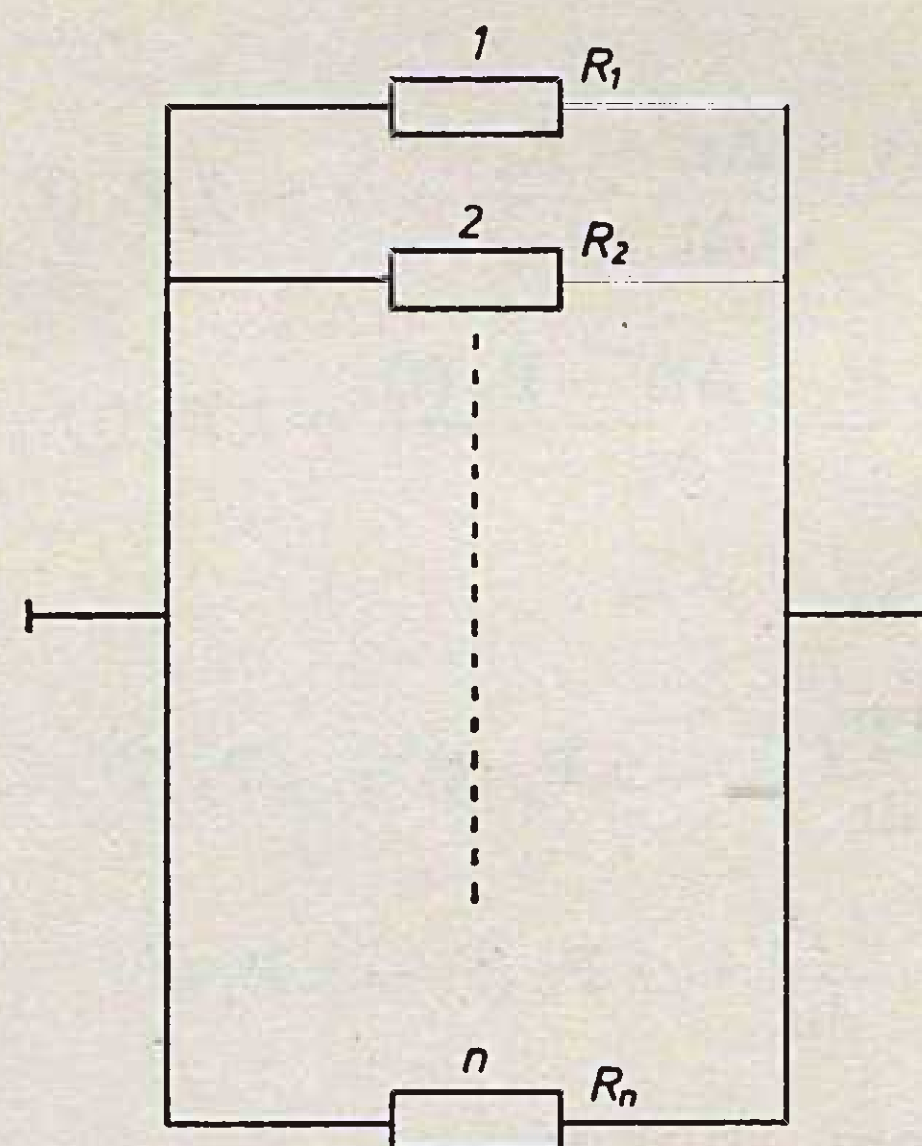
Za eksponencijalni model kvara imamo:

$$R_S = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i \cdot t},$$

što daje

$$R_S = e^{-\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i\right) \cdot t}. \quad (19)$$

Sistem od n elemenata spojenih paralelno (slika 6) neće obavljati svoju funkciju ako svaki od



Sl. 6. Sistem paralelne strukture

¹ Kod sistema bez popravka analogno ovom pojmu koristi se pojam srednje trajanje života (MTTF - mean time to failure).

elemenata ne vrši tu funkciju, tj. nalazi se u kvaru. Nepouzdanost takvog sistema Q_s jednaka je, dakle, vjerojatnosti da je neispravan 1. i 2. i i n-ti element.

$$Q_s = P(\bar{P}_1 \cdot \bar{P}_2 \dots \bar{P}_n) \quad (20)$$

Istom analogijom kao kod serijske strukture dobijemo

$$Q_s = \prod_{i=1}^n \bar{P}_i = \prod_{i=1}^n Q_i. \quad (21)$$

Budući da vrijedi:

$$P + \bar{P} = 1, \quad (22)$$

odnosno

$$R + Q = 1,$$

izraz (21) možemo pisati

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i). \quad (23)$$

Značenje oznaka:

R pouzdanost*

Q nepouzdanost

$\bar{P}$ vjerojatnost pojave nekog događaja X

$\bar{P}$ vjerojatnost da se događaj X ne pojavi.

Za pouzdanost sistema od dva elementa, prema izraz (23), izlazi npr.:

$$R_s = R_1 + R_2 - R_1 \cdot R_2. \quad (24)$$

Na slici 7. grafički je kvalitativno prikazana ovisnost pouzdanosti sistema paralelne strukture (tj. sistema s redundancijom) o broju elemenata i njihovoj pouzdanosti.

2. 6. Ekvivalentni intenzitet ispada i popravka sistema (Dodatak 6)

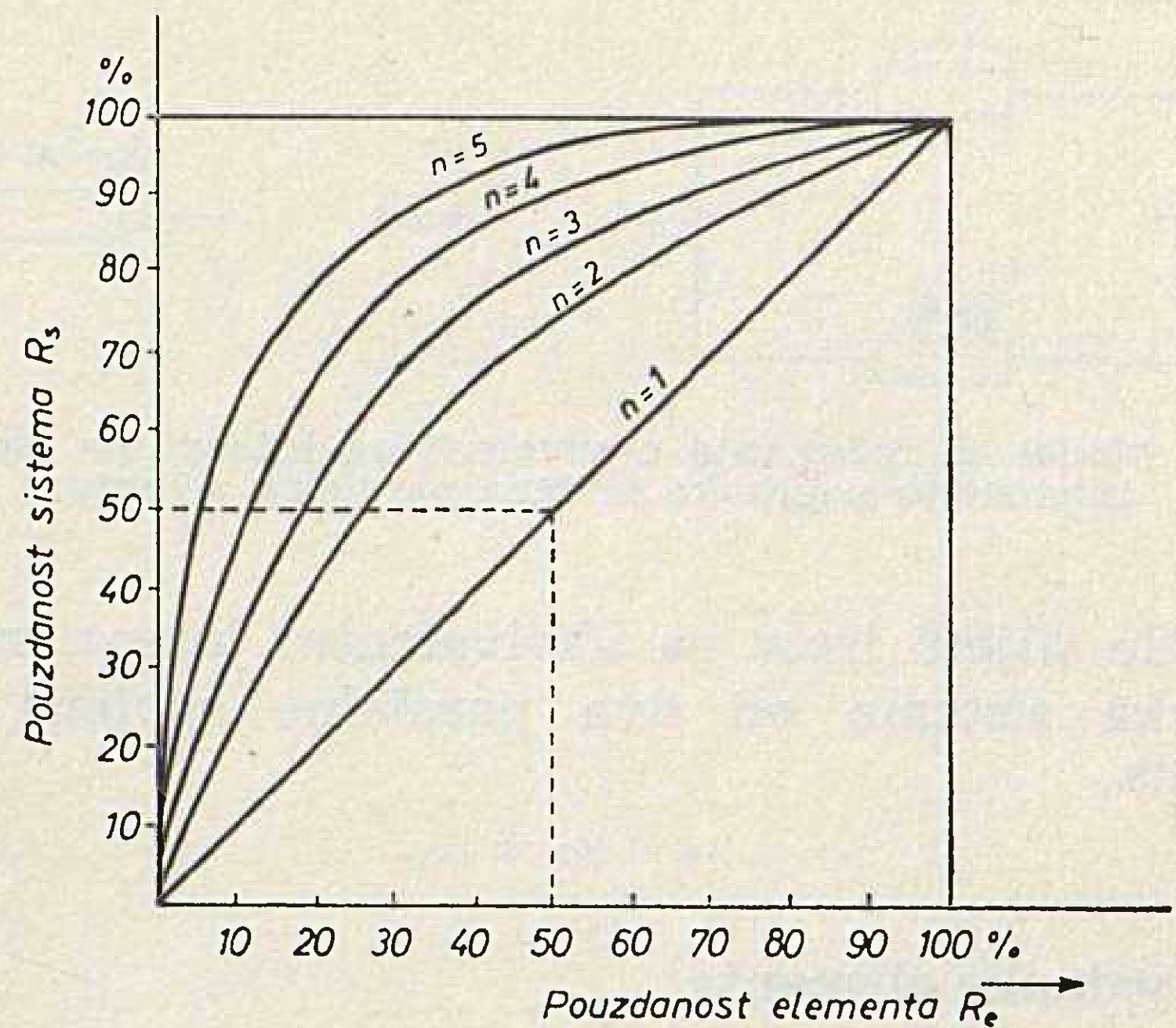
U proračunima pouzdanosti često je potrebno izračunati intenzitet ispada i popravka za čitav sistem λ_s i μ_s iz poznatih intenziteta elemenata. Slijedeći izrazi vrijede za eksponencijalni model kvara i popravaka.

Serijska struktura. Na temelju slike 8. i izraza (19) možemo postaviti jednakost

$$e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} \dots e^{-\lambda_n t} = e^{-\lambda_s t}, \quad (25)$$



Sl. 8. Model za računanje ekvivalentnog intenziteta ispada i intenziteta popravka sistema serijske strukture.



Sl. 7. Pouzdanost sistema paralelne strukture (n — broj elemenata)

odakle izlazi ekvivalentni intenzitet ispada sistema:

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (26)$$

odnosno, za iste elemente:

$$\lambda_s = n \cdot \lambda. \quad (26')$$

Analogno, za intenzitet popravka možemo, na temelju izraza (12) za stacionarnu raspoloživost, pisati:

$$\frac{\mu_s}{\lambda_s + \mu_s} = \prod_{i=1}^n \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i}, \quad (27)$$

odakle se, nakon zanemarenja članova drugog reda, dobije izraz za ekvivalentni popravak sistema serijske strukture

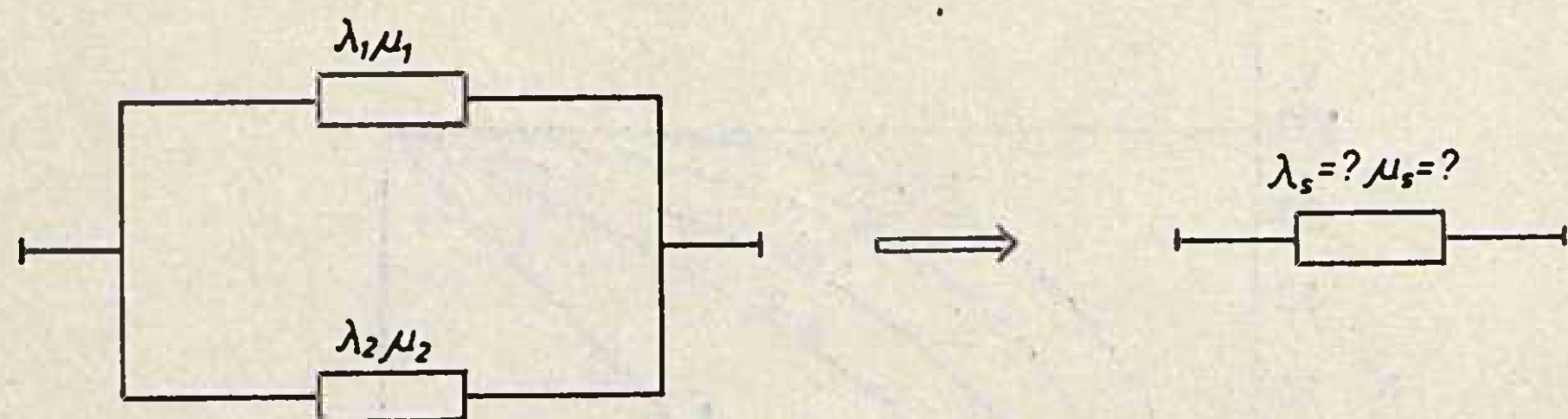
$$\mu_s = \frac{\lambda_s}{\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}}, \quad (28)$$

odnosno, za iste elemente:

$$\mu_s = \mu. \quad (28')$$

Paralelna struktura. Ekvivalentni intenzitet popravka sistema od dva paralelno spojena elementa (slika 9) proizlazi iz jednakosti koja se može postaviti na temelju izraza (19) za eksponencijalni model kvara

$$e^{-\mu_1 t} \cdot e^{-\mu_2 t} = e^{-\mu_s t}, \quad (29)$$



Sl. 9. Model za računanje ekvivalentnog intenziteta ispada i intenziteta popravka sistema paralelne strukture

odakle slijedi izraz za ekvivalentni intenzitet popravka sistema od dva paralelno spojena elementa

$$\mu_s = \mu_1 + \mu_2 \quad (30)$$

i za jednake elemente

$$\mu_s = 2\mu. \quad (30')$$

Ekvivalentni intenzitet kvara dobit ćemo iz jednakosti koju možemo postaviti na temelju izraza (12):

$$\frac{\mu_1}{(\lambda_1 + \mu_1)} \cdot \frac{\mu_2}{(\lambda_2 + \mu_2)} = \frac{\mu_s}{\lambda_s + \mu_s}. \quad (31)$$

Nakon sredjenja i uvrštenja za μ_s izraza (30) dobijemo za sistem od dva paralelno spojena elementa ekvivalentni intenzitet kvara:

$$\lambda_s = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (\mu_1 + \mu_2)}{\mu_1 \mu_2 + \lambda_1 \mu_2 + \lambda_2 \mu_1}, \quad (32)$$

odnosno za jednake elemente:

$$\lambda_s = \frac{2\lambda^2}{\mu + 2\lambda}. \quad (32')$$

Može se pokazati da za sistem od n paralelno spojenih jednakih elemenata vrijede slijedeći izrazi za ekvivalentni intenzitet popravka odnosno kvara:

$$\mu_s = n \cdot \mu \quad (33)$$

$$\lambda_s = \frac{n \cdot \mu \cdot \lambda^n}{(\lambda + \mu)^n + \lambda^n}. \quad (34)$$

LITERATURA

1. Čupin, Mušura, Vajnaht: O računanju pouzdanosti distributivnih trafostanica, XIV savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Sarajevo 1979.
2. Frey, Reichert: Anwendung moderner Zuverlässigkeits-Analysenmethoden in der elektrischen Energieversorgung, EZT-A (1973), H. 5
3. Müller, Kloo: Analyse und Vergleich der Zuverlässigkeit von Schaltanlagen, ETZ-A (1977), H. 8
4. Nitu: The philosophy of substation reliability, Electra № 54
5. Römisch: Zuverlässigkeitsberechnung-Grundlagen ETZ-B (1971), H. 10
6. Shooman: Probabilistic Reliability: An Engineering Approach, McGraw-Hill, 1968.

SYNOPSIS

In the article are given basic notations from Reliability theory, which are described in the appendix to article "About Reliability Calculation for distribution transformer stations" (coauthors: S. Mušura, S. Vajnaht). The article was written for XIV. Meeting of Electro-energetic People from Yugoslavia, Sarajevo 1979. (L. 1).

Naslov pisca:

Dr Nikola Čupin, dip. ing.
ETI »Rade Končar« Zagreb

IZBOR KONFIGURACIJE DIGITALNOG SISTEMA ZA VOĐENJE ELEKTROENERGETSKOG PROCESA

Mr Vladimir K a v u r, Zagreb

UDK 681.3 : 621.52

U članku se upozorava na osnovne postavke pri izboru digitalnog sistema, čija je funkcija nadzor, upravljanje i vođenje procesa u elektroenergetskim sistemima. Specijalna pažnja pri tome se posvećuje i izboru sistema sa stajališta komunikacije. Također je dan i osvrt s ekonomskog aspekta.

1. UVOD

Pri izboru digitalnog sistema (DS) pridruženog elektroenergetskom sistemu (EES) potrebno je najprije istaknuti da on podliježe hijerarhijskim zakonitostima građe sistema, pa se kao takav treba i promatrati. Ne ulazeći u detaljnu analizu hijerarhijske strukture DS, konstatirajmo da se on približno može podijeliti na tri osnovna dijela: DS u centralnoj stanici (CS), komunikacijski dio DS i DS u perifernoj stanici (PS).

U članku se neće razmatrati DS u perifernoj stanici, jer, bez obzira na njegovu građu, on, odnosno uređaji u svim perifernim stanicama trebaju izvršavati određene funkcije i radnje tako da budu kompatibilni s ostalim dijelovima DS.

Izbor DS i njegove koncepcije rada u CS predstavlja veći problem jednostavno zato što je količina poslova koje on treba obavljati mnogo opširnija i kompleksnija. Zbog toga je pri definiranju DS potrebno analizirati sve funkcije i zahtjeve koji se postavljaju na sistem, a samim tim doći ćemo i do parametara koji će ga jednoznačno definirati.

2. IZBOR KONFIGURACIJE DIGITALNOG SISTEMA U CENTRALNOJ STANICI

Izbor odgovarajućeg DS u CS (u daljnjem tekstu se neće specijalno isticati CS jer samo taj DS razmatramo) bit će nam znatno olakšan ako postupno, analizirajući definiramo zahtjeve koje na njega postavljamo. Ti zahtjevi mogu se svrstati u nekoliko grupa, pa se njihovim rješenjem dobiva tražena konfiguracija DS.

Prvi i osnovni zahtjev odnosi se na razinu vođenja elektroenergetskog procesa, odnosno na realizaciju dviju osnovnih funkcija rada: održavanje komunikacije sa DS u svim perifernim stanicama radi prikupljanja podataka o EES i izdavanju odgovarajućih naredbi o zahvatima u sistemu, te odgovarajuće obrade prispjelih podataka.

Slijedeći zahtjev odnosi se na način komunikacije sa DS u perifernim stanicama i pripadajuću komunikacijsku mrežu. Adekvatno tome potrebno je kao pokazatelj pravilnog izbora uzeti vrijeme osvježavanja informacija, odnosno izvršenja naredbi.

Daljnji zahtjev koji se postavlja na DS jest odabiranje takvih ciklusa rada koji će osigurati optimalnu raspodjelu poslova procesorske jedinice. Odatle će biti vidljivo kolika je raspoloživost sistema za pojedine operacije.

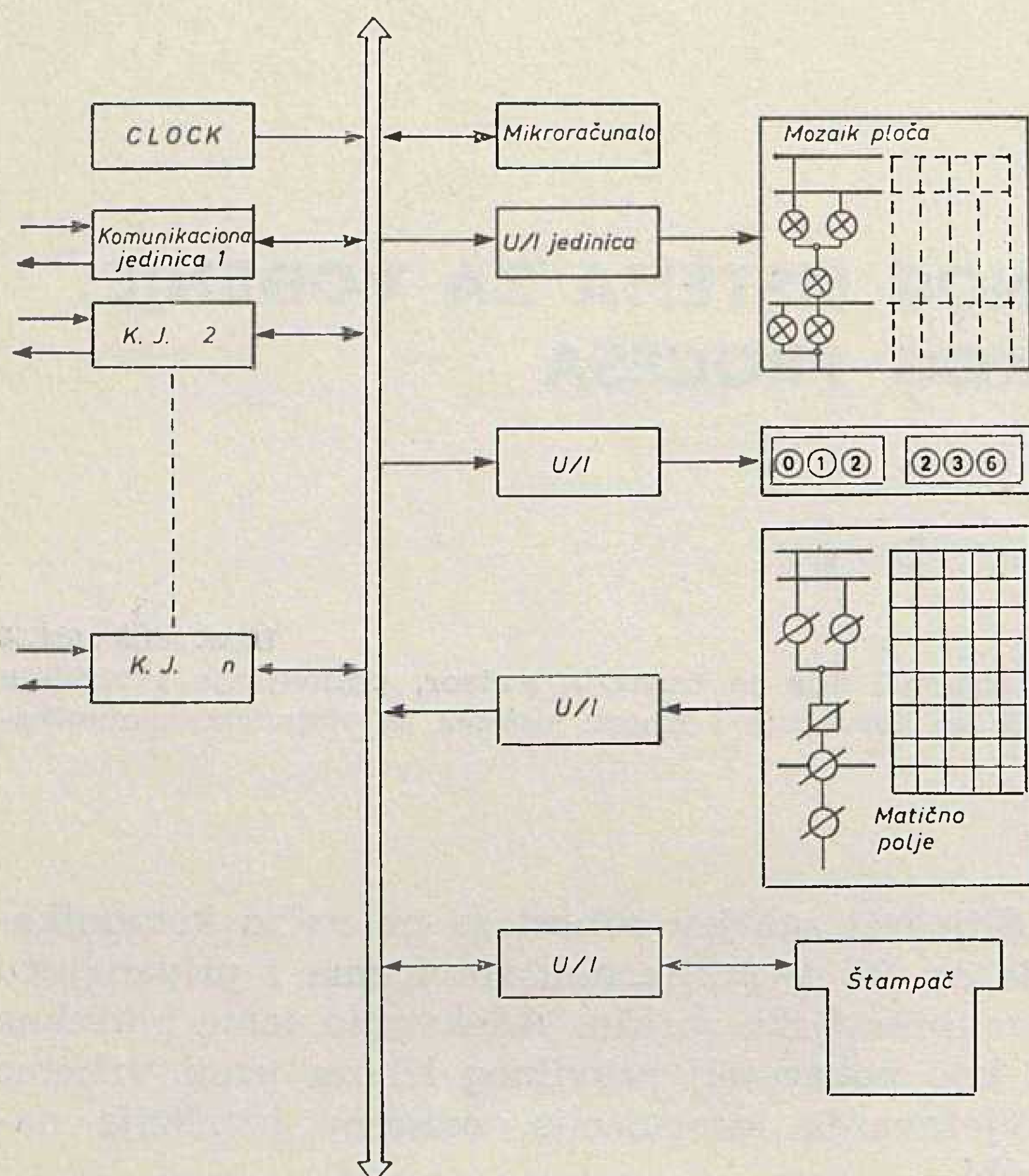
I kao posljednji pojavljuje se zahtjev u smislu predvidivog proširenja funkcije sistema. Kod ovog zahtjeva teško je dati jednoznačno rješenje. Zbog toga je potrebno obaviti realnu procjenu potreba te je kao takvu, uz eventualnu redundanciju, treba poštovati kod konačnog definiranja DS.

3. ANALIZA ZAHTJEVA POSTAVLJENIH NA DIGITALNI SISTEM

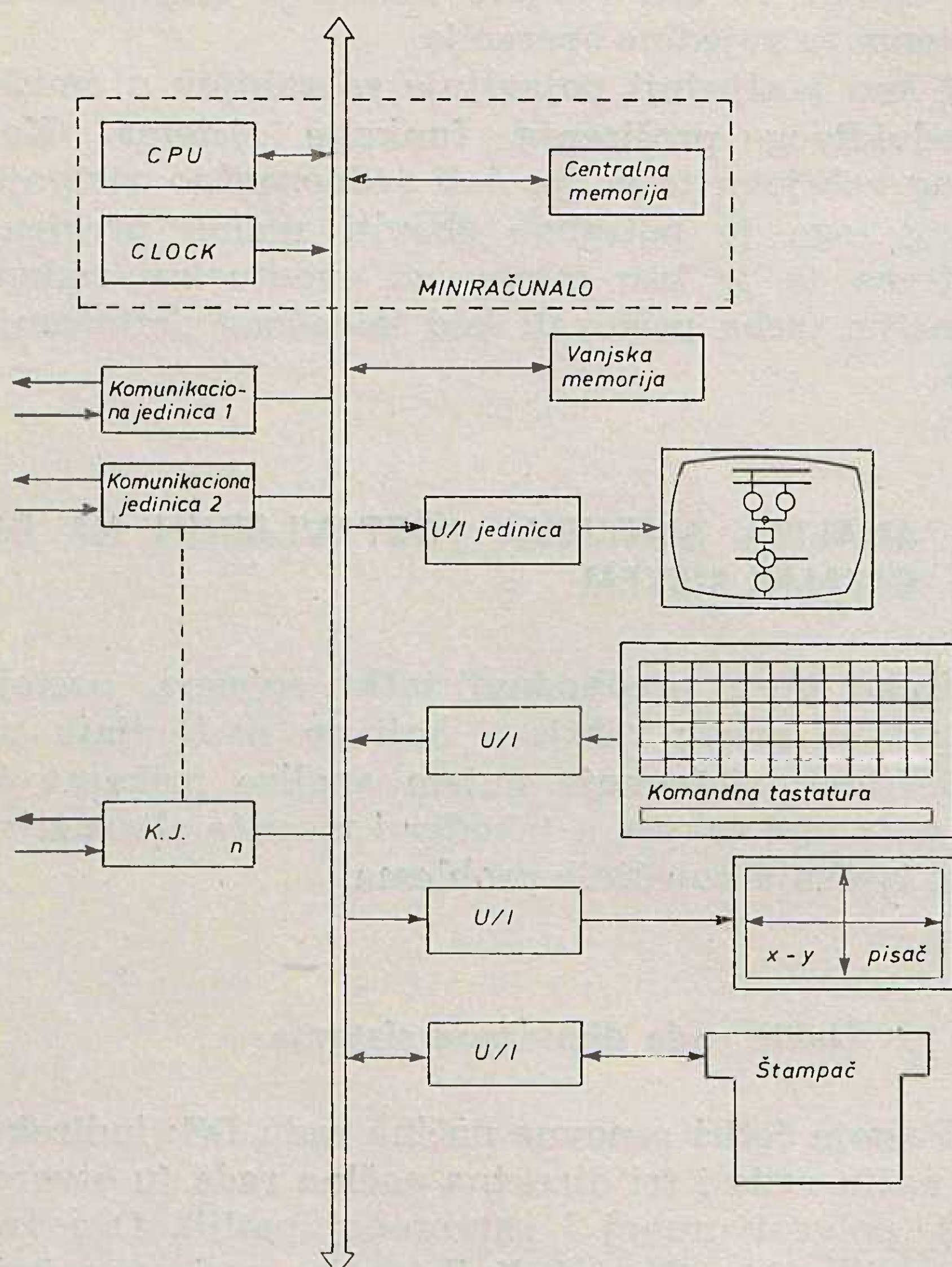
Kako je u predhodnoj točki opisano, postoje određene grupe zahtjeva koji se postavljaju na DS. Njihov rješavanje putem analize prikazat će se u daljem tekstu, a također i moguće alternative kod rješenja pojedinih problema.

3. 1. Način rada digitalnog sistema

Postoje četiri osnovna načina radn DS: indirektni način rada i tri direktna načina rada (u otvorenoj, poluzatvorenoj i zatvorenoj petlji). Osnovna je razlika između pojedinih načina rada u primijenjenoj razini vođenja elektroenergetskog procesa. Upozorimo odmah i na činjenicu da za razliku od indirektnog načina rada, u svim direktnim načinima rada imamo primjenu mikro računala ili mini-računala (ako DS u indirektnom načinu rada uključuje računalo, onda je ono u off-line režimu rada), što znači sklopove koji upravljaju tokovima informacija i pamte ih.



Sl. 1. Konfiguracija DS s mikroračunalom



Sl. 2. Konfiguracija DS s mini-računalom

Izbor načina rada ovisi o ispunjenju prije spomenutih osnovnih funkcija DS. Naime, za realizaciju prve osnovne funkcije DS, komunikacije s DS u perifernim stanicama dovoljni su indirektni načini rada i direktni način rada u otvorenoj petlji.

Istaknimo ovdje činjenicu da većina DS koji su danas u upotrebi rade u indirektnom načinu, dok se noviji sistemi, koji se nude na tržištu i počinju zamjenjivati postojeće DS, grade za direktan način rada. Iz tog razloga daljnje razmatranje će se odnositi na te, novije DS.

Analizirajući, dakle, takve DS, možemo konstatirati: ako se želi realizirati samo funkcija komunikacije, gradit će se sistemi oko mikroračunala (slika 1). Takvi sistemi zadovoljavat će jednostavnije EES, gdje je potrebno vršiti nadzor i upravljanje na nekoliko objekata, što za određene centre znači upravljanje manjim mjestima-regionima. Zadovoljavajuća periferija bit će pri tome mozaik (sinoptička) ploča sa signalnim tijelima za prikaz svih signalizacija, prikazom jednopolne sheme dotičnog EES, digitalni indikatori za prikaz (po izboru) mjernih veličina, registratori (pisači) određenih informacija, dok se za izdavanje naredbi može koristiti ili spomenuta mozaik-ploča (u tom slučaju se komandno potvrdnim sklopkama-komutatorima) ili tzv. upravljačko matično polje s poljem izbora postrojenja i elemenata u njemu. Ostvareni način rada bit će direktni u otvorenoj petlji.

Međutim, ako je EES opsežniji, a ujedno zahtijevamo i funkciju obrade, koncepcija se mijenja. Kapacitet mikroračunala više nije dovoljno velik pa njegovu ulogu preuzima miniračunalo koje s jedne strane vodi proces komunikacije, dok s druge pruža mogućnost obrade prispjelih informacija (slika 2). Mijenja se i oblik perifernih uređaja jer može se lako pokazati da standardne periferne jedinice mini-računala (vanjska memorija, teleprinter, linijski štampač, katodni ekran i dr.) mogu preuzeti kompletnu komunikaciju operator-sistem za obje funkcije, vođenje procesa u EES i obradu informacija dobivenih iz njega. Funkcije mozaik-ploče i digitalnih indikatora mjernih veličina preuzimaju vanjska memorija i katodni ekran, ulogu registratora teleprinter i linijski štampač, a ulogu matičnog i izbornog polja preuzima komandna tastatura računala. Daljnje prednosti uvođenja miniračunala jesu i povećanje brzine rada, mogućnost aktivnog prikaza stanja mreže EES, mogućnost simulacije i niz drugih. U ovom slučaju možemo govoriti i o izboru načina rada. Konstatirali smo da je to direktan način, ali koja petlja će se izabrati ovisi opet o EES. Bez obzira na izabrani DS, otvorena petlja je uvijek prvi i osnovni korak kod uvođenja DS kada su informacije u domeni DS, dok naredbe dolaze isključivo od operatora (dispečera).

Poluzatvorena petlja (iako ovaj pojam nije čest u literaturi) uvedena je kao međufaza između otvorene i zatvorene petlje. Naime, u zatvorenoj petlji sam DS prikuplja informacije i izdaje adekvatne naredbe. Kod poluzatvorene petlje razlika je u tome što DS definira i pripremi naredbu, ali je izvrši tek kad je verificira operator. Možemo reći da će izbor o načinu rada ovisiti prvenstveno o opsegu EES, a zatim o dozvoljenom (to ovisi o

nizu faktora) automatizmu u radu. Zbog toga je prije odluke potrebno dobro upoznati EES i procese u njemu kako bi unaprijed saznali koju razinu vođenja procesa možemo očekivati.

3. 2. Komunikacijska mreža

Daljnji utjecaj na izbor odgovarajućeg DS primijenjenog u EES ima komunikacijska mreža. Naime, bez obzira na naše »želje i potrebe« stvarne uvjete rada DS moći ćemo definirati tek poznavanjem komunikacijske mreže.

S druge strane, sagledavanje komunikacijske mreže potrebno je obaviti temeljito i potpuno. Kao prvo naglasimo da put razmatranja prvenstveno ovisi i o tome je li komunikacijska mreža već izgrađena ili će se izgrađivati u sklopu DS. Povoljnija je okolnost ako imamo izgrađenu mrežu, premda u određenim slučajevima ona ne omogućava kvalitetan rad DS. No uglavnom se taj nedostatak može ukloniti stanovitim dogradnjama, odnosno, u krajnjem se slučaju ide na smanjenje brzine prijenosa. Kad startamo od početka, potrebno je ponovno izvršiti izbor. Prvo i osnovno što se mora definirati jest prijenosni put koji može biti ostvaren telefonskim (signalnim) kabelima, bežičnom vezom, odnosno VF vezom po energetskim kabelima. Izbor prijenosnog puta definirat će područje unutar kojeg se nalazi naš EES za koji uvodimo DS. Ako se radi o gradskom području (bez obzira na veličinu) prisutne su kombinacije telefonskih kabela, koaksijalnih kabela i bežičnih veza. Pri tome se primat daje telefonskim kabelima, dok se koaksijalni kabeli koriste za veće brzine prijenosa signala (iznad 9 600 Bb). Bežične veze primjenjuju se rijetko, uglavnom na mjestima gdje su kabelske veze otežane.

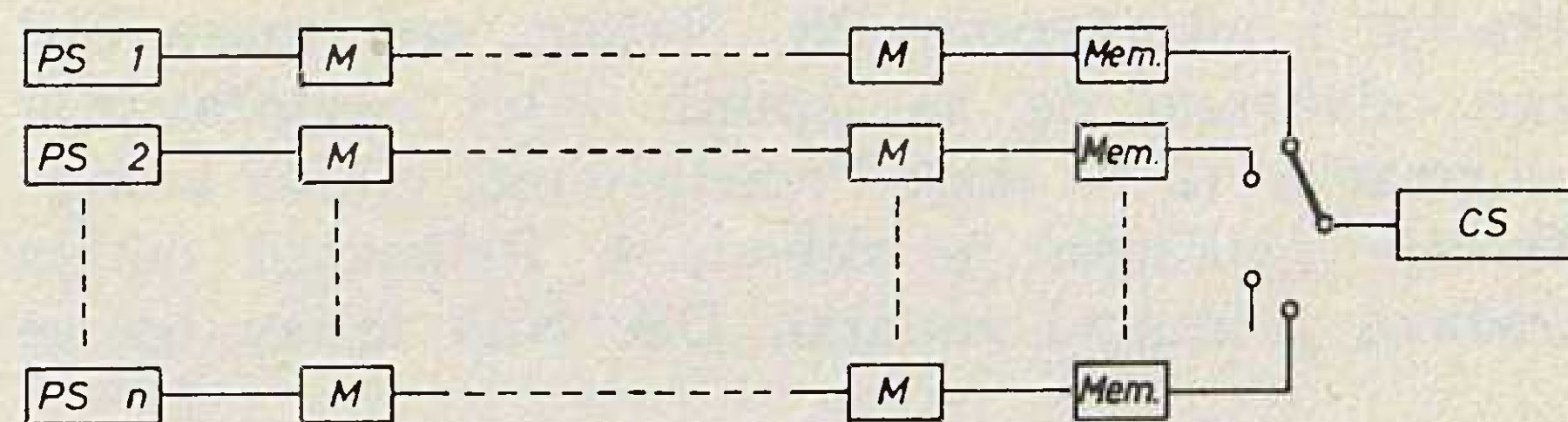
S druge strane EES koji se protežu duž jedne veće regije prijenos signala ostvaruju bežičnom vezom ili VF vezom energetskim vodovima.

Ako imamo već definiranu i izgrađenu komunikacijsku mrežu, problem je samo u oblikovanju njezine konfiguracije.

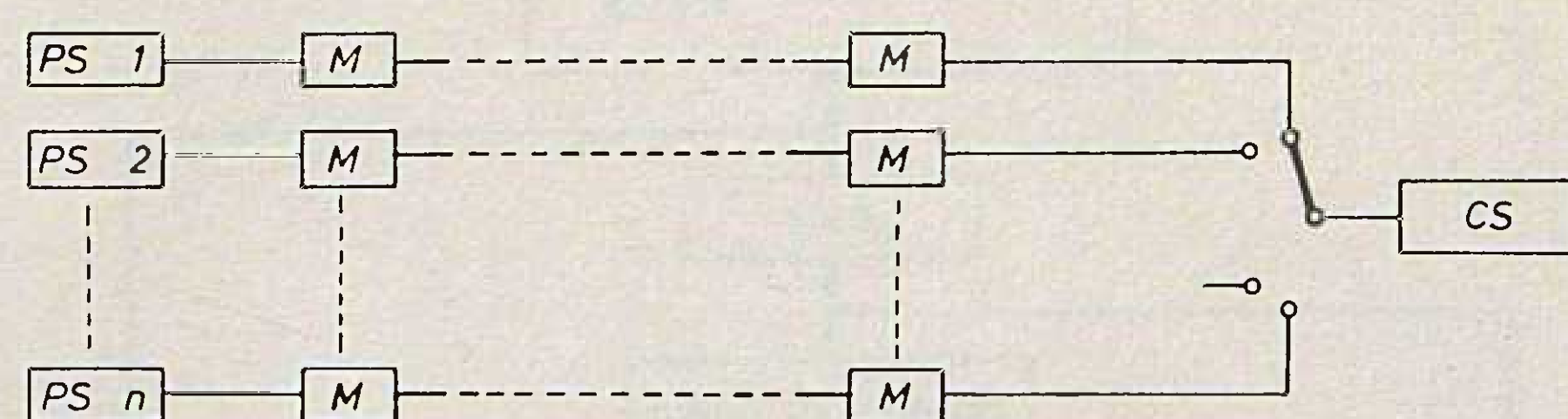
Sve to naglašeno je iz razloga što vrsta prijenosnog puta ograničava brzinu prijenosa signala i daje određenu sigurnost prijenosa, a to znači da je time ujedno ograničena količina informacija i brzina prijenosa, to su parametri koji nam kazuju koliko je vrijeme njihova osvježavanja. Kako je za informacije iz EES postavljeno ograničenje na vrijeme osvježavanja informacija od 2 do 10 sek (ovisi o važnosti informacije), to izbor konfiguracije komunikacijske mreže i prijenosnog puta treba tome podrediti.

Pri tome je potrebno naglasiti slijedeće. Osnovni organ koji obrađuje informacije u CS je računalo. Kako ono u jednom trenutku komunicira samo s jednom perifernom stanicom, to znači da će brzina prijenosa signala direktno utjecati na vrijeme te

Legenda: M — modem, Mem. — privremena memorija



Sl. 3a. Sistem s privremenom memorijom



Sl. 3b. Sistem s direktnim pristupom

komunikacije, odnosno zauzetost računarske jedinice. Iz tog razloga potrebno je prilikom izbora DS i komunikacijske mreže razmotriti dva slučaja (slika 3).

Ako su svojstva komunikacijske mreže takva da ne omogućavaju ostvarenje zadanog vremena osvježavanja informacija, potrebno je ubaciti privremenu memoriju koja će podatke spremati dok ih sistem ne prihvati (slika 3.a), odnosno ako su nam brzine prijenosa velike sistem u CS može direktno komunicirati s podsystemima u PS (slika 3.b).

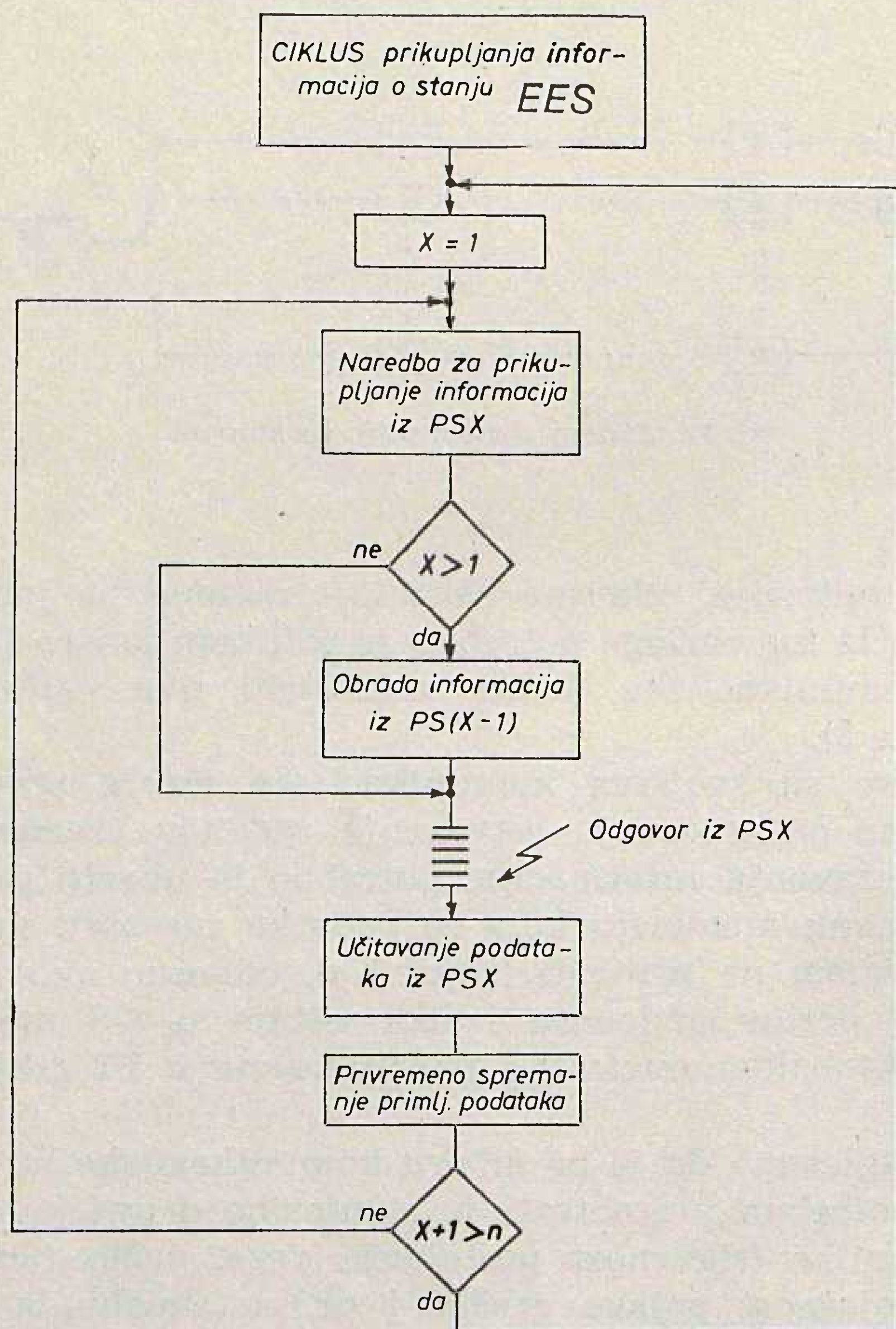
Naglasimo da je po izboru komunikacijske mreže potrebno promatrati još i njezine druge karakteristike (sigurnost postojanja veze, način rada, vjerojatnost pojave greške i dr.) u smislu da li neka od njih bitno utječe na kvalitetu rada sistema, odnosno da nam se potvrdi pravilnost izbora.

3. 3. Osnovni ciklusi rada i zauzetost procesorske jedinice digitalnog sistema

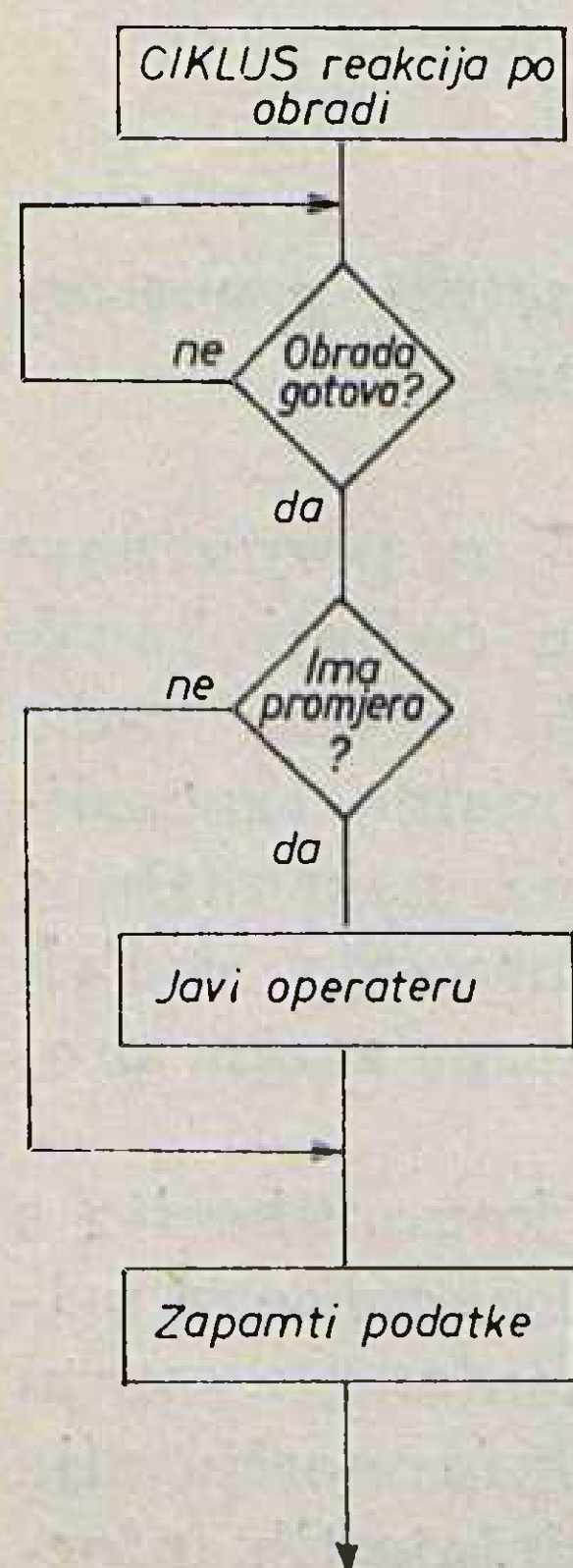
Po određivanju načina rada DS i uz poznavanje pripadajuće komunikacijske mreže daljnji korak u analizi je definiranje osnovnih ciklusa rada. Drugim riječima, potrebno je optimalno »zaposliti« procesorsku jedinicu radi njezina maksimalnog iskorištenja, a s rezultatom poznavanja uvijek aktualnih informacija o elektroenergetskom procesu.

Prvi i osnovni ciklus rada jest komunikacija s DS u perifernim stanicama, što podrazumijeva prikupljanje svih informacija o momentanom stanju EES. Međutim, samo prikupljanje informacija nije dovoljno. Potrebno je odrediti i sadržaje tih informacija, te analizom sadržaja zaključiti koje daljnje aktivnosti treba poduzeti. Osnova za realiza-

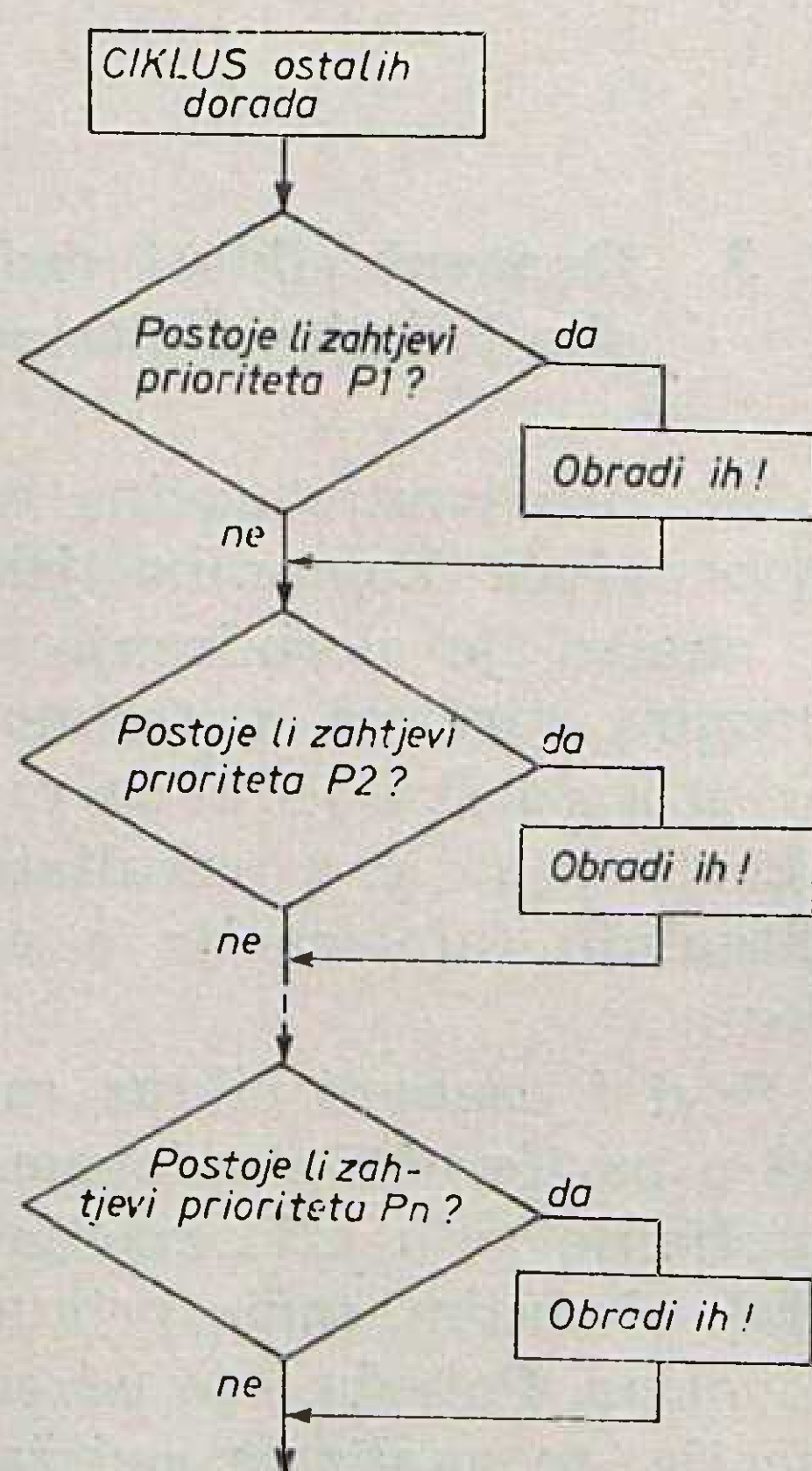
ciju tog ciklusa je vrijeme između dvije komunikacije s određenom PS. Naime, ono mora biti tako odabrano da se ispuni uvjet osvježavanja informacija (2-10 sek). Principijelno, ciklus komunikacije prikazan je slikom 4. Prikazani ciklus izražava primarni zadatak DS. Kao takav on se



Sl. 4. Ciklus komunikacije sa PS



Sl. 5. Usmjeravanje informacija



Sl. 6. Ostale obrade

obavlja stalno, a ostali poslovi obavljaju se u trenucima čekanja poruka iz PS (ili privremene memorije).

Slijedeći ciklus rada koji se nadovezuje na prvi jest ciklus reakcija po obradi (slika 5).

Naime, nakon izvršene obrade potrebno je podatke proslijediti operatoru, odnosno na odgovarajuće mjesto u memoriji. Odluka o tome kojim će se pravcem proslijediti podaci ovisi isključivo o njihovom sadržaju. Ako on pokazuje da nema promjene, podaci se pohranjuju na odgovarajuće mjesto u memoriji. Ako pak to nije slučaj, o nastupilim promjenama obavještava se, preko izlaznih (perifernih) jedinica, operator. Ako se za vrijeme ovog ciklusa pojave na ulazu u DS novi podaci, iz PS ciklus se privremeno prekida dok se prispjeli podaci ne učitaju, a obrada tih podataka počinje kad se prekinuti ciklus završi.

Posljednji ciklus rada u biti nije strogo definiran, ali on omogućuje realizaciju određenog načina rada. To znači da ovaj ciklus obuhvaća sve ostale poslove koje sistem može obavljati (slika 6). Uvjetno se on naziva ciklusom jer se unutar njega vrši određeno ispitivanje prioriteta i shodno tome obavljaju se odgovarajući poslovi. Ciklus sadrži nekoliko grupa u koje su svrstani svi mogući zahtjevi. U prvu grupu najvišeg prioriteta (P1) pripadaju naredbe dane od operatora radi zahvata u EES. Istoj grupi pripadaju i svi ostali zahtjevi u kojima se traži prezentiranje određenih podataka iz EES.

Slijedeću grupu nižeg prioriteta (P2) sačinjavaju aplikacioni programi kojima se zahtijeva određena manipulacija informacija. Na kraju ostavljena je mogućnost postojanja i treće grupe (P3, P4 ...) kojoj pripadaju svi ostali programi čije trajanje i vrijeme izvršenja nema posebno značenje, odnosno ne utječe direktno na vođenje procesa, ali povisuje njegovu kvalitetu.

Izbor odgovarajućih ciklusa rada je posljednji korak u definiranju DS. Naime, prisutnost prvih dvaju ciklusa je nužno, dok o izgledu trećeg direktno ovisi mogućnost rada. Vrijeme osvježavanja informacija ovisit će izravno o obliku prvog ciklusa, odnosno o načinu komunikacije s perifernim stanicama.

Pri tome treba istaći da je o režimu rada (vidi sliku 3) ovisno vrijeme zauzeća procesorske jedinice.

Informacije u smjeru od PS prema CS jesu iznosi mjerenja i stanje signalizacije. Može se pokazati da je:

$$T_{Mx} = \sum_{i=1}^m \frac{I_i}{C} \quad (3.1)$$

gdje je:

T_{Mx} — vrijeme prijenosa mjerenja iz PS_x

m — broj mjerenja

I_i — broj bita kojim je opisano mjerenje m_i

C — brzina prijenosa

$$T_{sx} = \sum_{j=1}^s \frac{I_j}{C} \quad (3.2)$$

gdje je:

T_{sx} — vrijeme prijenosa promjena signalizacije iz PS_x

I_j — broj bita kojima je opisana promjena S_j

s — ukupni broj promjena.

Vrijedi da će ukupna količina informacija iz PS_x biti:

$$T_{ux} = T_{mx} + T_{sx} \quad (3.3)$$

Međutim, na ovom mjestu treba objasniti prirodu tih informacija. Informacije koje u sebi sadrže stanje signalizacije, odnosno promjene u stanju signalizacije (prenose se samo promjene stanja signalizacije radi što manjeg zauzeća prijenosnog puta) pojavljuju se vrlo rijetko i možemo reći da su to veličine slučajnog karaktera. Za razliku od njih informacije s mjerenjima se prenose stalno jer su mjerene veličine (napon, struja, snaga i dr.) kontinuiranog karaktera. To znači da će vrijediti $T_M \gg T_s$, odnosno:

$$T_u = T_M \quad (3.4)$$

Drugim riječima, vrijeme prikupljanja informacija iz jedne PS bit će jednako vremenu prikupljanja informacija s iznosima mjerenja. Iako zanemarivo, vrijeme prikupljanja informacija s promjenama stanja signalizacije bitno je i ne smije se potpuno ignorirati. Kako pojava promjena podliježe određenim statističkim zakonitostima, možemo izraz 3.4 pisati u obliku:

$$T_u = T_M + t(s), \quad (3.5)$$

gdje $t(s)$ predstavlja funkciju razdiobe pripadnog vremena broja promjene stanja signalizacije s očekivanjem $T(S)$ i varijancom $V(S)$. Kompletan ciklus prikupljanja informacija možemo prikazati u obliku:

$$T_c = T_{u1} + T_{u2} + \dots + T_{un} \quad (3.6)$$

Ako vrijedi:

$$T_{u1} = T_u + \Delta T_1$$

$$T_{u2} = T_u + \Delta T_2$$

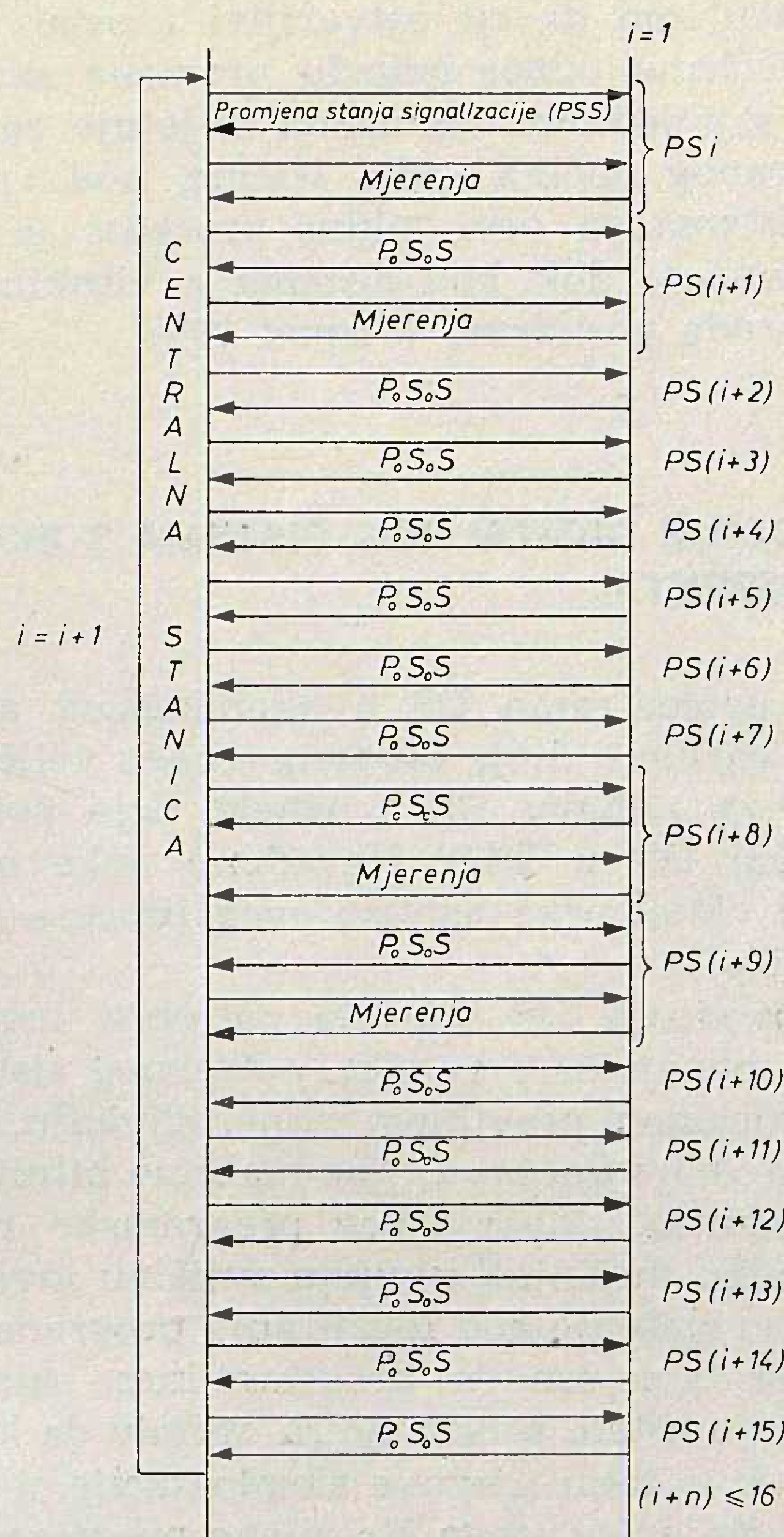
⋮

$$T_{un} = T_u + \Delta T_n$$

dobit ćemo:

$$T_c = nT_u \pm (\Delta T_1 + \Delta T_2 + \dots + \Delta T_n) \quad (3.7)$$

Izraz 3.7 je i konačni oblik kojim je opisano vrijeme trajanja ciklusa prikupljanja informacija, a to je ujedno i vrijeme osvježavanja. Ako ne možemo izbjeći da nam je $T_c \leq 10$ sek, mora se formi-



Sl. 7. Diskontinuirani ciklus centralne komunikacije s perifernim stanicama

rati diskontinuirani ciklus prikupljanja (slika 7) informacija, gdje se važnije informacije prikupljaju češće (2 sek), a one, koje se sporo mijenjaju rjeđe (10 sek). Pri tome treba istaći da procesorska jedinica nije zauzeta duž cijelog ciklusa. Naime, za vrijeme jednog ciklusa (prijenos informacija iz jedne PS) procesorska jedinica je zauzeta samo za vrijeme učitavanja ($T_{\check{c}}$), odnosno ispisa (T_{fp}) informacija:

$$T_{zp} = T_{fp} + T_{\check{c}}, \quad (3.8)$$

Za n priključenih stanica vrijedit će:

$$T_z = \sum_{i=1}^n T_{zi} \quad (3.9)$$

Opterećenje procesora je definirano kao:

$$\rho = \frac{T_z}{T_s} \quad (3.10)$$

gdje je: T_s — interval promatranja.

Može se pokazati da se ρ kreće u granicama od 20% do 80% od ukupnog radnog vremena procesora koje on troši na izvršenje ciklusa komunikacije, a koliko će to opterećenje biti, ovisi o drugim funkcijama sistema.

Zaključujemo da su ostvarljivi i ostali ciklusi rada, pri čemu odnos između vremena zauzetosti procesa s pojedinim ciklusima uvjetuje realizaciju odabranog načina rada. Naime, kod »primitivnih« sistema za prvi ciklus procesor je zauzet 80% vremena, dok kod sistema s visokim stupnjem obrade postizemo ρ ispod 20%.

4. UVOĐENJE DIGITALNOG SISTEMA S EKONOMSKOG ASPEKTA

Kada promatramo DS s ekonomskog aspekta, moramo razlučiti dvije osnovne stvari: veličinu investicije za nabavu DS i uštede koje postizemo primjenom DS u EES. Navedimo neke osnovne postavke ekonomske analize ovog procesa ne ulazeći u detalje.

Kod uvođenja DS veličina potrebne investicije ovisit će ponajviše o veličini potrebnog sistema, a zatim o njezinom pravilnom raspoređivanju. Naime, na cijenu »hardwarea« DS ne možemo bitnije utjecati. Međutim, dobar izbor programske podrške može znatno mijenjati ukupnu veličinu investicija. Optimalno rješenje kod formiranja programske podrške jest da se osnovni programi kupe zajedno sa sistemom, a ostale programe za obradu da korisnik sam izradi u toku njegove eksploatacije. Naglašavamo tu činjenicu stoga što cijena programske podrške može dostići i do 2/3 cijene cijelog DS, pa su uštede vrlo očite. Druga stavka na koju treba obratiti pažnju jeste komunikacijski sistem. Dobrim izborom odgovarajućih prijenosnih uređaja konfiguracije komunikacijske mreže i sistema komunikacije (vidi sliku 3) moguće je variranje investicije za ovaj dio DS mijenjati i do 50%. I na kraju, pravilnim definiranjem količine informacije ukazuje se na pravilan kapacitet sistema, što je također jedan od faktora ukupne cijene sistema.

Iz navedenog je vidljivo da ispravnim izborom tehničkih parametara sistema znatno utječemo i na ekonomske parametre, što je također činjenica koju moramo imati na umu. S druge strane, u fazi eksploatacije pokazuje se da su direktne uštede nastale uvođenjem DS u EES (potrebno manje ljudstva, veće brzine rada i sl.), iako znatne, nedovoljne da bi se s ekonomskog aspekta DS isplatilo. Međutim, ako se uzmu u račun uštede postignute, uz optimalnije vođenje EES uz samo 1% zbog kraćih beznaponskih stanja (dobitak po kWh/min), može se pokazati da se DS čak u jednoj godini višestruko isplati.

5. ZAKLJUČAK

Diskusija u članku upućuje na niz problema koje treba riješiti prije definiranja odgovarajućeg DS primijenjenog u EES. Problemi su istaknuti zato što se danas na tržištu nudi određen broj rješenja ovakvih sistema, ali s bitno drugačijim parametrima. Iz tog razloga često se tek u fazi eksploatacije DS otkrivaju njegovi nedostaci, koji su tada teže otklonivi i unose poteškoće u rad. Ako pak pri izboru uzmemo u obzir situaciju (uzevši vjerojatno u obzir i neke druge okolnosti koje nisu spomenute u ovom članku), odabrani DS pokazat će mnogo manje nedostataka u eksploataciji.

Sve ovo proizlazi iz činjenice da današnji DS, za razliku od prijašnjih »fiksno« građenih sistema, imaju veliku fleksibilnost u radu, pa se u toku vremena mogu mijenjati i principi izvršenja pojedinih zadataka. To je omogućeno uvođenjem računala čijim radom upravljaju aplikacioni programi, a ne kao nekad kruto ožičenje. Na kraju istaknimo bitnu činjenicu da pravilan izbor DS uvjetuje kvalitetni nadzor EES, a samim tim i optimizaciju vođenja procesa u njemu, što je ujedno i krajnji cilj.

LITERATURA

1. H. Lipken: Ekonomski oblici gradskih 110 kV mreža, Elektrizitätswirtschaft, br. 22, 1972.
2. R. J. Pomberger: On-line kontrola električnih mreža, Jurma, Zagreb, 1973.
3. D. Colin: Hitch your telemetry system to mini, Electronic Design, br. 9, 1974.
4. A. Omersoftić: Organizacija informaciono-upravljačkih sistema dispečinga energetskih medija, Automatika, br. 5—6, 1975.
5. V. Sinković: Projektiranje informacionih sistema, Skripta, Sveučilište Zagreb, 1974.
6. J. Martin: Introduction to teleprocessing, Prentice Hall, 1972.

SYNOPSIS

In the article are presented some basic suppositions for the selection of digital system configuration for surveillance, direction and control of electro-energetic process. Special care is dedicated to selection of system from the point of communications. There is also given an consideration from economical point.

Naslov pisca:

mr Vladimir Kavur, dipl. ing.
»Elektra« Zagreb

SUVREMENI ISTOSMJERNI STROJEVI VELIKIH SNAGA

Zlatko Smolčić, Zagreb

UDK 621.313

U referatu se prikazuje osnovna problematika dimenzioniranja istosmjernih strojeva s obzirom na komutaciju, nastajanja kružne vatre na kolektoru, primjenu podijeljenog zračnog rasporeda pomoćnih polova, oblik polne papuče pomoćnog pola, te osvrt na granične snage uz primjenu dvovojnih namota. Nadalje se daje osnovni prikaz napajanja motora istosmjernom i valovitom strujom, te dostignuća proizvodnje istosmjernih strojeva u OUR »Rade Končar«.

1. OSNOVNI PARAMETRI DIMENZIONIRANJA STROJEVA S OBZIROM NA KOMUTACIJU

Dimenzioniranje nekog električkog stroja određuje se na osnovi dozvoljenih specifičnih strujnih opterećenja (gustoća struje, strujni oblog), dozvoljenih specifičnih magnetskih opterećenja (indukcija, stupanj zasićenja) i dozvoljenih obodnih brzina vrtnje rotora s obzirom na mehanička naprezanja. Kod istosmjernih strojeva predstavlja zadovoljavajuća komutacija najteži zahtjev, koji postavlja daljnje uvjete za dimenzioniranje, i to: dozvoljenu srednju vrijednost napona po lameli, dozvoljeni maksimalni napon među lamelama, te dozvoljeni napon samoindukcije. Navedeni uvjeti dovoljni su za razmatranje kvalitete komutacije u statičkom stanju, dok se kod prijelaznih stanja pojavljuje još napon transformacije i zbog vrtložnih struja fazno pomaknuti inducirani napon pomoćnih polova. Napon transformacije pojavljuje se zbog vremenske promjene magnetskog toka glavnih polova, dok se fazni pomak induciranih napona od pomoćnih polova pojavljuje samo kao posljedica promjene struje. Strujno preopterećenje motora u statičkom režimu rada određuje dimenzije magnetskog kruga pomoćnih polova, četkica i kolektora, a vezano uz brzinu vrtnje i napon samoindukcije i dimenzije rotora. Iznos strujnog preopterećenja, brzina regulacije i odnos električne i elektromehaničke vremenske konstante definiraju brzinu promjene struje po vremenu koja nam omogućava donošenje odluke o primjeni kompenzacionog namota i o stupnju lameliranja magnetskog kruga pomoćnih polova.

1. 1. Polno prekrivanje i širina zone komutacije

Snaga stroja ovisi o indukciji u zračnom rasporu glavnog pola, strujnom oblogu, kvadratu promjera rotora, dužini paketa, brzini vrtnje i prekrivanju glavnog pola. Sa stajališta termičkog dimenzioniranja strojeva nastoji se stroj izvesti sa što većim prekrivanjem glavnog pola. Širina zone komutacije ovisi o vrsti namota rotora, koraku svitka i širini četkice. Sa širom četkicom produžuje se vrijeme

komutacije i smanjuje napon samoindukcije, ali se istovremeno povećava širina zone komutacije. Iz teorije istosmjernih strojeva poznato je da za dobru komutaciju ne smije biti znatnijeg utjecaja magnetskog toka glavnih polova na širini zone komutacije, tj. sa stajališta komutacionog dimenzioniranja stroja poželjno je stroj izvesti s malim prekrivanjem glavnog pola. Iz izlaganja se vidi da prekrivanje glavnog pola treba kompromisno odabrati iz termičkog i komutacionog dimenzioniranja stroja i da na postojećem stroju proširenjem četkica u smislu smanjenja napona samoindukcije ne moramo uvijek dobiti poboljšanje komutacije.

1. 2. Kružna vatra na kolektoru

Ako srednja vrijednost napona po lameli ili maksimalni napon među lamelama prelaze određene iznose, može doći do kružne vatre na kolektoru. Općenito postoje dva osnovna razloga za nastajanje kružne vatre:

a) Iskra uzrokovana elektromagnetskom ili mehaničkom pojavom kreće se u smjeru vrtnje. Pretpostavlja se da iskra neće ugasnuti, već prijeći u luk i nadalje u kružnu vatru ako luk dostigne kritičnu visinu napona gdje je napon na krajevima luka dovoljno visok za njegovo održavanje. Kritičnom točkom može se smatrati i točka kod koje napon među lamelama dostiže vrijednost oko 25 V, koja je dovoljna za održavanje luka između lamela. Opasnost od kružne vatre možemo smanjiti tako da smanjimo strminu krivulja 2 i 3 na sl. 1, tj. da smanjimo promjenu napona po obodu kolektora. Smanjenje napona po obodu kolektora možemo ostvariti povećanjem zračnog rasporeda glavnih polova na rubovima pola, smanjenjem izobličenja protjecanja u zračnom rasporu, povećanjem promjera kolektora i smanjenjem prekrivanja glavnog pola.

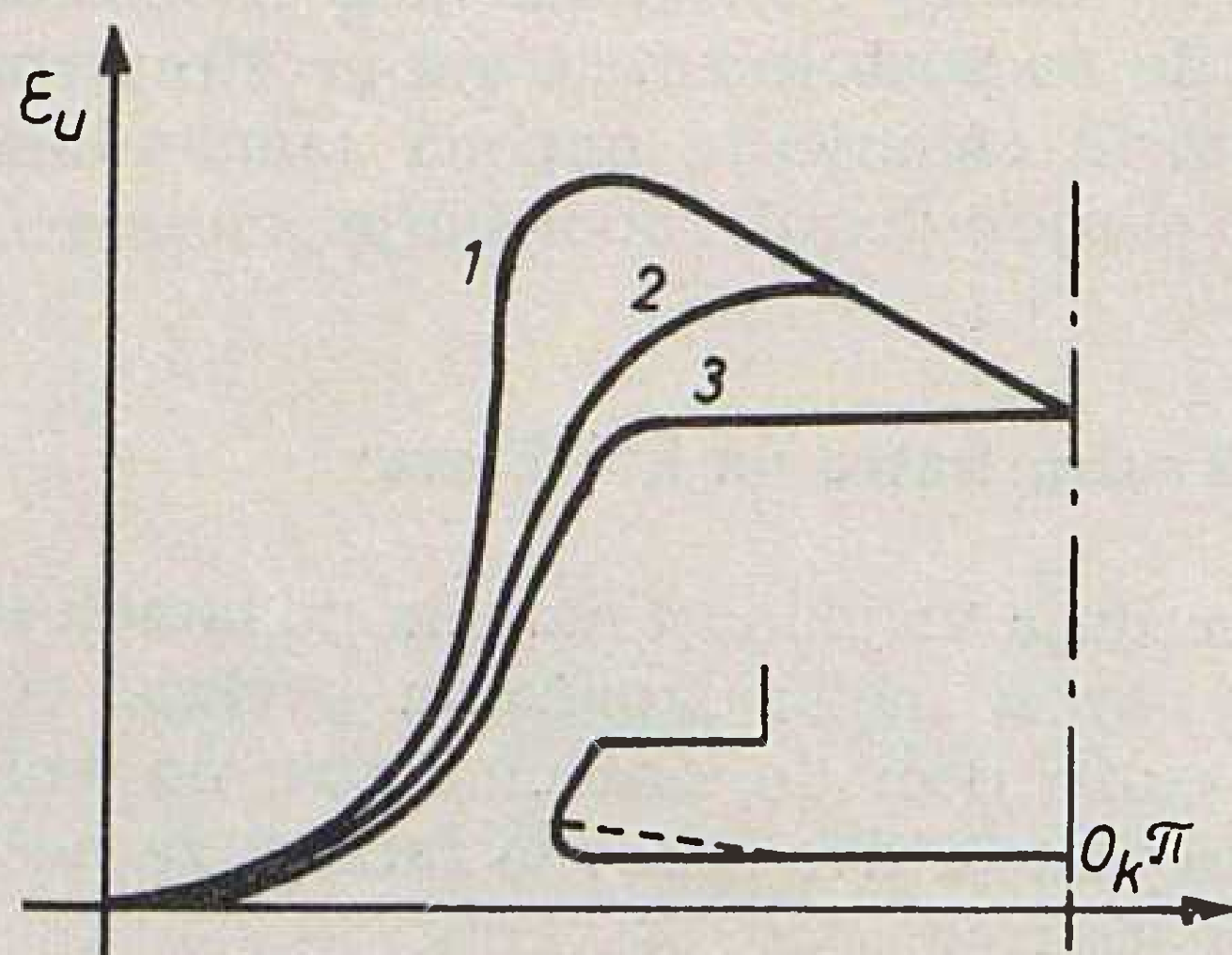
b) Iskra uzrokovana slučajnom ugljenom ili drugom vodljivom prašinom između lamela kolektora. Ako su napon između lamela i promjena napona po obodu kolektora dovoljno visoki, nakon izgaranja mostića između lamela nastaje električni luk koji može prijeći u kružnu vatru. Opasnost od

kružne vatre uzrokovane prašinom možemo smanjiti: održavanjem čistoće kolektora i držača četkica, povećanjem debljine izolacije između lamela kolektora, te već navedenim uvjetima pod »a«.

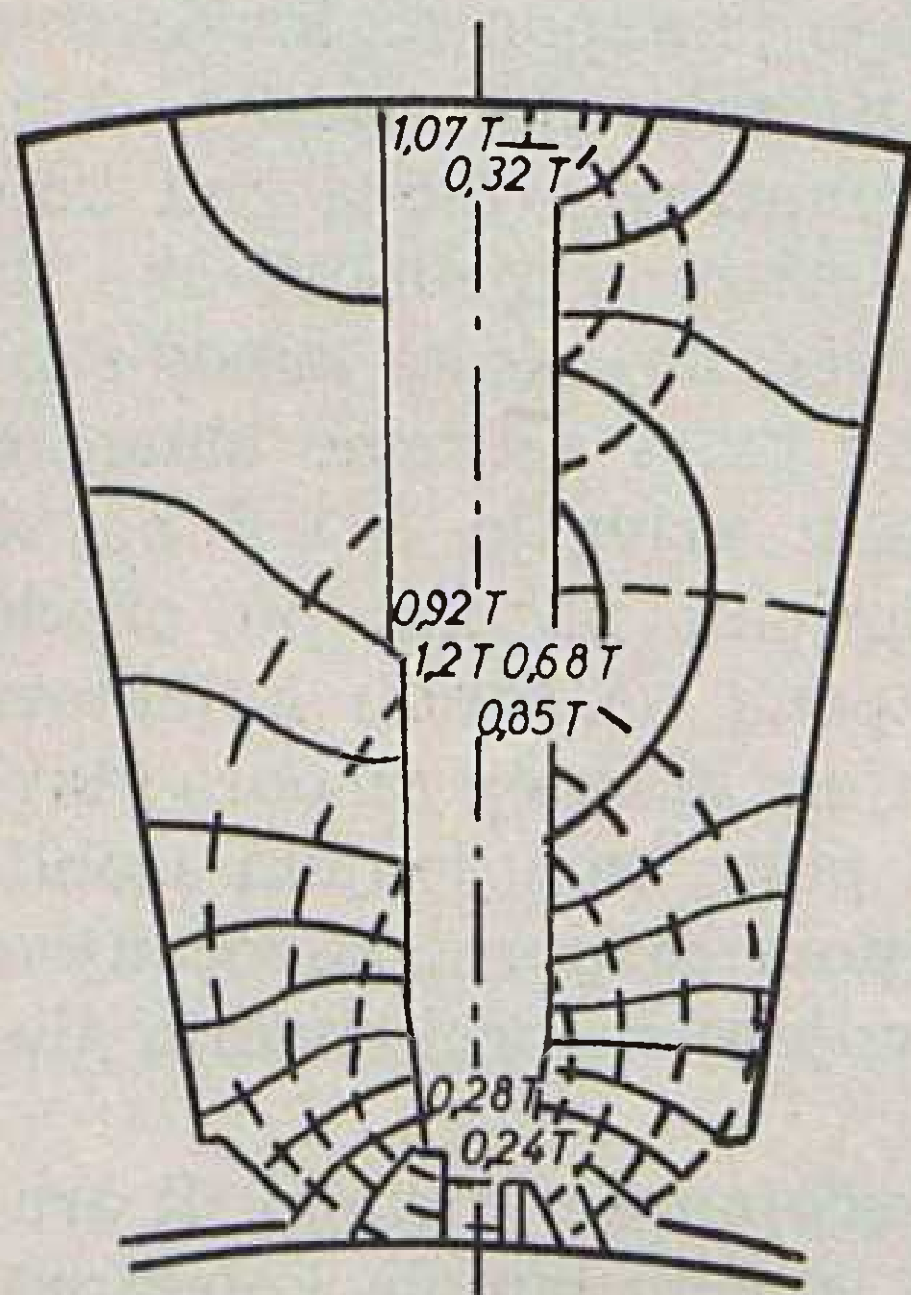
Sa sl. 1. vidi se da promjena kompenzacionog namota smanjuje vrijednost maksimalnog napona među lamelama i promjenu napona po obodu kolektora, tj. primjena kompenzacionog namota uz nepromijenjene ostale parametre smanjuje opasnost od kružne vatre. Napominjemo još da svaka iskra ionizira zrak koji struja rashladnog zraka može odnijeti na ostale dijelove stroja, tako da neće doći do kružne vatre na kolektoru, već do preskoka na druge dijelove stroja, npr. do nosača uređaja četkica, ležajnog štita itd.

1. 3. Podijeljeni zračni raspored pomoćnih polova

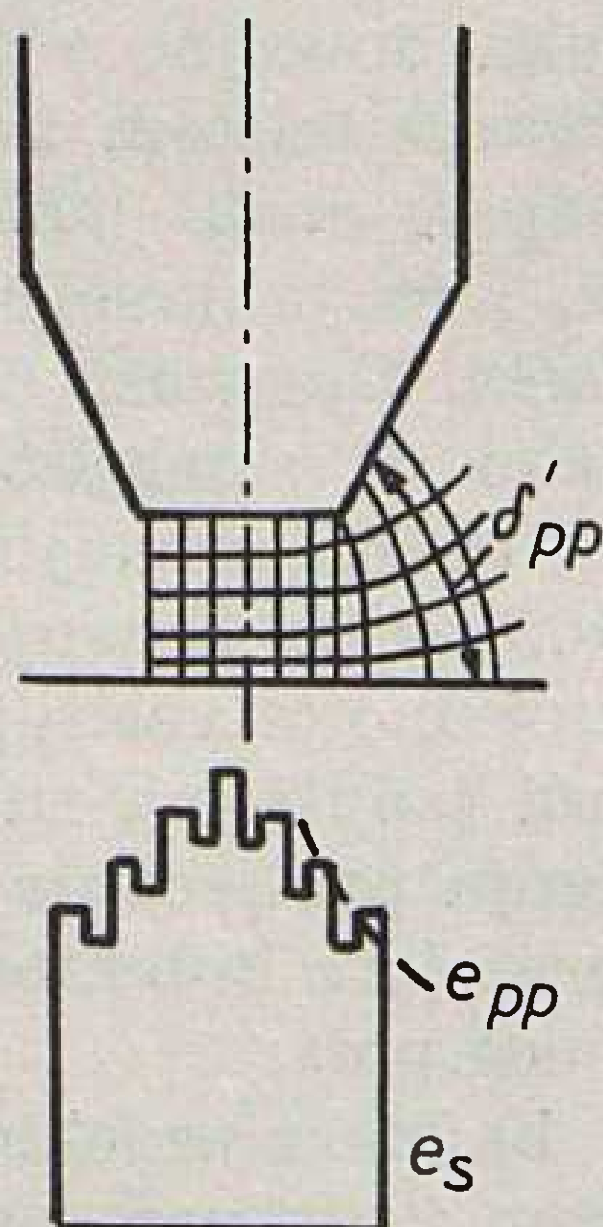
Kod velikih strojeva zračni raspored pomoćnog pola nalazi se u području 20 — 30 mm. Smanjivanjem zračnog rasporeda povećava se rasipanje glave zuba i povećava se napon samoindukcije, dakle smanjuje se kvaliteta komutacije. Povećanjem zračnog rasporeda povećava se utjecaj magnetskog toka glavnih polova u zoni komutacije, dakle sma-



Sl. 1. Krivulja promjena napona po obodu kolektora: 1 — konstantni zračni raspored nekompensirani stroj; 2 — promjenjivi zračni raspored nekompensirani stroj; 3 — konstantni zračni raspored kompenzirani stroj



Sl. 2. Slika polja međupolnog prostora jednog konkretnog stroja: lijeva strana — nepodijeljeni zračni raspored; desna strana — podijeljeni zračni raspored



Sl. 3. Oblik polne papuče pomoćnog pola i prostorna raspodjela napona e_s i e_{pp}

njuje se kvaliteta komutacije. Zato kod većih strojeva zračni raspored pomoćnog pola podijelimo na dva dijela. Jedan zračni raspored nalazi se između polne papuče pomoćnog pola i rotora, a drugi između jezgre pomoćnog pola i jarma statora. Uz ionako smanjenu kvalitetu komutacije (s naslova rasipanja glave zuba), kod podijeljenog zračnog rasporeda ne povećavamo utjecaj magnetskog toka glavnih polova u zoni komutacije, smanjujemo rasipanje pomoćnog pola, zasićenje u jezgri pomoćnog pola i povećavamo kvalitetu komutacije kod udarnih opterećenja. Na sl. 2. prikazana je raspodjela polja u međupolnom prostoru za slučaj nepodijeljenog i podijeljenog zračnog rasporeda pomoćnih polova istog stroja s vrijednostima indukcija u pojedinim presjecima jezgre, odakle se vidi mogućnost većeg preopterećenja stroja s podijeljenim zračnim rasporedom.

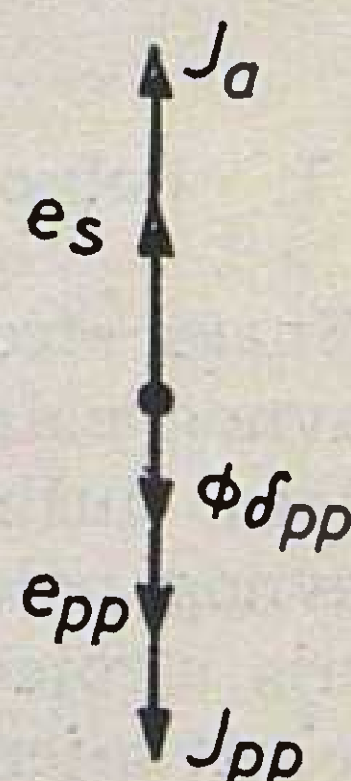
1. 4. Oblik polne papuče pomoću pola

Proračun srednje vrijednosti napona samoindukcije e_s u svitku koji komutira i srednje vrijednosti induciranih napona e_{pp} od magnetskog toka pomoćnih polova ne daje punu garanciju dobre komutacije. Dobru komutaciju dobivamo kada je inducirani napon pomoćnih polova u svakom momentu jednak i suprotnog smjera napona samoindukcije svakog svitka koji komutira. Potrebno je odrediti prostornu raspodjelu napona samoindukcije e_s , a polnoj papuči pomoćnog pola dati takav oblik da raspored indukcije pod pomoćnim polom (u drugom mjerilu e_{pp}) odgovara prostornoj raspodjeli napona samoindukcije, kao što je za jedan skraćeni namov prikazano na sl. 3.

1. 5. Komutacija u statičkom i prijelaznom stanju

U statičkom stanju su napon, struja rotora, magnetski tok glavnih i pomoćnih polova, te brzina vrtnje konstantne veličine, pa iščezava utjecaj vrtložnih struja. Nadalje su u komutirajućem svitku konstantni i približno jednaki: napon samoindukcije e_s (u fazi sa strujom rotora I_a) i inducirani napon od pomoćnih polova e_{pp} (u fazi sa strujom pomoćnih polova I_{pp}), kao što je prikazano na sl. 4.

Kod prijelaznih stanja koja su u općem slučaju uzrokovana promjenom napona, momenta tereta i uzbudne struje imamo vremensku promjenu: struje rotora (promjena napona samoindukcije e_s u fazi sa strujom rotora I_a), struje pomoćnih polova (fazno zaostajanje magnetskog toka pomoćnih polova u zračnom rasporedu Φ_{pp} i induciranih napona od pomoćnih polova e_{pp} u odnosu na struju pomoćnih I_{pp}), magnetskog toka glavnih polova (nastajanje napona transformacije e_t).

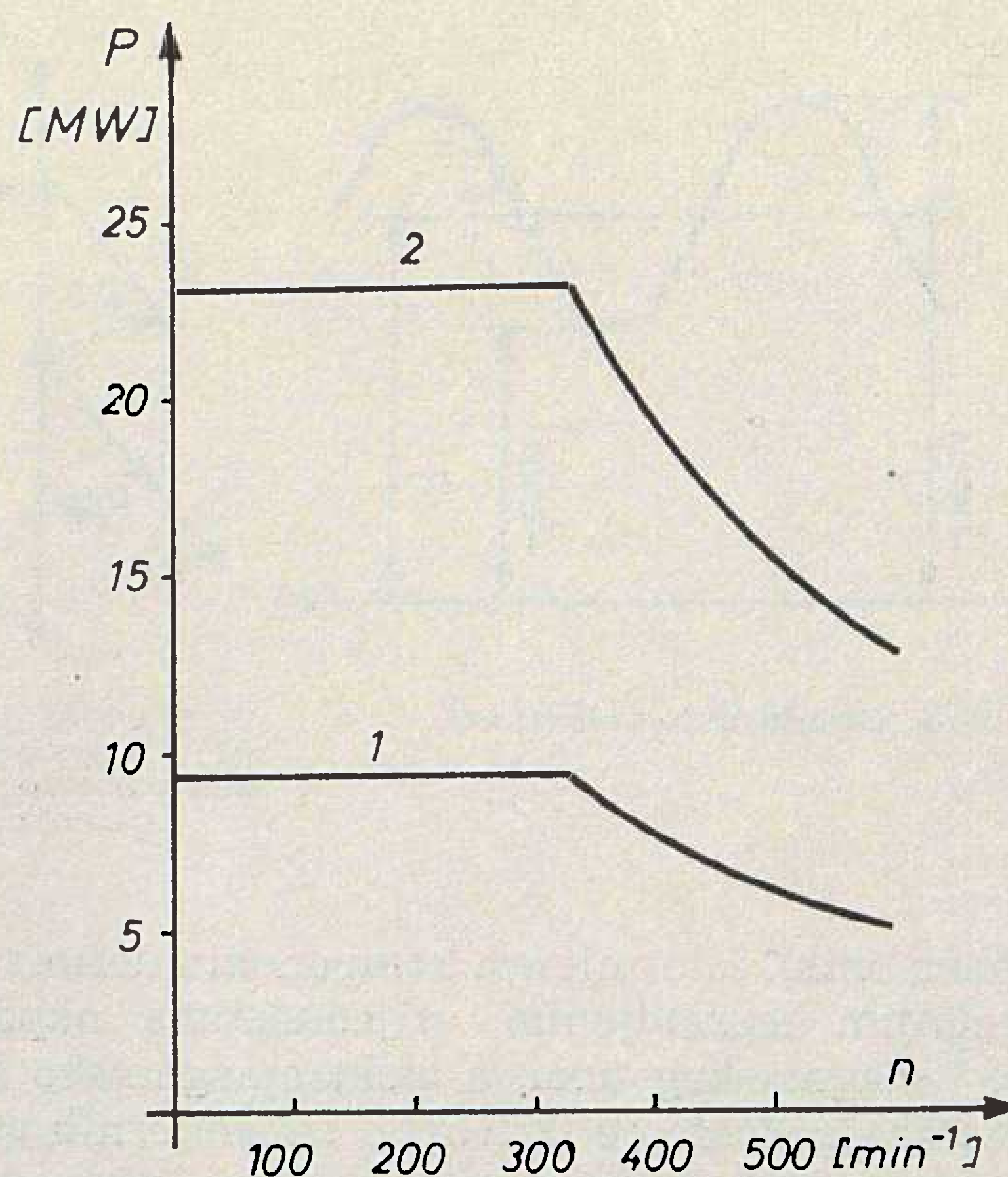


Sl. 4. Objašnjenje uz komutaciju u statičkom stanju

Suma svih napona u komutirajućem svitku, uzevši u obzir njihov fazni pomak, više neće biti jednaka nuli (kao kod komutacije u statičkom stanju prema sl. 4), već će se pojaviti određeni iznos nekompenziranog napona, koji dovodi do pogoršanja komutacije. Koliki će se nekompenzirani napon pojaviti u komutirajućem svitku ovisi o vrsti istosmjernog stroja (nezavisna ili mješovita uzbuđa), o karakteru prijelazne pojave i izvedbi magnetskog kruga pomoćnih polova (utjecaj vrtložnih struja). Nekompenzirani napon u komutirajućem svitku može se smanjiti ako smanjimo utjecaj vrtložnih struja na magnetski tok pomoćnih polova, a to možemo postići na dva načina:

a) lameliranjem jezgre pomoćnih polova i jarma statora pri čemu smanjujemo protjecanje vrtložnih struja približno na trećinu;

b) izvedbom drugog zračnog rasporeda između jezgre pomoćnog pola i jarma statora, pri čemu povećavamo magnetski otpor zračnog rasporeda.



Sl. 5. Granična snaga istosmjernih strojeva

1. 6. Granična snaga i primjena dvovojnih namota

Sinhroni i asinhroni strojevi, koji se dimenzioniraju na osnovi termičkih i mehaničkih parametara, imaju relativno velike granične snage u odnosu prema istosmjernim strojevima koji se moraju dimenzionirati još i na komutacione parametre. Kod jednonavojnog petljastog ili žabljeg namota armature granična snaga istosmjernog stroja, osim ostalih uvjeta, ograničena je naponom između lamela kolektora, pa se zato kod graničnih snaga koriste dvovojni petljasti ili žablji nesimetrični namoti kod kojih između dviju lamela ima pola napona zavoja. Uz danas ostvarive vrijednosti: promjer rotora 4,1 m, strujni oblog 600 A/cm, indukciju u zračnom rasporu 1,1 T, obodnu brzinu rotora 70 m/sek, napon samoindukcije u trajnom radu 8 V, a u kratkotrajnom radu 20 V, srednji napon između lamela, 20 V, faktor prekrivanja glavnih polova 0,72 i jedinični koeficijent induktiviteta $4 \cdot 10^{-6}$ Vs/Am, dobivamo granične snage za trajni (1) i kratkotrajni (2) režim rada prikazane na sl. 5.

2. NAPAJANJE MOTORA VALOVITOM STRUJOM

Za priključak istosmjernog motora na izmjeničnu mrežu potreban je pretvarač izmjenične struje u istosmjernu. U tu svrhu možemo upotrijebiti: motor-generator (motor se napaja istosmjernom strujom) ili ispravljački spoj koji istosmjerni motor napaja valovitom strujom.

Kod primjene ispravljačkog spoja regulaciju istosmjernog napona možemo vršiti reguliranjem izmjeničnog napona koji dovodimo na transformator (prekapčanjem otcjepa na primarnoj ili sekundarnoj strani transformatora) ili promjenom kuta

paljenja (kašnjenjem paljenja) ispravljača pri konstantnom izmjeničnom naponu. Prednost prvog načina je manja valovitost napona i struje, a nedostatak je nekontinuirana regulacija i mala brzina regulacije. Prednost drugog načina je mogućnost kontinuirane regulacije velikom brzinom, a nedostatak je povećanje valovitosti ispravljenog napona i struje, skuplji ispravljači, loš faktor snage itd.

Krivulju ispravljenog napona možemo prikazati pomoću Fourierova niza kao srednju vrijednost i sumu harmoničkih članova. S povećanjem reda harmonika naglo pada valovitost napona, tako da za razmatranje problema možemo uzeti u obzir samo prvi harmonički član. Valovitost neke veličine, npr. struje prema sl. 6, iznosi:

$$v = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} (1).$$

Analizom valovitosti napona i struja provedenih na kompenziranom i nekompenziranom nezavisno uzbuđenom motoru za razne spojeve ispravljača dobivamo:

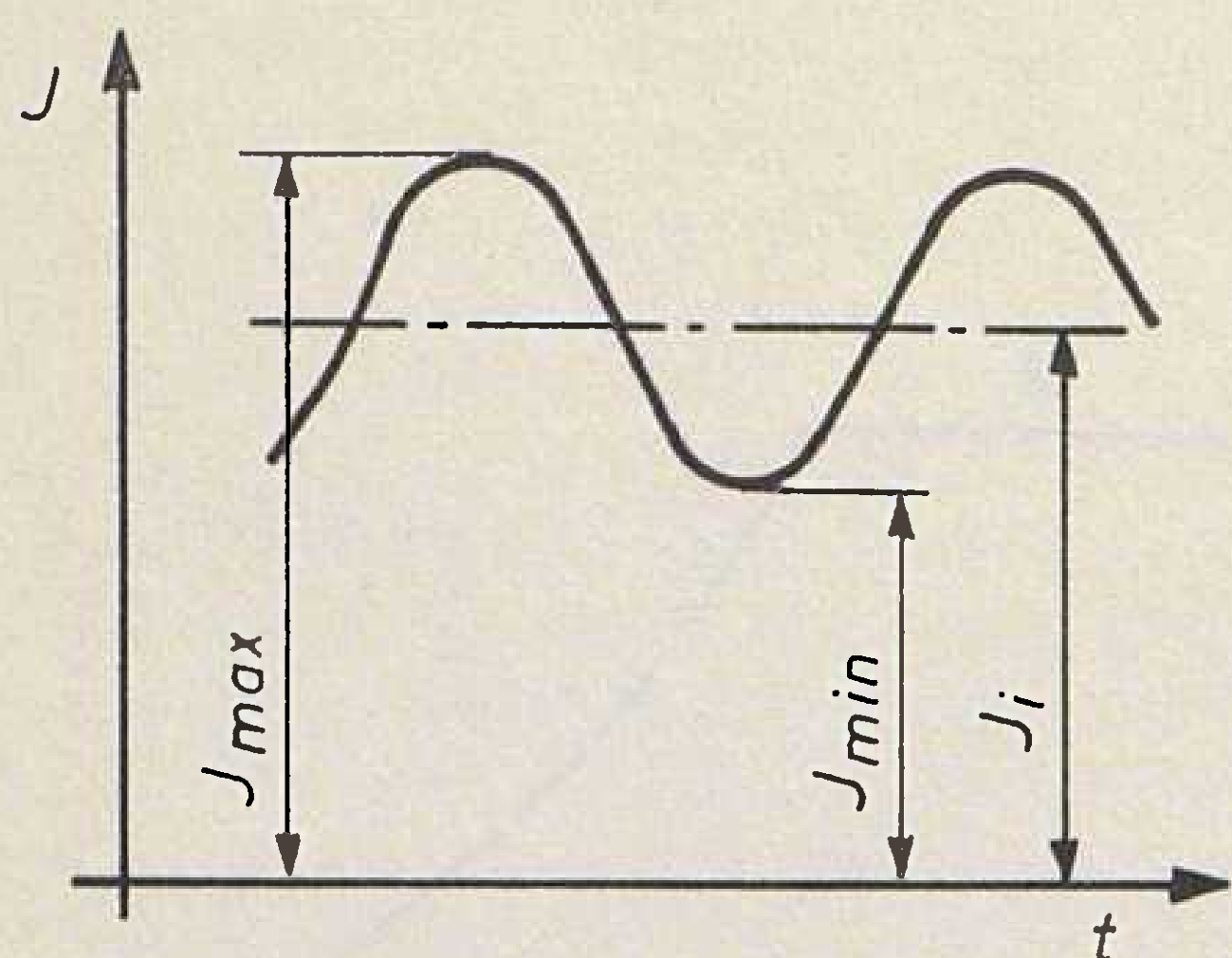
a) s povećanjem reda harmonika kod otvorene i zatvorene rešetke ispravljača naglo pada valovitost napona, a još brže pada valovitost struje,

b) s povećanjem kuta paljenja valovitosti rastu,

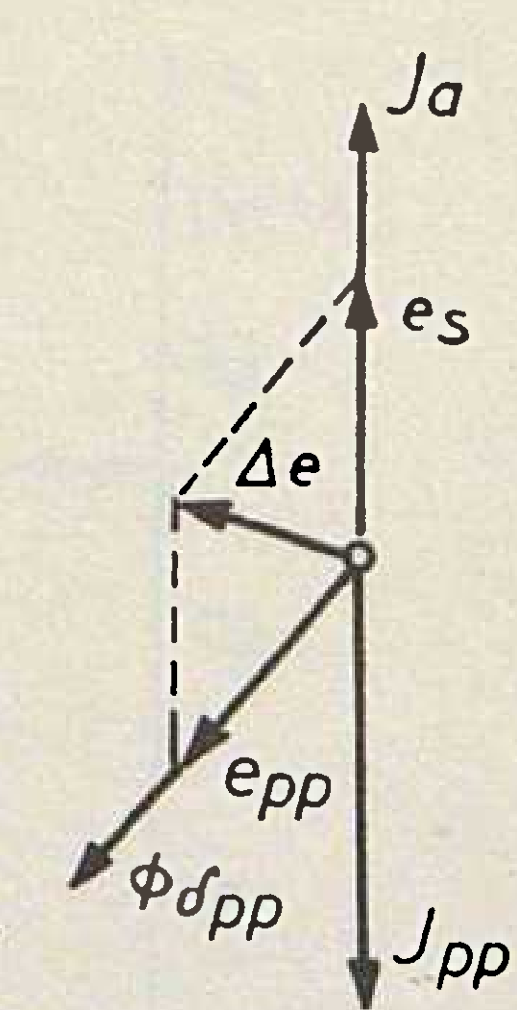
c) s povećanjem broja anoda ispravljača (broja pulzacija za vrijeme jedne periode) valovitosti naglo padaju,

d) uz istu valovitost napona kod kompenziranih strojeva (induktivitet manji od 4 puta) postoji veća valovitost struje u usporedbi s nekompenziranim strojevima.

Elektromagnetsko stanje motora kod valovitog napajanja možemo razmatrati kao superpoziciju dviju komponenata: istosmjerne i izmjenične (samo



Sl. 6. Objašnjenje valovitosti



Sl. 7. Objašnjenje uz komutaciju kod valovitog napajanja

prvi harmonik). Istosmjerna komponenta definirana je srednjim ispravljenim vrijednostima napona, struje i magnetskog toka, a elektromagnetsko stanje motora poznato je iz teorije istosmjernih strojeva. Izmjeničnu komponentu možemo razmatrati priključkom nezavisno uzbuđenog motora na izmjenični napon (iznosa i frekvencije prvog harmonika), pri čemu postoji: izmjenična struja armature, izmjenični magnetski tok pomoćnih polova, u magnetskom krugu pomoćnih polova nastaju vrtložne struje, a magnetski tok pomoćnih polova nije u fazi sa strujom. U komutirajućem svitku inducira se napon samoindukcije e_s (približno u fazi sa strujom rotora I_a) i inducirani napon od pomoćnih polova e_{pp} (u fazi s magnetskim tokom $\Phi_{\delta pp}$ u zračnom rasporu pomoćnih polova, a fazno pomaknut u odnosu na struju pomoćnih polova I_{pp}), kao što je prikazano na sl. 7. Kod priključka nezavisne uzbude na izmjeničnu mrežu preko ispravljača, promjenu magnetskog toka glavnih polova i napon transformacije u komutirajućem svitku možemo zanemariti zbog velikog induktiviteta i male valovitosti struje uzbuđenog namota. Suma napona samoindukcije e_s i induciranih napona pomoćnih polova e_{pp} u komutirajućem svitku nije jednaka nuli, već se pojavljuje određen iznos nekompenziranog napona Δe , koji pogoršava komutaciju. Ispitivanje dozvoljenog nekompenziranog napona nekog konkretnog stroja vrši se metodom snimanja tamne zone komutacije istosmjernom strujom.

Posljedice izmjenične komponente struje kod nezavisno uzbuđenog motora napajanog valovitom strujom jesu: povećanje srednje vrijednosti napona i maksimalnog napona između lamela kolektora, nastajanje nekompenziranog napona u komutirajućem svitku, povećanje gubitka prijelaza struje četkica-kolektor, povećanje gubitka u bakru i željezu, te povećanje strujnog opterećenja četkica.

Kod motora napajanog valovitom strujom ne dobivamo neko ozbiljnije povećanje srednje vrijednosti momenta (mala valovitost uzbuđne struje)

u odnosu na istosmjerno napajanje, ali izmjenična komponenta momenta s frekvencijom harmonika može dovesti do neželjenih torzionih vibracija osovine.

3. DOSTIGNUĆA PROIZVODNJE ISTOSMJERNIH STROJEVA

Na osnovi kratko izložene problematike dimenzioniranja i vrstama napajanja u OUR »Rade Končar« proizvode se istosmjerni strojevi za režime rada S1 do S7 prema preporukama IEC-a za opću i specijalnu namjenu (dizalice, vuča, brodarstvo, valjaonice, cementare itd.), sa kompenzacionim namotom i bez, s masivnim i lameliranim jarmom statora s obzirom na vrstu napajanja. Izolacija strojeva je termičke klase F na bazi epoksida.

U tablici 1. dani su osnovni podaci nekih do sada isporučenih istosmjernih strojeva srednjih i većih snaga. Prema tehničkim saznanjima, opremljenosti tvornica i laboratorija u OUR »Rade Končar«, postoji mogućnost proizvodnje istosmjernih strojeva do graničnih snaga.

Tablica 1.

R. br.	Snaga (kW)	Napon (V)	Brzina vrtnje (min ⁻¹)	Vrsta napajanja	Namjena
1	900	770	1 085/1 920	valovito	vučni motor
2	535	3 000/2	580/1 550	istosmjern.	vučni motor
3	700	440/700	1 500	—	vučni generator
4	550	380	600	—	propulzioni gener.
5	500	370	390	istosmjern.	propulzioni motor
6	2 100	550	260	istosmjern.	propulzioni motor
7	200	500	1 000/2 200	valovito	valjaonički motor
8	450	600	500/1 200	valovito	valjaonički motor
9	660	750	750/1 200	valovito	valjaonički motor
10	600	600	400/1 000	valovito	valjaonički motor
11	1 200	600	400/1 000	valovito	valjaonički motor
12	1 800	850	175/ 450	valovito	valjaonički motor

LITERATURA

Smolčić Z.: »Specijalna poglavlja iz kolektorskih strojeva«, Elektrotehnički fakultet Zagreb, 1971 god.

SYNOPSIS

The problems in designing DC machines are outlined with regard to commutation, the phenomenon of flash-over on the commutator, application of the dual compole air gap, form of compole shoe, and the potential applications of double lap windings for highest outputs.

DC machine feeding with either direct or wave current is reviewed. DC machine manufacture is one of the lines of activity of the "Rade Končar" Company, and a summary progress report is given.

Naslov pisca:

Zlatko Smolčić, dipl. ing.

Elektrotehnički fakultet, Zgb.

METALNO-HALOGENSKE ŽARULJE KAO PERSPEKTIVNI IZVOR DANJE SVJETLOSTI

Branko J e m r i ć, Zagreb

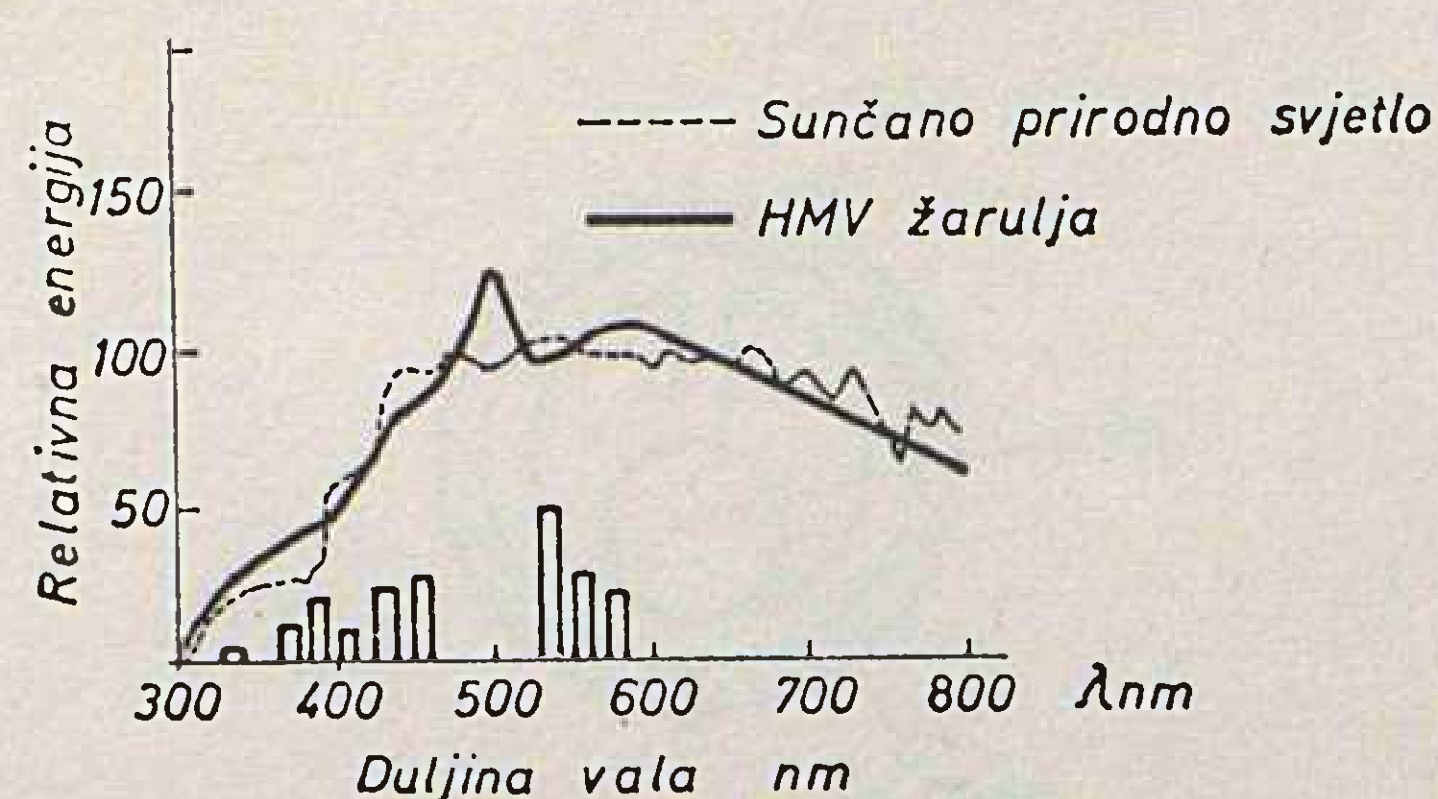
UDK 628.9

Opisan je razvoj metalno-halogenih žarulja MHV od 1960. godine do danas u tri razvojne generacije. Za svaku od njih dane su karakteristike i istaknuta bitna poboljšanja. Izneseni su također teorijske i praktične osnove funkcioniranja takvih vrsta žarulja, kao i područje njihove primjene.

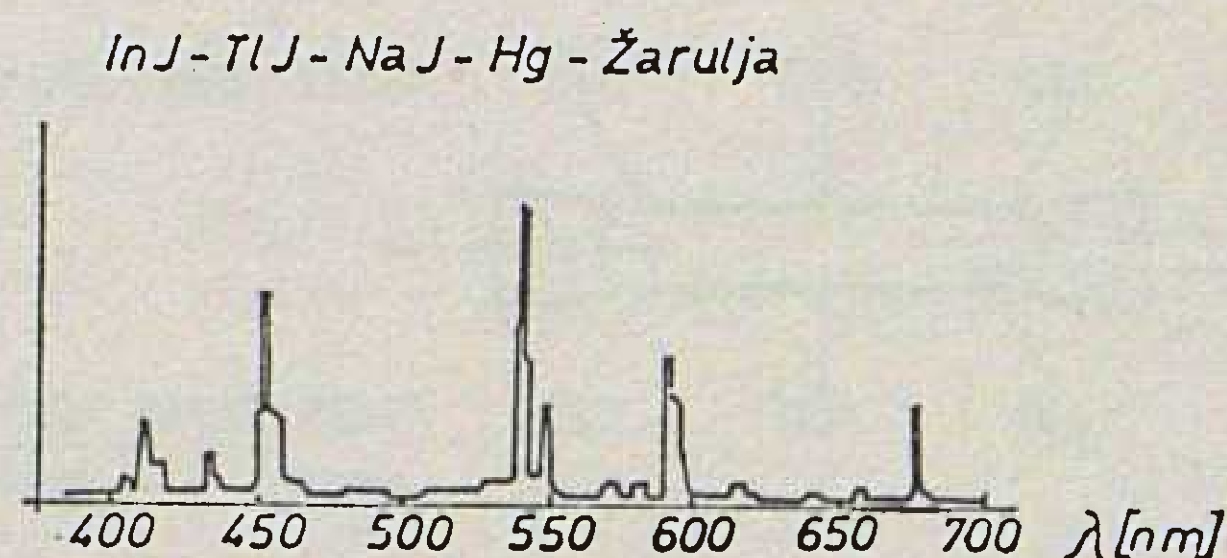
Napretkom rasvjetne tehnike, a naročito pojavom novih vrsta izvora svjetlosti, sve su veće mogućnosti i izgledi za ostvarenje davne želje čovjeka — jednog takvog izvora svjetlosti koji će nadomjestiti prirodnu danju sunčanu svjetlost. Prije desetak godina bili smo zadovoljni izvorom svjetlosti na osnovi izboja kroz plin ksenon koji nam daje izvanredan spektar danje svjetlosti pa ga upotrebljavamo i danas. No, na žalost, samo za specijalne svrhe, s obzirom na nepraktičnost i cijenu za masovnu upotrebu. Zbog toga su se posljednjih godina tražila nova rješenja na temelju masovno upotrebljavanih i već dobro poznatih živinih visokotlačnih žarulja. Ti su izvori svjetlosti poslije 1960. godine napredovali pronalaskom novih fluorescentnih materijala za korekciju boje svjetlosti, kao što je bio germanij-fluorogermanat i kasnije yttriumvanadat-europium koji se i danas upotrebljava. Na taj način je samo djelomično riješen problem povećanja udjela crvenog spektra u svjetlosti, no spektar je i nadalje ostao linijski s relativno slabom reprodukcijom boja predmeta i skromnim svjetlosnim iskorištenjem. Osim toga, takve žarulje, zbog velike površine zračenja svjetlosti iz balona prekrivenog fluorescentnim prahom, nisu prikladne za upotrebu u reflektorima. Tražilo se bolje rješenje, koje je nađeno u dodavanju i drugih elemenata (metala) ili njihovih spojeva u izboj kako bi se dobila miješana kvalitetnija svjetlost s obzirom na različite boje koje ti metali zrače u izboju. Birani su takvi metali koji zrače traženu boju svjetlosti, a imaju određen tlak para i napon gorenja kod postignute radne temperature kvarcnog žiška. U prvoj izvedbi takvih novih visokotlačnih žarulja bili su upotrijebljeni elementi kao natrij (Na), indij (In) i talij (Tl) koji su, doduše, odgovarali s obzirom na dobiveni linijski spektar svjetlosti, ali nisu odgovarali tehnološki, jer su reducirali stijenke kvarcnog žiška. Kasnije se našlo rješenje tog problema upotrebom istih metala u formi jodida koji ne reduciraju kvarc dok se nala-

ze kraj stijenke žiška, a u luk izboja dolaze samostalno disocirani u automarnom stanju i zato daju opet svaki svoj linijski spektar. Termičkim strujanjem plina unutar žiška vraćaju se atomi metala opet natrag kraj stijenke žiška, koja je na nižoj temperaturi, pa se opet vežu za jod i na taj način stalno zaštićuju stijenku kvarca od redukcije.

Linijski karakter spektra svjetlosti tim metalno-halogenih žarulja prve izvedbe, koji nastaje od uzbuđenih atoma u centru izboja, značio je stano-vito poboljšanje, ali kako je manjkao kakav-takav kontinuirani spektar, nije bilo još ni govora o zračenju danje svjetlosti koja ima izrazito kontinuirani spektar. Ukratko, kod opisane prve izvedbe metalno halogenih žarulja dobili smo u spektru žutu boju natrija 589 nm, zelenu talija 535 nm i plavu



Spektar HMV žarulja u usporedbi sa spektrom prirodne Sunčeve svjetlosti



Spektar VTHM žarulja s linijskim spektrom

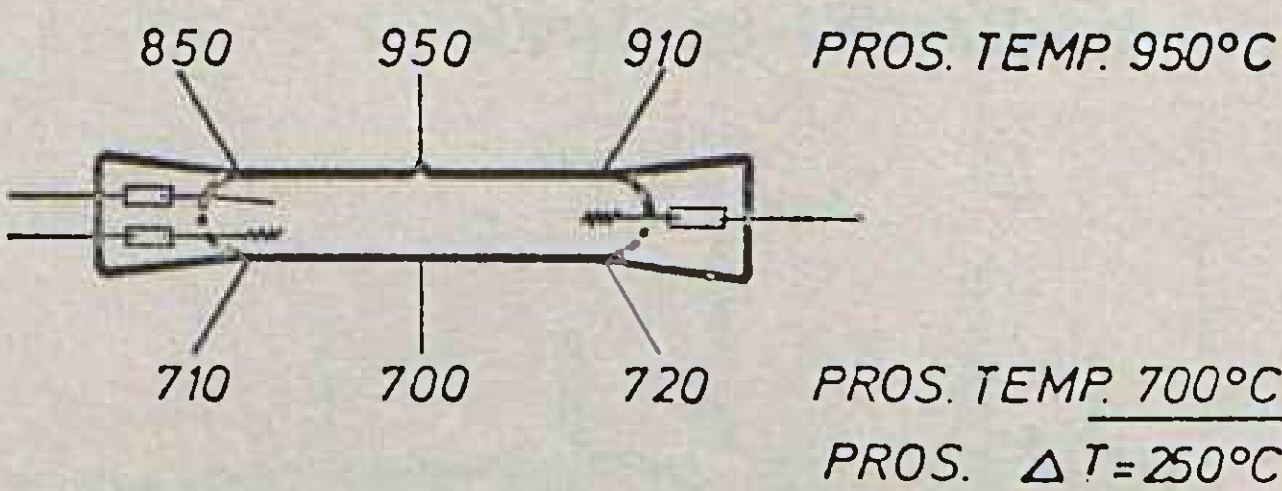
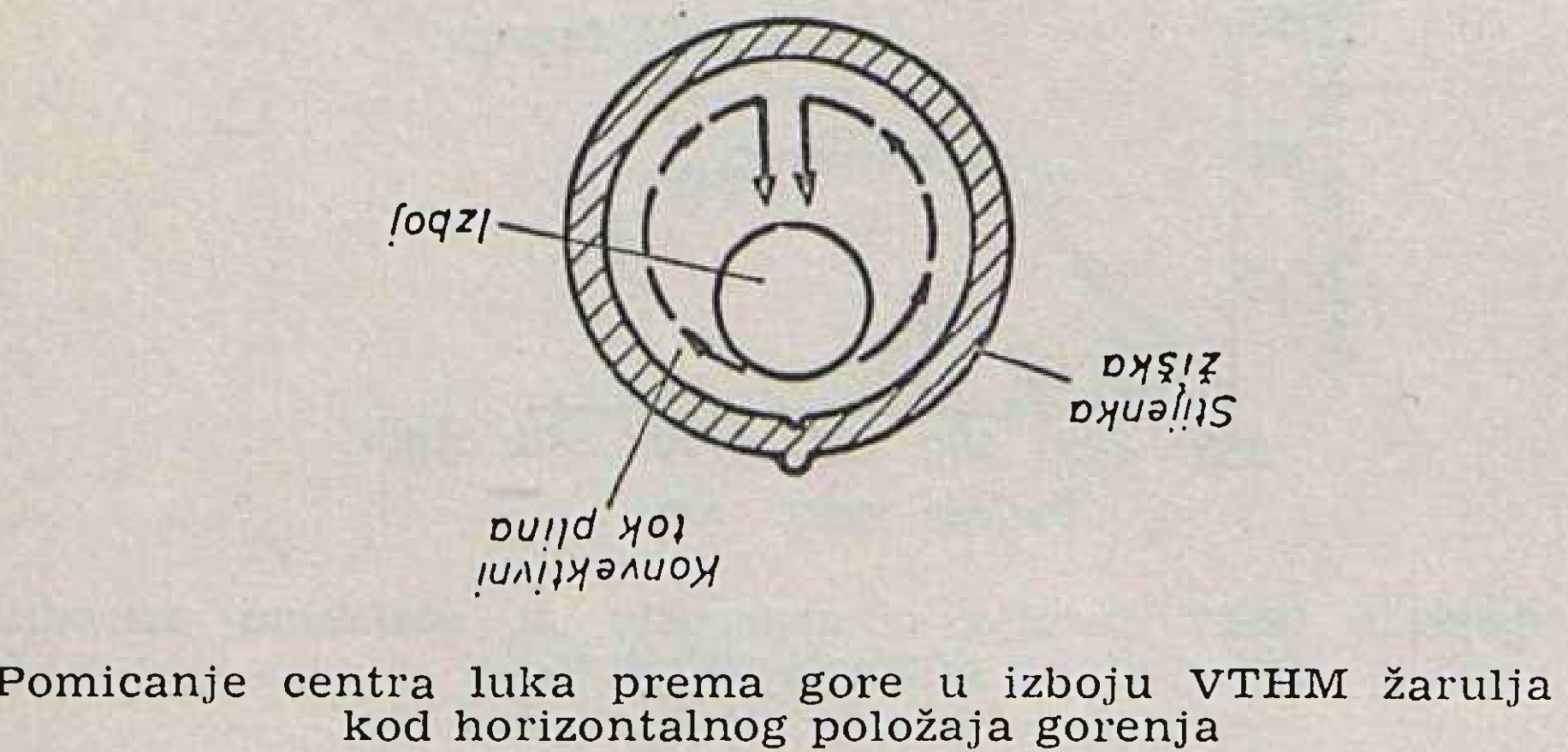
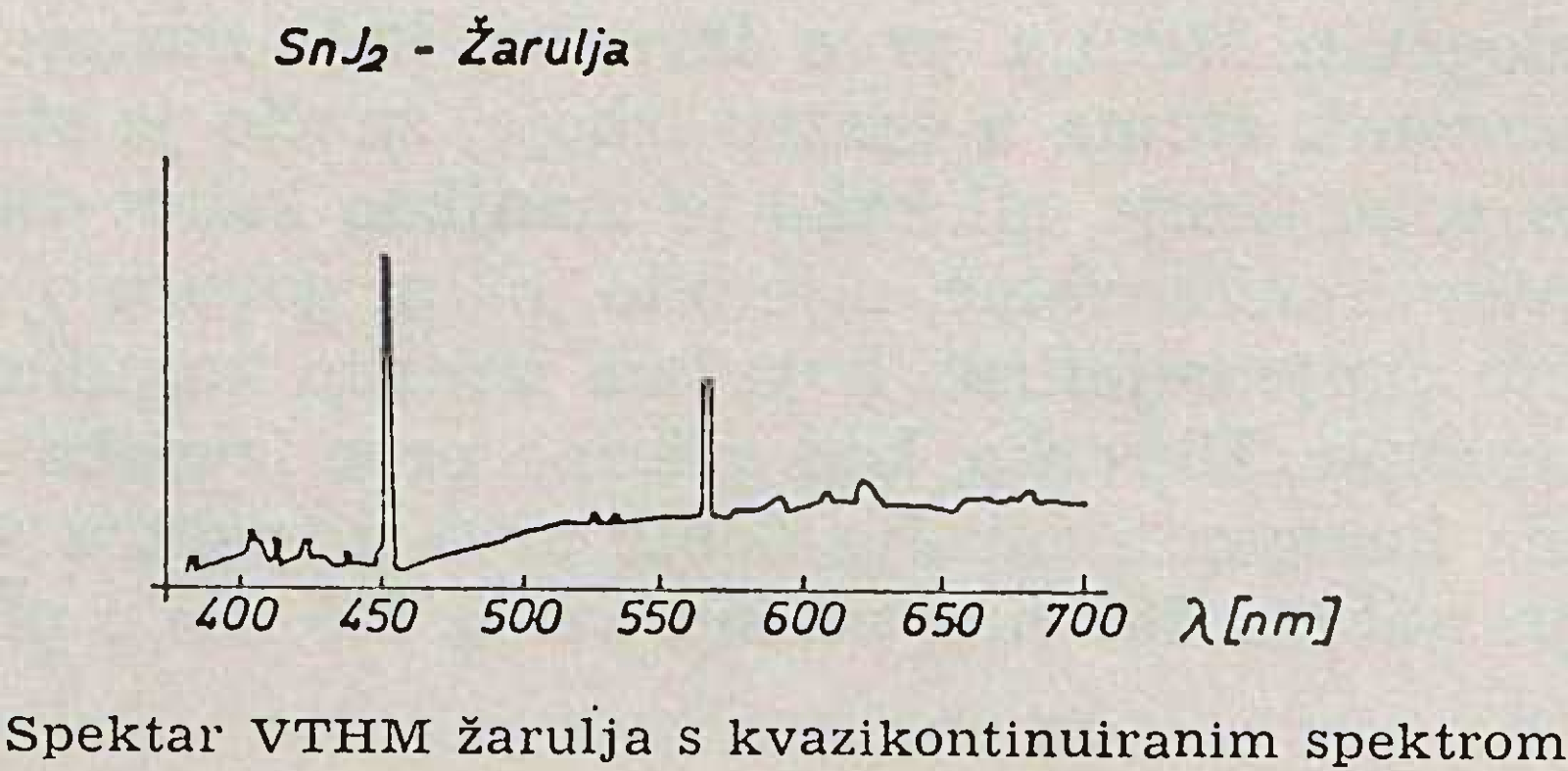
boju indija 410 i 451 nm. Spektar postaje bogatiji, svjetlosna iskoristivost se povećava za oko 40% u odnosu na čisti živin izboj, a indeks reprodukcije boja također se poboljšava od $R_a = 25$ na $R_a = 65$.

Istražujući daljnje mogućnosti za poboljšanje spektra, nastala je druga izvedba ili familija metalno halogenih visokotlačnih žarulja kod kojih su upotrijebljeni halogenidi rijetkih zemalja, kao što su disprozij (Dy), holmij (Ho), talij (Tl) itd. S tim dodacima dobivamo u spektru veći broj linija, a javljaju se i jedan kontinuirani dio, tako da je boja svjetlosti mnogo bolja, a faktor reprodukcije može postići i vrijednost $R_a = 90$.

Treća familija metalno-halogenih žarulja nastala je prije nekoliko godina, kada se je dodavanjem metalnih spojeva, kao npr. SnJ_2 u visokotlačni izboj, dakle određenih molekula, dobio kontinuirani spektar svjetlosti.

Upotrebom kositrenog jodida ili bromida dobiva se izvanredna svjetlost kontinuiranog spektra, boje oko temperature $5\,500^\circ\text{K}$ s nedostatkom smanjenog svjetlosnog iskorištenja u odnosu na drugu familiju. Zračenje kontinuiranog spektra nastaje u srednjim i vanjskim zonama luka, dakle pri nižoj temperaturi, između $2\,000\text{--}3\,000^\circ\text{K}$, dok u jezgri luka zbog vrlo visoke temperature oko $5\,500^\circ\text{K}$, do-

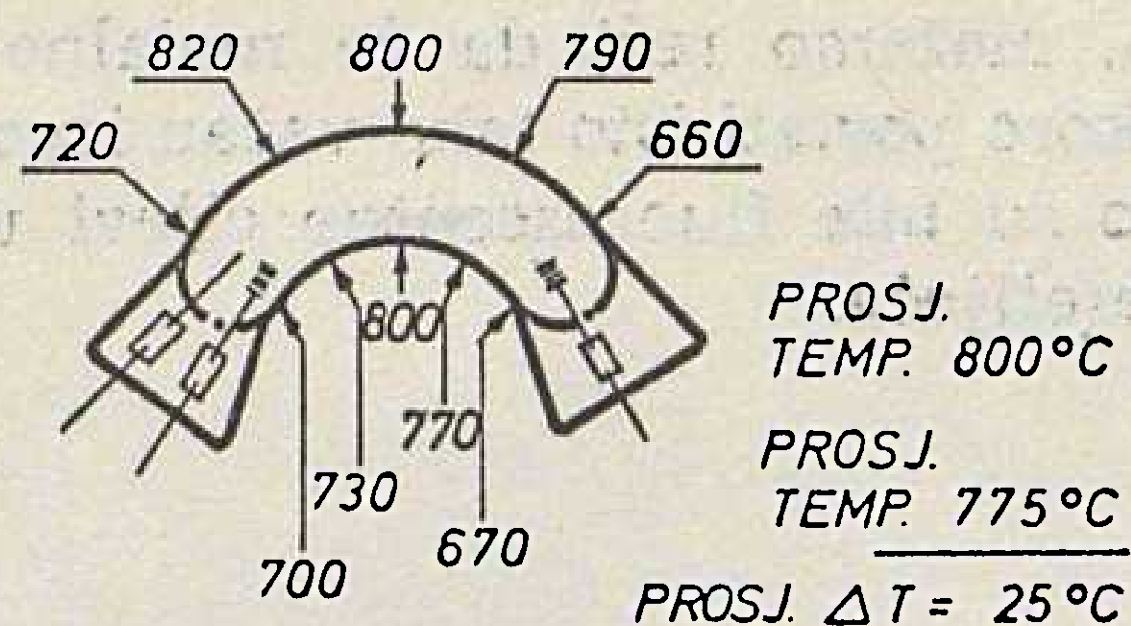
lazi do disocijacije molekula i do zračenja linijskog spektra kositra. Do smanjenja svjetlosnog iskorištenja dolazi zbog slabe termičke stabilnosti SnJ_2 molekule, kojih je koncentracija zbog toga u zonama luka viših temperatura sve manja, a upravo u tim zonama dolazi do njihove uzbude i do zračenja svjetlosti. Zbog toga treba tražiti takve molekule koje će imati veći termički stabilitet, odnosno koje će se raspadati tek kod viših temperatura i, drugo, da prilikom skakanja elektrona nastane po mogućnosti vrpčasti spektar što većeg intenziteta i kvalitete u vidljivom području. Tako se došlo i do izvedbi s kositrenim bromidom, Sn Br_2 , i kloridom, Sn Cl_2 . Dok SnJ_2 ima iskorištenje oko 55 lm/W, Sn Br_2 već ima oko 75 lm/W, a Sn Cl_2 čak 90 lm/W. Na žalost, kloride ne možemo za sada upotrebljavati zbog razornog djelovanja na katode. Od ostalih elemenata s kojima su rađene probe treba napomenuti aluminij (Al) i olovo (Pb), pri čemu je, na primjer, aluminij u formi klorida Al Cl_3 , dao upravo zapanjujući rezultat od gotovo 110 lm/W, a olovni klorid, Pb Cl_2 , daje oko 90 lm/W. Budući da kloride ne možemo za sada upotrebljavati, ostaje nam na raspolaganju kositar koji kao jodid, a naročito bromid, daje za sada najbolje rezultate u praktičnoj primjeni. Spektar se također mijenja primjenom bromida, odnosno klorida u pozitivnom smislu, tj. postaje sve više kontinuiran i intenzivan. Od ostalih metala koji mogu služiti za popravak spektra dolaze u obzir torij (Th), litij (Li), skandij (Sc), cezij (Cs) i galij (Ga), koji svojom prisutnošću u izboju znatno utječu na koordinate boja svjetlosti i faktor reprodukcije boja predmeta R_a .



Temperaturna raspodjela na kvarcnom žišku VTHM žarulje u horizontalnom položaju gorenja

SVOJSTVO METALNO HALOGENIH ŽARULJA					
Žarulja	Punjenje	(lm/W)	T °K	Ra	Spektar
živina VTFE	Hg	54	4000	45	linijski
metal-halogene VTH (I)	NaJ, TlJ, InJ, Hg	85	5000—6000	60—70	linijski
metal-halogene VTH (II)	TlJ, DyJ ₃ , HoJ, Hg	80—90	4500—6000	65—90	mnogo linijski
kositar-halogene VTH (III)	SnJ_2 , SnBr_2 , In, Hg	50—60	5000—6000	90—95	kontinuiran
aluminij halogene VTH (III)	AlJ_3 , AlBr_3 , AlCl_3 , Hg	70—110	5800—7000	70—90	kontinuiran

Poseban je problem položaj gorenja ovih žarulja, kao uostalom i kod živinih visokotlačnih, jer dolazi do smanjenja svjetlosnog toka u horizontalnom položaju gorenja. Ono nastaje zbog prirodne cirkulacije plinova unutar žiška i toplinskih gubitaka konvekcijom. Zbog tih pojava jezgra luka se iz središta cijevi žiška pomiče prema gornjoj stijenci žiška. Zbog toga znade biti temperaturna razlika između donje i gornje strane kvarcne cijevi žiška i do 250°C . Na taj način hladi se luk i zbog toga smanjuje svjetlosno iskorištenje. Danas postoje dva načina za rješenje tog problema: prvo, savijanje kvarcne cijevi žiška i, drugo, takvom montažom dovodnih elektroda za električnu stru-



Temperaturna raspodjela na savinutom kvarcnom žišku VTHM žarulje u horizontalnom položaju gorenja

ju u žarulji da one svojim magnetskim poljem djeluju na pomicanje luka natrag u centar žiška.

Ako bismo sada rezimirali problem postizanja optimalnog svjetlosnog iskorištenja η (lm/W), možemo na osnovi iznesenog zaključiti da će η ovisiti o:

1. izboru dodataka određenih halogenida elemenata koji treba da imaju što intenzivnije zračenje u vidljivom spektru;

2. da bi se istovremeno postigla optimalna boja svjetlosti, treba umjesto čistih atoma metala upotrebljavati i molekule, tj. njihove spojeve s halogenim elementima. Na taj način se osigurava više kvazikontinuirani spektar;

3. povećanje snage žarulje također povećava svjetlosno iskorištenje, ali je ograničeno za sada smanjenjem trajnosti i izdržljivosti žiška, kako njegovom konstrukcijom i materijalima, tako i opterećenjem luka, koje danas može biti najviše do 120 W/cm;

4. vrlo važan podatak je i dozvoljeno opterećenje površine stijenke žiška (W/cm^2) koje ako raste, raste i iskorištenje η i faktor reprodukcije boja Ra, ali pada temperatura boje svjetlosti.

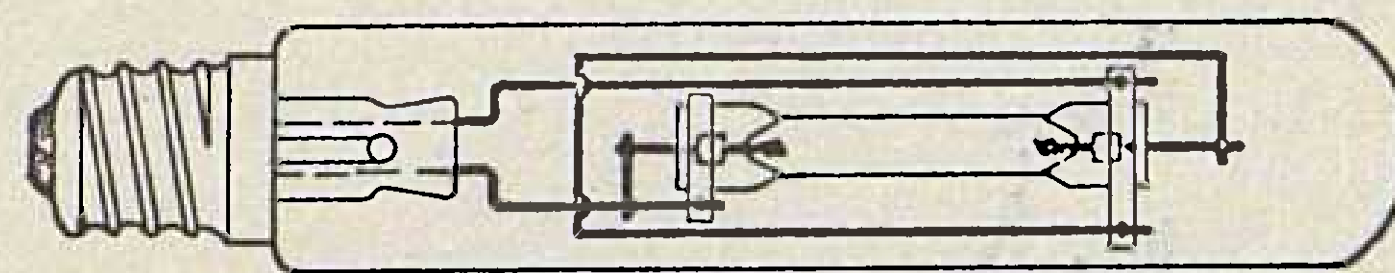
TRAJNOST

Trajnost metalno halogenih žarulja iznosi oko 6 000 sati, ako se kao osnova za trajnost uzme vrijeme u kojem žarulja izgubi 30% svjetlosnog toka. Pad svjetlosnog toka uzrokovan je nestankom metalnih iona i raspršivanjem elektroda. Nestanak metalnih iona uzrokovan je električkom selidbom iona metala kroz kvarc, i to naročito kod Na, i reakcijom metala i kvarcnog stakla s ostacima kisika, vodika ili vlage u žišku. Ustanovljen je, na primjer, nestanak Tl, In i Dy zbog tog procesa.

Usprkos velikim prednostima metalno halogenih žarulja, pogotovo primjenom molekularnog izboja, čime postizemo zvanredan spektar svjetlosti s visokim Ra i praktički se gotovo približavamo danjoj svjetlosti, a uz relativno visoko svjetlosno iskorištenje, ipak moramo napomenuti i neke nedostatke tih žarulja.

Nedostaci bi se mogli svesti na slijedeće:

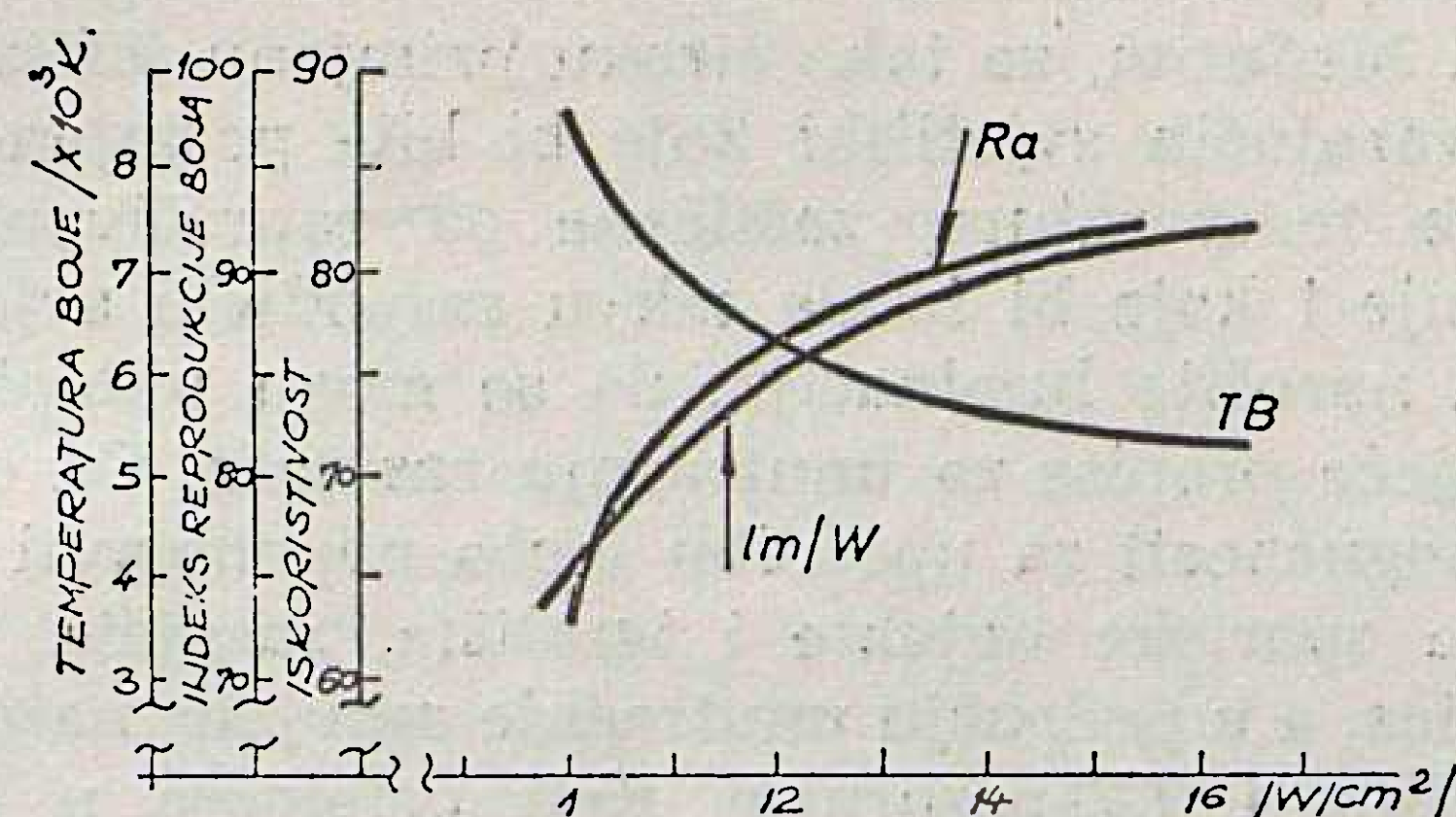
1. vrlo različite boje svjetlosti, već prema primjeni pojedinih metalnih dodataka, tako da će biti neophodna potrebna međunarodna sistematizacija tih svojstava;



Konstrukcija i položaj dovodnih elektroda VTHM žarulje za horizontalni položaj gorenja kako bi se iskoristilo djelovanje magnetskog polja struje na luk žiška



Promjene svjetlosne iskoristivosti VTHM žarulja u ovisnosti o opterećenju luka žiška u W/cm duljine luka



Iskoristivost indeksa reprodukcije boja Ra i temperatura boje svjetlosti VTHM žarulja kao funkcija opterećenja stijenke žiška

2. spektar svjetlosti se mijenja, i to:

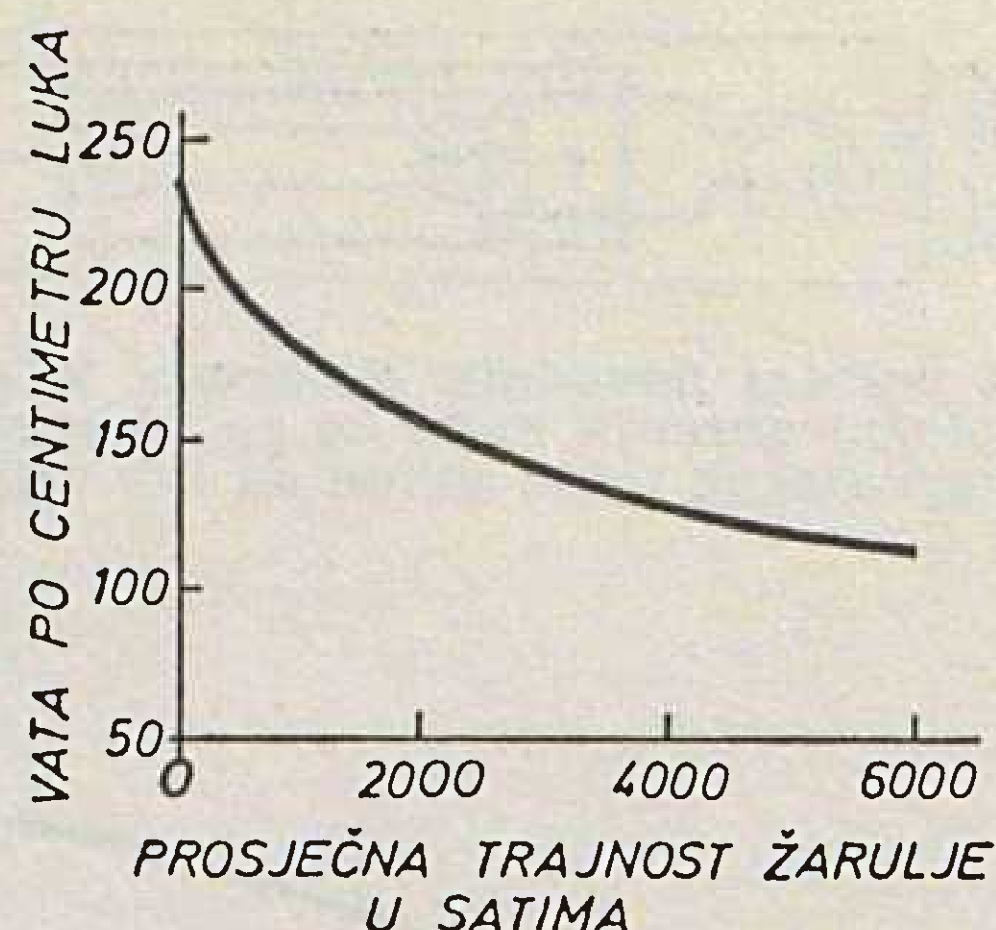
- zbog promjene položaja gorenja,
- zbog nejednakog trošenja nekih metala u žišku;

3. za sada je nemoguća konstrukcija žarulja malih snaga;

4. napon paljenja je relativno visok pa su potrebni posebni aparati za paljenje;

5. cijena žarulje i predspojne sprave je relativno visoka.

Ipak, usprkos tim nedostacima upotreba ovih žarulja je sve veća zahvaljujući kvaliteti boje svjetlosti. Još prije nekoliko godina te su se žarulje u izvedbi od 2 kW gotovo isključivo upotrebljavale za vanjsku rasvjetu sportskih objekata. Razlog tome je bila ponajviše boja svjetlosti koja je omogućila prijenos utakmice u boji i bistar balon žarulje, što je omogućilo upotrebu reflektora s obzirom na povoljno fokusiranje u usporedbi s balonom živine žarulje prevučeni fluorescentnim prahom. Nakon tog početka došlo je do proširenja asortimana po snazi, tako da danas raspolažemo metalno-halogenim žaruljama od 250, 400, 1 000, 1 500 i 3 500 W, čime su otvorene mogućnosti za različitu upotrebu. To drugim riječima znači da nam je



Prosječna trajnost VTHM žarulja u ovisnosti o opterećenju luka žiška

omogućena i upotreba za unutrašnju rasvjetu, jer je reprodukcija boja predmeta i boja svjetlosti kvalitetnija nego kod fluorescentnih cijevi. Tako možemo već danas tvrditi da će upotreba metalno-halogenih žarulja za unutrašnju rasvjetu biti sve veća, naročito za rasvjetu robnih kuća, industrijsko-proizvodnih prostora, školskih prostorija, prodavaonica, gimnastičkih dvorana i raznih drugih prostora. Međutim, za tako široku primjenu još nema odgovarajućih svjetiljki koje bi bile postojane za visoke temperature, zaštićene od zaprašivanja i korozije i koje bi imale takvu raspodjelu svjetlosti, a naročito luminaciju, da se mogu uklopiti u postojeće propise za unutrašnju rasvjetu. Od ostalih mogućnosti za upotrebu treba napomenuti slobodne sportske objekte i igrališta, rasvjetu prometnica, a u području unutrašnje rasvjete, naročito kazališne i TV-pozornice, radi prijenosa u boji, u kojem slučaju su te žarulje gotovo bez konkurencije.

Ukratko, možemo reći da će metalno-halogene žarulje uskoro postati isto tako važan izvor svjetlosti kao što su bile fluorescentne cijevi u posljednja dva desetljeća.

LITERATURA

1. F. Koury, W. C. Gungle, J. F. Waymouth: A new generation of metal halide lamps, IES Transaction 1/1975.
2. A. G. Chalmers, D. O. Wharmby, F. L. Whittaker: Comparison of high pressure discharges in mercury and the halides of aluminium, tin and lead. Lighting Research and Technology, Vol. 7. № 1, 1975.
3. A. Dobrusskin: Halogen-Metalllampen mit seltenen Erden, Lichttechnik Nr. 3/71.
4. A. Dobrusskin: Neue Halogen-Metalllampen mit 250 W und 400 W Leistungsaufnahme I, Lichttechnik Nr. 8/1971.
5. E. Fischer, R. Lorenz, L. Rehder: Lichtzeugung durch quasikontinuierliche Molekularstrahlung in Hochdruck-Gasentladungslampen, Lichttechnik Nr. 10/1972.
6. P. C. Drop, R. Lorenz: Eigenschaften und Möglichkeiten von Zinnhalogenid — Entladungslampen
7. P. C. Drop, E. Fischer, F. Oastvogels and G. A. Wesselink: Metal — halide discharge lamps; Philips techn. Rev. 347—353, 1975, № 11/12.

SYNOPSIS

In the article is described development of metal-halogen lamps from 1960. till today, in three generations. For every generation characteristics are given and essential improvements are stated. There are also presented theoretical and experimental principles of lamp's functioning, as their field of application.

Naslov pisca:
Branko Jermić, dipl. ing.
Tvornica električnih žarulja Zgb.

NUKLEARNA ELEKTRANA KRŠKO (I dio)

Vladimir Vuković, Zagreb

UDK 621.639.5

Opisan je tok izgradnje prve jugoslavenske nuklearne elektrane Krško. Najprije se govori o pripremama, skupljanju ponuda, ugovaranju, pa o kvaliteti i osobinama građevinskog zemljišta, meteorološkim uvjetima i uvjetima u vezi s rashladnom vodom. Opisani su građevni objekti i reaktorski sistem.

1. UVOD

1. 1. Prvu kontroliranu lančanu nuklearnu reakciju ostvario je Fermi s grupom suradnika krajem 1942. godine u Chicagu. Dvadeset godina kasnije, sredinom 1954. godine, stavljena je u pogon, prva u svijetu nuklearna elektrana OBNINSK (SSSR) sa snagom 5MWe (L-5).

Rad eksperimentalnih reaktora u Francuskoj, Engleskoj, SSSR-u i SAD doveo je do realizacije gradnje većih jedinica; primjerice u Americi elektrane Shippingport 1 (Pennsylvania), za ono vrijeme (1957. godina) značajne snage reaktora od 505 MWt (150 MWe) tlačnovodnog tipa. (Vlasnik elektrane U. S. AEC; glavni isporučilac tvrtka Westinghouse.)

1. 2. Potkraj 1980. godine svijet će eksploatirati oko 336 nuklearnih energetske reaktora s ukupnom električnom snagom od 220 084 MWe (prosječno 655 MWe po reaktoru). NE Krško, sa bruto električnom snagom od 664 MWe, popriliči je 324. nuklearna elektrana u svijetu i mogla bi biti u eksploataciji također 1980. godine. Njezina je snaga približna polovici snage najvećih jedinica.

1. 3. Početnom godinom pripreme izgradnje NE Krško može se smatrati 1970. godina, kada su (27. listopada) Izvršna vijeća SR Hrvatske i SR Slovenije utvrdila Sporazum o zajedničkoj gradnji i eksploataciji dviju nuklearnih elektrana (po jednu u svakoj republici). Sporazum su potvrdili Sabor SR Hrvatske i Skupština SR Slovenije.

1. 4. U Službenom listu SFRJ od 8. travnja 1971. Elektroprivreda Zagreb (u ime Elektroprivrede Hrvatske) i Savske elektrane Ljubljana te Elektrana Šoštanj (u ime Elektrogospodarstva Slovenije), raspisale su međunarodni natječaj za prikupljanje ponuda.

U toku srpnja i kolovoza 1971, na osnovi »Tehničkih specifikacija«, preliminarne tehničke ponude dostavile su firme:

1. Kraftwerk Union (Siemens, SR Njemačka), za elektranu s tlačnovodnim reaktorom (PWR);

2. Kraftwerk Union (AEG, SR Njemačka), za elektranu s vrelovodnim reaktorom (BWR);

3. General Electric, SAD (sa Ansaldom, Italija) za elektranu s vrelovodnim reaktorom (BWR);

4. ASEA, Švedska, za elektranu s vrelovodnim reaktorom (BWR);

5. Westinghouse, SAD, za elektranu s tlačnovodnim reaktorom (PWR).

Preliminarna evaluacija ovih ponuda obavljena je do kraja 1971. godine.

1. 5. U travnju 1972. dostavljene su dopune tehničkog dijela ponuda, a u srpnju iste godine i komercijalni dio ponuda (ASEA je u međuvremenu odustala od svoje ponude).

1. 6. Do ožujka 1973. tehnički dio ponuda priveden je neposredno do završnog oblika, a odnosile su se na slijedeće elemente, isporučive po sistemu »ključ u ruke«:

1. General Electric (Ansaldo), BWR, 845 MWe;

2. KWU-Siemens, PWR, 694 MWe;

3. KWU-AEG, BWR, 685 MWe;

4. Westinghouse, PWR, 632 MWe.

Snage se odnose na prag elektrane.

Za te su elektrane u travnju iste godine dostavljene i dodatni komercijalni dijelovi ponuda, a 28. studenog potpisan je i »Letter of Intent« (pismo namjere) s tvrtkom Westinghouse.

1. 7. Glavni ugovor s tvrtkom Westinghouse potpisan je u kolovozu 1974, a stupio je na snagu u studenom iste godine. Radovi na gradilištu započeli su na prijelazu iz 1974. u 1975. godinu.

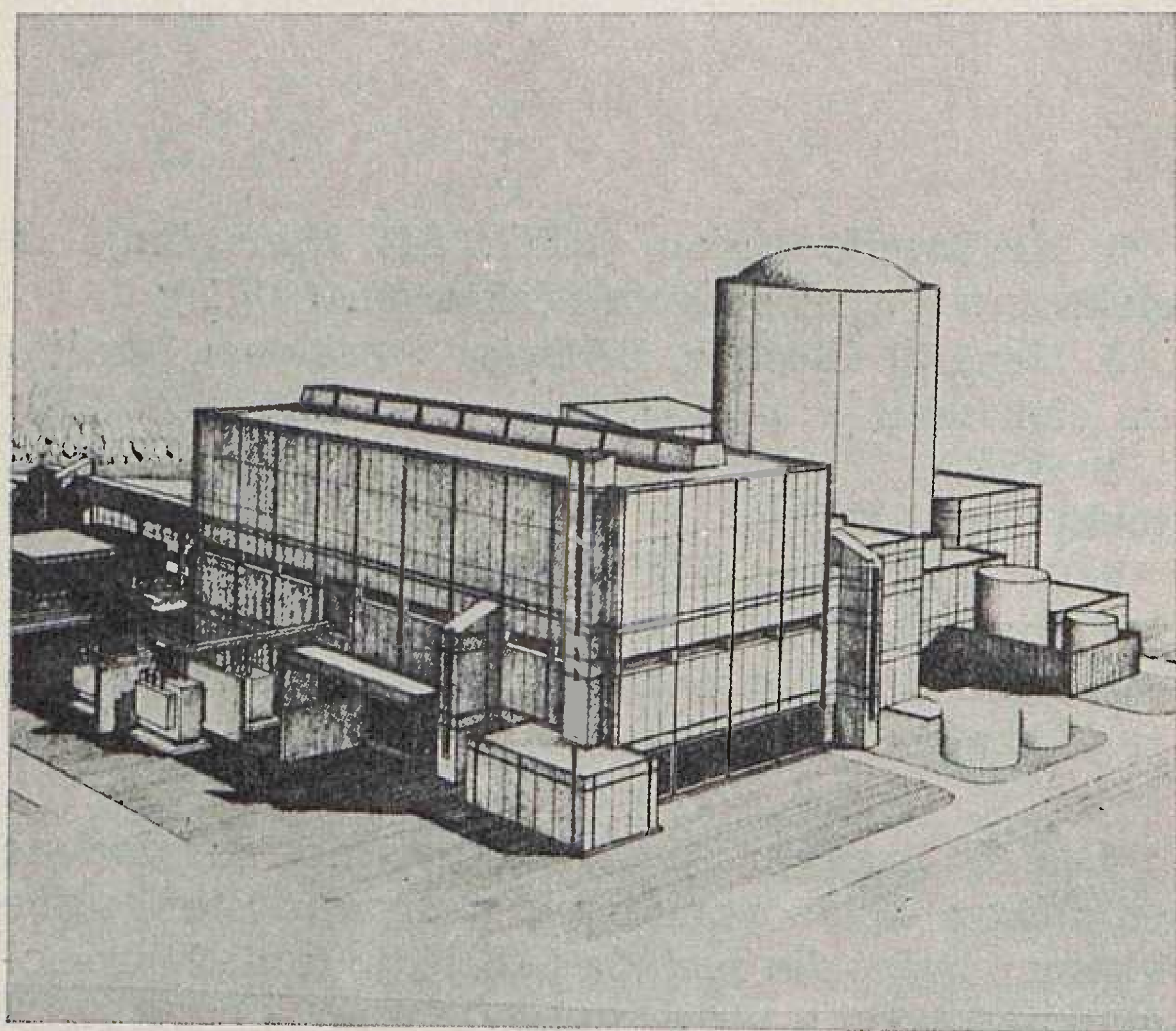
1. 8. Prema Ugovoru o udruživanju sredstava radi zajedničke izgradnje i zajedničke eksploatacije, svi troškovi, koristi i rizici pri izgradnji i eksploataciji dijele se između dviju republika sa po 50% učešća.

1. 9. Ugovoreno vrijeme trajanja izgradnje iznosi 53 mjeseca (računajući od stupanja Ugovora na snagu), pa bi na taj način redovan pogon počeo u travnju 1979. godine. Međutim, zbog za-

ostajanja u dosadašnjem razdoblju, može se reći da će period pripreme i izgradnje trajati oko deset godina, te se 1980/81. može s realnošću uzeti kao godina kada će započeti redovna eksploatacija.

2. NEKE KARAKTERISTIKE LOKACIJE

2. 1. Na slici 1. prikazana je arhitektonska koncepcija elektrane. NE Krško smještena je na lijevoj obali Save, približno 3 km jugoistočno od središta



Sl. 1.

Krškog i oko 35 km sjeverozapadno od Zagreba. Plato gradilišta nalazi se na nadmorskoj visini 155,20 m, a prosječni nivo vode Save iznosi 148,75 m. Kota 155,20 označena je s relativnom visinom 100 i predstavlja poravnat teren gradilišta, dakle nultu kotu gradilišta. Podovi prizemlja pogonskih zgrada podignuti su za 30 cm više i označeni su kotom 100,30m.

2. 2. Na slici 2. prikazan je geografski položaj elektrane i okolišnih općina u krugu radijusa 80 km. Demografski podaci, prema procjeni za 1981. godinu, prikazani su tablicom 1.

2. 3. Krško okružuju oko 600 do 1000 m visoka gorja kao što su Zasavsko gorje, Gorjanci, Medvednica, Ivančica i nešto dalje Kalnik. Veza s Panskom nizinom je dolina rijeke Save i dolina rječice Krapine. Klima je kontinentalna s malim utjecajem alpske.

Krško-brežički bazen poznat je po umjerenoj ventilaciji s dosta čestim vremenom tišine ili s vjetrovima malih brzina. Jaki vjetrovi (pretežno zapadni ili istočni) najčešće se javljaju pri prodoru zračnih struja iz istočne Evrope, odnosno sa zapada ili juga, no ove se posljednje obično uspore prelaskom Alpi ili Dinara. Lokacija je još karakteristična po visokoj relativnoj vlazi s dosta čestim maglama i temperaturnim inverzijama (L-1).

2. 4. Zbog karakteristične konfiguracije slivnog područja te sastava tla i vegetacije, protok vode rijeke Save u Krškom znatno varira i tokom godine i u dužim vremenskim razdobljima. Odnos maksimalnog prema minimalno zabilježenom protoku jest približno 100:1, pa je ovaj problem posebno tretiran. Prosječni protok na lokaciji za razdoblje od 49 godina (1942-1972) iznosi 250,2 m³/s. No minimalni protok je mnogo niži i iznosi 41,2 m³/s (kod vodostaja 147,55 m i brzine vode 0,58 m/s). Maksimalni zabilježeni protok iznosi



Sl. 2.

Tablica 1.

Strana svijeta	Broj stanovnika		Gustoća stanov. po km ²	
	0 — 16 km	16 — 80 km	0 — 16 km	16 — 80 km
N	2 258	208 809	44,4	171,2
N N E	2 178	115 080	42,9	94,4
N E	2 618	148 053	51,5	121,4
E N E	5 194	179 704	102,2	147,4
E	3 110	101 316	61,2	83,1
E S E	10 981	790 467	216,2	648,2
S E	4 017	85 080	79,1	69,8
S S E	1 956	51 366	38,5	42,1
S	2 621	111 431	51,6	91,4
S S W	2 380	45 624	46,9	37,4
S W	3 319	36 238	65,3	29,7
W S W	1 389	75 260	27,3	61,7
W	3 858	191 044	75,9	156,8
W N W	3 037	141 001	59,8	115,6
N W	6 546	122 300	128,9	100,3
N N W	6 731	127 518	132,5	104,6
Ukupno	62 193	2,530 291	76,5	129,7

2 896 m³/s. Protok koji bi se mogao javiti jednom u 10 tisuća godina, iznosi 3 600 m³/s, odgovara vodostaju od 155,00 m i brzini vode 4,9 m/s, nalazi se za 20 cm ispod platoa elektrane i uzet je kao projektni poplavni protok.

2. 5. Gradilište se nalazi na gotovo ravnom tlu. S geotektonskog stajališta i historije panonskog bazena, to je dio krške depresije. Na kraju pliocena, povlačenjem Panonskog mora područje se smirilo, zatvorilo se tu jezero, u kojem su nastali slojevi sive muljaste ilovače s finim pijeskom. Takvi slojevi duboki su i do 100 m. Debljina pojedinačnog sloja kreće se od nekoliko milimetara do 1 m i više. Ti slojeviti nanosi nagnuti su prema jugu pod kutem oko 24°. Početkom kvartera, prije nanošenja šljunka preko neogenih sedimenata, nanosi su se pomicali i nagnuli prema depresiji kao rezultat podizanja sjevernog dijela regije. S početkom kvartara postojala je i intenzivna erozija gotovo ravnog tla kroz koje rijeka Sava mijenja korito, ostavljajući šljunčane sedimente s prosječnom debljinom od 9 m i veličinom zrna od 0,5 do 5 cm. Debljine šljunčanih naslaga iznad nivoa Save visoke su 4-5 m. S tehničko-geološkog gledišta kvartarne šljunčane naslage su beznačajne pa i zanemarive pri fundiranju, a neogeni slojevi do dubine i preko 100 m imaju pogodan položaj u odnosu na rijeku.

2. 6. Budući da metode pretkazivanja ne mogu precizno odrediti mjesto, vrijeme i veličinu potresa koji se može pojaviti, geolozi i seizmolozi izrađuju procjene. Te procjene se zasnivaju na svestranim analizama seizmološke historije, geološkog sastava i konfiguracije užeg i šireg područja lokacije, te na analizama udaljenosti i karakteru deformacija (rasjeda) u bližoj okolini gradilišta. Takve analize za NE Krško pokazuju da na lokaciji ne treba očekivati seizmičke aktivnosti većeg intenziteta od 6. do 7. kategorije po Mercallijevoj skali. Vanj-

ske manifestacije potresa su, dakako, ubrzanja tla određenih amplituda, učestalosti i smjerova. To se dalje očituje kao dodatno dinamičko naprezanje građevina i opreme. Naši i strani eksperti su usvojili da građevine i opremu bitnu za sigurnost obustavljanja elektrane treba projektirati uzimajući u obzir horizontalnu akceleraciju od 0,3 g (L-1). Kako je približno $I = 1 + 3 \log a$, gdje je I = intenzitet po Mercalli-jevoj skali, a = akceleracija u cm/sek², $g = 981$ cm/sek², za projektiranje sigurnosnih građevina i komponenata primijenjen je stanovit konzervativan kriterij.

2. 7. Sava je brdska rijeka s nereguliranim protokom, pa zadaje dosta problema kod protočnog hlađenja. Dovoljno je spomenuti činjenicu da je razlika u vodostaju kod minimalnog i maksimalnog protoka približno 7 m. Da bi se ova varijacija nivoa vode smanjila, izgrađena je iza pumpne stanice brana, čiji je prag približno na visini minimalnog vodostaja (147,5 m), a preko 6 protočnih polja širine 15 m, s hidraulički pokretnim rotacijskim zasunima, održava se nivo vode 2,5 m iznad praga brane u slučaju nižih protoka Save. Na zahtjev Vodoprivrede postavljena su u lokacijskoj dozvoli (L-2) slijedeća ograničenja u pogledu toplinskog onečišćenja rijeke:

— maksimalna temperatura vode u vodotoku iza elektrane 28° C;

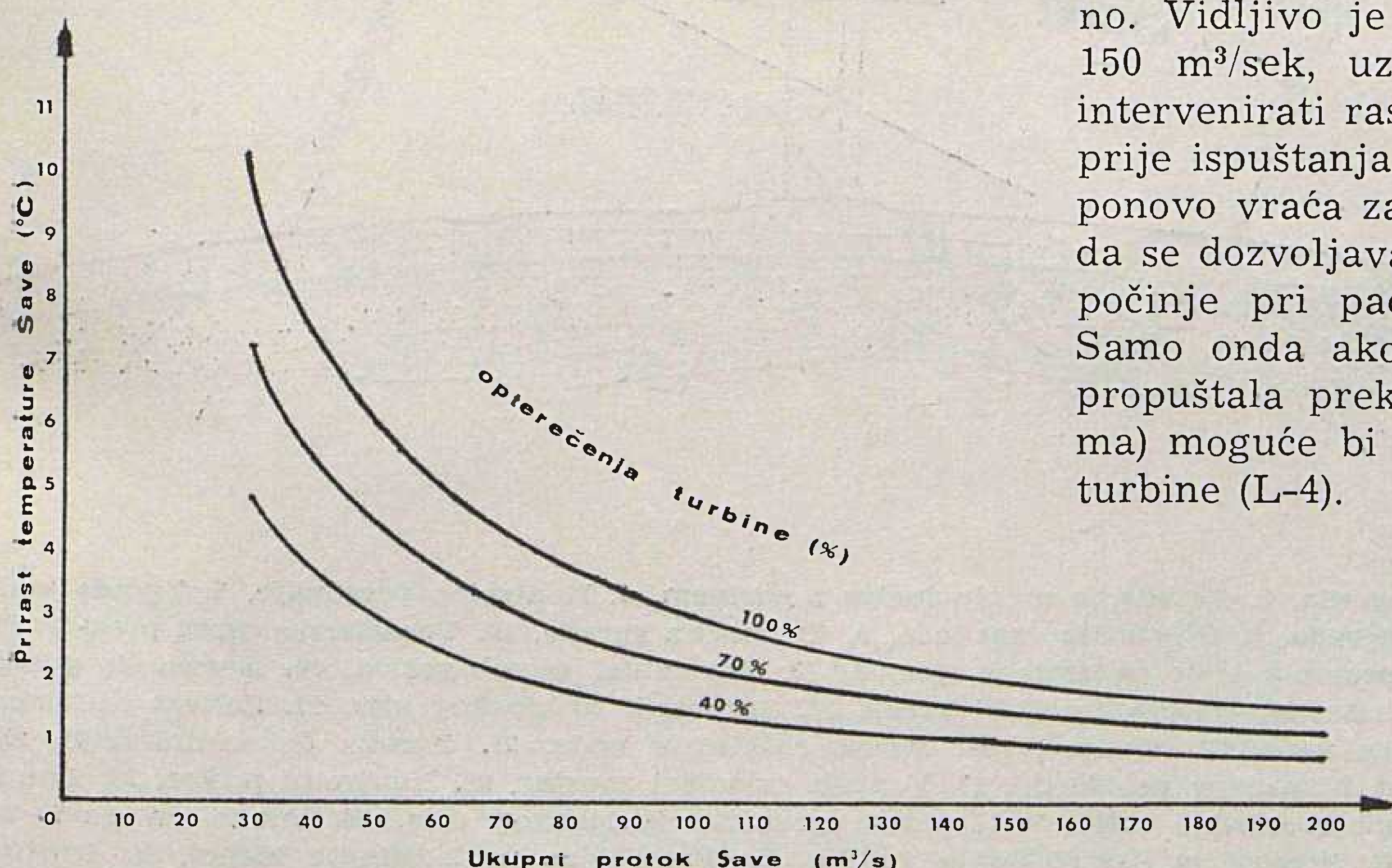
— maksimalni prirast temperature riječnog toka zbog rada elektrane, 2° C (ili 3° C u slučaju da se u međuvremenu poveća čistoća vode);

— maksimalno dopušteno oduzimanje vode iz riječnog korita, 1/4 protoka.

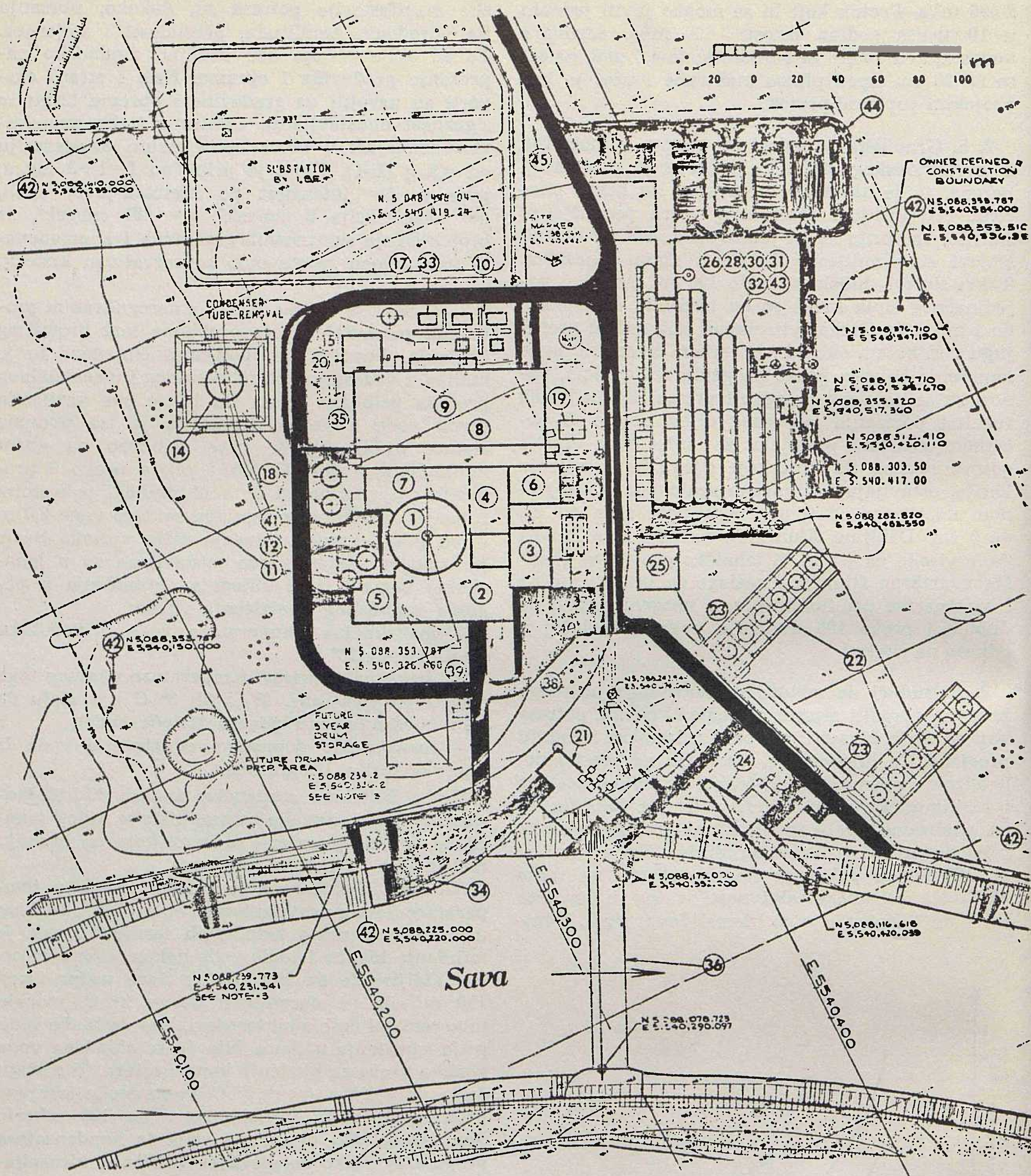
Već i približna statistička analiza hidrološko-meteorološke situacije za gradilište te uvjeti lokacijske dozvole primorali su investitora na gradnju mehaničkih rashladnih tornjeva.

Na slici 3. prikazana je ovisnost prirasta temperature Save o protoku Save i opterećenju turbine u slučaju da nema rashladnih tornjeva, a da je miješanje hladne i tople vode nakon izljeva idealno. Vidljivo je da čim protok Save padne ispod 150 m³/sek, uz dozvoljeni $\Delta t = 2^\circ$ C, moraju intervenirati rashladni tornjevi, bilo da hlade vodu prije ispuštanja u Savu, bilo da se ohlađena voda ponovo vraća za hlađenje kondenzatora. U slučaju da se dozvoljava $\Delta t = 3^\circ$ C, intervencija tornjeva počinje pri padu protoka Save na 100 m³/sek. Samo onda ako bi se sva voda iz kondenzatora propuštala preko tornjeva (u kritičnim situacijama) moguće bi bilo izbjeći svaku redukciju snage turbine (L-4).

2. 8. Za »Preliminarni izvještaj sigurnosnih analiza« korišteni su podaci mjerenja na meteorološkim stanicama bliže i dalje okolice. Međutim, za računanje rutinskih i potencijalnih akcidentnih doza za okoliš, zatim za određivanje po-



Sl. 3.



Sl. 4: 1. Reaktorska zgrada, 2. pomoćna zgrada, 3. Zgrada za manipulaciju s gorivom, 4. Kontrolne prostorije, 5. Zgrada vode za hlađenje, 6. Dieselgeneratori, 7. Među-zgrada, 8. Prostorije zagrijača, 9. Turbinska zgrada, 10. Transformatorski prostor, 11. Spremnik reaktorske dodatne vode, 12. Spremnik vode za izmjenu goriva, 13. Spremnici diesel goriva, 14. Spremnik goriva merializirane vode, 18. Spremnici kondenzata, 19. Neutrallizacijski bazen, 20. Spremnik turbinskog ulja, 21. Zahvat rashladne vode, 22. Rashladni tornjevi, 23. Uklopnice rasladnih tornjeva, 24. Ispust rashladne vode, 25. Zgrada dekarbonizacije, 26., 28., 31., 32. i 43. Radionice, garaža, sanitet i upravne prostorije, 27. Vanjski skladišni prostor, 29. Kontrolni prolaz, 33. Transformator 110 kV/6,3 kV, 34. Ispust sigurnosne rashladne vode, 35. Ispusni spremnik turbinskog ulja, 36. Brana na Savi, 37. Prostor za boce s vodikom i dušikom, 38. Prostor za uskladištenje vodika, 39. Prostor za uskladištenje kisika, 40. Prostor za ispiranje transportera i kontejnera za gorivo, 41. Podloga za pokretni zračni kompensor, 42. Mjesta za kontrolu radio-aktivnosti okoline, 44. Parkiralište, 45. Stražarnica.

stupaka u izvanrednim stanjima, te za računanje kontaminacije okoline depozitom radioaktivnih halogena i aerosoli, od bitne su važnosti rezultati meteoroloških mjerenja na lokaciji. U slučaju NE Krško na gradilištu je postavljen meteorološki toranj i vrše se mjerenja tokom gradnje elektrane, da bi se za »Konačni izvještaj sigurnosnih analiza« dobili što točniji rezultati.

2. 9. Problemi transporta nisu posebno izraženi. Slične poteškoće predstoje za sve potencijalne lokacije u Jugoslaviji, osim onih gdje je moguć pristup do gradilišta plovnim prijevoznim sredstvima. Tereti vangabaritnih dimenzija i težine iznad 200 tona moraju se uvijek i svuda posebno respektirati, a troškovi kopnenog transporta najviše ovise o dužini i stanju trase.

3. GRAĐEVNI OBJEKTI I RASPORED OBJEKATA

3. 1. Na slici 4. prikazan je raspored građevnih objekata elektrane. Središnje mjesto zauzima reaktorska zgrada, koja se prema funkciji naziva još i kontejnment, ali ako se uzima zajedno s čeličnom tlačnom posudom koja se nalazi unutar betonske građevine. Betonski dio sastoji se od temeljnog bloka, cilindričnog plašta i kuglastog krova. Debljina plašta je 0,76 m, a služi biološkoj zaštiti, zaštiti od vanjskih projektila i vremenskih nepogoda. Osim toga služi i relativnom smanjenju propuštanja radioaktivnih plinova i čestica u atmosferu, jer se u međuprostoru nalazi filtracijski i ventilacijski sistem koji održava stanovit podtlak prema vanjskoj atmosferi i smanjuje na minimum eventualne radioaktivne čestice.

Unutar betonske građevine nalazi se čelična posuda. Debljina lima cilindričnog dijela iznosi 38 mm, a polukuglastog vrha 19 mm. Projektni tlak za posudu je 3,15 kp/cm², a slobodni volumen za zrak je oko 41 600 m³. Razmak između čeličnog i betonskog plašta je 1,52 m. Ostale dimenzije vide se na slikama.

Čelični dio kontejnmenta služi za zadržavanje radioaktivnih fluida u svojoj unutrašnjosti ako bi došlo do propuštanja ili eventualnog loma na nekoj komponenti sistema reaktorskog hladila koji se nalazi unutar kontejnmenta. U određenim akcidentnim prilikama svi se fluidni prodori prema vani automatski zatvore.

3. 2. Smještaj jednog dijela opreme u pojedinim zgradama prikazan je na 5. i 6. slici.

4. NUKLEARNI SISTEM ZA PROIZVODNJU PARE

4. 1. Dio nuklearne elektrane koji pretvara toplinsku energiju u električnu ne razlikuje se u principu od elektrana na fosilna goriva. Međutim,

proizvodnja toplinske energije u nuklearnim elektranama bitno se razlikuje od proizvodnje topline s kemijskim reakcijama. Nuklearne reakcije se baziraju na fisiji (dijeljenju) teških jezgara atoma fisibilnog materijala (recimo, U-235) te oslobađanju približno 200 MeV raspoložive energije po svakoj fisiji. (Jedan MeV ekvivalentan je $4,45 \times 10^{-20}$ kwh.)

Taj dio energije pretvara se u toplinu koju je iz reaktora potrebno odvesti. Reaktor gdje se generira toplina, zajedno s komponentama za odvođenje topline, često se naziva primarni sistem. U našem slučaju primarni sistem predstavljen je tlačnovodnim reaktorom i komponentama za optok reaktorskih hladila (vode). Najvažnija mu je funkcija neprestano cirkuliranje hladila kroz reaktor i krugove za hlađenje (optočne krugove), te na taj način prenošenje topline iz reaktora (površina šipki goriva), preko generatora pare, na sistem radnog medija (sekundarni sistem). Projektirana maksimalna snaga reaktora iznosi 1882 MWt, a snaga jezgre 1 876 MWt.

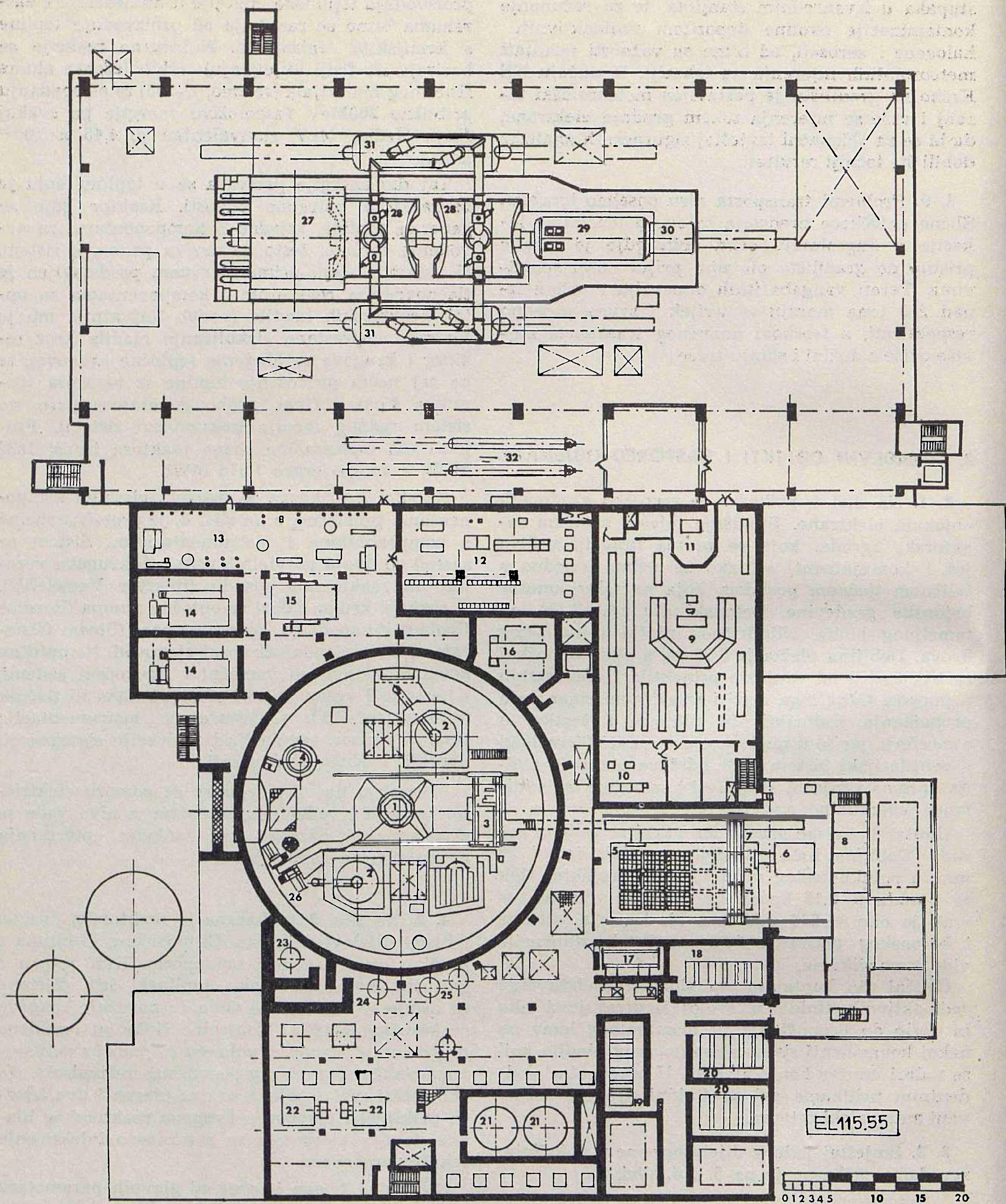
Na slici 7. prikazan je sistem s glavnim komponentama prostorno, a na slici 8. je protočna shema s komponentama i instrumentacijom. Sistem se sastoji od dvaju paralelnih optočnih krugova vezanih na reaktorsku posudu (Reactor Vessel-RV). U svakom krugu nalazi se optočna pumpa (Reactor Coolant Pump-RCP), generator pare (Steam Generator-SG) i pripadajući vezni cjevovod. Na optočne krugove spojeni su pomoćni i sigurnosni sistemi, a na krug 1 vezan je još i održivač tlaka ili tlačnik (Pressurizer-PR). Odgovarajuća instrumentacija služi za nadzor, regulaciju i aktivaciju sigurnosnih uređaja u slučaju opasnosti.

Pritisak u tlačniku regulira se pomoću električnih grijača i vodenim mlazevima, a nivo vode se programirano održava kao funkcija opterećenja preko sistema za punjenje.

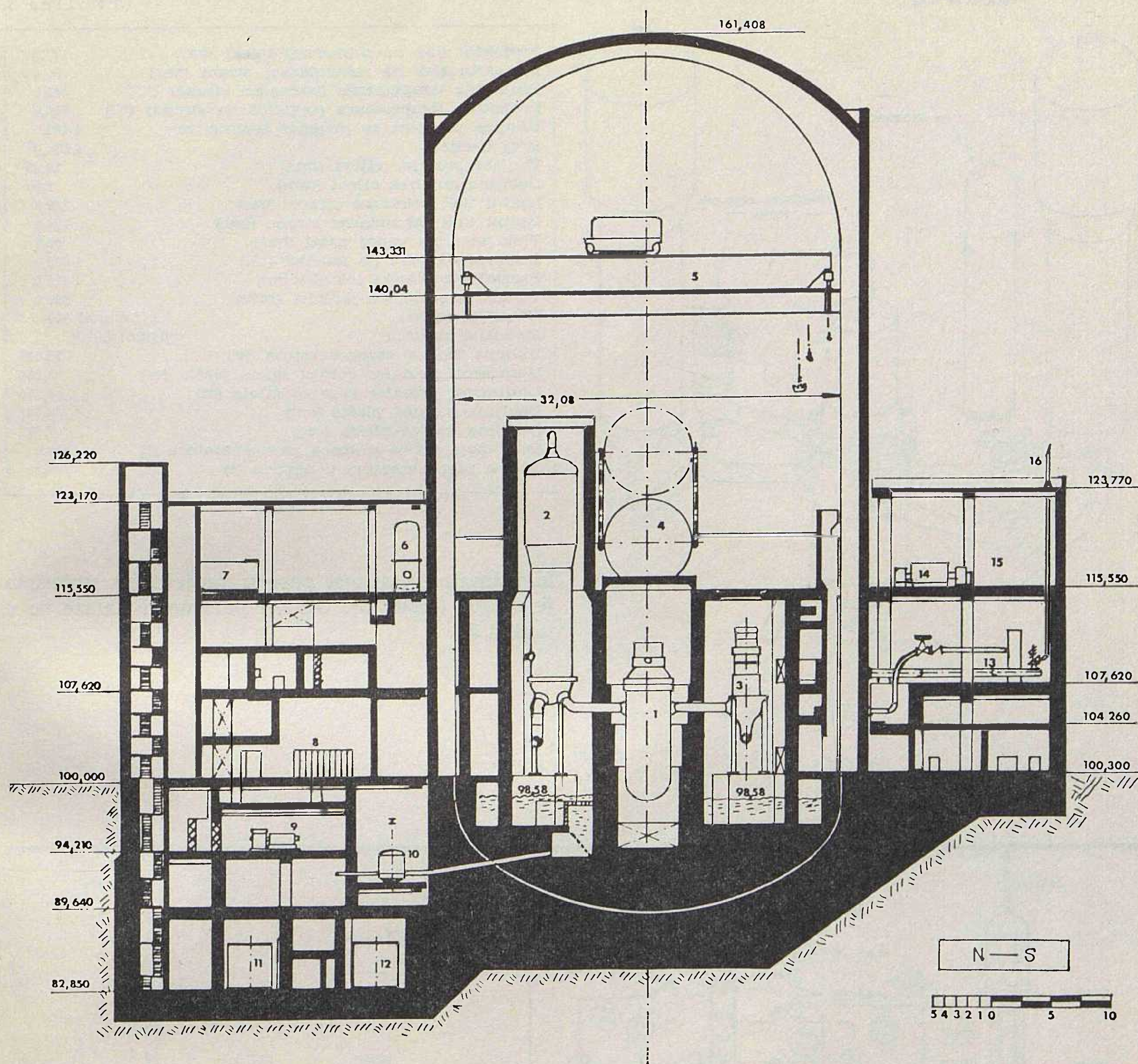
4. 2. Na slici 9. prikazana je reaktorska posuda i drugi dijelovi reaktora. Cilindričnog je oblika s poulkuglastim dnom i poklopcem. Drži jezgru s gorivom, kontrolne šipke, toplinski štit, dijelove za usmjerenje strujanja vode, te povezuje krugove reaktorskog hladila. Kontrolne šipke su ugrađene na poklopcu posude, a pokreću se pomoću zatvorenoga elektromagnetskog pogonskog mehanizma. Na cilindrični plašt spojena su dva ulazna i dva izlazna priključka cjevovoda krugova reaktorskog hladila, te dva cjevovoda za sigurnosno injektiranje tekućeg apsorbera.

Na tablici 2. dan je pregled glavnih parametara reaktorske posude i termohidrauličke reaktora.

4. 3. Generatori pare (slika 10) su izmjenjivači topline s obrnuto okrenutim U-cijevima smještenim u čeličnom plaštu. Hladilo struji kroz cijevi. Para se generira između cijevi te odlazi gore na odvajače vlage i sušače pare, a zatim u parovod.



Sl. 5: 1. Reaktor, 2. Generatori pare, 3. Stroj za izmjenu goriva, 4. Stalak za odlaganje poklopca reaktorske posude, 5. Bazen za ozračno gorivo, 6. Prostor za punjenje kontejnera gorivom, 7. Manipulacijski kran za gorivo, 8. Prostor za svježe gorivo, 9. Glavna kontrolna prostorija, 10. Kompjuterska prostorija, 11. Galerija za posjetioce, 12. Električni uređaji za kontrolu reaktora, 13. Kompresorska prostorija, 14. Usisni filtri i ventilatori propuhivanja kontejnmenta, 15. Dovodni filtri i ventilatori za propuhivanje kontejnmenta, 16. Usisni filtri i ventilatori prostorija ograničene pristupačnosti, 17. Ventilatori i filtri visoke djelotvornosti na usisu iz pomoćne zgrade, 18. i 19. Filtri međuprostora (anuluksa), 20. Ugljeni filtri za plinove iznad površine vode bazena, 21. Spremnici borne kiseline, 22. Filtri i ventilatori dovoda zraka za pomoćnu zgradu, 23. Posuda volumne kontrole, 24. Spremnik NaOH, 25. Ekspanzijske posude vode za hlađenje, 26. Ventilatori za hlađenje kontrolnih šipki, 27. Visokotlačni dio turbine, 28. Niskotlačna kućišta turbine, 29. Generator, 30. Uzbudni generator, 31. Separatori-pregrijači, 32. Grijači Br. 3 povratnog kondenzata.

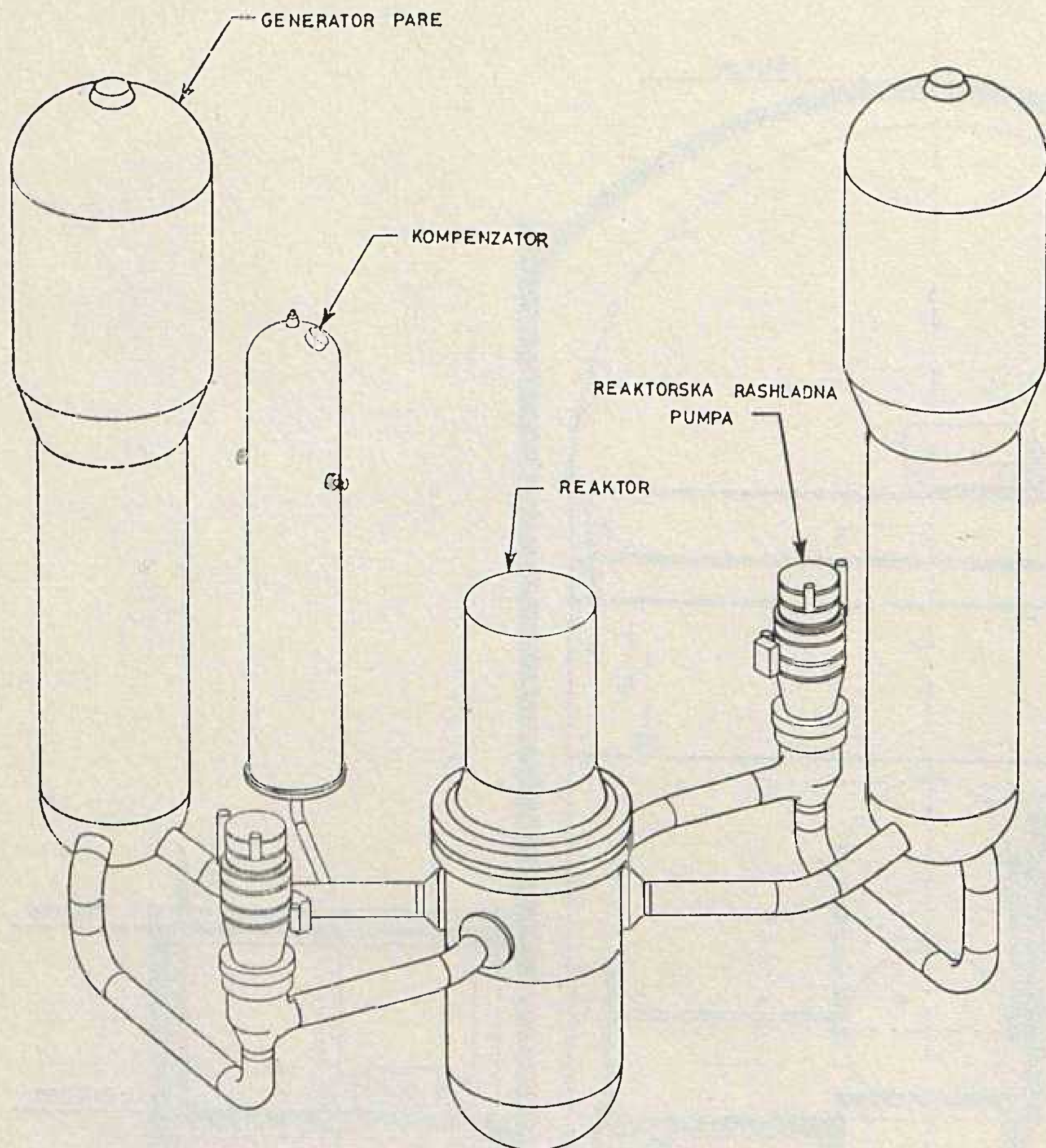


Sl. 6: 1. Reaktor, 2. Generator, 3. Pumpa reaktorskog hladila, 4. Poklopac otvora za prenošenje opreme, 5. Polarni kran, 6. Spremnik NaOH, 7. Filtri i ventilatori za dovod zraka u pomoćnu zgradu, 8. Motor kontrolni centar za pomoćnu zgradu, 9. Pumpe za sigurnosno injektiranje, 10. Oklop izolacijskog ventila kontejnmentskog slivnika, 11. Spremnik radioaktivnih tekućina, 12. Spremnik odvodnjavanja podova, 13. Parovod svježe pare, 14. Uređaji za dovod zraka za propuhivanje kontejnmenta, 15. Kompresornica, 16. Ispušne cijevi sigurnosnih ventila.

Tablica 2.

Temperatura hladila na ulazu u posudu (°C)	287,5	Projektni tlak (bar)	177,0
Prosječni prirast temperature u posudi (°C)	36,5	Radni tlak (bar)	159,0
Prosječni prirast temperature u jezgri (°C)	38,4	Hidrostatski ispitni tlak (bar)	221,0
Prosječna temperatura hladila u jezgri (°C)	307,8	Projektna temperatura (°C)	343,0
Prosječna temperatura hladila u posudi (°C)	305,9	Volumen vode s uloženom jezgrom (m³)	70,51
Aktivna površina za prijenos topline (m²)	$3,09 \times 10^3$	Unutrašnji promjer posude (m)	3,353
Prosječni toplinski tok (kW/m²)	590,1	Debljina stijenke plašta posude (cm)	16,8
Maksimalni toplinski tok u pogonu (kW/m²)	1 475,0	Ukupna visina zatvorene posude (m)	11,925
Prosječna specifična linearna snaga (kW/m)	17,55	Debljina navarene obloge (cm)	0,56
Maksimalna linearna snaga u pogonu (kW/m)	43,96	Težina zatvorene prazne posude (t)	222,5
Maksimalna linearna snaga kod prorade zaštitnog sistema (kW/m)	56,43	Unutrašnji promjer ulaznih priključaka (m)	0,6985
Pad tlaka kroz jezgru (bar)	$1,92 \pm 0,39$	Unutrašnji promjer izlaznih priključaka (m)	0,7366
Pad tlaka kroz posudu i priključke (bar)	$3,18 \pm 0,48$	Materijal posude:	ugljični čelik
		Materijal obloge:	nerđajući čelik

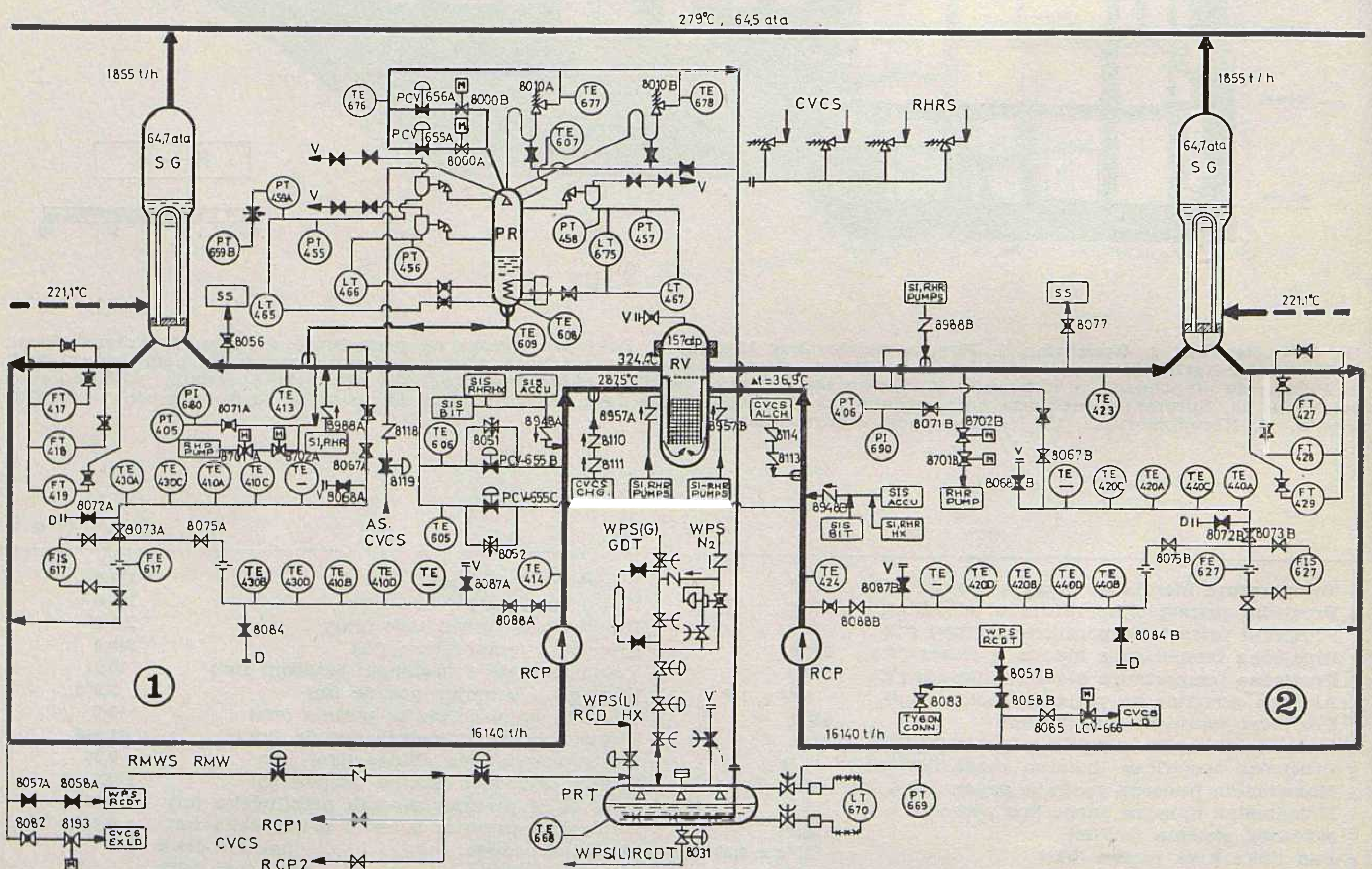
Tablica 3.



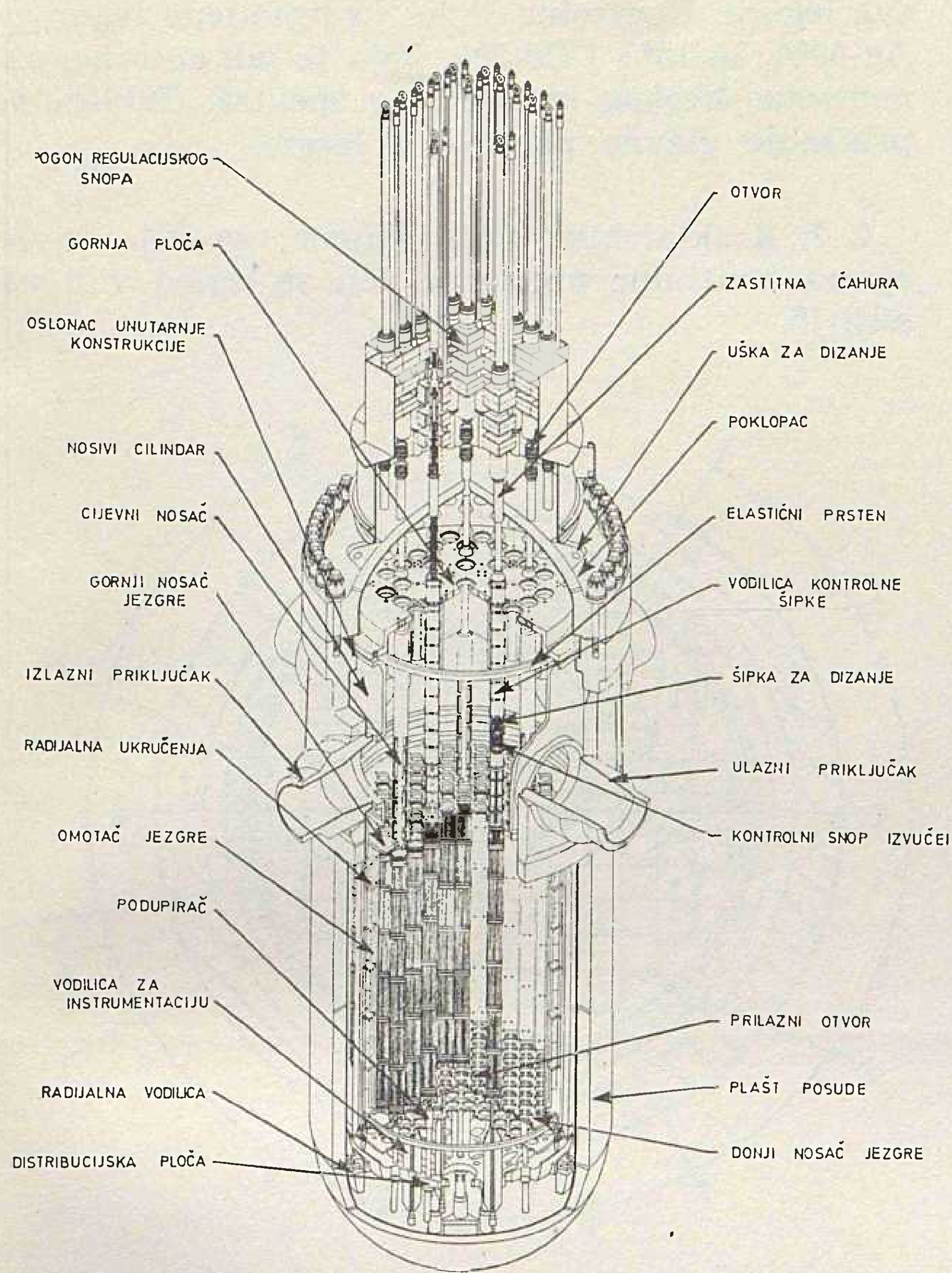
Sl. 7.

Projektni tlak na primarnoj strani (bar)	177,0
Projektni tlak na sekundarnoj strani (bar)	84,4
Projektna temperatura (primarna strana) (°C)	343,0
Projektna temperatura (sekundarna strana) (°C)	315,0
Ukupna površina za prijenos topline (m²)	4 460,0
Broj U-cijevi	4 674,0
Vanjski promjer cijevi (mm)	19,05
Debljina stijenke cijevi (mm)	1,09
Ispitni tlak primarne strane (bar)	220,0
Ispitni tlak sekundarne strane (bar)	105,0
Tlak pare pri punoj snazi (bar)	65,6
Proizvodnja pare po jedinici (t/h)	1 855,0
Prosječni toplinski tok (kW/m²)	211,0
Toplinska snaga po jedinici (MW)	941,0
Materijal cijevi:	inconel 600
Materijal plašta:	ugljični čelik
Ukupna dužina parogenerators (m)	20,625
Unutrašnji promjer donjeg dijela plašta (m)	3,286
Unutrašnji promjer gornjeg dijela (m)	4,280
Debljina gornjeg plašta (cm)	9,88
Debljina donjeg plašta (cm)	7,77
Izračunata težina praznog parogenerators (t)	322,0
Težina parogenerators u pogonu (t)	388,3

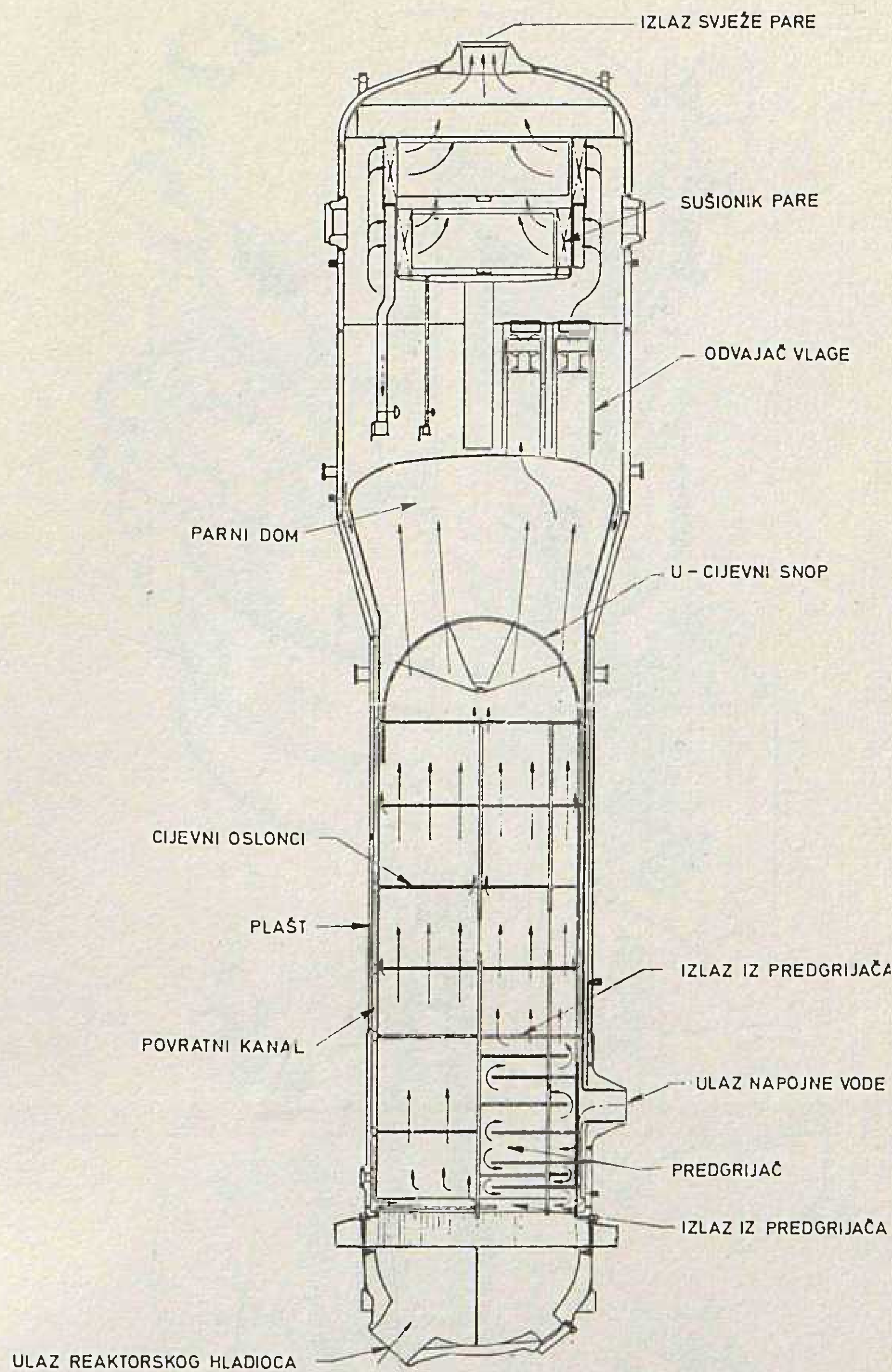
Maksimalna vlažnost pare u projektnim uvjetima je 0,25% (težinski). Glavni parametri nalaze se u tablici 3.



Sl. 8.



Sl. 9.



Sl. 10.

4. 4. Optočne pumpe (slika 11) cirkuliraju hladilo kroz reaktorsku jezgru i generatore pare. To su vertikalne centrifugalne pumpe, tjerane trofaznim indukcijskim motorima. Na osovini motora, s njegove gornje strane, nalazi se zamašnjak radi dobivanja inercije i produženja vremena zaustavljanja u slučaju nestanka električne energije. Pumpe imaju ove karakteristike:

— projektna visina dizanja (m)	90,83
— projektni kapacitet (t/h)	21 461
— projektni tlak (bar)	159
— protok u normalnom pogonu (t/h)	16 140
— snaga motora (MW)	7.

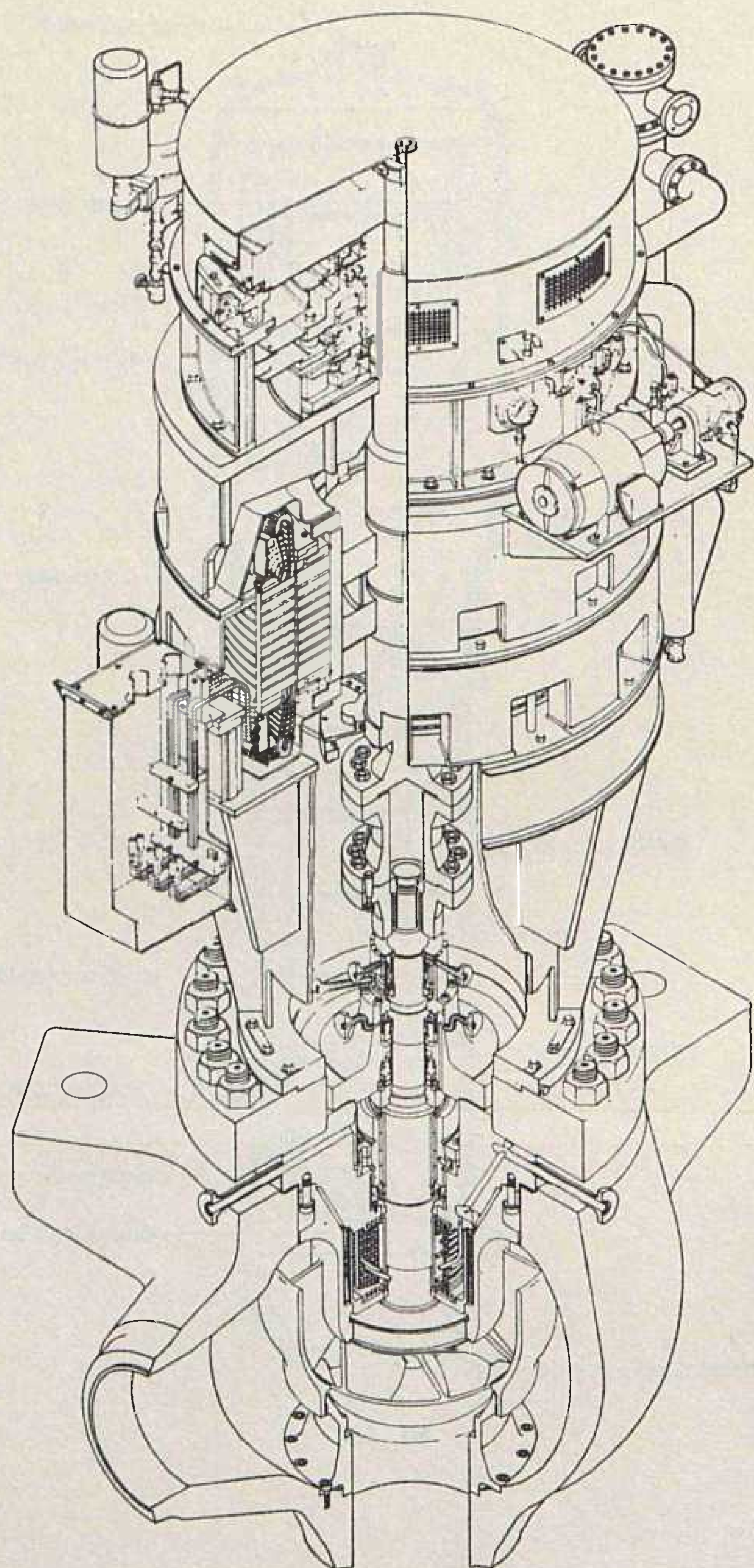
4. 5. Reaktorsko hladilo se mora neprestano održavati pod određenim tlakom da bi se izbjeglo isparivanje vode na površinama šipki goriva i time njihovo pregaranje. Radi upravljanja tim tlakom i inventarom hladila u sistemu (specifični volumen se mijenja s temperaturom) na optočnom krugu 1 ugrađena je posuda čiji je jedan dio ispunjen parom. Može se nazvati tlačnikom, jer sistemom električnih grijača uronjenih u vodeni prostor i vodenih mlaznica u parnom prostoru održava se potreban tlak u svim slučajevima rada reaktorskog postrojenja. Osim toga, to je mjesto

gdje se može nadzirati i regulirati masa hladila u sistemu i eventualni viškovi smanjiti dotokom ili ispuštanjem, a eventualni manjkovi nadoknaditi povećanim dotokom ili smanjenim ispuštanjem. Nivo vode u tlačniku je programiran u funkciji opterećenja.

Tlačnik ima ove karakteristike:

— projektni tlak (bar)	177
— volumen vode pri punoj snazi (m ³)	17,0
— kapacitet grijača (kw)	200 + 800
— projektirani protok vode kroz mlaznice (m ³ /h)	10,22
— volumen pare pri punoj snazi (m ³)	11,33.

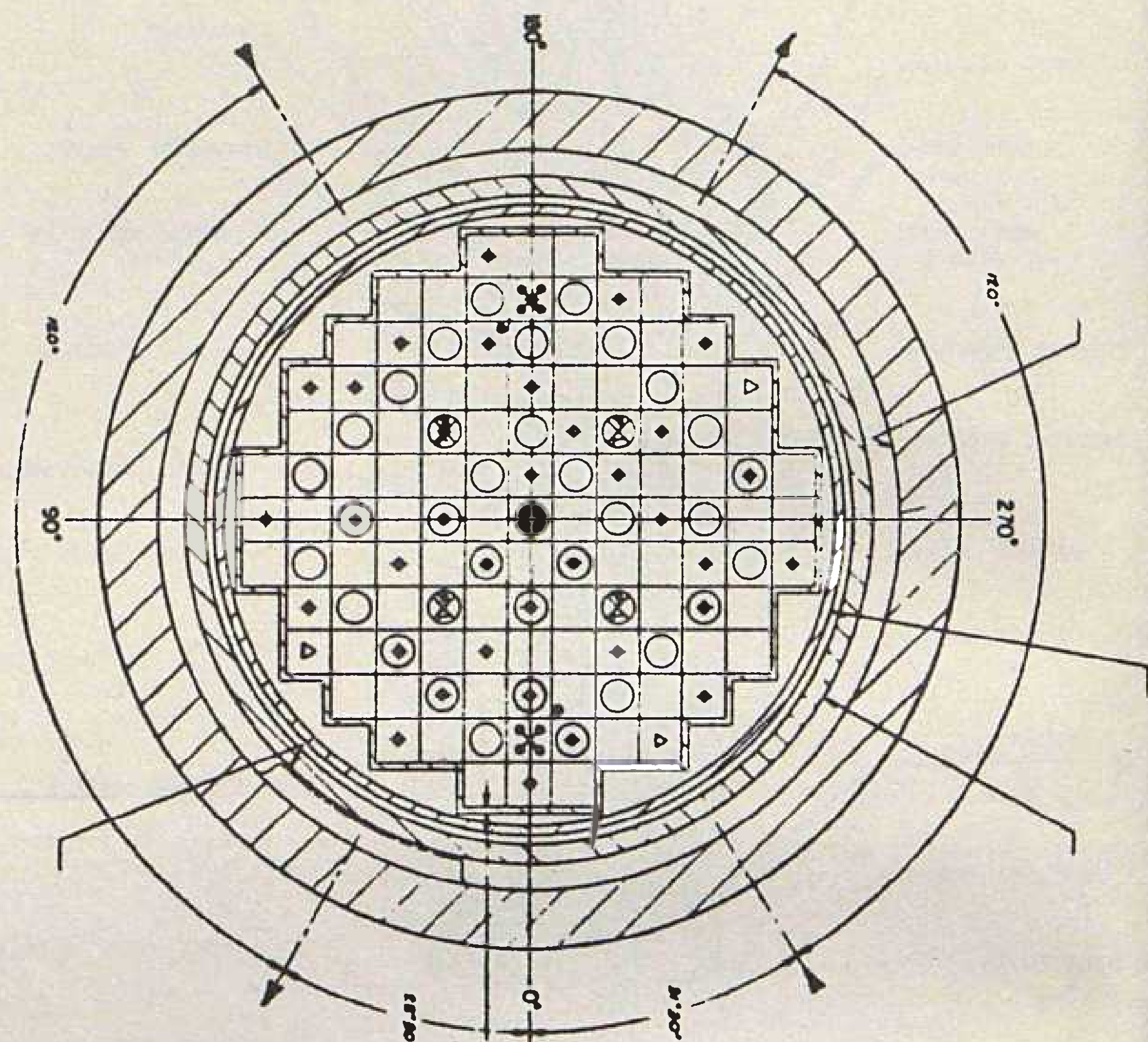
4. 6. Jezgra reaktora složena je od 121 snopa (elementa) goriva. To se vidi iz horizontalnog presjeka reaktora na slici 12. Snop goriva sastavljen je od 235 šipki goriva, čiji je poprečni presjek prikazan na slici 13. Šipke su složene u kvadratnoj rešetki 16×16. Od mogućih 256 mjesta (u ovom rasporedu) za regulaciju (ili druge šipke) predviđeno je po 20 mjesta, a po 1 mjesto ostavljeno je za mjerne elemente u jezgri. Šipka goriva je cijev, na krajevima zatvorena, u koju su prije toga stavljene sintecirane keramičke tablete uranovog oksida (slika 14). Materijal šipki je cirkonij-



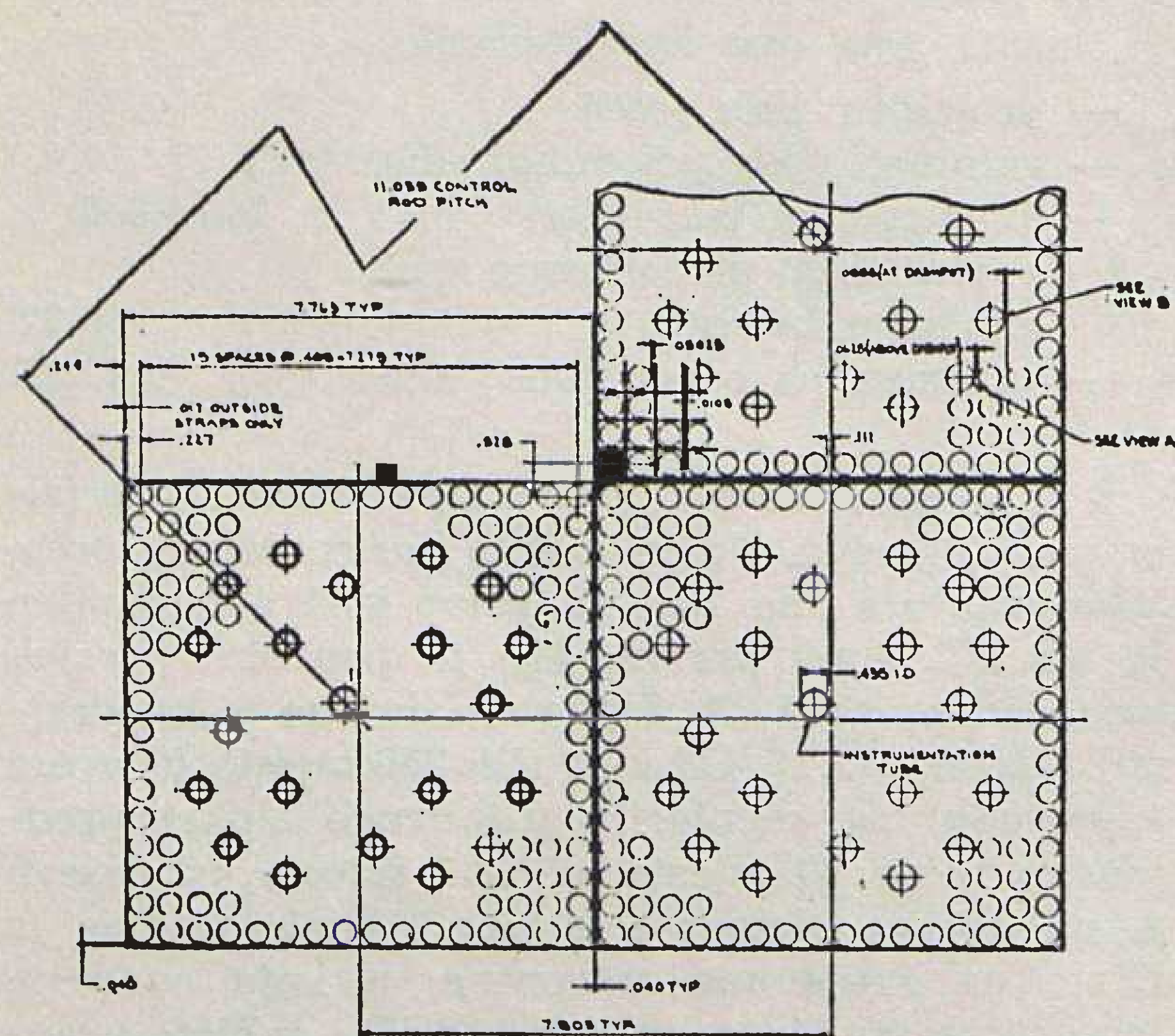
Sl. 11.

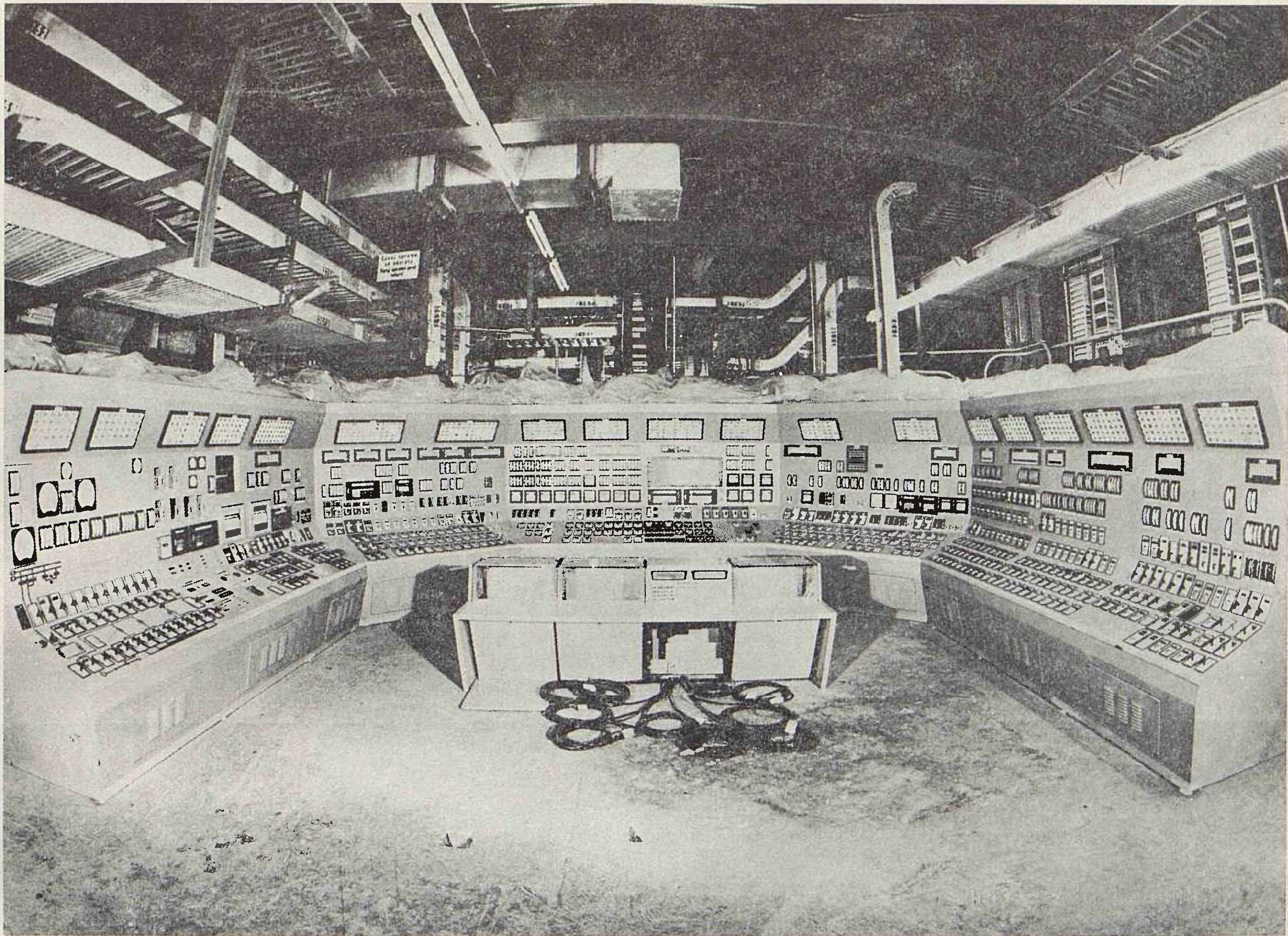
eva legura. Kontrolne šipke su ispunjene legurom Ag-80%, In-15% i Cd-5%, koja je jak apsorber za neutrone širokog energetskog spektra. Tablica 4. prikazuje glavne parametre jezgre.

4. 7. Reaktorskim postrojenjem upravlja se iz centra kontrolne prostorije, čiji se izgled vidi na slici 15.



Sl. 12.





Sl. 15.

Tablica 4. LITERATURA

Visina aktivnog dijela jezgre (cm)	365,8
Ekvivalentni promjer jezgre (cm)	245,1
Broj komada snopova goriva	121
Korak šipki u snopu (cm)	1,232
Težina goriva u jezgri (kg UO_2)	56 355
Težina zircaloya (kg)	11 925
Broj komada šipke goriva	28 435
Vanjski promjer šipke (cm)	0,95
Debljina stijenke cijevi (mm)	0,57
Materijal cijevi (šipke)	Zircaloy-4
Obogaćenje goriva na U-235 (%)	2,1 do 3,1
Promjer tablete goriva (cm)	0,8192
Visina tablete goriva (cm)	1,346
Najmanji omjer kriznog vrenja u prelaznim pojavama	1,3
Protok hladila kroz jezgru (kg/sek)	$8,94 \times 10^3$
Prosječna brzina hladila uz gorivo (m/sek)	5,15
Najviša temperatura tablete pri punoj snazi reaktora (°C)	1 843
Najviša temperatura tablete pri proradi zaštitnog sistema (°C)	2 204
Talište UO_2 (°C)	2 500

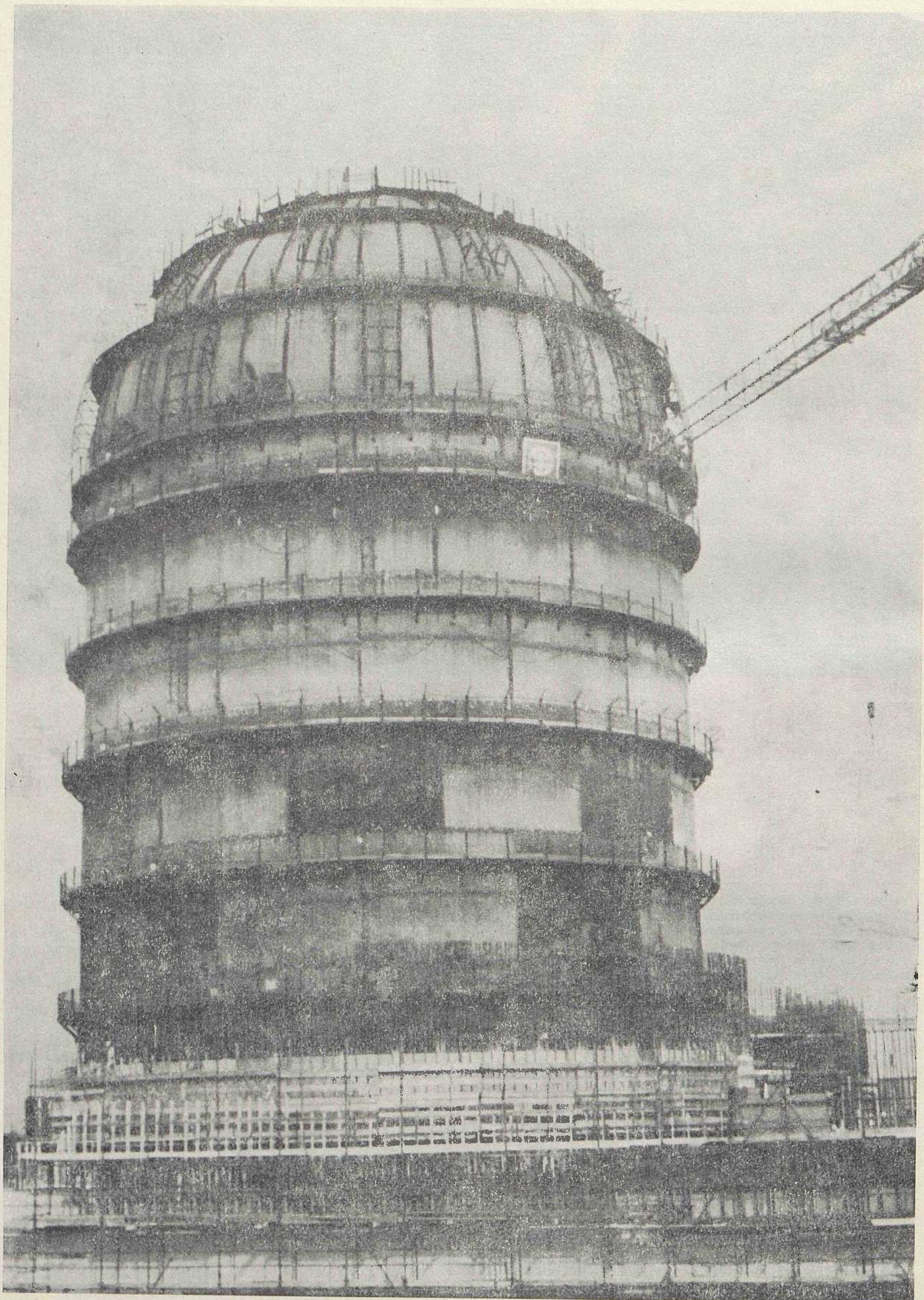
1. NE Krško, Preliminary Safety Analysis Report
2. Lokacijsko dovoljenje, Republiški sekretariat za urbanizam, Ljubljana, 1974.
3. Batista J.: Preliminarne statistične analize reke Save kot toplotnega ponora za NE Krško, IB Elektroprojekt, Ljubljana, 1972.
4. Z. Zarić: Analiza problematike hlađenja NE Krško, Institut »B. Kidriča«, Vinča, 1977.
5. V. Vuković: Razvoj nuklearne energetike, Energija, Stručni časopis elektroprivrede Hrvatske, brojevi 1—2 (1977), 1—2 (1978) i 5—6 (1978).
6. V. Vuković: Sistem reaktorskog hladila NE Krško, Tehnika br. 5, Beograd, 1977.

SYNOPSIS

In the article given description of construction of first Yugoslav nuclear power plant "Krško". At first, it is said about quality and characteristic of civil work soil, meteorological conditions and conditions of cooling water. There are described architectural objects and reactor system.

Automatski rad elektrane moguć je pri opterećenjima iznad 15% nominalne vrijednosti.

Naslov pisca:
Vuković V l a d i m i r, dipl. ing.
Nuklearna elektrana Krško



STUPOVI U NADZEMNOJ MREŽI NISKOG NAPONA U DISTRIBUCIJI SR HRVATSKE

Krešimir Mehičić i Ernest Mihalek, Zagreb

UDK 621.315.2

Na temelju procijenjenog broja drvenih stupova u niskonaponskoj nadzemnoj distributivnoj mreži u Hrvatskoj, iznesena je problematika dobave takvih stupova kod naših šumskih gospodarstava s obzirom na dopuštenu sječū. Upozoreno je na važnu ulogu cijene i trajnosti stupova u gradnji i održavanju nosača niskog napona.

1. NISKONAPONSKA MREŽA U DISTRIBUCIJI SR HRVATSKE

Najneposredniji oblik priključka potrošača (kućanstava i ostale široke potrošnje) na izvor električne energije jest preko niskonaponskih ili razdjelnih mreža. Kod nas su to mreže naponskog nivoa 0,4 kV. Razvoj niskonaponske mreže u distribuciji SR Hrvatske prikazan je tablicom 1.

Tablica 1.

Godina	Duljina vodova (km)		Ukupno
	Nadzemni vodovi	Kabelski vodovi	
1970.	30 650	2 194	32 844
1971.	33 004	2 448	35 452
1972.	33 991	2 980	36 971
1973.	35 262	3 277	38 539
1974.	35 929	3 411	39 340
1975.	36 802	3 437	40 239
1976.	36 403	3 543	39 946
1977.	38 972	4 158	43 130

Iz tablice se može zaključiti:

a) prosječni prirast nadzemne niskonaponske mreže za razdoblje 1977/70. iznosi 3,5%

b) prosječni prirast kabelske niskonaponske mreže za razdoblje 1977/70. iznosi 9,6%

c) ukupni prosječni prirast niskonaponske mreže za razdoblje 1977/70. iznosi 4%

Osim toga vidljivo je da niskonaponska nadzemna mreža iznosi 93% (1970. god.), odnosno 90% (1977. god.) niskonaponske mreže u distribuciji SR Hrvatske. Jedan od najvažnijih elemenata niskonaponskih nadzemnih mreža jesu nosači, odnosno stupovi, pa će se o njima raspravljati u ovom članku.

2. STUPOVI U NADZEMNOJ MREŽI NISKOG NAPONA

Da bi se dobila što kompletnija slika o stanju stupova u mreži niskog napona, skupljeni su podaci s više strana, i to putem:

a) anketa i usmenih razgovora u distributivnim organizacijama SR Hrvatske

b) Komisije za stupove stručnog savjeta za distribuciju pri ZEOH-e

c) Instituta za drvo SR Hrvatske

d) Saveznog zavoda za statistiku

e) Elektroopskrbe — Zagreb.

Prva skupina podataka dobivena je pismenom anketom i usmenim razgovorom u elektrodistributivnim organizacijama SRH. Anketa je razasлана na adrese 43 distributivne organizacije, a odgovore su poslale 23 distribucije. Obuhvaćeno je 18503 km mreže, što iznosi 47,5% ukupne duljine niskonaponske zračne mreže i 551232 stupa. To je dovoljno reprezentativna skupina podataka za prikaz sadašnjeg stanja niskonaponske zračne mreže, a posebno nosača (stupova).

Na području distribucije Hrvatske zastupljene su ove vrste stupova u nadzemnoj mreži niskog napona (obuhvaćeno anketom):

— drveni kom 511 762

— drveni s betonskim nogarima kom 37 028

— betonski kom 1 711

— metalni* kom 731

Prosječna »životna dob« stupova je:

— drvenih 9—13 god.

— drvenih s betonskim nogarima 18—21 god.

— betonskih oko 40 god.

Osim navedenih vrsta nosača, u nadzemnoj niskonaponskoj mreži zastupljeni su još krovni i fasadni nosači. O njima nije bilo moguće dobiti ni približne podatke. Zastupljeni su najviše na području »Elektroslavonije«, gdje je oko 70% mreže izvedeno na krovnim nosačima (podatak dobiven razgovorom).

Iz navedenih podataka jasno je da su drveni stupovi najčešće zastupljeni, a da im je životna dob najmanja. Na području »Elektrodalmacije« i

* Ugrađuju se posljednjih godina i trajnost im nije praktički utvrđena.

»Elektroprimorja« trajnost im je još manja (4—7 god.), a uzrokovana je klimom i vrlo slabom impregnacijom.

Veoma mala trajnost drvenih stupova uzrok je da se upotrebljavaju nove vrste stupova. Ukupne godišnje potrebe u distribuciji SR Hrvatske su u prosjeku 6,52% više u odnosu na sadašnji broj stupova, a od toga na zamjenu i rekonstrukciju postojeće mreže otpada 3,6%, a na izgradnju nove mreže 2,16%. Uz taj podatak možemo prikazati i prosječnu cijenu ugradnje drvenog stupa. U ta-

Tablica 2.

Red. br.	Nosilac troškova	Cijena* (d)		
		linijski	usidreni	A-stup
1.	stup	1 100.—	1 100.—	3 050.—
2.	transport	150.—	150.—	300.—
3.	građ. rad.	1 000.—	1 500.—	4 650.—
4.	ostalo	300.—	520.—	1 700.—
Ukupno		2 550.—	3 270.—	9 700.—

* Podaci o cijenama dobiveni su anketom i iz njih je izračunata »prosječna« cijena stupova s ugradnjom. Za usidreni stup stiglo je veoma malo podataka, pa je i navedena cijena izvedena iz malo podataka.

blici 2. prikazane su izvedbe stupova koji su najčešće zastupljeni u mreži.

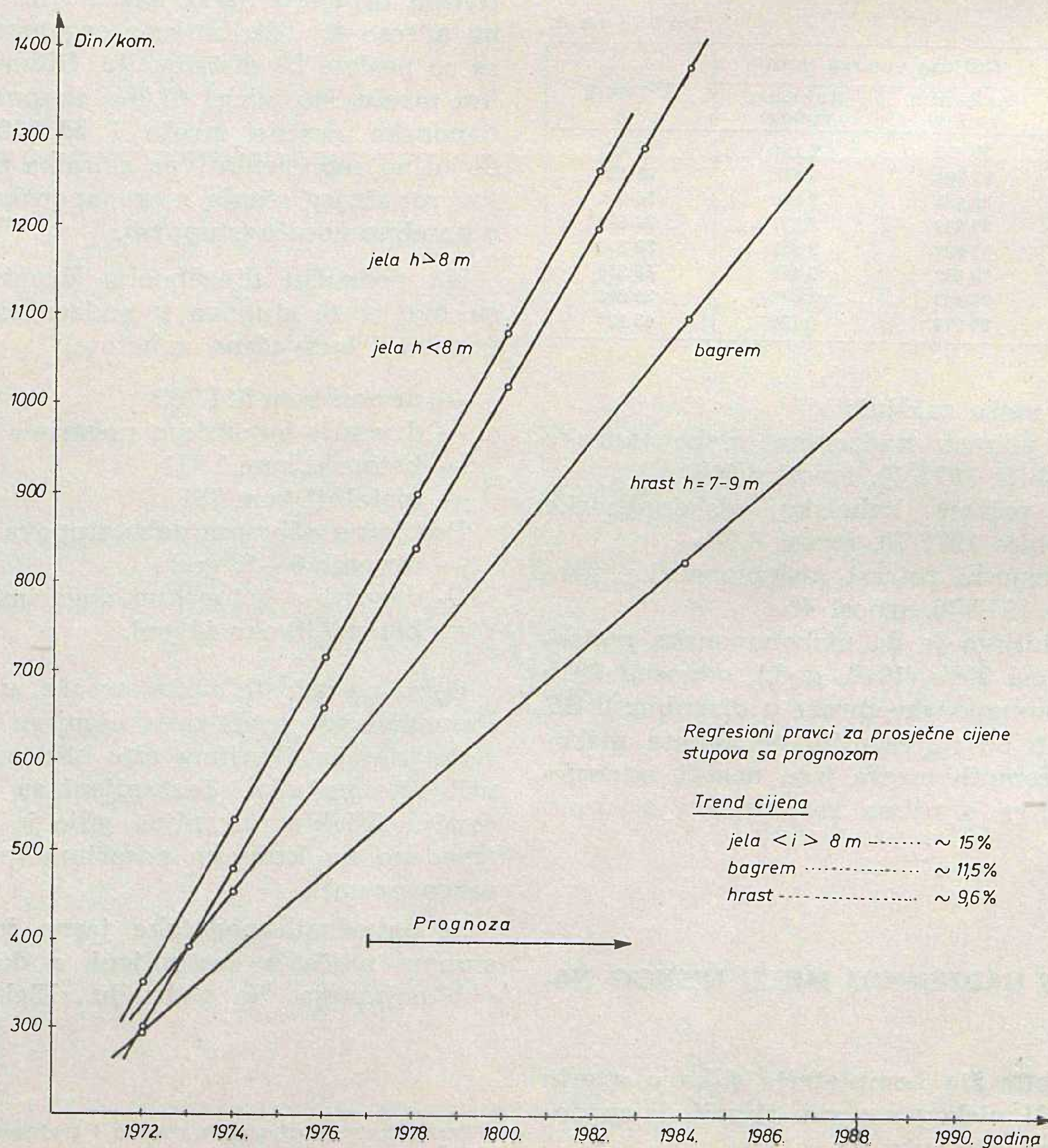
Cijene navedene u tablici 2. odnose se na stupove čija je visina $h = 9$ m. Stupovi te visine uzeti su u razmatranje zato jer su najviše zastupljeni u niskonaponskoj nadzemnoj mreži.

Podaci dobiveni od Instituta za drvo SRH, Elektroopskrbe, Komisije za stupove i Saveznog zavoda za statistiku mogu se zažeti u jednu cjelinu.

U tablici 3. prikazana je struktura iskorištenja šumskog fonda SFRJ u razdoblju 1970—1976. god.

Tablica 3.

God.	Posječeno šuma $\times 1000 \text{ m}^3$	Proizvedeni šumski sortimenti $\times 1000 \text{ m}^3$			Postotak od ukupno
		Ukupno	Tehničko drvo	Stupovi el. i TT	
1970.	17 469	11 790	971	135	1,2
1971.	17 850	11 646	953	164	1,4
1972.	17 316	11 552	1 078	242	2,1
1973.	17 430	11 355	1 032	182	1,6
1974.	18 157	12 243	1 001	171	1,4
1975.	18 602	12 495	923	170	1,4
1976.	18 492	12 399	899	153	1,2



Procijenjeno je da je u SFRJ 1977. god. prosječno 19 500 000 m³ drva, što je gotovo jednako prirastu šumskog fonda. Iako drvo za elektrovodne i TT stupove iznosi tek oko 1,4% proizvedenih šumskih sortimenata, ipak pridonosi neracionalnom iskorištenju šuma. Za elektrovodne i TT-stupove koriste se ove vrste drveta:

- a) lišćari: hrast, bagrem i kesten,
- b) četinari: bor, smreka, jela i ariš.

U tablici 4. prikazan je razvoj cijena stupova (cijene od proizvođača u din/m³) a na slici regresivni pravci za prosječne cijene stupova s prognozom.

Tablica 4.

God.	Prosječne cijene stupova (d/m ³)			
	jela		hrast	bagrem
	h* 8 m	h 8 m	h=7—9 m	h=7—9 m
1972.	302,00	345,60	279,70	303,50
1973.	351,60	403,80	315,60	348,40
1974.	495,80	552,80	418,80	501,20
1975.	596,80	677,80	456,50	591,40
1976.	696,00	736,00	478,00	595,00
1977.	725,40	763,80	483,50	585,70

* h je visina stupa (m)

Iz svega navedenog, a uz podatak da je trajnost drvenog stupa u prosjeku 9—13 godina, što je veoma malo, može se zaključiti kakve to posljedice ima na cijenu izgradnje novih niskonaponskih mreža ili na rekonstrukciju postojećih.

3. ZAKLJUČAK

Nosači (stupovi) predstavljaju veoma važan element u izgradnji i održavanju niskonaponskih zračnih mreža. U dosadašnjoj praksi za izradu stupova koristilo se željezo, beton, a najčešće drvo.

Zbog stalnog rasta cijena drvetu, a posebno tehničkom drvu, zbog loše impregnacije i smanjivanja šumskog fonda u SFRJ počelo se razmišljati o novim materijalima za izradu stupova. Poboljšanje kvalitete impregnacije drvenih stupova ne može biti trajno rješenje, pa su u toku studije (Tehnoko-ekonomska analiza uvođenja poliesterskih stupova u niskonaponsku nadzemnu mrežu — Institut za elektroprivredu Zagreb) o upotrebi nekih novih materijal za izradu stupova. Materijali koji bi svojim mehaničkim svojstvima, trajnošću i cijenom mogli zamijeniti dosadašnje materijale jesu slitine aluminijska i poliesterska.

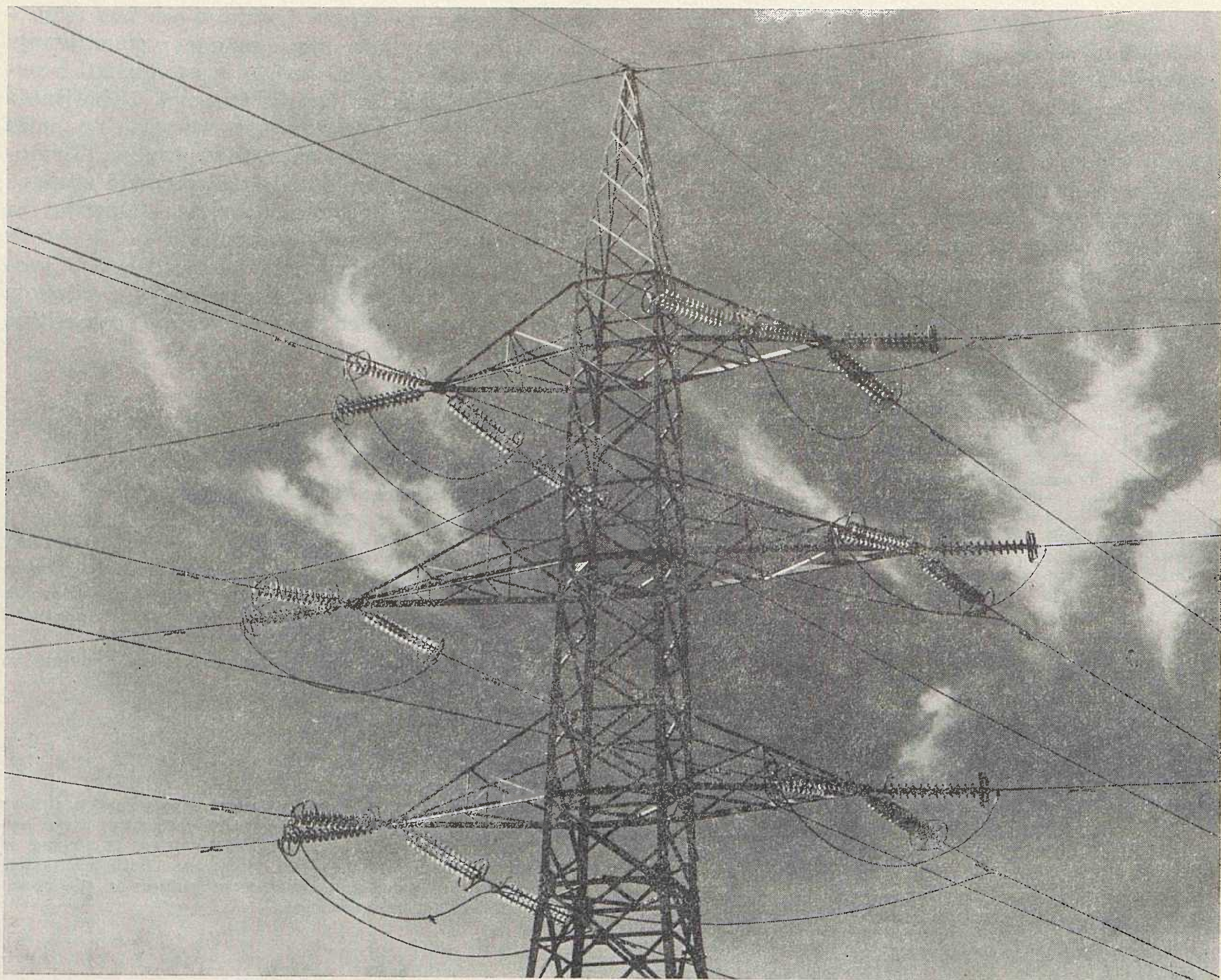
LITERATURA

- 1. Statistički godišnjaci SFRJ 1970—1978. god.
- 2. Statistički godišnjaci SRH 1970—1978. god.
- 3. Savezni zavod za statistiku: Edicija »Šumarstvo« 1970—1978.
- 4. Mladen Šicel: Problematika impregnacije drvenih stupova
- 5. Günter Weidler: Die Wirtschaftlichkeit der Nachpflege von Holzmasten, Elektrizitätswirtschaft, Jg 70 (1971), Heft 8 str. 197.
- 6. Radni materijal Komisije za stupove stručnog savjeta za distribuciju pri ZEOH-e

SYNOPSIS

On the basement of estimated number of wooden pillars in the low voltage overground net in the Croatia, there are stated some problems of providing such pillars in regard of our wood economy and allowable depletion. There is stressed important role of price and duration of pillars in the phase of construction and maintenance.

Naslov pisaca:
Krešimir Mehić, tehničar
Ernest Mihalek, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu u Zagrebu



ODRŽAVANJE I KONTROLA ELEKTRIČNIH INSTALACIJA

Savez elektro-inženjera i tehničara Hrvatske — Odbor za suradnju s privredom, u suradnji sa Savezom mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Jugoslavije, pod pokroviteljstvom Saveznog komiteta za energetiku i industriju, organizirao je prvo jugoslavensko savjetovanje o problematici održavanja, kontrole i atestiranja električnih instalacija jake i slabe struje u industriji i elektroprivredi s posebnim osvrtom na njihov utjecaj na produktivnost rada.

Savjetovanje je održano u Opatiji, 6., 7. i 8. studenog 1978, a prisustvovalo mu je 450 inženjera i tehničara elektrotehničke struke iz cijele Jugoslavije. Održana su 32 referata.

Na osnovi podnesenih referata i rasprave u toku trodnevnog rada doneseni su i odgovarajući zaključci.

Održavanje, kontrola i atestiranje električnih instalacija jake i slabe struje u industriji i elektroprivredi ima veliko značenje, jer od njih zavisi kontinuitet proizvodnog procesa i sigurnosti na radu.

U vezi s održavanjem instalacija predlaže se slijedeće:

— normativnim aktima regulirati pitanje službe za održavanje

— internim pravilnicima ili grupacijskim SAS-ovima koje bi trebalo da kontroliraju druge službe (inspekcija, ovlašteni instituti) propisati minimalnu opremu za službe održavanja,

— oštrijim zakonskim odredbama usmjeriti odgovorne osobe i službe da se kontroli posveti nužna pažnja,

— u skladu s novim Zakonom o standardizaciji izvršiti za postojeće uređaje odgovarajuću standardizaciju,

— propisati stručnu spremu za kadrove koji rade na održavanju.

Kontrolu treba provesti prilikom stvaranja projektnog zadatka za velike objekte; radi potpune kontrole, sigurnosti i efikasnosti rada postrojenja. Potrebno je ispitati svrsishodnost i ekonomsku opravdanost ugradnje centralnog kontrolnog sistema, i to za funkcije:

— važnost osiguranja kontinuiteta proizvodnje,

— praćenje stanja mehaničkih i električnih veličina u postrojenju, te instalacija i pravovremenog otkrivanja i sprečavanje kvarova,

— prikupljanje podataka radi poboljšanja postojećih i budućih objekata.

Za uspješno održavanje električnih instalacija potrebno je da se u objekte ugrađuje besprijekorna, tj. ispitana, odnosno atestirana oprema. Zbog toga je potrebno:

a) Ako je uvedeno obavezno atestiranje proizvoda, prema zakonu o standardizaciji provjeriti je li proizvod atestiran i označen atestnim znakom.

b) Ako postoje obavezni JUS standardi, a obavezno atestiranje nije uvedeno, potrebno je tražiti ispitivanje na osnovi

d) Zakona o standardizaciji i izvještaj o izvršenom atestiranju.

c) Primopredajna ispitivanja i kontrolu za pojedinačnu opremu treba ugovorom precizirati.

Primjena zaključaka s ovoga savjetovanja u velikoj mjeri će pridonijeti da se službe održavanja i kontrole osuvremene i da se vrednuju prema njihovu doprinosu u ostvarenju dohotka kolektiva, odnosno cjelokupne zajednice.

I. R.

U izdanju ELSEVIER SEQUOIA S. A. iz Lausanne, Švicarska, izlazi u travnju iz tiska prvi broj novog časopisa pod naslovom SUNČEVE STANICE. Časopis će izlaziti 4 puta godišnje, a obrađivat će upotrebu sunčevih stanica u energetske svrhe.

Cijena časopisa iznositi će 160 SFRs.

Stručnjaci koji se bave problemom sunčeve energije, a željeli bi svoje radove objaviti u tom časopisu, mogu se za detaljne informacije obratiti izdavaču: ELSEVIER SEQUOIA, Lausanne, Švicarska.

HE INGA II (ZAIR)

Na najvećoj rijeci Afrike — Inga (Zair), sa srednjim protokom od 40 000 m³/sek, u toku je montaža druge etape izgradnje HE Inga.

U toku je montaža 4 grupe, 178 MW svaka, tako da će se instalirana snaga i proizvodnja HE udvostručiti. Turbine su Francis, konstruirane za pad od 62,5 m, a promjer rotora iznosi Ø 6 130 mm.

U prvoj etapi izgradnje montirane su 4 vodene turbine s odgovarajućim generatorima ukupne snage 700 MW.

Proizvedena električna energija prenosi se visokonaponskim vodom dugim 300 km u Kinšasu, prijestolnicu republike, pomoću dva visokonaponska voda duga 150 km; predviđen je prijenos u industrijsku zonu luke Banana. Ipak, glavni potrošač HE bit će rudnici bakra.

Prema Escher Wyss

B. Mr.

IZVOZ NE IZ SR NJEMAČKE

SR Njemačka, do sada najveći izvoznik robe visoke tehničke kvalitete, postaje iza SAD drugi izvoznik nuklearnih elektrana.

Po novčanim iznosima iza SR Njemačke su Francuska i Kanada.

Ovoga časa ima 15 ugovora za isporuku NE ukupne snage 16 000 MW. Sklopljeni su ugovori sa 14 zemalja za transfer tehnologije i znanja na području nuklearne tehnike. Tako su sklopljeni takvi ugovori s Argentinom, Brazilom, Španjolskom, Indijom i Iranom.

Uz poznate teškoće izgradnje i razvoja NE, u SR Njemačkoj nisu osigurali neophodan ali vrlo skup razvoj, pa je nuklearna industrija bila primorana da se okrene izvozu.

Zemlje potencijalni kupci NE u vrlo su različitim fazama tehničkog razvoja, pa se bilo potrebno prilagoditi svakom zahtjevu pojedinačno. Većina zemalja je zahtijevala da i vlastita industrija, prema mogućnostima, sudjeluje u izgradnji, što je za posljedicu rezultiralo stvaranjem mješovitih poduzeća uz zajedničko ulaganje i zajednički rizik.

Prema RGE 11/1978.

B. Mr.

MALE HE U ŠVEDSKOJ

Švedsko udruženje energetičara predlaže ministarstvu industrije izgradnju 250 malih HE do 1982. godine. Prijedlog je uslijedio nakon godinu dana probnog pogona 6 takvih HE.

Svih 250 elektrana su jednake, automatizirane su, a godišnja proizvodnja bi im iznosila 400 MW uz sadašnje godišnje potrebe od 84 000 MW (+ 0,48%). Elektrane bi koštale oko 2,400 milijarde dinara, tj. 6,00 d/kWh.

U toku su istražni radovi za izgradnju daljnjih 1 000 mini-hidroelektrana od 100 ÷ 1 000 kW, od kojih neke već postoje, ali su napuštene. Ukupna proizvodnja bi iznosila oko 2 000 000 MWh/godišnje.

Visoki troškovi izgradnje trebali bi se kompenzirati prednostima kao što su veća raspoloživost, decentralizacija, korištenje postojećih akumulacija koje ne služe za svrhe elektroprivrede, a konačno i zbog strateških razloga te zaštite čovjekove okoline. Izgradnja tih malih HE predviđa se u od 25 godina.

Prema W. P., svibnja/1978.

B. Mr.

ELEKTROPRIVREDA BELGIJE U 1977. GODINI

Udruženje proizvođača i distributera električne energije Belgije objavilo je podatke o elektroprivredi Belgije u 1977. godini.

Vršno opterećenje Belgije iznosilo je 7 200 MW, i to 29. (utorak) studenog 1977. godine u 18 h, što je za 1% više od prethodne godine.

PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE 1977. GODINE U BELGIJI		
Zajednička elektroprivreda	proizvodnja GWh	prirast prema 1976. %
termoelektrane klasične	33 012,2	19,3 — 0,5
nuklearne elektrane	11 313,5	
hidroelektrane	448,1	
ukupna proizvodnja industrija za vlastite potrebe	44 773,8 3 829,5	— —
sveukupna proizvodnja za potrebe zemlje	47 219,2	—
potrošnja pumpnih hidroelektrana	305,5	—
gubici prijenosa — distribucija	2 410,7	—
prodano potrošačima	40 673,5	4,2%

U 1977. godini stavljeno je u pogon:

- PTE Angleur 110 MW, kombinirana plinska i parna turbina;
- DE Profondeville 2 × 3, OMW;
- elektrana na komprimirani zrak PE Gand 2, OMW.

Ukupno je stavljeno u pogon 120 MW.

U izgradnji su i očekuje se stavljanje u pogon elektrana:

ELEKTRANE U GRADNJI			
Elektrane	snaga MW	u pogonu god.	
TE Rodenhvize	280	1978.	plinovi visoke peći
NTE Doel	900	1978.	3. reaktor
PHE Coo	180	1979.	
	180	1979.	
	180	1979.	
NTE Tihange	900	1980.	2. reaktor
PE Lixhe	150	1983.	
NTE Doel	980	1983.	4. reaktor
NTE Tihange	980	1983.	3. reaktor

Prema L'E. E. 7—8/1978.

B. Mr.

NOVI PROPISI ZA SAMONOSIVE KABELSKJE SNOPOVE U FRANCUSKOJ

U Francuskoj su 26. lipnja 1978. izašli novi propisi o elektroenergetskim postrojenjima, pa i o SKS (samonosivi kabelski snopovi). Naša industrija kabela proizvodi SKS slične onima koji se upotrebljavaju u Francuskoj. Nacionalnih propisa o vodovima građanim sa SKS kod nas zasad još nema.

Distribucija u Jugoslaviji sve više gradi n.n. mreže i priključke sa SKS. U nedostatku nacionalnih propisa koji bi obuhvaćali tu materiju, inspekcijske službe se kod tehničkih pregleda novoizgrađenih niskonaponskih mreža služe stranim propisima, u slučaju SKS francuskima.

Distribucija je živo zainteresirana za ono što se događa s propisima za niskonaponske mreže s izoliranim vodičima u snopu u inozemstvu, a naročito u Francuskoj, jer su ti propisi prihvaćeni u nedostatku nacionalnih.

Francuski propisi pisani na njihov način prilagođeni su stilu našeg »Pravilnika o tehničkom normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova« (Sl. l. SFRJ br. 51/73 i br. 63/73) da bi nam bili pristupačniji. Izraz naponska udaljenost (distance de tension) preveden je kao sigurnosna udaljenost,

Kod sigurnosne visine računalo se s maksimalno dopuštenom temperaturom snopa bez vjetra; kod sigurnosnih udaljenosti s temperaturom zraka od +15°C i vjetrom već prema zonama, urbaniziranim i neurbaniziranim područjem od 480—640 Pa, odnosno 800—1 080 Pa.

1. Mjesta nepristupačna za vozila

Za mjesta nepristupačna za vozila sigurnosna visina i sigurnosna udaljenost iznose:

1.1. sigurnosna visina za niskonaponske mreže s izoliranim vodičima = 4,00 m

1.2. sigurnosna udaljenost za niskonaponske mreže s izoliranim vodičima = 0,00 m

2. Mjesta pristupačna za vozila

Za mjesta pristupačna za vozila (u blizini poljoprivrednih imanja i industrijskih objekata):

2.1. sigurnosna visina: za niskonaponske mreže s izoliranim vodičima = $h + 1,00$ m

2.2. sigurnosna udaljenost za niskonaponske mreže s izoliranim vodičima (gdje je h visina najvišeg alata ili specijaliziranog vozila u m) = 1,00 m

Zabranjen je prijelaz školskih dvorišta i sportskih terena s golim vodičima. Zabranjena je gradnja niskonaponske mreže s golim vodičima u šumovitim područjima, naročito tamo gdje postoji opasnost od požara (mediteransko primorje, s borovim šumama i uz uobičajenu sušu).

3. Zgrade

Za nepristupačne dijelove zgrade (krov, dimnjak i sl.) sigurnosna udaljenost iznosi za niskonaponske vodove s izoliranim vodičima = 0,00 m

Ako se vod previše približi dijelovima zgrade, treba na tom mjestu pojačati zaštitu od trošenja (razrezane cijevi, toploskupljajuće cijevi ili samo vulkanizirajuće trake) i tako mehanički zaštititi električnu izolaciju od oštećenja.

Za stalno pristupačne dijelove zgrada (terase, balkoni, krovovi s nagibom manjim od 1/5 i sl.) sigurnosna udaljenost iznosi za niskonaponske vodove s izoliranim vodičima = 2,00 m.

4. Šume i drveće

Od bilo kojeg dijela stabla sigurnosna udaljenost iznosi za niskonaponske vodove s izoliranim vodičima uz dodatne mjere zaštite izolacije od oštećenja = 0,00 m

5. Putovi

Sigurnosna visina iznosi za niskonaponske vodove s izoliranim vodičima = 6,00 m.

6. Antene televizijskih i radio-prijemnika te ostalo

Sigurnosna udaljenost od televizijskih i radio-antena, uličnih svjetiljki, reklamnih panoa i okomitih litica iznosi za niskonaponske vodove s izoliranim vodičima uz dodatne mjere zaštite izolacije od oštećenja = 0,00 m.

7. Međusobno približavanje telekomunikacionih i elektroenergetskih vodova

Na mjestima ukrštavanja telekomunikacionih i elektroenergetskih vodova iznose međusobne udaljenosti:

7.1. sigurnosne visine za niskonaponske vodove s izoliranim vodičima = 1,00 m.

7.2. sigurnosna udaljenost za niskonaponske mreže s izoliranim vodičima = 0,00 m.

U slučaju vođenja telekomunikacionih i elektroenergetskih vodova po istim uporištima (stupovima) udaljenost na uporištu je:

1. sigurnosna visina za niskonaponske vodove s izoliranim vodičima = 0,25 m

2. sigurnosna udaljenost za niskonaponske vodove s izoliranim vodičima = 0,00 m.

Iz dijela slobodno prevedenih propisa vidi se da su mnogo blaži od propisa koji su do sada vrijedili u Francuskoj; pogotovo su blaži oni koji su kod nas na snazi.

Vertikalna udaljenost i sigurnosna udaljenost od 2,00 m je francuska praksa i odgovara našim 2,50 m, pa tu neke promjene i nema.

Velika je promjena da izolirani vodiči u slučaju potrebe mogu dodirivati pojedine dijelove zgrade, drveće u šumama, tj. rezanje drveća suvišne su prosjeke, nema sigurnosnih udaljenosti od televizijskih i radio-antena, smiju čak i dodirivati telefonske samonosive kabele. U slučaju da dođe do dodirivanja SKS s nekim drugim predmetom, potrebno je snop mehanički zaštititi na tom mjestu, a što se u pravilu izvodi s po dužini razrezanom plastičnom cijevi.

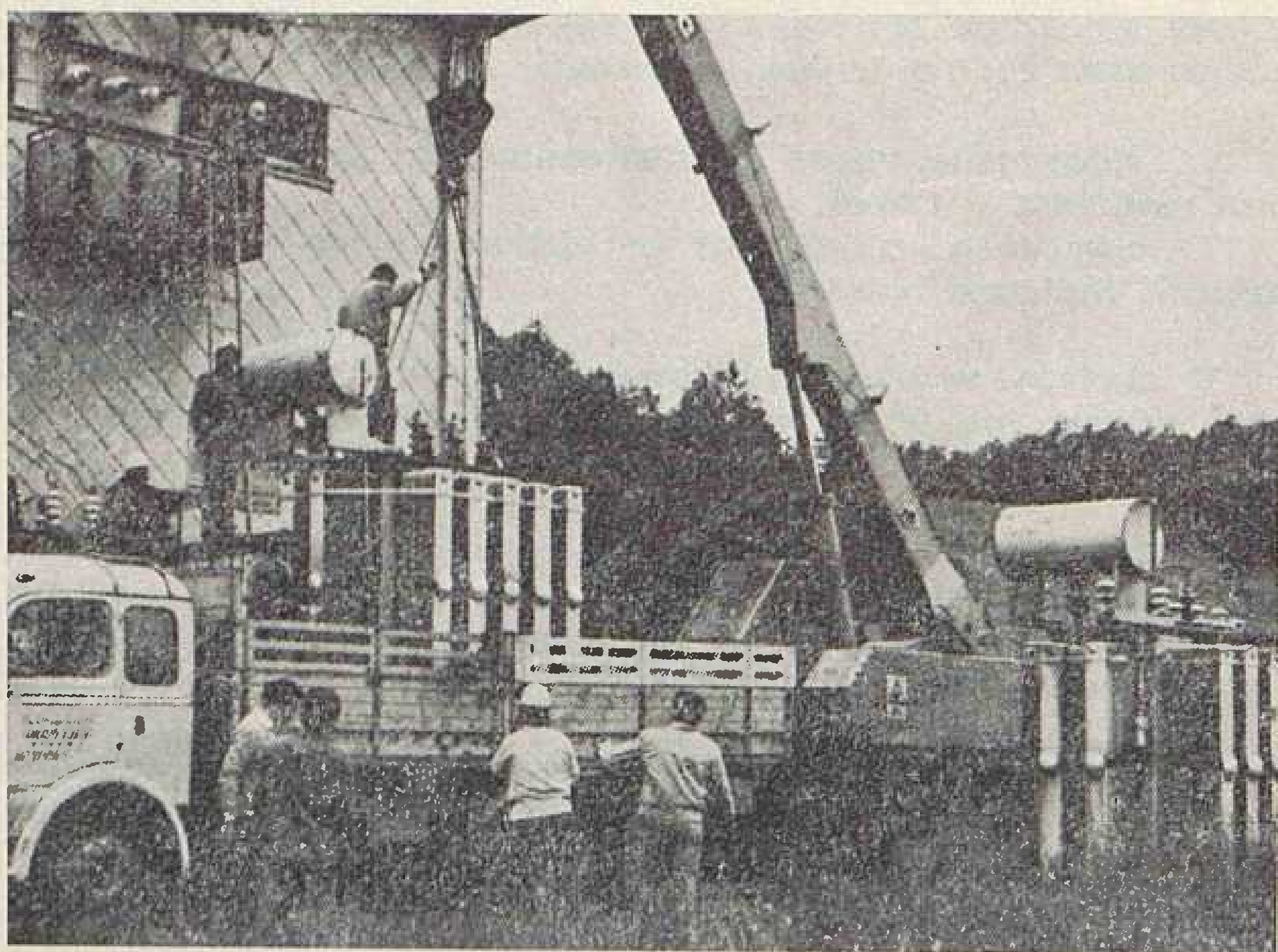
Propisi su radeni s predstvanicima drugih ministarstava koja se brinu o zaštiti čovjekove okoline, pa odatle i zabrana upotrebe golih vodiča u šumovitim predjelima. Radi što manje sječe šume za 1 kV i 20 kV vodove nema sigurnosne udaljenosti prema drveću i granama uz primjenu dodatne mehaničke zaštitne izolacije na takvim mjestima.

Potrebno je još jedanput istaknuti da 20 kV vodove grade i s vodičima izoliranim u snopu i radi što manje prosjeke kada se vod gradi u šumovitim područjima. Kako je već navedeno, nema nikakve sigurnosne udaljenosti između 20 kV voda s vodičima SKS i drveća i granja.

U Sredozemlju grade 20 kV vodove i n.n. mreže sa SKS. Iskustvo je pokazalo da je pad golih vodiča na, zbog dugotrajnih suša osušenu travu, često bio uzrok požara vrijednih borovih šuma.

Konačno, dozvola Elektroprivrede Francuske da se na stupovima na kojima je izvedena n.n. mreža i priključci, pa i 20 kV vodovi može povući i telefonski priključak do potrošača znatno je smanjila troškove telefonskog priključka i omogućila povećanje broja telefonskih pretplatnika. Udaljenost na zajedničkim uporištima je normalno 0,25 m, može iznositi 0,05 m, a u najnepovoljnijem slučaju mogu se i dodirivati, razumije se, uz dodatnu mehaničku zaštitu. Kod donošenja takve odluke mislilo se i na zaštitu čovjekove okoline, jer se tako umjesto tri stupa (n.n. mreža, javna rasvjeta, telefon) postavio samo jedan.

B. Mr.



Zamjene transformatora u TS 35/10 kV — Vrata

PRIJELAZ NA NAPON 35 kV U GORSKOM KOTARU

Tijekom prošlih godina distributivna je mreža na području »Elektroprimorja« Rijeka postepeno prelazila sa 30 na 35 kV. U zadnjoj fazi programa preostale su dionice u Gorskome kotaru i na području Opatije.

Krajem 1978. godine u potpunosti su završeni radovi na rekonstrukciji distributivne mreže sa 30 na 35 kV napon na području Gorskog kotara. Prijelaz na 35 kV naponski nivo najprije je izveden u TS 30/10 kV Vrata. Danas je u TS Vrata sabirni sistem II pod naponom 35 kV i preko toga sistema napaja se TS Vrata (jedan transformator), zatim TS 35/6 kV »Drvenjača« i HE »Fužine«. Od Plasa do Drvenjače već je ranije pušten dalekovod 35 kV, jer je i transformatorska stanica u Drvenjači tako građena.

Uvođenjem 35 kV napona u TS Vrata zatvoren je prsten Vinodol — Drvenik — Vrata — Drvenjača — Plase preko kojeg se električnom energijom opskrbljuje konzum tog područja.

U drugoj etapi prijelaza na 35 kV u Gorskome kotaru obuhvaćena su ova postrojenja:

— uređen je kabelski izlaz u HE »Nikola Tesla«, i to prema Vratima, tako da i drugi vod ima napon 35 kV,

— nakon izvedene rekonstrukcije u EVP Lokve napajanje će se vršiti naponom 35 kV,

— u TS Delnice obavljena je zamjena transformatora, a u TS Gerovo izvršena je zamjena 10 kV opreme i ova transformatorska stanica prešla je na 35/20 kV. Nadalje, i u TS Kupjak izvršena je zamjena transformatora.

Kao posljednje je bilo preuređenje u TS Vrbovsko, u kojoj je postavljen autotransformator snage 20 MVA. Time je stvorena mogućnost da se i iz TS Vrbovsko dobije napon 35 kV. Tom rekonstrukcijom posve je završen program prijelaza s 30 na 35 kV napon u Gorskome kotaru.

Na području »Elektroprimorja« preostalo je još samo područje Opatije, koje mora preći na 35 kV.

I. R.

ISKORIŠTENJE UGLJENA IZ LEŽIŠTA KOROMAČNO

Utvrđenje rezerve ugljena u ležištu Koromačno kreću se u veličini od oko 13 milijuna tona, što predstavlja vrlo dragocjeno domaće gorivo, na temelju kojeg je moguće, za potrebe elektroenergetskog sistema Hrvatske, izgraditi termoelektranu snage 300 MW. Korištenja te snage 5 000 sati godišnje proizvelo bi se oko 1 500 GWh svake godine u takvoj termoelektrani.

Planirana potrošnja električne energije za podmirenje ukupnih potreba elektroenergetskog sistema Hrvatske za 1979. godinu iznosi 11 000 GWh, a proizvodnja spomenute termoelektrane snage 300 MW na bazi ugljena iz ležišta Koromačno bila bi 1 500 GWh, što predstavlja oko 14% podmirenja

ukupnih potreba u Hrvatskoj za 1979. godinu. Ta količina električne energije bila bi velik doprinos za rad našeg elektroenergetskog sistema.

Jasno je da stalnim porastom potrošnje električne energije u idućim godinama taj udio pomalo opada, ali uvijek ostaje značajan za naš elektroenergetski sistem prvenstveno iz razloga što je to domaće gorivo. Osim toga ta bi termoelektrana snage 300 MW imala još dugo značajnu ulogu u našem elektroenergetskom sistemu. Za ukupnu godišnju proizvodnju od 1 500 GWh potrebno je 600 000 tona ugljena. U novom petogodišnjem planu razvoja elektroprivrede Hrvatske svakako bi trebalo uvrstiti i TE Koromačno.

I. R.

PRERADA NAFTE U RAFINERIJAMA INE

Plan prerade sirove nafte u rafinerijama INE za 1979. godinu predviđen je u količini od 12 milijuna tona. Devet milijuna osigurati će se iz uvoza, a tri iz domaćih izvora. U odnosu na prošlu godinu plan za 1979. predviđa povećanje za 25%.

Uz povećanje prerade, rafinerije INE Rijeka i Sisak usvojile su i programe proširenja kapaciteta, a istovremeno otvaranje i novih postrojenja u postojećim rafinerijama.

Za naše potrebe ukupno će sve rafinerije preraditi oko 18,7 milijuna tona. To je za 8 posto više od plana 1978. godine. Glavni dio nafte nabavit će se iz uvoza 14,5 milijuna tona, a domaća naftna polja dala bi oko 4,2 milijuna tona.

PROŠIRENJE 110 kV MREŽE KRK-KOPNO

Današnja opskrba konzuma otoka Krka električnom energijom obavlja se dalekovodom 110 kV Crikvenica — Krk. Vodom jednakog napona vezan je Krk s otokom Cresom, ali je u pogonu sa 35 kV, dok se ne izgradi odgovarajuća transformatorska stanica na Cresu.

S obzirom na stalni porast konzuma područja Krka, gdje se grade veliki industrijski kapaciteti, potrebno je proširiti prijenosnu mrežu. Uskoro će glavni potrošači biti postrojenja Petrokemije — »DINA«, u Omišlju, most Krk — kopno, naftovod koji vodi od Omišlja do terminala Sisak, zatim tankerska luka Omišalj. Zbog svega toga i ubrzanog razvoja turizma nužno je što hitnije pristupiti gradnji novih prijenosnih objekata.

RO »Elektroprivreda« Rijeka planirala je gradnju dvostrukog dalekovoda 110 kV TS Melina — Kraljevica — TS Omišalj — TS Krk. Početak gradnje ubrzat će se, i već je ugovorena izrada glavnog projekta s rokom dovršenja do lipnja 1979. Građevni radovi početi će već ove godine. Dalekovod treba biti pušten u pogon u rujnu 1980.

Osim gradnje novog dalekovoda koji će vezati otok Krk s kopnom, predviđene su ubuduće 110 kV veze i na drugim otocima, i to;

- HE Senj — Baška (otok Krk)
- Baška — Lopar (otok Rab)
- Lošinj — Rab,
- Rab — Jablanac,
- Rab — Stara Novalja i Karlobag — Pag.

I. R.

ZNAČAJNA INVESTICIONA ULAGANJA

Investicijska djelatnost OOUR-a »Elektre« Varaždin u 1978. godini ostvarena je uspješnim rezultatima. Ukupno je investirano oko 13 milijardi starih dinara, od čega vlastita sredstva 3,8 milijarde. Izgrađeni su i pušteni u pogon mnogi novi objekti, te izvršena rekonstrukcija dotrajalih prijenosnih postrojenja i niskonaponske mreže u većem broju naselja.

Jedan od najvažnijih objekata je TS 110/35/10 kV Varaždin za koju su izrađeni projekti i izvršene sve pripreme za početak gradnje. S građevinarima je potpisan ugovor o gradnji i o nabavi transformatora i druge elektroopreme. Za ovaj objekt osigurana su sredstva u visini od oko 4,5 milijarde starih dinara.

Varaždinska »Elektra« predviđa gradnju i druge TS 110/35 kV, locirane u južnom dijelu Varaždina. U bližoj budućnosti gradit će se na području Novog Marofa i treća TS 110/35 kV.

Glavni dio montažnih zahvata na pojedinim objektima obavile su stručne službe »Elektre«.

U poduzeću je danas zaposleno 330 radnika, od čega je dobar dio s odgovarajućim stručnim kvalifikacijama.

U prošloj godini otvoren je odjel Zaštitne radionice u kojoj će raditi radnici »Elektre« koji više nisu sposobni za terenski rad. Dan OOUR »Elektre« proslavljen je na svečan način 16. prosinca 1978. U okviru proslave uručene su nagrade članovima kolektiva koji su proveli na radu 30, 25, 15 i 10 godina, kao i novčane nagrade umirovljenicima.

I. R.

NOVA NALAZIŠTA UGLJENA ZA TE PLOMIN I I PLOMIN II

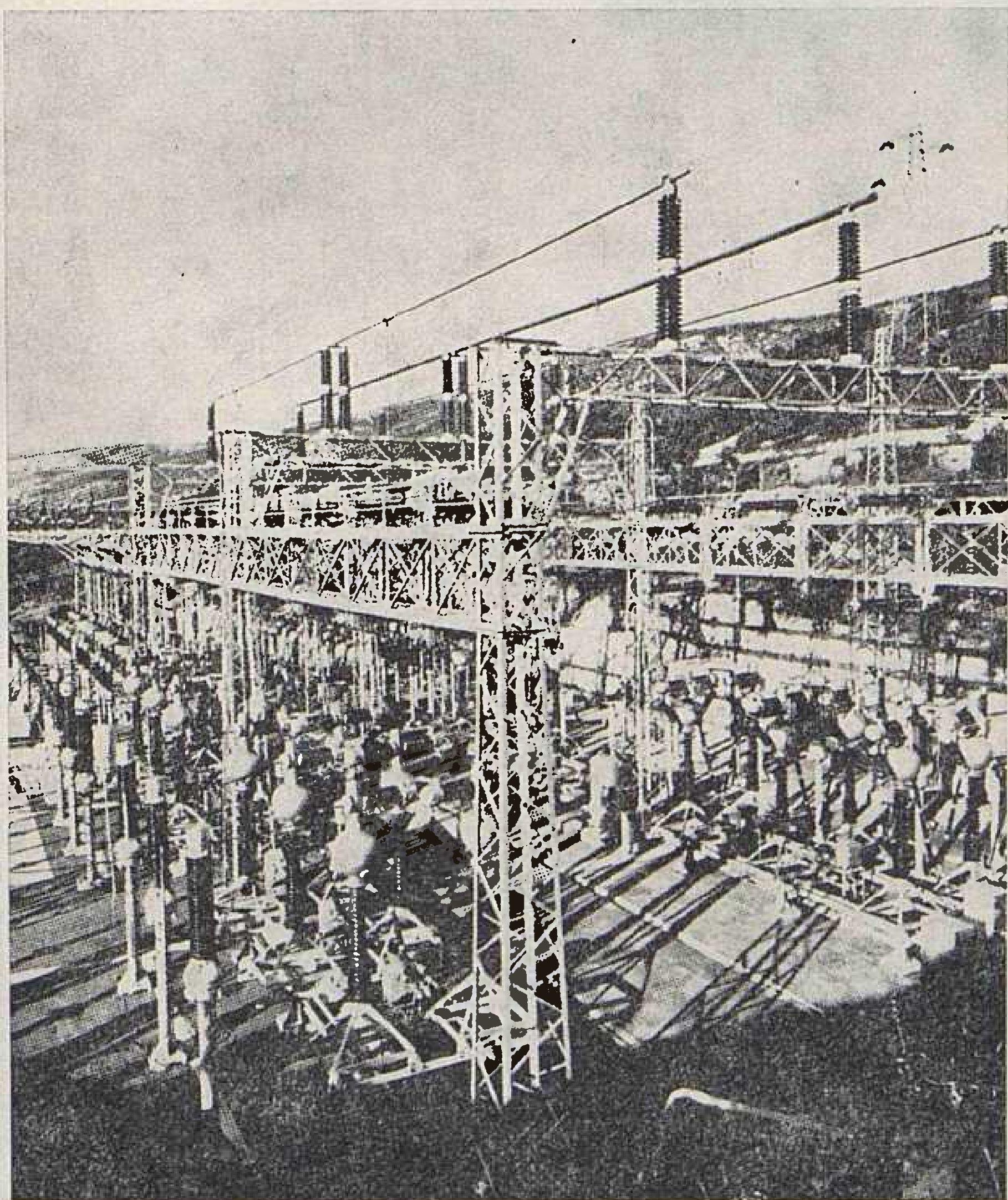
Program istraživanja i utvrđivanja rezervi kamenog ugljena na području Istre od 1977. do 1982. godine kojeg zajednički provode RO »Elektroprivreda« Rijeka, Istarski ugljenokopi »Raša« Labin i Općina Labin u prvoj fazi ostvareni su povoljni rezultati. U prvi plan ušla su istraživanja radi utvrđivanja ugljenih rezervi na području Ripenda — Plomin. Na tome području procjenjene su rezervne količine oko 18,5 milijuna tona. Istovremeno vršena su ispitivanja nalazišta na području Tupljaka gdje su rezerve oko 3,5 milijuna tona.

U jami »Ripenda« počela je eksploatacija i do kraja 1978. iskopano je oko 40 000 tona ugljena kojim će se koristiti TE Plomin I.

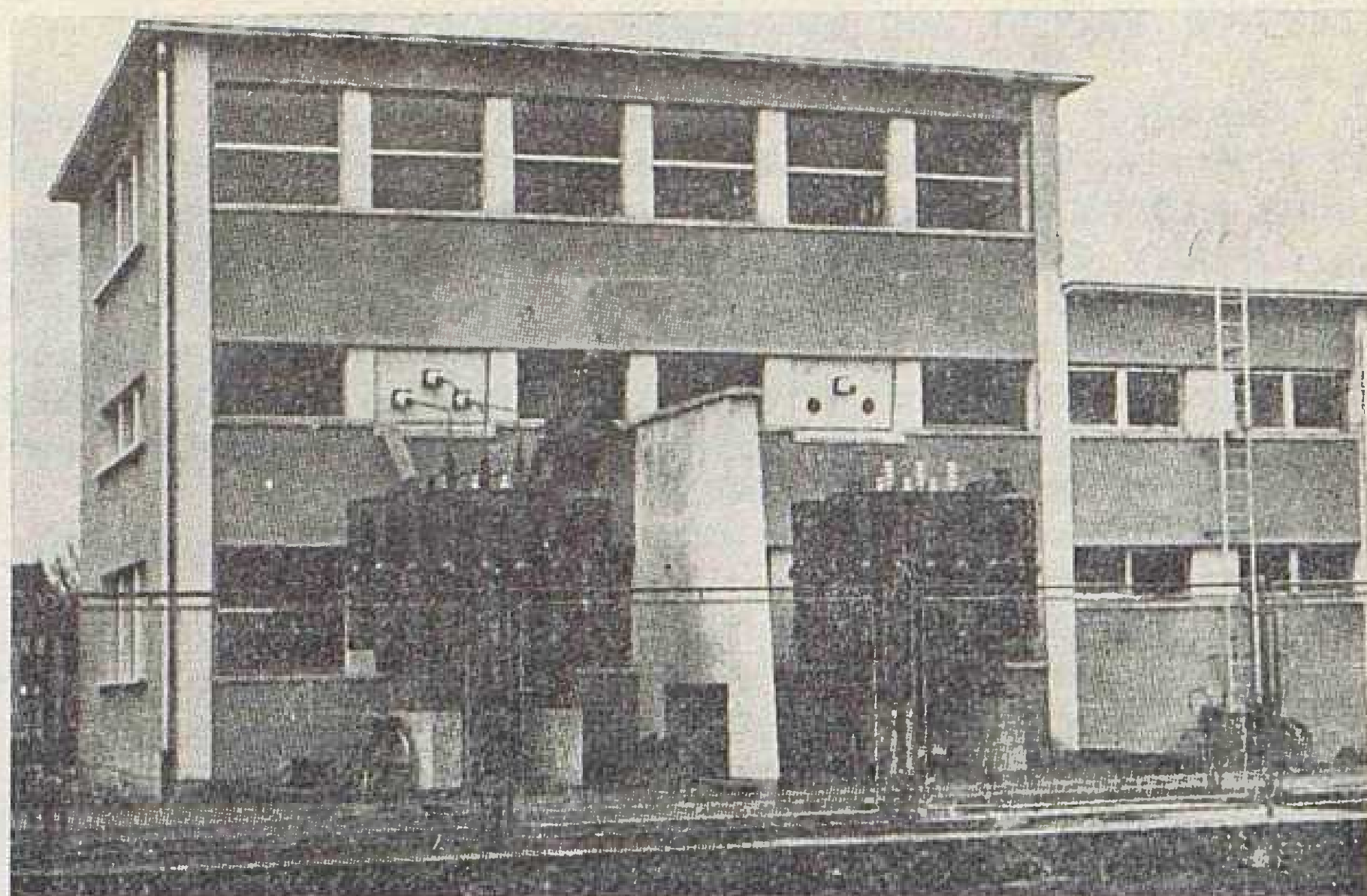
Nova nalazišta ugljena u području Labinštine osiguravaju pogonsko gorivo TE Plomin I.

Daljnjim otvaranjem jama stvara se povoljna mogućnost opskrbe ugljenom i buduće TE Plomin II.

Već dulje se razmatra pitanje gradnje TE Plomin II, snage 150 MW, s mogućom godišnjom proizvodnjom do 900 GWh. U program izgradnje elektroenergetskih objekata SR Hrvatske gradnja te termoelektrane uvrštena je uvjetno. Prije konačne odluke treba osigurati stalne količine goriva i utvrditi cijene te osigurati potrebne investicije.



Završni radovi 400 kV mreže



TS 35/10 kV na području »Elektre« — Varaždin

S obzirom na deficitarnost konzuma Hrvatske, koji je u stalnom porastu, treba ubrzano nastaviti rad na otvaranju novih jama u rudarskom bazenu Labina. U financiranju istraživanja i otvaranja novih ugljenokopa sudjelovat će i Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske.

Stručnjaci »Elektroprivrede« Rijeka pripremili su tehničku dokumentaciju za ugradnju bloka snage 150 MW u buduću TE Plomin II.

Veza termoelektrane s glavnim potrošačkim centrima Pula i Rijeka ostvarit će se dalekovodima napona 220 kV. Radi zaštite okoline od zagađivanja štetnih sastojaka iz dimnih plinova predviđeno je da se uz novu termoelektranu sagradi dimnjak visok 250 m, što je dvostruko više od današnjega dimnjaka TE Plomin I.

I. R.

REORGANIZACIJA »DALEKOVODA«

Članovi kolektiva »Dalekovoda« iz Zagreba usvojili su referendumom Samoupravni sporazum o udruživanju rada i sredstava u nove osnovne organizacije u okviru Radne organizacije »Dalekovod«. Od 1. siječnja 1979. poslovanje će se odvijati u sedam osnovnih organizacija i jednoj radnoj zajednici. Organizaciona shema izgleda:

- OOUR Marketing — inženjering,
- OOUR Izgradnja — Dalekovod,
- OOUR Proizvodnja ovjesne i spojne opreme
- OOUR Proizvodnja metalnih konstrukcija
- OOUR »Elektromontaža«
- OOUR »Dalekovod-projekt« i
- OOUR Transport, te Radna zajednica Zajedničke službe.

NOVA LJEVAONICA

Postojeća ljevaonica obojenih metala »Dalekovoda« na Žitnjaku u Zagrebu postala je pretijesna s obzirom na potrebe povećane proizvodnje. Od početne proizvodnje, koja je iznosila 30 tona odljevaka godišnje, danas je proizvodnja dosegla količinu 400 tona.

U poduzeću je odlučeno da se što prije pristupi izgradnji nove ljevaonice i da se opremi suvremenom opremom. Za novi pogon izabrana je lokacija na području općine Velika Gorica. Po izrađenom projektu ljevaonica će biti smještena u hali veličine 25 × 110 m, u kojoj će biti transformatorska stanica, skladište sirovina, proizvodnja, skladište gotovih odljevaka i druge pomoćne prostorije.

Potrebne investicije za nabavu opreme i potrebne radove iznose oko 30,4 milijuna novih dinara.

U novom pogonu proizvodit će se otkivci i odljevi u količini od oko 820 tona, potrebni za daljnju doradu ovjesne i spojne opreme.

I. R.

ZAVRŠNI RADOVI 400 kV MREŽE »NIKOLA TESLA«

Izgradnja prstena 400 kV »Nikola Tesla« na području »Elektroprivrede« Rijeka i OOUR-a »Elektroprenos« Matulji ulazi u završnu fazu.

Dionica dalekovoda 400 kV TS Melina — granica SR Slovenije, dužine 25,7 km, završena je i već je obavljen tehnički pregled. Dalekovod je izveden na 89 čelično-rešetkastih stupova prosječne težine 17 tona, te prosječne visine stupa 25 m.

U prvoj fazi vod ide pod napon 220 kV do izgradnje druge etape TS 400/220/110 kV Melina.

Završeni su radovi i na dionici voda 400 kV TS Melina — RP Brinje, oko 57,2 km.

Na preostaloj dionici 400 kV RP Brinje — Zrmanja, 121,2 km, građevni dio je dobrim dijelom završen, tako da se intenzivno radi na montažnim poslovima. Sredinom ove godine ova će dionica biti posve završena.

Na navedenim dionicama kompletnu izgradnju izvode stručnjaci zagrebačkog poduzeća »Dalekovod«.

I. R.

PLANIRANA IZGRADNJA U »ELEKTROPRIVREDI«, ZAGREB

Poduzeće za proizvodnju i prijenos električne i toplinske energije »Elektroprivreda«, Zagreb planira gradnju više prijenosnih objekata u 1979. do 1980. godine. U prvom planu su TS 110/10 kV Zagreb Jug II koja treba da ide u pogon u IV kvartalu 1980. godine; a u toku je i izrada glavnih projekata i ugovaranje opreme za gradnju TS 110/20 kV Samobor i TS 110/20 kV Dugo Selo. Planirano je da obje te transformatorske stanice budu završene do kraja 1980. godine. Investicije za ova prijenosna postrojenja osiguravaju zajednički poduzeća »Elektroprivreda« Zagreb i »Elektra« Zagreb.

U TS 110/35 kV Rakitje izvest će se proširenje. Već se radi na izradi projekata i ugovaranju opreme.

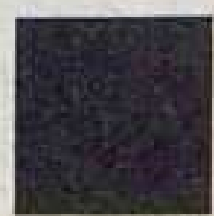
U okvirima ovog programa dovršeni su građevni radovi, a montaža ulazi u završnu fazu na gradnji DV 110 kV TS 400/110 kV Zagreb I — Južni Zagreb TS 110/10 kV. Vrijednost investicija za taj objekt iznose oko 45,5 milijuna novih dinara.

I. R.



ELEKTROPRIVREDA ZAGREB

PODUZEĆE ZA PROIZVODNJU, PRIJENOS I KUPOPRODAJU
ELEKTRIČNE I TOPLINSKE ENERGIJE



ZAGREB, Proleterskih brigada 37 • Telefon: 513-072 i 513-822

H. POŽAR: OSNOVE ENERGETIKE, II svezak.

Izdavač »Školska knjiga«, 1978. Opseg 748 strana, tvrdi uvez

Izdanjem druge knjige završeno je opširno djelo prof. Požara o osnovama energetike. Ove dvije knjige mogu poslužiti kao baza za razumijevanje energetskih problema današnjice. Prvi svezak obrađuje primarne konvencionalne i nekonvencionalne oblike energije, transformacije kemijske i nuklearne energije u unutrašnju kaloričku energiju.

Drugim je pak sveskom obuhvaćena transformacija unutrašnje kaloričke i potencijalne energije u mehaničku, transformacija mehaničke u električnu i neposredne transformacije u električnu energiju.

Drugi svezak, kao i prvi, ima također 6 poglavlja.

U VII poglavlju (prvo poglavlje drugog sveska) obuhvaća transformaciju unutrašnje termičke u mehaničku energiju. Nakon pregleda općih zakona termodinamike obrađeni su redom: stapni strojevi s plinovitom djelatnom tvari (motori s unutrašnjim sagorijevanjem), stapni parni strojevi, parne i plinske turbine.

Omso poglavlje obuhvaća transformaciju potencijalne energije vode u mehaničku energiju.

Poglavlje počinje s osnovama hidraulike, zatim se govori o hidrostrojevima: vodnim turbinama, centrifugalnim pumpama i pumpama-turbinama.

U slijedećem je poglavlju obrađena transformacija mehaničke u električnu energiju. U uvodnom dijelu ovog poglavlja govori se o elektromehaničkoj energetskoj transformaciji i energetskim odnosima u električnim strojevima. Obrađeni su sinhroni generatori, a razmjerno veliki je prostor posvećen suprovodljivosti i njenoj primjeni u izgradnji suprovodljivih generatora budućnosti.

Neposredna transformacija u električnu energiju obrađena je u X poglavlju. Tim su poglavljem obuhvaćene: termoelektrička transformacija, termoionska i fotoelektrična transformacija i neposredna transformacija kemijske u električnu energiju. Na kraju se govori o magnetohidradinamičkim generatorima.

Iskorištenju energije posvećeno je XI poglavlje. Govori se o energetskim bilancama i energiji potrebnoj za opskrbu potrošača. Jedno od poglavlja govori o nekim mogućnostima da se poboljša iskorištenje i smanji potrošnja energije.

Posljednje XII poglavlje posvećeno je pitanju energetike i okoliša.

Posebno je obrađen problem zagađivanja zraka izgaranjem, a zatim difuzija zagađivača u atmosferi, fotokemijsko zagađivanje, termičko zagađivanje okoliša i problemi zagađivanja radioaktivnim zračenjem. Kao što se iz ovog kratkog sadržaja vidi, djelo vrlo kompleksno obuhvaća probleme transformacije energije. Pisano vrlo sistematično i pregledno može poslužiti kao udžbenik i kao priručnik svakome tko dolazi u dodir s energetskim problemima. Knjiga može izvrsno poslužiti i širem krugu stručnjaka, a ne samo studen-

tima i inženjerima energetičarima. Zbog svojeg jasnog i sažetog izlaganja može biti dragocjeni izvor objašnjenja pojmova i podataka i za netehničara. Knjiga se može toplo preporučiti, jer nešto slično nema u našoj literaturi, a teško je naći i u inozemnoj.

B. M.

GRUPA AUTORA: WIRTSCHAFTLICHE ENERGIEANWENDUNG

Izdavač: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1978. Opseg 405 stranica, 282 slike i 72 tablice, format 148×210, tvrdo ukoričeno 45.-DM (broj za narudžbu: 541 436 2)

Knjiga obuhvaća sve bitne strane primjene energije, te industrijsku opskrbu energijom.

Namijenjena je energetičarima, konstruktorima, projektantima, tehnolozima i ekonomistima.

Cijela materija podijeljena je u 7 poglavlja.

U uvodnom se dijelu (1. poglavlje) govori o osnovnim energetskim pojmovima u svjetlu tehnike i ekonomike, općenito o ekonomičnoj primjeni energije, vezi između energije i razvoja produktivnih snaga, te planiranju primjene energije.

2. je poglavlje posvećeno principima primjene energije. Obrađena je supstitucija nosilaca energije u proizvodnji korisne energije, zatim toplinska, mehanička i elektrokemijska energija, te energija svjetla. Govori se o principima vođenja planiranja i organizacije energetske primjene.

U 3. poglavlju obrađene su osnove ekonomske dobave nosilaca energije u području industrije. Materija je podijeljena u 2 potpoglavlja: Tehničko-ekonomska gledišta pri proizvodnji odnosno dobavi nosilaca energije i Tehničko-ekonomska gledišta pri unutarnjoj razdiobi energije.

4. poglavlje govori o racionalnoj primjeni energije pri pokriću potreba korisne energije. Posebno je obuhvaćen prijenos i upotreba toplinske, mehaničke, svjetlosne i elektrokemijske energije.

U 5. su poglavlju obrađene metode za obrađivanje potreba za energijom uz razmatranje supstitucije nosilaca energije.

Kompleksnom korištenju sekundarne energije posvećeno je 6. poglavlje knjige. Obrađeni su kriteriji kvalitete i mogućnosti upotrebe, kao i ekonomski efekti proizvodnje sekundarne energije.

Knjiga završava poglavljem 7, koje govori o ekonomsko-energetskim analizama procesa.

Kao što se iz sadržaja vidi, knjiga razrađuje široki raspon tehničko-ekonomskih problema energetike i može se preporučiti onima koji na bilo koji način dolaze u vezu s takvim problemima.



MARIO MIŠKOVIĆ

Od posljedica prometne nesreće umro je 19. ožujka 1979. dipl. ing. Mario Mišković, izvanredan čovjek, drug i rukovodilac, generalni direktor distributivnog poduzeća »Elektroistra« u Puli.

Rođen je 1932. godine u Banjolama kraj Pule u siromašnoj ribarskoj i radničkoj obitelji. Život-

ni mu je put bio težak i mukotrpan kao mnogima iz njegove generacije. U vrijeme rata stavio se 1943. na raspolaganje savezničkoj vojsci i Jugoslavenskoj narodnoj armiji u borbi za oslobođenje zemlje, a posebno Istre koju je toliko volio. Radio je kao radnik u Arsenalu u Uljaniku, a zatim pohađao Tehničku školu na Rijeci, koju je završio 1949. Ponovno se vratio u Uljanik, da bi se nakon kraćeg vremena nastavio školovati na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu. Diplomirao je 1956. i kao inženjer vratio se u Istru te zaposlio u elektrodistributivnom poduzeću za Istru u Puli. Njegova inženjerska aktivnost počela je u vrijeme najjačeg zamaha elektrifikacije Istre.

Počeo je kao projektant dalekovoda i transformatorskih stanica, zatim je postao šef pogonsko-energetskog odijela, tehnički rukovodilac poduzeća, a u posljednja dva mandata biran je za direktora radne organizacije »Elektroistra« u Puli.

Godine 1964. postao je član Saveza komunista Jugoslavije i posebno se zalagao za razvoj samoupravljanja i provođenja Ustava.

Inženjer Mišković bio je vrlo skroman i radin stručnjak velikog iskustva. U svom radnom kolektivu uvijek je nastojao primjeniti najnovija tehnička dostignuća kako bi elektrodistribuciju Istre podigao na što viši tehnički nivo i kadrovski je ojačao.

Bio je vrlo omiljen i cijenjen u svojoj radnoj organizaciji i cijeloj Istri, a kao istaknuti stručnjak i rukovodilac i u elektreprivredi Hrvatske.

Inženjer Mišković bio je dugogodišnji član izdavačkog savjeta našeg časopisa i velik prijatelj Instituta.

Za njegove zasluge odlikovao ga je Predsjednik Republike Ordenom rada sa srebrnim vijencem.

Zbog svojih ljudskih vrlina i stručnosti ostat će nam u trajnoj uspomeni.



VLADIMIR ZLOKOVIĆ

Iznenada je u svojoj sedamdesetoj godini umro 23. siječnja 1979. Vladimir Zloković, dipl. elektrostrojarski inženjer i dugogodišnji suradnik časopisa.

Svojim neumornim i savjesnim radom znatno je pridonio razvoju elektroprivrede Jugoslavije, naročito na području racionalne upotrebe električne energije i elektrodistributivne djelatnosti.

Po svome stručnom, znanstvenom i istraživačkom radu bio je poznat u svim elektroprivrednim krugovima, pa je za svoj istraživački rad dobio brojna priznanja.

Svoje veliko iskustvo koristio je kao sekretar Jugoslavenskog komiteta za elektrotermiju i elektrokemiju, u UNIPEDE (Međunarodna unija proizvađača i distributera el. energije) i u Savezu inženjera i tehničara Jugoslavije.

Savjestan, radin, srdačan i human bio je do posljednjeg trenutka.

Inženjera Vladimira Zlokovića zadržat ćemo u trajnom sjećanju.

STRUČNI ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE
HRVATSKE

energija

Izdavači:

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

IZDAVAČKI SAVJET

Borivoj Baranović, dipl. ing., »Elektroprivreda« Zagreb — Dragutin Stanić, dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Združeno poduzeće, Split — Enco Tirelli i Boris Simončić, dipl. ing., »Elektroprivreda« Rijeka — Đuro Furač, dipl. ing., HE Senj — Petar Kuzele, dipl. ing., »Elektra«, Zagreb — Ivan Cvitan, dipl. ing., »Elektra«, Sisak — Ivo Božin, dipl. ing., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Zorko Cvetković, Elektroprenos, Zagreb — Šimun Šimundža, dipl. ing., »Elektrodalmacija«, Split — Anđelko Dujmović, pravnik, »Elektroslavonija«, Osijek — Mario Mišković, dipl. ing., »Elektroistra«, Pula — Branko Mrakovčić, dipl. ing., »Elektroprimorje«, Rijeka — Marko Šimunović, dipl. ing., »Elektra«, Karlovac

GLAVNI UREDNIČKI ODBOR

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

Redakcija završena 10. lipnja 1979.

Godište 28

Zagreb 1979

Broj 5—6

SADRŽAJ

Znanstveno-stručni članci	(127 do 200)
Požar, H. — Udovičić, B — Alerić, S.: Energetska vrijednost energije i snage hidroelektrana . .	127
Udovičić B.: Potrebe i mogućnosti izgradnje elektrana u Hrvatskoj za podmirenje potrošnje električne energije u budućnosti	139
Markovčić B.: Prijeratna elektrifikacija sjeverne Hrvatske	147
Sirotić Z.: Proizvodnja sinhronih generatora u Jugoslaviji	155
Fagarazzi A.: Izbor sheme modernih gradskih transformatorskih stanica 110/10 i 110/20 kV s obzirom na koncepciju mreže i pouzdanost napajanja	157
Crnčić M.: Racionalno korištenje električne energije u domaćinstvu	171
Kavur V.: Važost i mjesto informacija o elektroenergetskom procesu u hijerarhijskoj strukturi informacionog sistema	179
Matanić D.: Rješavanje problema pulzacija u ložištu kotla 7 u EL—TO u Zagrebu kod loženja zemnim plinom	187
Herr: S. Gornja temperaturna granica primjene feritnog materijala 10 CrMo	193
Širom svijeta	201
Vijesti iz elektroprivrede	203
Obavijesti proizvođača	204

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

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 511-455, 513-822 (328)

Godišnje izlazi 12 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 150 novih dinara, a za poduzeća i ustanove 600 novih dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 60 novih dinara.

Za inozemstvo \$ 50 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišei: Grafički zavod Hrvatske, Zagreb,
Frankopanska 26.

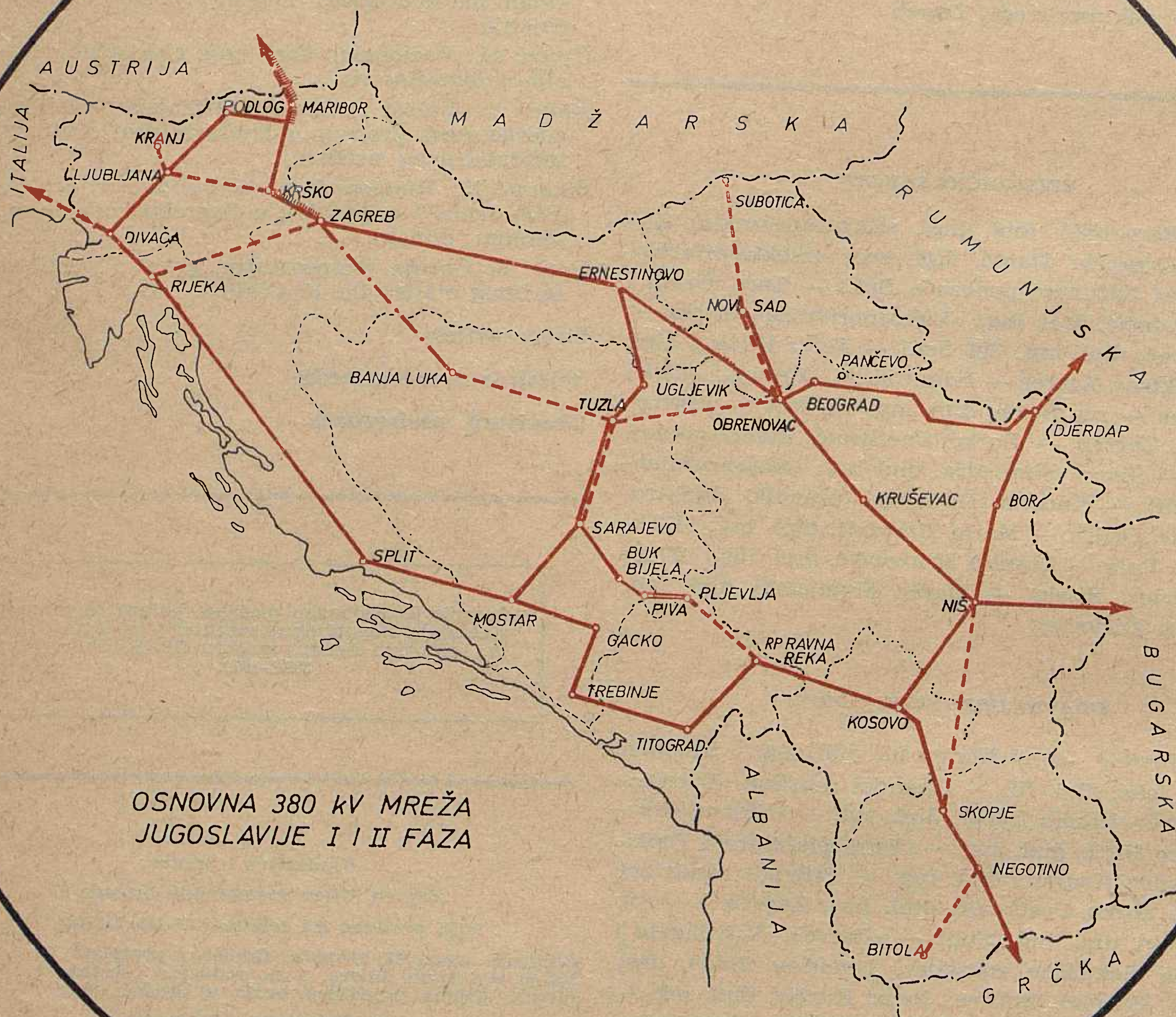
ZAJEDNICA JUGOSLOVENSKE ELEKTROPRIVREDE



S ELEKTROPRIVREDNIM ORGANIZACIJAMA REPUBLIKA I POKRAJINA UDRUŽENIM
U ZAJEDNICU:

- Elektroprivreda Bosne i Hercegovine;
- Elektroprivreda Crne Gore;
- Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske;
- Elektrostopanstvo Makedonija;
- Elektrogospodarstvo Slovenije;
- Elektroprivreda Srbije;
- Elektroprivreda Kosova;
- Elektroprivreda Vojvodine;

S ORGANIZACIJAMA U NJIHOVOM SASTAVU I OSTALIM ORGANIZACIJAMA UDRUŽENIM
U ZAJEDNICU KOJA SE BAVI UNAPREĐENJEM ELEKTROPRIVREDNE DELATNOSTI



OSNOVNA 380 kV MREŽA
JUGOSLAVIJE I I II FAZA

ENERGETSKA VRIJEDNOST ENERGIJE I SNAGE HIDROELEKTRANA

Hrvoje P o ž a r , Božo U d o v i č i ć , i Slavko A l e r i ć , Zagreb

UDK 620.9 : 621.311.21

Prikazana je metoda kojom se može dovoljno objektivno utvrditi energetska vrijednost hidroelektrana. Poznavajući potrebne investicije i godišnje stalne troškove promatrane hidroelektrane, mogu se usporediti hidroelektrane među sobom i opravdati izgradnju optimalne.

1. ENERGETSKA VRIJEDNOST HIDROELEKTRANE

Razmatranje energetske vrijednosti hidroelektrane neovisno o elektroenergetskom sistemu, kojeg će — nakon njezine izgradnje — postati sastavni dio, ne može poslužiti kao osnova za donošenje odluke o opravdanosti njezine izgradnje. To vrijedi bez obzira na kriterij prema kojemu se vrednuje hidroelektrana. Energetska vrijednost hidroelektrane ovisi, naime, ne samo o njezinim karakteristikama (moguća proizvodna, maksimalna snaga, postojanje akumulacijskog bazena i njegov volumen, vremenski raspored prirodnih protoka, vjerojatnost pojave protoka itd.) nego i o karakteristikama elektroenergetskog sistema (vremenski raspored potražnje, oblik dijagrama opterećenja, karakteristike svih postojećih hidroelektrana i termoelektrana, udio hidroenergije u sistemu, tip i karakteristike termoelektrana koje će se graditi u sistemu itd.). Tome treba dodati i utjecaj razvoja elektroenergetskog sistema, jer taj razvoj može imati — kako će se još vidjeti — znatan utjecaj na vrijednost hidroelektrane.

Sve to pokazuje da vrijednost hidroelektrane nije moguće odrediti bez detaljne analize odnosa u promatranom elektroenergetskom sistemu, jer se ni karakteristike hidroelektrane ne mogu prikazati s nekoliko parametara, a kamoli karakteristike elektroenergetskog sistema.

Zbog toga je nužno primijeniti metodu simulacije, pa odrediti prilike u elektroenergetskom sistemu, jednom uz pretpostavku da ne postoji promatrana hidroelektrana, a drugi put uz pretpostavku da je ta hidroelektrana izgrađena. Iz takvih dviju analiza dobiva se utjecaj promatrane hidroelektrane na elektroenergetski sistem, koji se može prikazati trima veličinama: smanjenjem potrebne snage termoelektrane za zadovoljenje potražnje, smanjenjem potrebne proizvodnje u termoelektranama i promjena količine energije koja se ne isporučuje potrošačima zbog toga jer se sistem ne gradi normalno, tako da se potražnja u svim situacijama može u potpunosti zadovoljiti.

Potrebna snaga termoelektrana određuje se prema sigurnosti opskrbe potrošača koja se želi u sistemu ostvariti, a ta snaga ovisi kako o karakteristikama promatrane hidroelektrane, tako i o karakteristikama sistema. To vrijedi i za smanjenje potrebne proizvodnje u termoelektranama i za promjenu reduciranih količina energije.

Efekti izgradnje hidroelektrane mogu se prikazati i novčanim iznosima, pa se energetska vrijednost hidroelektrane izračunava iz relacije

$$E = r b_t P_{th} + K_{th} + K_r, \quad (1)$$

gdje je r faktor rezerve u termoelektranama ($r > 1$), b_t specifični godišnji troškovi snage termoelektrana koje se normalno grade u sistemu (dodatne termoelektrane), P_{th} smanjenje potrebne snage u termoelektranama zbog izgradnje promatrane hidroelektrane (to je raspoloživa snaga na izlazu iz termoelektrane), K_{th} smanjenje troškova za gorivo u termoelektranama sistema takodjer zbog izgradnja promatrane hidroelektrane, a K_r promjena šteta zbog redukcija energije (ako se izgradnjom nove hidroelektrane postiže smanjenje tih šteta, K_r ima pozitivni predznak).

Vrijednost P_{th} , K_{th} i K_r mogu se odrediti detaljnom analizom prilika u sistemu. Metoda analize bit će opisana.

Iz omjera energetske vrijednosti hidroelektrane i godišnjih troškova u promatranom hidroelektrani dobiva se relativna ekonomska vrijednost hidroelektrane e , pa je

$$e = E/K_h, \quad (2)$$

gdje su K_h godišnji troškovi hidroelektrane. Ta relativna vrijednost omogućuje usporedbu među hidroelektranama i usporedbu hidroelektrana s termoelektranama koje se normalno grade u sistemu. Ona je hidroelektrana, naime, ekonomski povoljnija koja ima veću relativnu vrijednost, a samo su one hidroelektrane ekonomski povoljnije od dodatnih termoelektrana koje imaju relativnu ekonomsku vrijednost veću od 1. Tada se, naime, izgradnjom hidroelektrana postiže sniženje troš-

kova u sistemu, jer su uštede u sistemu veće od povećanja troškova ($E > K_h$). Nasuprot tome, ako je relativna vrijednost hidroelektrane manja od 1, povoljnije je graditi dodatne termoelektrane nego promatranu hidroelektranu.

Na isti način mogu se uspoređivati i različiti tipovi termoelektrana. I tada kao baza za usporedbu služi onaj tip termoelektrana koji je odabran kao tip dodatnih termoelektrana.

2. UTJECAJI NEKIH KARAKTERISTIKA HIDROELEKTRANA I SISTEMA NA VRIJEDNOST HIDROELEKTRANA

Da se pokaže utjecaj karakteristika hidroelektrana na njihovu energetska vrijednost, izračunata je vrijednost dviju hidroelektrana koje imaju jednake prosječne godišnje protoke, ali različiti vremenski raspored protoka. Osim toga mijenjana je instalirana snaga tih hidroelektrana da bi se utvrdio utjecaj te snage na ekonomsku vrijednost.

Uz definirane karakteristike postojećih hidroelektrana u sistemu promatran je razvoj sistema s povećanjem potražnje, kako bi se odredio utje-

caj povećanja potražnje i smanjenja udjela hidroenergije na energetska vrijednost promatranih hidroelektrana. Osim toga, jednom je pretpostavljeno da su dopunske termoelektrane konvencionalne termoelektrane na bazi ugljena, a drugi put da se kao dopunske termoelektrane grade nuklearne elektrane. Ta se dva tipa termoelektrana, s obzirom na vrijednost hidroelektrana, znatno međusobno razlikuju jer konvencionalne termoelektrane imaju niže stalne troškove (niže specifične investicije), a veće specifične troškove za gorivo, dok nuklearne elektrane imaju više stalne troškove, a niže specifične troškove za gorivo.

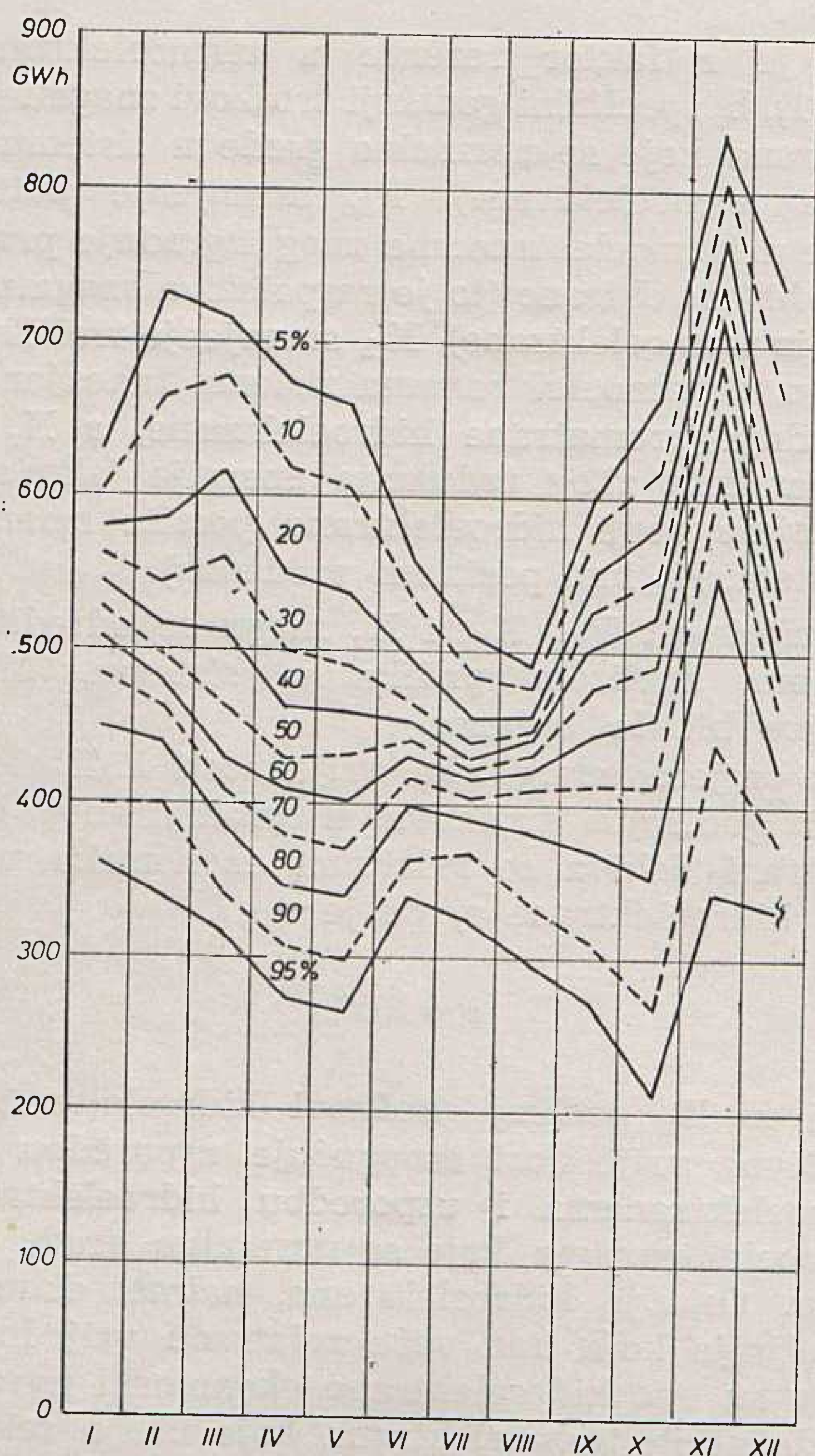
3. KARAKTERISTIKE ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Promatrane su tri razine potražnje koje su karakterizirane godišnjom potražnjom energije (GWh) i maskimalnim godišnjim opterećenjem (MW). Te su tri razine potražnje označene sa K1, K2 i K3:

K1	8 892 GWh	1 600 MW
K2	11 532 GWh	2 075 MW
K3	29 699 MWh	4 990 MW

U sistemu postoje hidroelektrane maksimalne snage 1 653 MW s prosječnom godišnjom proizvodnjom 5 780 GWh, a s rasporedom mogućnosti proizvodnje prikazanom na sl. 1. Treba spomenuti da je mogućnost proizvodnje postojećih hidroelektrana određena uz iskorištavanje postojećih akumulacijskih bazena. U sistemu, osim toga, postoje termoelektrane na bazi ugljena (snaga na priključnicama generatora 125 MW), termoelektrane na bazi loživog ulja (286 MW) i termoelektrane s plinskim turbinama (155 MW). Specifični troškovi za gorivo iznose od 0,287 (termoelektrane s ugljenom) do 0,778 dinara po kWh (termoelektrane s plinskim turbinama).

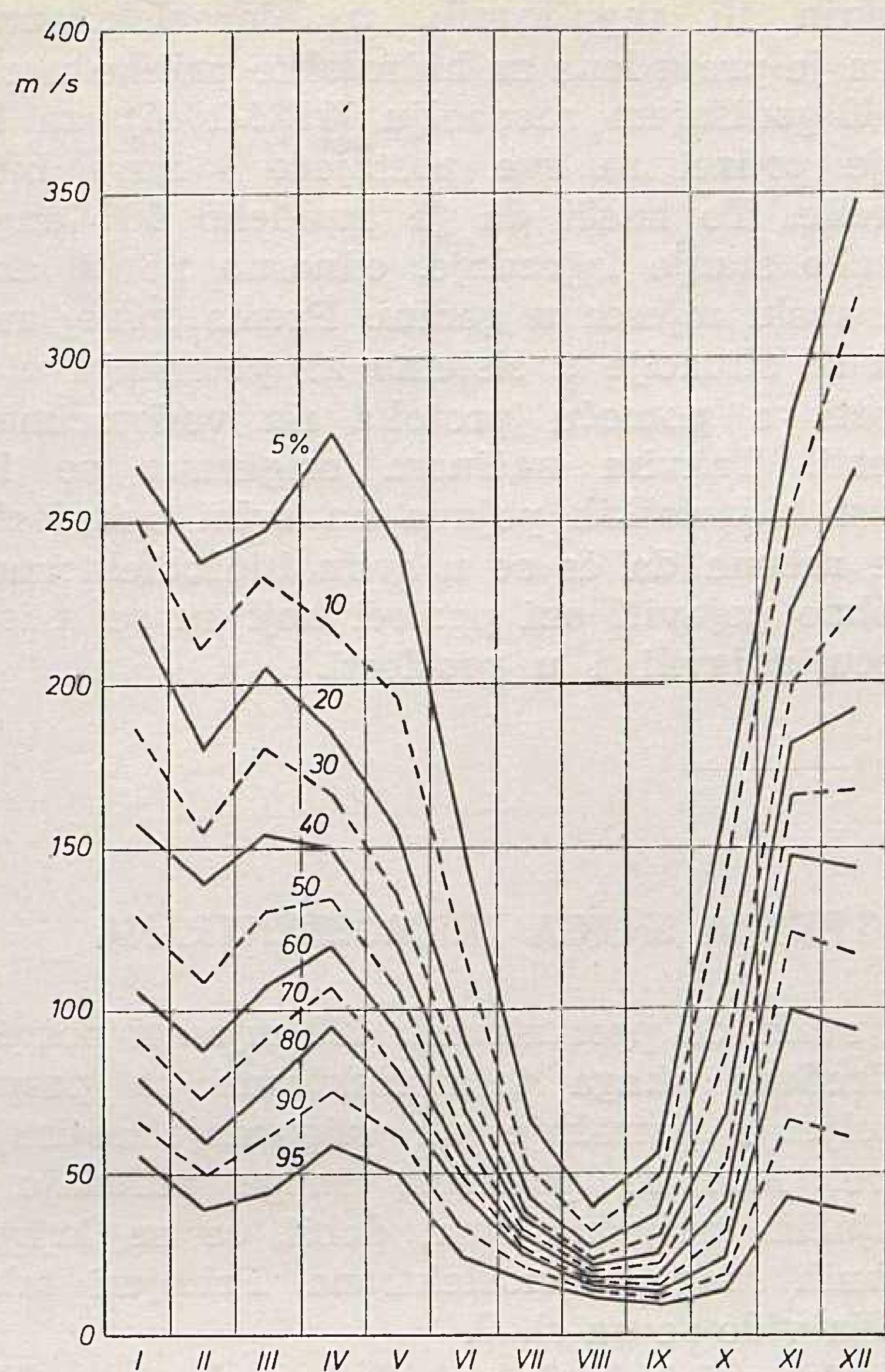
Kao što je već spomenuto, pretpostavljeno je da su dodatne termoelektrane alternativno konvencionalne termoelektrane i nuklearne elektrane. Računato je da specifična investicija za nuklearne elektrane iznose 50% više nego za konvencionalne, te da specifični troškovi za gorivo u konvencionalnim termoelektranama iznose 0,221 d/kWh a u nuklearnim elektranama 0,10 d/kWh.



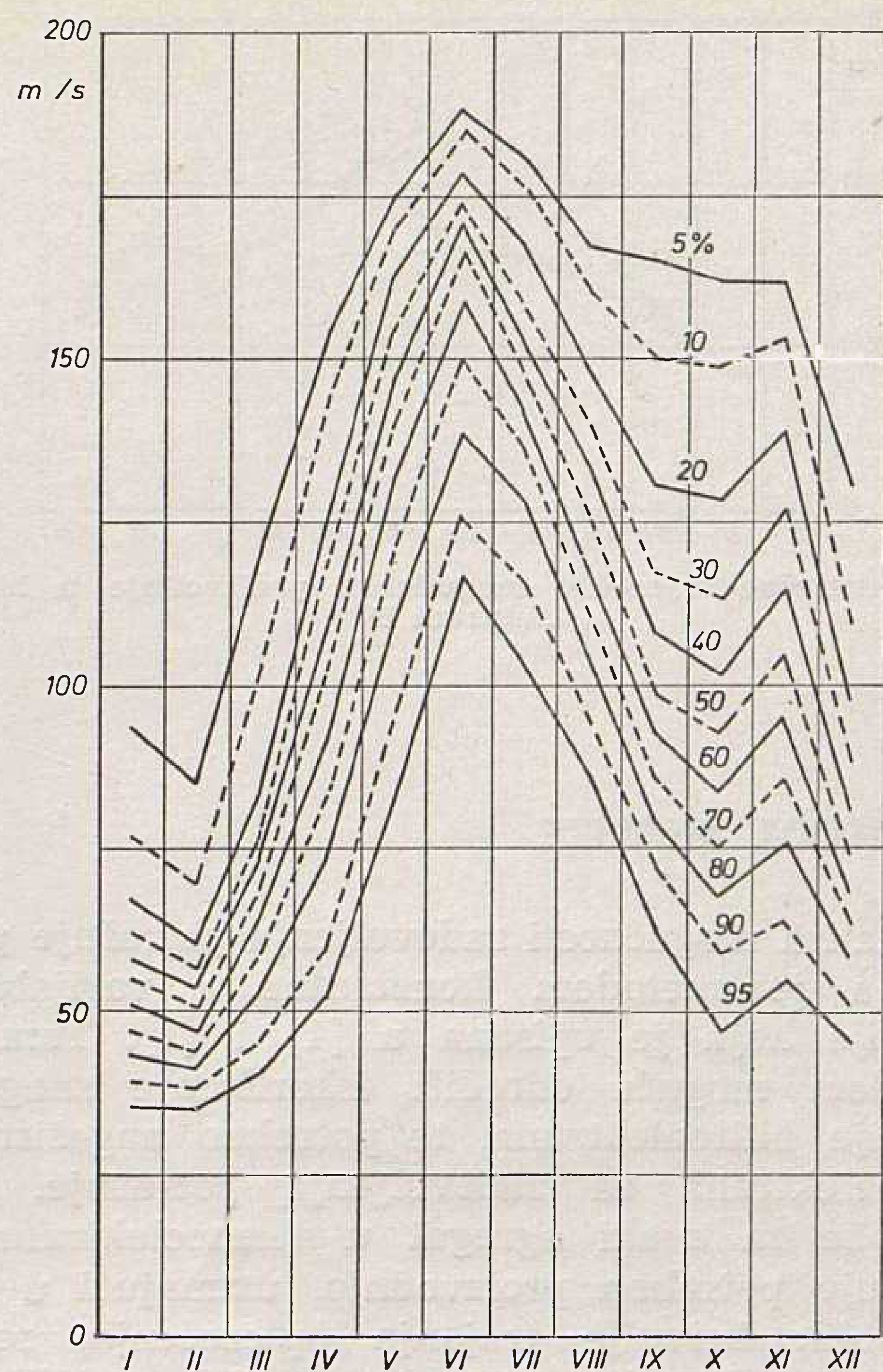
Sl. 1. Vremenski raspored mogućnosti proizvodnje u postojećim hidroelektranama

4. KARAKTERISTIKE PROMATRANIH HIDROELEKTRANA

Promatrane su nove hidroelektrane na dva vodotoka, koja na mjestu zahvata vode imaju točno jednake prosječne godišnje protoke ($Q_m = 107,2 \text{ m}^3/\text{s}$), ali sa znatno različitim rasporedom protoka u toku godine. Raspored protoka u hidroelektrani C (sl. 2) sličniji je rasporedu



Sl. 2. Vremenski raspored protoka u hidroelektrani C



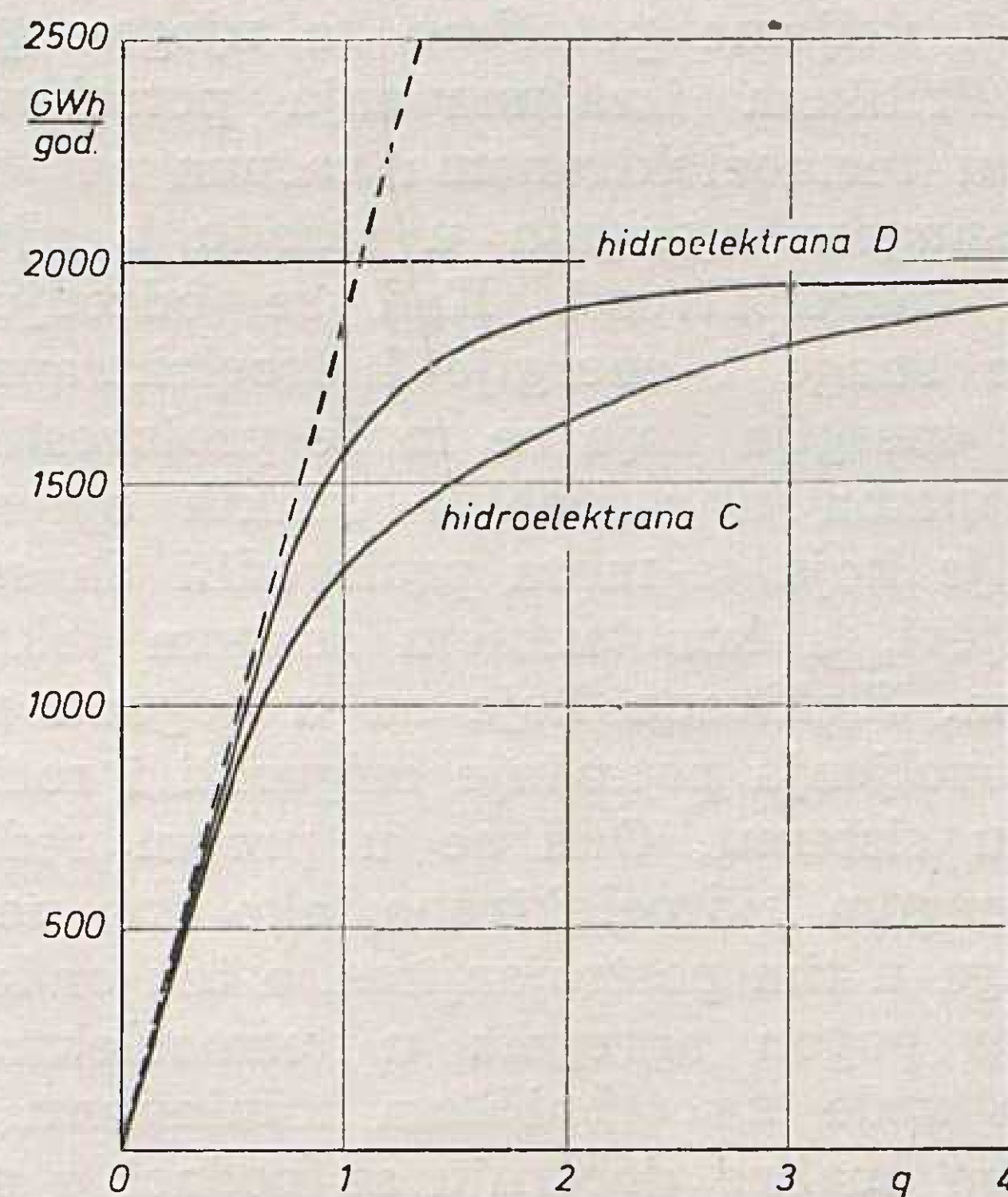
Sl. 3. Vremenski raspored protoka u hidroelektrani D

protoka u postojećim hidroelektranama nego raspored u hidroelektrani D (sl. 3).

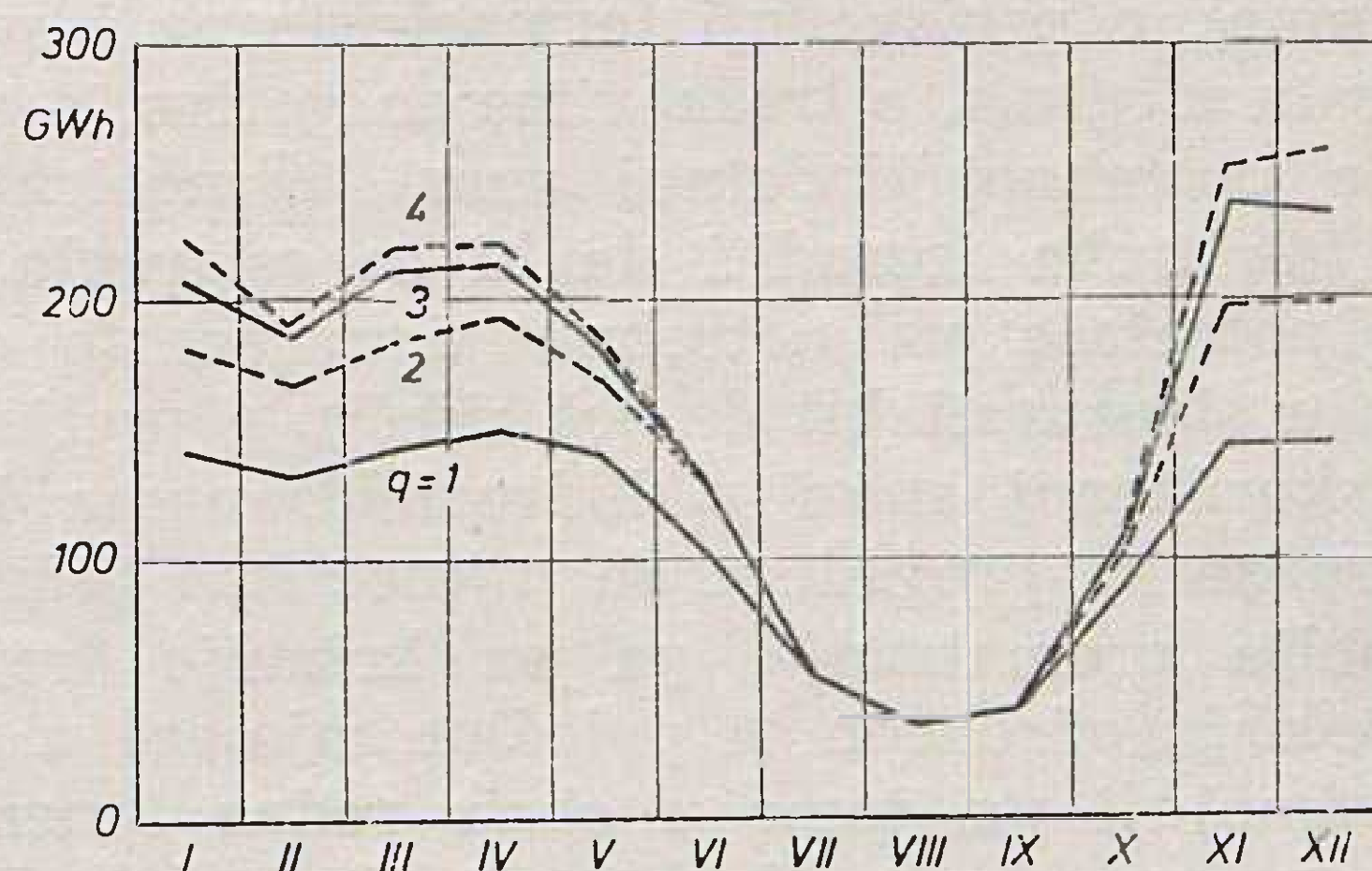
Da se odredi utjecaj instalirane snage hidroelektrana na njihovu energetska vrijednost, analiza je provedena za četiri instalirane snage hidroelektrana. Najmanja instalirana snaga postiže se kad se hidroelektrana izgradi za prosječni godišnji protok ($q=1$), pa se tada u obje hidroelektrane ostvaruje maksimalna snaga od 216 MW. Računato je, naime, da se u obje hidroelektrane voda iskorištava na jednakom padu. Osim toga je računato da se hidroelektrane grade za dvostruki ($q=2$), trostruki ($q=3$) i četverostruki ($q=4$) prosječni godišnji protok, pa se tako postiže dvostruka, trostruka, odnosno četverostruka instalirana snaga hidroelektrana.

S povećanjem instalirane snage postiže se i veća mogućnost proizvodnje (sl. 4), ali ona nije jednaka za obje hidroelektrane unatoč jednakosti prosječnih godišnjih protoka. Na mogućnost proizvodnje utječe i raspored protoka, pa se veća mogućnost proizvodnje ostvaruje u hidroelektrani D, jer su u njoj manje oscilacije protoka. Utjecaj instalirane snage vidi se i na prosječnoj mjesečnoj mogućnosti proizvodnje (sl. 5. i 6).

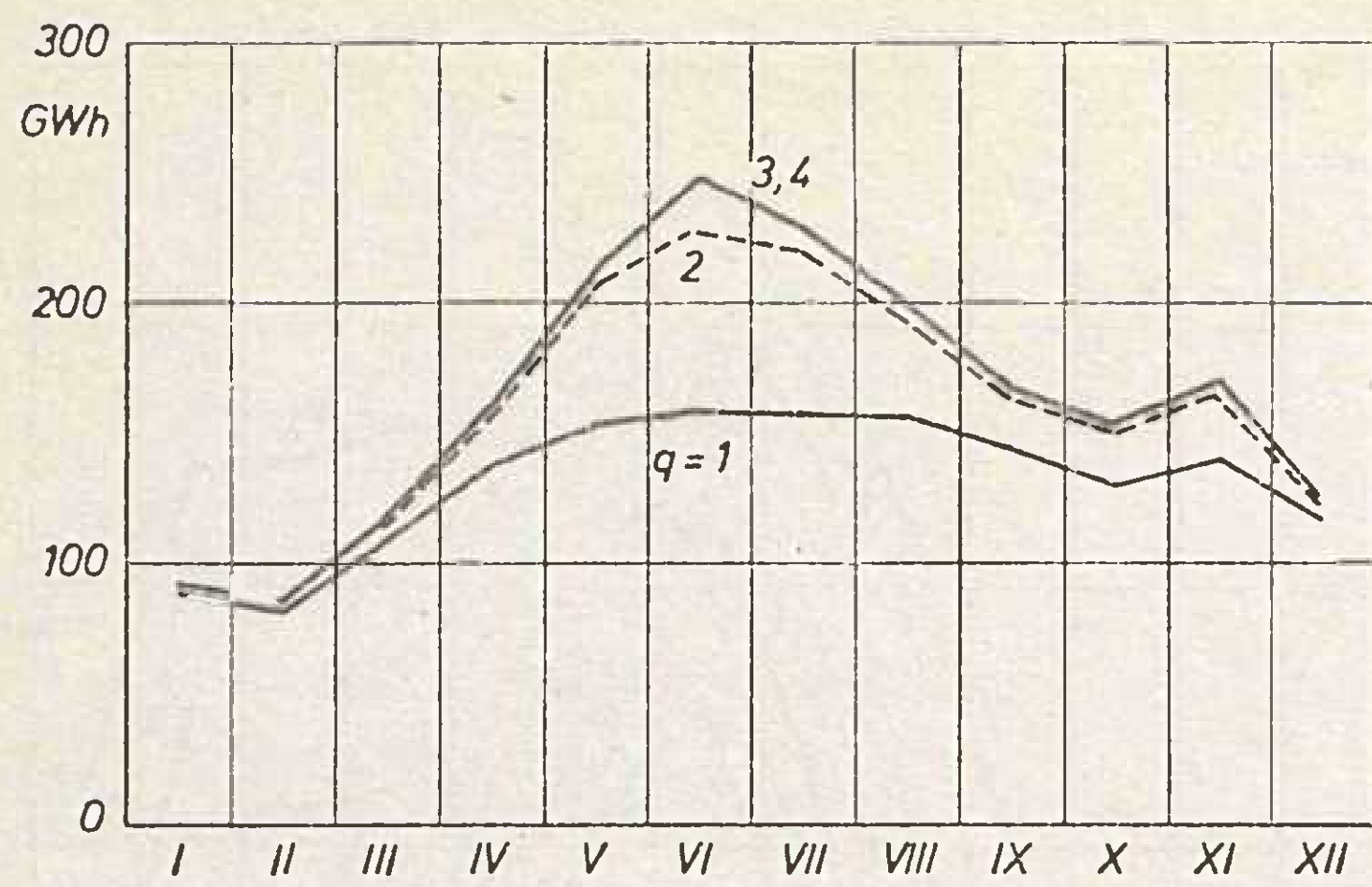
Računato je da obje hidroelektrane imaju dovoljno velik akumulacijski bazen koji dopušta tjednu regulaciju protoka, pa je tako moguće maksimalno koncentrirati proizvodnju hidroelektrana u razdoblja velikih opterećenja.



Sl. 4. Prosječna godišnja mogućnost proizvodnje u hidroelektranama C i D



Sl. 5. Prosječne mjesečne mogućnosti proizvodnje u hidroelektrani C



Sl. 6. Prosječne mjesečne mogućnosti proizvodnje u hidroelektrani D

5. METODA ANALIZE

Analiza mogućnosti zadovoljenja potražnje provedena je metodom konstantne i varijabilne energije koja je opisana u [1] i [2]. Tom je metodom moguće odrediti iskorištenje snage i energije hidroelektrana, te potrebno angažiranje termoelektrana za zadovoljenje potražnje. Pri tome se za svaki agregat u termoelektranama određuje potrebna proizvodnja, uzimajući u obzir oblik krivulje trajanja opterećenja, redoslijed angažiranja prema rastućim specifičnim troškovima za gorivo, tehnički minimum svakog agregata i vrijeme potrebno za njegov godišnji remont. Prilikom izračunavanja potrebne proizvodnje u termoelektranama računa se sa smanjenom snagom agregata u skladu s njegovim faktorom raspoloživosti. Kad se određuje iskorištenje snage i energije hidroelektrana, razlikuje se energija koja se može proizvesti u hidroelektranama u razdoblju velikih opterećenja od energije koja se mora proizvoditi da se spriječe preljevi, s konstantnom snagom tokom cijelog dana. Elektrane koje su u pogonu moraju osim zadovoljenja potražnje osigurati i rotirajuću rezervu u sistemu. Ona se u prvom redu osigurava snagom hidroelektrana, ako ima neiskorištene snage u tim postrojenjima, a tek onda stavljanjem u pogon agregata u termoelektranama koji tada rade na tehničkom minimumu.

Iz takve analize dobivaju se podaci o potrebnoj snazi termoelektrana za zadovoljenje potražnje (to su podaci o raspoloživoj snazi termoelektrana), o proizvodnji termoelektrana i svakog agregata u njima, o troškovima za gorivo, o eventualno potrebnoj dodatnoj snazi termoelektrana koje tek treba izgraditi da bi se osigurala opskrba potrošača uz potrebnu sigurnost (o određivanju sigurnosti bit će još riječi), o preljevima i neiskorištenoj snazi u hidroelektranama itd.

Analize su provedene za mjesec kao jedinično razdoblje promatranja, pa su krivulje trajanja opterećenja određene za pojedine mjesece u godini, uzimajući pri tome u obzir radne i neradne dane te sezonske oscilacije potražnje [1]. Da bi se u razmatranje uključile promjene protoka,

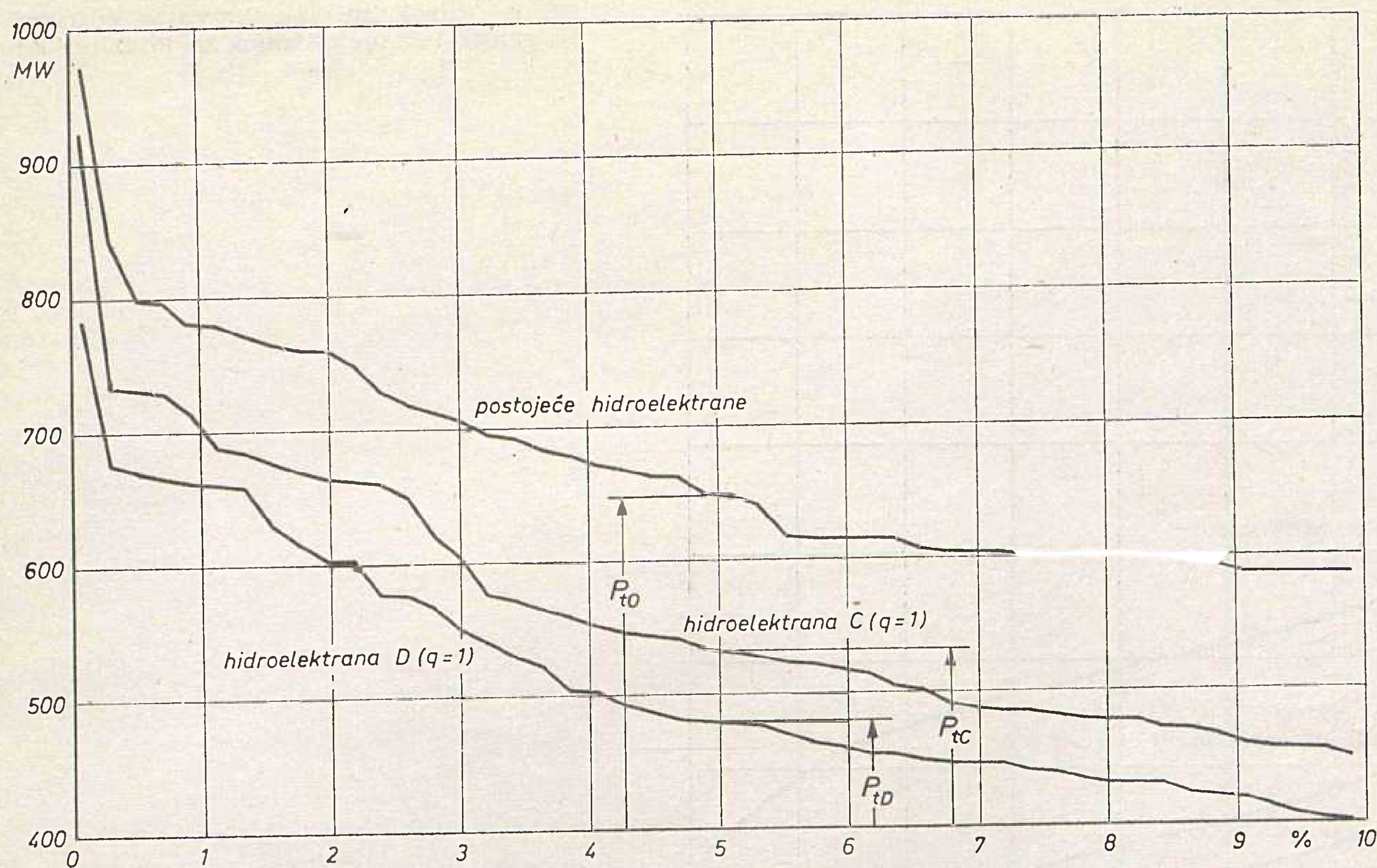
prirodnih ili reguliranih, u hidroelektranama, analiza je provedena za hidrološke prilike u prošlom 40-godišnjem razdoblju (1926-1965), za koje postoje podaci za sve postojeće i nove hidroelektrane. To znači da je izrađeno 480 analiza za svako stanje izgradnje, odnosno po 40 analiza za svaki mjesec u godini. Prema tome, analiziraju se situacije u sistemu za potražnju u budućnosti, a pomoću protoka na vodotocima iz prošlosti. Takvim načinom osigurava se istodobnost hidroloških pojava na svim vodotocima, jer se računa da će se u svim hidroelektranama istodobno pojaviti oni protoci koji su se u istom mjesecu pojavili i u prošlosti.

6. POTREBNA SNAGA TERMoeLEKTRANA

Za svaki od promatranih 480 mjeseci potrebna je određena snaga termoelektrana za potpuno zadovoljenje potražnje uz osiguranje rotirajuće rezerve. Ako se potrebne snage poredaju po opadajućim vrijednostima, dobit će se krivulja potrebnih snaga termoelektrana. Primjeri takvih krivulja vide se na sl. 7.

Kad bi se željelo da potražnja bude zadovoljena i u najnepovoljnijoj situaciji koja se može pojaviti u sistemu, morale bi termoelektrane imati najmanje toliku raspoloživu snagu koja je jednaka najvećoj ordinati spomenute krivulje. Tada bi bila praktički postignuta sigurnost opskrbe potrošača od gotovo 100%. Kao što pokazuju krivulje na sl. 7, samo malo smanjenje sigurnosti opskrbe potrošača (za nekoliko postotaka) znatno smanjuje snagu termoelektrana koju treba imati u elektroenergetskom sistemu. To pokazuje da nije opravdano graditi takav sistem koji će moći i u najnepovoljnijim prilikama potpuno zadovoljiti potražnju. Može se, naime, pokazati da postoji neka optimalna sigurnost opskrbe potrošača [1] koja ovisi o strukturi elektrana (udio hidroenergije) i strukturi potrošača u sistemu. U sistemima s velikim udjelom hidroenergije krivulja potrebnih snaga termoelektrana naglo opada kad su potrebne velike snage, pa je za povećanje sigurnosti potrebno više snage u termoelektranama nego u sistemima s malim postotkom hidroenergije. S druge strane, kad u sistemu postoje potrošači kao npr. tvornica karbida ili ferolegura, povoljnije je s obzirom na ukupne troškove (troškovi u sistemu i troškovi kod potrošača) povremeno obustavljati takve tvornice nego graditi dodatne elektrane da bi se osigurao njihov kontinuirani pogon.

Na apscisi koordinatnog sustava u kojem je nacrtana krivulja potrebne snage termoelektrana nalaze se postoci koji označuju postotak slučajeva u kojima je za zadovoljenje potražnje potrebna snaga termoelektrana jednaka ili veća od one koja odgovara krivulji. Ako se, naime, promatra



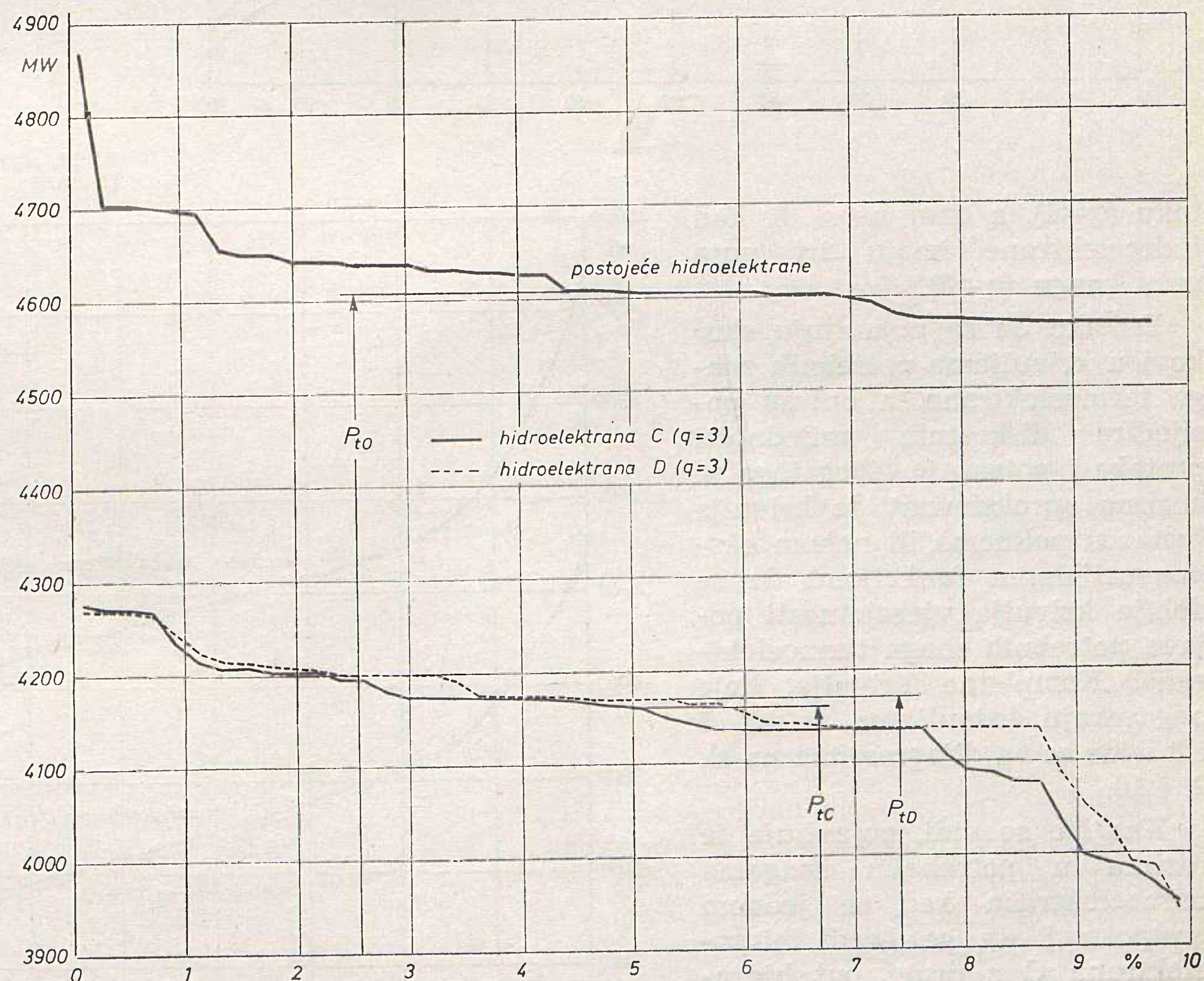
Sl. 7. Dio krivulja potrebnih snaga termoelektrana za konzum K1

postotak od 5% pa tome postotku odgovara snaga od 660 MW (krivulja »postojeće hidroelektrane« na sl. 7), potrošači će biti djelomično neopskrbljeni u 5% slučajeva ako raspoloživa snaga termoelektrana iznosi 660 MW. Taj se podatak može formulirati i na drugi način: ako je raspoloživa snaga termoelektrana 660 MW, sigurnost opskrbe potrošača iznosi 95%, što znači da će u 95% slučajeva potrošači biti potpuno opskrbljeni potrebnom električnom energijom, a u 5% slučajeva bit će potrebno djelomično reducirati isporuku električne energije potrošačima.

Računato je da je potrebno tako izgraditi elektroenergetski sistem da se postigne sigurnost potrošača od 95%.

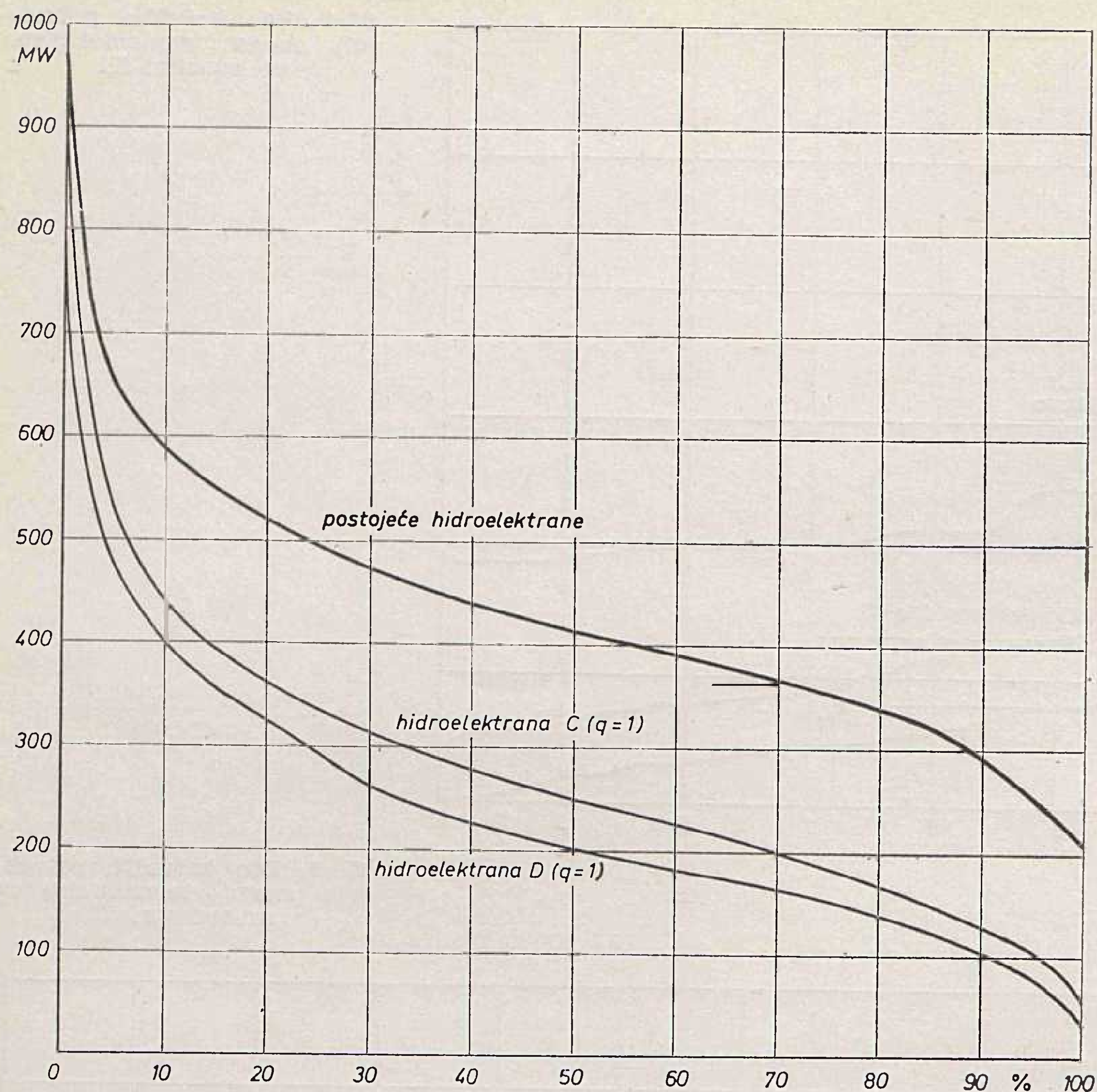
Potrebna snaga termoelektrana ovisi o karakteristikama potražnje, odnosno o razini konzuma, ali i o karakteristikama hidroelektrana i o njihovoj izgrađenosti.

Na sl. 7. prikazane su potrebne snage termoelektrana za konzum K1, a na sl. 8. za konzum K3. Na tim dijagramima nacrtan je samo dio



Sl. 8. Dio krivulja potrebnih snaga termoelektrana za konzum K3

tih krivulja koji je najinteresantniji za analizu odnosa u elektroenergetskom sistemu. Na spomenutim dijagramima ucrtane su potrebne snage termoelektrana kad u sistemu nema novih hidroelektrana (krivulje »postojeće hidroelektrane«) i kad su izgrađene hidroelektrane C i D, za koje se određuje energetska vrijednost. Dijagram na sl. 7. vrijedi za slučaj kad instalirana snaga hidroelektrana odgovara prosječnom godišnjem pro-

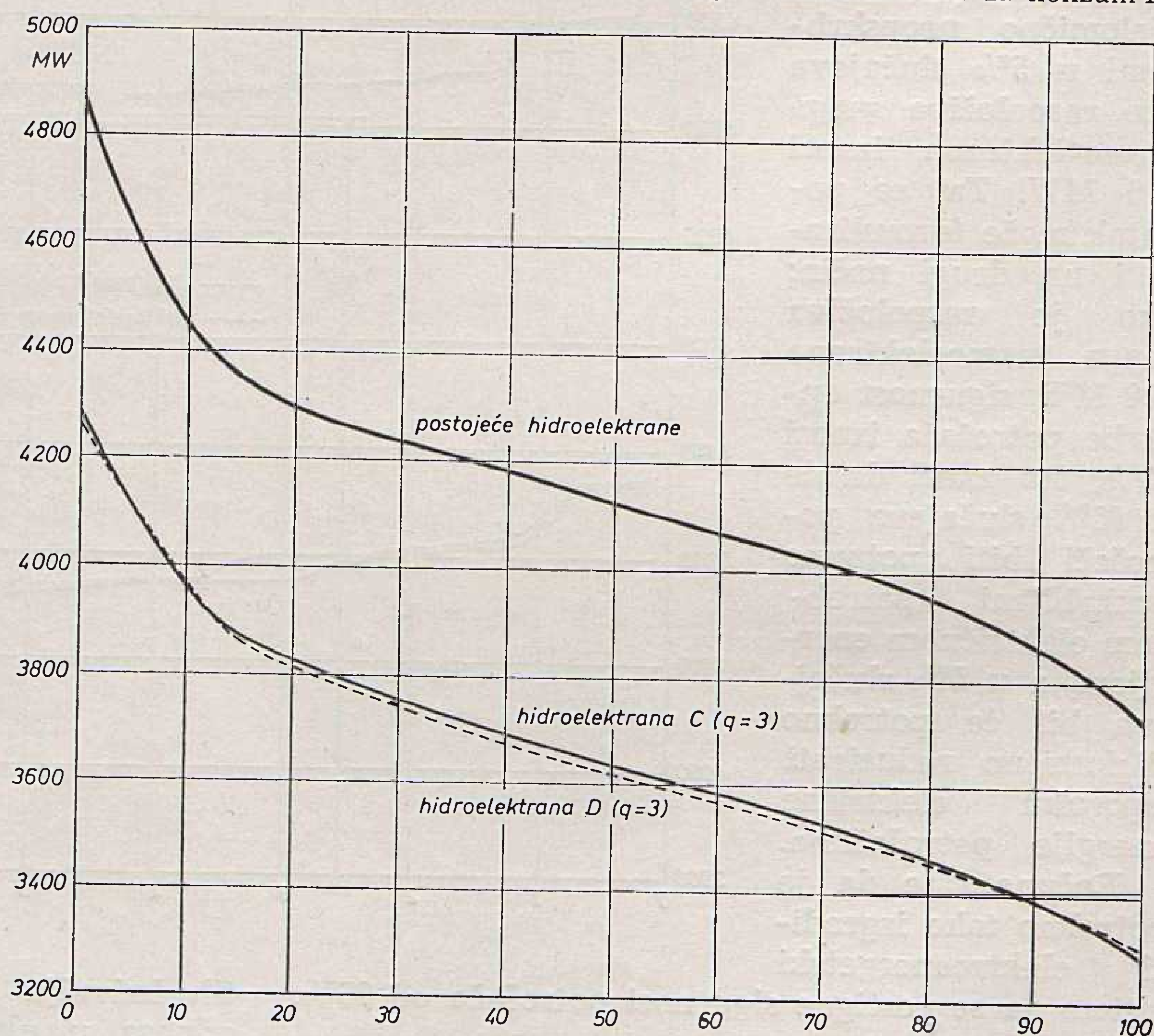


Sl. 9. Aproximirane krivulje potrebnih snaga termoelektrana za konzum K1

toku ($q=1$), a onaj na sl. 8. kad hidroelektrane imaju tri puta veću snagu ($q=3$).

Dakako da se pojavljuju skokovi u krivuljama potrebnih snaga termoelektrana, a oni su posljedica diskretnih vrijednosti protoka i potražnje. Zbog toga je korisno aproksimirati te krivulje (pomoću polinoma ili nekom eksponencijalnom funkcijom) da se dobije krivulja vjerojatnosti pojave potrebnih snaga termoelektrana. Kompletne krivulje, koje odgovaraju krivuljama na sl. 7 i 8, vide se na dijagramima na sl. 9. i 10.

Kao što se vidi, pojavljuje se razlika u potrebnim snagama termoelektrana kad se jednom pretpostavi da se gradi hidroelektrana C a drugi put hidroelektrana D, iako u oba slučaja (sl. 9. i sl. 10) imaju jednaku instaliranu snagu. Ta je razlika posljedica različitog rasporeda protoka (sl. 2. i sl. 3). Hidroelektrana D povoljnije utječe na sistem (traži manju snagu termoelektrana uz istu sigurnost opskrbe potrošača), jer se njezin raspored protoka više razlikuje od rasporeda u postojećim hidroelektranama i jer uz istu instaliranu snagu omogućuje veću proizvodnju (sl.



Sl. 10. Aproximirane krivulje potrebnih snaga termoelektrana za konzum K3

4), što je također uvjetovano rasporedom protoka. Ta je razlika znatna kad je konzum malen u odnosu prema mogućnosti proizvodnje hidroelektrana (sl. 9). Ona je, međutim, neznatna kad je udio hidroenergije malen u odnosu prema ukupno potrebnoj energiji (sl. 10). Utjecaj vremenskog

rasporeda postaje, naime, sve manji što je razlika između proizvodnje hidroelektrana i potražnje veća.

7. UTJECAJ IZGRADNJE HIDROELEKTRANE NA POTREBNU SNAGU TERMoeLEKTRANA

Krivulje potrebne snage termoelektrana prikazuju, kako je već spomenuto, potrebnu raspoloživu snagu termoelektrana za bilo koju sigurnost opskrbe potrošača koja se želi ostvariti u promatranom sistemu. Ako se pretpostavi da je potrebna sigurnost od 95%, za određivanje potrebne izgradnje termoelektrana u sistemu mjerodavan je podatak na krivulji koji odgovara vjerojatnosti 5%. Tom podatku odgovaraju odnosi u sistemu koji se pojavljuju u nekom mjesecu iz prošlosti, pa se to razdoblje može nazvati kritičnim razdobljem sistema. Prilike u kritičnom razdoblju, prema tome, mjerodavne su za određivanje potrebne izgradnje termoelektrana.

Zbog diskretnih vrijednosti protoka i potražnje nije preporučljivo računati samo s jednim podatkom iz neaproximirane krivulje potrebnih snaga, već se obično računa sa srednjom vrijednošću nekoliko podataka koji se nalaze oko mjerodavne vrijednosti na apscisi. Tada se može i definirati kritično razdoblje sistema koje se sastoji od nekoliko mjesečnih perioda. Tako se za krivulju na sl. 7. dobivaju slijedeći mjeseci koji obuhvaćaju tako definirano mjesečno razdoblje:

postojeće hidroel. 10/1956. 7/1946. 12/1930. 12/1945.
hidroelektrana C 8/1947. 9/1947. 10/1943. 7/1949.
hidroelektrana D 12/1936. 9/1946. 12/1941. 10/1945.

dok se za krivulje na sl. 8 dobivaju slijedeći mjeseci:

postojeće hidroel. 6/1941. 7/1963. 6/1936. 6/1934.
hidroelektrana C 7/1954. 7/1953. 7/1942. 7/1936.
hidroelektrana D 6/1932. 6/1933. 7/1955. 7/1959,

Prema tome, kritično razdoblje mijenja se s gradnjom novih hidroelektrana i s promjenom konzuma, jer je kritično razdoblje ovisno ponajprije o razlici konzuma i mogućnosti proizvodnje hidroelektrana.

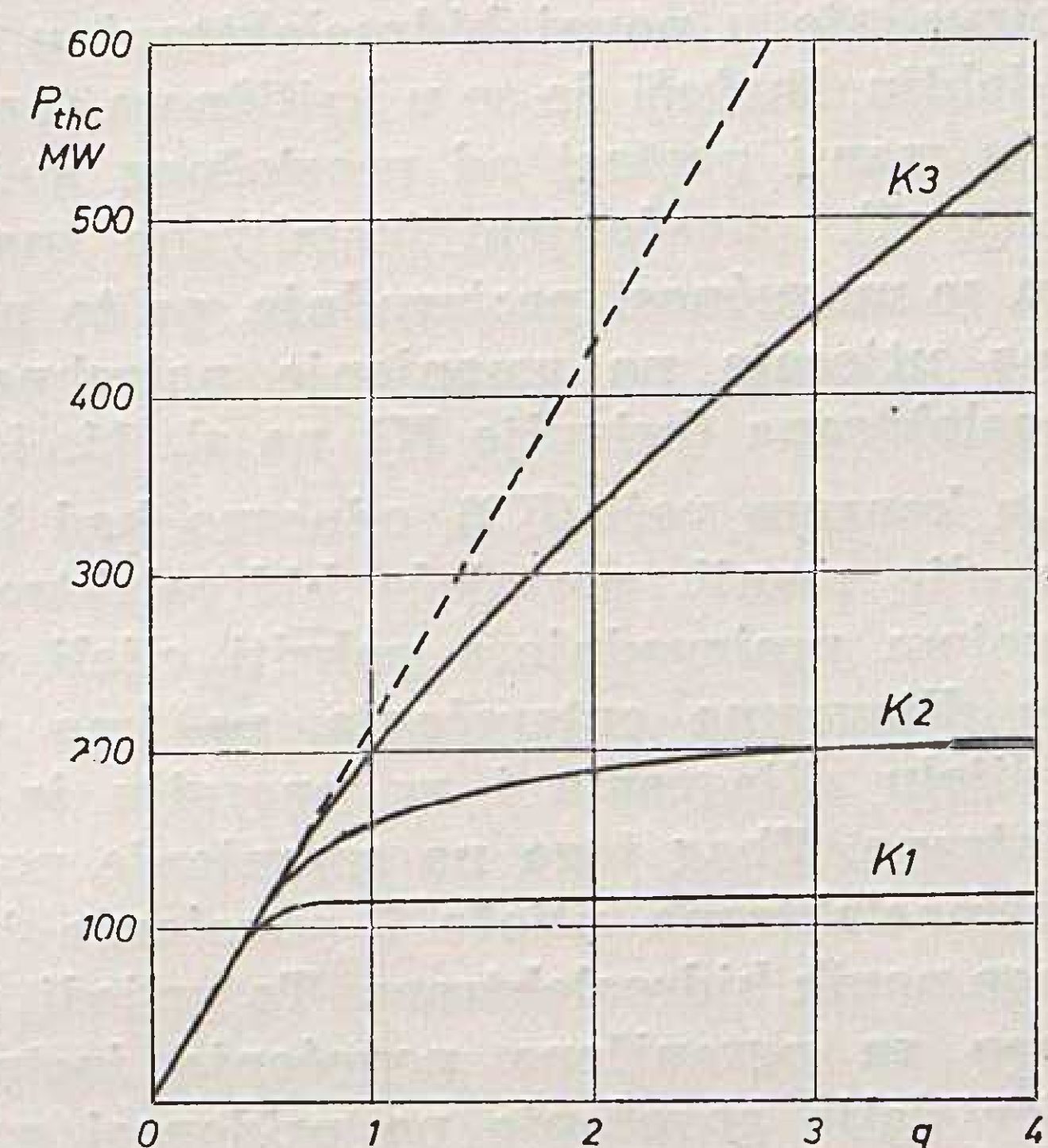
Još bolje je odrediti potrebnu snagu termoelektrana u kritičnom razdoblju pomoću pogodno aproksimiranih krivulja potrebne snage termoelektrana, jer se tako eliminiraju slučajne pojave.

Iz razlike potrebnih snaga termoelektrana određuje se utjecaj izgradnje promatrane hidroelektrane na tu snagu. Ako se, npr., sa P_{t0} označi potrebna snaga termoelektrana kad su u pogonu samo postojeće hidroelektrane (sl. 7), sa P_{tC} kad je izgrađena i hidroelektrana C, smanjenje potrebne snage termoelektrana iznosi

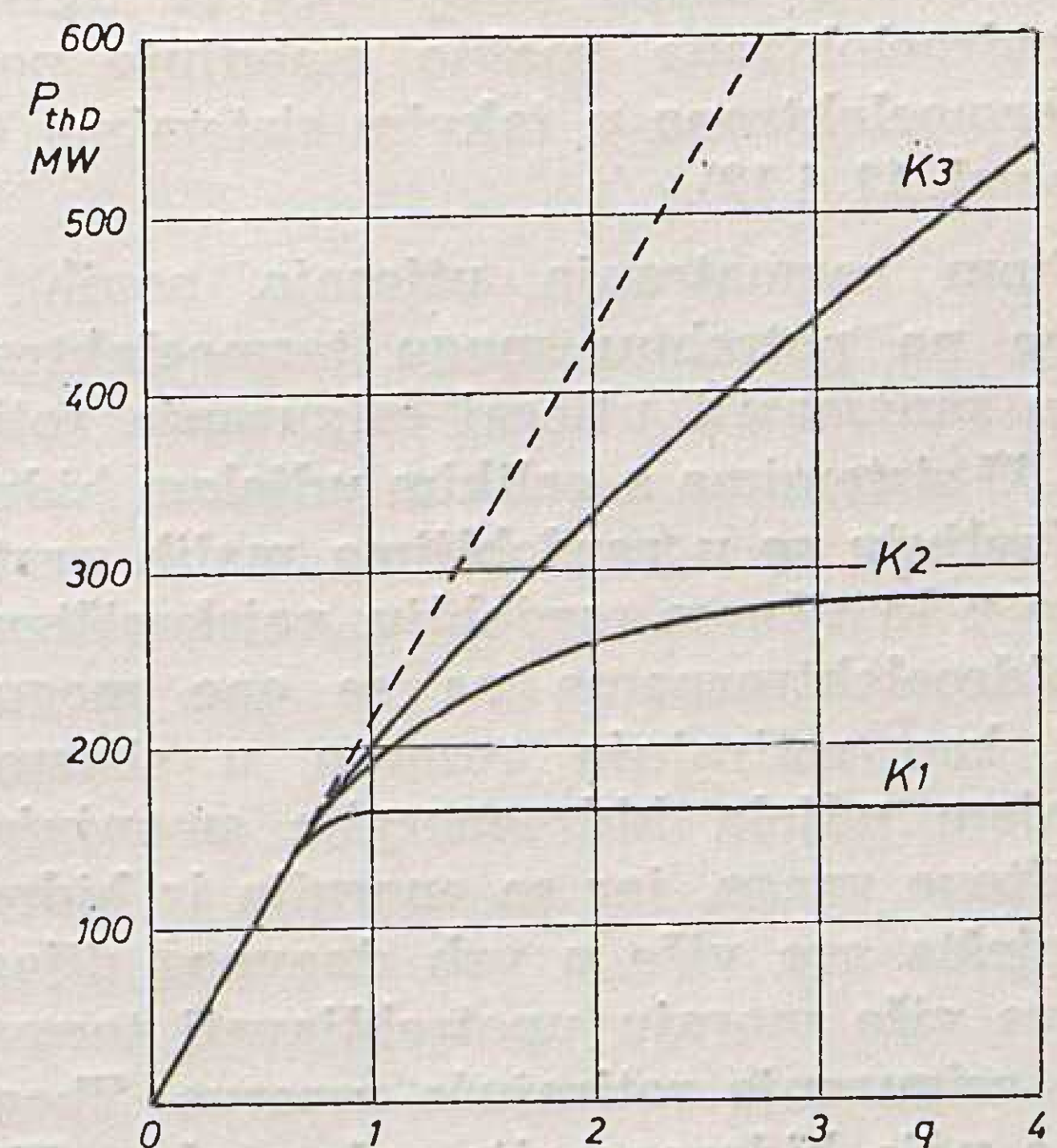
$$P_{thC} = P_{t0} - P_{tC}, \quad (3)$$

pa je P_{thC} upravo ona vrijednost za snagu koja se pojavljuje u relaciji (1) iz koje se izračunava energetska vrijednost hidroelektrane. Analogno se izračunava smanjenje potrebne snage zbog izgradnje hidroelektrane D (P_{thD}), ali tada mjesto P_{t0} treba u (3) uvrstiti P_{tD} prema sl. 7.

Ako se tako postupi za sve razine potražnje ($K1$, $K2$ i $K3$) te za sve promatrane instalirane snage hidroelektrana ($q=1, \dots, 4$), dobit će se smanjenje snage termoelektrana u ovisnosti o razini konzuma i instaliranio snazi promatranih hidroelektrana. Te ovisnosti prikazane su na dijagramima na sl. 11. (za hidroelektranu C) i sl. 12. (za hidroelektranu D).



Sl. 11. Smanjenje potrebne snage termoelektrana gradnjom hidroelektrane C



Sl. 12. Smanjenje potrebne snage termoelektrane gradnjom hidroelektrane D

Za relativno mali konzum K_1 , kad je udio hidroenergije u ukupnoj proizvodnji velik, izgradnjom hidroelektrane D znatno se više smanjuje potrebna gradnja termoelektrana (156 MW) nego izgradnjom hidroelektrane C (116 MW). To vrijedi kako za najmanju promatranu instaliranu snagu tako i za sve ostale instalirane snage. Hidroelektrana D povoljnija je od hidroelektrane C zbog toga što se raspored protoka u hidroelektrani D više razlikuje od rasporeda protoka u postojećih hidroelektranama nego raspored protoka u hidroelektrani C. U sistemima s velikim udjelom hidroenergije proizvodnjom hidroelektrana pokriven je varijabilni dio dijagrama opterećenja, pa se izgradnjom novih hidroelektrana samo smanjuje proizvodnja termoelektrana u temeljnom dijelu dijagrama. Zbog toga na smanjenje potrebne snage termoelektrana ima utjecaj samo mogućnost proizvodnje u novoj hidroelektrani u kritičnom razdoblju. Budući da se u kritičnom razdoblju pojavljuju manji protoci od prosječnog godišnjeg protoka ($q=1$), povećanjem instalirane snage ne povećava se mogućnost proizvodnje, pa to povećanje nema utjecaja na smanjenje potrebne snage termoelektrana (krivulje K_1 na sl. 11. i 12).

Kad je konzum veći (K_2), odnosno kad je udio hidroenergije manji, postojeće hidroelektrane ne mogu svojom proizvodnjom pokriti cijeli varijabilni dio dijagrama opterećenja, pa ima mjesta u tom dijelu dijagrama i za energiju iz novih hidroelektrana. Zbog toga na smanjenje potrebne snage termoelektrana utječe i povećanje instalirane snage novih hidroelektrana. To vrijedi, međutim, samo za ograničeno povećanje instalirane snage, jer dalje povećanje ne pridonosi smanjenju potrebne snage termoelektrana (krivulja K_2 na sl. 11. i 12).

Kad je konzum vrlo velik (K_3) u odnosu prema mogućnosti proizvodnje hidroelektrana u kritičnom razdoblju, energijom iz hidroelektrana pokriva se samo najviši dio dijagrama opterećenja. Tada je i za iskorištenje male količine energije potrebna velika snaga. Zbog toga se izgradnjom novih hidroelektrana znatno smanjuje potrebna snaga termoelektrana u takvim sistemima (krivulja K_3 na sl. 11. i 12).

Prilikom razmatranja utjecaja novih hidroelektrana na potrebnu snagu termoelektrana ne smije se zanemariti utjecaj osiguranja rotirajuće rezerve. U sistemima s velikim udjelom hidroenergije pojavljuju se u razdobljima malih protoka, a pogotovo u kritičnom razdoblju, neiskorištene snage u hidroelektranama pa se one mogu upotrijebiti kao rotirajuća rezerva u sistemu. Sa smanjenjem udjela hidroenergije smanjuju se i neiskorištene snage, jer se energija iz hidroelektrana smješta sve više u vrh dnevnog dijagrama, pa se sve više moraju upotrebljavati termoelektrane za osiguranje rotirajuće rezerve. Zbog toga, a kad je udio hidroenergije vrlo malen (K_3), povećanje instalirane snage hidroelektrana utječe znatno na smanjenje potrebne snage termoelekt-

rana. To je i razlog zbog kojega i ne postoje znatnije razlike između hidroelektrane C i D (sl. 8, 11. i 12).

Kad je određena snaga P_{th} (sl. 11. i 12), potpuno je definirana vrijednost prvog člana u relaciji (1) naravno uz uvjet da se pozna tip dodatnih termoelektrana koje se grade u promatranom elektroenergetskom sistemu, jer o tipu tih termoelektrana ovisi vrijednost veličine b , pa i vrijednost veličine r .

8. UTJECAJ IZGRADNJE HIDROELEKTRANE NA TROŠKOVE ZA GORIVO

Izgradnjom nove hidroelektrane smanjuje se potrebna proizvodnja u termoelektranama, i to ponajviše zbog povećanja proizvodnje u hidroelektranama. Na potrebnu proizvodnju termoelektrana imaju svakako utjecaja i preljevi u hidroelektranama. Oni se najčešće s novom hidroelektranom povećavaju, jer se veliki protoci često pojavljuju istodobno u novoj i u postojećim hidroelektranama unatoč razlikama u rasporedu protoka. Izgradnjom nove hidroelektrane, međutim, preljevi se mogu i smanjiti, jer se tada zbog povećane proizvodnje u hidroelektranama mora staviti u pogon manje agregata u termoelektranama pa se time smanjuje i ukupni tehnički minimum termoelektrana. Valja naglasiti da se preljevi koji se pojavljuju ne odnose samo na novu hidroelektranu, već na sve hidroelektrane u sistemu, iako se to računski iskazuje kao smanjenje mogućnosti proizvodnje nove hidroelektrane ako se povećavaju preljevi, odnosno kao povećanje mogućnosti proizvodnje kad se preljevi smanjuju.

Svakako da su preljevi u hidroelektranama veći što je veći udio hidroenergije (sl. 13), ali i onda kad se raspored protoka u novoj hidroelektrani manje razlikuje od rasporeda protoka u postojećim hidroelektranama. Za male instalirane snage, međutim, na količinu preljeva utječe i ukupna mogućnost proizvodnje, odnosno učestalost pojave da hidroelektrana, kako bi iskoristila svu još iskoristivu vodu, mora raditi s maksimalnom snagom tokom cijelog dana (24 sata). To se češće pojavljuje u hidroelektrani D (sl. 3) nego u hidroelektrani C (sl. 2), pa su zbog toga preljevi, za $q = 1$ i K_1 , veći kad se gradi hidroelektrana D.

Ako se od moguće proizvodnje novih hidroelektrana odbiju preljevi, dobiva se iskoristiva energija iz novih hidroelektrana (sl. 14), koja predstavlja smanjenje proizvodnje u termoelektranama zbog izgradnje tih novih hidroelektrana.

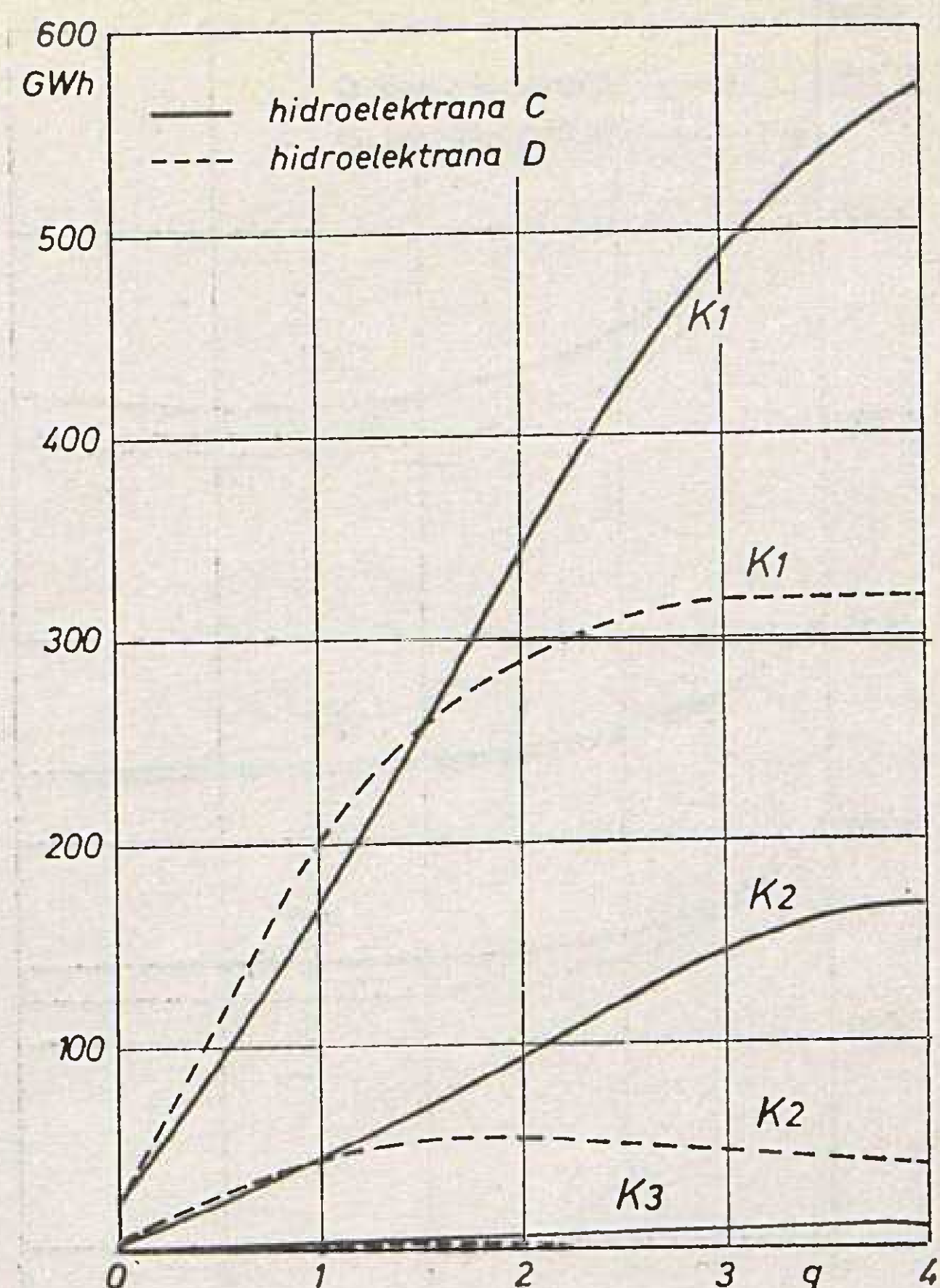
Dakako da smanjena proizvodnja u termoelektranama traži i manje troškova za gorivo, ali to smanjenje troškova nije razmjerno smanjenju proizvodnje. Izgradnjom nove hidroelektrane, kao što je već pokazano, smanjuje se potrebna izgradnja termoelektrana, a to su obično termoelektrane s najnižim specifičnim troškovima za gorivo, pa

se izgradnjom nove hidroelektrane pogoršava struktura termoelektrana u obziru na specifične troškove za gorivo.

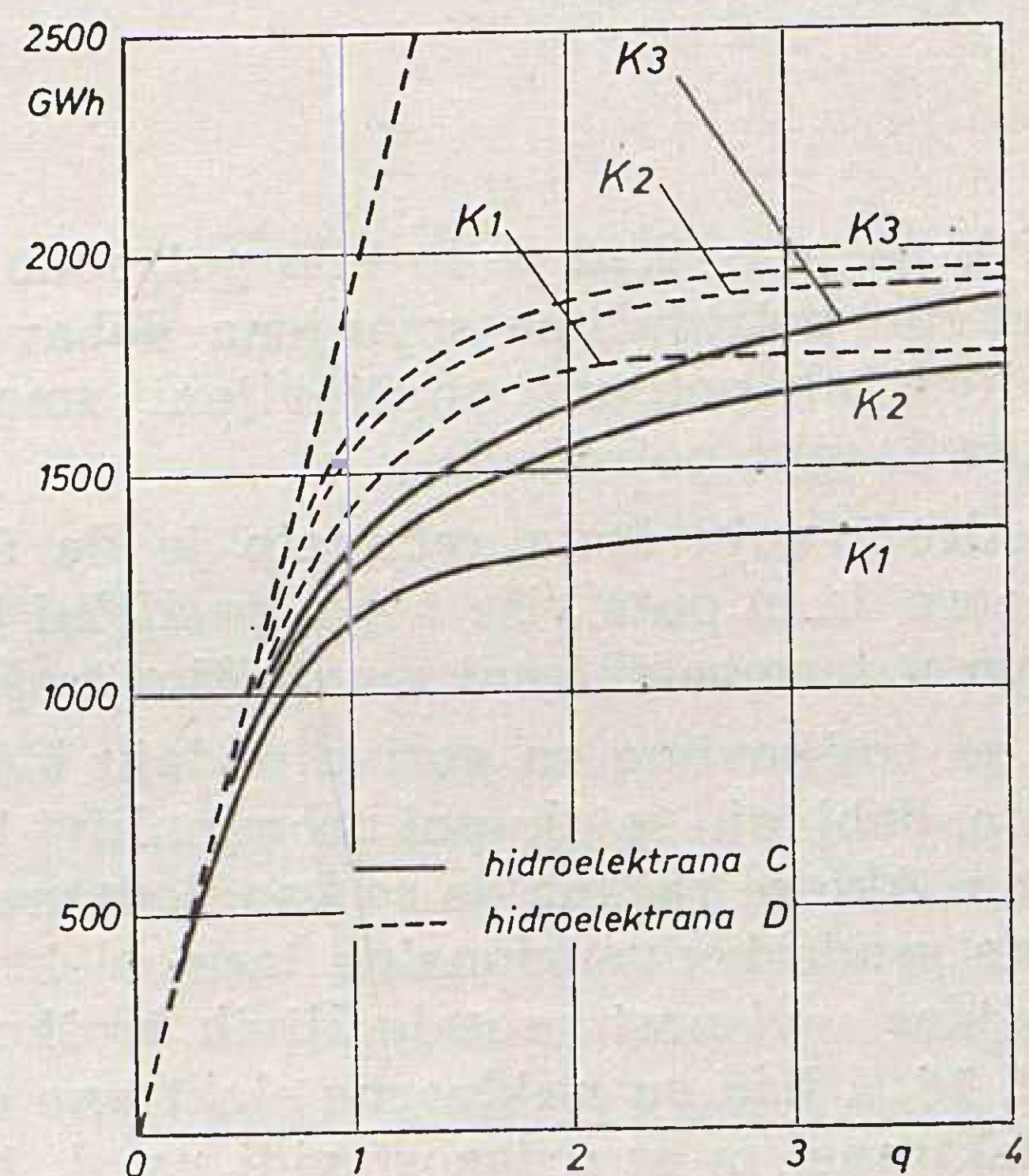
Primjer takve promjene strukture vidi se u tabl. 1, u kojoj su termoelektrane grupirane prema specifičnim troškovima za gorivo i u kojoj su podaci o proizvodnji tih grupa elektrana za razinu konzuma K_2 i za dvije instalirane snage hidroelektrana C i D, te za slučaj kad se ne grade nove hidroelektrane. Najniže specifične troškove za gorivo imaju dodatne konvencionalne termoelektrane (0,221 din/kWh), a njihova se snaga smanjuje izgradnjom hidroelektrana C i D (sl. 11. i 12). Zbog toga se smanjuje i njihova proizvodnja. Nova hidroelektrana utječe i na proizvodnju ostalih tipova termoelektrana, jer se mijenja njihov položaj u dijagramu opterećenja jednom zbog promjene snage termoelektrane s najnižim specifičnim troškovima za gorivo, a drugi put zbog osiguranja plasmana energije iz nove hidroelektrane. Nastoji se, naime, što više iskoristiti snaga i energija iz hidroelektrana, a zatim i ostvariti što veća proizvodnja u termoelektrani s najmanjim troškovima za gorivo.

Prema tome, izgradnja novih hidroelektrana ima i negativan efekt na troškove za gorivo. On je to veći što je veće smanjenje potrebne snage termoelektrana. Svakako da taj utjecaj ovisi o strukturi postojećih termoelektrana i o karakteristikama dodatnih termoelektrana.

U istu kategoriju troškova, kao i troškovi za gorivo, mogu se uvrstiti i štete koje nastaju kod potrošača zbog smanjenja dobave električne energije. Oni ovise o prilikama u onim razdobljima kad je potrebno više termoelektrana za zadovoljenje potražnje nego što ih ima u sistemu. Neisporučene količine energije za promatrane slučajeve vide se na sl. 15. Ta količina energije ovisi i o načinu provođenja redukcije potrošnje. U referatu je računato da u sistemu postoje takvi potrošači kojima se može bez vrlo velike štete smanjiti dobava energije (lu-



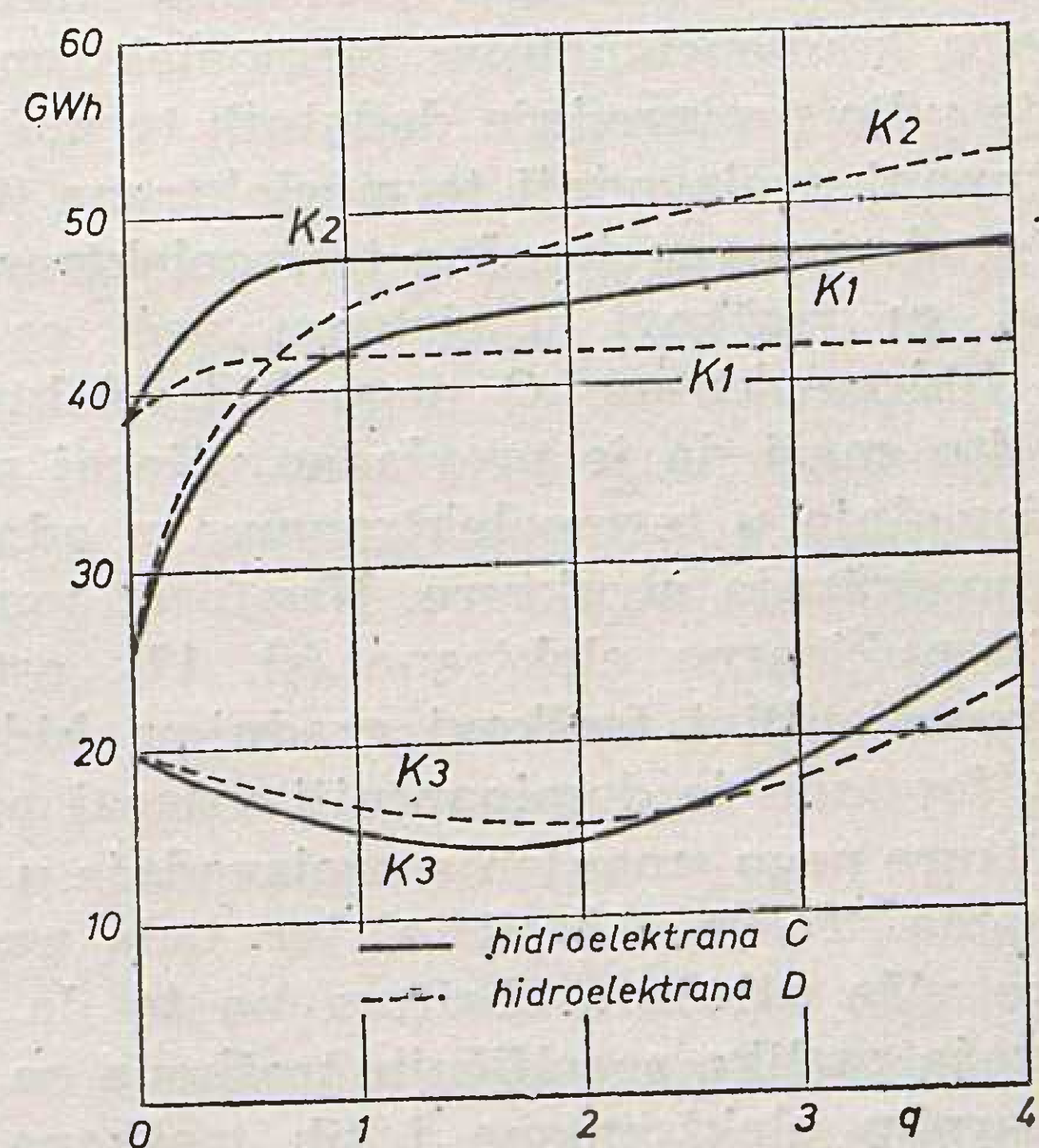
Sl. 13. Preljevi u hidroelektranama



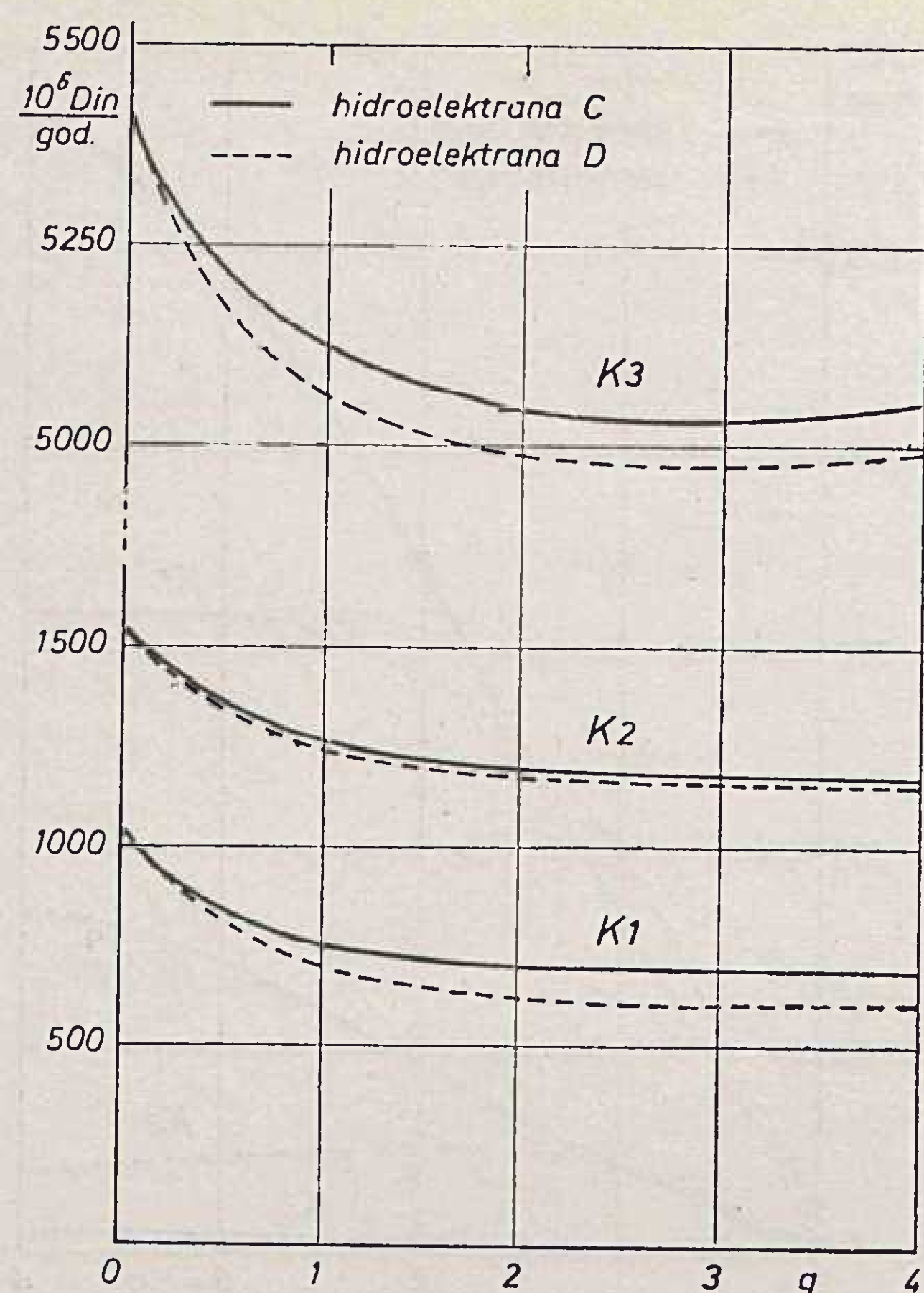
Sl. 14. Iskoristiva energija novih hidroelektrana

Tablica 1.

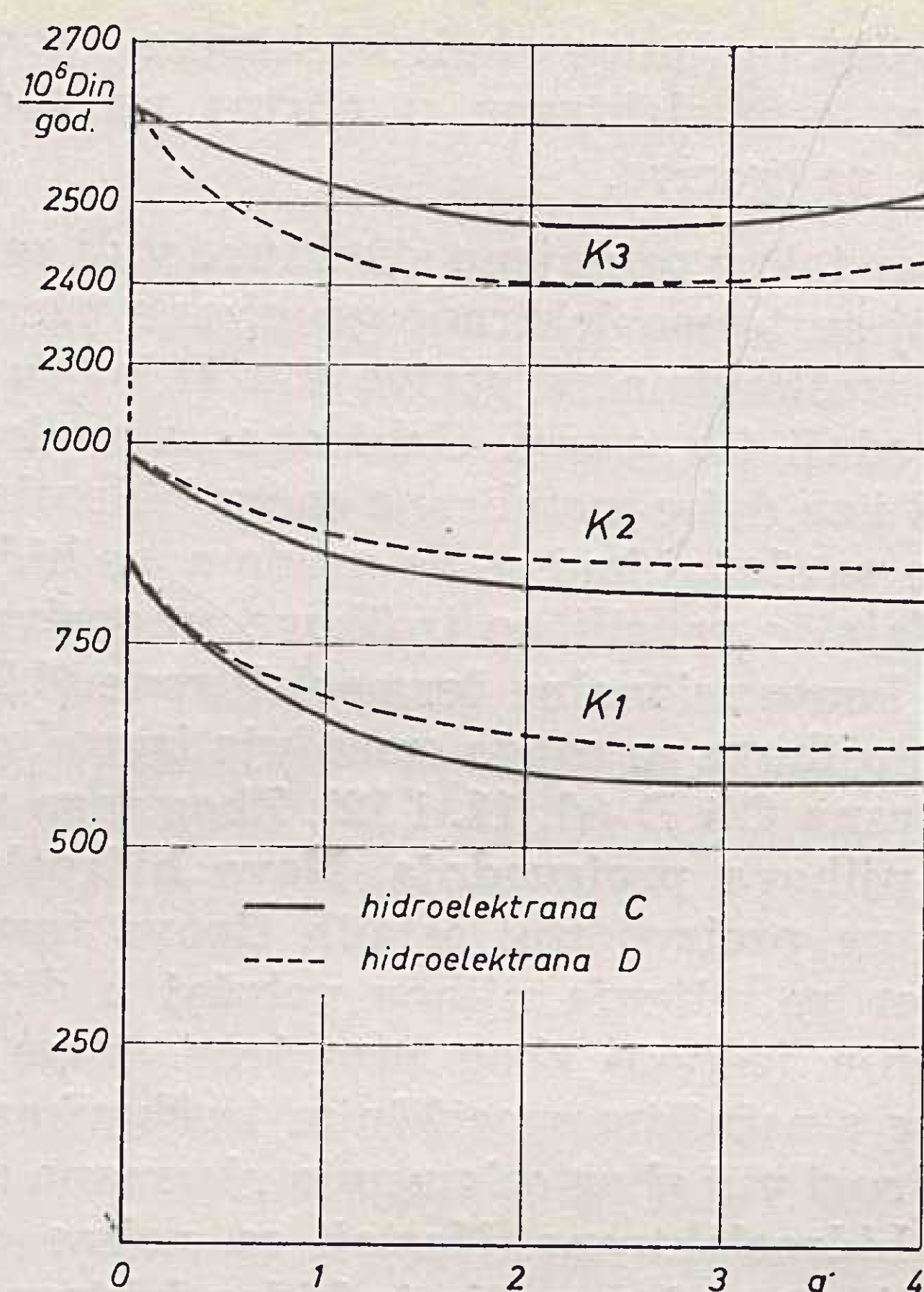
PRIMJER STRUKTURE PROIZVODNJE TERMoeLEKTRANA ZA KONZUM K_2					
Proizvodnja termoelektrana GWh					
Specifični troškovi za gorivo d/kWh	Postojeće hidroelektrane	Hidroelektrane		Hidroelektrane	
		C q = 1	D q = 1	C q = 2	D q = 2
0,221	4 503,0	3 271,9	2 991,8	3 076,2	2 613,4
0,287	384,0	397,0	364,0	381,0	402,6
0,364	491,8	447,7	455,6	400,3	517,0
0,450	254,0	246,4	253,7	235,7	253,2
0,778	09,4	76,6	106,7	71,3	86,4
Ukup.	5 731,2	4 439,6	4 171,8	4 164,5	3 872,6
0,221	78,57	73,70	71,71	73,87	67,48
0,287	6,70	8,94	8,73	9,15	10,40
0,364	8,58	10,08	10,92	9,61	13,35
0,450	4,43	5,55	6,08	5,66	6,54
0,778	1,72	1,73	2,56	1,71	2,23



Sl. 15. Smanjenje dobave električne energije potrošačima



Sl. 16. Promjenljivi troškovi u sistemu (troškovi za gorivo i štete zbog redukcija) kad su konvencionalne termoelektrane dodatne termoelektrane

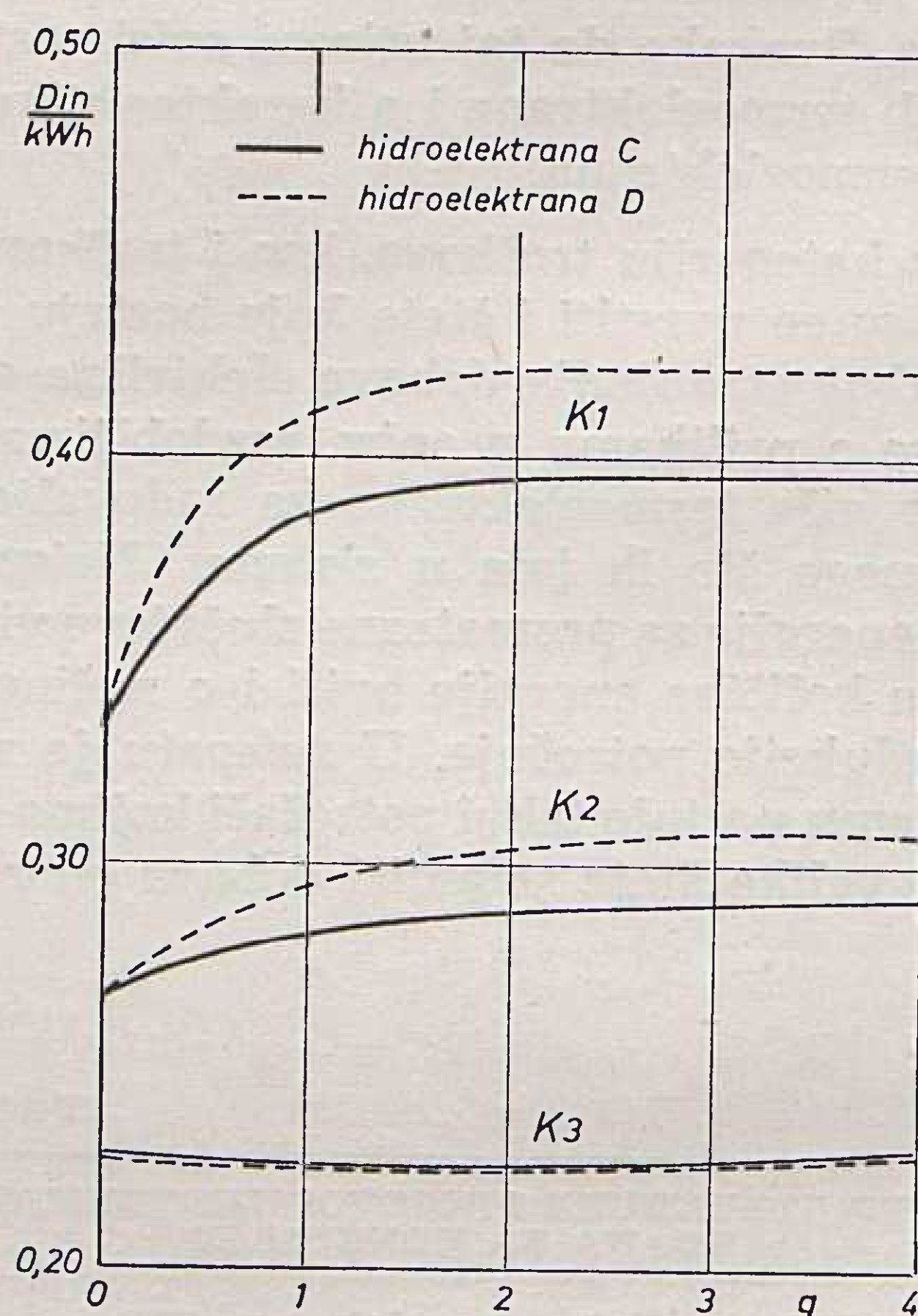


Sl. 17. Promjenljivi troškovi u sistemu (troškovi za gorivo i štete zbog redukcija) kad su nuklearne elektrane dodatne termoelektrane

čne peći), pa je — kad je to bilo potrebno — najprije takvim potrošačima smanjena dobava, a tek kad su oni bili potpuno obustavljeni, smanjivana je dobava drugim potrošačima.

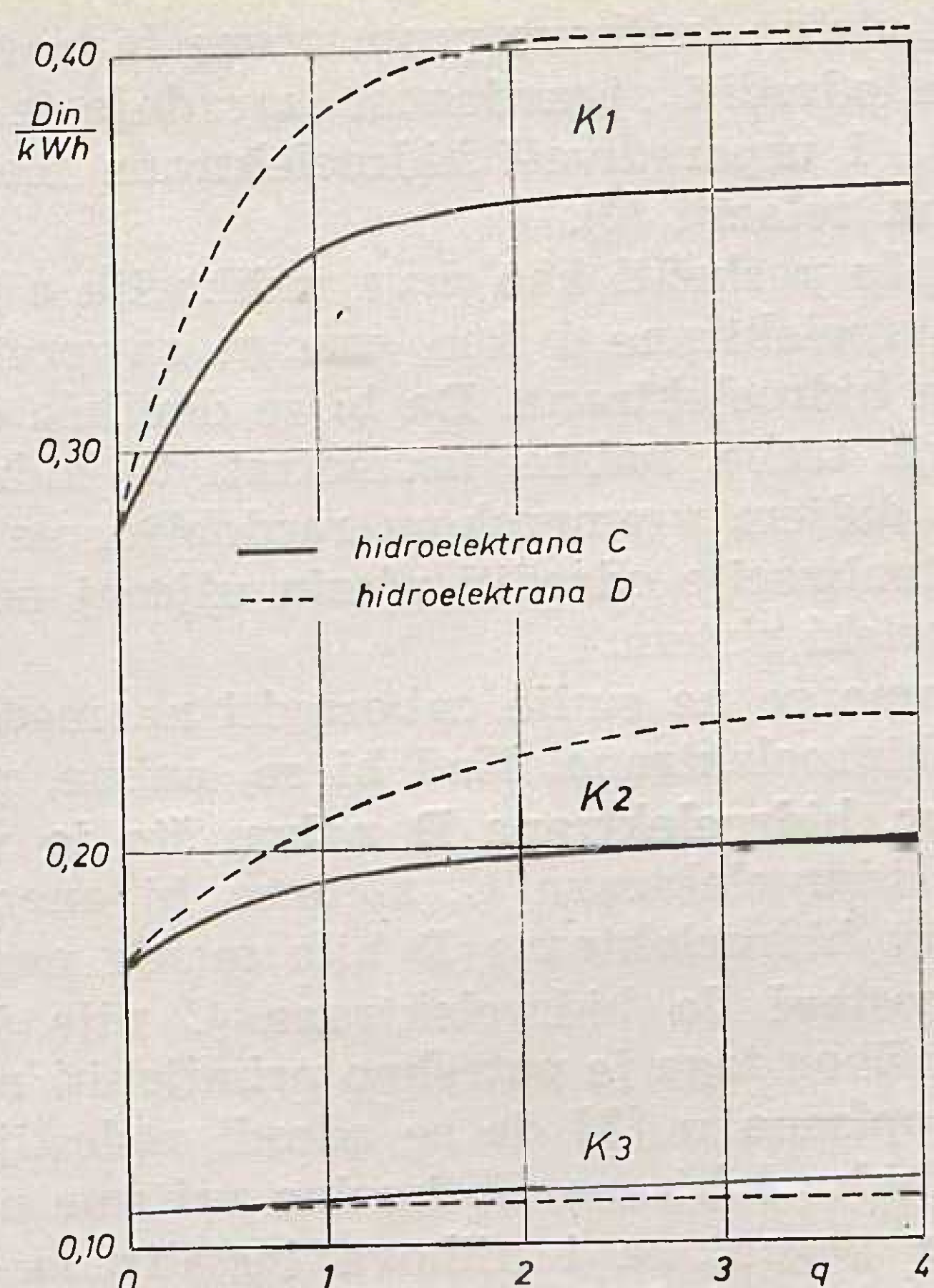
Pri određivanju šteta računato je da štete po kWh iznose deset puta više nego specifični troškovi za gorivo u termoelektrani s najnižim troškovima.

Ako se troškovima za gorivo dodaju štete zbog redukcija, dobivaju se ukupni promjenljivi troškovi u sistemu. Ako se računa da se kao dodatne termoelektrane grade konvencionalne termoelektrane na bazi ugljena, ovisnost promjenljivih troškova vidi se na sl. 16, a kad su nuklearne elektrane dodatne termoelektrane, ta se ovisnost vidi na sl. 17. Svakako da su promjenljivi troškovi u sistemu znatno manji kad se grade nuklearne elektrane jer su troškovi za gorivo u tim elektranama znatno manji nego u konvencionalnim termoelektranama, a znatan je udio proizvodnje dodatnih termoelektrana u ukupnoj proizvodnji termoelektrana (tabl. 1). Kad se grade konvencionalne termoelektrane, promjenljivi su troškovi u sistemu veći za slučaj gradnje hidroelektrane C nego hidroelektrane D (sl. 16), što znači da je prevladao utjecaj smanjenja proizvodnje u termoelektranama u odnosu na utjecaj pogoršanja strukture. Nasuprot tome, kad se grade nuklearne elektrane (sl. 17), ostvaruju se niži promjenljivi troškovi gradnjom hidroelektrane O, jer tada je dominantniji utjecaj pogoršanja strukture nego smanjenja proizvodnje u termoelektranama. To je i logično, jer tada promjena strukture više utječe s obzirom na to da postoji znatno veća razlika specifičnih troškova za gorivo u nuklearnim elektranama i tih troškova u postojećim termoelektranama.



Sl. 18. Specifični troškovi za gorivo u sistemu kad su konvencionalne termoelektrane dodatne termoelektrane

Ako se podijele troškovi za gorivo s proizvodnjom u termoelektranama, dobivaju se prosječni specifični troškovi za gorivo u sistemu. Njihova ovisnost o instaliranoj snazi hidroelektrane C i D o konzumu vidi se na sl. 18. (konvencionalne termoelektrane) i sl. 19. (nuklearne elektrane). Te krivulje pokazuju utjecaj promjene strukture termoelektrana. Instalirana snaga novih hidroelektrana najviše utječe na prosječne specifične troškove kad je konzum mali, jer je tada udio pro-



Sl. 19. Specifični troškovi za gorivo u sistemu kad su nuklearne elektrane dodatne termoelektrane

izvodnje dodatnih termoelektrana u ukupnoj proizvodnji mali. Taj udio raste s povećanjem konzuma, pa prosječni specifični troškovi za gorivo asimptotski teže specifičnim troškovima za gorivo u dopunskim termoelektranama.

Razlika između troškova za $q = 0$ (nema novih hidroelektrana) i troškova za različite instalirane snage novih hidroelektrana (sl. 16. i 17) predstavlja vrijednost drugog i trećeg člana u relaciji (1).

9. UTJECAJ KARAKTERISTIKA HIDROELEKTRANA I SISTEMA NA ENERGETSKU VRIJEDNOST HIDROELEKTRANE

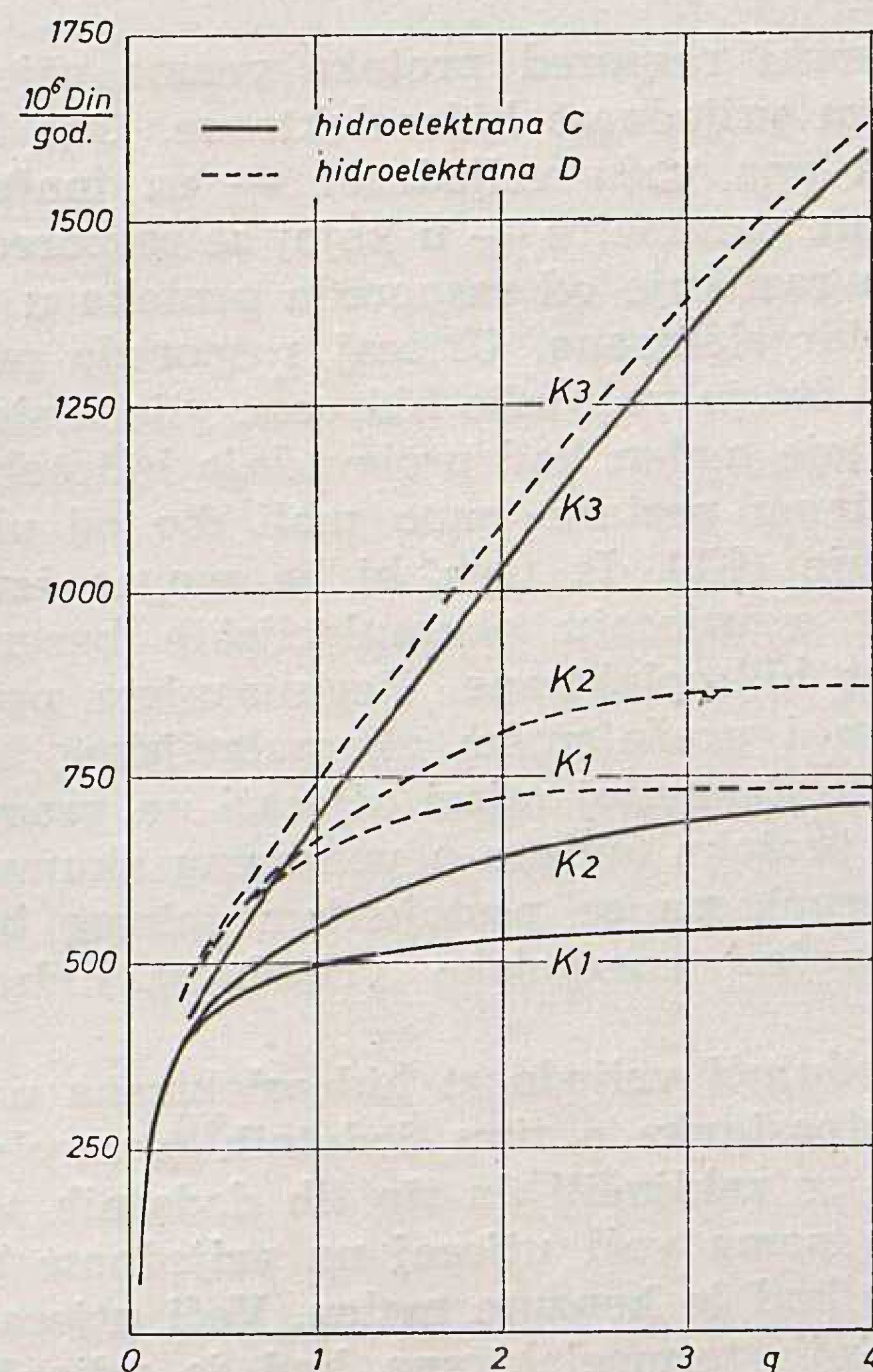
Poznavajući smanjenje potrebne snage termoelektrana izgradnjom promatrane hidroelektrane (P_{th} na sl. 11. i 12) i tip termoelektrana koje se u sistemu grade kao dodatne termoelektrane, te poznavajući utjecaj izgradnje hidroelektrana na promjenjive troškove u sistemu (sl. 16. i 17), može se pomoću relacije (1) izračunati energetska vrijednost promatranih hidroelektrana.

Energetska vrijednost hidroelektrana C i D vidi se na dijagramima na sl. 20. (konvencionalne termoelektrane kao dodatne) i na sl. 21. (nuklearne elektrane).

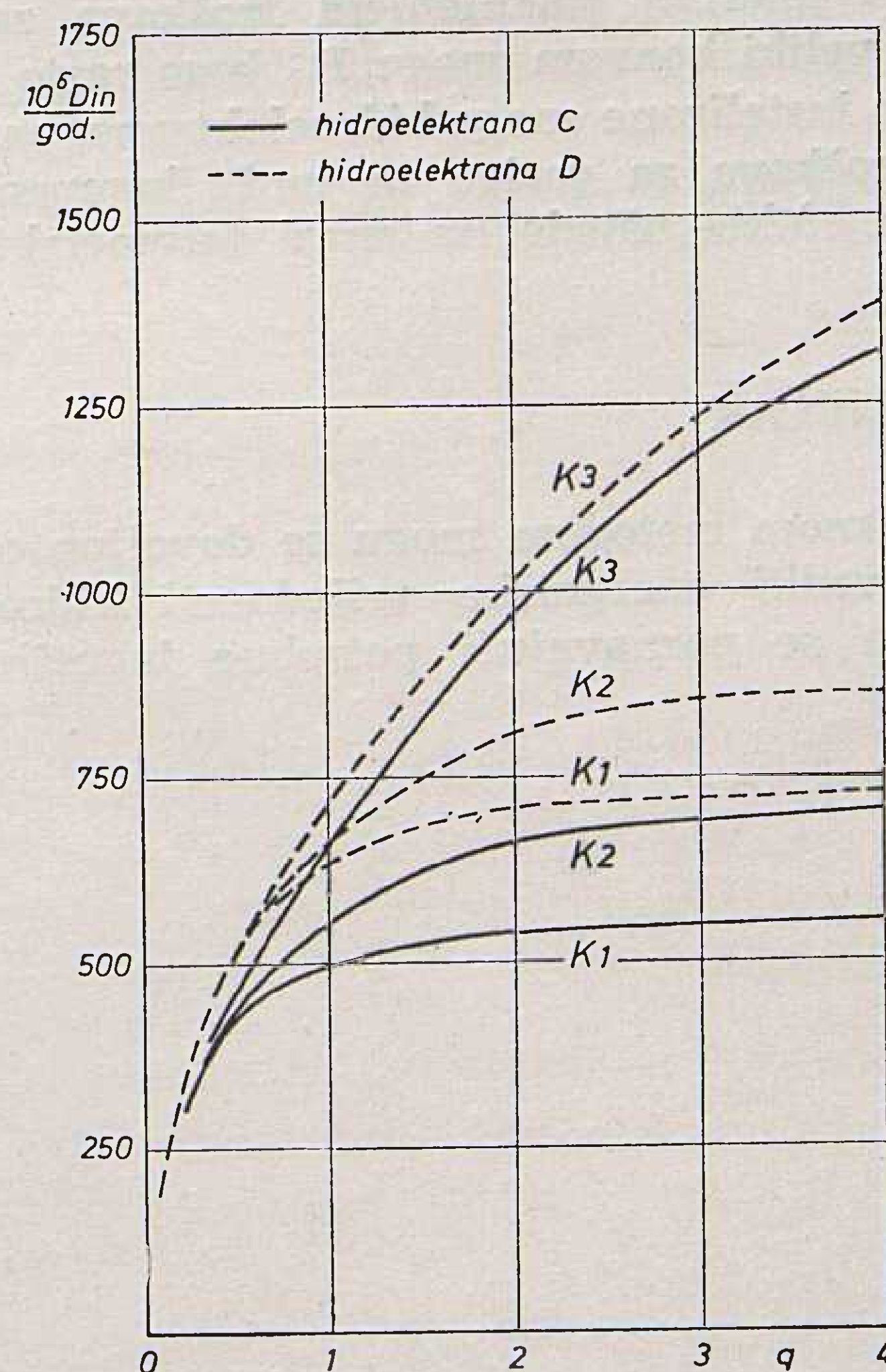
Pokazuje se da energetska vrijednost hidroelektrana ovisi o instaliranoj snazi hidroelektrane, o rasporedu protoka i o konzumu sistema u kojem će raditi ta hidroelektrana, odnosno o udjelu hidroenergije u ukupnoj proizvodnji sistema.

Kad je konzum malen, s povećanjem instalirane snage vrijednost hidroelektrane tek neznatno raste, kad se promatraju instalirane snage veće od onih koje odgovaraju prosječnom godišnjem protoku. Taj porast vrijednosti javlja se, za proma-

trane hidroelektrane, do instalirane snage za $q = 2$, a nakon toga vrijednost ostaje neprimijenjena ma koliko se povećavala instalirana snaga. To znači da nema opravdanja hidroelektranu izgraditi s velikom snagom, jer se time ništa ne dobiva, a povećavaju se investicije i godišnji stalni troškovi. Za veliki konzum, međutim, vrijednost hidroelek-



Sl. 20. Vrijednost hidroelektrana C i D kad su konvencionalne termoelektrane dodatne termoelektrane



Sl. 21. Vrijednost hidroelektrana C i D kad su nuklearne elektrane dodatne termoelektrane

trane raste s povećanjem instalirane snage, pa je sigurno opravdano hidroelektranu izgraditi s većom instaliranom snagom kad je udio hidroenergije u sistemu malen nego kad proizvodnja u hidroelektranama predstavlja znatan dio od ukupne proizvodnje. Iz toga se može zaključiti da je opravdano — kad god je to moguće — predvidjeti mogućnost povećanja instalirane snage u hidroelektrani.

Vremenski raspored protoka veoma utječe na energetska vrijednost hidroelektrane. Ona hidroelektrana ima veću vrijednost — uz inače jednake ostale parametre — u kojoj se raspored protoka više razlikuje od rasporeda protoka u većini ostalih hidroelektrana. Utjecaj rasporeda protoka to je veći što je veći udio hidroenergije u sistemu, a on postaje malen kad proizvodnja hidroelektrana u sistemu postane samo mali dio od ukupne proizvodnje (K3). Iz toga bi se mogao izvući i zaključak o utjecaju akumulacijskih bazena na vrijednost hidroelektrane. Reguliranjem protoka, punjenjem i pražnjenjem akumulacijskog bazena može se u stanovitoj mjeri utjecati na vremenski raspored protoka (ovisno o volumenu akumulacijskog bazena), pa se postojanjem takvog bazena može povećati energetska vrijednost hidroelektrane.

Uspoređujući vrijednost hidroelektrana uz različite pretpostavke o tipu dodatnih termoelektrana, može se zaključiti da tip tih dodatnih termoelektrana nema veći utjecaj na vrijednost hidroelektrana kad je konzum malen. Veći utjecaj ima tip dodatnih termoelektrana kad je udio hidroenergije u sistemu malen u odnosu prema ukupnoj proizvodnji. Za male konzume povećanje je specifičnih investicija nuklearne elektrane kompenzirano manjim smanjenjem troškova za gorivo. Za veliki konzum snaga P_{th} brzo raste s povećanjem instalirane snage hidroelektrane, pa smanjenje troškova za gorivo ne može kompenzirati pozitivne efekte uštede na snazi termoelektrana.

10. ZAKLJUČAK

Prikazanom metodom mogu se dovoljno objektivno utvrditi energetske vrijednosti hidroelektrana, pa se poznavajući potrebne investicije i

godišnje stalne troškove promatrane hidroelektrane, može odrediti opravdanost izgradnje te hidroelektrane i uspoređivati hidroelektrane međusobno prema relaciji (2).

To može poslužiti kao prva indikacija o vrijednosti hidroelektrane i kao osnova za prethodnu selekciju hidroelektrana. Da bi se donijela odluka o gradnji, treba, naime, promatrati tu hidroelektranu u duljem vremenskom razdoblju, pa metodom aktualizacije odrediti njezin utjecaj na elektroenergetski sistem.

Pri tome se ne smije zaboraviti na međusobni utjecaj hidroelektrana. Kad bi se, naime, promatrala npr. hidroelektrana D nakon što je već izgrađena hidroelektrana C, sigurno bi energetska vrijednost hidroelektrane D bila manje nego kad se pretpostavi da hidroelektrana C nije još izgrađena. Zbog toga je potrebno primijeniti metodu koja je opisana u [3] da se odredi redoslijed izgradnje hidroelektrana, optimalno vrijeme njihova ulaska u pogon, pa i njihova instalirana snaga. I spomenuta metoda osniva se na usporedbi troškova u sistemu, kao i metoda energetske vrijednosti hidroelektrana.

LITERATURA

2. H. Požar: Leistung und Energie in Verbundsystemen, Springer Verlag, Wien 1963.
2. H. Požar, B. Filipović, P. Bodlović: Metoda konstantne i varijabilne energije za analizu prilika u elektroenergetskom sistemu prilagođena proračunu na elektroničkom računalu, Energija 21 (1972), str. 61—72 i 142—149.
3. H. Požar: Principes méthodologique d'optimisation de la date d'entrée en service des centrales à accumulation par pompage dans le système mixte d'énergie électrique en développement, Commission mixte d'énergie électrique en développement, Commission économique pour l'Europe, Comité de l'énergie électrique. EP/GE. 3/R. 27/Add. 1, Genève 1976.

ENERGETICAL VALUE OF HYDRO PLANT ENERGY AND POWER

In the article is presented a method for objective estimation of energetical value for hydro power plants. For comparing hydroplants and justification for building an optimal plant, it is necessary to know investments and annual constant expenses.

Naslov pisaca:

dr prof. Hrvoje Požar, dipl. ing.

dr prof. Božo Udovičić, dipl. ing i

Slavko Alerić, dipl. ing.

Institut za elektroprivredu, Zagreb

POTREBE I MOGUĆNOSTI IZGRADNJE ELEKTRANA U HRVATSKOJ ZA PODMIRENJE POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U BUDUĆNOSTI

Božo Udovčić, Zagreb

UDK 621.311

U članku su izvršena predviđanja potrošnje električne energije u elektroenergetskom sistemu Hrvatske do 2000. godine, te analizirane mogućnosti zadovoljenja predviđene potrošnje. Budući da je SR Hrvatska veoma siromašna primarnim oblicima energije (ugljen, nafta, plin i vodne snage), to su i mogućnosti zadovoljenja potrošnje vlastitim izvorima veoma male. Predlaže se zadovoljenje potreba izgradnjom preostalog hidropotencijala, izgradnjom termoelektrana na ugljen u drugim republikama i SAP Kosovu, te izgradnjom nuklearnih elektrana.

UVOD

Izgradnja elektroenergetskog sustava predstavlja, kako je poznato, vrlo intenzivnu investicijsku potrošnju, jer stalni porast potrošnje električne energije zahtijeva pravovremenu izgradnju svih elemenata elektroenergetskog sustava (elektrana, prijenosne i distributivne mreže).

Svakako da izgradnja elektrana, kao elemenata proizvodnje elektroenergetskog sustava, čini složeniji dio u cjelokupnoj izgradnji. Činjenica da izgradnja elektrana najdulje traje nameće potrebu poznavanja dugoročnijeg razvoja elektropriivrede, jer to omogućuje usmjerene i pravodobne pripreme i, naravno, što je posebno značajno, i jeftiniju izgradnju.

Da bi se mogla odrediti potrebna izgradnja i dinamika izgradnje izvora električne energije, potrebno je poznavati razvoj potrošnje električne energije.

PREDVIĐANJA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Predviđanja potrošnje električne energije potrebna su da bi se utvrdile tendencije daljnjeg razvoja i mogućnosti zadovoljenja potreba za električnom energijom.

Svako predviđanje, pa tako i predviđanje potrošnje električne energije, uvijek u sebi skriva stanovitu nesigurnost. Zadatak je predviđanja potrošnje svesti tu nesigurnost na najmanji mogući nivo.

Većina predviđanja zasniva se na temelju ostvarenja u prošlosti, a ta prošlost se pokušava nekim zakonitostima projicirati u budućnost.

Za predviđanja potrošnje u budućnosti potrebno je imati za što duži period podatke iz prošlosti o ostvarenoj potrošnji električne energije, o ostvarenom društvenom proizvodu, te o broju stanovnika u SR Hrvatskoj. Ostvareni podaci u prošlosti jesu:

Godina	Ukupno GWh	Društveni proizvod (DP) 10 ⁹ d/god.	Broj stanovnika (sta. 10 ⁶)
1963.	2841,0	28,0	4,23
1964.	3127,5	29,8	4,25
1965.	3438,8	31,1	4,29
1966.	3777,5	33,7	4,30
1967.	4145,6	35,0	4,32
1968.	4544,9	36,9	4,35
1969.	4977,5	39,8	4,38
1970.	5445,3	42,7	4,41
1971.	5950,6	46,3	4,43
1972.	6495,4	47,6	4,45
1973.	7081,8	49,3	4,47
1974.	7712,0	53,7	4,49
1975.	8383,3	56,2	4,51

Za predviđanja potrošnje električne energije veoma često se koriste podaci o potrošnji električne energije po stanovniku i o ostvarenom društvenom proizvodu po stanovniku.

Iz navedenih podataka za promatrani period ukupna potrošnja električne energije u Hrvatskoj po stanovniku i ostvareni društveni proizvod po stanovniku iznose:

Godina	Električna energija po stanovniku kWh/stan.	Društveni proizvod po stanovniku 10 ³ d/stan.
1963.	672	5,52
1964.	736	7,01
1965.	801	7,25
1966.	878	7,84
1967.	960	8,10
1968.	1045	8,48
1969.	1136	9,09
1970.	1235	9,68
1971.	1343	10,45
1972.	1460	10,70
1973.	1584	11,03
1974.	1718	11,96
1975.	1860	12,46

U svijetu su razvijeni različiti postupci za predviđanja potrošnje električne energije, a najčešći su:

- logističkom krivuljom ukupne potrošnje,
- putem pojedinih kategorija potrošnje
- korelacijom ostvarenog nacionalnog dohotka po stanovniku i ostvarene potrošnje električne energije po stanovniku.

U dosadašnjim radovima na ovoj problematici pokazalo se da logistička krivulja dosta dobro aproksimira razvoj potrošnje kroz duži vremenski period.

Jednadžba logističke krivulje glasi:

$$\log W = \frac{k}{1 + me^{-at}}$$

gdje oznake znače:

- W — godišnja potrošnja električne energije
- e — baza prirodnih logaritama
- a, k, m — parametri logističke krivulje
- t — vrijeme u godinama.

Predviđanja ukupne potrošnje električne energije i potrošnje električne energije u distribuciji izvršena su logističkom krivuljom na temelju podataka o ostvarenim godišnjim potrošnjama u razdoblju 1958. do 1977. godine.

Kod određivanja potrošnje putem kategorija potrošača pored predviđanja potrošnje u distribuciji pomoću korelacije potrošnje i društvenog proizvoda, veza između potrošnje električne energije i društvenog proizvoda određena je korelacijom za podatke iz prošlosti. Obično se korelacijska veza traži između specifične potrošnje po stanovniku i društvenog proizvoda po stanovniku.

Korelacijska veza između potrošnje električne energije po stanovniku (x) i društvenog proizvoda po stanovniku (y) može se prikazati regresijskim pravcem

$$y = ax + b.$$

Parametri a i b regresijskog pravca određuju se iz izraza:

$$a = \frac{\sum (xy) - \bar{x} \sum y}{\sum x^2 - \bar{x} \sum x}$$

$$b = \bar{y} - a \bar{x}$$

gdje veličine $\bar{x}$ i $\bar{y}$ znače prosječne vrijednosti u promatranom razdoblju u prošlosti.

Na temelju podataka iz prošlosti određene su konstante koje se javljaju i u izrazima pojedinih postupaka, te su nakon toga načinjena predviđanja potrošnje električne energije za budućnost (po godinama do 1995. i projekcijom 2000. godine) koja iznose:

Godina	Logistička krivulja GWh	Grupe potrošača GWh	Društveni proizvod, potrošnja po stanovniku GWh
1979.	11 595	12 085	11 300
1980.	12 533	13 609	12 098
1981.	13 529	14 403	12 800
1982.	14 585	15 339	13 750
1983.	15 703	16 557	14 600
1984.	16 884	17 452	15 603
1985.	18 130	18 396	16 477
1986.	19 443	19 391	17 650
1987.	20 828	20 426	18 970
1988.	22 721	21 512	20 205
1989.	23 799	23 745	21 520
1990.	25 376	25 801	22 938
1991.	27 033	27 034	24 007
1992.	28 760	28 325	26 012
1993.	30 559	29 661	27 725
1994.	32 428	31 063	29 608
1995.	34 367	32 542	31 556
2000.	45 091	42 577	43 050

Na temelju provedenih predviđanja potrošnje i na temelju analize tih predviđanja dolazi se do zaključka da se u pojedinim godinama mogu očekivati slijedeće potrošnje i slijedeća maksimalna opterećenja:

Godina	Potrošnja GWh	Maksimalno opterećenje MW
1979.	11 632	2 075,0
1980.	13 061	2 280,7
1981.	13 762	2 402,9
1982.	14 671	2 574,6
1983.	15 841	2 779,8
1984.	16 698	2 815,2
1985.	17 617	2 970,1
1986.	18 527	3 123,6
1987.	19 488	3 285,6
1988.	20 512	3 458,3
1989.	22 697	3 777,6
1990.	24 726	4 077,1
1991.	26 208	4 418,6
1992.	27 860	4 697,1
1993.	29 600	4 990,5
1994.	31 525	5 315,0
1995.	33 600	5 664,9
2000.	45 400	7 654,3

Maksimalna opterećenja određena su na temelju karakteristika dnevnih dijagrama opterećenja (L1) i tendencija razvoja tih karakteristika (udio pojedinih mjeseci u godišnjoj potrošnji u radnom i neradnom danu, faktor opterećenja itd.).

Prosječni godišnji porast u promatranom vremenskom razdoblju iznosi 6,42%. Svaka predviđanja, pa i ova učinjena, nose u sebi faktore neizvjesnosti, ali za potrebe za koje služe mogu biti dovoljno pouzdana i sigurna. S veoma velikom sigurnošću u neposrednom se periodu mogu očekivati predviđene potrošnje, jer su one dobrim dijelom temeljene na planovima izgradnje značajnijih potrošača.

Za period nakon 1985. godine sigurnost predviđanja nešto je manja, ali je i takva sigurnost dovoljna, jer će se do toga perioda nekoliko puta ponavljati predviđanja i korekcije kako bi se planovi izgradnje prilagodili potrebama potrošača. Prema tome, bitno je da se odredi za pojedini nivo potražnje koliko i kakvih elektrana treba izgraditi. Predviđeni nivo potrošnje može se ostvariti nešto ranije ili nešto kasnije od predviđenog vremena, pa prema tom ostvarenju treba prilagoditi rokove ulaska u pogon potrebnih elektrana.

MOGUĆNOSTI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Navedene potrebe električne energije mogu se zadovoljiti izgradnjom dovoljnog broja elektrana (hidroelektrana, klasničnih termoelektrana i nuklearnih elektrana). Kod izgradnje termoelektrana (klasičnih i nuklearnih) potrebno je imati termoelektrane sposobne za pogon i dovoljne količine goriva. Kod hidroelektrana situacija je mnogo složenija, počevši od računanja mogućih proizvodnji do neizvjesnosti dotoka u hidroelektranu.

I kod hidroelektrana uvjet je da su hidroelektrane sposobne za pogon. Kod određivanja moguće proizvodnje hidroelektrana potrebno je na temelju podataka o srednjim mjesečnim protocima u prošlosti (za što duži period) izračunati prema »metodi konstantne i varijabilne energije i snage« (L2) moguću proizvodnju za svaku hidroelektranu.

1. Moguće proizvodnje izgrađenih hidroelektrana i hidroelektrana u izgradnji

Za pokrivanje potreba u elektroenergetskom sustavu Hrvatske do sada su izgrađene ove hidroelektrane: Gojak, Rijeka, Varaždin, Vinodol, Senj, Sklope, Orlovac, Zakućac, Peruća i dio hidroelektrane Dubrovnik. U izgradnji ili pred početkom nalaze se ove hidroelektrane: Čakovec, Golubići i Obrovac, kao reverzibilna elektrana. Prosječna godišnja proizvodnja navedenih hidroelektrana iznosi 5 780 GWh. Ovdje je potrebno naglasiti da je to prosječna proizvodnja izračunata na temelju podataka o protocima kroz 40-godišnje razdoblje (1926 — 1965. godina). Minimalna i maksimalna proizvodnja koja se pojavila u promatranom vremenskom razdoblju znatno odstupa od prosječne proizvodnje. Lokacije navedenih hidroelektrana prikazane su na sl. 1.

2. Neiskorišteni hidropotencijal i moguće hidroelektrane za izgradnju

a) **Rijeka Sava s pritocima.** Ukupni potencijal porječja rijeke Save je 24 298 GWh. Od toga manji dio otpada na SR Hrvatsku, a obuhvaća energetske potencijal Kupe i pritoka te Save na dijelu vodotoka kroz našu republiku.

Prvenstveno treba konstatirati da je Sava od ušća Une do kraja svog toka u našoj republici pogranični vodotok prema SR Bosni i Hercegovini, te je interes za korištenje njezina vodnog blaga podijeljen između dvije republike.

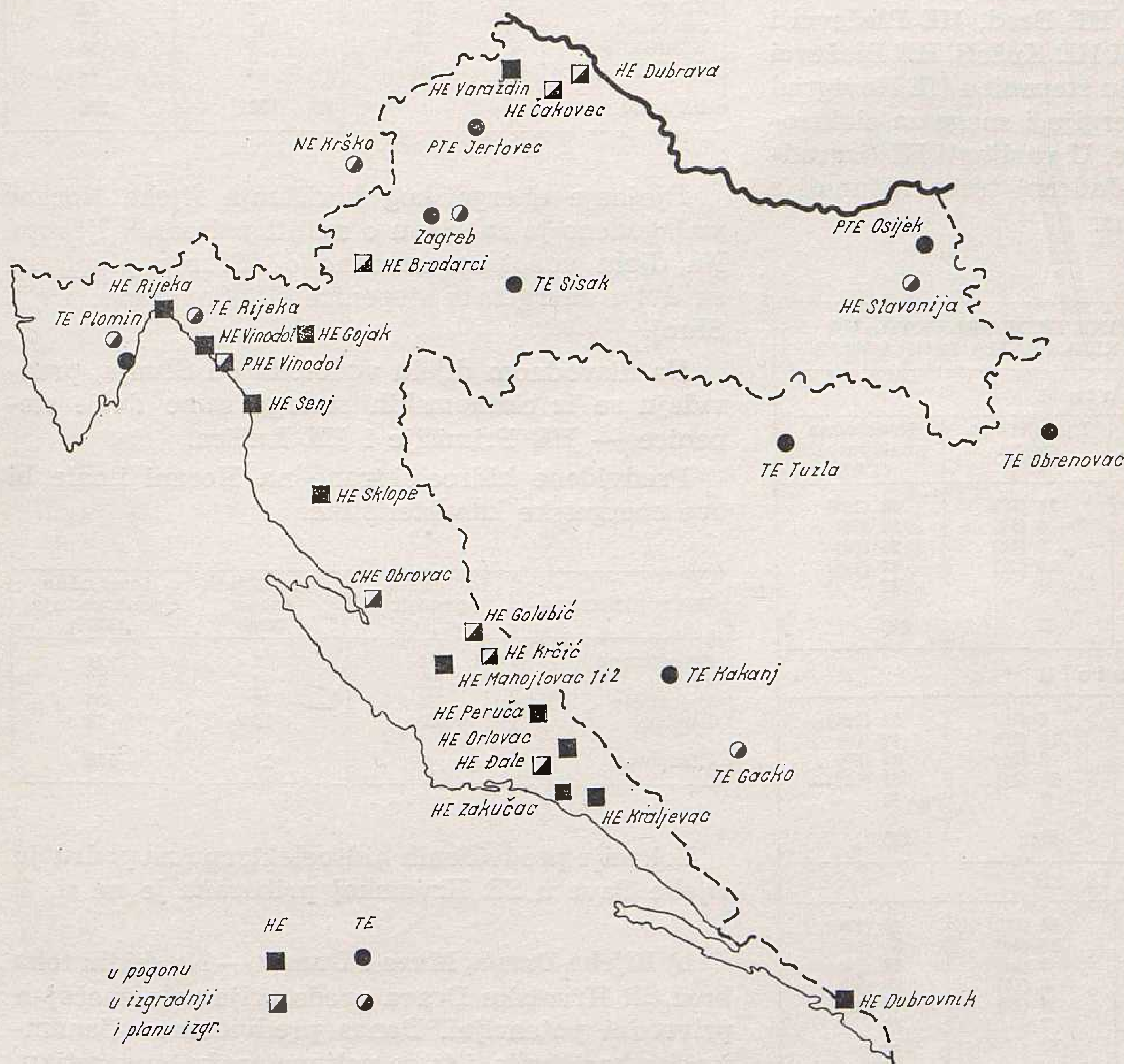
Relativno malen uzdužni pad rijeke, skromne mogućnosti za realizaciju akumulacijskih prostora, velika važnost vodoprivrednih zadaća, potisnuli su energetske iskoristivosti u drugi plan. Posljedica toga je da su planirani energetske objekti na Savi po svojoj koncepciji rješenja i planiranom načinu rada neodvojiv dio vodno-gospodarskog rješenja Save i Posavlja u cjelini.

Na dionici srednje Save u SR Hrvatskoj, od ušća Sutle do Siska, čiji je ukupni pad oko 38 m, planira se izgradnja 4 energetska postrojenja (HE Podsused, HE Jarun, HE Rugvica i HE Strelečko). Na nizvodnoj dionici rijeke s ukupnim padom od približno 13,5 m planira se izgradnja dvaju energetske postrojenja (HE Jasenovac HE Šamac, odnosno HE Zupanja). Sva nabrojena postrojenja planirana su kao pribranske HE s relativno malim padom.

Danas je u toku razrada studije za rješenja kanala Vukovar—Šamac, koji bi se priključio na kanaliziranu Savu. Takvo rješenje daje mogućnost skraćivanja trase kanala, a time i pojeftinjenja, ali traži izgradnju vodne stepenice kod Županje u mjesto kod Šamca.

Navedene hidroelektrane na rijeci Savi imaju karakteristike dane u tablici na slijedećoj Strani.

Kupa od izvora do ušća duga je 87 km, a visinska je razlika 170 m. Razrađeno je osnovno rješenje u dvije varijante. Kod toga su sve elektrane riješene kao pribranske postrojenja, osim HE



Sl. 1. Prikaz elektroenergetskih izvora u SR HRVATSKOJ (u pogonu u izgradnji i planu izgradnje)

Hidroelektrana	Instalirani protok m³/sek	Instalirana snaga MW	Prosječna proizvodnja GWh
Podsused	450	41	218
Jarun	450	40	203
Rugvica	450	32	169
Strelečko	450—500	25	150
Jasenovac	700	25	130
Šamac ili Zupanja	1 220	20 (40)	120 (240)
Ukupno		203	990

Brod (I varijanta), odnosno HE Kuželj (II varijanta) i HE Novigrad, koje su predviđene kao derivacijska postrojenja.

Kanalizacija rijeke Kupe potrebna za eventualnu uspostavu plovnog puta Jadran — Podunavlje traži drugo vodoprivredno rješenje negoli je navedeno. Osnovna značajka toga rješenja je nužnost izgradnja pribranskih HE, kod kojih se bazen nizvodne elektrane proteže do stepenice uzvodne i na taj način uz pomoć brodarskih splavnica moguća je plovidba uzduž vodotoka. Takvo rješenje predložio je S. Reštarović u svom članku »Plovni put Sava—Kupa—Jadran«. Rješenjem je predviđen lanac od 7 elektrana — vodnih stepenica na Kupi nizvodno od ušća Kupice.

Kod energetskog korištenja rijeke Kupe treba računati s tim da su prve tri stepenice na granici s SR Slovenijom, te da treba računati s 50% energije i snage (u varijanti I HE Brod, HE Blaževci i HE Damalj, a u varijanti II HE Kuželj, HE Blaževci i HE Damalj) dok za četvrtu stepenicu HE Novigrad treba računati sa 70% energije i snage za elektroenergetski sustav Hrvatske. U varijanti III (izgradnja plovnog puta Kupa—Jadran) treba računati s 50% od prvih pet stepenica.

KARAKTERISTIČNE VELIČINE HIDROELEKTRANA NA KUPI U POJEDINIM VARIJANTAMA IZDRADNJE			
Varijanta I			
Hidroelektrana	Instalirani protok m³/sek	Instalirana snaga MW	Prosječna proizvodnja GWh
Brod	30	10 (20)	63 (126)
Blaževci	90	6 (12)	25 (50)
Damalj	90	5 (10)	25 (50)
Novigrad	100	15 (21)	87 (124)
Brodarci	140	7	40
Ukupno		43	240
Varijanta II			
Kuželj	30	8 (16)	51 (102)
Blaževci	90	10 (20)	42 (84)
Damalj	90	5 (10)	25 (50)
Novigrad	100	15 (21)	87 (124)
Brodarci	140	7	40
Ukupno		45	245
Varijanta III			
Osilnica (Brod)		10 (20)	63 (126)
Damalj	100	17 (34)	85 (170)
Pribanci	100	5 (10)	25 (50)
Ladešić Draga	100	5 (10)	25 (50)
Brod	100	9 (18)	45 (90)
Brodarci	140	7	40
Pokuplje	300	25	120
Ukupno		78	403

Gojačka Dobra je prvi veći pritok Kupe u koju utječe desetak kilometara uzvodno od Karlovca, povećavši joj protok za 55%. Taj vodotok ima duljinu 65 km, apsolutni pad 75,5 m, a srednji protok na ušću 36 m³/s. Na rijeci Dobri osim izgrađene hidroelektrane Gojak predviđena je izgradnja još triju hidroelektrana (Lešće, Lipa i Jelsa), ovih karakteristika:

Hidroelektrana	Instalirani protok m³/sek	Instalirana snaga MW	Prosječna proizvodnja GWh
Lešće	38	13	65
Lipa	6	3	13
Jelsa	21	96	110
Ukupno		36	188

Duljina rijeke Mrežnice je 63,4 km, a ima apsolutni pad od 149 m. Njezinu slivu pripada potok Dretulja, koja ponire na krškoj zaravni Plaškog, a ima srednji protok 7,4 m³/s.

Predviđenim rješenjem energetskog iskorištenja obuhvaćene su vode Dretulje i Mrežnice sa slijedećim vodnim stepenicama: HE Zbijeg, HE Juzbašić, HE Ključarić i HE Zvečaj, slijedećih karakteristika:

Hidroelektrana	Instalirani protok m³/sek	Instalirana snaga MW	Prosječna proizvodnja GWh
Zbjeg	10	8	43
Juzbašić	26	10	55
Ključarić	36	7	30
Zvečaj	36	7	32
Ukupno		32	160

Rješenje energetskog korištenja rijeke Korane prilagođeno je zahtjevu o zaštiti prirodnih ljepota. Na djelu vodotoka uzvodno od Slunja planirane su dvije energetske stepenice HE Smoljanec i HE Slunj.

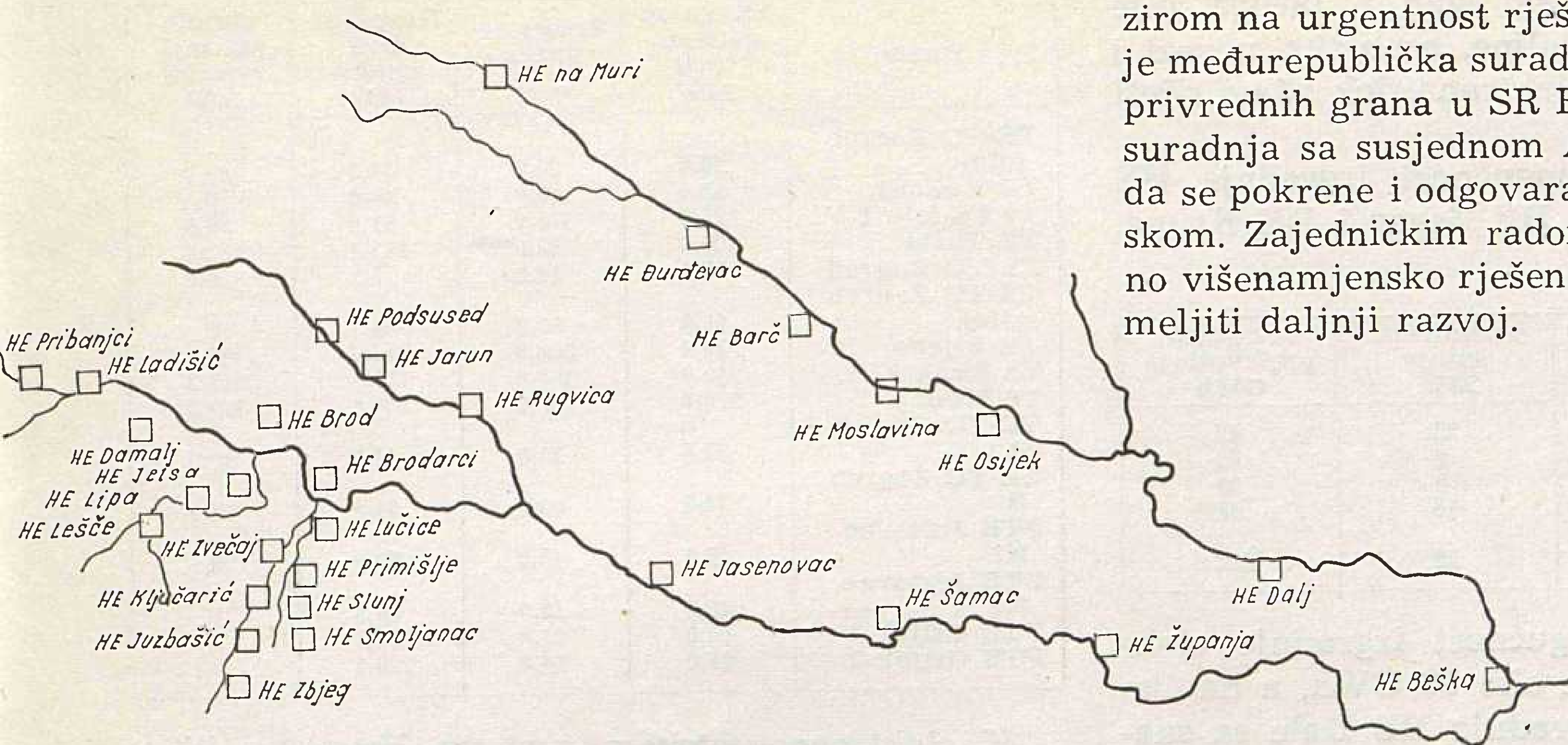
Na nizvodnom dijelu vodotoka od Slunja, predviđaju se iz ekonomskih razloga samo dvije stepenice — HE Primišlje i HE Lučica.

Predviđene hidroelektrane na Korani imale bi ove energetske karakteristike:

Hidroelektrana	Instalirani protok m³/sek	Instalirana snaga MW	Prosječna proizvodnja GWh
Smoljanec	4	2	14
Slunj	18	3	17
Primišlje	32	7	35
Lučice	50	15	73
Ukupno		27	139

Lokacija predviđenih hidroelektrana na području rijeke Save u SR Hrvatskoj prikazana je na sl. 2.

b) Rijeke Drava, Mura i Dunav — Na dijelu toka kroz SR Hrvatsku Drava predstavlja vrlo značajan privredni potencijal. Danas predviđamo višenamjensko korištenje, i to za poljoprivredu, energetiku, vodoopskrbu industrije i pučanstva te za plovidbu.



Sl. 2. Preostali hidropotencijal sliva SAVE, DRAVE i DUNAVA

Nizvodno od ušća Mure, Drava je pogranična rijeka prema NR Mađarskoj. Na tom dijelu vodotoka interes za njezino korištenje podijeljen je između dvije zemlje, a u toku je i suradnja dviju država na zajedničkom rješavanju dionice vodotoka od zajedničkog interesa.

Za energetska iskorištenje dravskih voda predviđena je izgradnja sedam HE, od toga je HE Varaždin izgrađena i u pogonu je od 1975. god., a u toku izgradnja HE — Čakovec. Na srednjoj Dravi predviđa se još HE Dubrava, dok su četiri energetska postrojenja planirana na donjoj pograničnoj Dravi zajednički s NR Mađarskom (HE Djudjevac, HE Barč, HE Moslavina i HE Osijek).

Projektima je predviđeno da se kod svih elektrana izgrade akumulacijski bazeni, koji se postižu izgradnjom popratnih vodonepropusnih nasipa. Namjena bazena je reguliranje dotoka, protjecanje voda Drave i nanosa, uključujući i velike vode, obrana zaobalja od poplave, zahvat vode za potrebe poljoprivrede i vodoopskrbe, a na vodnim stepenicama donje Drave i za plovidbu.

Udio elektroenergetskog sustava Hrvatske u hidroelektranama iznosio bi oko 88% u Đurđevcu, 50% u Barču, 50% u Moslavini i 70% u Osijeku, a navedene hidroelektrane bi imale ove energetske karakteristike:

Hidroelektrana	Instalirani protok m ³ /sek	Instalirana snaga MW	Prosječna proizvodnja GWh
Dubrava	450	77	405
Đurđevac	750	102 (115)	570 (650)
Barč	1 100	47 (90)	189 (363)
Moslavina	820	18	116 (232)
Osijek	620	18 (25)	130 (186)
Ukupno		262	1 610

U vodoprivrednom rješavanju porječja Drave važnu zadaću predstavlja rješenje njenog najvećeg pritoka Mure. Za sada ne raspolažemo vrijednim i od elektroprivrede i vodoprivrede usvojenim rješanjem korištenja vodnih potencijala Mure. S ob-

zirom na urgentnost rješenja ove zadaće pokrenuta je međurepublička suradnja između zainteresiranih privrednih grana u SR Hrvatskoj i Sloveniji, kao i suradnja sa susjednom Austrijom. Potrebno je još da se pokrene i odgovarajuća suradnja s NR Mađarskom. Zajedničkim radom trebalo bi riješiti osnovno višenamjensko rješenje Mure, na kojem će se temeljiti daljnji razvoj.

U SR Hrvatskoj Mura ima vodotok dug oko 74 km. Vodotok je nadionici od Gibine do ušća lijevog pritoka Krke, pograničan prema SR Slovenija a od ušća Krke od ušća Mure u Dravu kod Legrada prema NR Mađarskoj. Jasno je da će i podjela koristi od vodnog blaga Mure biti u

skladu s njezinim geografskim položajem.

Energetski bruto-potencijal Mure u SR Hrvatskoj procjenjujemo na ukupno 180 GWh/godinu, od čega na našu republiku otpada 1/2 odnosno 90 GWh. Snaga postrojenja na Muri može doseći oko 40 MW ukupno.

Na Dunavu uzvodno od HE Đerdap pruža se mogućnost za izgradnju još dviju vodnih stepenica, odnosno hidroelektrane na km 1234, HE Beška, i na km 1358, HE Dalj.

To su višenamjenski objekti, kojima su osnovne namjene plovidba i energetika.

Hidroelektrane bi bile locirane na jednoj od obala. Instalirana snaga tih postrojenja može se pretpostaviti od 250 do 300 MW.

Budući da Dunav ima pogranični geografski položaj između SR Hrvatske i SAP Vojvodine, koristi od korištenja njenog vodnog potencijala pripadaju u odgovarajućim dijelovima svakoj od strana (HE Beška 50% i HE Dalj 30% SR Hrvatskoj).

Karakteristične energetske veličine navedenih hidroelektrana na Dunavu iznosi:

Hidroelektrana	Instalirani protok m ³ /sek	Instalirana snaga MW	Prosječna proizvodnja GWh
Beška	4 000	150 (300)	400 (800)
Dalj	4 000	97 (300)	240 (800)
Ukupno		240	640

Vjerojatne lokacije hidroelektrana na Dravi, Muri i Dunavu prikazane su na sl. 2.

c) Rijeke jadranskog sliva. Na Krki postoji mogućnost gradnje hidroelektrana Krčić, Manojlovac II, Roški slap i Jaruga ovih karakteristika:

Hidroelektrana	Instalirani protok m ³ /sek	Instalirana snaga MW	Prosječna proizvodnja GWh
Krčić	20	29	66
Manojlovac II	100	102	208
Roški Slap	110	24	69
Jaruga	120	42	167
Ukupno		197	510

Kod hidroelektrana Roški slap i Jaruga nije riješeno pitanje zaštite okoline, pa s tim u vezi i mogućnost izgradnje tih elektrana dok se ne riješi navedeni problem;

Na Zrmanji postoji mogućnost izgradnje HE Marjanovići, HE Ervenik, HE Žegar i HE Krupa, slijedećih kapaciteta:

Hidroelektrana	Instalirani protok m ³ /sek	Instalirana snaga MW	Prosječna proizvodnja GWh
Marjanović	40	25	45
Ervenik	8	9	62
Žegar	14	7	32
Krupa	50	12	53
Ukupno		52	192

Na Rječini postoji mogućnost izgradnje elektrane godišnje proizvodnje oko 50 GWh, a na Cetini postoji mogućnost izgradnje HE Đale sa snagom 33 MW i prosječnom godišnjom proizvodnjom 164 GWh.

Osim mogućnosti gradnje navedenih hidroelektrana postoji mogućnost gradnje druge etape HE Dubrovnik i HE Senj, te treće etape HE Zakućac III. Druge i treće etape ne donose veće količine energije i ako bi se gradile, to bi bilo ponajprije zbog potreba snage, ali se zbog snage mogu graditi i crpnoakumulacijska postrojenja koja mogu biti povoljnija od drugih ili trećih etapa već izgrađenih hidroelektrana (npr. CHE Vinodol).

Na slici 3. prikazane su lokacije hidroelektrana jadranskog sliva.

Prema navedenim podacima neizgrađeni hidropotencijal iznosi oko 5 000 GWh.

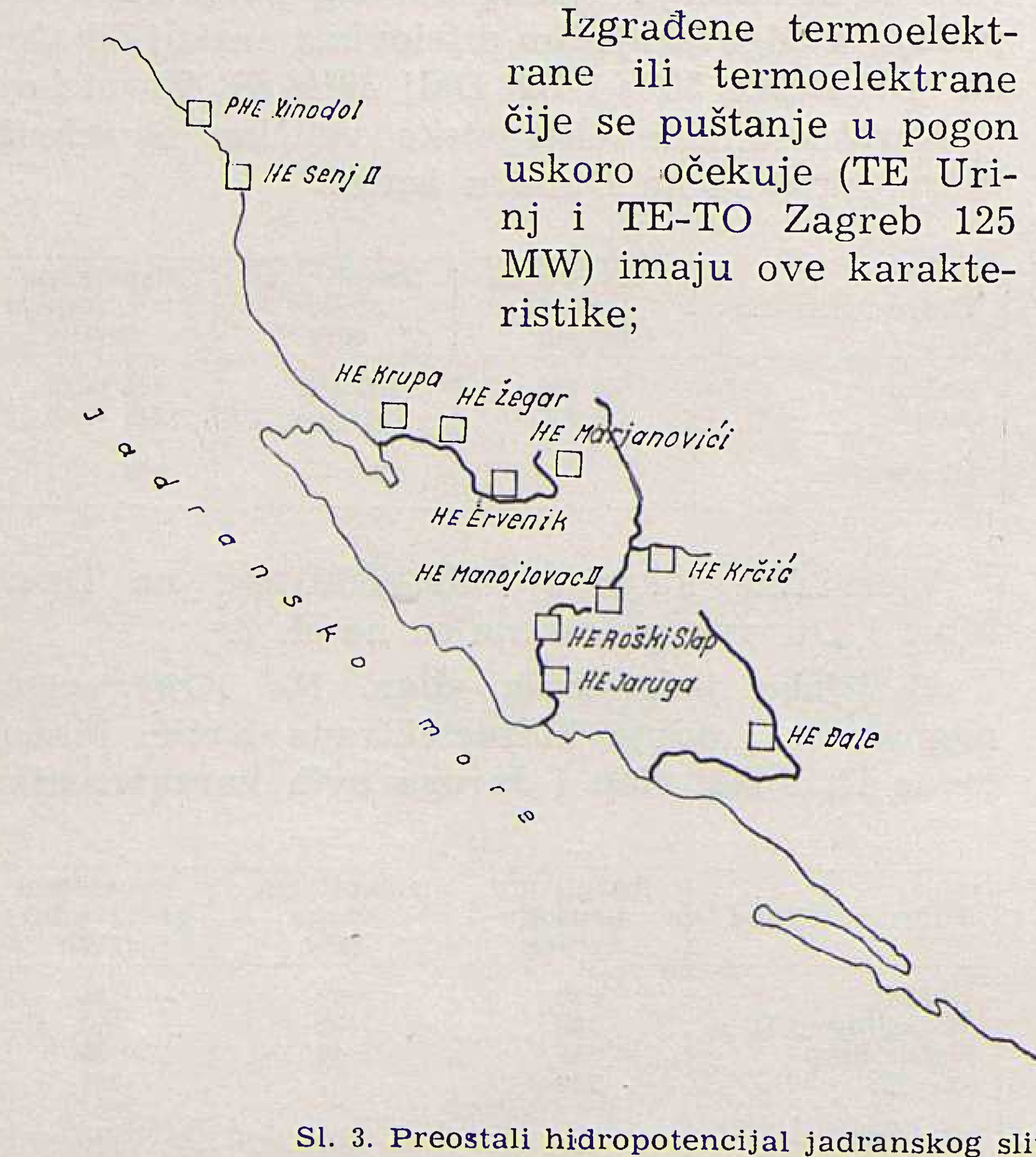
Naziv	Snaga na generatoru MW	Snaga na pragu MW	Raspoloživa snaga MW	Tehnološki minimum MW
TE-TO Zagreb (dio)	60,0	55,2	44,7	44,7
TE Kakanj	50,0	46,0	46,0	0
Te Plomin 1	125,0	113,0	91,5	59,5
TE Tuzla	200,0	182,0	147,4	133,6
EL-TO Zagreb	12,0	10,0	8,1	4,0
TE-TO Zagreb (dio)	60,0	55,2	44,7	0
TE Rijeka	320,0	300,8	243,6	60,9
Te Sisak 2	210,0	198,0	160,4	112,3
Te Sisak 1	210,0	198,0	160,4	122,3
TE-TO Zagreb A	32,0	30,0	24,3	12,5
TE-TO Zagreb B	32,0	30,0	24,3	12,5
PTE Jertovac K1	45,0	44,3	35,9	0
PTE Jertovac K2	45,0	44,3	35,9	0
PTE Osijek 1	25,0	24,8	20,1	0
PTE Osijek 2	25,0	24,8	20,1	0

U elektroenergetskom sustavu Hrvatske ili u drugim sustavima za potrebe sustava Hrvatske nalaze se slijedeće termoelektrane u izgradnji:

TE Obrenovac, TE Gacko, NE Krško, EL-TO Zagreb i TE-TO Rijeka, koje imaju ove karakteristične veličine:

Naziv elektrane	Snaga na generatoru MW	Snaga na pragu MW	Raspoloživa snaga MW	Tehnološki minimum MW	Cijena goriva p/kWh	Vrijeme remonta mjesec
TE Obrenovac	305,0	280,0	280,0	0	25,0	2
Ne Krško	332,0	312,1	253,8	126,9	21,0	2
Te Dacko	100,0	92,0	92,0	0	27,0	2
EL-TO Zagreb	30,0	28,3	22,9	10,0	34,7	1
TE-TO Rijeka	45,0	442,0	34,6	15,6	34,7	1

3. izgrađene termoelektrane i termoelektrane u izgradnji



Sl. 3. Preostali hidropotencijal jadranskog sliva

4. Potencijalne snage termoelektrana za izgradnju

Budući da je SR Hrvatska veoma siromašna rezervama primarnih oblika energije, to su i mogućnosti za izgradnju termoelektrana veoma malene. Dokazanim rezervama ugljena može se osigurati izgradnja TE Plomin II snage 160 MW. Izgradnja termoelektrana na tekuće gorivo došlo je u pitanje nakon svjetske energetske krize 1973. godine. Danas se u svijetu ne grade termoelektrane na tekuće gorivo koje bi imale osnovnu ulogu proizvoditi energiju za opskrbu potrošača, nego se vrlo često vrši supstitucija već izgrađenih termoelektrana na tekuće gorivo. Grade se samo iznimno kao rezerva ili zbog strateških razlika. Ako bi postojale veće količine mazuta za kojega ne bi bio osiguran plasman, u tom slučaju bi se moglo i trebalo raspravljati o mogućnosti i opravdanosti izgradnje termoelektrana na tekuće gorivo.

Potencijalne lokacije za izgradnju termoelektrana na tekuće gorivo jesu Sisak III, Rijeka II i Slavonski Brod.

Nakon izgradnje TE Plomin II i slabog izgleda da se grade termoelektrane na tekuće gorivo, bit će potrebno i dalje graditi elektrane za opskrbu potrošača električnom energijom.

Danas su sagledive dvije alternative:

a) izgradnja nuklearnih elektrana za koje također nemamo (prema današnjem saznanju) potrebno gorivo,

b) izgradnja termoelektrana na kruto gorivo u drugim republikama i Kosovu.

MOGUĆNOSTI ZADOVOLJENJA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U BUDUĆNOSTI

1. Energetski potencijal

Kako je poznato, SR Hrvatska je veoma siromašna primarnim oblicima energije, a to se može najbolje ilustrirati podatkom da SR Hrvatska raspolaže sa 7,6% svih primarnih oblika energije Jugoslavije bez nuklearnih rezervi, odnosno 3,4% s nuklearnim rezervama.

Prema tome, SR Hrvatska mora uložiti velike napore u budućnosti kako bi osigurali potrošače energijom, a posebno električnom energijom.

Današnja saznanja upućuju nas na to da se intenzivno istražuju nalazišta ugljena, nafte, plina i urana.

Izgradnjom TE Plomin II iskoristile bi se danas poznate količine ugljena raspoložive za elektroprivredu. Ima indikatora koji upućuju na otkrivanje stanovitih količina ugljena kod Koromačnog, što treba intenzivno istraživati. Sve količine koje se pronađu dobro će doći, ali su to količine kojima se ne mogu riješiti energetski problemi u budućnosti.

Korištenjem i izgradnjom preostalog hidropotencijala također se ne mogu riješiti u budućnosti problemi opskrbe potrošača električnom energijom. Da bismo to ilustrirali navodimo podatke o ukupnom iskorištenom vodnom potencijalu. Ukupnih hidropotencijal SR Hrvatske cijeni se na oko 10 650 GWh, od čega je izgrađeno ili je u izgradnji 5 780 GWh. Prema tome, preostali hidropotencijal za podmirenje potreba iznosi oko 5 000 GWh.

Što se tiče mogućnosti gradnje nuklearnih elektrana, danas se zna samo toliko da će za drugu zajedničku nuklearnu elektranu (SR Slovenija 50% i SR Hrvatska 50%) gorivo biti osigurano iz Žirovskog vrha. Prema tome za slučaj izgradnje većeg broja nuklearnih elektrana potrebno je osigurati gorivo u zemlji ili u inozemstvu.

Budući da SR Hrvatska neće u budućnosti (koliko se danas može znati) moći računati sa znatnijim vlastitim količinama ugljena za izgradnju termoelektrana, zatim da je hidropotencijal neznan i relativno skup (radi se o kompleksnim

korištenjima vodotoka i o niskim padovima) i da nema nuklearnog goriva, bit će prisiljena stanovito vrijeme graditi u drugim republikama i SAP Kosovu termoelektrane na ugljen.

2. Manjkovi energije i snage po godinama

Polazeći od pretpostavke da će predviđene elektrane biti izgrađene i da će se ostvariti predviđena potražnja električne energije, načinjene su elektroenergetske bilance u kojima su pokazani manjkovi energije i snage po godinama kako slijedi:

Godina	Potrošnja s crpljenjem GWh	Manjak energije GWh	Manjak snage (generator) MW
1987.	19 672,7	1 000,0	180,8
1988.	20 693,8		398,6
1989.	22 879,2	4 451,9	814,6
1990.	24 914,7	6 600,7	1 214,0
1991.	26 418,3	8 485,4	1 607,8
1992.	28 058,4	10 173,3	1 963,2
1993.	29 809,7	11 897,5	2 340,5
1994.	32 719,1	14 134,5	2 861,3
1995.	33 778,4	16 314,2	3 363,5
2000.	45 571,4	29 011,8	6 429,1

Iz navedenih podataka vidljivo je da će se morati učiniti veliki naponi kako bi se podmirili i nadoknadili manjkovi energije i snage. Za podmirenje manjkova energije i snage najprije bi trebalo iskoristiti resurse koji stoje na raspolaganju u republici. Karakteristika je preostalog hidropotencijala da su to postrojenja s nižim padovima, pa, prema tome, s manjim snagama i proizvodnjama, odnosno ekonomski nepovoljnija u odnosu prema izgrađenim postrojenjima. Nadalje, ova postrojenja su vrlo često na vrlo niskom stupnju razrađenosti projektne dokumentacije. Detaljnije studije i istraživanja te projektiranje (što bi trebalo ubrzati osiguranjem dovoljno sredstava za ovu svrhu) vjerojatno će izmijeniti neka od predloženih rješenja.

Uz pretpostavku (koja će se veoma teško ostvariti) da će se u prosjeku godišnje izgraditi hidroelektrana čija bi godišnja proizvodnja iznosila oko 250 GWh, odnosno čija bi izgradnja uštedjela 40 MW izgradnje snage u termoelektoranama, izgradio bi se preostali hidropotencijal do 2000. godine. Nakon uzimanja u obzir navedene pretpostavke, manjak energije i snage u pojedinim godinama iznosio bi:

Godina	Manjak energije GWh	Manjak snage MW
1987.	1 000,0	—
1988.	1 944,5	358,6
1989.	3 951,9	734,6
1990.	5 850,7	1 094,0
1991.	7 485,4	1 447,8
1992.	8 923,3	1 763,3
1993.	10 397,5	2 100,5
1994.	12 384,5	2 581,3
1995.	14 314,2	3 043,5
2000.	25 011,8	5 829,1

Navedeni manjkovi mogu se pokriti izgradnjom nuklearnih elektrana, izgradnjom termoelektrana u drugim republikama i Kosovu, te potrebnom izgradnjom crpno-akumulacijskih postrojenja.

U promatranom vremenskom razdoblju karakteristične godine su 1990, 1995. i 2000., te će se najprije ocijeniti kolika je potrebna izgradnja u tim godinama. Nakon određivanja strukture elektrana u navedenim godinama interpolacijom se mogu odrediti struktura i potrebna izgradnja u ostalim promatranim godinama.

Iz navedenih podataka i konstatacija proizlaze za elektroprivredu i društvo u cjelini veoma velike obaveze i zadaci ako se žele osigurati potrošači električnom energijom, a s tim u vezi i normalan razvoj privrede i društva u cjelini.

Da bi se podmirile potrebe u električnoj energiji, predlaže se slijedeća dinamika izgradnje:

a) da se u prosjeku svake godine od 1986. do 1995. godine izgradi hidroelektrana kapaciteta 250 GWh godišnje proizvodnje, a koje bi štedile u prosjeku 40 MW na izgradnji termoelektrana

b) da se sav preostali hidropotencijal izgradi do 2000. godine;

c) da se do 1990. godine dovrši kompletna izgradnja CHE Vinodol a do 1995. da se izgradi novih crpno-akumulacionih hidroelektrana ili povećća instalirana snaga postojećih hidroelektrana koja bi uštedjela izgradnju 200 MW izgradnje u termoelektranama;

d) da se od 1995. do 2000. godine izgradi daljnjih 253 MW uštede izgradnjom u termoelektranama izgradnjom crpno-akumulacijskih hidroelektrana ili povećanjem snage u postojećim hidroelektranama (izgradnjom drugih i trećih etapa);

e) da se do 1990. izgrade termoelektrane na kruta goriva u drugim područjima snage 500 MW, a do 1995. godine daljnjih 750 MW. Ako bi se u međuvremenu pronašle dovoljne količine ugljena za izgradnju termoelektrana na vlastitim područjima (Koromačno ili drugdje), u tom slučaju bi za tu izgradnju trebalo smanjiti izgradnju u drugim područjima;

f) da se od 1995 do 2000. godine izgradi daljnjih 613 MW termoelektrana na kruta goriva u drugim područjima;

g) da se do 1990. godine izgradi druga zajednička nuklearna elektrana snage 1 000 MW, od čega bi za potrebe elektroprivrednog sustava Hrvatske bilo 500 MW. Da se do 1995. izgradi slijedeća nuklearna elektrana snage 1 000 MW.

h) da se od 1995. do 2000. godine izgradi daljnjih 2 000 MW ($2 \times 1 000$) u nuklearnim elektranama za potrebe elektroenergetskog sustava SRH.

Ako navedeno rekapituliramo, dobivamo podatke navedene u gornjoj tablici.

Izloženi plan razvoja elektroprivrede, tj. njegov prijedlog u idućem razdoblju do 2000. godine nameće vrlo velik opseg radova na proširenoj reprodukciji u kojima izgradnja hidroizvora može pokriti samo manji dio potreba. Objekti stra-

Tip elektrane	Potrebna izgradnja do		
	1990. god.	1995. god.	2000. god.
Hidropotencijal	280 MW	480 MW	680 MW
CHE ili druge etape	120 MW	320 MW	573 MW
TE na kruto gorivo	500 MW	1 234,0 MW	1 847,0 MW
Nuklearne elektrane	500 MW	1 500 MW	3 500 MW

tegijskog značaja za elektroprivredu jesu nuklearne elektrane i klasične termoelektrane.

Izgradnja nuklearnih elektrana velikih snaga, a posebno izgradnja termoelektrana u drugim područjima traže da se na vrijeme provedu analize i pripreme za izgradnju prijenosne mreže.

Korištenje drugih oblika primarne energije za proizvodnju električne energije nije predviđeno u idućem periodu. Iako će doći do korištenja tih oblika, njihova primjena neće imati značajniju primjenu. Potrebno je naglasiti da se u svijetu čine veliki naponi i intenzivna istraživanja za korištenje novih oblika energije (sunce, fuzija itd.), a isto tako je poznato da treba proći jedan duži vremenski period od pronalaska do ekonomske primjene, nove tehnologije. Osim tog vremena postoji još jedno vrijeme dok se ta tehnologija ne usvoji i ne počne primjenjivati u zemljama u razvoju ili manje razvijenim zemljama.

I na kraju, potrebno je naglasiti da bi za ostvarenje navedenog plana izgradnje bilo potrebno pripremiti studijske i projektne organizacije kako bi mogle tražiti tehnički i ekonomski povoljnija rješenja, zatim treba pripremiti domaću građevinsku i montažnu operativu, te maksimalno uključiti strojogradnju za ostvarenj programa razvoja, kao i za savladavanje novih tehnologija.

LITERATURA

- Požar, Maoduš: Karakteristike potrošnje električne energije u SR Hrvatskoj, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1964.
- Požar: Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima, Zajednica Jugoslavenske elektroprivrede Beograd, 1966.
- Požar, Filipović, Bodlović: Metoda konstantne i varijabilne energije i snage za analizu prilika u elektroenergetskom sistemu prilagođena proračunu na elektroničkom računalu, »Energija« 1972. godine.
- Udovičić, Alerić, Bilčar, Hatić: Elektroenergetske osnove za 15 godišnji plan razvoja potrošnje i izgradnje izvora energije u Hrvatskoj do 1995. s osvrtom na 2000. godinu, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1978.

NECESSITIES AND POSSIBILITIES FOR BUILDING POWER PLANTS IN CROATIA FOR SUPPLYING ELECTRIC POWER IN FUTURE

In the article are given foreseeings of consumption electric power in electroenergetic system of Croatia till 2000, year, and analyses for fulfilment of predicted consumption. Because is Croatia very poor in primary resources of energy (for instance: coal, oil, gas and water power), due to are possibilities for fulfilment of consumption with own resources really small.

It is suggested for fulfilment of consumption to build hydro power plants, thermo power plants on coal in others republics and SAP Kosovo and nuclear power plants.

Naslov pisca:

dr prof. Božo Udovičić, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

PRIJERATNA ELEKTRIFIKACIJA SJEVERNE HRVATSKE

Boris Marković, Zagreb

UDK 621.31

Ovo je osvrt na članak o elektrifikaciji sjeverne Hrvatske koji je u novinama izašao prije 50 godina. Prikazan je u tekstu i tabelama tadašnji stupanj elektrifikacije, kao i planovi za daljnji razvoj. Posebno je izneseno djelovanje DEP u prijeratnim i ratnim godinama, kao i planovi tog poduzeća u elektrifikaciji Hrvatske.

Prije pola stoljeća, ili točnije 16. prosinca 1928, izašao je u tadašnjem zagrebačkom dnevniku »Jutarnji list« opširan članak direktora Zagrebačke gradske električne centrale (GEC) inženjera Ante Viskovića o elektrifikaciji zapadnog dijela Jugoslavije. To je bio još jedan pokušaj da se potakne šira elektrifikacija na području sjeverozapadne Hrvatske. Premda je Jugoslavija tada bila zaostala i nerazvijena, nije se mogla mimoći velika važnost elektrifikacije u razvoju i napretku zemlje. Zaostajanje Jugoslavije za naprednim zemljama postajalo je i u tom pogledu sve veće. Stoga je bila razumljiva inicijativa stručnjaka Zagrebačke gradske električne centrale, najveće elektrane u najurbaniziranom području tog dijela zemlje, da elektrifikacija krene što više u širinu izvan gradskih područja.

Namjera od pred dvije godine (1926) da se sagradi hidroelektrana na Savi kod Krškoga bila je odbačena uz obrazloženje da bi to bila prevelika elektrana (13 MW) za ondašnji konzum Zagreba (16,2 GWh/god.). Smatralo se da bi elektrana bila ekonomična tek pri godišnjoj potrošnji od 40 GWh. Zbog toga su tražene druge mogućnosti, ponajprije u izgradnji termoelektrane na bazi ugljena u Hrvatskom zagorju.

Spomenuti članak zanimljiv je upravo stoga što ne stavlja težište na opskrbu grada Zagreba električnom energijom, već problem elektrifikacije promatra mnogo šire. Autor se priklanja modernoj koncepciji elektrifikacije i predlaže izgradnju elektroenergetskog sistema koji bi nastao povezivanjem, za one prilike, većih elektrana i konzumnih centara vodovima visokog napona. Upozorava, nadalje, na činjenicu da je dobava jeftine električne energije moguća jedino izgradnjom ekonomičkih elektrana na rudincima uglja i hidroelektrana, te njihovim povezivanjem s centrima potrošnje. Način elektrifikacije kakav se provodi u zemlji autor članka smatra punim pravom neracionalnim. On navodi: »Svaki grad, svako veće trgovište, a u novije vrijeme i neka naprednija sela, podižu velikim investicijama, koje pokrivaju

zajmovima i nametima, vlastite električne centrale, bez pravog računa i bez promišljanja, da se ista svrha, ne bi mogla postići i sa polovicom manje troška, kad bi se umjesto vlastite centrale, zatražio priključak na kakvu susjednu elektranu. S druge strane, postojeće centrale ogradjuju se zidom od svoje okolice...«.

Iz citiranog se pasusa mogu vrlo dobro prosuditi ondašnje tendencije u provedbi elektrifikacije u Hrvatskoj, odnosno, općenito u Jugoslaviji. Izgrađivale su se, naime, samo malene elektrane za uske mjesne potrebe bez pogleda u širinu i mogućnosti elektrifikacije seoskih područja.

Visokonaponska prijenosna mreža zapadnog dijela Jugoslavije, kakva bi se morala izgraditi prema zamisli autora, prikazana je na sl. 1. To je originalan crtež, kakav je uz članak izašao u novinama.

Zanimljivo je osvrnuti se na tadašnje stanje elektrifikacije sjevernozapadne Hrvatske, tj. današnjih regija Zagreb, Osijek i Rijeka, ali bez područja koja su tada bila pod Italijom. Tamo se elektrifikacija razvijala u posebnim uvjetima.

Kao izvor podataka za upoznavanje tadašnjih prilika u elektrifikaciji zemlje uzet je popis elektrana iz 1933. On je najpotpuniji od tri slična popisa koji su izašli između 1931. i 1938. Kako se u navedenom popisu iznosi, stanje elektrificiranosti u 1930/1931. godini nema nekih bitnih promjena od vremena kad je članak pisan.

Uzimajući podatke iz popisa, sastavljeno je nekoliko preglednih tablica. U tablice 1, 2, 3, unesen je broj i snaga elektrane po veličini i vrstama za promatrana tri područja. Obuhvaćene su i vrlo male elektrane (od 15 kW do 25 kW) čija snaga ne doseže ni snagu današnjih kućnih agregata. No tolike su snage tada zadovoljavale potrebe elektrifikacije manjih mjesta i industrija.

Elektrane su svrstane u 4 skupine: hidroelektrane, dizelske, na upojni plin i parne. Na dnu tablice učinjen je zbroj elektrana i snaga za svaku skupinu,

Tablica 1.

BROJ I SNAGA ELEKTRANA REGIJE ZAGREB U GOD. 1931.										
Vrsta elektrane	15 do 25 kW		25 do 100 kW		100 do 500 kW		preko 500 kW		Ukupno	
	br.	kW	br.	kW	br.	kW	br.	kW	br.	kW
Hidroelektrane	4	75	2	180	1	160	1	2 500	8	2 915
Dizel-elektrane	2	33	13	768	7	1 147	2	1 470	24	3 418
Elektrane na upojni plin	3	54	8	396	1	150	—	—	12	600
Parne elektrane	9	174	24	1 455	27	5 972	5	23 100	65	30 701
Ukupno	18	336	47	2 799	36	7 429	8	27 070	109	37 634

Tablica 2.

BROJ I SNAGA ELEKTRANA REGIJE RIJEKA U GOD. 1931.										
Vrsta elektrane	15 do 25 kW		25 do 100 kW		100 do 500 kW		preko 500 kW		Ukupno	
	br.	kW	br.	kW	br.	kW	br.	kW	br.	kW
Hidroelektrane	—	—	—	—	1	370	1	800	2	1 170
Dizel-elektrane	4	78	8	389	—	—	—	—	12	467
Elektrane na upojni plin	1	10	—	—	1	130	—	—	2	140
Parne elektrane	1	25	—	—	2	355	—	—	3	380
Ukupno	6	113	8	389	4	855	1	800	19	2 157

Tablica 3.

BROJ I SNAGA ELEKTRANA REGIJE OSIJEK U GOD. 1931.										
Vrsta elektrane	15 do 25 kW		25 do 100 kW		100 do 500 kW		preko 500 kW		Ukupno	
	br.	kW	br.	kW	br.	kW	br.	kW	br.	kW
Hidroelektrane	2	33	1	70	1	200	—	—	4	303
Dizel-elektrane	—	—	4	184	4	1 005	—	—	8	1 191
Elektrane na upojni plin	1	15	1	26	1	120	1	560	4	721
Parne elektrane	2	41	7	354	7	1 391	5	5 490	21	7 276
Ukupno	5	89	13	634	13	2 716	6	6 050	37	9 489

Iz tablice proizlazi da su na cijelom promatranom području, od ukupno 14 hidroelektrana samo dvije (Ozalj i Zeleni Vir) bile veće od 500 kW, a čak 9, dakle više od polovice, nije prelazilo 100 kW. To drugim riječima znači da je većina hidroelektrana izgrađena na malo većim potocima.

Uz parne, dizelske su elektrane najviše zastupane. Većinom su bile manje snage i rijetko su prelazile 500 kW. Dizelski su motori bili prvenstveno ugrađeni u elektranama za javnu elektrifikaciju, a manje u industriji.

Elektrane s pogonskim motorima na upojni plin bile su rijetko veće od 100 kW. Kao veliki potrošači drva korištene su u predjelima bogatim tom sirovinom.

Najbrojniji su tip elektrana bile s pogonskim strojem na paru. Vrlo često su za manje snage uzimani lokomobili, naročito u industrijama koje su imale gorivi otpadni materijal, npr. pilanama ili kudeljanama. Tek elektrane od nekih 1 000 kW i više imale su parne turbine.

Zanimljivo je napomenuti da su se na I jugoslavenskom elektrotehničkom kongresu 1934. u Zagrebu čuli glasovi da se u javnim elektranama

suviše mnogo ugrađuju dizelski motori, a mnogo bi bili ekonomičniji motori na upojni plin, jer prema tadašnjem mišljenju, drva ima u zemlji dovoljno, a nafta se mora uvoziti.

Ako bi pak elektrane razvrstali prema namjeni, tj. da li su bile javne i služile javnoj elektrifikaciji, industrijske, samo za potrebe nekog industrijskog pogona, ili pak mješovite, koje su obavljale obje namjene, dobivamo podatke unesene u tablicu 4.

Tablica 4.

Područje	Broj elektrana			
	industrijske	javne	mješovite	ukupno
Zagreb	73	31	5	109
Rijeka	5	13	1	19
Osiijek	23	11	3	37

Prema broju elektrana, a posebno industrijskih, može se prosuditi tadašnja razvijenost, odnosno, bolje reći, nerazvijenost pojedinih područja.

Treba još napomenuti da je u pogonu bio znatan broj elektrana na istosmjernu struju, i to ponajviše onih manjih. Od trofaznih bilo je još ponekih s frekvencijom 42 Hz.

Odnos trofaznih i istosmjernih elektrana vidi se iz tablice 5.

Tablica 5.

Područje	Broj elektrana		Ukupno
	trofazne	istosmjerne	
Zagreb	68	41	109
Rijeka	14	5	19
Osiijek	19	18	37

Općenito se može reći da su agregati, odnosno elektrane bile vrlo male snage, potpuno neusporedive s današnjima.

Najveća parna elektrana u regiji Zagreb i uopće u Jugoslaviji bila je zagrebačka elektrana s instaliranih 19 000 kW i najvećim turboagregatom u državi od 10 000 kW. U tom je području također bila značajna i ozaljska hidroelektrana od 2 500 kW.

U riječko-goranskoj regiji važnu je ulogu u elektrifikaciji odigrala hidroelektrana Zeleni Vir kraj Skrada od 800 kW. Treba napomenuti da najveći grad regije, Sušak, nije imao svoju elektranu, već je električnu energiju kupovao od Tvornice papira i elektrana u Rijeci, tada pod Italijom. Većina javnih elektrana regije imala je dizelske motore za potrebe rasvjete kupališnih mjesta uzduž jadranske obale.

U Slavoniji je najveća javna elektrana bila ona u Osijeku od 1 700 kW i mješovita termoelektrana Tvornice vagona u Slavonskom Brodu, sa snagom oko 2 000 kW. Opskrbljivala je električnom energijom tvornicu i mjesto Brod.

Iz skice visokonaponske mreže na sl. 1. proizlazi da je bila zamisao autora članka upravo ta da se navedene, tada značajnije elektrane međusobno povežu i omoguće racionalniji pogon.

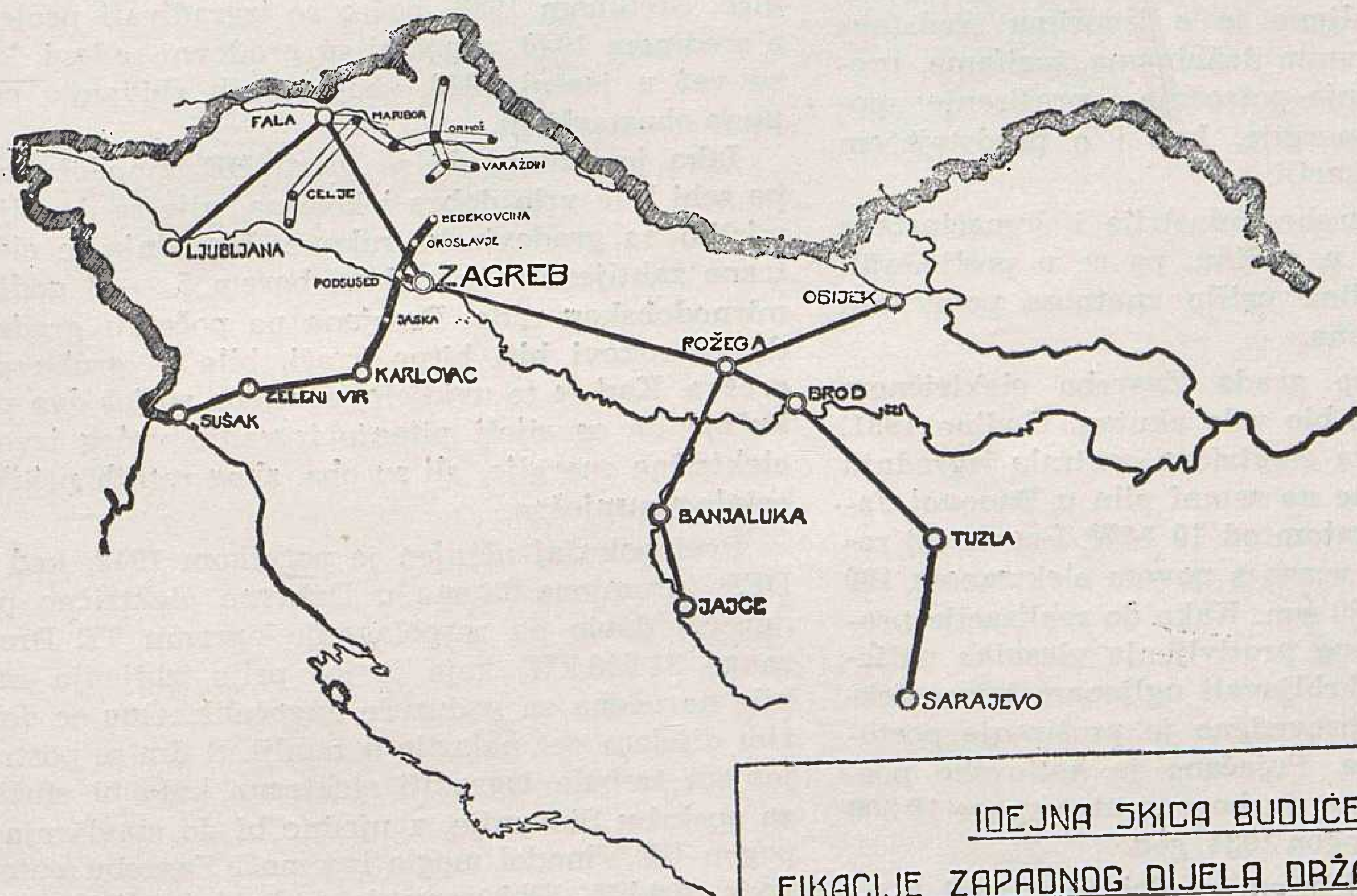
Premda je do realizacije, nekog barem sličnog elektroenergetskog sistema bilo još vrlo daleko, počeli su se u slijedećim godinama ipak stvarati neki skromni počeci. Tako se već 1928. priključuje područje Varaždina, Varaždinskih Toplica i Ivanca, te nekoliko industrijskih pogona na mrežu HE Fala u Sloveniji. Do šire elektrifikacije još nije došlo.

Godine 1930. završen je vod od 30 kV koji je povezao Zagreb s Karlovcem. Time je stvoren prvi mali elektroenergetski sistem u Hrvatskoj, koji je omogućio zajednički rad, termičkih i hidroizvora. Dio voda od Zagreba do Podsuseda izgrađen je s dvije trojke pod pretpostavkom da će uskoro biti izvedena daljnja veza sa Slovenijom. Izgradnja tog voda dala je poticaj da se počela elektrificirati i zagrebačka okolica. Priključuju se Jastrebarsko, Samobor, Velika Gorica itd. Da se omogući elektrifikacija istočnog i sjeveroistočnog dijela regije, izgrađen je 1934. 30 kV vod od

Strana 18.

JUTARNJI LIST

Nedjelja, 16. prosinca 1928.



IDEJNA SKICA BUDUĆE ELEKTRIFIKACIJE ZAPADNOG DIJELA DRŽAVE.

PROJEKTIRAO ING. A. VISKOUČIĆ

Sl. 1.

Zagreba do Božjakovine, koji je (1938) produžen prema Bjelovaru. Kao što se vidi, nosilac elektrifikacije ovog dijela Hrvatske bila je zagrebačka elektrana.

U gorskom se kotaru razvila visokonaponska mreža 5 kV, napajana iz HE Zeleni Vir, a u primorskom su području bili u pogonu visokonaponski vodovi: Sušak — Kraljevica 5 kV i Krk — Malinska 3 kV.

Slavonija praktički uopće nije imala vodove visokog napona, osim 6 kV veze Požege sa svojom hidroelektranom.

Elektrifikacija je u Hrvatskoj, kao i u čitavoj Jugoslaviji vrlo sporo napredovala. Porast proizvodnje u razdoblju od 10 godina, kako se to iz tablice 6. vidi, vrlo je malen, čemu je sigurno jedan od uzroka bila svjetska ekonomska kriza.

Tablica 6.

Područje	Ukupna proizvodnja GWh		Prosječni porast %
	1938.	1928.	
Hrvatska Jugoslavija	266 800	396 1 100	4,1 3,2

Da bi se dao jači poticaj elektrifikaciji, organiziran je 1934. u Zagrebu I jugoslavenski elektrotehnički kongres i propagandna elektrotehnička izložba u sklopu jesenskog Zagrebačkog zbora (kako se zvao tada Zagrebački velesajam).

Zanimljivo je napomenuti da je na kongresu bilo razmjerno malo govora o tehničkim problemima.

Glavne su se diskusije vodile oko ekonomskih problema. Raspravljano je o izvorima sredstava za investicije, državnim dažbinama, tarifama, propagandi za povećanje potrošnje i proširenje upotreba električne energije, kao i o predstojećem zakonu o elektrifikaciji.

Iako polako, potrebe industrije i domaćinstava rasle su iz godine u godinu, pa se u posljednjih 10 prijeratnih godina prišlo znatnom povećanju snage termoelektrana.

Problem opskrbe grada Zagreba električnom energijom stalno je bio vrlo akutan. Godine 1931. predlaže Zagrebačka električna centrala izgradnju nove termoelektrane na zemni plin u Banovoj Jarugi, s prvim agregatom od 10 MW. Prema toj zamisli Zagreb bi se vezao s novom elektranom 100 kV vodom duljine 90 km. Kako do realizacije projekta nije došlo, zbog protivljenja vlasnika ugljenokopa koji su opskrbljavali ugljenom termoelektranu u Zagrebu, provedeno je proširenje postojeće termoelektrane. Pojačano je kotlovsko postrojenje i ugrađen nov turbogenerator snage 16 000 kW koji je ušao u pogon 1934. god.

U tom desetogodišnjem razdoblju u vezi s izgradnjom novih većih proizvodnih kapaciteta treba spomenuti proširenje industrijske termoelektrane u Dugoj Resi za nekih 3 000 kW.

U riječkom području povećana je snaga termoelektrane tvornice papira na Sušaku, a u Slavoniji je u osječku elektranu ugrađen novi turboagregat od 2 000 kW i podignuta industrijska termoelektrana u Borovu od 2 800 kW.

Što se pak tiče proširenja potrošačkog područja na sela, do osnivanja Banovinskog električnog poduzeća (BEP) godine 1937. učinjeno je vrlo malo.

Ideju o osnivanju takve organizacije koja bi se prihvatila opće elektrifikacije na cijelom teritoriju ondašnje Banovine Hrvatske, bez uskih lokalnih interesa, dali su profesori zagrebačkog Tehničkog fakulteta inženjeri Miroslav Plohl i Juro Horvat, koji su bili i prvi njezini rukovodioci.

Zadaća je poduzeća bila da provodi elektrifikaciju u tadašnjoj Banovini Hrvatskoj u dva smjera. S jedne strane izgradnjom elektroenergetskih izvora, a s druge otvaranjem konzumnih područja elektrifikacijom seoskih općina.

Poslovanje BEP-a bilo je odmah usmjereno rješavanju aktualnih elektrifikacionih problema i nije bilo vremena za proučavanje općeg pitanja elektrifikacije i izrade nekog općeg elektrifikacionog plana.

Najvažniji i najakutniji problem bila je svakako opskrba Zagreba električnom energijom. Time je BEP uzeo ujedno i obavezu da opća elektrifikaciona pitanja rješava u skladu s realno postojećom nuždom. S obzirom na te okolnosti trebalo je da odluka o gradnji prvog novog izvora električne energije vodi prvenstveno brigu o građevinskim rokovima, a ne samo o optimalnom energetsom rješenju.

Odmah nakon osnivanja poduzeća odlučeno je da se kao prva izgradi HE Vinodol blizu Crikvenice. Sredinom 1938. počeo se izgrađivati projekt, a sredinom 1940. započeti su građevni radovi, koji su već u jeseni 1943, zbog ratnih zbivanja, potpuno obustavljeni.

Iako je odluka da se gradi HE Vinodol sama po sebi bila vrlo dobra i korisna, nije se dovoljno mislilo na građevinske rokove. Izgradnja te elektrane zahtijevala je, naime, barem 5 — 6 godina mirnodobskog rada. Procjena na početku gradnje da će rokovi biti bitno kraći, bila je gruba pogreška. Kad se to uvidjelo, učinjena su još dva pokušaja da se riješi pitanje izgradnje većeg izvora električne energije, ali su oba, zbog ratnih prilika, ostala neuspješna.

Prvi pokušaj učinjen je početkom 1942, kad je DEP (promjena imena u Državno električno poduzeće) dobio na raspolaganje opremu TE Breza snage 31 500 kW, koja je još prije izbijanja rata bila naručena za poduzeće Jugočelik. Ona se dobrim dijelom već nalazila u zemlji. S tim se postrojenjem trebala izgraditi elektrana koja bi služila za opskrbu Slavonije, a ujedno bi do stavljanja u pogon HE Vinodol mogla ispomoći Zagrebu putem voda 100 kV. Elektranu je treba izgraditi na ležištima loših lignita u Oriovcu, kraj Nove Gradiške. Podizanjem voda 100 kV Vinodol—Zagreb—Oriovac bile bi te tri značajne elektrane među-

sobno povezane. Ubrzo nakon toga opremu elektrane uzeli su Nijemci, pa se s njezinom izgradnjom više nije moglo računati.

Kad je izgradnja TE Oriovac definitivno propala, poduzet je početkom 1943. drugi pokušaj da se realizira nov izvor električne energije. Ponovno je prihvaćena zamisao da se izgradi termoelektrana na zagorskim ugljenokopima u blizini Konjščine. Da bi se došlo do opreme za tu termoelektranu, prodani su u Švicarskoj generatori i limovi za cjevovod namijenjen HE Vinodol. Ta je oprema naručena i dobrim dijelom plaćena još prije rata. Gradnja elektrane, međutim, nije ni započeta. Treba napomenuti da se opremom dobivenom na temelju ove transakcije raspolagalo odmah nakon završetka rada i u onim je prilikama bila vrlo dragocjena.

Turboagregat od 14.800 kW ugrađen je najprije u elektrani Raša gdje je bio u pogonu 1950. i 1951. godine, zatim je prenesen u TE Jertovec gdje radi od 1954. Transformator snage 35 000 kVA, također iz vinodolske opreme, ugrađen je 1946. u provizornu TS Klara, gdje je još i danas u pogonu. Njegovim posredstvom omogućeno je napajanje Zagreba iz Slovenije putem voda 110 kV u kritičnim poratnim godinama.

Usporedo s početkom izgradnje HE Vinodol počelo se s pripremnim radovima i trasiranjem prijenosnog voda 100 kV (proljeće 1939) koji bi spajao elektranu s razdjelnom i transformatorskom stanicom u Svetoj Klari kraj Zagreba. Dužina trase je iznosila 150 km, a vod bi prenosio oko 60 000 kVA, uz faktor snage 0,8.

Osim opskrbe grada Zagreba i njegove šire okolice električnom energijom, predviđeno je također napajanje okolice Karlovca i Vrbovskog, gdje su se imale izgraditi transformatorske stanice. Predviđena je također bila i elektrifikacija pruge Sušak — Srpske Moravice.

Dalekovod je trebao biti izveden s dvije trojke presjeka vodiča 95 mm², Cu, na zajedničkim drvenim stupovima. Za zaštitu od atmosferskih prenapona predviđena su 3 zaštitna užeta, presjeka 50 mm² Če. Specijalni stupovi, tj. kutni i rasteretni, građeni su od armiranog betona. Gradnjom voda započeo se u ljetu 1940, ali se zbog rata morala prekinuti u proljeće 1941. Sagrađeni su nosni stupovi na dužini od 15 km, dok su betonski stupovi na dionici Karlovac—Vrbovsko—Fužine izgrađeni 1939/40. godine. Kompletan je vod završen samo na dužini od 5 km. Kad se nakon rata izgrađivao postojeći vod s vodičima 240/40 AČ na betonskim stupovima, trasa je bitno izmijenjena i približena komunikacijama. Vrlo je malo prije izgrađenih betonskih stupova obuhvaćeno u novi vod, pa se i danas vide kako samotno stoje nedaleko od ceste Zagreb—Rijeka.

Kako je izneseno, svi pokušaji da se izgradi neki novi izvor električne energije za potrebe sjeverozapadne Hrvatske redom su doživjeli neuspjeh. No potrebe Zagreba i okolice neprestano su rasle,

a doprema ugljena za zagrebačku elektranu nailazila je na sve veće poteškoće. Trebalo je naći izvor energije koji bi osigurao opskrbu, a da ne tereti javna prometna sredstva. Kako je upravo u Sloveniji u Brestanici završena 1942. termoelektrana s jednim agregatom 12 500 kW, sklopio je DEP ugovor o dobavi energije s tadašnjim vlasnikom Energieversorgung Süsteiermark A. G. Izgrađen je dalekovod 110 kV od sela Rakitje do Brestanice u dužini od 40 km. Vod je izgrađen na drvenim portalnim stupovima s vodičima 120 mm² Al. U pogon je stavljen u jesen 1943. pod naponom od 30 kV na taj način da je u Podsusedu priključen na drugu trojku (70 mm² Cu) voda 30 kV Karlovac—Zagreb. Na kraju voda u elektrani Zagreb montiran je regulacioni transformator od 8 000 kVA. Ugovorom je bio utvrđen prijenos od 4 000 kW s mogućnošću povećanja opterećenja do 6 000 kW. Ta je veza bila vrlo velika pomoć Zagrebu. Samo tokom 1944. preneseno je 25 000 000 kWh električne energije, što je tada iznosilo oko 40% sveukupne potrošnje Zagreba. Nakon oslobođenja 110 kV vod produžen je od Rakitja prema Svetoj Klari, gdje je, kako je već rečeno, izgrađena provizorna TS 110/30 kV Klara s transformacijom 35 000 kVA. U 1947. je putem tog voda uspostavljena veza sa Slovenijom na naponu 80 kV, a zatim 1949. na 110 kV za koji je napon i vod građen.

Drugi svoj zadatak, a to je širenje javne elektrifikacije, počeo je BEP odmah nakon svog osnutka. Do tada nije postojao nijedan faktor koji bi provodio, odnosno čak mogao provoditi plansku elektrifikaciju većih razmjera, već su se pojedina pitanja elektroprivrede rješavala parcijalno za više ili manje usko područje koje je gravitiralo pojedinoj postojećoj elektrani.

Već u ljetu 1938. BEP je započeo prve terenske radove na području općine Križ (oko 40 km istočno od Zagreba). Postepeno su elektrifikacioni radovi obuhvatili i ostala područja bivše Banovine Hrvatske, i to Hrvatsko primorje, Međimurje, Zagorje, okoline Karlovca i Osijeka, te područje srednje Dalmacije. Kako nije bilo moguće da se ubrzo stavi u pogon neka nova veća elektrana vlasništvo BEP-a, novo se poduzeće pri svojim elektrifikacionim radovima, gdje je to bilo moguće, vezalo na postojeće izvore električne energije. Tako su Moslavina i jugozapadni dio Hrvatskog zagorja vezani na postrojenja Zagrebačke gradske električne centrale (GEC), Međimurje i dio Hrvatskog zagorja na slovensku HE Fala, Duga Resa i Krašić na gradsku munjaru, Karlovac, a Čepin kraj Osijeka na postrojenja Gradske električne centrale Osijek. U Hrvatskom primorju i Gorskom kotaru nije bilo, međutim, prikladnog izvora električne energije, pa je BEP za opskrbu svojih potrošača i potrebe gradilišta HE Vinodol izgradio pomoćne elektrane.

Za potrebe bušenja tunela na pruzi Črnomelj—Vrbovsko izgrađena je 1940. također pomoćna elektrana u Vrbovskom (105 KS) koja je prestala s radom već u proljeće 1941.

U području Moslavine najprije su izgrađene mjesne mreže u selima Križ i Novoselac, a stavljen su pod napon u siječnju 1939. Istovremeno s izgradnjom spomenutih mjesnih mreža započela je izgradnja TS Križ 30 kV i vod 30 kV od Ivanić-Kloštra do Križa. Kako je do Ivanić-Kloštra iz TS Božjakovina, vlasništvo GEC-a, doveden vod 10 kV, vod za Križ priključen je na taj odvojak, a u TS Križ izgrađena transformacija 10/6 kV. Naponom 6 kV dovedena je energija u seoske transformatorske stanice 6/0,4 kV. Spomenuti vod 30 kV produžavan je u etapama od 1940. do 1943. do Novske. Na njega je priključeno mjesto Novska, ali pod naponom 10 kV. U cijelom tom moslavačkom području elektrificirana su do kraja 1944. ukupno 93 sela sa 70 transformatorskih stanica.

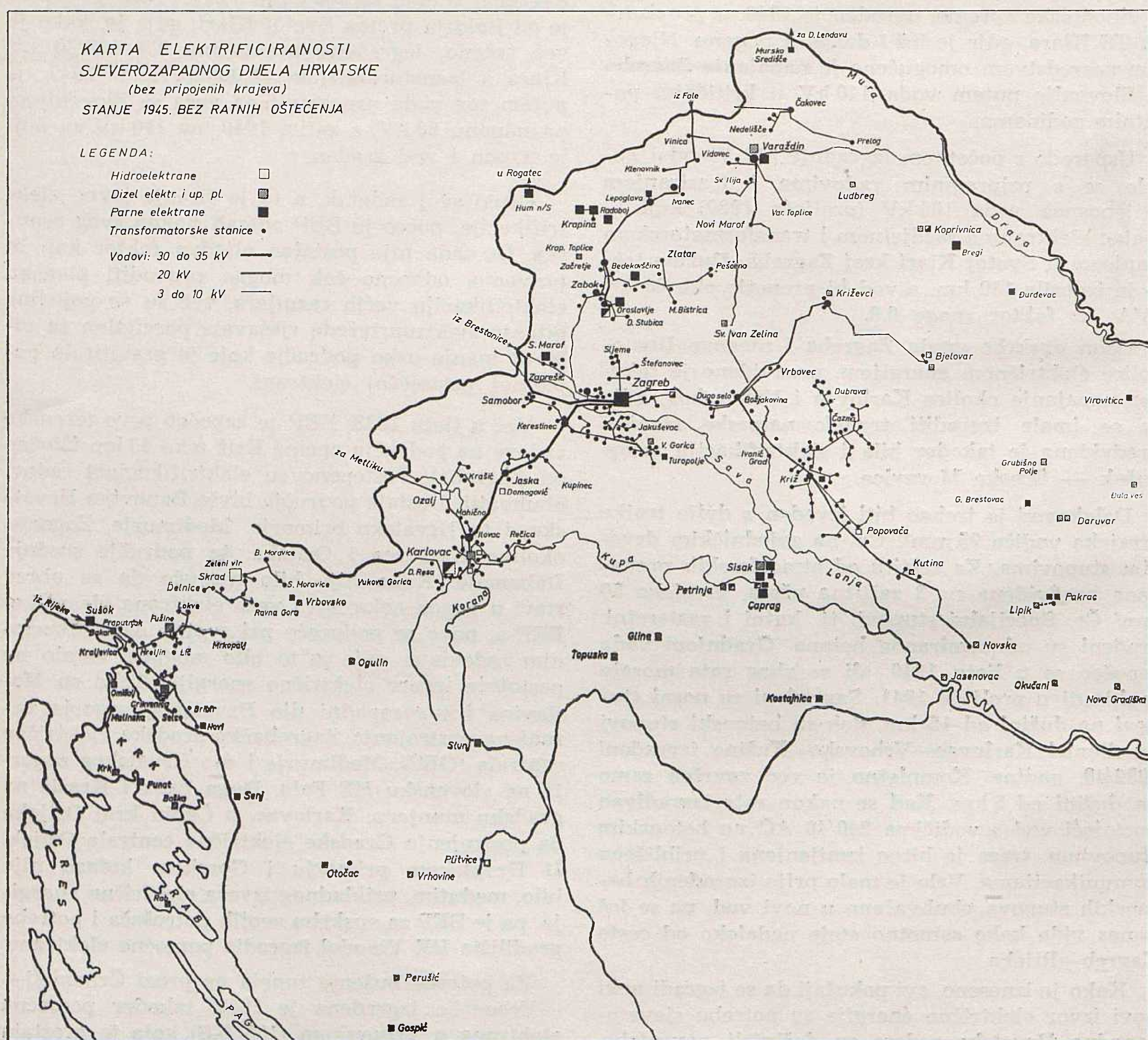
U opskrbnom području Gorskog kotora i Hrvatskog primorja najprije je priključena mjesna mreža u Fužinama u travnju 1939. Kako DEP nije imao vlastite elektrane, električna se energija ku-

povala od pilane Kauzlarić. U jesen 1939. stavljena je u pogon vlastita mala dizelska elektrana u Fužinama (24 KS), a u jetu 1940. elektrana na upojni plin u Driveniku (145 KS). Sve zamašniji radovi na izgradnji HE Vinodol iziskivali su veće količine električne energije, pa je BEP stavilo u proljeće 1941. u pogon elektranu na upojni plin u Fužinama (400 KS).

Početkom 1941. BEP je uzeo u zakup općinsku dizelsku elektranu u Crikvenici (236 KS). Od tada su elektrane u Fužinama, Driveniku i Crikvenici radile na distributivnoj 6 kV mreži BEP-a u primorsko-goranskom području.

S obzirom na talijansku okupaciju, radovi na elektrifikaciji razvijali su se samo do 1942. Do tada je priključeno 23 sela sa 20 transformatorskih stanica.

U okolici Karlovca elektrificirano je od 1940. do 1942. oko Krašića 8 sela sa 5 transformatorskih stanica, a oko Duge Rese 16 sela sa 6 transforma-



Sl. 2.

torskih stanica. Mreža 6 kV za ta sela napajana je energijom iz Karlovačke munjare.

U krajnjem sjevernom dijelu Hrvatske, Međimurju i Hrvatskom zagorju elektrifikacioni radovi BEP-a počeli su 1939, najprije u Međimurju, a onda u Zagorju. Do rata 1941. izgrađeno je u Međimurju 22 km mjesnih mreža i 3 transformatorske stanice. Mađarskom okupacijom svi su radovi prestali.

U Hrvatskom zagorju izgrađen je 35 kV vod Lepoglava—Oroslavlje kao nastavak postojećeg voda elektrane Fala, Ladanje—Lepoglava, te vod Varaždin—Novi Marof (u pogonu sa 6 kV). Ti su vodovi s pripadnim transformatorskim stanicama imali služiti kao osnovna kičma za napajanje distributivne mreže 6 kV. Do kraja rata u zagorskom području napajanom iz HE Fala elektrificirano je 37 sela sa 29 transformatorskih stanica, a 10 stanica izgrađeno je za potrebe ugljenokopa i industrije. 4 sela sa 4 transformatorske stanice elektrificirano je oko Zaprešića i priključeno na postrojenje GEC-e.

U Zelini, nedaleko od Zagreba, BEP je kupilo 1940. mjesnu mrežu i elektranu. Na tom je području elektrificirano 9 sela sa 5 transformatorskih stanica. Zbog neekonomičnosti mjesne elektrane cijelo je područje potkraj rata priključeno vodom 10 kV Jertovec—Zelina na zagorsku mrežu.

U Slavoniji je BEP uspio učiniti vrlo malo. U Čepinu kraj Osijeka izgrađena je 1941. mjesna mreža sa 2 stanice i 1. stanicom za potrebe industrije. Mreža je vodom 6 kV spojena na postrojenje osječke elektrane.

Slika 2. prikazuje visokonaponsku mrežu sjeverne Hrvatske kako je izgledala potkraj rata, ne uzimajući u obzir ratna razaranja. Najveći pogonski napon bio je 35 (30) kV, premda je vod Brestanica—Zagreb bio izgrađen za 110 kV. Tada je taj napon imao karakter prijenosnog napona, dok su naponi 10 kV (rjeđe), 6 kV, 5 kV, i 3 kV bili distributivni naponi. BEP je za svoju distributivnu mrežu odabralo 6 kV.

Premda se o nekom elektroenergetskom sistemu u današnjem smislu još, naravno, ne može govoriti, činjenica je da je u sjevernoj Hrvatskoj stvorena električna mreža koja je omogućila otvaranje novih znatnih konzumnih područja. Pružila se, dakle, prilika da blagodat električne energije budu dostupne širokim slojevima naroda.

Unatoč kratkom djelovanju i kritikama u vezi s rentabilnosti pothvata i financijskih konstrukcija, BEP je pod vodstvom dvojice profesora, entuzijasta elektrotehnike i elektroprivrede, pokrenuo problem elektrifikacije Hrvatske s mrtve točke i mnogo pridonio njezinu razvoju i širenju. Treba još istaknuti da je BEP bio škola mladih elektroprivrednih kadrova koji su odmah nakon oslobođenja zemlje prionuli radu na obnovi i daljnjem daleko širem i bržem razvoju elektroprivrede Hrvatske i Jugoslavije.

LITERATURA

1. A. Visković: Elektrifikacija zapadnog dijela države, »Jutarnji list« — Zagreb, 16. 12. 1928.
2. . . . Verzeichnis der Elektrizitätswerke für allgemeine Stromversorgung in Jugoslawien, Jugosl. Siemens, 1931.
3. F. Reich: Statistika električnih centrala Kraljevine Jugoslavije, Zagreb, 1933.
4. . . . Karta električnih centrala i dalekovoda Kraljevine Jugoslavije, S.E.P. Beograd, 1938.
5. . . . Izvještaj o radu DEP-a od osnutka poduzeća do oslobođenja (V. 1945) DEP, 1945.
6. Grupa autora: »ENERGIJA« 1958, br. 10, broj posvećen 50-godišnjici elektroprivrede grada Zagreba.
7. Spomenica I elektrotehničkog kongresa u Zagrebu 1934. GEC — Zagreb, 1935.
8. . . . Godišnjak 1976. Elektroprivrede Hrvatske, ZEOH — Zagreb, 1978.

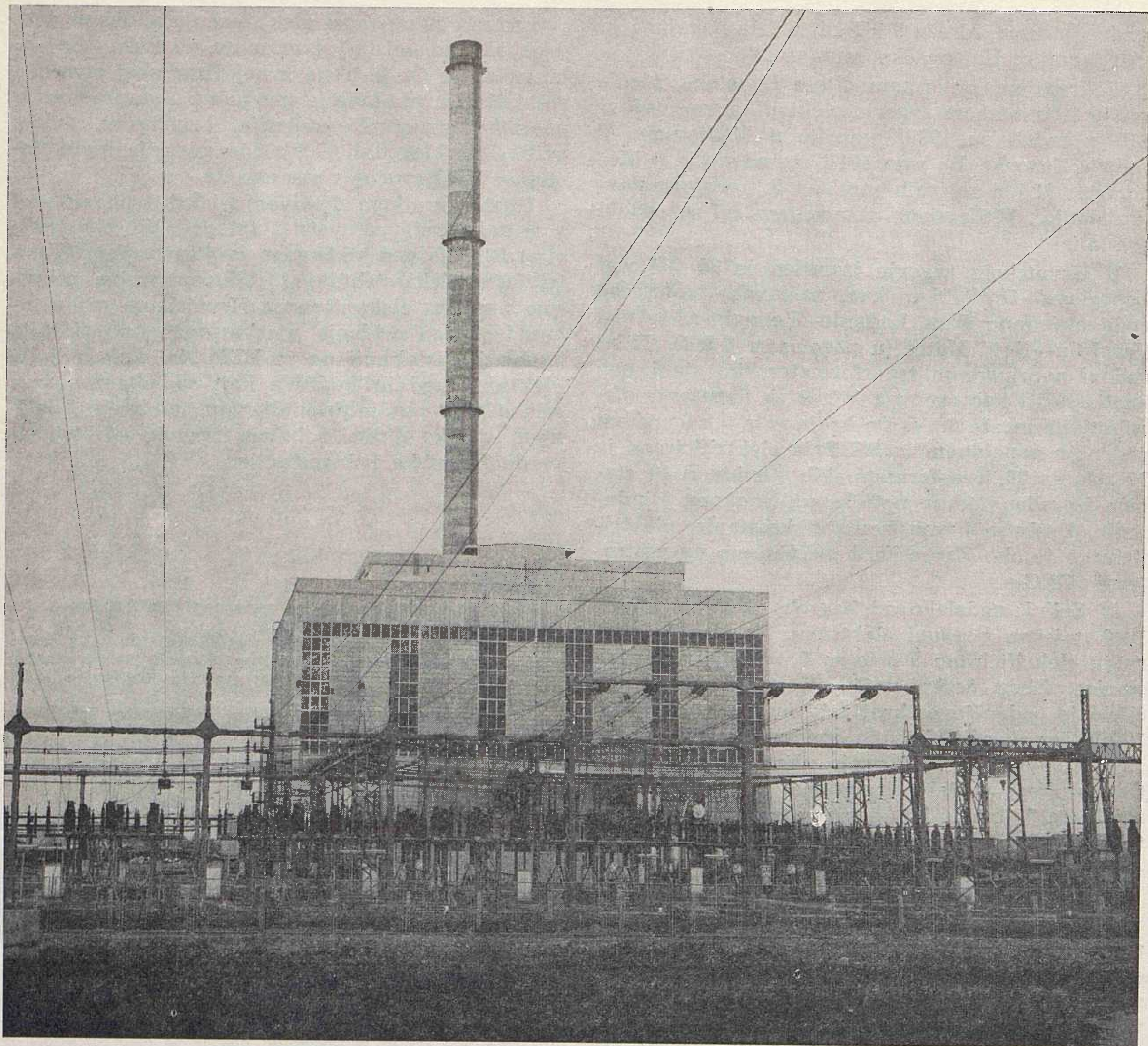
PREWAR ELECTRIFICATION IN NORTH CROATIA

In the article is given an review of an article about electrification in north Croatia, which was issued before 50 years. In texts and tables is presented degree of electrification of that time, as plans for further development. Especially is stated activity of DEP in prewar and during war, as well as plans of that enterprise for electrification of Croatia.

Naslov pisca:

Boris Markovčić, dipl. Ing.

Institut za elektroprivredu, Zagreb



PROIZVODNJA SINHRONIH GENERATORA U JUGOSLAVIJI

Zvonimir Sirotić, Vinko Krajzl, Stjepan Novoseli i Mato Bučić, Zagreb

DK 621.313.1

Nagli razvoj potrošnje električne energije nakon rata diktirao je i razvoj proizvodnje elemenata za proizvodnju električne energije. Već 1948. godine puštena je u pogon prva elektrana s generatorom izrađenim u tvornici »Rade Končar«. Od tada je izgrađeno nekoliko stotina turbogeneratorsa i hidrogeneratorsa na temelju vlastitih razvojnih radova i vlastitih konstrukcija.

Veliki generatori počeli su se proizvoditi u Jugoslaviji nakon rata, a razvoj proizvodnje je imao pomalo neobičan tok. Potrebe za energijom u ratom razrušenoj zemlji zahtijevale su hitnu izgradnju novih izvora energije. No 1946. g. nije postojala mogućnost da se gradnja generatora povjeri nekoj stranoj tvornici, pa je odlučeno da se taj zadatak povjeri »Radi Končaru«. Tako se rodila nova tvornica generatora.

Na improviziranom prostoru, bez potrebne opreme i iskustva, počelo se raditi na izradi i montaži prvog generatora za HE Mariborski Otok snage 24 000 kVA. Iako generator nije rađen po vlastitoj dokumentaciji, gradnja takvog generatora, u to doba relativno velike snage, dovodila je do niza problema, ali istovremeno je bila i dobra škola za kolektiv bez velikog iskustva.

Stečenim iskustvima na gradnji tog generatora grupa mladih radnika, tehničara i inženjera započela je vlastitim projektima i konstrukcijama. Započeto je proširenje i modernizacija proizvodnje gradnjom novih površina i nabavom potrebne opreme. Tako je već u 1949. g. puštena u pogon nova hala površine 13 000 m², a već 1962. još jedna s daljnjih 6 000 m².

Nakon montaže i puštanja u pogon prvog hidrogeneratora 1948. godine u slijedećih je pet godina projektirano i izrađeno više hidrogeneratorsa, među kojima treba posebno spomenuti šest generatora za HE Jablanicu i četiri za HE Zvornik sa snagom po 30 000 kVA.

Iskustva stečena gradnjom tih generatora poslužila su kao temelj brzom razvoju kako teorijskih saznanja na području teorije električnih strojeva i mehaničke čvrstoće, tako i na područjima hlađenja, izolacijskih sistema, uzbudnih sistema te konstrukcije pojedinih elemenata. To je dovelo do brzog rasta snaga generatora po jedinici uz istovremeni porast iskorištenja. Već je 1961. godine pušten u pogon generator snage 120 000 kVA za HE Split.

Uspješan rad niza od stotinjak hidrogeneratorsa doveo je i do početka izvoza na strana tržišta.

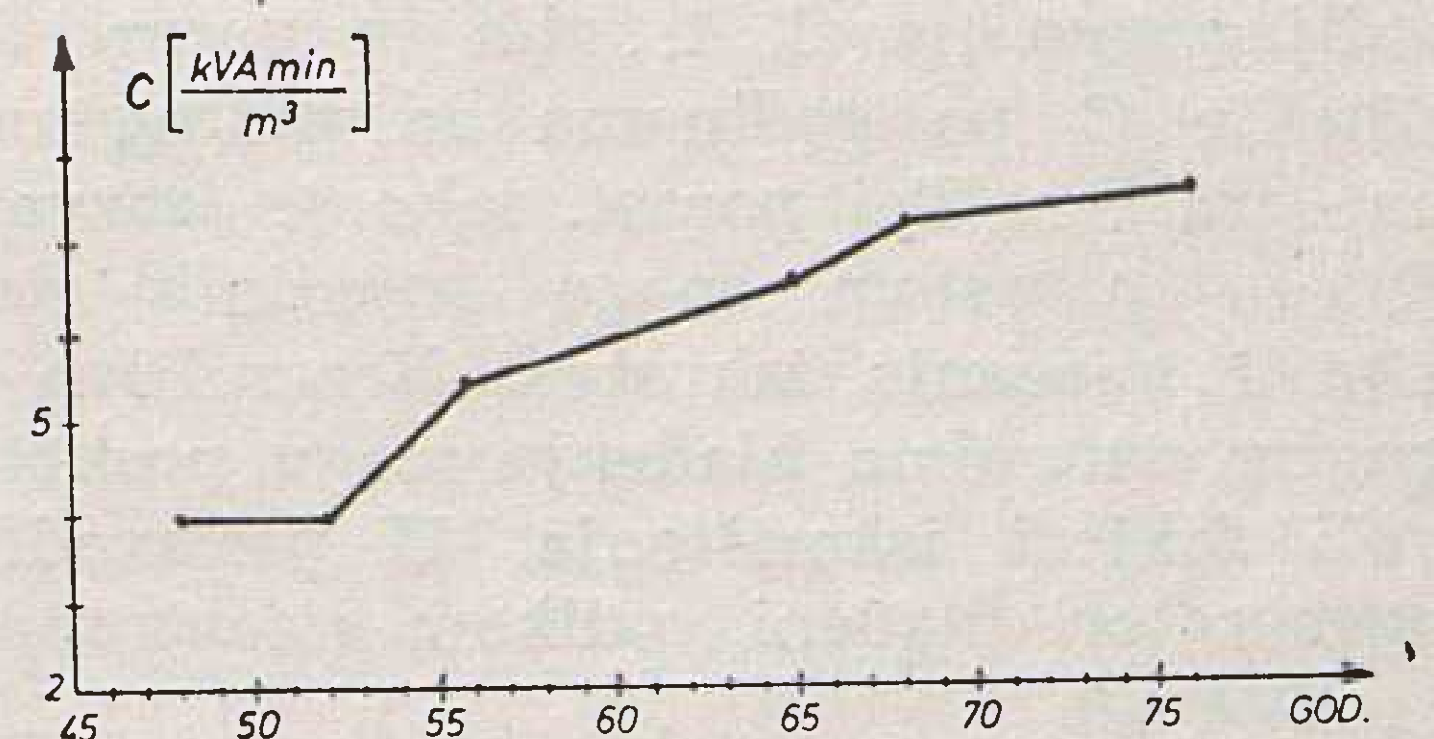
Daljnji period je karakteriziran gradnjom većeg broja generatora velikih snaga, od kojih spo-

menimo samo neke, npr. HE Bajina Bašta, 100 MVA, HE Senj, 80 MVA, HE Rama, 90 MVA. Ispitivanja provedena na tim generatorima omogućila su daljnji porast snaga po jedinici. To u prvom redu vrijedi za generatore za HE Đerdap, snage 190 000 kVA na svega 71,4 o/m, te generatore za HE Kariba (Zambija) snage 167 000 kVA (v. sl. 1).

Odmah nakon uspješno izrađenih prvih hidrogeneratorsa prišlo se pripremama za gradnju turbogeneratorsa. Već 1952. godine povjerena je tvornici »Rade Končar« gradnja šest turbogeneratorsa od 16 000 kVA. Otada do danas izrađeno je više od stotinu turbogeneratorsa hlađenih zrakom snage do 40 000 kVA.

Stalnim usavršavanjem tih generatora dostignuta je visoka kvaliteta koja je omogućila njihovu prodaju na svjetskom tržištu. Tu treba posebno spomenuti turbogeneratore namijenjene spajanju s plinskim turbinama (proizvedeno je više desetaka za SR Njemačku).

Porast snaga turbogeneratorsa na 50 000 — 80 000 kVA dovodi zbog specifičnosti konstrukcije do potrebe uvođenja novih medija za hlađenje — vodika i vode. Prvi je prototip vodikom hlađenog generatora izveden 1966. godine od tipa zrakom hlađenog generatora snage 40 000 kVA i na njemu je postignuta snaga 56 000 kVA. Slijedeće jedinice većih snaga jesu turbogeneratorsi za TE PLOMIN i TE MORAVA snage 156 000 kVA, a izrađeni su u kooperaciji s poljskim proizvođačem. Sada su u projektu turbogeneratorsi 150 000 i 200 000 kVA, koji će biti isporučeni domaćim elektranama na osnovi vlastite dokumentacije.



Sl. 1. Dijagram faktora iskorištenja zrakom hlađenih hidrogeneratorsa

Tablica 1.

PREGLED NAJVEĆIH GENERATORA »RK«					
Objekt	Snaga MVA	Brzina vrtnje o/min	Masa t	Broj komada	Zemlja
He Kidatu	60	375	298	2	Tanzanija
He Peručica	65	428	275	2	SR C. Gora
He Trebinje	70	214	451	1	Sr B i H
HE Ohau	73	166	410	4	Novi Zeland
HE Srednja Drava I	74	125	515	2	SR Slovenija
HE Senj	80	600	256	3	SR Hrvatska
HE Orlovac	83	500	304	3	SR Hrvatska
HE Rama	90	375	336	2	SR B i H
HE Bajina Bašta	100	136	517	3	SR Srbija
HE Split	120	300	592	2	SR Hrvatska
HE Mratinje	120	250	580	3	SR C. Gora
HE Kariba	167	136	962	4	Zambija
HE Đerdap	190	71,5	1 090	3	SR Srbija
TE Morava	156	3 000	263	1	SR Srbija
TE Plomin	156	3 000	263	1	SR Hrvatska
TE Zagreb	150	3 000	185	1	U projektu
Te Novi Sad	200	3 000	210	1	
TE Gacko	350	3 000	—	1	

Razvoj mreže u Jugoslaviji traži još veće jedinice, pa će slijedeća snaga turbogeneratora iznositi 350 000 kVA. Taj će stroj biti izrađen za TE Gacko u kooperaciji s ruskim proizvođačem. Tablica 1. daje pregled nekolicine najvećih strojeva koji su izgrađeni u tvornici »Rade Končar« ili se nalaze u projektiranju.

Kao što je rečeno, proizvodnja generatora počela je praktički bez ikakvih iskustava. Zato će biti razumljiv oprezan pristup dimenzioniranju i projektiranju. Osnovne parametre generatora u pravilu određuje pogonski stroj (snaga, brzina vrtnje, moment inercije) i zahtjevi mreže (faktor snage, reaktancije). Svi ti parametri bitno utječu na dimenzioniranje.

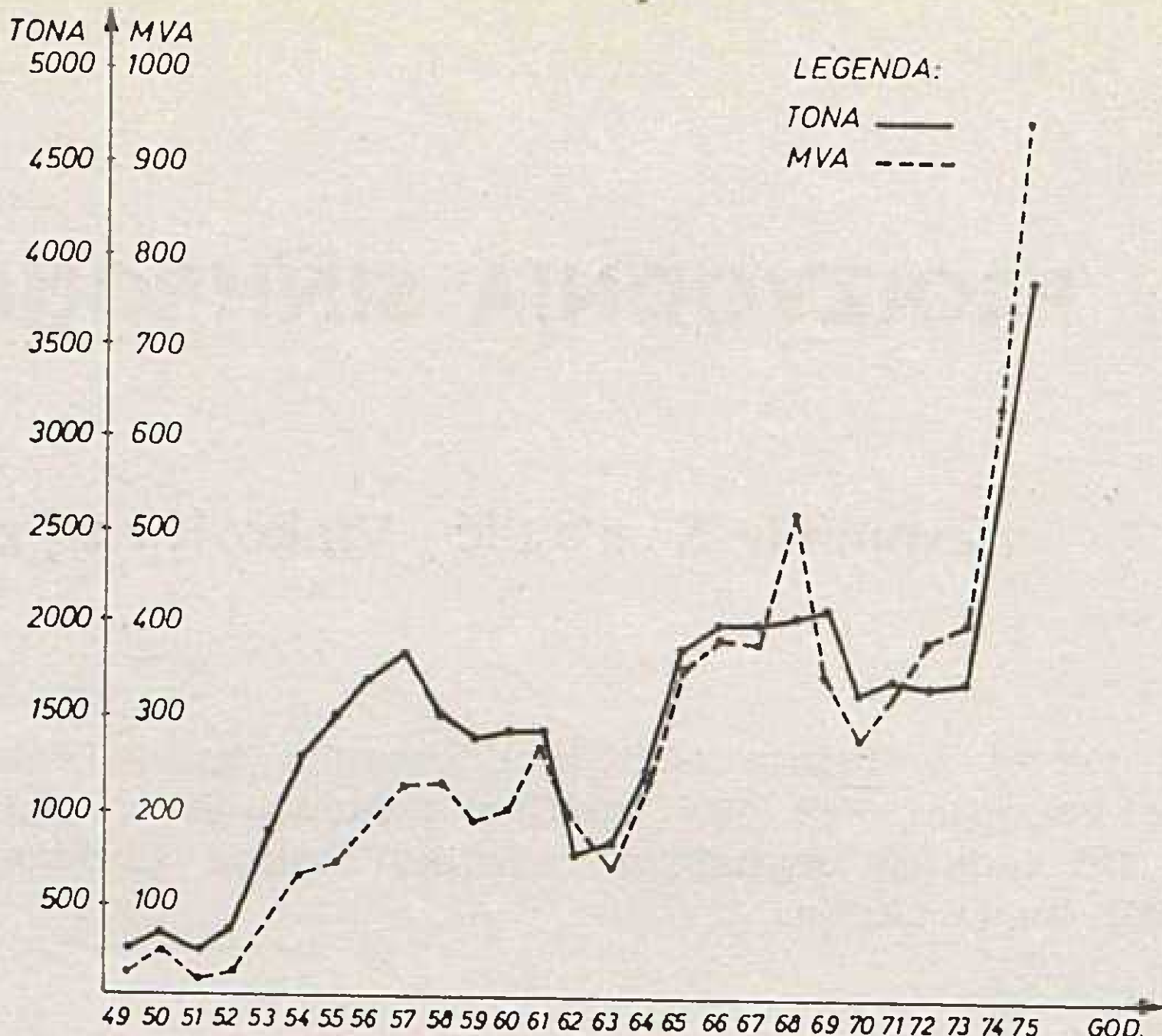
Prividna snaga se daje prikazati pomoću specifičnih opterećenja i dimenzija izrazom gdje je $P = mUJ = ABD^2Ln = CD^2Ln$,

A — strujni oblog, B — indukcija u zračnom rasporu, D — promjer provrta statora, L — dužina željeza, n — brzina vrtnje, C — faktor iskorištenja (Essonova konstanta).

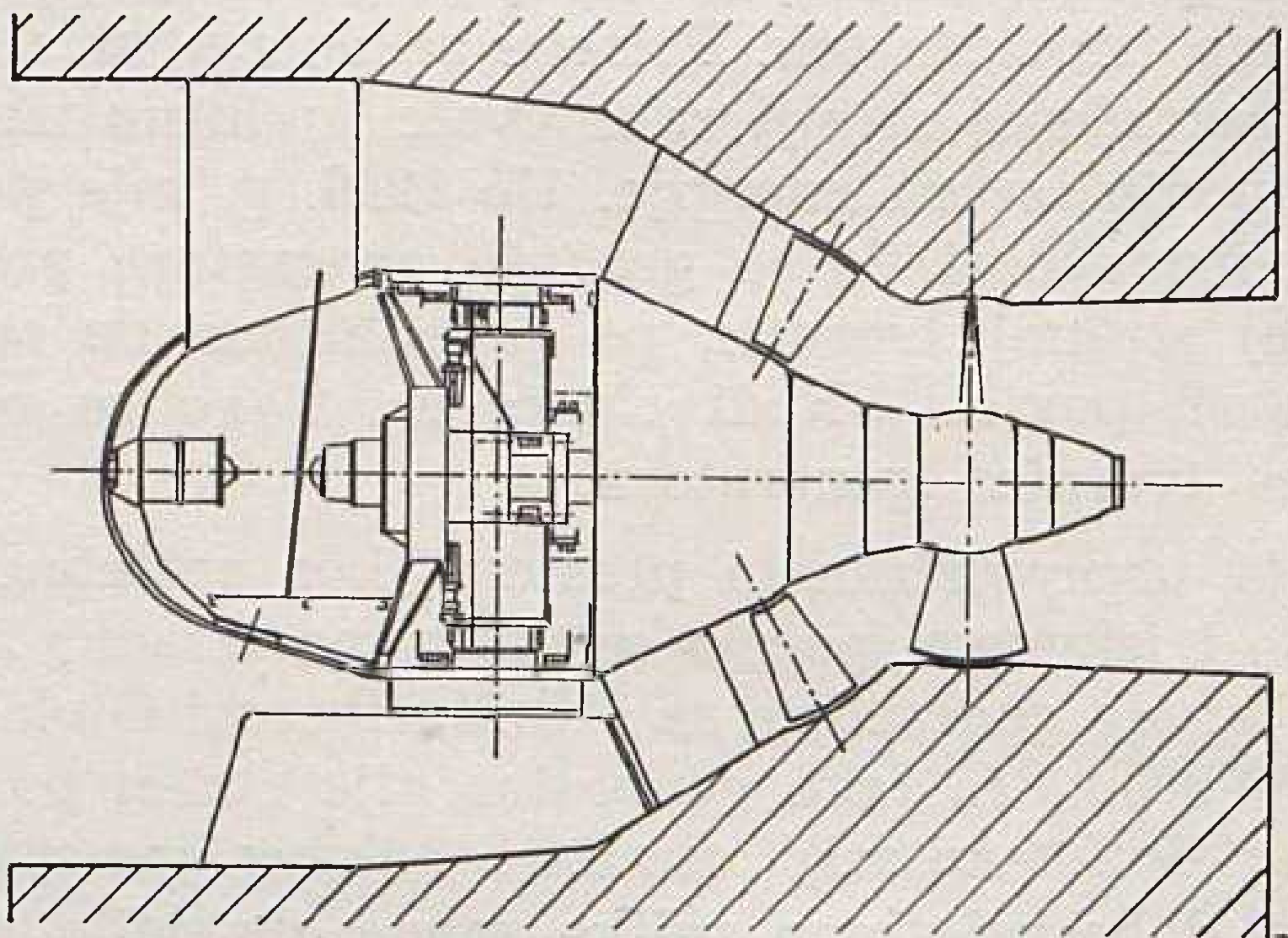
Taj izraz prikazuje utjecaj specifičnih opterećenja A i B na dimenzije generatora, odnosno na faktor iskorištenja $C = k AB$.

Specifična strujna i magnetska opterećenja mjerilo su za gubitke u stroju koji se moraju odvesti rashladnim sredstvom (zrak, vodik, voda). Zadaća je dimenzioniranja da se odabere specifično opterećenje i osnovne dimenzije uzevši u obzir sve zadane parametre. Iskustvo proizvođača sadržano je u veličini faktora iskorištenja uz dozvoljena zagrijanja i mehanička naprezanja.

Iz dijagrama na sl. 1. vidi se porast faktora iskorištenja C po godinama za hidrogeneratore haldene zrakom. Taj porast, iako je izazvan djelomično i porastom snaga pojedinih strojeva, ilustrira i stjecanje iskustva. Razumljivo je da se drugim sistemima hlađenja mogu postići znatno veći faktori iskorištenja. U proizvodnji su turbogeneratori hlađeni vodikom s faktorom $C = 11,5 \frac{\text{kVA min}}{\text{m}^3}$, a projektirani vodom hlađeni generator sa $C = 13 \text{ kVA min/m}^3$.



Sl. 2. a) Ukupna snaga isporučenih generatora (MVA), b) ukupna težina (TONA)



Sl. 3. Presjek cijevnog generatora za HE AJBA, 4300 kVA 187 o/min.

Sumiramo li rezultate proizvodnje generatora od 1948. godine do danas, tvornica »Rade Končar« je izradila, montirala i pustila u pogon oko 450 generatora ukupne snage 8 000 MVA, od čega 167 hidrogeneratora i 62 turbogeneratora za domaće i 62 hidrogeneratora i 45 turbogeneratora za inozemno tržište. Dijagram na sl. 2. prikazuje kretanje proizvodnje generatora po snazi i težini od 1948.

Osim tih strojeva većih snaga opremljeno je više od tisuću dizel-agregata manjim generatorima bilo klasične izvedbe bilo u samouzbudnom spoju.

Uz strojeve velikih snaga razvijaju se strojevi specijalne izvedbe za različite namjene. Spomenimo u prvom redu sinhronne generatore u tzv. cijevnoj izvedbi, od kojih se prvi pokusni agregat 4 300 kVA nalazi u pogonu u HE Ajba a daljnji se agregati nalaze u stadiju projektiranja.

MANUFACTURE OF SYNCHRONOUS GENERATORS IN YUGOSLAVIA

The rapid post-war growth of electric power consumption has necessarily been supported by the development of plants for the manufacture of power production equipment. Thus the first power station equipment with a generator manufactured at the »Rade Končar« Works was put into operation al early as 1948. Since then several hundreds of turbine and hydrogenerators have been developed, design and manufactured.

Naslov pisaca:
Zvonimir S i r o t i ć, dipl. ing. — Vinko K r a j z l, dipl. ing. — Stjepan N o v o s e l, dipl. ing — Mato B u č i ć, dipl. ing.
»Rade Končar«, Zagreb

IZBOR SHEME MODERNIH GRADSKIH TRANSFORMATORSKIH STANICA 110/10 I 110/20 kV S OBZIROM NA KONCEPCIJU MREŽE I POUZDANOST NAPAJANJA*

Antun F a g a r a z z i, Zagreb

UDK 621.314.2

Prikazana je koncepcija distributivnih mreža u velikim gradovima, koja omogućuje uvođenje pojednostavnjenih shema postrojenja 110 kV. Razmotren je izbor sheme srednjonaponskog postrojenja s dvostrukim, jednostrukim i prstenastim sabirnicama, ovisno o oblicima srednjonaponske mreže. Analiziran je utjecaj sheme SF₆ postrojenja 110 kV i limom oklopljenih postrojenja 10 kV na dimenzije transformatorske stanice. Opisan je pojam pouzdanosti napajanja i načelo jednostrukog kvara, te primjena pouzdanosti kao kriterija pri izboru sheme transformatorskih stanica 110/10 kV. Na kraju je naveden primjer optimiranja troškova pouzdanosti napajanja potrošača.

1. UVOD

Nekada se izbor jednopolnih shema transformatorskih stanica provodio neovisno o koncepciji mreže, dakle na osnovi subjektivnih stavova, a često je to slučaj i danas. Kod prvih transformatorskih stanica 110/10 i 110/20 kV na području Zagreba primjenjivala su se rješenja do tada uobičajena u prijenosnim i distributivnim mrežama. Postrojenja 110 kV izvodila su se s dvostrukim ili glavnim i pomoćnim sabirnicama, a srednjonaponska postrojenja s dvostrukim i pomoćnim sabirnicama. Transformatorske stanice imale su znatno viši standard pouzdanosti u odnosu prema potrošaču nego sama mreža. Povećanje pouzdanosti mreže nije prihvatljivo iz ekonomskih razloga, a pogonsko iskustvo pokazuje da to nije ni potrebno. Zato se postavlja pitanje u kojoj mjeri pojednostavnjenje sheme transformatorske stanice utječe na smanjenje pouzdanosti napajanja potrošača. Iz toga jasno proizlazi koliko je važno jedinstveno planiranje mreže i postrojenja ako se želi postići optimalno rješenje. Da bi se omogućila objektivna usporedba pojedinih varijanti, pri planiranju je potrebno osim empirijskih načela uzeti u obzir i proračun pouzdanosti.

Naša osnovna rješenja električnih mreža često ne daju argumentirane podatke o shemi koja je potrebna za definiranje projektnog zadatka, odnosno izradu projektne dokumentacije. Zato se u ovom radu pokušalo razjasniti ta problematika na nekim inozemnim primjerima, koji mogu biti vrlo korisni i u našim razmatranjima. Svi prikazani primjeri odnose se na mrežu 10 kV, ali se mogu primijeniti i za mrežu 20 kV, što je zanimljivo s obzirom na to da se danas na gradskom i pri-

gradskom području Zagreba gradi srednjonaponska mreža isključivo napona 20 kV. Međutim, pri izboru sheme srednjonaponskog postrojenja u Zagrebu trebat će još uzeti u obzir i moguće pogonske zahtjeve mreže u razdoblju prijelaza s napona 10 kV na napon 20 kV.

2. IZBOR SHEME TRANSFORMATORSKIH STANICA 110/10 kV OVISNO O KONCEPCIJI MREŽE

2. 1. Razvoj gradskih mreža 110 kV i izbor sheme postrojenja 110 kV

O tendencijama razvoja distributivnih mreža 110 kV u velikim gradovima već se u nas pisalo (lit. 1). Zato će ovdje biti samo ukratko navedene činjenice bitne za razumijevanje koncepcija visokonaponskih postrojenja modernih transformatorskih stanica 110/10 kV.

Sve veće gustoće opterećenja u gradovima uvjetuju povećanje instalirane snage transformacije u pojnim točkama srednjonaponske mreže. Posljedica toga je izgradnja transformatorskih stanica 110/10 i 110/20 kV, što znači postepeno ukidanje napona 35 (30) kV, dok napon 110 kV poprima distributivni karakter. Dosadašnje iskustvo s gustim zamkastim mrežama 110 kV u velikim gradovima pokazuje da se već pri opterećenju mreže ispod 1 000 MW moraju poduzeti mjere za ograničenje snage tropolnog kratkog spoja na 5 000 MVA. Kod pretežnog dijela postrojenja 110 kV smatra se opravdanim zadržavanje snage kratkog spoja na 5 000 MVA, dok će manji dio trebati dimenzionirati za 7 500 MVA. Ograničenje se najefikasnije postiže postepenim otvaranjem zamkastih mreža i stvaranjem odvojenih grupnih mreža. Prijelazom na otvoreni pogon mreže postaju jednostavne i pregledne. Na taj način mre-

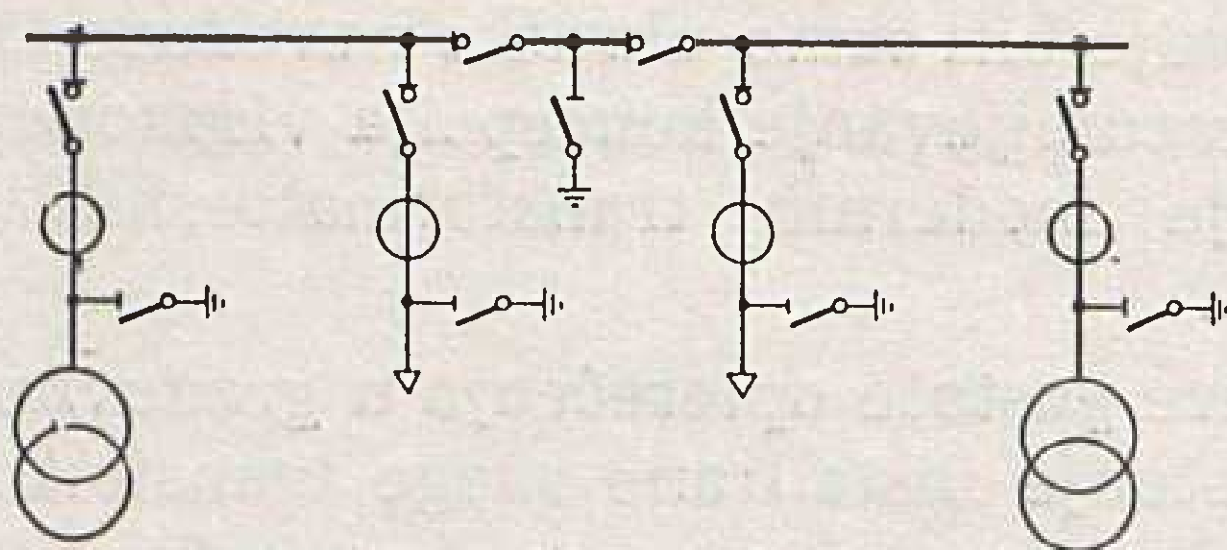
* Ovaj članak je prošireni referat br. 322.09 s XIV savjetovanja elektroenergetičara Jugoslavije — CIGRE, Sarajevo, 1979.

že 110 kV preuzimaju ne samo funkciju, nego vrlo često i koncepciju srednjonaponske mreže.

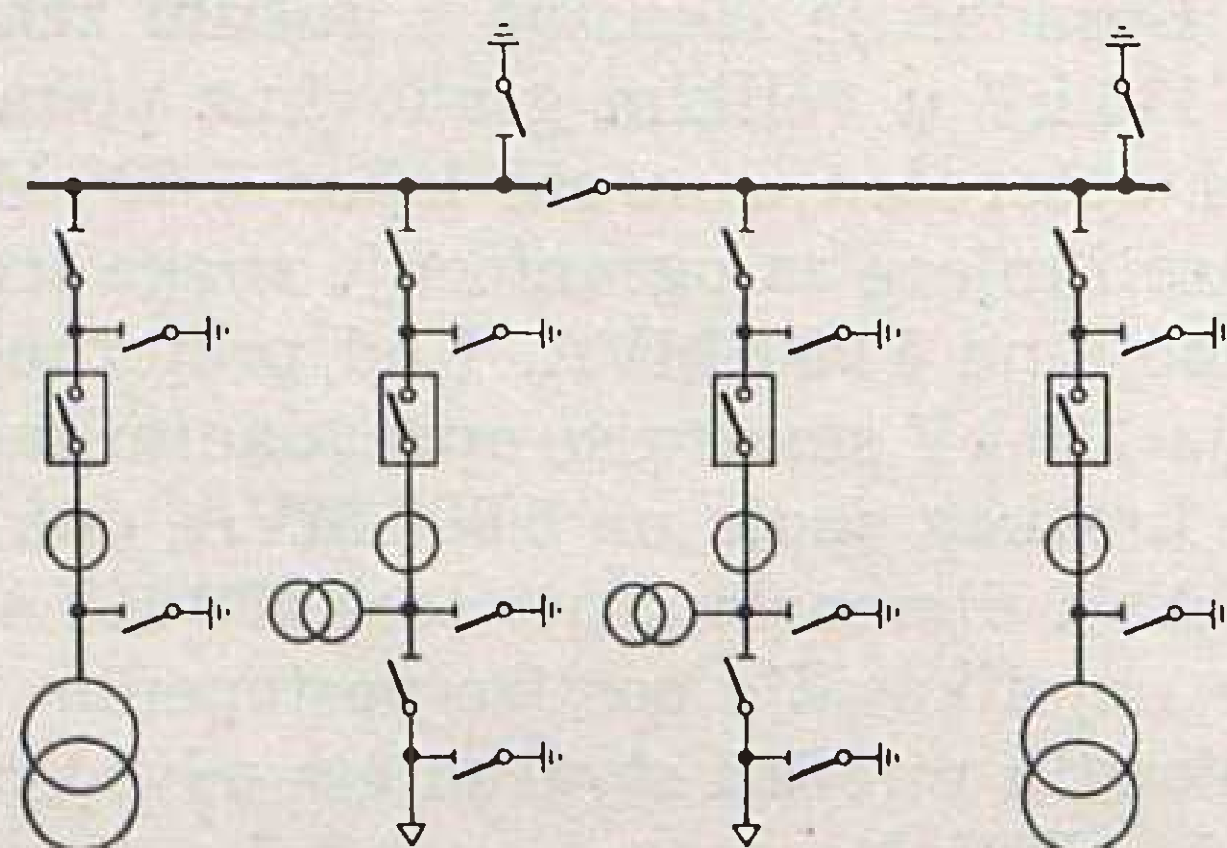
Zahtjev za lociranjem gradskih transformatorskih stanica 110/10 kV u težištima konzuma doveo je do problema osiguranja potrebnog zemljišta. Primjenom metalom oklopljenih postrojenja 110 kV, kod kojih se kao izolaciono sredstvo koristi plin SF_6 (sumporni heksafluorid), postignuto je znatno smanjenje površine i prostora u odnosu prema konvencionalnom postrojenju smještenom u zgradi (lit. 2). Osim toga tako su sniženi troškovi zemljišta i troškovi građevnih radova.

SF_6 postrojenja 110 kV u transformatorskim stanicama 110/10 kV izvode se s jednostrukim sabirnicama i sa što manjim brojem polja. Daljnje pojednostavnjenje postiže se upotrebom rastavnih sklopki umjesto prekidača te sabirničkog i izlaznog rastavljača. Transformatorske stanice 110/10 kV, 2x40 MVA u Stuttgartu primjer su radikalnog pojednostavnjenja postrojenja 110 kV, jer su rastavne sklopke primijenjene u svim poljima (sl. 1, lit. 3). Sabirnice su sekcionirane s dvije rastavne sklopke, što omogućuje rad na postrojenju bez stavljanja čitave stanice izvan pogona. Naponski transformatori također nisu predviđeni, jer se ne samo transformator 110/10 kV, nego i kabel 110 kV štiti s uzdužnom diferencijalnom zaštitom, dok se indikacija napona može ostvariti preko signalnog kabela položenog usporedno s kablom 110 kV.

Sva uklapanja i isklapanja u normalnom pogonu s rastavnim sklopkama provode se jednako kao i s prekidačima. Međutim, u slučaju kratkog spoja na kabelu 110 kV ili transformatoru 110/10 kV nije moguće selektivno isklapanje dijela zahvaćenog kvarom. Tek nakon isklapanja prekidača u napojnoj transformatorskoj stanici može se odvojiti element u kvaru. Primjenom automatike po-



Sl. 1. Jednopolna shema radikalno pojednostavnjenog SF_6 postrojenja 110 kV u Stuttgartu



Sl. 2. Jednopolna shema SF_6 postrojenja 110 kV s kompletno opremljenim poljima u Beogradu i Zagrebu

stiže se beznaponska pauza od 1 do 2 sek, a prema višegodišnjoj statistici kvarova treba računati s jednim takvim kvarom svakih desetak godina.

Postrojenja 110 kV u SF_6 tehnici koja su tipizirana u Wuppertalu karakteristična su po tome što su dva vodna i dva transformatorska polja opremljena samo rastavnim sklopkama, dok je za sekcioniranje sabirnica predviđen prekidač (lit. 1 i 8). Inače, najčešće se samo vodna ili samo transformatorska polja izvode s rastavnim sklopkama. Prva distributivna SF_6 postrojenja 110 kV koja se grade ili projektiraju u Beogradu i Zagrebu imaju sva polja kompletno opremljena (sl. 2, lit. 4 i 5). U slučajevima kada se transformatorska stanica 110/10 kV priključuje na prienosnu mrežu 110 kV takva rješenja uvjetuje postojeća mreža. Međutim, u gradskim mrežama 110 kV koje su isključivo distributivne, opravdano je pri izradi osnovnog rješenja razmisliti o koncepciji mreže koja će omogućiti pojednostavnjenje uvođenjem rastakvih sklopki. Za ilustraciju može se navesti da je oprema kod radikalno pojednostavnjenog postrojenja 110 kV jeftinija oko 50% od opreme kod postrojenja s kompletno opremljenim poljima. Ipak, treba imati na umu da je shema prikazana na sl. 2 relativno jednostavna. Ta shema znači znatan napredak u usporedbi s dosadašnjom praksom, na primjer na području Zagreba.

2. 2. Ekonomski oblici gradskih mreža 10 kV

Optimalna izgradnja srednjonaponske mreže u velikim gradovima treba biti rezultat istraživanja koja su dio cjelovitog planiranja distributivnog sistema. Konkretni rezultati ovise o historijskom razvoju mreže, strukturi potrošnje i geografskim prilikama, kao i o filozofiji pojedinog distributivnog poduzeća. Pri analiziranju oblika mreže 10 kV s obzirom na ekonomičnost, koja su vršena u Stuttgartu, uzeta u obzir četiri u praksi osnovna oblika (lit. 6):

1. prstenasta mreža,
2. mreža s rezervnim kabelima,
3. povezna mreža,
4. mreža s pojnim čvorovima.

Kod prstenaste mreže transformatorske stanice 110/10 kV samostalne su u pogonu, jer sa susjednim stanicama nisu povezane kabelima 10 kV. U normalnom pogonu prsteni su otvoreni otprilike u (električnoj) sredini, a u slučaju kvara na kabelu lako se premjesti mjesto razdvojenja prstena. Maksimalno dozvoljeno opterećenje svake polovice prstena iznosi 60% trajnog dozvoljenog opterećenja kabela, tako da kod kvara na početku kabela privremeno opterećenje može iznositi 120%.

Mreža s rezervnim kabelima nastaje daljnjim razvojem prstenaste mreže. Rezervni kabel se povezuje sa sredinama dva do tri prstena i u normalnom pogonu nije opterećen, a u slučaju kvara

na jednoj polovici prstena uspostavlja se veza s rezervnim kabelom. Svaka polovica prstena može se opteretiti sa 100% trajnog opterećenja kabela (određenog uz uvažavanje redukcije opterećenja kod paralelnog polaganja više kabela) zato jer ne mora imati vlastitu rezervu. Transformatorska stanica je samostalna u pogonu.

Poveznu mrežu karakteriziraju kabeli koji spajaju razne transformatorske stanice 110/10 kV ne-samostalne u pogonu. Jednostavnim prespajanjem poveznih kabela može se u normalnom pogonu ostvariti prikladna raspodjela opterećenja među stanicama, odnosno u slučaju kvara jednog transformatora iskoristiti transformatorska rezerva susjednih stanica. Pojedini povezani kabeli mogu se opteretiti s maksimalno 100% trajnog dozvoljenog opterećenja.

Kod mreže s pojnim čvorovima na sabirnice 10 kV priključeni su čvorovi, sa kojih se dalje napajaju po dva prstena. Svaki pojni čvor dodatno je povezan s odgovarajućim čvorom susjedne stanice, tako da se u slučaju kvara na priključnom kabelu uspostavlja rezervna veza. Priključni vod izveden je s dva kabela, koji su kao i rezervni kabel dvostrukog presjeka ($300 \text{ mm}^2 \text{ Al}$) u odnosu na distributivne kabele ($150 \text{ mm}^2 \text{ Al}$). Budući da su pojni čvorovi opremljeni rastavnim sklopkama, u slučaju kvara isklapanje preuzima prekidač u vodnom polju. Transformatorske stanice nisu samostalne u pogonu, a transformatori se mogu kao i kod povezne mreže dobro iskoristiti.

Opisani oblici mreža 10 kV analizirani su na modelima mreže, pri čemu su uzete četiri etape izgradnje jedne transformatorske stanice 110/10 kV i pripadne mreže 10 kV u razdoblju od 30 godina. Usporedba troškova je pokazala da je mreža s rezervnim kabelima najekonomičniji oblik mreže. To je u prvom redu zato jer prijenosna snaga prvobitne prstenaste mreže osjetno poraste polaganjem relativno kratkih rezervnih kabela. U Stuttgartu su se odlučili za kombinaciju prstenaste mreže i mreže s pojnim čvorovima, koja je gotovo jednako tako ekonomična, pogotovo kod većih gustoća opterećenja (sl. 5).

Prema tome, u velikim gradovima je najprikladnija prstenasta mreža, koja se s porastom opterećenja ovisno o geografskim prilikama razvije u mrežu s rezervnim kabelima ili proširi mrežom s pojnim čvorovima. Povezne mreže ne smatraju se preporučljivim u gradskim distributivnim mrežama. Ipak, ovdje treba navesti da je izgradnja čistih poveznih mreža našla primjenu kod koncepcije s jednostavnim transformatorskim stanicama 110/10 kV s jednim transformatorom, na primjer u Dortmundu (lit. 1 i 7).

Slična analiza ekonomskih oblika mreže 10 kV izvršena je u Wuppertalu (lit. 8). Umjesto mreže s rezervnim kabelom uspoređivana je mreža s rasklopnicom, koja se praktički razlikuje samo po tome što se svi distributivni kabeli dovode u rasklopicu, preko koje se mogu spojiti s rezervnim kabelom. Budući da je zvjezdište 10 kV uzemljeno

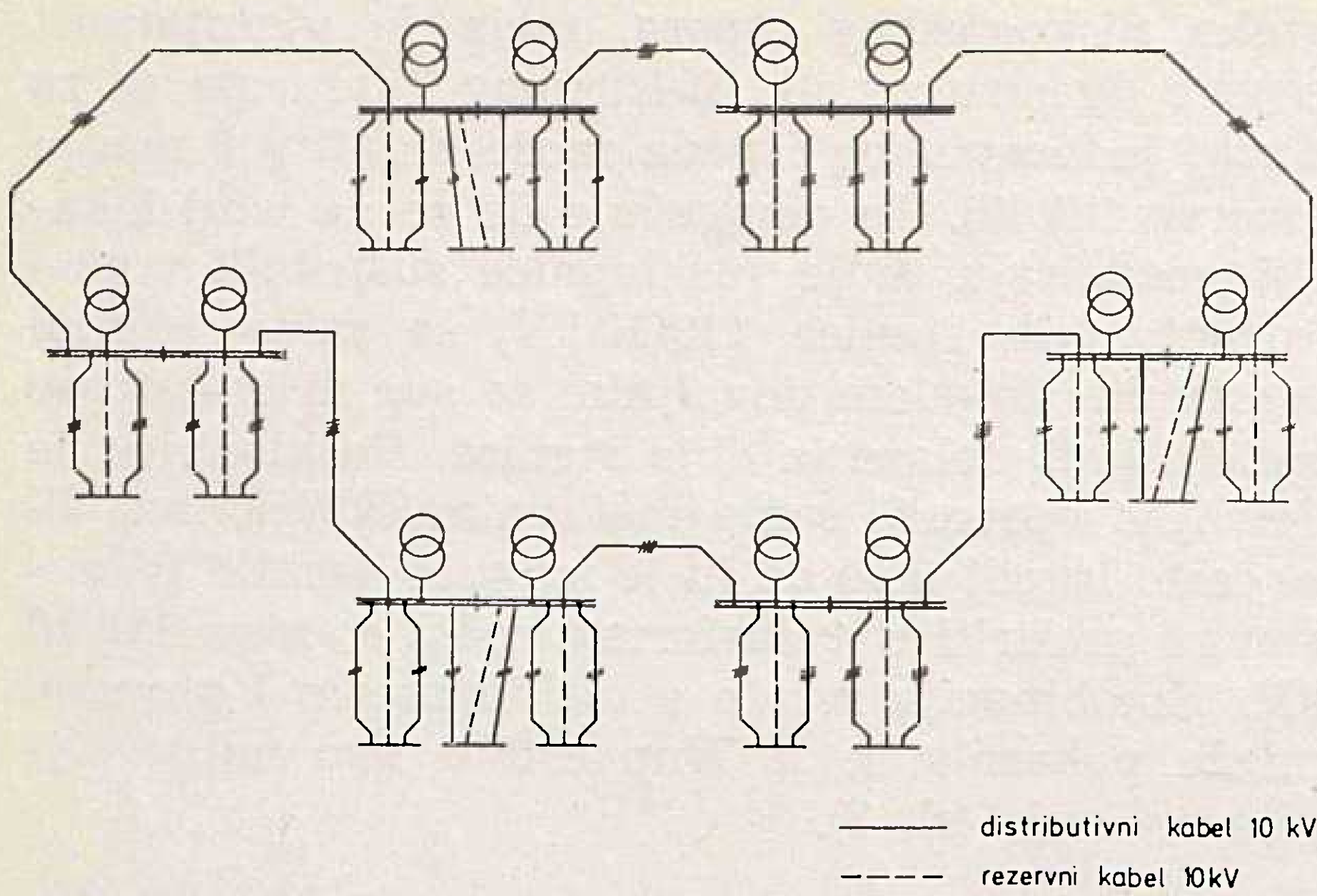
preko niskoomskog otpora, mala je vjerojatnost pojave dvostrukog ili višestrukog kvara, pa se za slučaj jednostrukog ispada može držati još manja rezerva (lit. 9). To omogućuje da se na istoj lokaciji realiziraju dvije rasklopnice susjednih transformatorskih stanica 110/10 kV, sa samo jednim rezervnim kabelom dovoljnim za sve distributivne kabele koji dolaze iz obje stanice. Rasklopicu je dovoljno opremiti samo rastavnim sklopkama, ali se često izvodi tako da ju je moguće kasnije jednostavno proširiti u transformatorsku stanicu 110/10 kV. Kombinacija mreže s rasklopicom i povezne mreže pokazala se u Wuppertalu kao najpovoljnije rješenje (sl. 3).

2. 3. Mogućnosti primjene jednostrukih umjesto dvostrukih sabirnica 10 kV

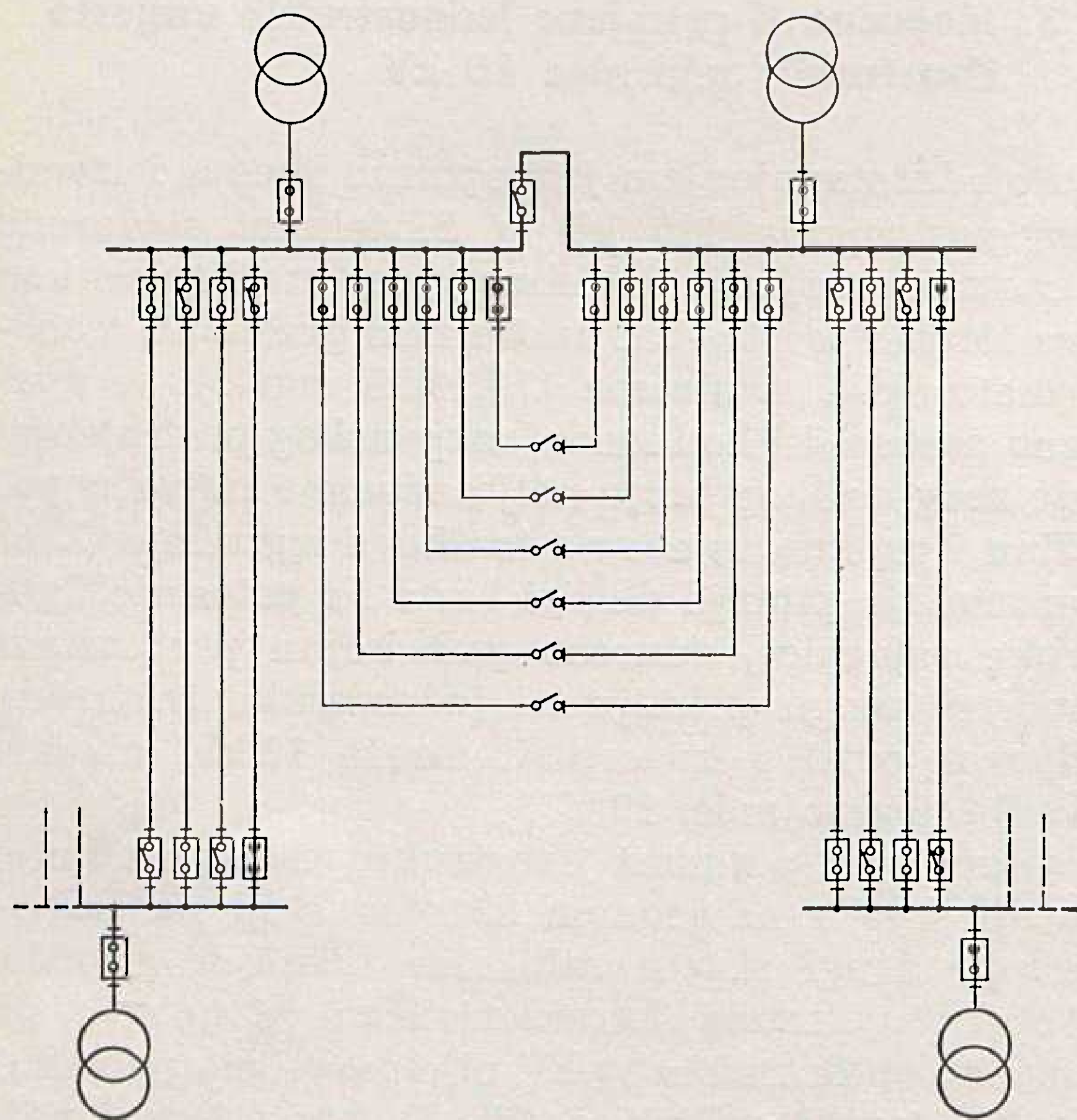
Pojednostavnjenjem jednopolnih shema i izvedbom postrojenja 110 kV u SF₆ tehnici ostvareno je znatno smanjenje potrebnog prostora i sniženi su investicijski troškovi. U modernim gradskim transformatorskim stanicama 110/10 kV nastoji se analogno postupiti i kod srednjonaponskog postrojenja, koje zbog velikog broja polja zauzima najveću površinu i osjetno utječe na troškove izgradnje. Zato s epostavlja pitanje da li i kada su potrebne dvostruke sabirnice, odnosno pod kojim pretpostavkama se mogu primijeniti jednostruke sabirnice. Odgovor ovisi o koncepciji mreže 10 kV, ali i o izvedbi postrojenja 10 kV.

Glavna je prednost dvostrukih sabirnica da u slučaju kvara na jednom sistemu stoji na raspolaganju drugi sistem sabirnica. Primjer gradske mreže Wuppertala karakterističan je upravo po tome što oblik mreže 10 kV nije omogućio napuštanje dvostrukih sabirnica (lit. 8). Zbog toga i najnovije transformatorske stanice s pojednostavnjenom shemom postrojenja 110 kV u SF₆ tehnici imaju postrojenje 10 kV izvedeno klasično s dvostrukim sabirnicama primjenom ćelija limene konstrukcije s fiksno ugrađenom opremom.

U transformatorskim stanicama 110/10 kV u Wuppertalu instalirana su dva transformatora snage 40 MVA, grupe spoja Yd5. Osigurana snaga stanice iznosi 55 MVA, pa se u slučaju kvara na jednoj transformatorskoj jedinici mora 10 do 15 MVA dobiti preko poveznih kabela iz susjednih stanica. Na svaku transformatorsku stanicu priključuju se, ovisno o konzumu, dvije rasklopnice sa šest distributivnih kabela ili tri rasklopnice s četiri kabela (sl. 3). Budući da su distributivni kabeli opterećeni 100% a svaka rasklopica ima samo jedan rezervni kabel, ne može se primijeniti jedan sistem sabirnica 10 kV, jer se u slučaju kvara na jednom sistemu rezervno napajanje može ostvariti samo preko drugog sistema sabirnica. Isto vrijedi i za oblik mreže s rezervnim kabelima, i to neovisno o tome na koje su sekcije sabirnica kabeli priključeni.



Sl. 3. Principijelna shema mreže 10 kV s rasklopnicama i poveznim kabelima u Wuppertalu



Sl. 4. Principijelna shema postrojenja 10 kV s jednostrukim sabirnicama i mreže 10 kV s prstenastim i poveznim kabelima u Beogradu

Posljednjih godina sve više se uvode tvornički gotova srednjonaponska postrojenja s izvlačivim prekidačima, dakle bez rastavljača. Zahvaljujući tipizaciji transformatorskih stanica s otvorenim konvencionalnim visokonaponskim postrojenjem u nekim je zemljama potpuno prešlo na srednjonaponska postrojenja u izvlačivoj izvedbi. Tako se, na primjer, limom oklopljena postrojenja s dvostrukim sabirnicama grade u Švedskoj, a s jednostrukim sabirnicama u Njemačkoj DR (lit. 10 i 11).

Postrojenje u izvlačivoj izvedbi s dva sistema sabirnica može se ostvariti samo primjenom dvaju prekidača, odnosno dviju ćelija po polju (dupleks metoda). U slučaju revizije ili kvara jednog prekidača polje ostaje u potpunosti opremljeno, jer stoji na raspolaganju drugi prekidač. Kod postrojenja u fiksnoj izvedbi ta mogućnost postoji samo kada je dodatno opremljeno pomoćnim sabirnicama, pri čemu se prekidač u vodnom polju nadomjesti prekidačem u spojnom polju. Ako se ne zahtijeva

prijelaz s jednog sistema na drugi sistem sabirnica bez prekida napajanja u svakom je polju dovoljan prekidač u jednoj ćeliji.

Prednost izvlačive izvedbe je jednostavna i brza zamjena prekidača. To je vrlo značajno kod postrojenja s jednostrukim sabirnicama gdje se u transformatorskoj stanici drže dva rezervna prekidača istog tipa (za vodno odnosno transformatorsko i spojno polje). Kod postrojenja s jednostrukim sabirnicama bitna je i dobra zaštita od nastanka i širenja električnog luka, jer je u slučaju kvara na sabirnicama potrebno na svim pripadnim izvodima izvršiti prespajanje u mreži.

Transformatorske stanice 110/10 kV koje se danas grade u Beogradu karakteristične su zbog vrlo jednostavne jednopolne sheme postrojenja 10 kV (lit. 12). Dva transformatora snage 40 MVA priključena su na sekcionirane jednostruke sabirnice postrojenja 10 kV s izvlačivim prekidačima (sl. 4). Kabeli priključeni na razne sekcije sabirnice tvore preglednu prstenastu mrežu 10 kV. Da bi se ostvarila rezerva kod ispada iz pogona jedne od dvije potpuno opterećene transformatorske jedinice zbog kvara na transformatoru ili na jednoj sekciji sabirnica, potrebno je povezati 40% kabelskih izvoda sa susjednim stanicama. Za vršna opterećenja stanice do 50 MVA povezni vodovi nisu uvijek nužni, jer se u slučaju ispada jednog transformatora drugi može preopteretiti s 25%. Ta koncepcija ujedinjuje prednosti prstenaste i povezne mreže — jednostavno vođenje pogona i dobro iskorištenje transformatora. Kasniji eventualni razvoj prstenaste mreže u mrežu s rezervnim kabelima, radi povećanja iskorištenja kabela, ne bi bio moguć zbog primjene jednostrukih sabirnica. Zato je i potreban relativno velik broj vodnih ćelija (ukupno 34) na koje se priključuju kabeli presjeka 240 mm² Al.

Pri izradi studije o uvođenju napona 20 kV na području zapadnog dijela grada Zagreba pretpostavljeno je da će se prstenasta i povezana mreža postepeno razviti u mrežu s rezervnim kabelima (lit. 13). Međutim, za transformatorsku stanicu 110/20 kV, instalirane snage 2×40 MVA (eventualno 2×63 MVA), koja će se doduše graditi u sjevernom dijelu grada, bilo je odlučeno da srednjonaponsko postrojenje bude u izvlačivoj izvedbi s jednostrukim sabirnicama, dakle isto kao i u Beogradu (lit. 5). U međuvremenu je sazrela spoznaja o prednostima prstenastih sabirnica, tako da je konačno prihvaćena shema kao u Stuttgartu (sl. 5). Usprkos tome ostaje ta problematika u Zagrebu i dalje aktualna, jer još nije definirana ni koncepcija srednjonaponske mreže kao ni način prijelaza s napona 10 kV na napon 20 kV.

2. 4. Postrojenja 10 kV s prstenastim sabirnicama

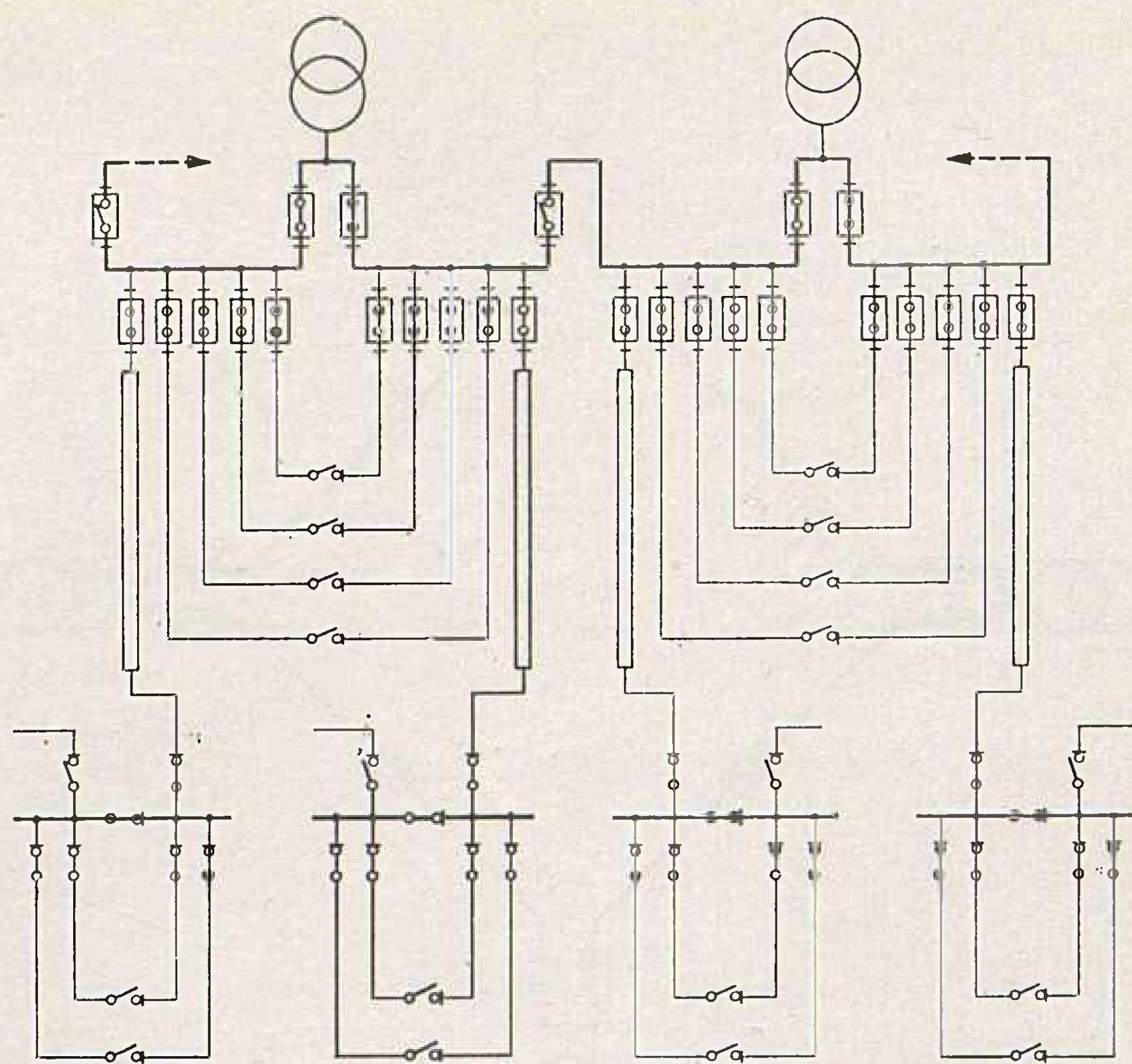
Transformatorske stanice 110/10 kV u Stuttgartu imaju instalirane dvije transformatorske jedinice snage 40 MVA, grupe spoja Yd5 (lit. 14).

Vršno opterećenje jedne jedinice u normalnom pogonu može biti 32,5 MVA, odnosno osigurana snaga stanice iznosi 65 MVA. U slučaju ispada jednog transformatora iz pogona drugi transformator preuzima opterećenje prstenaste mreže od 17,5 MVA, pri čemu je kratkotrajno preopterećen s 50 MVA, dok se $2 \times 7,5$ MVA za napajanje čvorova dobije iz drugih stanica (sl. 5). Transformatori rade odvojeno i imaju napon kratkog spoja 20%, što je uvjetovano ograničenjem snage kratkog spoja u mreži 10 kV na iznos od 250 MVA (uzet je u obzir i mogući utjecaj velikih elektromotora u mreži). Budući da paralelni rad transformatora nije moguć, primjenjena je automatika koja kod ispada jedne jedinice iz pogona uklapa spojni prekidač s vrlo kratkim zatezanjem.

Kao rezultat optimalnog cjelovitog planiranja u Stuttgartu je postepeno razvijena tipska jedno-polna shema postrojenja 10 kV i koncepcija mreže 10 kV (sl. 5). Najvažniji korak u novom načinu izgradnje bio je prijelaz s dvostrukih sabirnica, koje su bile uobičajene u postrojenjima svih transformatorskih stanica, na jednostruke sabirnice formirane u prsten (lit. 38).

Svaka sabirnička sekcija podijeljena je u dvije polusekcije, koje napaja pripadni transformator preko dva prekidača. Za vrijeme normalnog pogona spojni prekidači sekcija su otvoreni. Prsten kabela 10 kV počinje na jednoj polusekciji i vraća se na drugu polusekciju iste sekcije. U slučaju eventualnog kvara na sabirnicama dovoljno je samo jednu polusekciju staviti izvan pogona i na relativno malom broju kablskih izvoda izvršiti prespajanje u mreži. Pri tome transformator ostaje u pogonu s nepromjenjenim opterećenjem i napaja ispravnu polusekciju. To je očita prednost u odnosu na rješenje s jednostrukim sabirnicama, kod kojeg kvar na sabirnicama znači stavljanje izvan pogona čitave sekcije i pripadnog transformatora kao i više prespajanja u mreži. Međutim, za izvedbu transformatorskih i spojnih polja potrebno je kod prstenastih sabirnica osam ćelija umjesto četiri, što nešto povećava potreban prostor i poskupljuje postrojenje 10 kV (za svako spojno polje potrebne su dvije ćelije, ćelija s prekidačem i prazna ćelija).

Prva dva pojna čvora opremljena rastavnim sklopovima puštena su u pogon još 1971. i 1972. godine i do sada postoje dobra pogonska iskustva. Međutim, u nekim dijelovima grada u novije vrijeme se ipak predviđa razvoj prstenaste mreže 10 kV u mrežu s rezervnim kabelima (lit. 15). U normalnom pogonu bi svaki transformator bio opterećen s 25 MVA, svaka polusekcija s 12,5 MVA, pri čemu je transformatorska stanica samostalna u pogonu s osiguranom snagom 50 MVA. Rezervni kabeli ne priključuju se na polusekcije, nego preko vlastitog prekidača direktno na transformatore. Na taj način je, doduše, postignuto da u slučaju ispada jedne polusekcije rezervni kabel ostane u pogonu, ali ako se prihvate ranija

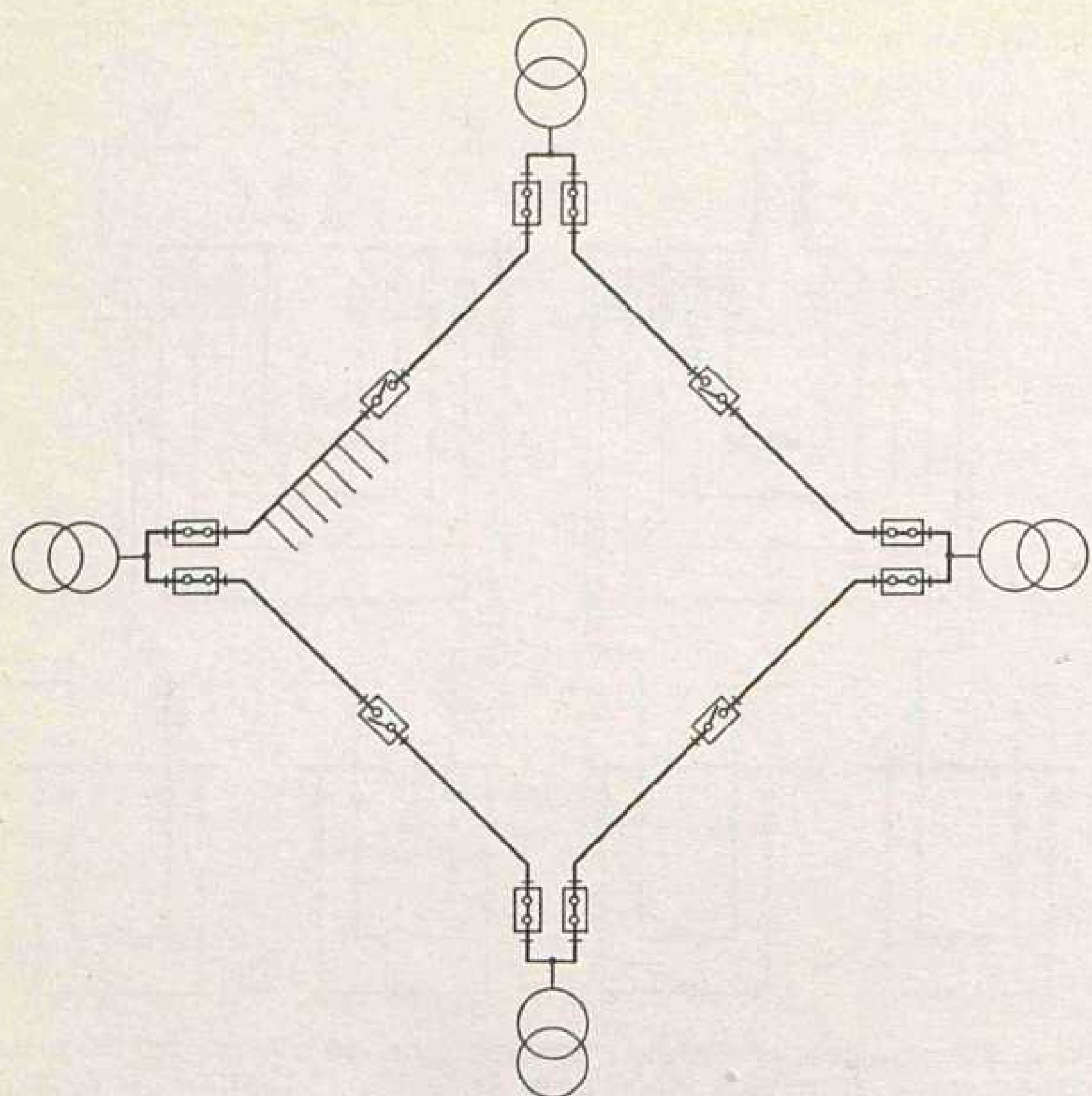


Sl. 5. Principijelna shema postrojenja 10 kV s prstenastim sabirnicama i mreže 10 kV s prstenastim kabelima i pojnim čvorovima u Stuttgartu

razmatranja o dvostrukim i jednostrukim sabirnicama ispravnost ovog rješenja dolazi u pitanje. Samo primjenom kriterija pouzdanosti napajanja može se argumentirati ova koncepcija mreže i postrojenja 10 kV.

Postrojenja 10 kV s prstenastim sabirnicama mogu imati dva, tri, četiri, a teoretski čak i više transformatora. Nove transformatorske stanice 110/10 kV u Beču imaju u konačnoj izgradnji instalirana četiri transformatora snage 40 MVA, grupe spoja Yd11 (lit. 15). Transformatori su u normalnom pogonu maksimalno opterećeni s 28 MVA, pa osigurana snaga stanice iznosi 112 MVA. To je samo nešto manje nego kod uobičajenog rješenja, kada su tri transformatorske jedinice u pogonu, jedna jedinica rezervna, a osigurana snaga 120 MVA. Snaga kratkog spoja u mreži 10 kV ograničena je na 250 MVA, pa transformatori imaju napon kratkog spoja 17% (bez minus tolerancije) i rade odvojeno. Na svaki transformator priključuje se 14 kabela presjeka 240 mm^2 Al, dakle svaka polusekcija ima 7 vodnih polja.

Kod kvara na transformatoru isklopi prekidač 110 kV i oba prekidača 10 kV (sl. 6). Polusekcije koje su ostale bez napona napajaju se nakon uklapanja odgovarajućih spojnih prekidača iz susjednih transformatora, čije opterećenje može tada porasti do najviše 42 MVA. Ako se u slučaju planskog iskapčanja transformatora želi izbjeći prekid napajanja potrošača, moguć je kratkotrajan paralelni rad sa susjednim transformatorom pri čemu nastupa prekoračenje dozvoljene snage kratkog spoja. Primjenom automatike reducira se vrijeme paralelnog rada na minimum. Postrojenje 10 kV s izvlačivim prekidačima izvedeno je oklopljeno limom i s lukobranima, tako da eventualni kratki spoj na sabirnicama ostaje ograničen na jednu ćeliju. Budući da se sabir-



Sl. 6. Principijelna shema postrojenja 10 kV s prstenastim sabirnicama i četiri transformatora u Beču

nice sastoje od dijelova jednakih koraku polja, dežurna ekipa može u roku četiri sati doći u stanicu i demontirati oštećeni dio sabirnice. Nakon toga se ostali dio polusekcije može ponovo staviti u pogon uklapanjem susjednog spojnog prekidača. Inače, prespajanjem u mreži 10 kV može se skratiti trajanje ispada.

3. UTJECAJ SHEME I IZVEDBE POSTROJENJA 110 I 10 kV NA DIMENZIJE TRANSFORMATORSKE STANICE

3. 1. Tropolno oklopljeno SF₆ postrojenje 110 kV

SF₆ tehnika otvorila je nove mogućnosti u gradnji skupnih postrojenja. SF₆ postrojenja 110 kV instaliraju se u gradskim mrežama od 1967. godine. Danas su praktički svi veći evropski proizvađači električne opreme razvili vlastita postrojenja, u proizvodnji postignuta visoka tehnološka zrelost, a zbog sve veće primjene u elektroprivredi i industriji isporučuje se velik broj sklopnih polja. Posljednjih godina može se uočiti težnja za optimiranjem oklopljenih postrojenja, pa se čini da razvoj na ovom području još nije završen (lit. 17 i 18).

Prvo SF₆ postrojenje 110 kV u Zagrebu isporučit će »Rade Končar« na osnovi licence kupljene od »Siemens«, što će značiti trajnu orijentaciju »Rade Končara« u proizvodnji ovih postrojenja. Većina proizvađača nudi postrojenja 110 kV s konzekventno jednopolno oklopljenim svim elementima. Međutim, Siemens je — a kasnije također i BBC — nakon više godina dobrih pogonskih iskustava s mješanom izvedbom (tropolno oklop-

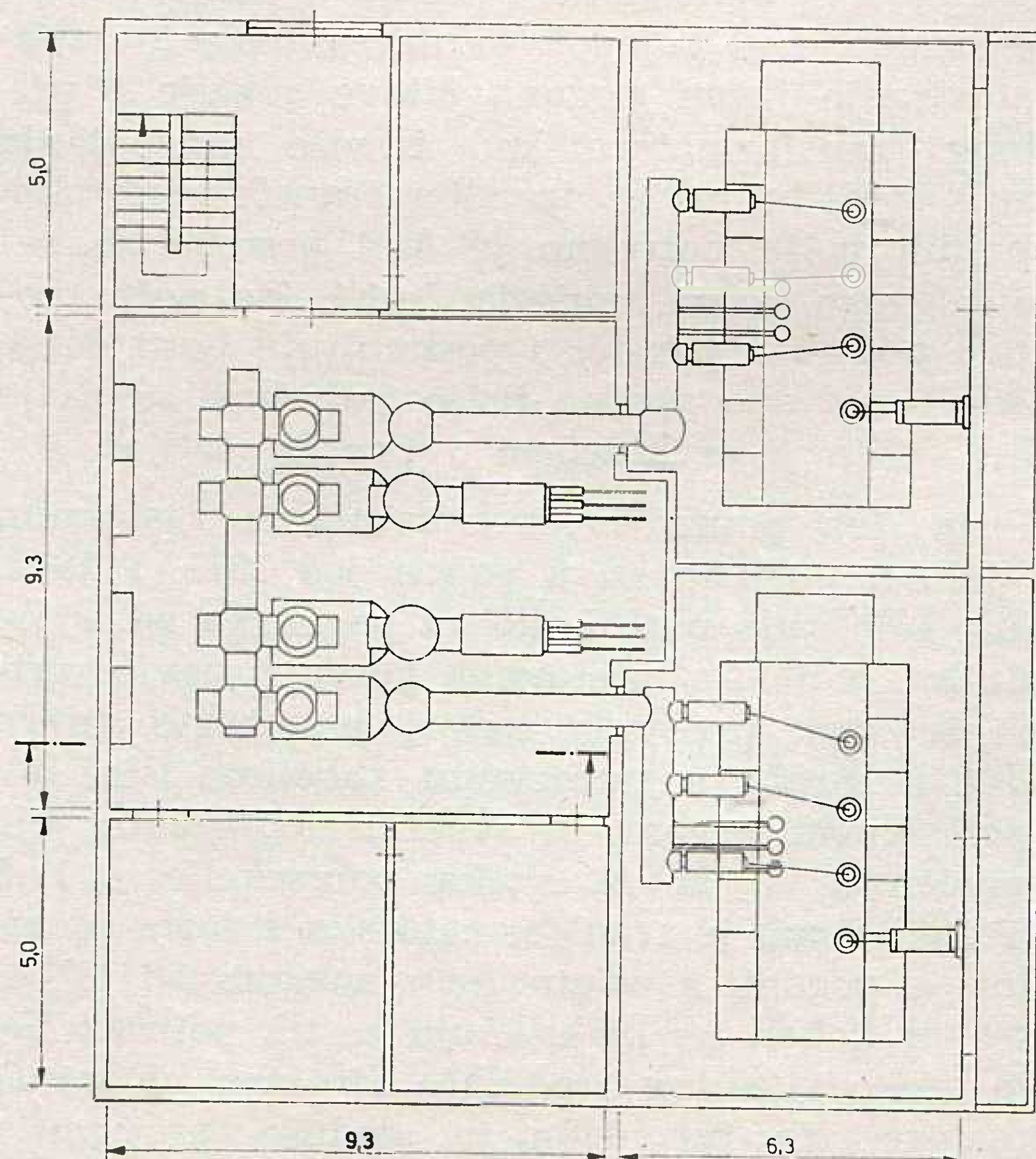
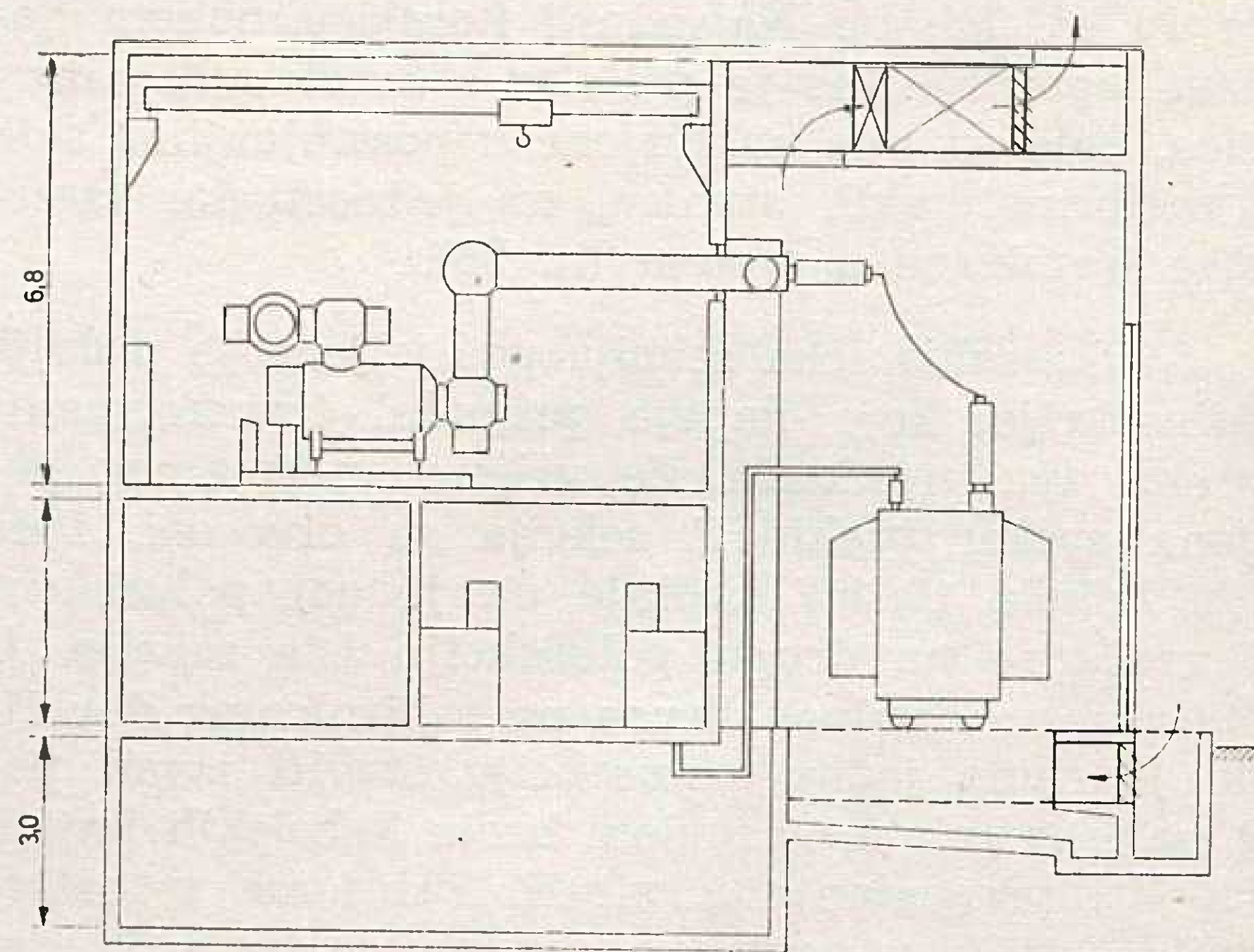
ljene sabirnice i jednopolno oklopljena polja) razvio drugu generaciju postrojenja 110 kV kod kojeg je provedeno potpuno oklapanje (lit. 19 i 20). Glavne prednosti tropolno oklopljene izvedbe tipa 8D.6 u odnosu na raniju izvedbu tipa 8D.2 jesu ove:

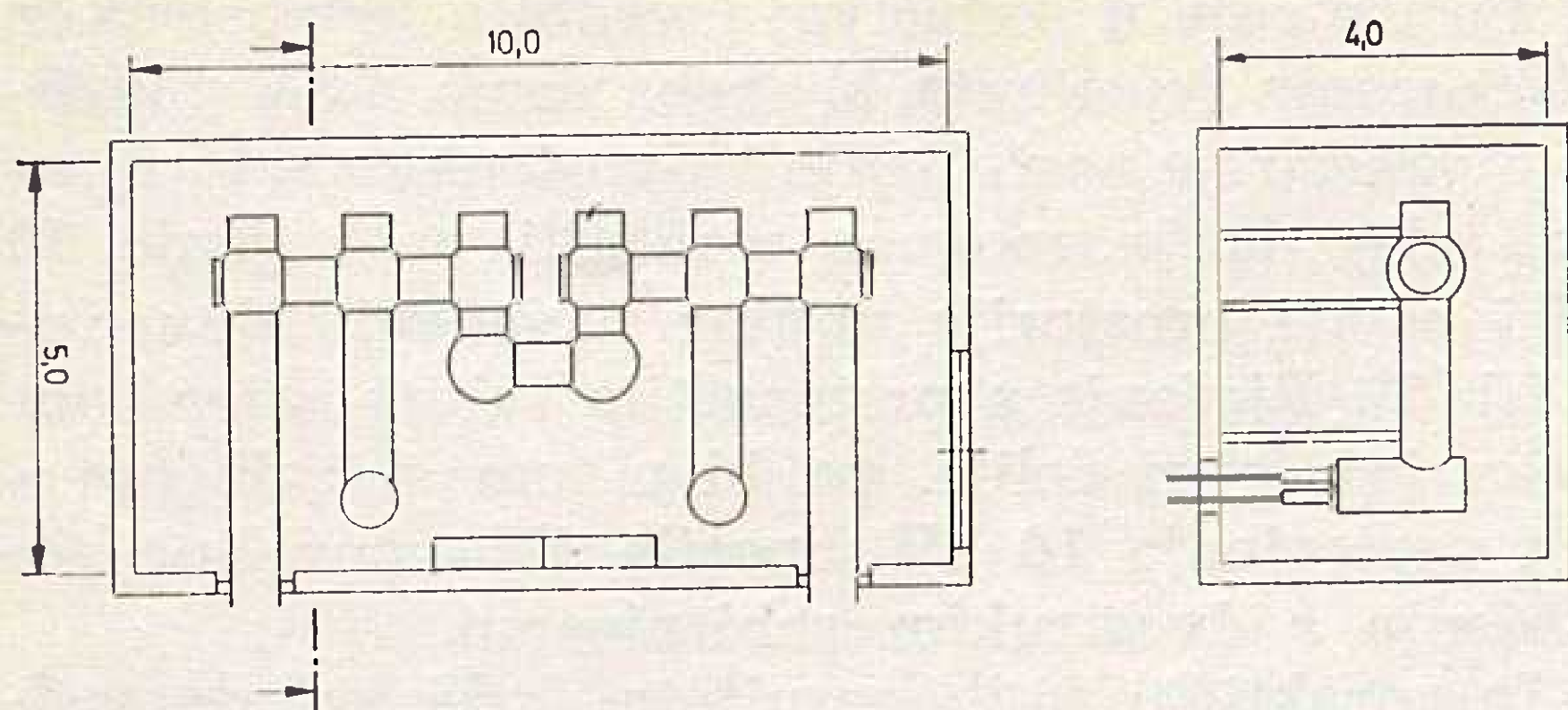
1. Ostvarena je ušteda prostora do 30%.
2. Ukupna dužina brtvi skraćena je oko 30%, pa je još više smanjen ionako neznatan gubitak plina.

3. Sklopna polja se — osim naponskog transformatora i dijela za kabelski priključak — u tvornici kompletno montiraju i tako tvore transportne jedinice. Moduli transportnih jedinica u tvornici se potpuno ožičuju.

4. Postrojenje je kompletno i pregledano, a prekidač je pristupačan jer je smješten na podu.

Širina polja iznosi samo 1,4 m. Sklopna polja uglavnom se normalno montiraju (lit. 21). Međutim, moguće je primjenom dodatnih modula uz

Sl. 7. Transformatorska stanica s tropolno oklopljenim SF₆ postrojenjem 110 kV izvedenim prema shemi na sl. 2.



Sl. 8. Tropolno oklopljeno SF₆ postrojenje 110 kV izvedeno prema shemi na sl. 1.

nepromjenjenu širinu polja varirati visinu i dubinu polja, što pruža veću slobodu pri izboru dimenzija prostorije. Takvo rješenje smo vidjeli u Frankfurtu, gdje je SF₆ postrojenje 110 kV smješteno u postojeću prostoriju velike površine, ali nedovoljne visine za smještaj normalno montiranih polja.

Za smještaj postrojenja tipa 8D.6 izvedenog prema shemi na sl. 2. potrebna je prostorija dimenzija 9,3×9,3×6,8 m (sl. 7). Postrojenje 110 kV nalazi se usprkos težini (oko 10 t po polju) na katu. Kran se uglavnom primjenjuje iako nije neophodan, jer se može upotrijebiti i ručna dizalica. Limom oklopljeno postrojenje 10 kV u izvlačivoj izvedbi s jednostrukim sabirnicama smješteno je u prizemlju iznad prohodnog kabelskog podruma, što omogućuje prikladan raspored i labela 10 kV. Na taj način je ostvaren optimalan raspored pogonskih i pomoćnih prostorija u objektu dimenzija 20×16×10,5 m, kao i izvedba krutih (ne kabelskih) spojnih vodova u transformatorskim poljima 110 i 10 kV. Kabeli 110 kV uvedeni su kroz šaht u transformatorskim komorama, tako da ne utječu na prostorije u prizemlju. Posljedica toga je povećanje dubine postrojenja 110 kV za 1,5 m u odnosu prema normalnoj izvedbi s okomitim kućištem za priključak kabela (kao na sl. 8). Zanimljivo je navesti podatak da su tipske transformatorske stanice 30/10 kV, instalirane snage 2×16 MVA, koje su se do sada gradile u Zagrebu, dimenzija 26×16×10 m, dakle čak su nešto veće od modernih transformatorskih stanica 110/10 i 110/20 kV.

Eventualna ugradnja drugog sistema sabirnica ne bi značila povećanje prrostorije postrojenja 110 kV. Ako bi vodna polja bila opremljena samo rastavnim sklopkama i strujnim transformatorima, mogla bi se smanjiti dubina i visina postrojenja. Da bi se dobila predodžba o utjecaju sheme na dimenzije postrojenja, za usporedbu je uzeto postrojenje 110 kV izvedeno prema shemi na sl. 1, dakle s rastavnim sklopkama u svim poljima (sl. 8). Minimalne dimenzije prostorije za smještaj ovog postrojenja iznose 10×5×4 m. Svako polje je teško oko 3 t, a budući da nema naponskog transformatora (težine 1,6 t), kran nije predviđen. Dubina prostorije je 5 m, jer je kabelsko kućište postavljeno okomito. Stvarne dimenzije prostorije postrojenja 110 kV ovisit će o konkretnom ras-

poredu ostalih prostorija. Prema tome, shema postrojenja 110 kV može osjetno utjecati na dimenzije transformatorske stanice. Međutim, uštede na potrebnom prostoru u objektu postižu se ponajprije samim uvođenjem postrojenja 110 kV u SF₆ tehnici, a pogotovo kod tropolno oklopljene izvedbe.

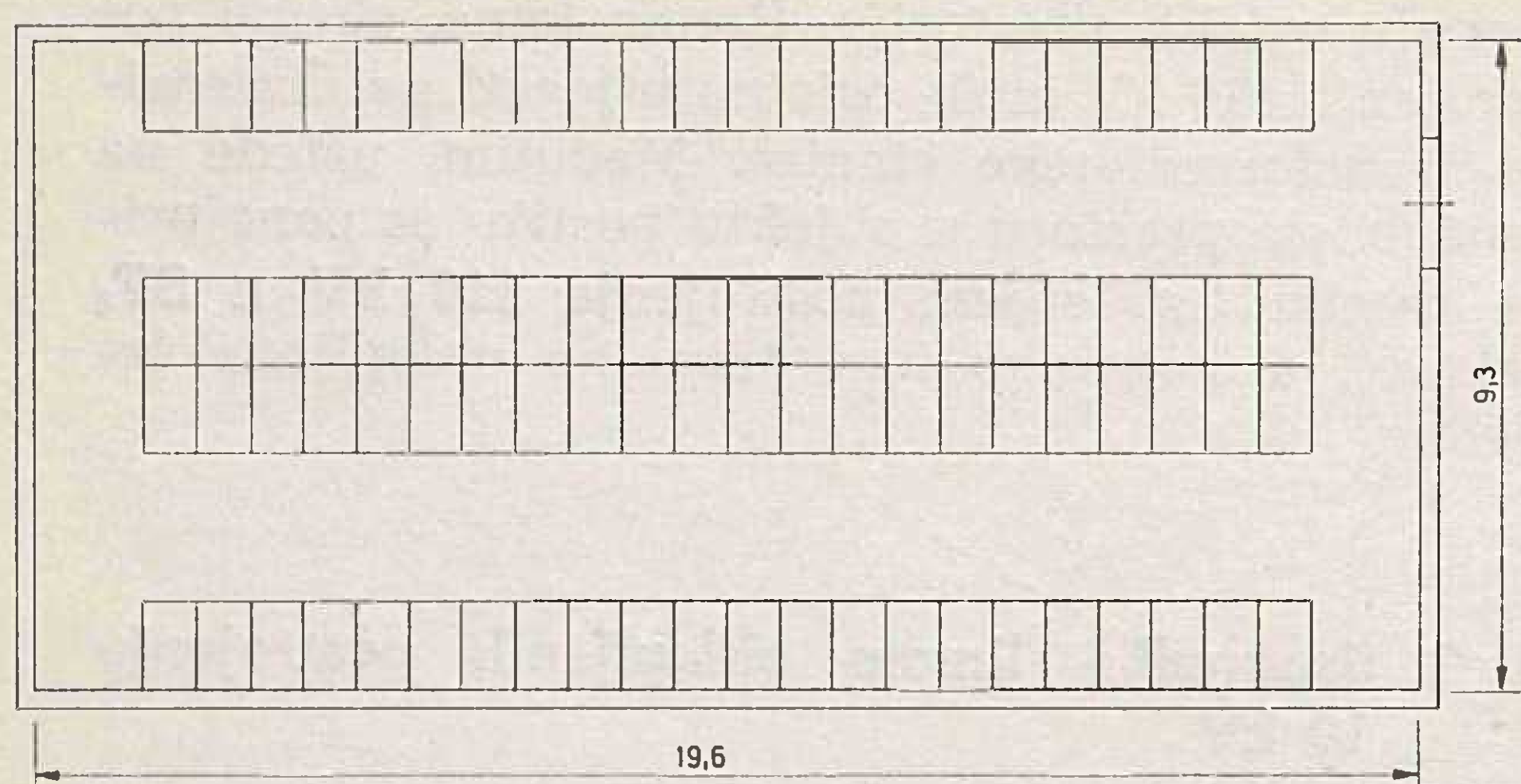
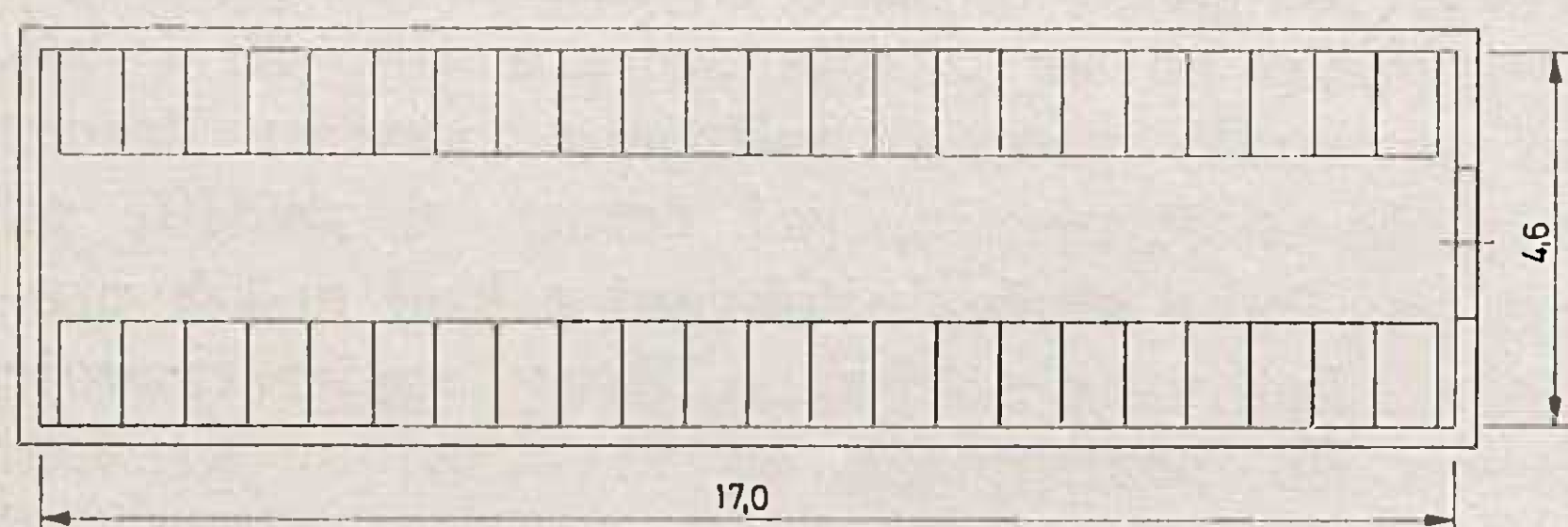
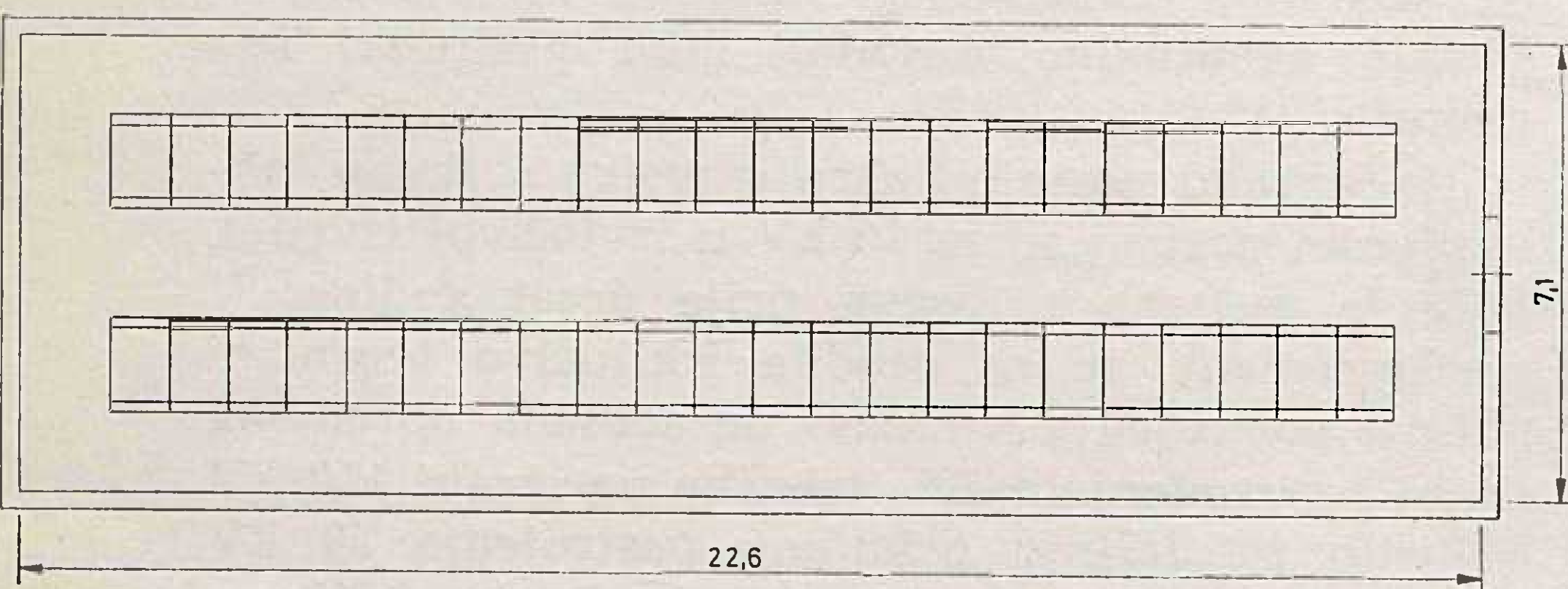
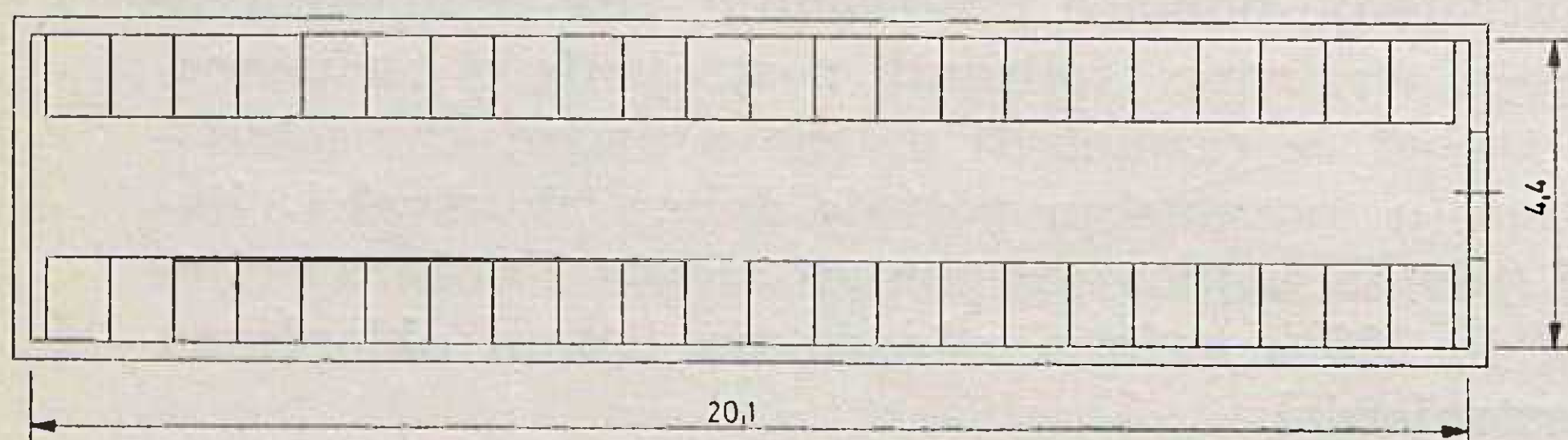
3. 2. Usporedba limom oklopljenih postrojenja 10 kV

Tvornički gotova srednjonaponska postrojenja u izvlačivoj izvedbi počela su se primjenjivati u Evropi još prije dvadeset godina. Ta postrojenja razvijala su se u dva smjera (lit. 22 i 23). Jedan je vodio prema daljnjem razvoju limom oklopljenih postrojenja, pri čemu za zaštitu od električnog luka služe lukobrani a kod nekih proizvođača i izolirane sabirnice. Drugi smjer razvoja je doveo do postrojenja sa svestranom krutom izolacijom dijelova postrojenja koji se nalaze pod naponom i dodatnom zračnom izolacijom između faza. Zahvaljujući svestranoj izolaciji, opasnost od nastanka električnog luka je minimalna, a širenje eventualno nastalog luka praktički nemoguće.

U Zagrebu postoje dobra iskustva s limom oklopljenim postrojenjem 10 kV u izvlačivoj izvedbi, koje je pušteno u pogon prije deset godina. U međuvremenu su se gradila isključivo tvornički gotova postrojenja s fiksno ugrađenom opremom, da bi se uvođenjem SF₆ tehnike na strani 110 kV odlučilo za daljnju primjenu postrojenja 20 kV u izvlačivoj izvedbi s limom oklopljenim ćelijama i izoliranim sabirnicama. U pogledu primjene svestrano izoliranih postrojenja zanimljivo je navesti da će se ove godine u Zagrebu montirati prvo postrojenje domaće proizvodnje. Opravdanost uvođenja svestrano izoliranih postrojenja u budućnosti trebat će razmotriti ovisno o pogonskim iskustvima (u inozemstvu postoje dobra iskustva) i cijeni (prema najnovijoj ponudi »Rade Končara« cijena je 100% veća u odnosu na limom oklopljena postrojenja).

Srednjonaponsko postrojenje u izvlačivoj izvedbi može se riješiti tako da ćelije postave ili na zidove ili leđa na leđa. Raspored ćelija na zidove prikladan je jer rse iz istog hodnika poslužuju sve ćelije, dakle slično kao i kod postrojenja u fiksnoj izvedbi. Raspored ćelija leđa na leđa povoljan je kod postrojenja s dva sistema sabirnica jer se lako ostvari veza između ćelija koje pripadaju istom polju, ali zahtijeva veću površinu (prostorija je šira bar 1 m) jer su potrebna dva poslužna hodnika. Usporedba je rađena za raspored ćelija na zidove, to jest jedne nasuprot drugima.

Budući da se primjeri u ovom radu odnose na mrežu 10 kV, pri uspoređivanju su uzete u obzir limom oklopljene ćelije 10 kV. Dimenzije ćelija su prema podacima »Siemens«, što je do-

1. Dvostruke sabirnice - izvlačiva izvedba 182 m² (100 %)2. Jednostruke sabirnice - izvlačiva izvedba 78 m² (43 %)3. Dvostruke sabirnice - fiksna izvedba 160 m² (88 %)4. Jednostruke sabirnice - fiksna izvedba 88 m² (48 %)

Sl. 9. Usporedba limom oklopljenih postrojenja 10 kV s dvostrukim i jednostrukim sabirnicama u izvlačivoj i fiksnoj izvedbi

sljedno s obzirom na SF₆ postrojenje 110 kV, iako bi se slični rezultati dobili i s ćelijama domaće proizvodnje (lit. 24). Uspoređivane su četiri varijante postrojenja 10 kV sa po 44 polja (sl. 9). Za postrojenje u izvlačivoj izvedbi s dvostrukim sabirnicama (varijanta 1) potrebna je prostorija dužine koja odgovara transformatorskim komorama i širine koja odgovara postrojenju 110 kV. Budući da u transformatorskoj stanici treba predvidjeti i prostorije za pomoćne uređaje, očito je da bi površina objekta bila znatno veća od 20×16

m. Postrojenje u izvlačivoj izvedbi s jednostrukim sabirnicama (varijanta 2) treba samo 43% površine u odnosu na postrojenje s dvostrukim sabirnicama, tako da je moguće smjestiti postrojenje 10 kV i ostale prostorije unutar navedenih dimenzija (sl. 7). Rješenje s prstenastim sabirnicama zahtijeva još četiri ćelije, pa bi u tom slučaju površina postrojenja 10 kV iznosila 47% površine postrojenja s dvostrukim sabirnicama.

Do praktički istih rezultata dođe se usporedbom postrojenja 10 kV u fiksnoj izvedbi s dvostrukim i jednostrukim sabirnicama (varijante 3 i 4). Može se zaključiti da shema postrojenja 10 kV znatno utječe na smanjenje površine transformatorske stanice te je zato opravdana težnja za napuštanjem dvostrukih sabirnica u gradskim mrežama. Izvedba postrojenja 10 kV ne utječe bitno na površinu (također ni kod primjene svestrano izoliranih postrojenja).

4. POUZDANOST NAPAJANJA KAO KRITERIJ PRI IZBORU SHEME TRANSFORMATORSKIH STANICA 110/10 kV

4. 1. Pojam pouzdanosti napajanja i načelo jednostrukog kvara

Pouzdanost je vjerojatnost da će jedan element ili jedan sistem izvršiti svoju zadaću isporuke električne energije u određenom vremenskom razdoblju uz definirane pogonske uvjete (lit. 25). Pouzdanost pogona odnosi se na funkcionalnu pouzdanost postrojenja, odnosno dijela postrojenja. Pouzdanost napajanja odnosi se na potrošača, a u literaturi se često opisuje s neisporučenom energijom.

Sa stajališta potrošača pouzdanost ovisi u prvom redu o trajanju neprekidnog napajanja, pa je indirektno određena brojem ispada godišnje, to jest učestalošću ispada (lit. 26 i 27). Također je važno godišnje trajanje ispada, koje se određuje na osnovi prosječnog vremena popravka istovrsnih kvarova. To ne treba shvatiti doslovno, jer se obično ne čeka na popravak kvara, već se nakon prespajanja u mreži ponovo uspostavlja napajanje. Dakle, treba razlikovati ispad napajanja od ispada elementa, jer ispad jednog elementa mreže može, ali ne mora dovesti do prekida napajanja potrošača, što ovisi o koncepciji mreže (lit. 28). Prema tome, pouzdanost napajanja sastoji se od dvije bitne komponente: pouzdanosti pojedinih elemenata i preteka u distributivnom sistemu uključivo mogućnost prespajanja radi skraćivanja vremena ispada (lit. 29).

Većini potrošača nije svejedno u kojem trenutku nastupa prekid napajanja, jer će ga u doba vršnog opterećenja ozbiljnije osjetiti nego za vrijeme malog opterećenja. Za istovrsne potrošače može se odrediti kod kojeg opterećenja u prosjeku nastupa prekid napajanja, na primjer pomoću faktora udjela u vršnom opterećenju. Različite

grupe potrošača ne osjećaju jednako teško učestalost i trajanje ispada, što se odražava u troškovima koji nastaju potrošačima zbog prekida napajanja. Činjenica da su kod prekida napajanja jednako važni učestalost i trajanje uzeta je u obzir određivanjem snage i energije ispada, kao mjerila za ocjenu pouzdanosti napajanja.

Pri planiranju distributivnih mreža 110 i 10 kV uobičajena je primjena načela (n-1). Načelo jednostrukog kvara znači da kvar na bilo kojem elementu ne dovodi do prekida napajanja potrošača, jer u sistemu postoji odgovarajuća rezerva (lit. 26 i 27). Iz prakse pogona mreže je poznato da jedan kvar ne traje po volji dugo, već da trajanje prekida napajanja ovisi o značaju mjesta kvara u mreži. Zato vrijedi pravilo — što je veća snaga ispada, to je kraće trajanje ispada. U gradskim mrežama mogu se razlikovati tri karakteristična slučaja (sl. 10):

1. Pri ispadiu jednog transformatora 110/10 kV s opterećenjem od 10 do 40 MW mora se ručnim prespajanjem osigurati rezerva u roku od 1 do 2 minute.

2. Za jednog potrošača sa snagom između 100 do 1 000 kW, priključenog na prstenasti kabel 10 kV u otvorenom pogonu, treba računati s trajanjem prekida oko 30 do 60 minuta, koliko je potrebno da se ručnim prespajanjem odvoji mjesto kvara na kabelu i ponovo uspostaviti napajanje.

3. U slučaju kvara na niskonaponskom kabelu na kojem su priključena kućanstva s ukupnim opterećenjem oko 20 do 100 kW vrijeme ispada može biti oko 5 do 10 sati. To odgovara vremenu potrebnom za popravak kvara, jer se današnje niskonaponske mreže oblikuju kao priključne, pa nema mogućnosti dvostranog napajanja (lit. 7).

Jednostruki kvar je tako vjerojatan da bezuvjetno mora biti uzet u obzir, dok za dvostruki kvar to nije slučaj (lit. 30). Međutim, konzekventna primjena načela jednostrukog kvara dolazi u pitanje uvođenjem nekonvencionalnih elemenata

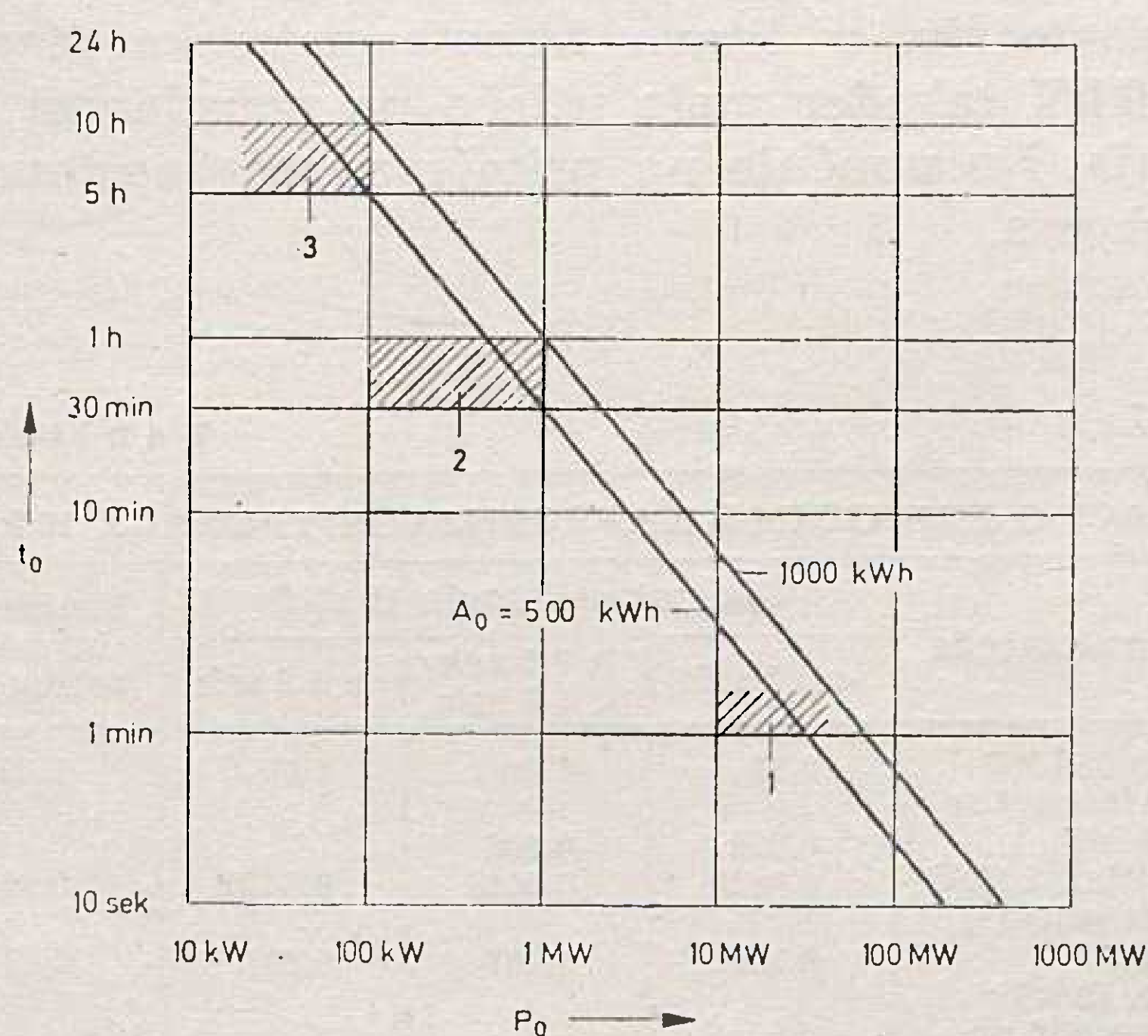
mreže s dugim vremenima popravka. S druge strane postoji dilema o ekonomskoj opravdanosti načela jednostrukog kvara u doba kratkotrajnih godišnjih vršnih opterećenja, kao i o potrebi uzimanja u obzir rijetkog kvara na sabirnicama. Primjena fiksnog kriterija (n-1) ima nedostatak što zbog različitih podataka o ispadima pojedinih elemenata na nekim mjestima dovodi do nepotrebno visokog nivoa pouzdanosti, odnosno do neoptimalnog korištenja investicijskih sredstava (lit. 32). Zato u novije vrijeme pri razmatranju pouzdanosti napajanja kvantitativni postupci sve više potiskuju čisto kvalitativne postupke.

4. 2. Primjena pouzdanosti pri izboru sheme transformatorskih stanica 110/10 kV

Pri planiranju električnih mreža danas se sve više uvodi pouzdanost, i to ne samo kao pomoćno sredstvo, već i kao kriterij. Pouzdanost se pretežno primjenjuje za usporedbu varijantnih rješenja postrojenja i mreža, te daje objektivna mjerila za određivanje potrebnih investicija (lit. 29). Osim danas priznatih standarnih računskih programa, kao što su, na primjer, proračun kratkog spoja i proračun tokova snaga, u budućnosti će vjerojatno također biti korišten i proračun pouzdanosti napajanja električnom energijom (lit. 31). Svrha tog računskog programa bila bi optimalno variranje investicijskih troškova s jedne i kvalitete napajanja s druge strane.

Proračun pouzdanosti primjenjuje se danas uspješno za dijelove sistema, ali to nije slučaj i s određivanjem pouzdanosti čitavog sistema. Treba imati na umu da postoje mnoge poteškoće s kojima je povezan proračun pouzdanosti i da je možda još daleko do »pouzdanog« proračuna pouzdanosti. Više disertacija i niz radove objavljenih posljednjih godina u inozemstvu govore o nastojanjima da se ova problematika riješi. Sve više aktualna tema pouzdanosti do sada je inače samo kratko obuhvaćena u okviru nekih savjetovanja o planiranju električnih mreža. Iznimka je Internacionalna konferencija o pouzdanosti elektroenergetskih sistema, koja je održana 1977. godine u Londonu (lit. 32). U nas su upravo objavljeni prvi radovi o pouzdanosti distributivnih mreža i transformatorskih stanica (lit. 33 i 34).

Osnovna pretpostavka za praktično iskorištenje proračuna pouzdanosti je poznavanje parametara pouzdanosti svih elemenata postrojenja. Već kod prvih proračuna pouzdanosti pokazalo se da su rezultati vrlo osjetljivi na točnost podataka (lit. 31). Postojeće statistike o kvarovima često su nepotpune, jer daju podatke o učestalosti, ali ne i o trajanju kvara. Osim toga nedostaju podaci o učestalosti i trajanju planskih isključenja, na primjer radi održavanja te proširenja ili popravka susjednih dijelova postrojenja. Budući da su u mreži 110 kV kvarovi rijetki, malo je velikih elektropri-

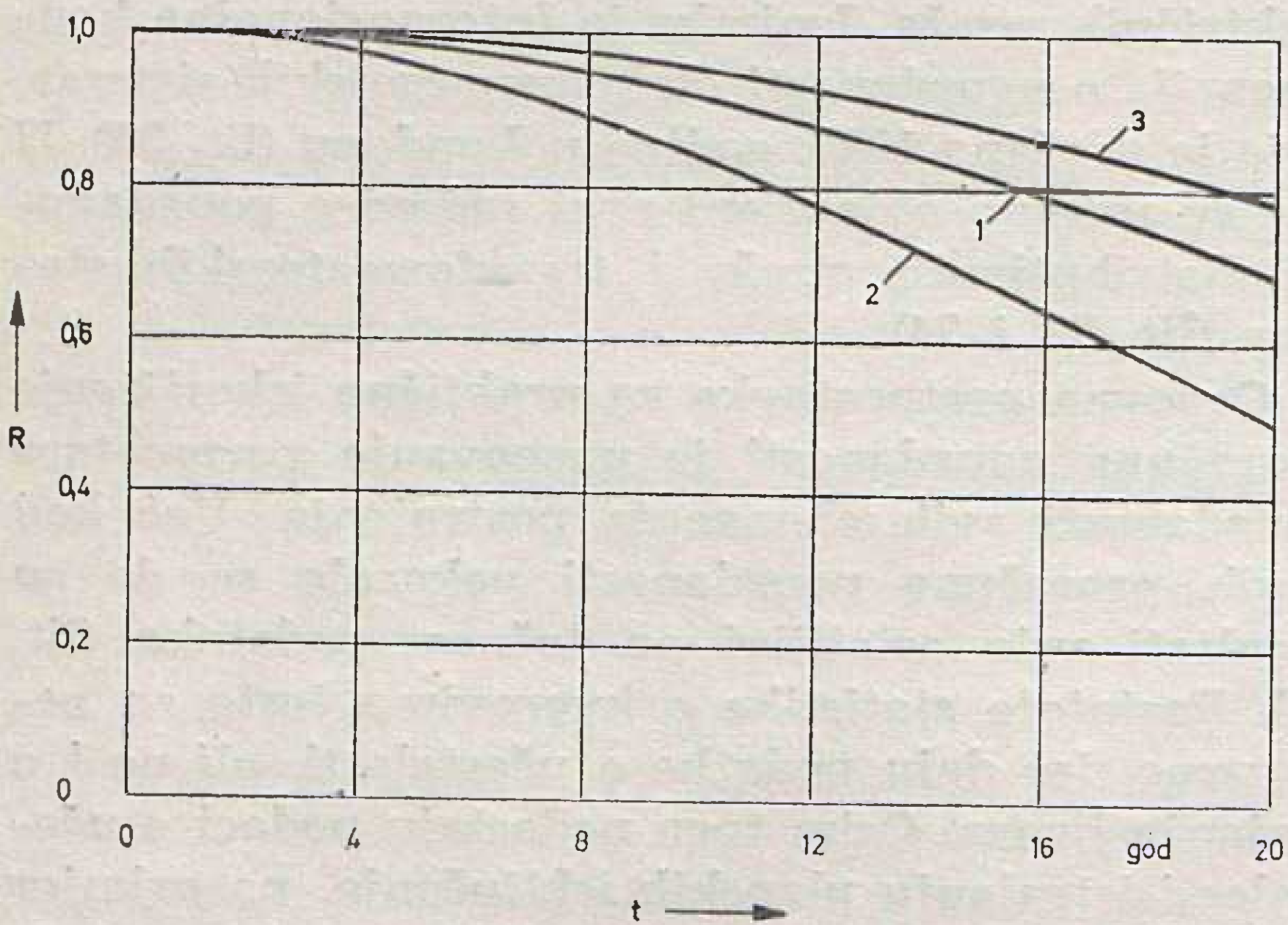


Sl. 10. Ovisnost trajanja ispada t_0 o snazi ispada P_0 uz energiju ispada A_0 (1-transformator 110/10 kV, 2-potrošač 10 kV, 3-kabel 0,4 kV)

vrednih poduzeća koja na osnovi vlastitih iskustava posjeduju višegodišnje statističke podatke. Zato se, na primjer, u SR Njemačkoj podaci o kvarovima mogu dobiti iz statistike VDEW. U tablici 1. prikazane su za ilustraciju vrijednosti o broju kvarova konvencionalnih aparata uzete iz istraživanja CIGRÉ (lit. 35). Podaci o kvarovima u mreži 10 kV u pravilu se određuju iz internih statistika distributivnih poduzeća.

Za postrojenja 110 kV u SF₆ tehnici danas još ne postoje dovoljni statistički podaci o kvarovima. Može se očekivati da će učestalost kvarova elemenata SF₆ postrojenja biti manja nego kod konvencionalne izvedbe, a trajanje popravaka ipak duže (lit. 36).

Na osnovi podataka o ispadima može se izračunati pouzdanost pogona nekog postrojenja radi usporedbe različitih varijanata sheme, kao i analize utjecaja pojedinog elementa na cjelokupnu pouzdanost (lit. 37). Kao primjer može poslužiti postrojenje 110 kV s dva transformatorska i četiri vodna polja kompletno opremljena (lit. 35). Ispitivanje su sheme s dvostrukim, jednostrukim i prstenastim sabirnicama 110 kV, dok shema s pomoćnim sabirnicama nije uzeta u obzir. Pri tome je pretpostavljeno da se za vrijeme pogona neće obavljati popravci, a prespajanje na rezervni transformator nije tretirano kao kvar. Usporedba pokazuje da je u toku prvih godina eksploatacije između tih shema mala razlika u pouzdanosti, a kasnije postaje sve izraženija (sl. 11). U ovom razmatranju nisu obuhvaćeni transformatori, koji imaju relativno veliku učestalost ispada, pa stoga bitno utječu na pouzdanost. Povećanjem pouzdanosti pogona samog postrojenja 110 kV ne može se po volji povećati ukupna pouzdanost.



Sl. 11. Usporedba pouzdanosti R različitih shema konvencionalnih postrojenja 110 kV u ovisnosti o vremenu t (1-dvostruke, 2-jednostruke, 3-prstenaste sabirnice)

Tablica 1.

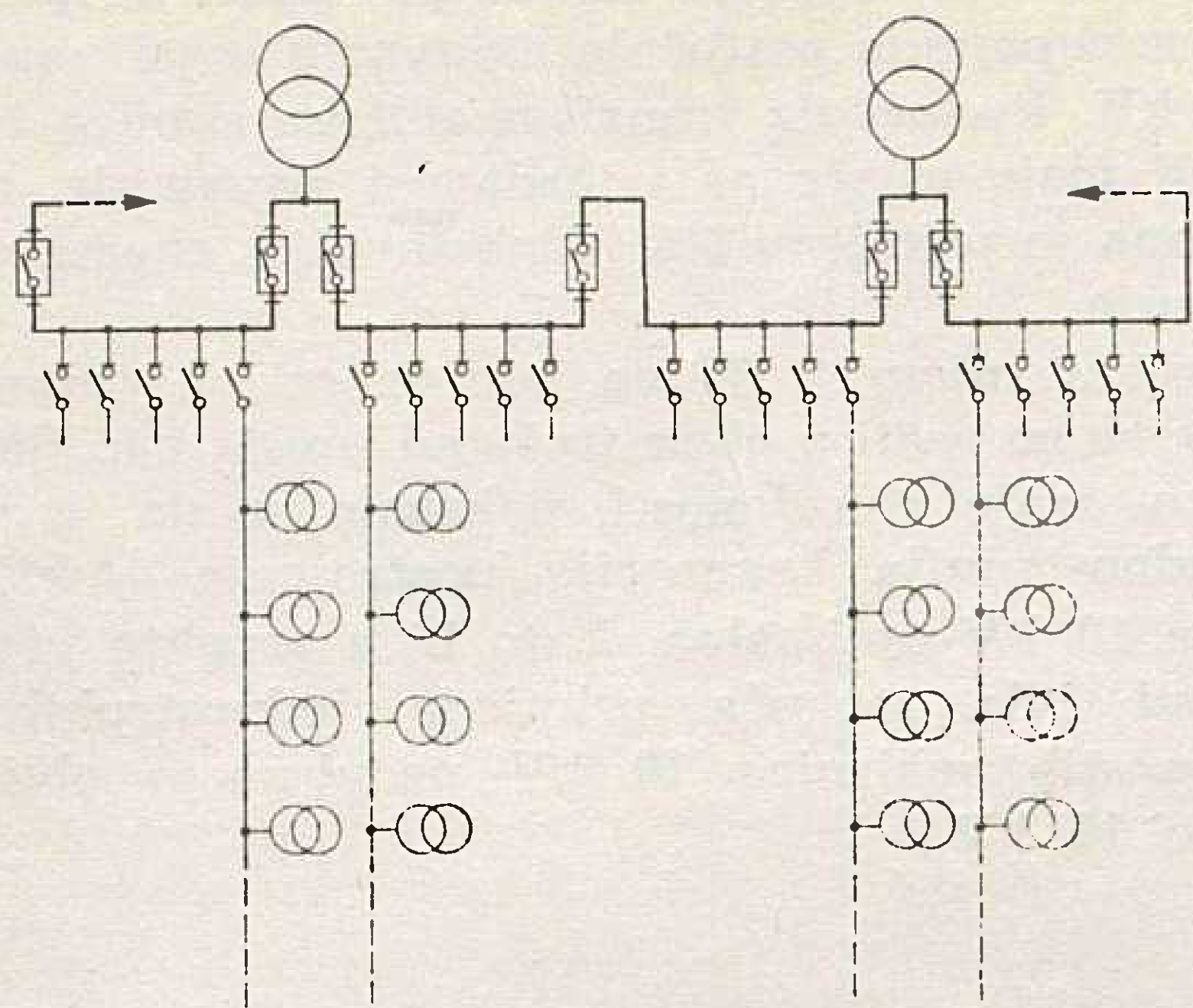
PODACI O BROJU KVAROVA ELEMENATA POSTROJENJA 110—170 kV								
Element	Broj kvarova (1/100 god.)							
	ČSSR	SR Njemačka	V. Britanija	Poljska	Finska	Švedska	SSSR	SAD
Prekidač	0,65	0,5	2,35	1,6	2,3	4,5	3	0,7
Rastavljač	0,4		0,16	0,5	0,29	0,5	0,3	0,3
Strujni transf.	0,11	0,1	0,077	0,15	0,52	0,4		
Naponski transf.	0,11	0,2	0,22	0,15	0,51	0,8		
Sabirnice			0,38	0,3		0,9		0,2
Energetski transf.	0,45	1	6	6	18	4,5	10	1,2

Ako se želi odrediti pouzdanost napajanja potrošača, treba uzeti u obzir elemente čitavog distributivnog sistema. U tablici 2. prikazani su podaci o prekidima napajanja potrošača 10 kV u Stuttgartu (lit. 38). Podaci za mrežu 110 kV obuhvaćaju i visokonaponsko postrojenje u transformatorskoj stanici 110/10 kV. Kvarovi na transformatoru nemaju velike posljedice jer je učestalost ispada 0,005, a trajanje ispada samo 1,5 sek, što odgovara vremenu automatskog uklapanja spojnog prekidača pri ispadu transformatora. Učestalost ispada koja se odražava na potrošače 10 kV ovisi o njihovoj osjetljivosti na prekide napajanja. Budući da vrijeme djelovanja zaštite u vodnom polju 10 kV iznosi 0,3 sek, mogu se razlikovati potrošači osjetljivi već na ispade kraće od 0,3 sek i potrošači osjetljivi tek na ispad kabela 10 kV na koji su priključeni. Ako potrošači mogu podnijeti prekid napajanja duži od 1,5 sek, tada nisu osjetljivi ni na rijetke ispade transformatora. Učestalost ispada za osjetljiv potrošač iznosi 1,82, a za manje osjetljiv 0,26 godišnje.

Na osnovi podataka u tablici 2 može se zaključiti da pouzdanost napajanja potrošača uglavnom ovisi o mreži 10 kV. Utjecaj same mreže 110 kV je zanemariv, a čitava transformatorska stanica 110/10 kV također malo utječe na pouzdanost napajanja, što upućuje na primjenu pojednostavnjenih shema.

Tablica 2.

PODACI O PREKIDIMA NAPAJANJA POTROŠAČA 10 kV				
Element mreže	Učestalost ispada (1/god)			Trajanje ispada (min/god)
	< 0,3 sek	≥ 0,3 sek < 1,5 sek	≥ 1,5 sek	
Mreža 110 kV	0,08	0,08	0,08	1,80
Transformator 110/10 kV	0,005	0,005		
Sabirnice 10 kV	0,0035	0,0035	0,0035	0,32
Vodno polje 10 kV	0,035	0,007	0,007	0,21
Mreža 10 kV (10 izvoda po transformatoru)	1,7	0,17	0,17	4,00
Potrošači 10 kV	1,8235	0,2655	0,2605	6,33



Sl. 12. Principijelna shema najjednostavnije varijante postrojenja i mreže 10 kV

Kao što je SF_6 postrojenje 110 kV radikalno pojednostavljeno primjenom rastavnih sklopki u svim poljima, tako se i postrojenje 10 kV s prstenastim sabirnicama može dalje pojednostavniti zamjenom prekidača u vodnim poljima s rastavnim sklopkama (sl. 12, lit. 15). To znači daljnje smanjenje površine postrojenja 10 kV za 45% i investicijskih troškova za 23%. Ta najnovija generacija transformatorskih stanica 110/10 kV u Stuttgartu nazvana je kompaktnom stanicom. U slučaju kvara na kabelu 10 kV njegova zaštita privremeno isklapa prekidač u transformatorskoj ćeliji pripadne polusekcije, pa tek nakon toga dolazi do isklopa rastavne sklopke. Za ostale kabele priključene na ovu polusekciju ukupno trajanje ispada iznosi najviše 1,5 sek. Učestalost ispada povećava se samo za malu grupu potrošača koja je osjetljiva na prekid između 0,3 i 1,5 sek, i to od 0,26 na 0,97 ispada godišnje. Primjena rastavnih sklopki u vodnim poljima 10 kV smatra se u Stuttgartu opravdanom iako s obzirom na dosadašnju praksu ovo rješenje može izazvati sumnju.

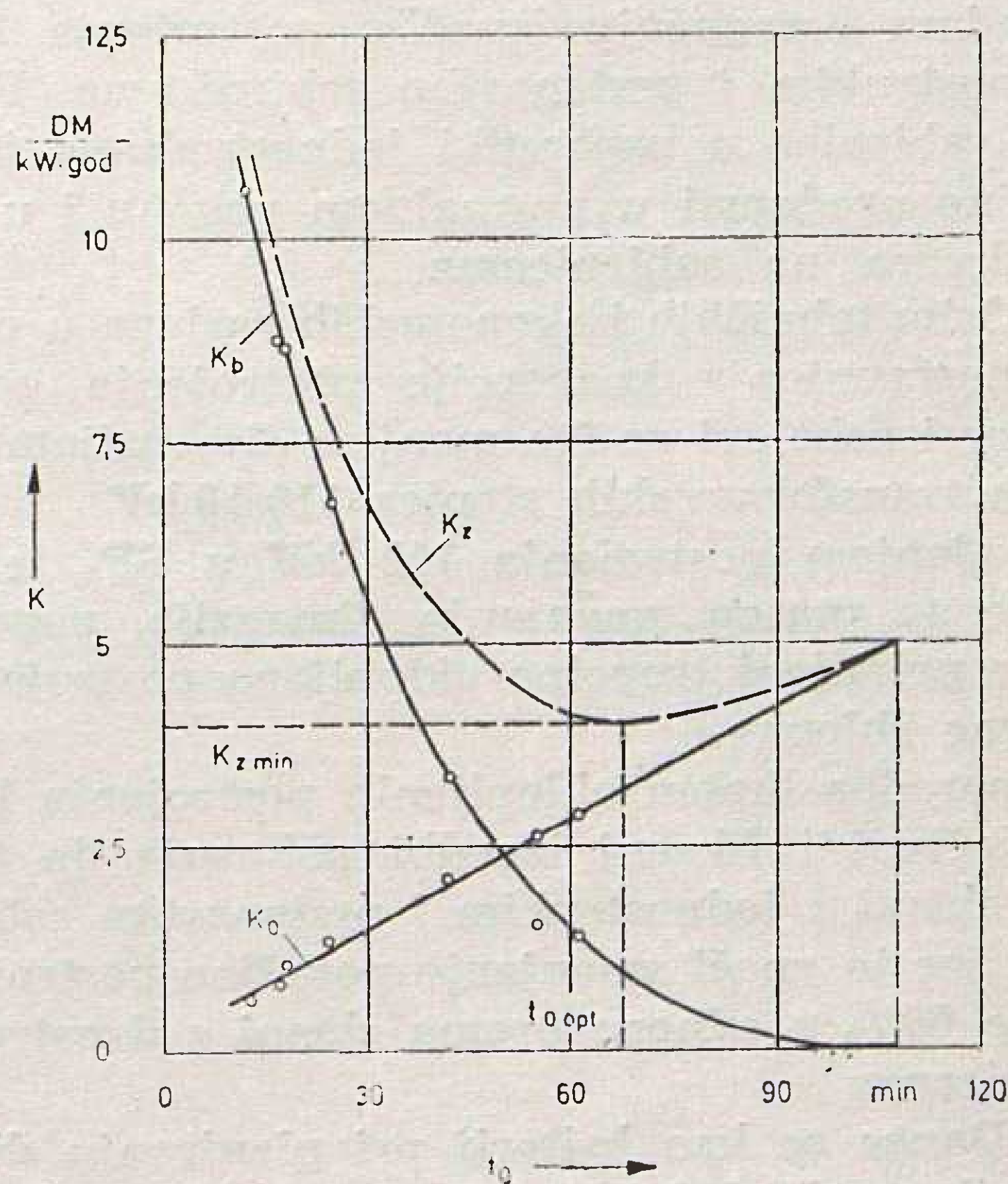
4. 3. Optimiranje troškova pouzdanosti napajanja potrošača

Primjenom načela jednostrukog kvara dobije se analiza slabih mjesta u sistemu, ali ne i kvantitativan optimum pouzdanosti napajanja potrošača. Tek u posljednje vrijeme počelo se pri planiranju distributivnih mreža u velikim gradovima razmišljati o kompromisu između jeftinog i pouzdanog sistema (lit. 26 i 27). Da bi se došlo do optimalnih troškova pouzdanosti napajanja, potrebno je najprije na osnovi snage i energije ispada odrediti prouzrokovane troškove ispada potrošača. Prekidi napajanja ne daju se sasvim izbjeći, ali se mogu reducirati odgovarajućim investicijskim i pogonskim troškovima. Što su dodatni troškovi za pove-

ćanje pouzdanosti mreže veći, to su troškovi ispada potrošača manji. Varijanta s najmanjim zbrojem troškova ispada i dodatnih troškova je optimalna (sl. 13).

Istraživanja koja su provedena u Stuttgartu imala su svrhu da se usporedbom više varijanti postrojenja 10 kV i pripadne mreže 10 kV jedne transformatorske stanice 110/10 kV dobije rješenje s optimalnom pouzdanosti napajanja. Pri tome je uzeto da je postrojenje 110 kV izvedeno s rastavnim sklopkama u svim poljima (sl. 1). U prvoj, najjednostavnijoj varijanti vodna polja 10 kV opremljena su rastavnim sklopkama, a mreža 10 kV je radijalna bez rastavnih sklopki u transformatorskim stanicama 10/0,4 kV (sl. 12). U daljnjim varijantama je pouzdanost napajanja postepeno poboljšavana. Sedma varijanta je s prekidačima u vodnim poljima 10 kV, prstenastom mrežom 10 kV u otvorenom pogonu i automatikom za isklapanje mjesta kvara u mreži 10 kV, te uobičajeno opremljenim transformatorskim stanicama 10/0,4 kV (na strani 10 kV rastavne sklopke u vodnim i rastavne sklopke s osiguračima u transformatorskim poljima). Rezultati su pokazali da su ukupni godišnji troškovi najmanji kada ispad traje oko jednog sata, odnosno da je već najjednostavnija varijanta sistema optimalna (sl. 13). Zanimljivo je da se za dvostruko veće godišnje troškove ispada dobiju slični rezultati, pa se može zaključiti da čak ni znatne netočnosti o troškovima ispada ne bi imale kao posljedicu veliku pogrešku u troškovima određivanja varijante sistema s optimalnom pouzdanosti napajanja.

Razumljivo je da bi se analiza morala proširiti na čitav sistem uključivši niskonaponsku mrežu.

Sl. 13. Ovisnost specifičnih godišnjih troškova ispada K_0 i dodatnih troškova za povećanje pouzdanosti K_b , kao i njihov zbroj K_z o trajanju ispada t_0 potrošača u mreži 10 kV

U Stuttgartu je ipak pretpostavljeno da je sa do sada uobičajenim načinom izgradnje distributivne mreže i postrojenja već prekoračen optimum pouzdanosti napajanja potrošača. Rezultat je opisana kompaktna transformatorska stanica 110/10 kV s vrlo jednostavnom shemom (sl. 1 i 12). Definiranju koncepcije ove stanice prethodila su mnoga pojedinačna istraživanja i vlastiti pionirski razvoj. Pri tome je također pomogao u međuvremenu ostvareni tehnički napredak koji je olakšao mnoge odluke i pozitivno utjecao na konačno rješenje.

Budući da se mreže u drugim velikim gradovima bitno ne razlikuju od mreže u Stuttgartu, vjerojatno i za njih vrijede ove pretpostavke. Međutim, samo na osnovi konkretnih podataka o učestalosti i trajanju ispada, te pojedinim troškovima može se doći do valjanog zaključka o optimalnim troškovima pouzdanosti napajanja.

5. ZAKLJUČAK

1. Izbor sheme transformatorskih stanica 110/10 i 110/20 kV treba biti rezultat integralnog planiranja mreže i postrojenja.

Izgradnjom transformatorskih stanica 110/10 kV u velikim gradovima razvijaju se distributivne mreže 110 kV, koje preuzimaju ne samo funkciju, nego sve više i koncepciju srednjonaponske mreže. To omogućuje uvođenje pojednostavnjenih shema postrojenja 110 kV s jednostrukim sabirnicama i rastavnim sklopovima u sklopnim poljima.

Izbor sheme postrojenja 10 kV ovisi o obliku mreže 10 kV. Kod mreže s rezervnim kabelima, koja je od svih razmatranih oblika gradskih mreža najekonomičnija dolaze u obzir dvostruke sabirnice. Prstenaste i povezne mreže te mreže s pojnim čvorovima omogućuju izvedbu postrojenja 10 kV s jednostrukim i prstenastim sabirnicama. Prstenaste sabirnice u usporedbi jednostrukima imaju značajne prednosti u normalnom pogonu i u slučaju kvara na sabirnicama.

2. Osim tehničkih i ekonomskih razloga u prilog pojednostavnjenja koncepcije postrojenja govore također i zahtjevi za što manjim dimenzijama gradskih transformatorskih stanica 110/10 kV.

Uvođenjem postrojenja 110 kV u SF₆ tehnici postiže se znatno smanjenje dimenzija, pogotovo ako se primijeni trolno oklopljeno postrojenje i rastavne sklopke.

Usporedba limom oklopljenih postrojenja 10 kV u izvlačivoj i fiksnoj izvedbi pokazuje da treba težiti shemi s jednostrukim i prstenastim sabirnicama, jer to znači smanjenje površine postrojenja za oko 50% u odnosu prema shemi s dvostrukim sabirnicama.

3. Danas se kao kriterij pri planiranju distributivnih mreža 110 i 10 kV sve više koristi pouzdanost, a uobičajena je primjena načela jednostrukog kvara. Analize na osnovi statističkih podataka

o učestalosti i trajanju ispada pokazuju da pouzdanost napajanja potrošača uglavnom ovisi o mreži 10 kV. Budući da transformatorska stanica 110/10 kV malo utječe na pouzdanost napajanja, opravdana je primjena što jednostavnijih shema postrojenja.

Optimiranjem troškova pouzdanosti napajanja, pri čemu su uzeti u obzir troškovi ispada i troškovi za povećanje pouzdanosti, pokazalo se da je već najjednostavnija koncepcija postrojenja 10 kV i mreže 10 kV optimalna. Zato bi s aspekta pouzdanosti bila moguća primjena jednostrukih i prstenastih sabirnica 10 kV neovisno o obliku mreže 10 kV.

LITERATURA

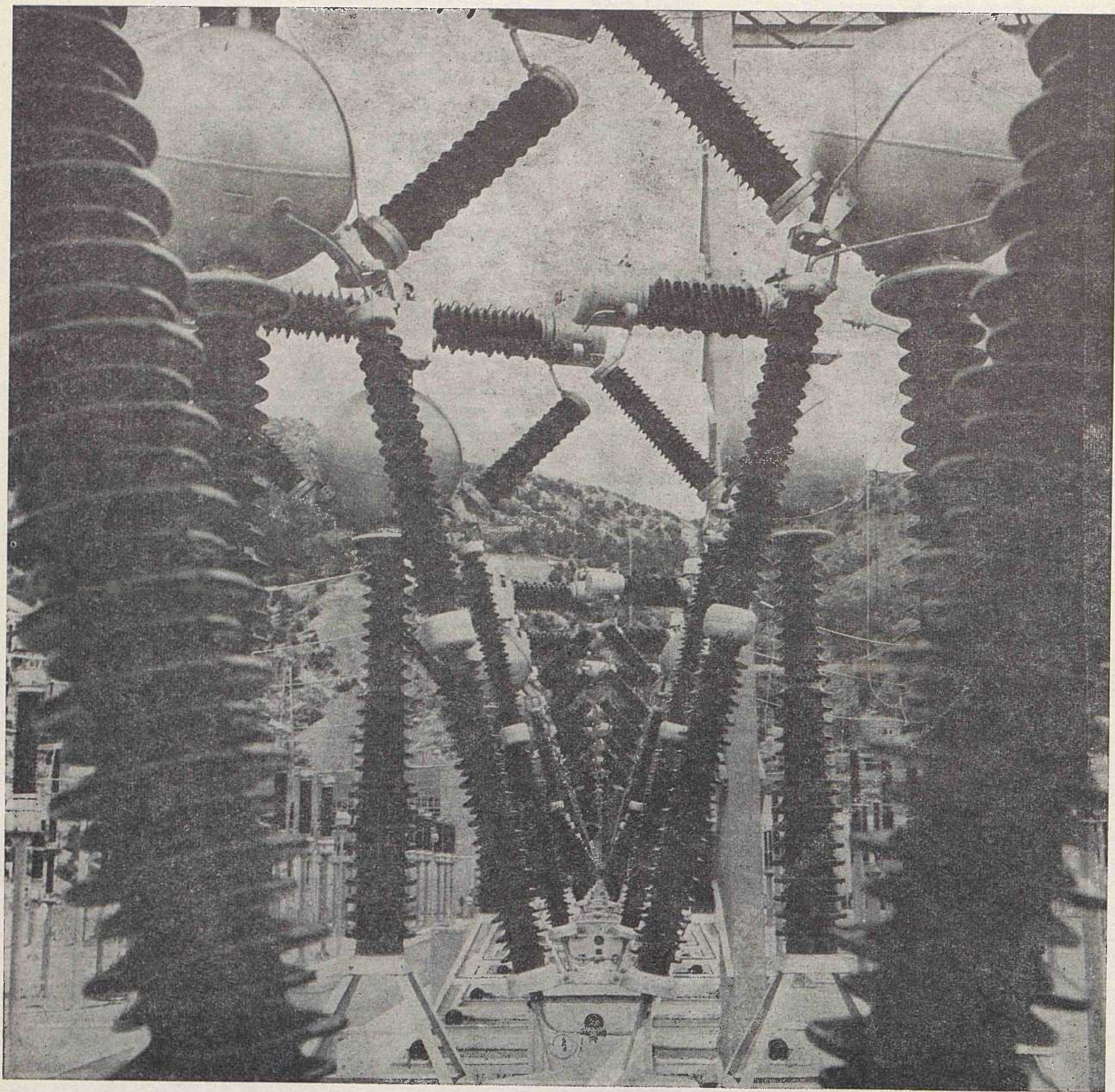
1. A. Fagarazzi: Neke tendencije razvoja gradskih mreža 110 kV. Savjetovanje o planiranju, izgradnji i eksploataciji elektrodistributivnih mreža u Jugoslaviji, Herceg-Novi 1977. Energija 1—2/1978.
2. W. J. Schmitt, W. Spriegel: Vollgekapselte, SF₆-isolierte 110 kV — Schaltanlagen in der Energieversorgung. BBC-Nachrichten, 1—2/1971.
3. W. Kaufmann: Neue 110 kV-Schaltanlagen in Elektrizitätsversorgungsnetz der TWS. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 5/1970.
4. L. Stanišić: TS 110/10 kV, 2×40 MVA sa SF₆ i izvlačivim čelijama za potrebe elektrodistributivnih mreža. Savjetovanje o planiranju, izgradnji i eksploataciji elektrodistributivnih mreža u Jugoslaviji, Herceg-Novi, 1977.
5. A. Fagarazzi: Projektni zadatak TS 110/20 kV Zagreb-Sjever. Elektra, Zagreb, 1978.
6. W. Kaufmann: Wirtschaftliche 10 kV — Mittelspannungsnetze in der Grosstadt. Elektrizitätswirtschaft 22/1974.
7. H. C. Müller: Netzformen der Verteilungsnetze unter besonderer Berücksichtigung des zeitlichen Ausbaues. Elektrotechnische Zeitschrift — A 10/1975.
8. H. Lipken: Wirtschaftliche Netzformen städtischen 10 kV — und 110 kV — Netze. Elektrizitätswirtschaft 22/1972.
9. H. Lipken: Sternpunktterdung über niederohmige Widerstände in einem städtischen 10 kV — Kabelnetz. Elektrizitätswirtschaft 21/1977.
10. A. Fagarazzi: Modularna transformatorska stanica visoki napon/srednji napon proizvodnje ASEA. Energija 5—6/1978.
11. K. Ožegović: Tipizacija transformatorskih stanica gornjeg napona 110—380 kV u DDR. VI savjetovanje o prijenosu električne energije u Jugoslaviji, Cavtat, 1976.
12. G. Muždeka: Osnovne koncepcije perspektivnog napajanja Beograda električnom energijom do 2000. godine. Elektrodistribucija 3/1977.
13. J. Zaplotnik, A. Pehani, J. Uršić, M. Weber: Analiza uvođenja 20 kV napona na području grada Zagreb-Zapad. Elektroinštitut Milan Vidmar, Ljubljana, 1977.
14. W. Kaufmann: Fortschritte in Bau von Mittelspannungsschaltanlagen bei den TWS. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 7/1970.
15. W. Kaufmann: Kompaktabspannwerke als Ergebnis integrierter Netz- und Anlagenplanung. Elektrizitätswirtschaft 4/1979.
16. G. Dressler, K. Vogler: Das neue Regellumspannwerk der Wiener Stadtwerke-Elektrizitätswerke. Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft 4/1977.
17. H. Ambrosch, H. Kindler: Die SF₆ — Technik eröffnet neue Wege im Elektroanlagenbau. Elektrie 6/1977.
18. F. A. Winkler: Hochspannungs-Schaltgeräte und-anlagen, Ein Rückblick auf die Hannover-Messe 1978. Elektrizitätswirtschaft 15/1978.
19. G. Mauthe, H. P. Szente-Varga: SF₆-isolierte, metallgekapselte Schaltanlagen mit Nennspannungen von 72,5 bis 550 kV. Brown Boveri Mitteilungen 4/1978.
20. D. Fischer, W. Olsen, J. Palm: Dreipolig metalgekapselte SF₆ — isolierte Schaltanlage 8D.6 für 123 bis 145 kV Nennspannung. Siemens-Zeitschrift 11/1975.
21. K. Feneberg, W. Grübel, M. Hunger: Die 123 kV SF₆-isolierte Schaltanlagen in Schweinfurt. Kommunalwirtschaft 2/1978.
22. P. Kulik: Gesichtspunkte für die Planung von Hoch — und Mittelspannungs-Schaltanlagen. Technische Mitteilungen AEG-Telefunken 2/1969.

23. Ž. Idžotić: Suvremene koncepcije srednjonaponskih sklop-nih postrojenja. Savjetovanje o planiranju, izgradnji i eksploataciji elektrodistributivnih mreža u Jugoslaviji, Herceg-Novci, 1977.
24. Mittelspannungs-Schaltanlagen, Übersicht. Nr. E 139/1199, Siemens, 1974.
25. H. Frey, K. Reichert: Anwendung moderner Zuverlässigkeits-Analysenmethoden in der elektrischen Energieversorgung. Elektrotechnische Zeitschrift-A 5/1973.
26. W. Kaufmann: Abnehmerorientierte Optimierung des Aufwandes für die Zuverlässigkeit des Elektrizitätsversorgung, insbesondere im grosstädtischen Netz. Dissertation, Universität Stuttgart, 1974.
27. H. Böcker, W. Kaufmann: Optimizing the expenditure on reliability of supply in system planning for the benefit of the consumer. International Conference Reliability of Power Supply Systems, London, 1977.
28. K. P. Ewelt: Zur Bestimmung der Versorgungssicherheit von Stromverteilungsnetzen. Elektrizitätswirtschaft 9/1969.
29. W. Kaufmann, B. Siemes, B. Bitzer: Zuverlässigkeitsüberlegungen in der elektrischen Netztechnik unter Verwendung der Störungsstatistik. Elektrizitätswirtschaft 2/1979.
30. W. Kaufmann, H. J. Kolgin, H. Zimmermann, K. Zollenkopf: Diskussionsbeiträge. VDE/ETG-Fachtagung Planung elektrischer Netze, Dortmund, 1975.
31. H. J. Kolgin: Berechnungsmethoden der Versorgungszuverlässigkeit. Elektrotechnische Zeitschrift-A 10/1975.
32. P. G. Harhammer, H. Müller, F. Pober: Die Zuverlässigkeit elektrischer Energieversorgungssysteme. Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft 5/1978.
33. R. Schenner: Primjer proračuna pouzdanosti u distributivnoj mreži. Energija 1—2/1979.
34. N. Čupin, S. Mušura, S. Vajnaht: O računanju pouzdanosti distributivnih trafostanica. XIV savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije — CIGRE, Sarajevo, 1979.
35. R. J. Cakebread, K. Reichert, H. G. Schütte: Substation design criteria for simple, reliable and safe service. CIGRE report 23—05/1974 (Ju. A. Jakub: Podstancii pjerenovna toka. Energija, Moskva, 1976).
36. L. Schiweck: Schaltanlagen und Gerätetechnik für Hochleistungsübertragung. Elektrotechnische Zeitschrift-A 10/1975.
37. G. Rudolf: Versorgungszuverlässigkeit von Umspannwerksschaltungen. Elektrie 5/1976.
38. W. Kaufmann: Influence of substation design on the service reliability of a metropolitan consumer. International Conference on Electricity Distribution — CIRED, London, 1973.

THE SELECTION OF SCHEME FOR MODERN TRANSFORMER STATION 110/10 AND 110/20 kV WITH REGARD TO NET CONCEPTION AND REALIBILITY OF FEEDING

In the article is presented an conception of distribution nets town, which allow introduction of some simpler schemes of 110 kV systems. There is also described conception of realibility and principles of one-fold harm, and also application of availability in the selecting scheme for transformer stativn 110/10 kV.

Naslov pisca:
Antun Fagarazzi, dipl ing.
Elektra, Zagreb



RACIONALNO KORIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U DOMAĆINSTVU

Mirjana Crnčić, Zagreb

UDK 621.311

Domaćinstva su značajan potrošač električne energije i njihovo je sudjelovanje u ukupnoj potrošnji veće od 30%. Zahvaljujući niskoj cijeni električne energije, u ovoj grupi potrošača zapaža se pojava neracionalnog korištenja električne energije. S obzirom na veličinu potrošnje i slabu informiranost ove grupe potrošača, u referatu se upozorava na potrebu i metode za poboljšanje i racionalizaciju korištenja električne energije u domaćinstvu.

1. UVOD

Uobičajeno je mišljenje da se pod pojmom racionalnog korištenja električne energije razumijeva ograničavanje potrošnje, što je i razumljivo jer se u nas o racionalizaciji govori i piše samo u vrijeme elektroenergetskih kriza. Zato se ne treba iznenaditi što su ova dva pojma u svijesti potrošača (pa i elektroprivrede) povezana i izjednačena. Štetno je i opasno to izjednačavanje, jer kad kriza prođe, potrošači vjeruju da je prošla i potreba za racionalnim korištenjem električne energije. Zbog toga je potrebno odmah na početku naglasiti (bez želje da se daje precizna definicija) da se pod pojmom racionalnog korištenja električne energije razumijeva upotreba električne energije za onu namjenu gdje su drugi oblici energije nepodobni uz maksimalno smanjivanje svih gubitaka.

Udio potrošnje električne energije u domaćinstvu u ukupnoj potrošnji električne energije Jugoslavije posljednjih godina je znatan i u postotku iznosi oko 30%. Ako uzmemo u obzir činjenicu da će i u manje razvijenim krajevima električna energija u bliskoj budućnosti postati osnovni oblik energije koji se primjenjuje u domaćinstvu, lako je zaključiti da su domaćinstva značajna grupa potrošača. Zahvaljujući neusklađenim cijenama između raznih oblika energija (*uz napomenu da je upravo cijena električne energije niska*), kod potrošnje u domaćinstvu dugi niz godina stvarao se duh *rasipničkog odnosa* prema električnoj energiji. Moramo reći da se i u stručnim krugovima elektroenergetičara domaćinstvo tretira kao »potrošač drugog reda« i malo koga je zanimalo koliko energije potroši kućanica da skuha objed ili opere posuđe. Zaboravlja se činjenica da je na elektroenergetsku mrežu priključeno oko 6 000 000 ovih potrošača, čija je instalirana snaga veća od instalirane snage u industriji. Upravo zbog toga elektroenergetičari moraju posvetiti izuzetnu pažnju racionalizaciji potrošnje električne energije u ovoj grupi potrošača.

U našem svakodnevnom životu upotrebljavamo razne kućanske električne aparate koji nam pomažu u savladavanju svakodnevnih poslova. Neka od tih trošila imaju veću priključnu snagu i veći su potrošači električne energije, dok ima i onih koja imaju malu priključnu snagu. Po tome bismo mogli zaključiti da troše samo ona trošila koja imaju veću priključnu snagu. No u većini slučajeva, zbog češće upotrebe nekih aparata s manjom priključnom snagom, oni su znatno veći potrošači. Zbog toga je nužno racionalizirati potrošnju električne energije na jedan razuman način.

Najčešće u domaćinstvu nastaju gubici električne energije zbog lakomislene potrošnje, npr. kad neracionalno trošimo toplu vodu, kad ne mislimo na to da kuhala daju još mnogo kalorija i nakon zatvaranja grijače ploče, ako upotrebljavamo prevelike ili premale posude za kuhanje s neravnim dnom, kad ostavimo upaljene žarulje u praznim prostorijama, lošim podešavanjem pećnice električnog štednjaka itd.

Treba imati na umu da svaka svjetiljka u prostoriji ima prosječno 100 W priključne snage i ako samo jedna svjetiljka nepotrebno svijetli, mi smo za 10 sati bacili u vjetar 1 kWh. No, najviše se električne energije može uštedjeti kod jačih trošila, a to su električni štednjak, električne grijačice, bojleri za vodu, te sva ona trošila koja služe za zagrijavanje. Njihova upotreba u domaćinstvu treba se rasporediti tako da bude racionalna.

2. ELEKTRIČNI UREĐAJI U DOMAĆINSTVU

Električna energija u prosječnom gradskom kućanstvu (u skoroj budućnosti i prosječnom seoskom domaćinstvu) primjenjuje se u tri osnovne svrhe:

- za rasvjetu stanova i pomoćnih prostorija,
- za pogon kućanskih električnih aparata i pomagala,
- za kuhanje, pripremu tople vode i grijanje.

Potrošnja električne energije u domaćinstvima za pojedinu namjenu kreće se mjesečno ovako:

— rasvjeta stana	15—75—120 kWh/mjesec	
— radio aparati	5	"
— TV crno-bijeli (4 sata na dan)	17	"
— TV u boji	41	"
— glačalo	7	"
— usisavač	5 — 10	"
— hladnjak	20 — 70	"
— bojler	40 — 150	"
— stroj za pranje rublja	35	"
— stroj za pranje suđa	30	"
— kuhanje za četiri člana obitelji	240	"
— infragrijalice u kupaoni	15	"
— elektroakumulaciona peć od 3 kw/za jednu prostoriju	720	"

Razumljivo je da potrošnja električne energije u kućanstvu ovisi o broju trošila kojima kućanstvo raspolaže, njihovoj snazi i vremenu njihove upotrebe. Ti su uvjeti u svakom kućanstvu različiti, pa otuda i različita potrošnja energije.

A sada ćemo prikazati koliki udio u potrošnji električne energije imaju pojedina trošila, odnosno poslovi u kućanstvu, što će nam skrenuti pažnju na neka koja imaju najveći udio u potrošnji te nas upozoriti na njihovu što racionalniju upotrebu.

2. 1. Svjetleća tijela

Primjenjuju se gotovo isključivo žarulje sa svjetlećom niti malog stupnja iskorištenja. Drugi svjetlosni izvori teško mogu doći u širu upotrebu zbog cijene, kompliciranosti i nepovoljne boje svjetlosti. Ovisno o broju svjetiljki, njihove snage i vremena korištenja (i načina korištenja!) potrošnja po domaćinstvu kreće se od 15 do 75 kWh mjesečno.

2. 2. Pomoćni aparati i uređaji

Svakim ih je danom sve više, a vrijeme korištenja duže.

Hladnjak troši različite količine električne energije, što ovisi o njegovoj veliči, stupnju hlađenja, te koliko puta na dan otvorimo njegova vrata. Jer tada se hladnjak napuni toplim zrakom pa ga treba ponovno rashladiti uz veći potrošak električne energije. Općenito se može računati da hladnjak potroši 20—70 kWh mjesečno. Moramo još napomenuti da kompresorski hladnjaci potroše mnogo manje električne energije nego apsorpcioni, te potrošnja kompresorskog hladnjaka iznosi 20—40 kWh mjesečno.

Kutija za duboko zamrzavanje od 100 litara potroši 1,6 kWh na dan i 48 kWh na mjesec, dok 600 litarska kutija potroši na dan 5 kWh i mjesečno 150 kWh. Za kutije vrijedi isto što i za

hladnjak: potrošnja je ovisna o nekoliko već navedenih uvjeta.

Glačalo. Glačanje glačalom na regulaciju za 15 sati na mjesec zahtijeva oko 7 kWh, a strojem za glačanje za 8 sati na mjesec oko 5 kWh.

Usisavač potroši 5—10 kWh mjesečno, pri čemu smo uzeli u obzir usisavač priključne snage 600 W. U ovom slučaju nije potrebno štedjeti električnu energiju jer uz njegovu malu upotrebu možemo održavati čistoću u stanu.

Radio-prijemnik ne troši mnogo električne energije i na njemu ne možemo mnogo uštedjeti. Prilično energije potroši televizijski prijemnik. Za 4 sata dnevne upotrebe crno-bijeli prijemnik potroši 17 kWh mjesečno, a potrošnja električne energije za televizijski prijemnik u boji iznosi čak 41 kWh za isto vrijeme.

2. 3. Termički aparati

Ova grupa aparata ima u pravilu veliku priključnu snagu, a njihova primjena zavisi ponajprije od ekonomske snage kućanstva i mogućnosti da ono koristi druge oblike energije. Upravo ti aparati utječu na veliku razliku u potrošnji pojedinih domaćinstva. Oni se mogu razvrstati u tri osnovne grupe:

a) Aparati za kuhanje i pripremu hrane. Njima će, kao izuzetno značajnim potrošačima, biti posvećeno posebno poglavlje;

b) Bojleri i strojevi za pranje rublja i posuđa:

Bojleri se jako razlikuju po veličini. Veći bojleri potroše oko 150 kWh na mjesec, a manji 40 kWh. No, podaci govore da je bojler među većim trošilima električne energije. Ako se neracionalno koristimo toplom vodom, ako dopustimo da nam topla voda nepotrebno kaplje iz pipe itd., potrošnja bojlera može prelaziti 300 kWh mjesečno i više od toga. Znači da će 100 kWh predstavljati čiste gubitke, a samo 200 kWh korisno upotrijebljenu energiju.

Stroj za pranje potroši za jedno pranje bijelog rublja 3,5 kWh. U četveročlanoj obitelji nakupi se mjesečno od 50 — 60 kg rublja, a za tu je količinu potrebno približno 35 kWh mjesečno.

Stroj za pranje posuđa potroši oko 1 kWh dnevno, odnosno oko 300 kWh mjesečno.

c) Uređaji za grijanje i rashlađivanje. U pogledu potrošnje i ovi strojevi predstavljaju grupu vrlo značajnih potrošača. Budući da potrošnja ovisi o nizu činilaca (klimatski uvjeti, ekonomska snaga, mogućnost drugih načina zagrijavanja) ne može se dati prosjek potrošnje. U našim uvjetima dvije su osnovne grupe uređaja za zagrijavanje:

— uređaji kod kojih se toplina koristi u isto vrijeme kada se i stvori,

— termoakumulacioni uređaji, kod kojih se zagrijavanje i korištenje topline obavlja u različito vrijeme.

Uređaji za rashlađivanje zraka (klima-uređaji) za sada su dosta rijetki i imaju samo lokalni utjecaj. Njihova uloga postaje sve veća i u pojedinim regijama oni će se po potrošnji približiti grijanju.

Problemu grijanja bit će posvećeno posebno poglavlje.

3. RACIONALIZACIJA POTROŠNJE

U ovom dijelu referata obrađene su metode za racionalizaciju potrošnje električne energije u tri osnovna primjenama: za kuhanje, za pripremu tople vode i za grijanje. Pri tome je akcent na kuhanju i pripremi tople vode, zbog toga što je zagrijavanje stana poseban problem koji ovisi o nizu drugih čimilaca, počevši od termičke izoliranosti stana, pa do želje za komforom.

3. 1. Racionalizacija (uštete) pri upotrebi električnog štednjaka

Budući da smo svakodnevno zaokupljeni mnogim problemima, te radnje u kućanstvu obavljamo većinom mehanički, ne primjećujemo da kod električnog štednjaka, kod kojeg se utroši najviše vremena, dolazi do gubitaka električne energije koji mogu iznositi i do nekoliko kilovatsati na dan i po 100 kwh i više na mjesec. Ovisnost o uzroku nastojanja ti se gubici mogu podijeliti u četiri skupine:

- a) gubici električne energije zbog slabe regulacije grijaćih ploča,
- b) gubici zbog upotrebe neprikladne posude za kuhanje,
- c) gubici zbog slabe regulacije u upotrebi pećnice,
- d) gubici električne energije zbog slabog iskorištenja grijaćih ploča, i pećnice.

3. Ušteta energije pomoću dobre regulacije grijaćih ploča. Štednjaci su opremljeni običnim, ekspresnim i automatskim pločama. Obične i ekspresne ploče imaju regulaciju u 7 stupnjeva, a automatske ploče imaju regulaciju bez stupnjeva s 12 oznaka za namještanje na željenu temperaturu u stupnjevima.

Obične ploče za kuhanje imaju snagu 1 000 W, 1 500 W i 2 000 W, te su promjera 145 mm, 180 mm i 220 mm, reguliramo ih regulatorom od sedam stupnjeva. Kod obične grijaće ploče promjera 180 mm zavri 1,6 l vode za 10 minuta, pri čemu se potroši 0,3 kwh. Potrošnja energije za zagrijavanje veća je nego kod ekspresne i automatske ploče. Obična grijaća ploča je posebno prikladna za kuhanje hrane u loncu na povišeni tlak.

Ekspresne ploče imaju snagu 2 000 W. Kada je postignuta željena temperatura, automatski se isključi dodatna spirala za zagrijavanje. Promjer ekspresnih ploča iznosi 145 mm i 180 mm. Reguliramo ih regulatorom od sedam stupnjeva, od kojih

je 6 za vrlo brzo zagrijavanje, a preostali stupanj kao i kod ostalih ploča. Kod ekspresne ploče promjera 180 mm zavri 1,6 l vode za od 7 — 9 minuta pri čemu se utroši 0,25 kwh električne energije.

Automatska ploča ima snagu 2 000 W. Promjeri tih ploča iznose 145 mm i 180 mm. Okretanjem regulatora od 1 do 12 podešavamo željenu temperaturu. Kod automatske ploče postupamo tako da ploču reguliramo na najveći stupanj regulacije, a zatim preklapamo na nižu regulaciju, odnosno onu regulaciju koja odgovara vrsti jela, te je na taj način automatska ploča iskorištena u punoj mjeri. Posude za kuhanje na automatskim pločama moraju imati ravno i pojačano dno.

Osoba koja ne zna ispravno postupati odnosno regulirati ploču, ne može se racionalno koristiti električnom energijom, bez obzira na to kojom se pločom koristi. Automatska ploča najracionalnije regulira potrošnju električne energije, a zatim ekspresna ploča. Važno je primjenjivati praksu da grijaće ploče uključujemo tek kada postavimo posude na njih i da nikada ne smiju uključiti prazne ploče.

Ušteta električne energije kod kuhanja u prikladnim posudama.

a) Moraju se upotrebljavati posude čije dno po veličini pokriva grijaću ploču. Promjer dna može biti za 1 do 1,5 cm veći od promjera grijaće ploče, no nikada ne smije biti manji, da toplina ne odlazi sa strane neiskorištena.

b) Dno mora biti pojačano, jer se zbog vrućine izbori ili ulegne, pri čemu nastaju gubici topline jer između dna posude i grijaće ploče ostane zračni jastuk, a isto tako ne smije se staviti na štednjak lonac s uskim i mokrim dnom.

Za kuhanje na električnim pločama najkvalitetnija je emajlirana posuda. Bez velike štete podnosi udarce. Dno joj je pojačano i nikada ne promijeni oblik. Aluminijska posuda dobro provodi toplinu, lagana je i izdržljiva.

U posljednje vrijeme mogu se upotrebljavati teflonizirane posude, koje su presvučene plastičnom masom. Pošto su nam ploče na štednjaku različitih dimenzija, odnosno promjera, moramo pripaziti koju veličinu posude stavljamo na grijaću ploču i s koliko tekućine. Zato postoje određene količine tekućine za određene promjere ploče.

promjer grijaće ploče	količina tekućine u posudi
145 mm 180 mm 220 mm	do 1,7 litara do 4 litre do 7 litara

Lonac na površinski tlak je visoko racionalan s obzirom na korištenje električne energije i vrijeme za pripremanje jela, a potroši se od 60 do 80% manje energije, te grijaće ploče treba regulirati na niži stupanj. Naročito je koristan za hranu koju se pod uobičajenim uvjetima dugo kuha, a koristimo ga za pripremanje više jela odjednom, što je također jedan oblik racionalizacije.

Ušteda električne energije uz pravilnu upotrebu električne pećnice. Automatski regulatori topline i infragrijači znatno su pridonijeli boljem korištenju električne energije, ali se i ovdje mogu postići znatne uštede;

— izborom načina pečenja (infra ili obično zagrijavanje),

— Korištenjem akumulirane topline na kraju procesa pečenja (ona djeluje oko 10 minuta nakon isključenja).

U posljednje se vrijeme na tržištu pojavljuju pećnice za zagrijavanjem pomoću visokofrekventnih struja. Vjerojatno je da će ove pećnice bitno pridonijeti uštedi električne energije pri ovakvom načinu pripreme hrane. No s obzirom na cijenu i kompliciranost ovih pećnica ne možemo očekivati širu primjenu.

3. 2. Racionalizacija (ušteda) u pripremi tople vode

Određivanje potrošnje električne energije pri pripremi tople vode dosta je složeno, jer ovisi o mnogim faktorima, a prije svega o veličini obitelji.

Kao pomoć pri procjeni potrošnje električne energije za potrebe kuhinje neka nam posluže iskustveni podaci u donjoj tabeli:

PRIPREMA TOPLE VODE U KUHINJI (približne srednje vrijednosti)							
Broj osoba u kućanstvu	2	3	4	5	6	7	
Količina tople vode (kuh. i bojl.):							
— 50 °C,	16	20	24	28	32	36	40 l/dan
— 85 °C.	8	10	12	14	16	18	20 l/dan
Potrošak el. energije	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0 kWh/dan

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U kWh KOD ELEKTRIČNIH AKUMULACIONIH BOJLERA							
Bojler	Dnevna potroš. tople vode u lit.	0	10	20	30	50	80
10 l. od 2 kW	50 °C u 16 min.	0,5	1,2	2,2	2,7	4,5	—
30 l. od 0,4 kW	85 °C u 8 h	1,2	1,8	2,3	2,6	—	—
50 l. od 0,6 kW	85 °C u 8 h	1,7	2,4	3,0	3,6	4,2	—
80 l. od 1 kW	85 °C u 8 h	2,3	3,0	3,7	4,4	5,7	7,2

Izborom i postavljanjem velikih bojlera veoma povećavamo potrošnju električne energije. Obično se u kuhinjama instaliraju manji bojleri, od 8 do 10 l, te će on biti tada i dobro iskorišteni, dok u kupaoionicama veći bojler od 50 do 80 litara uključujemo samo prema potrebi. Predlaže se da se zajednički bojler montira u stanovima gdje su kupaoonica i kuhinja smještena jedna blizu druge, i imaju zajedničku pregradu stijenu s instalacijama. Pri tome treba misliti i na gubitke tople vode u cijevima. Kao ilustraciju navodimo da se u cijevi od pola cola koja je dulja 5 metara ohladi jedna litra vruće vode, što smatramo gubitkom.

Za izračunavanje potrošnje električne energije upotrijebit ćemo podatke iz prakse, pri čemu smo uzeli u obzir i gubitke topline zbog vrste izolacije bojlera. Potrošenom električnom energijom od 1 kwh može se dobiti:

- 10 litara vode, ugriyane na 80 °C,
- 20 litara vode, ugriyane na 50 °C,
- 30 litara vode, ugriyane na 37 °C.

Za jednu upotrebu tuša potrošit ćemo 1,0 kwh do 1,5 kwh, a kupanje u kadi od 4,5 do 8,8 kwh električne energije.

U električnim bojlerima potrebno je povremeno čišćenje kamenca koji se nakuplja na grijačima i smanjuje prijelaz topline iz grijača na vodu.

Posljednjih godina na inozemnom tržištu sve se više pojavljuju tzv. protočni bojleri, čije snage prelaze 15 kW, a toplu vodu daju odmah nakon uključivanja — praktično u proizvoljnim količinama. Neosporno je da su oni najekonomičniji u pogledu gubitaka, jer svu energiju predaju vodi koju zagrijavaju. Kod akumulacionih bojlera to nije slučaj, jer se dio energije gubi na zračenju u razdoblju kada se bojler ne koristi. Problem racionalizacije kod protočnih bojlera prenosi se na električnu mrežu koja mora biti dimenzionirana i za tog značajnog potrošača. Neka istraživanja pokazuju da njihova primjena, zbog malog faktora jednovremenosti, ne predstavlja poseban problem za mrežu.

3. 3. Racionalizacija potrošnje električne energije pri grijanju

Električna energija za zagrijavanje prostorija počela se kod nas upotrebljavati dvadesetih godina ovog stoljeća, i to u vrlo skromnim razmjerima. U znatnijoj mjeri počela se upotrebljavati u tu svrhu tek nakon drugog svjetskog rata, i to u početku samo za pomoćno zagrijavanje u prijelaznim periodima, u jesen i u rano proljeće. Kako su cijene uobičajenih goriva, drva i ugljena, naglo počele rasti, a električna energija u to vrijeme nije bila skupa, naglo se povećala upotreba električne energije za grijanje prostorija. Na žalost, tu je najčešće neracionalno trošenje električne energije.

Na prvi pogled se čini kao da se kod električnog zagrijavanja prostorija ne može smanjiti potrošnja, jer električna grijalica ima u osnovi stupanj djelovanja 100%, tj. nema mogućnosti poboljšanja u tom smislu. Ukupna proizvedena toplina, tj. 850 kilokalorija po kilovatsatu, predaje se u okolni prostor. Usprkos tome, postignut je napredak u smislu neracionalizacije potrošnje električne energije kod zagrijavanja prostorija time što se u zadnje vrijeme sve više upotrebljavaju električne grijalice s ugrađenim ventilatorima ili »integrirano električno grijanje«, kako se to popularno naziva. Kod takvih grijalica proizvedena se toplina prenosi pomoću ventilatora, koji prouzrokuje strujanje toplog zraka. Na taj način može se izbjeći dugo

zagrijavanje, pa se postižu znatne uštede u potrošnji električne energije.

Još veće uštede postižu se upotrebom tzv. električnog sunca s paraboličnim reflektorom, ili infra-reflektorskim radijatorima. Ako se takve naprave koriste npr. u kupaonici i smjeste tako da su toplinske zrake usmjerene izravno na tijelo, postiže se osjet ugodne topline.

Sve dosad spomenute električne grijalice dolaze u obzir u prvom redu samo za povremeno i dodatno zagrijavanje prostorija ili u kombinaciji s kojim drugim sistemom grijanja.

Za integralno grijanje električnom energijom dolaze u obzir prvenstveno akumulacione peći, koje se zagrijavaju u doba niskog opterećenja mreže, to jest noću i u popodnevnim satima, a za vrijeme vršnog opterećenja mreže su isključene. Takav način grijanja naročito je preporučljiv na području blažih klimatskih uvjeta u zimskim mjesecima — Split, Rijeka, Dubrovnik — gdje su opterećenja mreže velika zbog raznih priključnih industrijskih potrošača i domaćinstva, ili u onim područjima gdje nisu razvijeni sistemi toplifikacije u toj mjeri da bi opskrbili barem 50% domaćinstava.

Bitna je karakteristika tih peći da su izrađene od velike mase keramičkog materijala koji se zagrije i onda polagano isijava akumuliranu toplinu. Postoje još i sistemi centraliziranog akumulacionog grijanja, pomoću kojih se toplina razvodi u ostale prostorije.

Činjenica je da razvoj električnog grijanja prostorija može pred elektroprivredu postaviti probleme napajanja potrošača kvalitetnom električnom energijom i problemom rentabilnosti. To osobito vrijedi za slabo naseljene krajeve, gdje je razdjelna mreža slabije dimenzionirana, pa zbog povećanog opterećenja električnim grijanjem dolazi do potrebe da se pojača mreža.

U gradovima s gustom naseljenošću, gdje su mreže ionako jače dimenzionirane, te poteškoće su lakše savladive. Naročito je važan problem vršnog opterećenja koje razvoj električnog grijanja može prouzrokovati, a naročito upotreba električnih peći koje služe za dodatno zagrijavanje. Naime, takvi potrošači uključuju se proizvoljno i masovno, pa mogu izazvati velike poteškoće u elektroenergetskom sistemu. Mnogo su povoljniji potrošači s integralnim električnim grijanjem, koji imaju akumulacione električne peći, po mogućnosti s daljinskim uklapanjem pomoću tonfrekventne komande. Tu može dobavljač električne energije kontrolirati uključivanje i tako otkloniti poteškoće u vrijeme vrhova opterećenja.

Nas, svakako, zanima sve što bi trebalo poduzeti da se kod zagrijavanja prostorija postigne što racionalnija potrošnja električne energije. Pod racionalizacijom smatramo smanjenje potrošnje, a da se pri tome efekt zagrijavanja ne smanji, a također i korištenje električne energije u doba kad to elektroenergetski opskrbni sistem i distributivna mreža mogu podnijeti bez većih poteškoća.

Što se tiče aparata za električno grijanje, može se već iz onog što je dosad rečeno zaključiti kakve peći treba upotrijebiti za pojedine svrhe. Za proizvođače električne energije i distributere najpogodniji je sistem grijanja termoakumulacionim pećima, a i za potrošača je taj sistem najpovoljniji jer se može koristiti jeftinijom noćnom električnom energijom. Jedina je mana tih peći što je njihova nabavna cijena po instaliranom kilovatu mnogo viša nego kod svih ostalih vrsti električnih peći.

Daljnji vrlo važan faktor za racionalizaciju potrošnje električne energije za grijanje jest toplinska izolacija zgrada, odnosno prostorija gdje se boravi. Provedena ispitivanja su pokazala da jedna samostojeća stambena zgrada, građena na običan način, treba za grijanje oko 20 000 kcal/h, a zgrada gdje je izvršena toplinska izolacija treba za isti komfor samo 12 500 kcal/h. Naravno da kod gradnje takvih objekata treba računati na dodatne troškove za izvedbu toplinske izolacije, ali zbog toga grijača tijela mogu biti manjeg kapaciteta, nastaju znatne uštede na električnoj energiji i usput nadoknađeni troškovi za izvedbu zgrade s posebnom toplinskom izolacijom.

4. ZAKLJUČCI

4.1. Potrošnja električne energije u domaćinstvu u općoj potrošnji sudjeluje sa preko 29%, a učešće u vrhu konzuma jedne regije ide i preko 70%. Zbog toga domaćinstva ulaze u grupu značajnih potrošača.

4.2. Konstatirano je da se u ovoj grupi potrošača električna energija neracionalno koristi, a da su gubici — zbog nepravilnog korištenja uređaja — daleko iznad dozvoljenih granica.

4.3. Racionalizaciji korištenja električne energije posvećuje se pažnja samo u kriznim situacijama, a akcije imaju kampanjski karakter. Osim toga u stručnim se krugovima potcjenjuje problem racionalizacije potrošnje i uštede koje se mogu postići u ovoj grupi.

4.4. U program rada Komisije za racionalno korištenje električne energije trebalo bi unijeti i pitanje racionalizacije potrošnje i smanjivanje gubitaka u grupi potrošača — domaćinstva.

4.5. »Bijela« industrija morala bi na svim svojim proizvodima istaknuti navedene parametre iz ovog referata koji se odnose na pojedina trošila i njihovo najekonomičnije korištenje i za konzumenta i za elektroenergetski sistem.

5. PITANJA ZA DISKUSIJU

5.1. Da li i u kojoj mjeri, dosadašnja povišenja cijene električne energije utječu na racionalniju potrošnju električne energije?

5.2. Prije drugog svjetskog rata cijena električne energije bila je vrlo visoka (dizel-elektrane).

Kupovina električnog štednjaka bila je tada često vezana s tečajevima na kojima su domaćice učile kako ga što racionalnije koristiti.

Da li bi se danas mogli očekivati rezultati koji bi opravdali uloženi trud i sredstva ako bi se objavili popularni priručnici ili čak održavali tečajevi o racionalnom korištenju električnih kućanskih aparata, posebno električnih štednjaka, i tko bi trebao biti nosilac te aktivnosti?

5.3. Postoji li negdje inicijativa za upućivanje građana kako da racionalno koriste električnu energiju?

5.4. Kakva je današnja tehničke izolacije stambenog prostora i koji bi bio način da se uvedu od-

govarajući propisi u građevinarstvu, kao što je to već praksa u nekim evropskim zemljama?

RATIONAL USING OF ELECTRIC POWER IN HOUSHOLDS

Housholds are important consumer of electric power and their part in overall consumption is more than 30%. Due to low prices of electric power, it is noticed an unrational consumption of electric power in that group of consumer. With regard to quantity of consumption and poor informations of that consumer group, in the article is presented a method for improving and rational using of electric power in households.

Naslov pisca:

Mirjana Crnčić, dipl. tehn.

Zajednica elektroprivrednih organizacija SRH

VAŽNOST I MJESTO SKUPA INFORMACIJA O ELEKTROENERGETSKOM PROCESU U HIJERARHIJSKOJ STRUKTURI INFORMACIONOG SISTEMA

Vladimir Kavur, Zagreb

UDK 621.31

Prvi dio članka posvećen je opisu hijerarhijske strukture informacionog sistema. Pri tome je stratifikacijski model postavljen tako da bude kompatibilan sa skupom informacija pridruženom elektroenergetskom procesu.

U nastavku pažnja se posvećuje problemu formiranja skupa informacija o elektroenergetskom procesu, ukazuje se na elemente koje treba uzeti u obzir i koji utječu na dani skup.

Na kraju se objašnjava utjecaj formiranja skupa informacija o procesu na kvalitetu cjelokupnog informacionog sistema.

UVOD

Prvi korak u realizaciji digitalnih (DS), odnosno informacionih sistema pridruženih elektroenergetskom procesu (EEPr) jest formiranje skupa ulaznih informacija. To direktno proizlazi iz hijerarhijske strukture DS. Naime, da bi se odredila prijenosna funkcija DS, potrebno je, uz poznavanje željenog izlaza, poznavati skup ulaznih informacija. Ovakav pristup znatno olakšava posao uvođenja informacionih sistema, za razliku od postupka gdje se na osnovu poznatog DS određuju mogući ulazi i dobiveni skup izlaznih informacija.

Skup ulaznih informacija za DS bit će zapravo svi podaci o stanju EEPr, pa se analizom tih podataka, odnosno samog procesa može doći do zadovoljavajućeg rezultata. Pri tome treba uzeti u obzir i informacije koje ne potječu od EEPr, a djeluju na rad DS. Isto tako ne smije se zaboraviti i na upravljački, intervencioni smjer na taj isti proces.

Iz navedenog slijedi da prvi korak u izgradnji informacionih sistema predstavlja analiza hijerarhijske strukture DS i zato u definiranju skupa informacija istog DS.

HIJERARHIJA DIGITALNOG SISTEMA

Pri uvođenju informacionih sistema, odnosno DS u EEPr, iako se razmatraju različiti sistemi i konfiguracije, ipak se u sklopu cijelog elektroenergetskog sistema (EES) DS promatra kao jedna cjelina. Međutim, kompleksnost jednog takvog DS zahtijeva promatranje njegove globalne strukture, što dovodi do pojma hijerarhijske DS.

Unaprijed je jasna činjenica da je DS više nivojski sistem, a jedino ispravno promatranje takvih sistema je preko njihove hijerarhijske strukture.

U posljednje vrijeme pokušavaju se takve strukture i matematički formalizirati, ako bi se razjasnili procesi koji se odvijaju u takvim sistemima.

Iz navedenih razloga opisat će se u daljnjem tekstu model hijerarhijske strukture DS pridruženog EEPr.

Model hijerarhijske strukture digitalnog sistema pridruženog elektroenergetskom procesu

Općenito, osnovne karakteristike svih hijerarhijskih struktura jesu:

- vertikalni raspored podsistema unutar jednog globalnog sistema,
- prioritetna intervencija s višeg nivoa prema nižim nivoima,
- zavisnost podsistema višeg nivoa od stvarnog stanja podsistema nižeg nivoa,
- prijenosna funkcija opisana kao:

$$S : X \rightarrow Y$$

odnosno

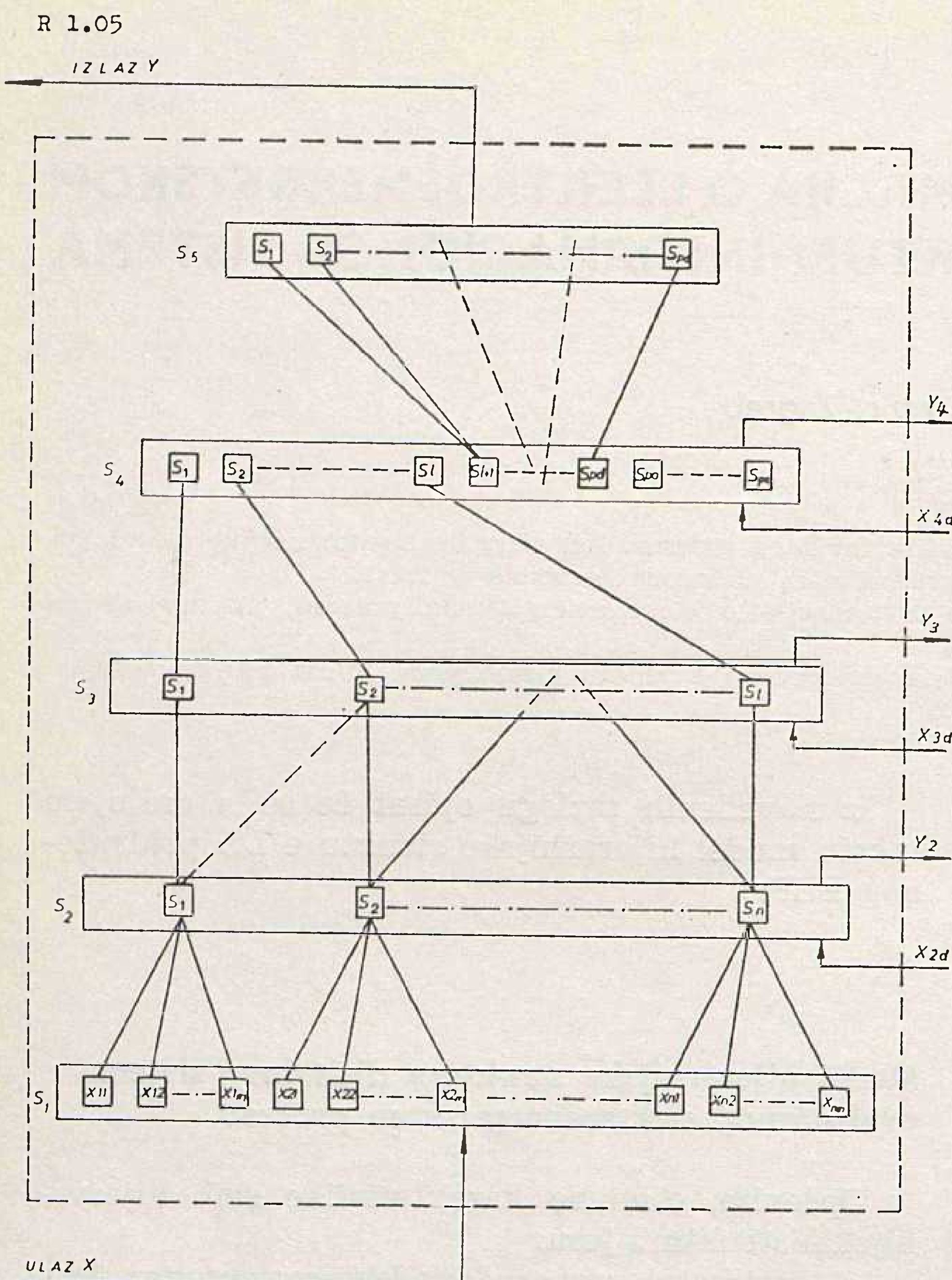
$$Y = S(X)$$

Na osnovi tih postavki može se načiniti stratifikacijski model (sl. 1) DS pridruženog EEPr. Gruba podjela takvog modela (treba primijetiti da je moguće i unutar samih stratum učiniti daljnju hijerarhijsku podjelu, no sa stajališta cijelog DS ne predstavlja veliku grešku ako se to ne učini) je u pet stratum:

- S_1 — ulazno-izlazni elementi DS u transformatorskoj stanici (TS)
- S_2 — DS u TS
- S_3 — komunikacijski dio DS
- S_4 — procesorske i ulazno-izlazne jedinice DS u centru daljinskog upravljanja (CDU)
- S_5 — memorijske jedinice DS u CDU.

Opišimo ukratko dani stratifikacijski model.

Pretpostavi li se da informacije o EEPr tvore informacioni tok, može se povratni smjer (smjer upravljanja) promatrati kao tok intervencije. Inte-



Sl. 1. Hijerargijska struktura DS pridruženog EEP

rakcija je također prisutna, jer je pristup s višeg stratuma na niži dopušten tek kad je ovaj slobodan.

Ako поближе promotrimo pojedine stratumе, vidimo da u njima egzistira više podсистема, i to ovim redom:

— u S_1 nalazi se s_i podсистема ($i = 1, 2, \dots, n$) ulazno-izlaznih jedinica. Svaki podсистem pak u sebi sadrži X_j elemenata ($j = 1, 2, \dots, m$),

— podсистemima S_i u S_2 jedoznačno su pridruženi podсистemi S_i i S_1 što drugim riječima znači da je skup elemenata X_1, X_j, X_i ; $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, m$) jednoznačno pridružen podсистemima s_i u S_2 ,

— rekli smo da stratum S_2 sadrži s_i podсистема ($i = 1, 2, \dots, n$). Svakom od tih podсистема pridružen je jedan ili više podсистема s_k iz stratuma S_3 ,

— komunikacijski uređaji i prijenosni put su podсистemi stratuma S_3 . Minimalan broj tih podсистема s_k jednak je broju podсистема s_i iz S_2 . Dakle, vrijedi $k \geq i$, odnosno vrijedi pridruženje s_{i+d} (S_3) = s_i (S_2), pri čemu je $d = 0, 1, 2, \dots$. d je različit od nule ako između stratuma S_2 i S_3 ima više spojnih veza (informacionih putova),

— u četvrtom stratumu S_4 nalaze se procesorske i ulazno-izlazne jedinice DS u CDU za vezu sa

stratumima S_3 i S_5 . Broj podсистема S_1 i S_5 . Broj podсистема S_1 i S_5 . Broj podсистема s^1 u S_4 , bit će, dakle, jednak zbroju ulazno-izlaznih jedinica za vezu sa S_3 (s_k), S_5 (p_d) i komunikaciju s operatorom S_4 (p_0). Dakle, možemo pisati da je $l = k + p_d + p_0$,

— stratum S_5 sadrži memorijski dio DS u CDU, što znači da je to dio DS gdje se pohranjuju sve informacije o EEP. Broj podсистема ovog stratuma možemo grubo poistovjetiti sa njemu pridjeljenim ulazno-izlaznim jedinicama iz S_4 . To znači da je $s_p \in S_5$ ($p = 1, 2, \dots, p_d$).

S obzirom na opisanu konfiguraciju vidimo da je hijerarhijska struktura zamišljena kao globalni sistem ešaloniran u piramidnom obliku, uz ograničenje da su odstupanja od ovog oblika dopuštena, ali samo između dva susjedna stratuma (čisti piramidalni oblik dopušta samo takvo pridruženje gdje je jedan podсистem iz stratuma S_i vezan za više podсистema iz stratuma S_{i-1} , ali ne i obratno). Treba naglasiti da su unutar jednog stratuma svi podсистemi jednako vrijedni.

Prijenosna funkcija DS

Osnovno što moramo definirati kod globalnog sistema jest skup izlaza Y na osnovi skupa ulaza X . Naš skup ulaza je stanje EEP, što znači da će (prema danom hijerarhijskom modelu) jednom podсистemu s_i iz S_1 biti pridruženo m ulaza, pa vrijedi

$$X_i = \{X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{im}\}; \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Skup svih ulaza bit će dakle:

$$X_{S_1} = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}; \quad X_{S_1} \in S_1. \quad (3)$$

Prolazom kroz stratum S_1 skup ostaje nepromijenjen ($Y_1 = 0$), pa se kao takav prenosi u S_2 . Tu mu se pridružuje dodatni skup ulaza X_{2d} , te na ulazu u S_2 imamo:

$$X_{S_2} = X_{S_1} + X_{2d}. \quad (4)$$

Skup izlaza iz drugog stratuma dobija se ako se skup ulaza pomnoži s odgovarajućim multiplikacijskim faktorom (u praksi to znači povećanje broja informacija zbog sigurnosti prijenosa) tog stratuma m_2 , pa vrijedi $Y_{21} = m_2 \cdot X_{S_2}$. Dio informacija ne prolazi ka stratumu S_3 pa stoga na njegovu ulazu imamo skup $X_{31} = Y_{21} - Y_2$ odnosno, $X_{31} = m_2 \cdot X_{S_2} - Y_2$, pri čemu ne smijemo zaboraviti na dodatni skup ulaza X_{3d} koji se javlja na ulazu u S_3 (uzorak ovome su smetnje na prijenosnom putu), pa dakle vrijedi:

$$X_{S_3} = X_{31} + X_{3d}. \quad (5)$$

Kako je multiplikacijski faktor ovog stratuma jednak jedinici, to na ulazu S_3 imamo:

$$X_{S_3} = X_{S_2} - Y_{S_2}, \quad (6)$$

gdje se Y_{S_3} javlja zbog gubitka informacija. U S_4 u proces su uključena dva multiplikacijska faktora, jedan smanjuje m_{4s} , a drugi povećava m_{4p} količinu izlaza. To možemo opisati jednim faktorom $m_4 = m_{4p}/m_{4s}$. Faktori su posljedica toga što se dio informacija oslobađa zaštite i prezentira na izlazu, dok se drugi dio nadopunjuje i šalje k memorijskom dijelu DS u CDU. Kako postoje i dodatni ulazi u S_4 , to vrijedi da je:

$$X_{S_5} = m_4 \cdot X_{S_4} + X_{S_{4d}} - Y_{S_4}; \quad X_{S_5} \in S_5. \quad (7)$$

U ovom stratumu nema dodatnog skupa ulaza, ali je zato prisutan velik multiplikacijski faktor, pa vrijedi:

$$Y_{S_5} = m_5 \cdot X_{S_5}. \quad (8)$$

Primjenom skupa ulaza u stratum S_1 dobit će se prijenosne funkcije globalnog digitalnog sistema u obliku:

$$Y_{S_5} = m_5 \{m_4 [m_2 (X_{S_1} + X_{2d}) + X_{S_{3d}} - Y_{S_1} - Y_{S_2}] + X_{S_{4d}} - Y_{S_4}\} \quad (9)$$

Iz izraza 9 vidljivo je da na izlaz sistema utječe osim informacija o EEPr i dodatne informacije koje se javljaju kao korisne ($X_{S_{2d}}$, $X_{S_{4d}}$), odnosno štetne ($X_{S_{3d}}$). Recimo odmah da ulazi $X_{S_{2d}}$ predstavljaju informacije o stanju DS u TS, pa se stoga smatraju korisnima, za razliku od $X_{S_{3d}}$ koje predstavljaju smetnju unesenu u digitalnu poruku za vrijeme prijenosa, te je poželjno $X_{S_{3d}} = 0$. Isto vrijedi i za gubitak informacije $Y_{S_{3d}} \rightarrow 0$. Skup ulaza $X_{S_{4d}}$ zapravo su inicijalne informacije od operatera koje uzrokuju proces interakcije u sistemu (ne uzevši u obzir interakciju koja je uvjetovana normalnim radom sistema), a kao krajnja posljedica je djelovanje na EEPr.

Skup izlaza Y_{S_5} predstavlja zapravo sve informacije o EEPr pohranjene u memoriji DS u CDU, pa tako, iako ovaj zadnji izlaz nije realan, on u sebi ujedinjuje sve informacije koje se pojavljuju na bilo kojem ulazu u globalni, digitalni sistem te ga možemo prezentirati kao završni skup izlaza.

Tako postavljena hijerarhija daje odgovor na još jedno pitanje: kako prići realizaciji DS. Iz izraza 1 vidljivo je da je potrebno poznavati tri osnovne veličine kod formiranja DS, skup svih ulaza X , skup izlaza Y i prijenosnu funkciju sistema S . Ako unaprijed zadamo skup izlaza Y (to je razumljivo jer prvo moramo znati što hoćemo), tada ćemo najjednostavnije odrediti prijenosnu funkciju sistema ako definiramo skup ulaza X . Naime, skup ulaza odredit ćemo puno lakše analizom EEPr nego da krenemo od prijenosne funkcije S . To je ujedno i put kojim treba rješavati ovaj problem. To treba posebno naglasiti jer su u praksi prisutna česta odstupanja, pa se tek po realizaciji DS uočavaju učinjene greške.

Istaknimo i to da skup izlaza treba definirati tako da on u svakom trenutku ($y_i = Y$, $i = 1, 2,$

..., 1) reprezentira momentano ponašanje EEPr, i to na način razumljiv operateru. To je ujedno i kriterij koji uvjetuje analizu obaju sistema, digitalnog i energetskog.

FORMIRANJE SKUPA INFORMACIJA O ELEKTRO-ENERGETSKOM PROCESU

Prvi korak u realizaciji DS, kao što je naglašeno u prethodnom poglavlju, jest formiranje njemu pridruženog skupa izlaza. To je, naglasimo još jednom, osnovni uvjet da bi se uz poznavanje željenog izlaza moglo ukazati na prijenosnu funkciju DS, odnosno na poslove koje treba nad ulaznim informacijama obaviti da bi se dobio traženi izlaz.

Skup ulaznih informacija za DS bit će zapravo svi podaci o stanju EEPr, pa se analizom tih podataka, odnosno samog procesa, može doći do zadovoljavajućeg rezultata. Pri tome se ne smije zaboraviti na upravljački smjer koji se smatra smjerom intervencije na taj isti proces. Proizlazi da ćemo analizom elektroenergetskog sistema i procesa koji se u njemu odvijaju dobiti prvi traženi podatak, skup svih ulaza.

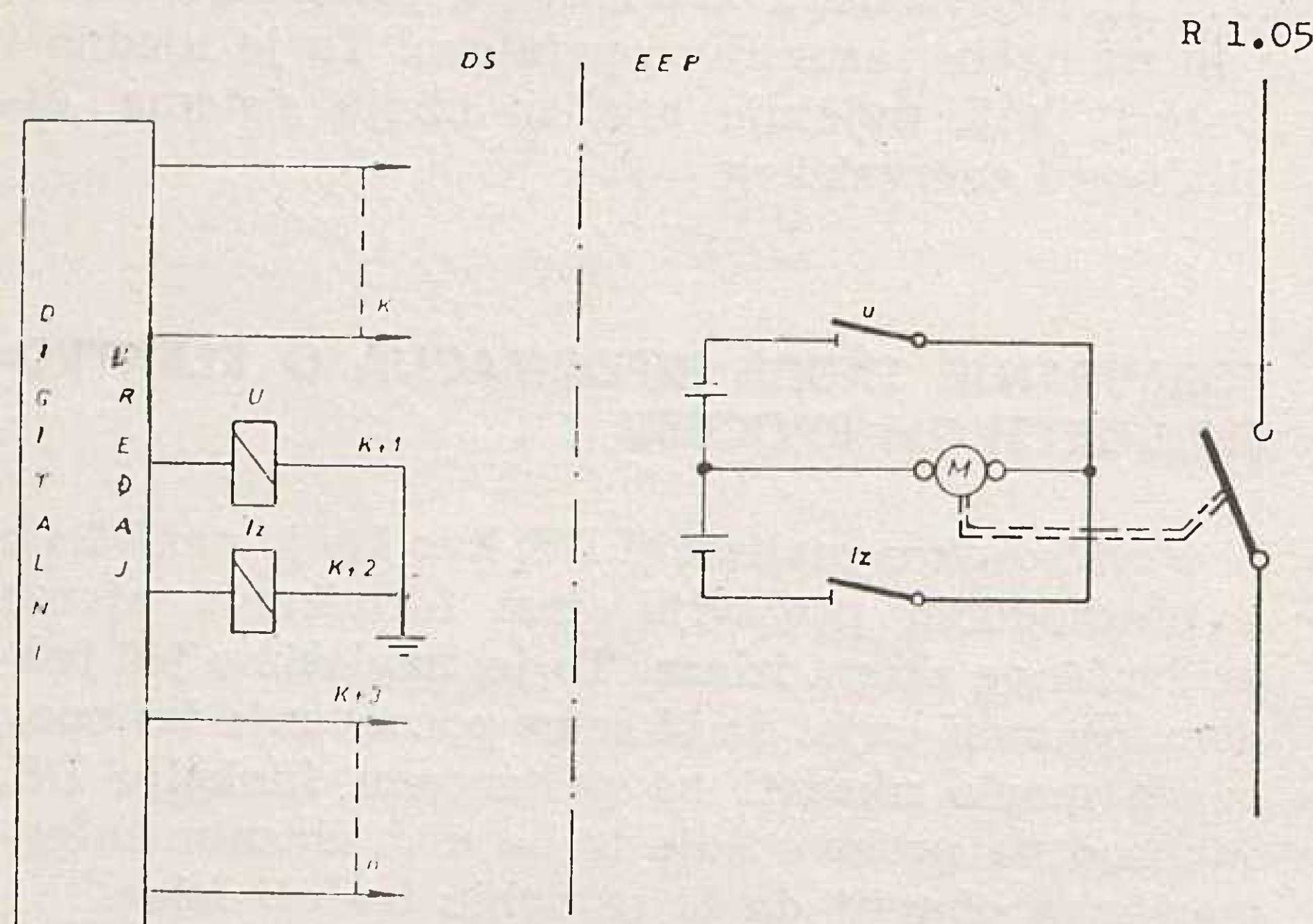
EES ima više karakterističnih dijelova koji s različitim težinama utječu na formiranje skupa informacija o njemu, potrebnog za sagledavanje momentanog, prošlog ili budućeg stanja sistema. Unaprijed se mogu konstatirati dvije činjenice. Broj elektroenergetskih postrojenja (EEP) i količina elemenata u njima utjecat će bitno na opseg DS pridruženog tim postrojenjima, dok će razgranatost energetske mreže i primijenjeni naponski nivoi utjecati na kapacitet DS u CDU i nivo rada. Razlozi su slijedeći. Ako EEP ima promjenljiv opseg, očito je da će se mijenjati i skup informacija koji će ga opisivati. To će zahtijevati veći broj prilagodnih sklopova DS (stratum S_1 u hijerarhijskoj strukturi DS), a adekvatno tome i proširenje svih ostalih dijelova koji služe za obradu tih informacija. S druge strane, opseg energetske mreže utjecat će na DS u CDU dvojako. Utjecaj će se odraziti na vrijeme i način prikupljanja podataka o EES i na pridružene aplikacione programe.

Zbog svega rečenoga, da bi se mogao sagledati kompletan DS, odnosno da bismo mogli definirati njegove parametre, potrebno je analizirati energetski sistem i proces u njemu u ovim koracima:

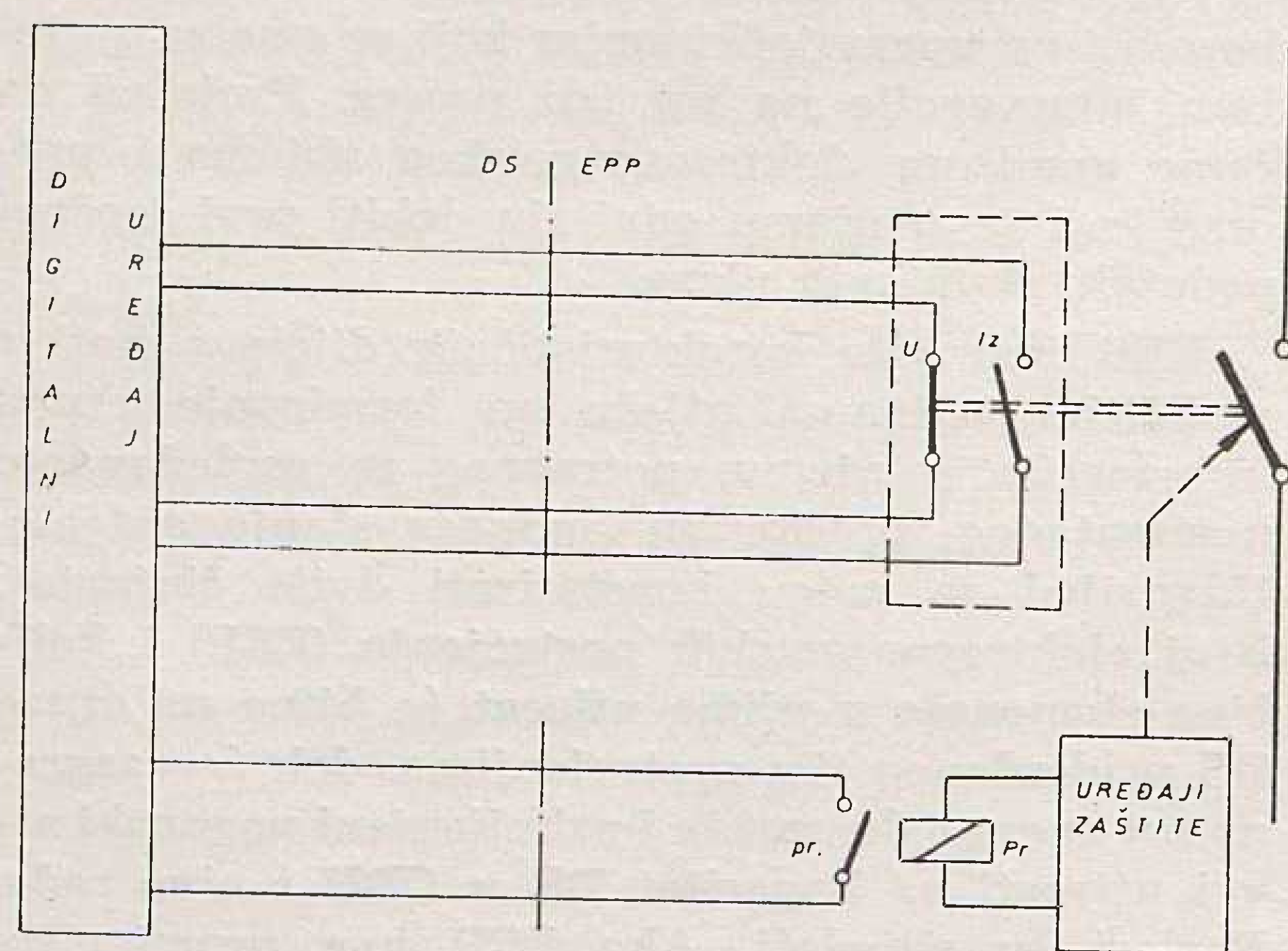
- prilagođenost EES, sa stajališta informatike,
- definiranje skupa informacija pridruženih elektroenergetskom postrojenju,
- definiranje skupa informacija pridruženih elektroenergetskoj mreži.

Prilagođenja elektroenergetskog postrojenja na digitalne uređaje

Dva su neposredna zadatka DS u EEP: omogućenje upravljanja aktivnim elementima i nadzor nad signalizacijom i mjernim veličinama tog postroje-



Sl. 2. Prilagođenje upravljanja



Sl. 3. Prilagođenje signalizacije

nja. Da bismo realizirali te funkcije, potrebno je sisteme, digitalni i enregetski, međusobno prilagoditi. To drugim riječima znači da za svaki od spomenutih sistema osiguramo ispravnu električnu veličinu koja će u njemu inicirati odgovarajući proces.

Analizirajmo koji su prilagodni elementi potrebni da bi se realizirale navedene funkcije, uz napomenu da je za njih potrebno osigurati odgovarajuće naponske i strujne izvore (najčešće primjenjivani naponi su 12 V, 48 V i 110 V za krugove upravljanja, 5 V i 12 V za krugove signalizacije i 220 V za mjerenje).

Potrebna prilagođenja za funkciju upravljanja
Osnovni je preduvjet upravljanja da za sve elemente kojima upravljamo osiguramo indirektni pogon (elektromotorni ili pneumatski). Kako su izlaze veličine DS logička »1«, odnosno »0« (to odgovara električnoj veličini napona od $\pm U$, odnosno 0 V), nameće se zaključak da će za realizaciju upravljačke funkcije biti potreban takav prilagodni sklop ili elementi koji će reagirati na te veličine.

Svojem aktiviranjem, odnosno neaktiviranjem, odnosno neaktiviranjem on će djelovati na upravljački pogon određenog elementa visokonaponskog (VN) postrojenja. Preduvjet ispravnog rada jest mogućnost aktiviranja svakog upravljanog elementa posebice. Za realizaciju te funkcije mogu se upotrijebiti razni prilagodni elementi: relei, opto-coupleri, tranzistori kao sklopke i sl. Zajedničko je svim prilagodnim elementima da odvajaju digitalne uređaje od uređaja VN postrojenja. Primjer opisanog postupka prikazan je na sl. 2. Naglasimo da je u slučaju upravljanja potrebno DS prilagoditi elektroenergetskom postrojenju.

Potrebna prilagođenja za funkciju signalizacije
Istaknimo odmah da je u slučaju signalizacije elektroenergetsko postrojenje potrebno prilagoditi na DS (sl. 3). Iz tog razloga potrebno je naglasiti da razlikujemo dvije vrste signalizacije: one koje ovise o položaju (fizičkom gibanju) nadziranog elementa i one koje su uzrokovane proradom nekog aktivnog elementa unutar pomoćnih uređaja postrojenja. Međutim, krajnja posljedica obiju signalizacija bit će ugradnja odgovarajućeg elementa za prekidanje ili uspostavljanje pridruženog im strujnog kruga. Primjenom te postavke može se postići jednostavno prilagođenje uz ispunjenje uvjeta razdvajanja VN postrojenja od digitalnog uređaja, a istovremeno lako se može odrediti stanje određenog elementa ili uređaja poznavanjem iznosa električne veličine unutar spomenutog strujnog kruga. Daljnji korak u prilagođavanju jest ugradnja, elektroničkih elemenata u prekidani strujni krug, koji će prema digitalnim uređajima izdavati signale određenog logičkog nivoa, jer je on samo na njih osjetljiv. Posebno se to odnosi na signalizaciju položaja regulacione sklopke transformatora kod koje je od interesa javljati svaki korak sklopke.

Napomenimo i činjenicu da se na spomenute prilagodne elemente postavljaju i uvjeti u smislu izolacionog napona odvojenja VN postrojenja i digitalnog uređaja. Ti uvjeti su obavezni iz razloga da pri pojavi višeg napona na veznom putu, VN postrojenje-digitalni uređaj, ne dođe do uništenja digitalnog uređaja, već samo ulazno-izlaznog prilagodnog elementa.

Potrebna prilagođenja za funkciju mjerenja. Da bismo prilagodili analogne VN mjerne veličine, potrebno je između VN postrojenja i digitalnog uređaja ugraditi nekoliko prilagodnih elemenata (slika 4). Očito je, međutim, da bez obzira na nivo VN signala treba standardizirati njegove iznose tako da budu potrebni za daljnju obradu. To se postiže mjernim transformatorima, kao prvim prilagodnim elementom, koji bez obzira na iznos ulaznog signala na svojem sekundaru daje mjernu veličinu (napona i struje). Te nazivne mjerne veličine su izmjeničnog karaktera, a i još uvijek relativno visokog iznosa, te kao takve nisu pogodne za direktni priključak na digitalni uređaj. Zbog toga dolazi do daljnjeg prilagođavanja i slijedeći prilagodni element je mjerni pretvarač. On neovisno o

vrsti ulazne mjerne veličine (u , i) daje na svom izlazu istosmjerni strujni signal nazivne vrijednosti: 0 — 5 mA ili 0 — 20 mA. Razlog tome što je slijedeći prilagodni element, analogno-digitalni pretvarač (ADC), zajednički za sve mjerne veličine, pa mu je zbog ispravnosti pretvorbe uvijek potrebno na njegov ulaz dovesti isti oblik i maksimalni iznos mjerne veličine. Izlazni signal ADC podoban je za daljnju obradu u digitalnom uređaju.

Specifičan je slučaj kod mjerenja energije. Danas se to rješava tako da su u brojila ugrađeni impulsivni davači, te na taj način signal digitalizira i kao takav direktno je primjenljiv na ulazu u digitalni uređaj.

Dakle, kod mjerenja potrebno je izvršiti ponovo prilagođavanje energetskog na digitalni sistem.

Naglasimo na kraju da se na ovom mjestu istakla važnost prilagođenja između energetskog i digitalnog sistema zbog toga što o nekoj informaciji iz skupa svih ulaza možemo govoriti tek ako smo omogućili da ona to i stvarno može biti za DS. Ako nema prilagođenja, i uz prisutnost određene informacije, DS je ne »osjeća«.

Skup informacija pridružen elektroenergetskom postrojenju

Osnova za formiranje skupa informacija o elektroenergetskom postrojenju jest poznavanje triju njegovih osnovnih karakteristika: sheme spoja, važnosti tog postrojenja unutar cjelokupnog elektroenergetskog sistema i zahtjeva koji se postavljaju na svaki element tog postrojenja. Analizom tih karakteristika dobiva se uvid u značaj svakog elementa posebice. Na taj način, nakon izvršene analize i njome dobivenih rezultata, formira se skup informacija koji prezentira stanje tog postrojenja u svakom trenutku.

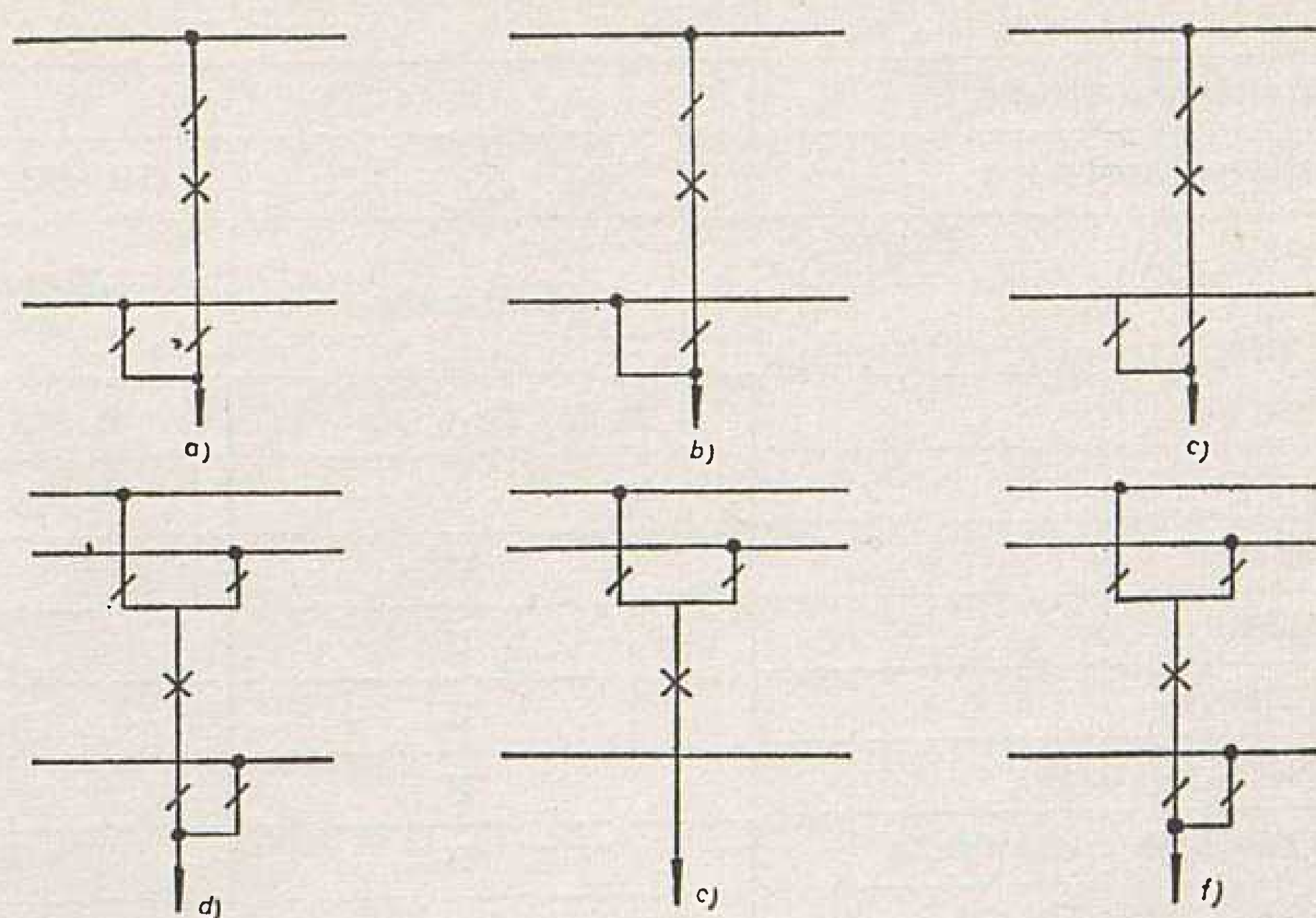
Proces određivanja skupa informacija može se podijeliti u tri dijela. Najprije se analizira shema spoja postrojenja, zatim se definiraju kriteriji koji su postavljeni na dano postrojenje u sklopu cijelog elektroenergetskog sistema, a na kraju se uvodi sinteza i rezultat je traženi skup informacija.

Analizu sheme spoja provodimo tako da najprije podijelimo postrojenje na visokonaponsku i srednjonaponsku stranu, dok se parametri transformatora promatraju kao zasebni dio. Po podjeli određi se za svaku naponsku stranu karakteristično polje (u principu je to ono s najvećim brojem elemenata), pa se na osnovi njih dobiju izrazi za ukupni broj elemenata u postrojenju:

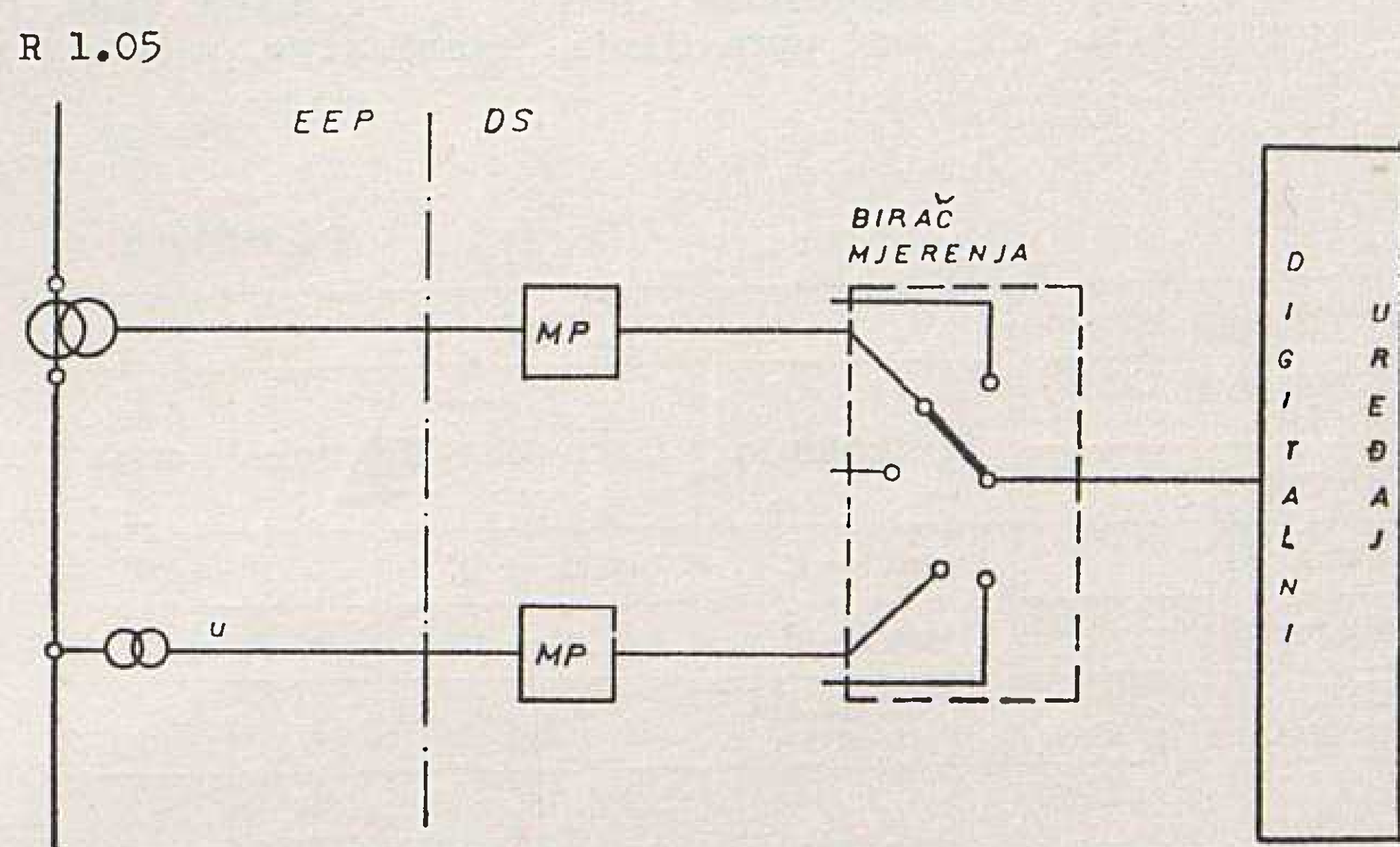
$$p = an - b$$

$$r = cn - d,$$

gdje je: n — broj svih polja na određenoj naponskoj strani,



Sl. 4. Prilagođenje mjerenja



Sl. 5. Karakteristična polja. VN strana: a) postrojenja, b) upravljanja, c) signalizacija; SN strana: d) postrojenja, c) upravljanja, f) signalizacija.

Na taj način opisali smo postrojenje općenito. Sada je potrebno promotriti i zahtjeve koje na to postrojenje postavlja njegova uloga u okviru cjelokupnog elektroenergetskog sistema. Kada bi postrojenje bilo samostalno ili bi ih bilo svega nekoliko, zahtjevi bi se mogli formirati za svako posebno, no kada je sistem razgranat, a to je češći slučaj, dobro je načiniti tabelu koja obuhvaća sve zahtjeve općenito. Primjer za to je dan u tablici 1. Respektirajući iznesene zahtjeve korigiraju se dobiveni rezultati (izrazi 10 i 11). Korekciju provjerimo usporedbom karakterističnih polja stvarnog postrojenja i karakterističnog polja koje dobijamo kad se uzmu u obzir ograničenja postavljena na to isto postrojenje. Pri tome treba razlikovati postrojenja sa stajališta upravljivosti i signalizacije. Jedan primjer prikazan je na sl. 5. Na taj način dobije se uvid u ukupni broj informacija o upravljanju i signalizaciji položaja (tablica 2).

Slijedeći podskup informacija jesu informacije o stanju zaštite. One se određuju na temelju tablice 1. tako da se odredi broj karakterističnih informacija o zaštiti zaodređenu vrstu polja ($S_{x/polje}$) i ukupni broj istovrsnih polja. Po tako provedenoj analizi dobiva se i broj informacija I_A koji je uzrokovan prisutnošću zaštite VN postrojenja. Sli-

Tablica 1.

Naponska strana	VN (SN)			
Sistem sabirnica	GS (GS + POS; 2GS + POS; 2GS i drugo)			
Funkcija	Upravljanje	Signalizacija položaja	Alarmi	Mjerenja
Polje				
Vodno	$p, r_{gs}, r_{izl} \dots$	$p, r_{gs}, r_{izl} \dots$	$I1, I2, T \dots$	I_v
Trafo	$p, r_{gs}, \dots$	$p, r_{gs}, r_{ds}, \dots$	$I1, I2, B1 \dots$	$P, Q, \cos \varnothing$
Spojno	U	S	A	M
KTR	U	S	A	M
Mjerno	U	S	A	M
Kompenzacija	U	S	A	M
Uzdužnih rastavljača	U	S	A	M
MTK	U	S	A	M
i drugo	U	S	A	M

LEGENDA: p — prekidač, r — rastavljač, gs — glavne sabirnice, I1 — prekostrujna zaštita 1, I2 — prekostrujna zaštita 2, T — temperaturna zaštita, I_v — struja voda, P — radna snaga, Q — jalova snaga, $\cos \varnothing$ — faktor snage, U, S, A, M — elementi upravljanja, signalizacija, zaštite i mjerenja karakteristični za svako polje.

Tablica 2.

Naponska strana	kV		
Karakteristično polje	Postrojenja	Upravljanja	Signalizacije
Element			
Prekidač	an — b	a' n — b'	a' n — b''
Rastavljač	cn — d	c' n — d'	c'' n — d''
Broj informacija	Broj polja n = i	I_k	I_s

čnim postupkom određuje se i broj informacija o mjerenjima I_M . Naime, za svako polje postoji određen broj karakterističnih mjerenja $m_{x/polje}$, pa poznavajući ukupni broj istovrsnih polja, nije teško odrediti koliko je ukupno informacija o mjerenjima. Međutim, u slučaju mjerenja zanimljivo je definirati još dvije stvari: vrstu mjerne veličine i mjerni opseg. Na taj način, poznavajući još dodatne informacije I_D koje se javljaju na ulazu u sistem, moguće je za analizirano postrojenje napisati skup ulaza u obliku danom tablicom 3.

Tablica 3.

Funkcija	Upravljanje	Signalizacija	Mjerenje
Broj informacija	I_k	$I_s + I_A$	I_M
Vrsta mjerenja	$m_1, m_U, m_f, m_h, m_Q, m_\varnothing, \dots$		
Mjerni opseg	$m_1 = \text{od } \dots \text{ do}$ $m_U = \text{od } \dots \text{ do}$ $\dots \dots \text{ itd.}$		

Skup informacija pridružen elektroenergetskoj mreži

Za skup informacija o distributivnoj mreži možemo reći da se on u globalnom sistemu javlja na dva mjesta: u stratumima S_1 i S_2 . U S_1 prisutne su informacije o mjernim vrijednostima snage (ener-

gije) iz n čvorova ($2n$ mjerenja) EES na osnovi kojih je moguće aktivno praćenje tokova snage (energije) u sistemu. Na ulazu u S_1 javlja se podskup informacija o vezi EEP (i njihovu broju) unutar EES. Taj podskup prikazuje koje su veze, od svih mogućih, radnje (aktivne) u EES. Oba spomenuta podskupa informacija se dopunjuju i utječu na sliku o stanju EEPr u sistemu. Ujedno se oni nadovezuju na skup definiran u prethodnoj točki i direktno utječu na razmjenu informacija između DS i EEP. Na taj način dobije se kompletan uvid o stanju nadziranog procesa, a istovremeno su mogući i zahvati unutar njega samoga.

DEFINIRANJE ZAHTEJEVA NA INFORMACIONI SISTEM PRIDRUŽEN ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

Promatrajući hijerarhijsku strukturu globalnog informacionog sistema pridruženog EES, možemo konstatirati točnost prije naglašavane činjenice o važnosti skupa ulaznih informacija, odnosno skupa svih ulaza. Da bismo pravilno dimenzionirali i izgradili naš DS, potrebno je ispuniti neke osnovne zahtjeve u tom pogledu.

a) Potrebno je sagledati važnost, opseg i energetske prilike u EES u koji uvodimo informacioni sistem. To znači da moramo definirati sve informacije koje će nam u svakom trenutku dati jasnu sliku o procesu u sistemu. Važnost pojedinih EEP i elemenata u njima, mogući oblici stanja elektroenergetske mreže, dozvoljeni tokovi snaga i dr. omogućit će nam odgovor na prvi zahtjev postavljen od strane DS, definiranje skupa svih izlaza.

b) Daljnji zahtjev odnosi se na skup ulaza i njegovo formiranje. Opisanim postupkom određuju se sve informacije koje u potpunosti opisuju EEPr, a na taj način ujedno se definira i skup svih ula-

za u DS. Važnost tog skupa vidljiva je tek kad se priđe konkretiziranju strukture DS, a tada se pokazuje da se bez pravilno određenog skupa ulaza ne može obaviti ni pravilno dimenzioniranje DS.

c) Prateći hijerarhijsku strukturu i zahtjeve koje ona postavlja, te poznavajući skup svih ulaza prilazi se formiranju DS, odnosno parametara koji ga opisuju.

To znači, određuje se točan broj podsistema unutar svakog stratuma, informacioni i intervencioni putovi, međuveze između pojedinih stratuma, brzine rada i niz drugih važnih parametara. Krajnji rezultat bit će sagledavanje procesa koji omogućuju realizaciju izvora

$$y_j = S(x_i); \quad (x_i \in X \text{ i } y_j \in Y).$$

d) Analizom dobivene funkcije sistema S omogućuje se i daljnji kvalitetni korak u radu, a to je optimiranje procesa kako u samom DS (zahvati na funkciji S), tako i u EES.

ZAKLJUČAK

Analizom svojstava složenih sistema, kakav je digitalni sistem primijenjen u elektroenergetskom procesu, dobiva se uvid u njegovu hijerarhijsku strukturu, odnosno zakonitosti građe globalnih sistema. To nam nadalje omogućava i njegovu matematičku formalizaciju, pa se na taj način određuju nepoznate veličine koje ga opisuju.

Na osnovi formalizirane strukture uočava se važnost skupa ulaznih informacija i zaključuje se put njegove prezentacije. Važnost skupa ulaznih informacija uvjetuje da obratimo specijalnu pažnju na način kako ga formirati, pa je iz tog razloga u

članku opisan jedan od postupaka određivanja skupa.

Po formiranju skupa ulaza i uz poznavanje željenog izlaza postupak određivanja pojedinih parametara DS se bitno pojednostavljuje. To je osnovni uvjet pravilnog dimenzioniranja informacionog sistema pridruženog EEPr.

Članak upućuje upravo na put kojim treba ići kod realizacije informacionog sistema i stoga može poslužiti kao podloga u rješavanju konkretnih slučajeva.

LITERATURA

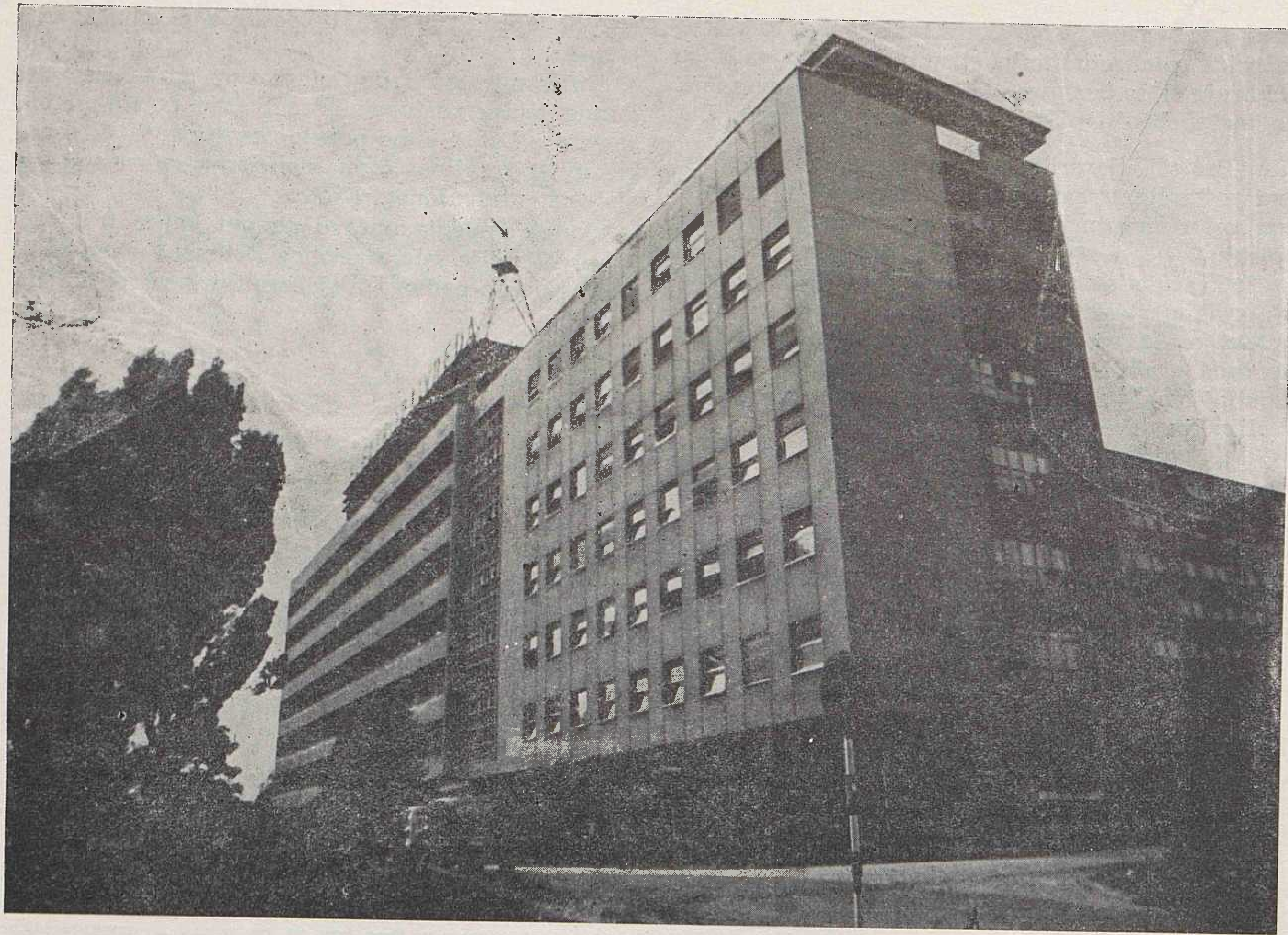
1. H. Požar: »Visokonaponska rasklopna postrojenja«, Tehnička knjiga, Zagreb, 1967.
2. J. Martin: »Introduction to teleprocessing«, Prentice Hall, 1972.
3. A. Afrić, Z. Vuković: »Teoretski principi hijerarhije multipleksnih sistema«, članak, 1975.
4. P. A. Hurney: »Maintenance determines reliability in digital systems«, Control engineering 2, 1969.
5. D. Castelli, C. Soldadino, R. Capra: »15. Nourea systeme de supervision et Controle pour les services publics des villes de Brescia et de Milan«, CIDER, Liege, 1975.
6. T. E. Dy Liaco: »Real-time computer control of power systems«, Proceedings of the IEEE 7, 1974.

IMPORTANCE AND PLACE OF INFORMATION GROUP IN THE ELECTRO-ENERGETIC PROCESS IN HIERARCHY OF INFORMATION SYSTEM

The first part of article deals with hierarchy of information system. With that is stratification model placed to be compatible with group of information in the electroenergetic process. In the second part is stated problem of formation information groups in the electroenergetic process. There is pointed at elements that has to be taken in consideration and that have influence on the group. At the end is explained influence of right formation. Information group about process on quality of total information system.

Naslov pisca:

mr Vladimir Kavur, dipl. ing.
»Elektra«, Zagreb

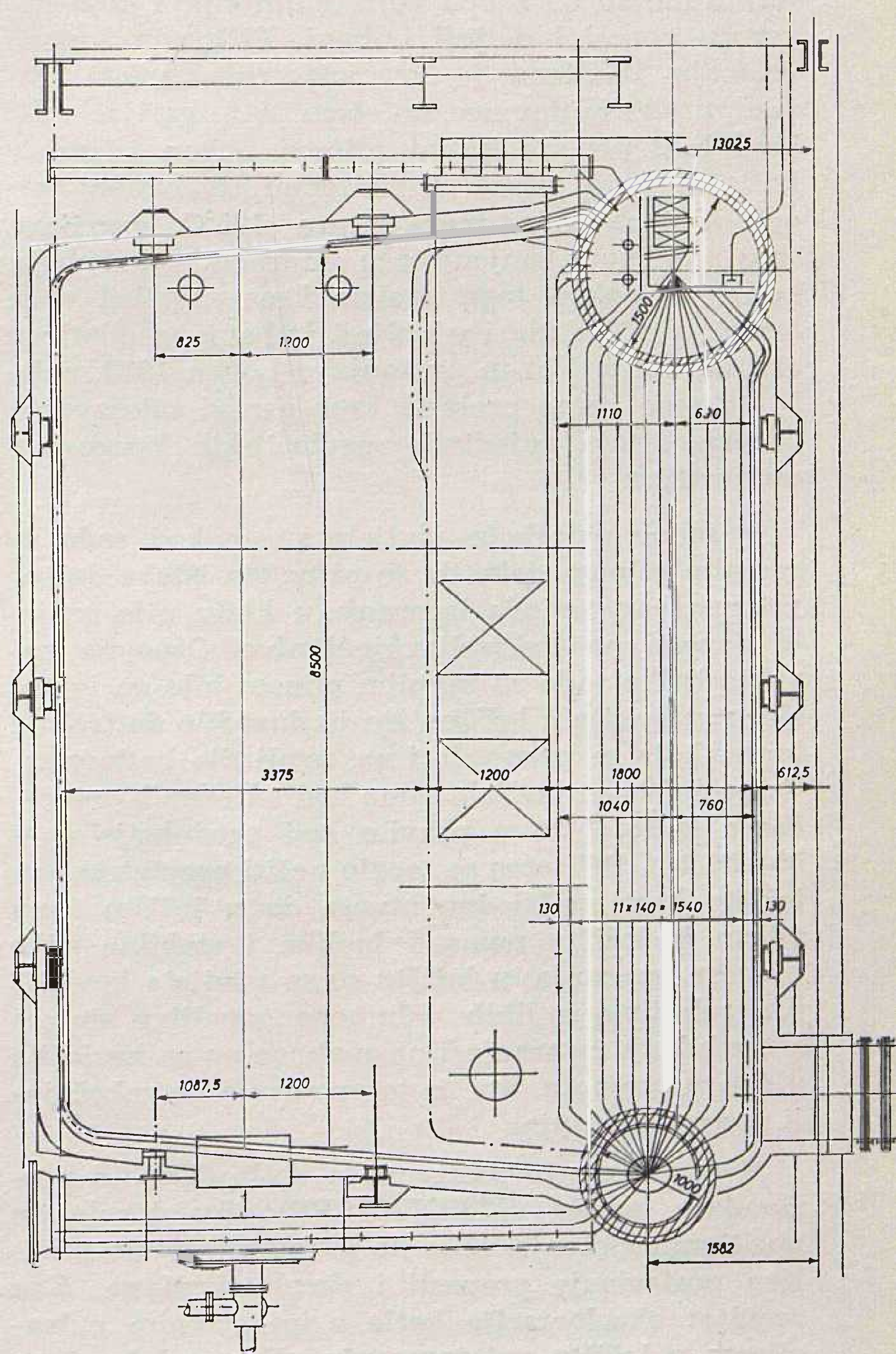


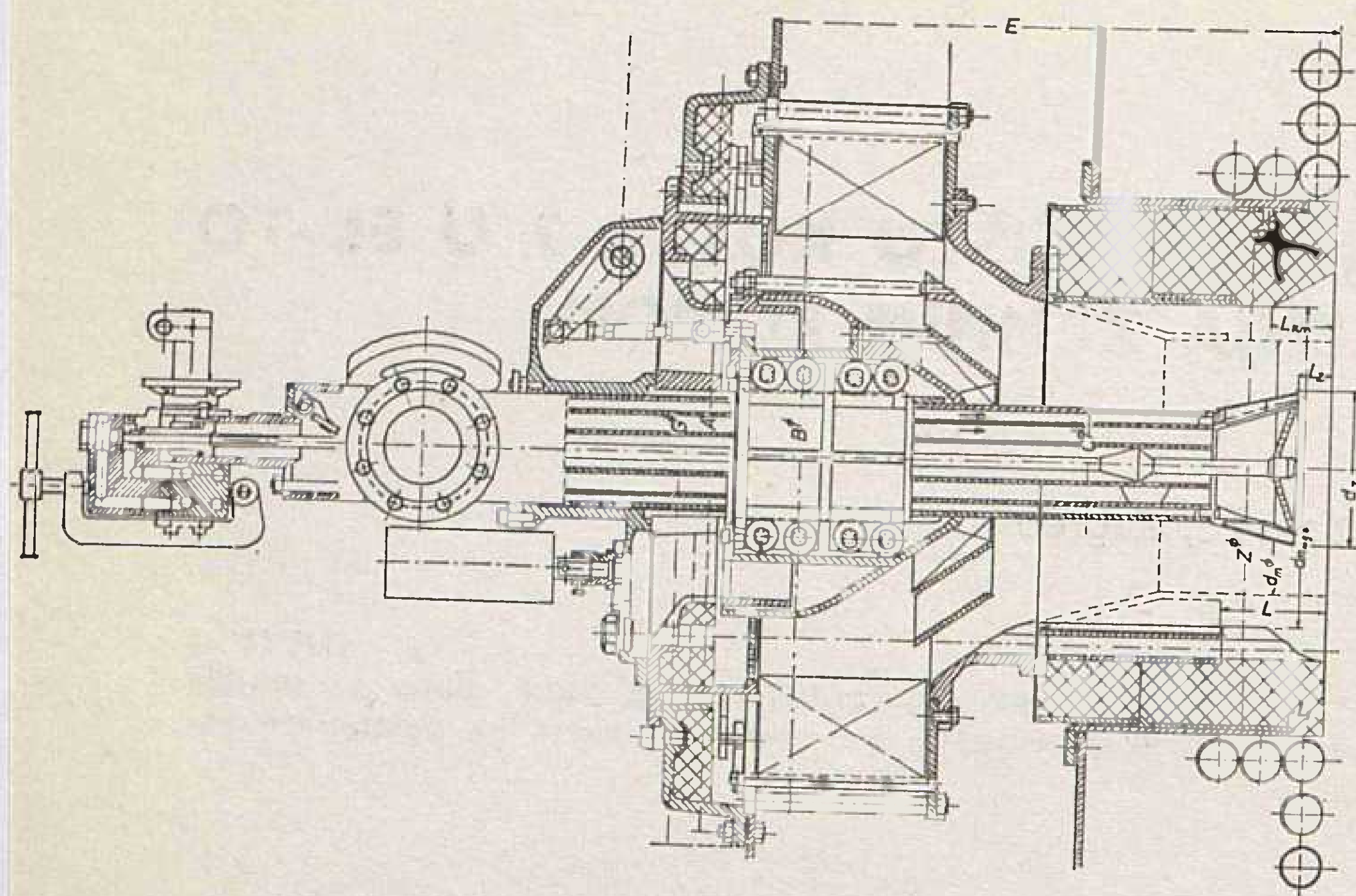
DK 621.18

1. OPIS POSTROJENJA I EKSPLOATACIJSKA ISKUSTVA

Proizvođač	TPK-Zagreb
Mominalna proizvodnja	64 t/h
Maksimalna trajna proizvodnja	80 t/h
Maksimalni tlak pare	25 atp
Radni tlak u bubnju	22 atp
Tlak na izlazu iz pregrijača pare	19 atp
Temperatura pregrijane pare	260 °C
Temperatura pojne vode	105 °C

Tip gorača	DAG 12L
Gorivo	T-ulje
Kapacitet gorača	zemni plin $H_d = 8000$ kcal/Nm ³ (zemnog plina) 2925 kg/h T-ulja 3250 Nm ³ /h zemnog plina
Tlak zemnog plina na ulazu u gorač	2 atp
Temperatura pare za raspršivanje T-ulja	300 °C
Količina pare za raspršivanje T-ulja	0,08 kg/kg goriva
Količina zraka po goraču	3 4000 Nm ³ /h
Tlak zraka za gorače	288 mmSV
Temperatura zraka	20 °C





šteni u podu, a prestrujavanje iz 1. u 2. promaju je na vrhu ložišta. U 2. promaji smješten je konvektivni pregrijač pare. Slijedeće dvije promaje formirane su od snopa vertikalnih cijevi koje povezuju gornji i doljni bubanj. Pregrada između promaja izvedena je vatrootpornim limom. Izvan zgrade kotlovnice smješten je i zagrijač vode kroz koji prolaze dimni plinovi nakon izlaza iz kotla, a prije ulaza u podzemni dimovodni kanal. Pojna voda temperature 105°C zagrijava se u posebnom izmjenjivaču smještenom u bubnju kotla, te nakon toga prolazi kroz zagrijač vode (ecco), a zatim ulazi u doljni bubanj, te odatle u ekrane kotla. Nakon puštanja u pogon 1973. neko je vrijeme kotao prolazio kroz period udešavanja i dotjerivanja pojedinih regulacijskih krugova i automatike.

Posebne poteškoće javljale su se kod rada sa zemnim plinom, tako da se ni nakon isteka duljeg vremenskog perioda izgaranje u kotlu nije uspjele dovesti na zadovoljavajući nivo. Osnovna karakteristika rada sa zemnim plinom bile su intenzivne pulzacije u ložištu, što je dovodilo do trešnje kotla, koja se prenosila i na ostali dio kotlovnice. Pulzacije su se javljale samo kod određenih opterećenja kotla, i to u pravilu kod produkcije pare 50—60 t/h. Pri tome se moglo uočiti promatranjem ložišta kroz nadgledne otvore da u ložištu i na izlazu iz ložišta nema jednolike i stabilne slike procesa izgaranja; u ložištu su se odvijala kovitlanja relativno velikih volumena zapaljive smjese i produkata izgaranja i na mahove su se zavlačila u drugu promaju. Sve je to upućivalo na zakašnjele proces izgaranja.

Sva nastojanja proizvođača kotla (TPK) i proizvođača gorača (STEINMÜLER) nisu dovela do pozitivnih rješenja, tako da je investitor bio prisiljen postrojenje preuzeti i eksploatirati ga. Kao rezultat eksploatacije kotla s intenzivnim pulzacijama u ložištu pri izgaranju plina počele su se javljati razne poteškoće. Tako je zbog pulzacija

membrana na spojevima cijevnih stijena najprije došlo do pucanja spojnih mjesta i do prodiranja dimnih plinova u kotlovnicu jer da je ložište bilo pod pretlakom. Zbog vibracija došlo je do pojave pukotina na spojnim cijevima između gornjeg i doljnog bubnja i do pucanja na pregradnom limu između 3. i 4. promaje. Zbog zakašnjenja i prenošenja procesa izgaranja u druge promaje van ložišta jake pulzacije javljale su se i na izlaznom dimovodnom kanalu iz kotla, na kojem je također došlo do oštećenja. Pulzacije se nisu prenosile i na zagrijač vode s obzirom nato onda je spojen s izlaznim dimovnim kanalom kompenzatorom.

Problemi su se također javili i na pregrijaču pare koji na svojim osloncima nije bio zavaren, tako da je zbog vibriranja došlo do stalnog struganja pregrijača po konsolnim nosačima i zbog toga do pucanja cijevi pregrijača kad su se dovoljno istrošile. Svi ti problemi rješavali su se ovisno o pogonskoj situaciji stalnim manjim popravcima, koji, međutim, nisu mogli osigurati potrebnu pogonsku spremnost kotla. Zbog toga se u ljetu 1976. god. prišlo opsežnom remontu koji je trajao 3 mjeseca. U tom remontu izmijenjen je pregrijač i obavljani su svi nužni popravci na cijevnim stijenama, pregradnim limovima i dimovodnim kanalima. Već onda je, međutim, bilo jasno da i dalje treba očekivati slične probleme s obzirom na to da se osnovni uzroci nastanka oštećenja nisu uklonili, tako da je situacija u pogledu pulzacija u ložištu ostala nepromijenjena do rekonstrukcije izvedenih na goračima u toku 1978. godine.

2. ANALIZA I RJEŠAVANJE PROBLEMA

Znatnije korištenje plina kao goriva u termoenergetskim postrojenjima istaklo je i neke probleme karakteristične za izgaranje samo plinovitih goriva u ložištima termoenergetskih postrojenja. Svakako da je pojava pulzacija pri izgaranju plinovitih goriva jedan od najznačajnijih problema koji se javio. Dugogodišnja iskustva s primjenom plina kao goriva, kao i mnogobrojna istraživanja koja su provedena u SSSR-u ukazala su na činjenicu da se gotovo svi slučajevi pulzacija pri izgaranju plina javljaju kao posljedica nedovoljno izmiješanog goriva i zraka. Intenzivna istraživanja u tom smjeru također su omogućila stvaranje metode proračunavanja istrujavanja plinovitih goriva u struju zraka te određivanje osnovnih zahtjeva na dubinu prodiranja plinske struje u struji zraka.

Novom metodom provedeni kontrolni proračuni pokazali su ispravnost zaključivanja o ovisnosti pojave pulzacija o kvaliteti miješanja goriva i zraka. Logično se stoga moglo očekivati da su i problemi pulzacija uočeni na kotlu 7 u EL-TO Zagreb također posljedica nedovoljno kvalitetnog miješanja plina izraka. Na priloženoj slici 3. dan je izgled plinske glave sa sapnicama kod gorača STEINMÜLER prije rekonstrukcije. Plin nastrujava u plin-

sku glavu kroz 12 rupa $\varnothing 14,8$ mm. Plinska glava pričvršćuje se na centralnu plinsku cijev (prikazana na sl. 1 u presjeku gorača) s 4 imbus-vijka koji prolaze kroz rupe $\varnothing 11,5$ mm na plinskoj glavi. Plin istrujava iz plinske glave u zračnu struju kroz 39 rupa $\varnothing 17,2$ mm smještenih na vrhu plinske glave. Rupe su smještene u dva reda u šahovskom rasporedu. Istrujavanje plina je nagnuto prema natrag, tj. protivno od struje zraka pod kutem od 10° .

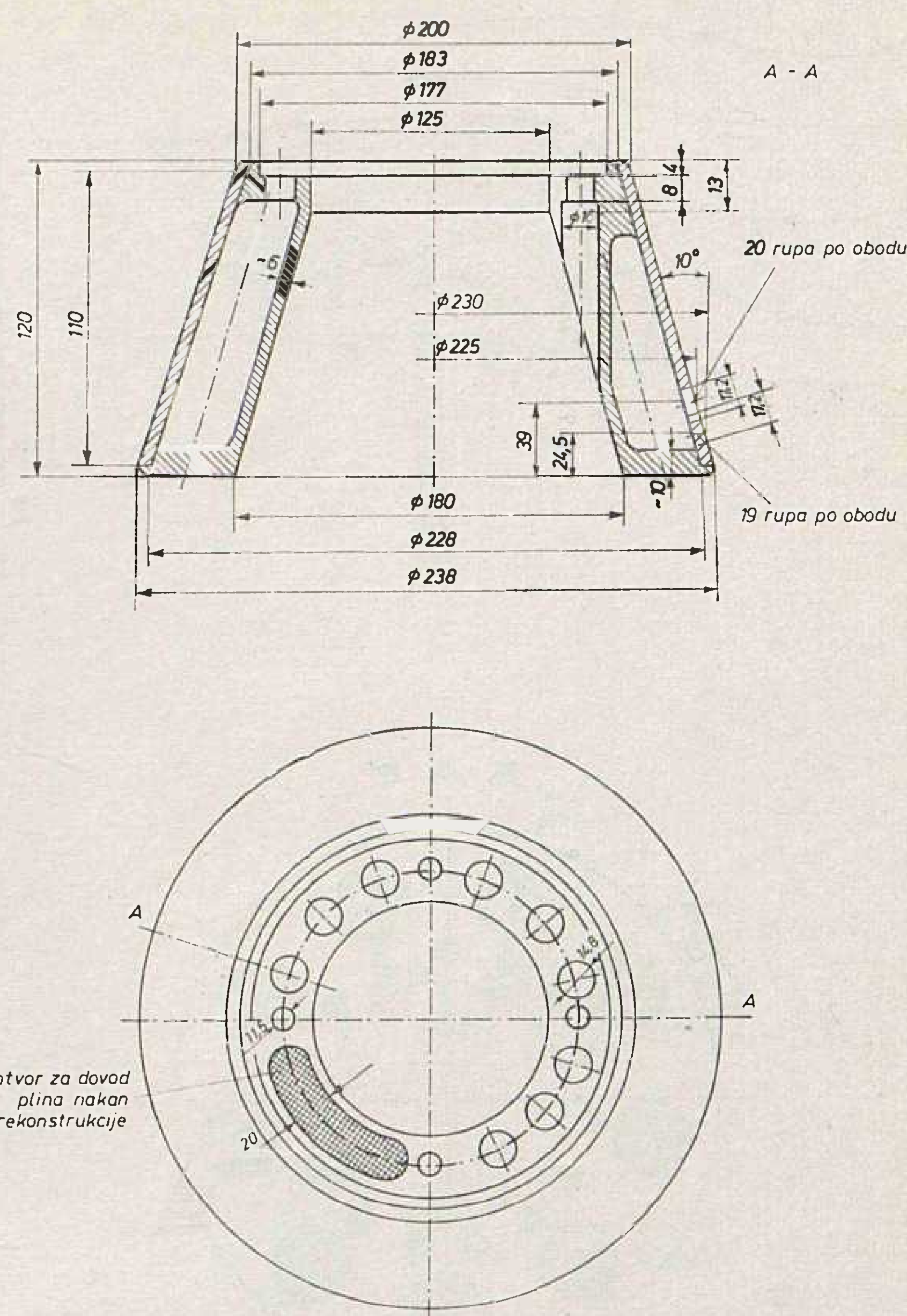
Provedena analiza i proračuni istrujavanja plina iz sapnica plinske glave STEINMÜLLER omogućili su izradu aproksimativnog razvoja plinskih struja.

Na priloženoj slici 4. dan je prikaz međusobnog odnosa i položaj razvijenih plinskih struja u ušću gorača.

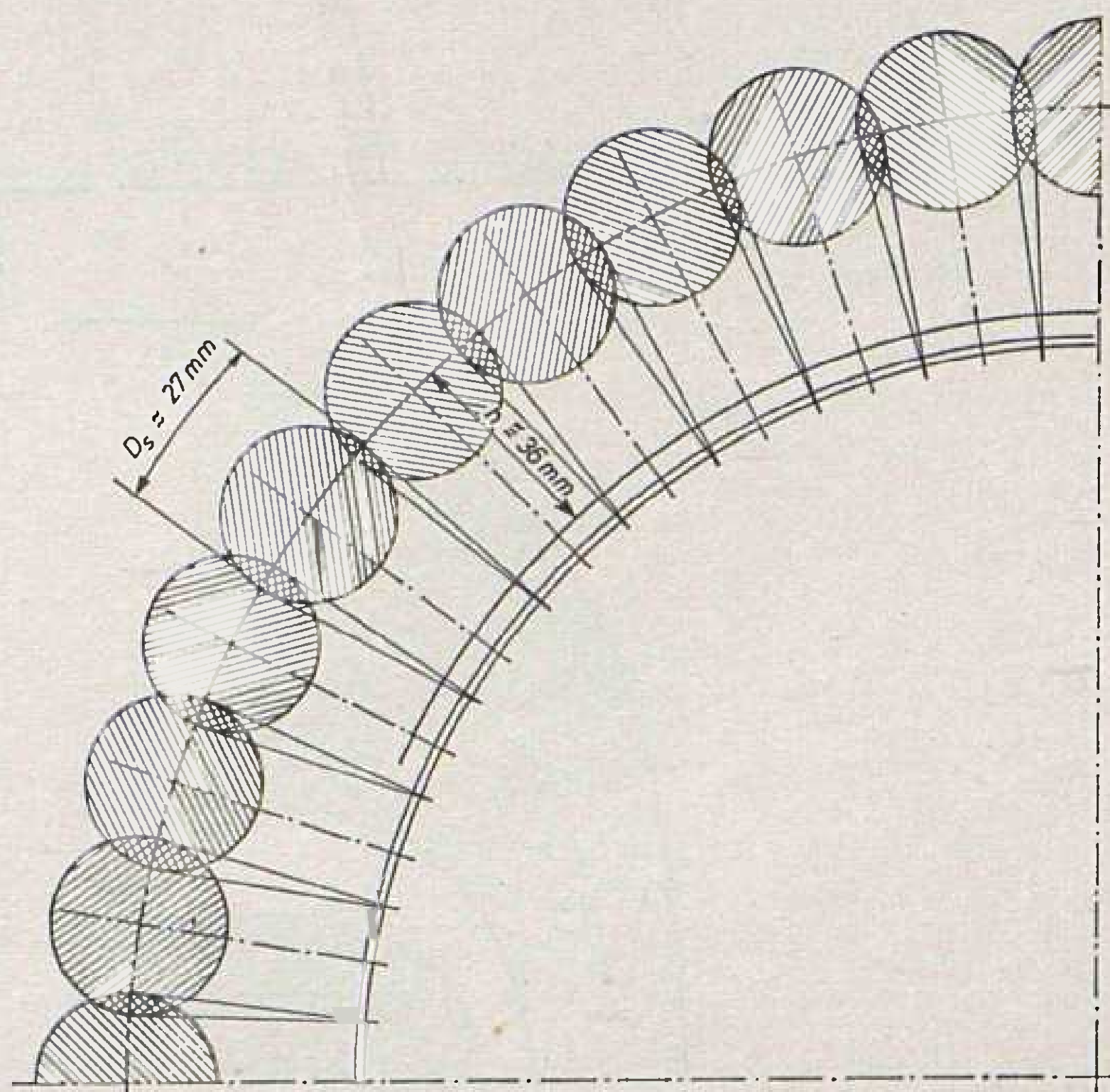
Iz priložene je slike očito da dolazi do međusobnog dodirivanja plinskih struja i slijevanja u jedinstvenu prstenastu plinsku struju, kako je to prikazano na sl. 5. Praktički zbog toga nema mogućnosti za prolaz zraka između plinskih struja, tako da dolazi do otklona zraka prema gore, čime se situacija još pogoršava jer u osi struje vlada manji tlak pa dolazi još i do povijanja plinskog sloja prema unutra. Od ukupne širine zračnog prstena (161 mm) plinska struja prodrla je samo do 25% širine, odnosno prekrila je svega oko 17% presjeka prstena. Tako malo prodiranje znatno je ispod preporuka za minimalnim prodiranjem plinske struje u struju zraka.

Analizirajući dalje plinsku glavu, može se uočiti da je ona u principu sasvim pogrešno konstruktivno riješena. Maksimalna brzina, naime, ne ostvaruje se u sapnicama, već na mjestu spajanja plinske glave s centralnom plinskom cijevi, i to u međuprstenu koji se umeće između plinske glave i centralne plinske cijevi. Prsten, naime, na sebi ima također 12 rupa kao i plinska glava (spomenute rupe $\varnothing 14,8$ mm) s istim rasporedom, ali s presjekom 14 mm. Brzina izračunata na tom mjestu iznosi 452 m/s, no stvarna brzina je manja jer je medij kompresibilan i volumen mu je manji i odgovara tlaku jednakom okolišnjem tlaku ali povećanom za otpore strujanja. Osim toga, ne može se u ovom suženju ni ostvariti brzina veća od brzine zvuka. Stvarna brzina je, međutim, svakako reda veličine od 300 m/s. Najveća brzina je postignuta na sasvim pogrešnom mjestu i pad tlaka plina u goraču umjesto da se koristi za istrujavanje plina u zračnu struju pod velikom brzinom, troši se na savladavanje prestrujavanja iz centralne komore u plinsku glavu, što je sasvim nekorisno.

Koristeći se istom metodom, provedeni su proračuni koji su omogućili rekonstrukciju na plinskoj glavi kako bi se ostvarilo kvalitetno miješanje plina i zraka. Aproksimativan prikaz razvijenih plinskih struja u ušću gorača u skladu s proračunima prikazan je na sl. 6, koja pokazuje jednu sasvim novu kvalitetu u odnosu na prikaz na sl. 4.

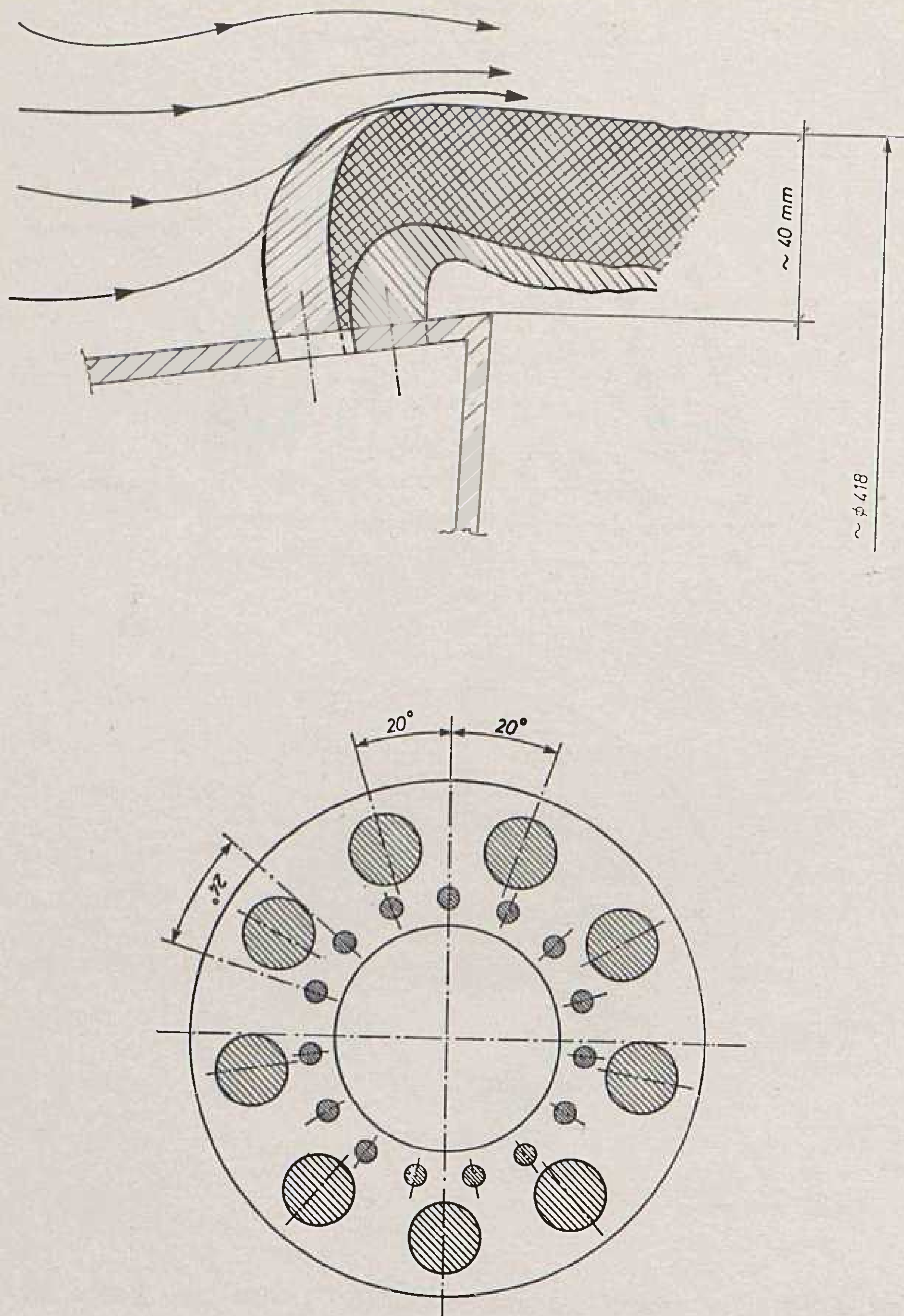


Sl. 3. Plinska glava gorača STEINMÜLLER na kotlu br. 7 u EL-TO Zagreb

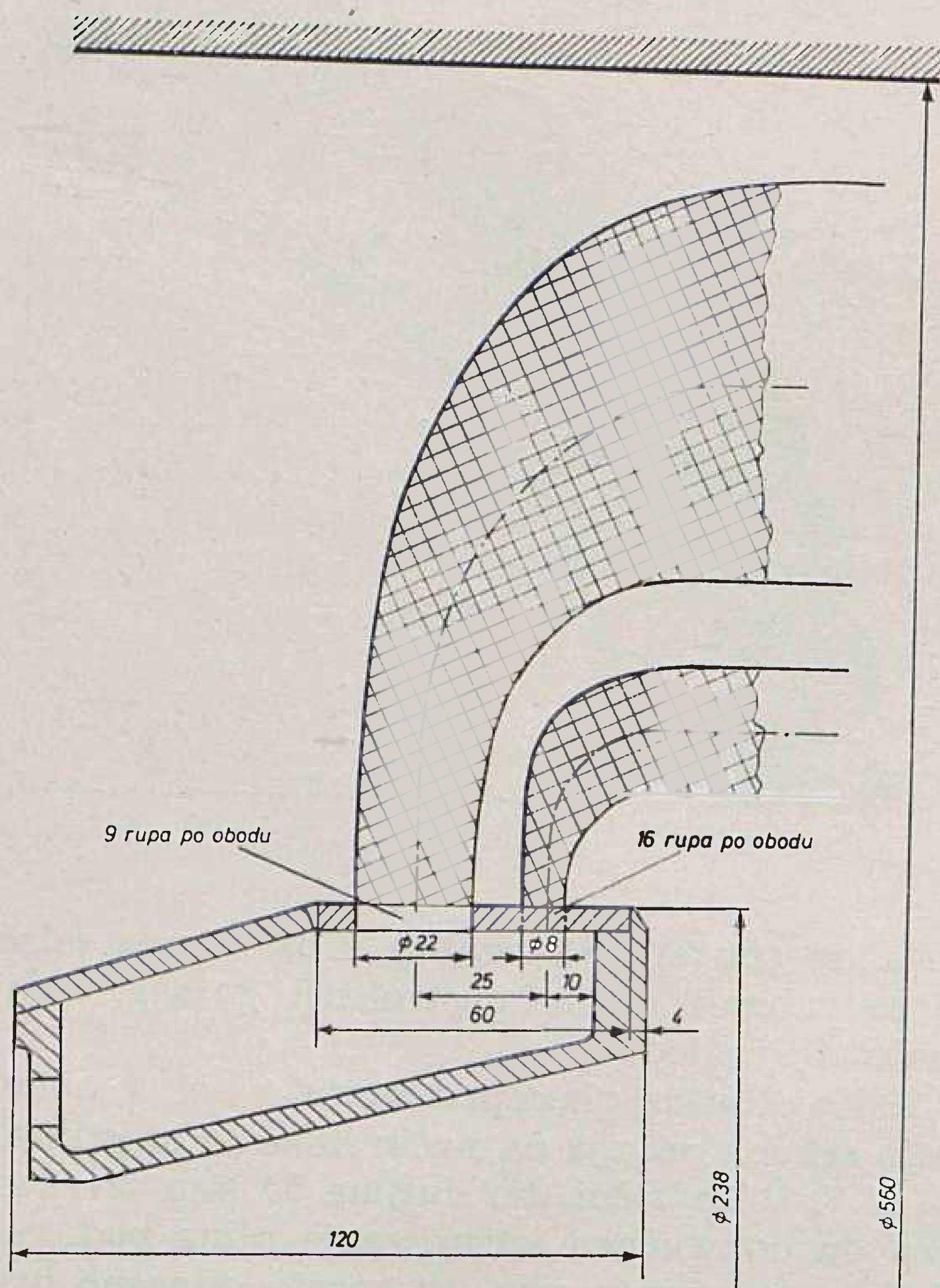


Nakon provedenih analiza i proračuna odredili su se zahvati na rekonstrukciji gorača, koji su obuhvatili slijedeće:

1. Na plinskoj glavi prikazanoj na sl. 3. obavljena je rekonstrukcija na način kako je to prikazano na sl. 7. Cilindrični dio duljine 60 mm izveden je tako da omogućava istrujavanje plina pod kutem od 90° u odnosu prema osi gorača odnosno prema struji zraka. Na cilindričnom dijelu izvele su se



Sl. 6. Raspored plinskih struja u ušću gorača



Sl. 7. Način rekonstrukcije otvora u plinskoj glavi

rupe, i to promjera 22 mm, uz jednoliku raspodjelu po obodu. Na sl. 6. vidljiv je i međusobni položaj rupa 22 mm u odnosu prema rupama $\varnothing 8$ mm. Kod razdiobe rupa osam milimetarske rupe trebaju biti smještene točno između rupa $\varnothing 22$ mm. Osni pomak rupa $\varnothing 22$ mm iznosi 40° , dok osni pomak rupa $\varnothing 8$ mm iznosi 24° .

2. Na plinskoj glavi bilo je nadalje potrebno povećati presjek za dostrujavanje plina u plinsku glavu. Prema priloženoj skici na sl. 3. plin se dovodi u plinsku glavu kroz 12 rupa $\varnothing 14,8$ mm. Da bi se slobodni presjek za dostrujavanje plina povećao, bilo je potrebno izvršiti izrezivanje 4 otvora na plinskoj glavi, i to na način kako je to prikazano na sl. 3. za 1 kvadrant. Pri tome se težilo da ti otvori budu što veći, koliko to konstrukcija ulaznog dijela plinske glave dozvoljava. Pazilo se da ne dođe do oštećenja stijenke koja tvori provrte za 4 vijka s kojima se pričvršćuje glava na centralnu cijev.

3. Isti otvor kao pod 2 izveo se na prstenu debljine 5 mm koji se nalazi između plinske glave i dovodne plinske cijevi. Pri tome se pazilo da otvori na plinskoj glavi i prstenu budu jednaki i da se dobro poklapaju kod montirane plinske glave.

4. Isti otvori kao u točki 2. i 3. izvedeni su i na dovodnoj plinskoj cijevi na koju se pričvršćuje plinska glava zajedno s međuprstenom, i to sa 4 vijka.

Zahvati su se izvršili na oba gorača jednako.

3. ISPITIVANJA I ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

U toku remonta na kotlu 7, koji se obavljao sredinom 1978. godine, učinjeni su i zahvati na rekonstrukciji gorača. Ispitivanja rada kotla s rekonstruiranim goračima provela su se 4. i 5. 10. 1978. Sređeni rezultati mjerenja i ispitivanja dani su u priloženoj tablici 1.

Opažanja koja su se provodila u toku samih ispitivanja pokazala su da su pulzacije plamena potpuno nestale u cijelom području rada gorača. Plamen je u samom ušću bio mnogo življi i oštiji. Nisu zamijećena nikakva vitlanja plamena po ložištu i prenošenja procesa izgaranja u druge promaje. Proces izgaranja potpuno je završavao u ložištu kotla i kod najvećih opterećenja. Nikakve pulzacije i vibracije nisu se primjećivale ni na oplati kotla, ni na vrhu kotla, ni na zračnoj kutiji gorača.

Ispitivanja kvalitete izgaranja pokazala su da je ona vrlo dobra u širokom opsegu regulacije. Veći pretičak zraka uočen je jedino kod opterećenja od 20%, no pri tom je režimu statorka regulacija na usisu ventilatora bila potpuno zatvorena. Smanjivanje količine zraka zatvaranjem konusa dovodilo je do povećanja diferencijalnog tlaka zraka na goraču; do povećavanja brzina zraka u ušću gora-

Tablica 1.

REZULTATI MJERENJA I PRORAČUNA					
Ispitivanje broj		1	2	3	4
Nazivno opterećenje kotla	t/h	80	64	40	20
POGONSKI PODACI					
Količina svježe pare	t/h	80,0	68,2	42,9	17,6
Količina plina za izgaranje	Nm ³ /h	5 400,0	4 400,0	2 610,0	590,0
Količina zraka za izgaranje	Nm ³ /h	62 000,0	52 630,0	35 180,0	20 000,0
Sadržaj O ₂ u dimnim plinovima	%	2,01	1,61	3,60	3,29
Diferencijalni tlak zraka na goračima	mmS. V.	238,7	254,8	138,2	96,8
REZULTATI MJERENJA I PRORAČUNA					
Sadržaj CO ₂ u dimnim plinovima	%	11,95	11,76	11,59	8,63
Sadržaj CO u dimnim plinovima	%	0,022	0,028	0,00	0,00
Temperatura dimnih plinova na izlazu kotla	°C	179,3	160,6	133,1	114,9
Tlak dimnih plinova na izlazu kotla	mmSV	—35,0	—33,5	—35,2	—30,3
Tlak plina za izgaranje iza reducir-ventila	mmSZ	315,3	213,1	86,7	15,9
REZULTATI MJERENJA					
Proračunski CO ₂ max u dimnim plinovima	%	12,174	12,174	12,174	12,174
Proračunski O ₂ preko CO ₂ maks	%	0,39	0,71	1,01	6,11
Pretičak zraka		1,017	1,032	1,045	1,369

ča, što je zbog male količine plina imalo posljedicu nestabilnog plamena. Zbog toga se kod maloga opterećenja Δp zraka na goračima ne smije povećavati iznad određenih vrijednosti.

Bez obzira na u prosjeku manje vrijednosti Δp nakon rekonstrukcije, postignuta kvaliteta izgaranja je vrlo dobra i ni u jednom režimu nije lošija, već je i bolja od prije ostvarene kvalitete izgaranja. Prilikom svih ispitivanja bila je ostvarena velika pouzdanost potpale i stabilnost plamena uz dane vrijednosti.

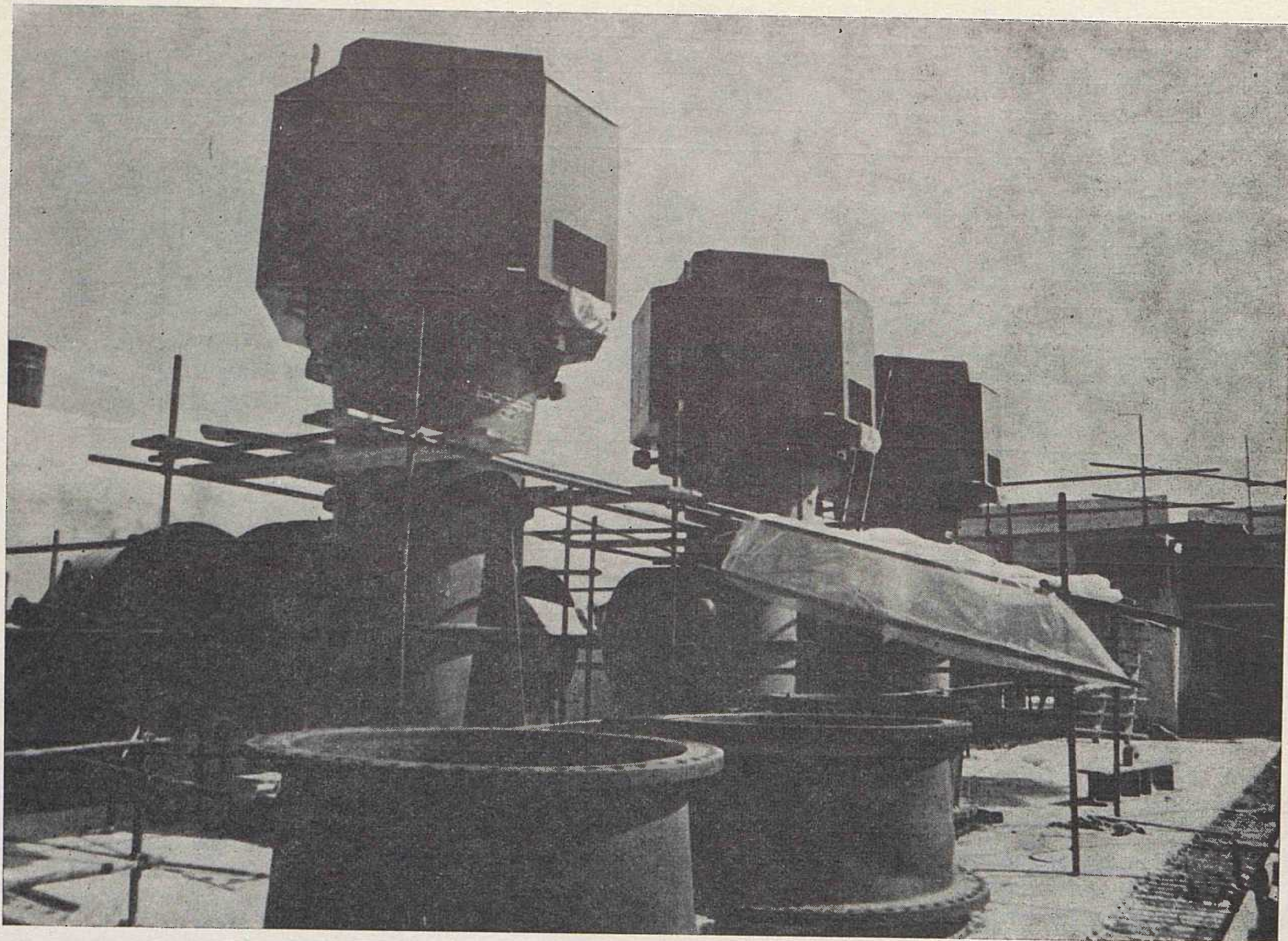
Dosadašnje polugodišnje iskustvo u radu s rekonstruiranim goračima pokazalo je da nisu u

međuvremenu nastupili nikakvi dodatni problemi, što pokazuje uspješnost provedenih zahvata.

SOLVING THE PROBLEM OF PULSATION IN THE FIREPLACE OF BOILER NO. 7 IN THE EL-TO ZAGREB WHEN THE EARTH GAS IS BROVNING

In the article is given description of consequences of pulsation in the fireplace No. 7 in EL-TO Zagreb when the earth gas is burning, analysis and solution of problem, and also resultats of examinations performed after reconstruction is done.

Naslov pisca:
dr Dubravko Matanić, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb



GORNJA TEMPERATURNNA GRANICA PRIMJENE FERITNOG MATERIJALA 10CrMo910

Stjepan Herr, Zagreb

UDK 621.18 : 621.311.22

Na osnovi proračuna pokazana je, uz dozvoljena odstupanja temperature pregrijane pare, mogućnost upotrebe feritnog materijala 10CrMo910 na gornjoj granici primjene. Navedeni su uvjeti koji moraju biti ispunjeni da se osigura pogon unutar računskog vremena primjene.

UVOD

Radi postizanja što manjeg specifičnog potroška pare za proizvodnju električne energije grade se parni kotlovi s relativno visokim tlakovima i temperaturama pregrijane pare. To vrijedi za postrojenja u elektroprivredi i ona u industriji.

Problematiku gornje temperaturne granice razmotrit će se na parnim kotlovima srednjeg učina s prirodnom cirkulacijom loženim kapljevitim ili plinskim gorivom, opisanim u (1) ili sličnih konstrukcija, jer se i kod njih mora računati s ekstremnim temperaturama stijenke.

Gornja granica najvećeg radnog tlaka kotlova s prirodnom cirkulacijom iznosi oko 140 bara. Temperatura pregrijane pare odabire se 525—535°C da bi se sa većom sigurnosti mogao primijeniti još feritni materijal 10CrMo910. Međutim, ne poznavajući dovoljno problematiku nadtemperatura stijene cijevi vis a vis pregrijane pare, projektanti se odlučuju i za 540°C. Ta temperatura pregrijane pare smatra se gornjom temperaturnom granicom primjena feritnog materijala 10CrMo910.

Poznato je da se taj materijal može primijeniti u trajnom pogonu za temperaturu stijene od oko 590°C. Nadalje, kotlovski propisi zahtijevaju da se proračun čvrstoće cijevi pregrijača pare koji kao što je to npr. slučaj kod radijacionog pregrijača pare, računa s najmanje 50°C nadtemperature iznad temperature pregrijane pare, odnosno kod prenosa topline (najvećim dijelom) konvekcijom s najmanje 35°C.

Međutim, stvarne nadtemperature mogu iznositi i znatno više, što će biti kasnije i pokazano na jednom primjeru. Prema tome, stvarne temperature stijene cijevi mogle bi biti više od 590°C te se feritni materijal 10CrMo910 ne bi mogao upotrijebiti.

Stoga je potrebno poznavati uvjete u kojima je još moguća upotreba feritnog materijala 10CrMo910 da se omogući sa dovoljnom sigurnosti nesmetani i dovoljno dug pogon postrojenja. Da bi se oni mogli utvrditi, treba proanalizirati bitne činioce

koji utječu na temperature stijene cijevi odnosno naprezanja.

Debljina stijene cijevi

Prema (2) računa se debljina stijene cijevi (zastvorene na krajevima) opterećene nutarnjim tlakom po niže navedenoj formuli (1). Ona se dimenzionira na osnovi srednjeg usporednog naprezanja dobivenog pomoću teorije najvećih smičnih naprezanja.

$$s = \frac{d_v \cdot p}{(2 \cdot \sigma_{doz}^{-p}) \cdot v + 2p} + c_1 + c_2$$

gdje je:

s	mm	debljina stijene cijevi
d_v	mm	vanjski promjer cijevi
p	N/mm ²	računski tlak
$\sigma_{doz} = \frac{K}{S}$	N/mm ²	dozvoljeno naprezanje
K	N/mm ²	računska čvrstoća
S		koeficijent sigurnosti
v_1		koeficijent oslabljenja šava
c_1	mm	dodatak radi tolerance debljine stijene
c_2	mm	dodatak radi istrošenja

Točnost rezultata dobivenih po formuli (1) još zadovoljava uz uvjet $d_v/d_n \leq 2$, gdje je d_n nutarnji promjer cijevi.

Uz zadani računski tlak, temperaturu pare i materijal, jedino odabiranjem manjih vanjskih promjera cijevi može se relativno malo utjecati na debljinu stijene. Kod relativno visokog tlaka od oko 140 bara moraju se obično odabrati cijevi vanjskog promjera 31,8 mm i niže da se ne bi prekoračila debljina stijena od 6,3 mm.

Ta debljina stijene je, kao što će se kasnije pokazati, granična vrijednost koja se nerado prekoračuje, jer razlika u temperaturi između vanjske i unutarnje strane cijevi postaje prevelika, a time i dodatna toplinska naprezanja.

Treba spomenuti da se prema [2] već računa s karakteristikom najmanje čvrstoće (njemački: Zeitstandfestigkeitkennwert) kod 200.000 $\sigma_{B/200\,000}$ (a to je naprezanje materijala pri povišenim temperaturama, kod kojih nakon 200 000 sati opterećenja nastaje lom), dok se ranije (jer nije bilo dovoljno dugotrajnih ispitivanja) računalo s karakteristikom srednje čvrstoće kod 100 000 sati, tj. sa $\sigma_{B/100\,000}$. U ovom članku će se, radi mogućnosti bolje usporedbe, ostati kod vrijednosti koja se odnosi na 100 000 sati.

Primjedba: s obzirom na disperziju rezultata ispitivanja uzima se da je $\sigma_{B/sati} = 0,8 \sigma_{B/sati}$.

Primjer:

$$p = 142 \text{ bara} = 14,2 \text{ N/mm}^2$$

$$K = \sigma_{B/100\,000} = 35,0 \text{ N/mm}^2 \text{ za } 10 \text{ CrMo910 kod } 590^\circ\text{C}$$

$$S = 1,5$$

$$v = 1$$

$$c_1 = 0$$

$$c_2 = 0$$

$$d_v = 38 \text{ } \varnothing \text{ mm}$$

$$d_v = 31,8 \text{ } \varnothing \text{ mm}$$

$$d_v = 26,9 \text{ } \varnothing \text{ mm}$$

$$d_v = 25 \text{ } \varnothing \text{ mm}$$

$$s = 8,87 \text{ mm}$$

$$s = 7,40 \text{ mm}$$

$$s = 6,27 \text{ mm}$$

$$s = 5,80 \text{ mm}$$

Iz primjera je vidljivo da uz navedene računske vrijednosti cijev promjera 26,9 mm prva zadovoljava jer je potrebna debljina cijevi manja od 6,3 mm.

Primjedba: U slučaju potrebe može se uz poznatu debljinu stijene cijevi izračunati naprezanje na osnovi formule (1) kako slijedi:

$$\bar{\sigma}_u = \frac{p}{2} \left[\frac{1}{v} \left(\frac{d_a}{s} - 2 \right) + 1 \right] \quad (1a)$$

To je srednje usporedno naprezanje dobiveno na osnovi teorije najvećih smičnih naprezanja. Za cijev promjera 26,9 mm uz debljinu stijene $s = 6,3$ mm iznosilo bi naprezanje $\bar{\sigma}_u = 23,2 \text{ N/mm}^2$

TEMPERATURA DIMNIH PLINOVA

Kod navedenih kotlova loženih kapljevitim i plinovitim gorivom temperatura dimnih plinova na izlazu iz ložišta, a time i na ulazu u pregrijač pare, relativno je visoka. Ona iznosi oko 1 050 — 1 250°C. Ne smije se zaboraviti da je kod tlaka od oko 140 bara toplina isparavanja svega 1 100 kJ/kg, tj. da se rastućim tlakom smanjuju potrebne ložišne površine kotla.

Time se samo po sebi nameće viša temperatura dimnih plinova na izlazu iz ložišta.

Da bi se odredile kritične nadtemperature stijene cijevi, treba promatrati vijuge na mjestu gdje su temperature pare i temperature dimnih plinova najveće.

Prema [3] može se kod pretežnog konvektivnog prelaza topline srednja gustoća toplinskog toka $\bar{q}$ na promatranom dijelu vijuge izračunati po formuli

$$q = (t_{pl} - t_m) \cdot k,$$

gdje je:

t_{pl}	$^\circ\text{C}$	temperatura dimnih plinova
t_m	$^\circ\text{C}$	temperatura pregrijane pare
k	$\text{W/m}^2\text{K}$	koeficijent prolaza topline.

Očito je da će gustoća biti to veća što je t_{pl} veća, a uz ostale konstantne vrijednosti. Zato je kod temperature pare od 540°C potrebno smjestiti, kada se želi primijeniti feritni materijal 10CrMo910, izlazni dio pregrijača pare u područje nižih temperatura dimnih plinova.

To znači da npr. kod pregrijača pare (PP) sa dva hladnjaka pare treba ugraditi pregrijače pare u redoslijedu PP II — PP III — PP I.

Ako ni taj redoslijed nije dovoljan, treba PP III ugraditi u sustruji s dimnim plinovima, a ne u protustruji.

Primjer:

$$t_{pl} = 1\,200 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_p = 540 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$k = 80 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\bar{q} = 52\,800 \text{ W/m}^2$$

$$t_{pl} = 920 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t = 540 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$k = 80 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\bar{q} = 30\,400 \text{ W/m}^2$$

$$t_{pl} = 810 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_p = 540 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$k = 80 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\bar{q} = 21\,600 \text{ W/m}^2$$

Očito je dominantan utjecaj temperature dimnih plinova na srednju gustoću toplinskog toka $\hat{q}$, a time i na najveću gustoću (definiranu u [4]) koja je mjerodavna za proračun nadtemperature.

Činjenica je da srednja log. razlika temperatura, primjenom redoslijeda ugradnje PP II — PP III — PP I pada u PP III, ali raste u PP II. Sveukupno ipak nije potrebno bitno veća ukupna ogrjevna površina pregrijača pare.

Treba upozoriti da izlazna temperatura pregrijane pare u PP II ne bi smjela prijeći 500°C, jer se inače ne bi mogao PP II izvesti od feritnog materijala.

KOEFICIJENT PROLAZA TOPLINE k

Prema jednadžbi (2) može se srednja gustoća toplinskog toka $\hat{q}$ smanjiti i smanjenjem koeficijenta prolaza topline k . Pošto se sa smanjenjem k povećava potrebna ogrjevna površina, to ovako rješenje praktički ne dolazi u obzir. Može se eventualno, u slučaju potrebe, dozvoliti smanjenje k za oko 10%, jer se $\bar{q}$ može uz utjecaj drugih faktora održati unutar granica koja omogućava upotrebu feritnog materijala.

Ne treba odabirati ni ekstremne vrijednosti k (kao što su 110 W/m²K i više) jer povećavaju $\bar{q}$, a i otpore strujanja na strani dimnih plinova.

KOEFICIJENT PRIJELAZA TOPLINE α_n

Uz ranije navedene faktore koeficijent prijelaza topline sa stijene cijevi na paru α_n bitno utječe na kritične trenutke stijene cijevi.

Za proračun najveće temperature na vanjskoj odnosno unutarnjoj strani stijene cijevi vrijede ovi izrazi:

$$t_v = t_m + \frac{\hat{q} d_v}{\alpha_n d_n} + \frac{\hat{q} d_v}{\lambda_c} \ln \frac{d_v}{d_n} \quad (3)$$

$$t_n = t_m + \frac{\hat{q} d_v}{\alpha_n d_n} \quad (4)$$

Poželjno je da α_n bude što veći. Međutim, budući da se povećanje α_n postiže povećanjem brzina strujanja pare w m/sek. odnosno protoka $G = w \cdot \gamma$ kg/m²sek, a oni prouzrokuju veće otpore strujanja, to treba ovo uzeti u obzir. Prema DIN standardu određeni su gubici strujanja pare u pregrijaču pare u ovisnosti o najvećem dozvoljenom radnom tlaku u parnom kotlu.

Traži li se konstantnost temperature pregrijane pare već od nižih tereta (npr. 60% opterećenja), potrebne su veće ogrjevne površine pregrijača pare te uz to treba predvidjeti i dva hladnjaka pare, pa tada standardima predviđeni iznosi gubitaka strujanja (koji uključuju sve gutke od izlaza iz bubnja do izlaza iz pregrijača pare) nisu dovoljni.

Prema tome, u odabiranju α_n smo ograničeni i treba odabrati optimum koji će osigurati još dovoljno niske nadtemperature na vanjskoj odnosno unutarnjoj strani stijene cijevi,

$$\Delta t_v = t_v - t_m$$

$$\Delta t_n = t_n - t_m$$

a da uz to otpori strujanja nisu bitno veći od propisanih standardom.

To će se ilustrirati izvatkom iz proračuna kod kojeg gubici strujanja nisu bili veći od 20% iznad onih po standardu, a da su uz to nadtemperature takve da dozvoljavaju primjenu feritnog materijala kako slijedi:

$$\begin{aligned} q &= 44\,700 \text{ W/m}^2 & d_v &= 26,9 \text{ mm} \\ \alpha_n &= 4\,600 \text{ W/m}^2\text{K} & s &= 6,3 \text{ mm} \\ \lambda_c &= 32,8 \text{ W/mK za loCrMo910 kod } 590^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\Delta t_v = \frac{44\,700 \cdot 26,9}{4\,600 \cdot 14,3} + 44\,700 \cdot \frac{0,0269}{2} \ln \frac{26,9}{14,3} \cdot \frac{1}{32,8}$$

$$\Delta t_v = 18,3 + 11,6 = 29,9^\circ\text{C}, \text{ a}$$

$$\Delta t_n = 18,3^\circ\text{C}$$

odnosno

$$t_v = 569,9^\circ\text{C}$$

$$t_n = 558,3^\circ\text{C}$$

Cijevi pregrijača pare, iako nisu izložene izravnom utjecaju plamena u ložištu, mogu u slučaju smještaja u području temperature dimnih plinova od oko 1 200°C imati na kritičnim mjestima cijevi gustoću toplinskog toka $q = 85\,000 \text{ W/m}^2$ i više.

Povećamo li u gornjem primjeru gustoću toplinskog toka na dvostruku vrijednost, a uz nepromijenjene ostale vrijednosti, nadtemperature Δt_v i Δt_n bit će dvostruke, tj.

$$\Delta t_v = 59,8^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_n = 36,6^\circ\text{C}$$

Prema tome, obje nadtemperature veće su od najmanje dozvoljene predviđene propisom, tj. od 35°C.

Iz primjera je također odmah vidljivo da nije moguće ugraditi pregrijačke cijevi s visokim temperaturama pregrijane pare u području izravnog isijavanja plamena, a da se omogući trajan i siguran pogon.

NEJEDNOLIKOST t_m U POJEDINIM VIJUGAMA

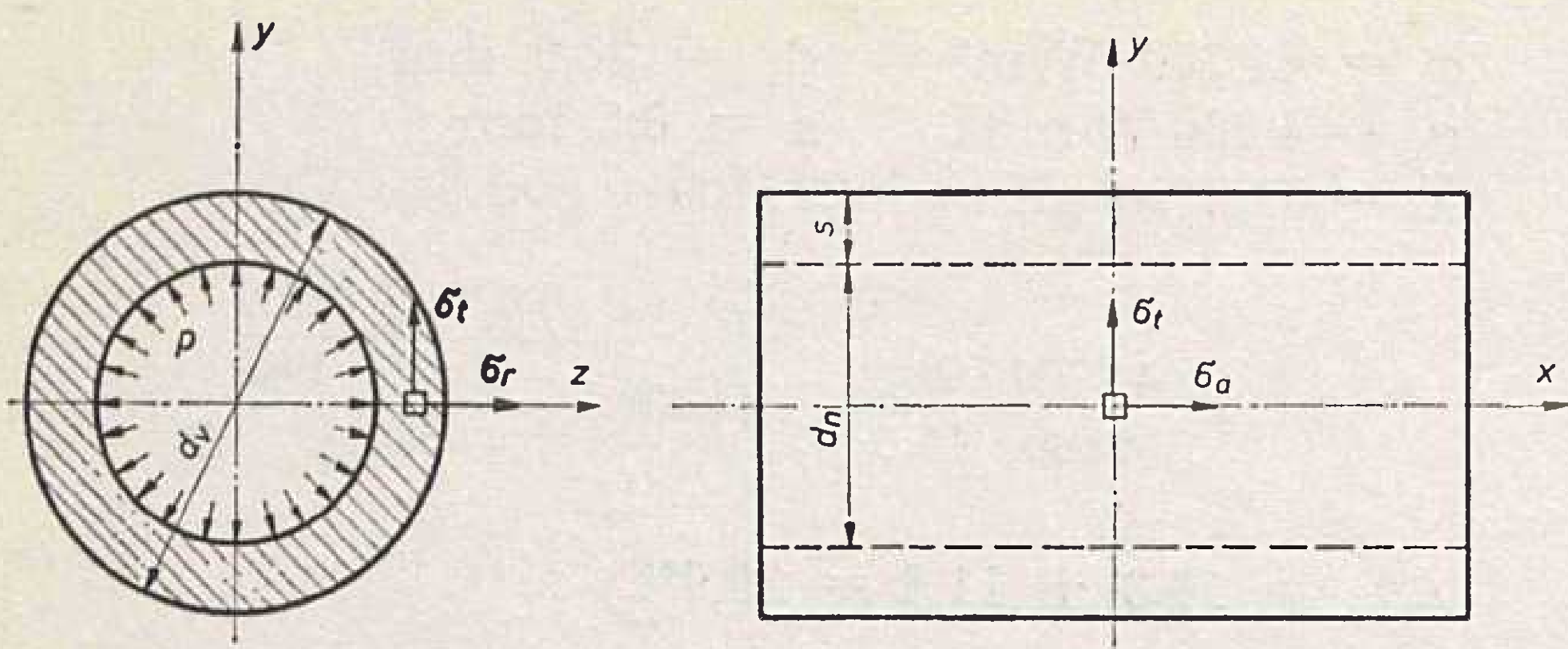
Temperatura pregrijane pare u svim vijugama pregrijača pare po širini dimnog kanala nije jednaka. Ona može znatno odstupati od računske odnosno potrebne. Odstupanje ovisi o mnogo faktora kao što su: broj gorača, mjesto ugradnje gorača, otperećenje volumena ložišta, veličina dimnog kanala, nejednolikosti brzine strujanja dimnih plinova, dužina vijuga itd.

Izmjerena su odstupanja i veća od 30°C. Kod modernih, pažljivo i stručno razrađenih konstrukcija ona ne bi smjela biti veća od 15°C. (Poznata su kod velikih i najvećih jedinica i odstupanja od svega 5—7°C postignuta ugradnjom gorača po cijelom opsegu ložišta kotla!)

Uz odstupanje od 15°C temperatura pare može umjesto 540°C iznositi 555°C, a to znači da će biti

$$t_v = 584,8^\circ\text{C}$$

$$t_n = 573,2^\circ\text{C}$$



Sl. 1.

TOLERANCA U REGULACIJI TEMPERATURA

Danas se zahtijeva, naročito ako se radi o ekstermno visokim temperaturama pregrijane pare, regulacija temperature sa $\pm 5^\circ\text{C}$. Ona se može postići ugradnjom dvaju hladnjaka pare, kao i s relativno malenom ogrjevnom površinom izlaznog pregrijača pare, tj. P III.

Radi postizanja tolerance od $\pm 5^\circ\text{C}$ treba od proizvođača mjernoregulacione opreme zahtijevati da propiše najveću masu (težinu) koja smije biti ugrađena u PP III. Projektantu kotla može, međutim, kao prva informacija poslužiti niže navedeni izraz dobiven na osnovi podataka navedenih u [5].

$$\tau = 450 \frac{G_{Fe}}{D} \leq 50 \text{ sek} \quad (6)$$

gdje je

G_{Fe} t ugrađena masa čelika

D t/h učin parnog kotla.

Primjer:

$G_{Fe} = 9,5 \text{ t}$

$D = 100 \text{ t/h}$

$$\tau = 450 \frac{9,5}{100} = 42,8 \text{ sek} < 50 \text{ sek.}$$

Prema formuli (6) može se odmah zaključiti da će za regulaciju temperature pregrijane pare biti povoljnija cijev s tanjom stijenom kod inače jednake dužine vijuge pregrijača pare.

Budući da je regulacijom dopušteno odstupanje od $+5^\circ\text{C}$, iznositi će najveća temperatura pregrijane pare $540 + 15 + 5 = 560^\circ\text{C}$, odnosno

$$t_v = 589,9 \approx 590^\circ\text{C}$$

$$t_n = 578,3 \approx 580^\circ\text{C}$$

Dobivena temperatura na vanjskoj strani cijevi, kao što je vidljivo, jednaka je temperaturnoj granici primjene feritnog materijala loCrMo910 tj. 590°C .

Treba odmah upozoriti da prekoračenje ove temperature može znatno skratiti kritično vrijeme, tj. vrijeme nakon kojeg može doći do loma materijala. Proračun, kao što je već rečeno, baziran je u ovom članku na karakteristikama srednje čvrstoće nakon 100 000 h opterećenja pri pogonskoj temperaturi, tj. $\sigma_{B/100\,000}$, a s koeficijentom sigurnosti 1,5.

Promotrimo li stanje sa $\sigma_{B/200\,000}$ i koeficijentom sigurnosti 1, kao što je to po [2] predviđeno, može se utvrditi da bi moglo doći do loma otprilike nakon 187 000 pogonskih sati ako temperatura vanjske strane cijevi za vrijeme pogona iznosi 590°C .

Može se primijetiti da koeficijent sigurnosti u proračunu čvrstoće iznosi 1,5, dok je istovremeno u promatranom slučaju vremenski koeficijent sigurnosti 1,87!

Ako bi pogonska temperatura pregrijane pare stalno iznosila 545°C , a to znači u najkritičnijoj cijevi $545 + 15 + 5 = 565^\circ\text{C}$ odnosno temperatura stijene cijevi 595°C (iako to nije dozvoljeno jer bi materijal cijevi imao višu temperaturu nego što se u trajnom pogonu preporuča), tada treba očekivati lom već nakon oko 140 000 pogonskih sati. Oba vremena za lom mogu se očitati prema slici 3. iz log-log dijagrama »vrijeme — naprezanje« kod pripadajućih temperatura, a za stvarno srednje naprezanje cijevi $\bar{\sigma}_u = 23,2 \text{ N/mm}^2$ (koje je ranije izračunato).

TOPLINSKA NAPREZANJA

Ranije je navedeno da se nastoje izvesti cijevi koje nisu deblje od 6,3 mm. To zato da bi nadtemperature Δt_v i Δt_n odnosno razlika temperature na vanjskoj i unutarnjoj strani cijevi $\Delta t = \Delta t_v - \Delta t_n$ bile što manje.

Ne smije se zaboraviti da kod manjih promjera cijevi veća debljina stijene cijevi nepovoljno utječe na Δt_v , Δt_n odn. Δt . Npr., prijeđe li se kod cijevi 26,9Ø od debljine 4 na 6,3 mm, Δt se povećava za oko 80%.

Razlika temperature Δt prouzrokuje toplinsko naprezanje na vanjskoj odnosno unutarnjoj strani stijene cijevi, i to u tangencijalnom smjeru. Ona se mogu izračunati po [3], a napisana u transformiranom obliku glase:

$$\sigma_{\tau_v} = \frac{E\alpha\Delta t}{2(1-\mu)} \cdot y \quad (7)$$

$$\sigma_{\tau_n} = \frac{E\alpha\Delta t}{2(1-\mu)} \cdot x, \quad (8)$$

gdje je

E N/mm² modul elastičnosti
 α 10⁻⁶/K linearni toplinski koeficijent produljenja
 μ Poissonov koeficijent
 $u = d_v/d_n$

$$x = \frac{2u^2}{u^2 - 1} - \frac{1}{\ln u}$$

$$y = \frac{2}{u^2 - 1} - \frac{1}{\ln u}$$

Izračuna li se naprezanje za cijev promjera 26,9 mm i debljine stijene 6,3 mm uz razliku $t = 11,6^\circ\text{C}$ te sa $E = 168\,000\text{ N/mm}^2$, $\alpha = 14 \cdot 10^{-6}/\text{K}$, $\mu = 0,3$ ono bi iznosilo:

$$\sigma_{\tau v} = -15,5\text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\tau n} = +23,5\text{ N/mm}^2$$

Ako bi Δt bio veći, npr. dvostruk zbog dvostruko veće vrijednosti $\hat{q}$, tj. $\Delta t = 59,8 - 36,6 = 23,2^\circ\text{C}$, bila bi naprezanja dvostruko veća, tj. $\sigma_{\tau v} = -31,0\text{ N/mm}^2$, odnosno $\sigma_{\tau n} = +47,0\text{ N/mm}^2$ pa se ne bi mogao više primijeniti feritni materijal.

NAPREZANJA ZBOG UNUTARNJEG TLAKA

Radi dobivanja potpune slike o naprezanjima u cijevi opterećenoj unutarnjim tlakom potrebno je ova izračunati na kritičnim mjestima. To je unutarnja odnosno vanjska strana stijene cijevi. Za cijev koja je na krajevima zatvorena, a opterećena nutarnjim tlakom, mogu se prema [6] izračunati naprezanje kako slijedi:

Tangencijalni smjer — vanjska strana

$$\sigma_{\tau v} = p \frac{2}{u^2 - 1} \quad (9)$$

Tangencijalni smjer — unutarnja strana

$$\sigma_{\tau n} = p \frac{u^2 + 1}{u^2 - 1} \quad (10)$$

Aksijalni smjer — vanjska ili unutarnja strana

$$\sigma_{av} = \sigma_{an} = p \frac{1}{u^2 - 1} \quad (11)$$

Radijalni smjer — vanjska strana

$$\sigma_{rv} = 0$$

Radijalni smjer — unutarnja strana

$$\sigma_{rn} = -p$$

Izračunamo li naprezanje za cijev promjera 26,9 mm i debljine stijene 6,3 mm kod tlaka $p = 142\text{ bara} = 14,2\text{ N/mm}^2$, prema navedenim formulama dobit ćemo:

$$\sigma_{\tau v} = +11,2\text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{\tau n} = +25,4\text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{av} = +5,6\text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{an} = +5,6\text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{rv} = +0\text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{rn} = -14,2\text{ N/mm}^2$$

Kao što je vidljivo, najveća naprezanja javljaju se na unutarnjoj strani stijene cijevi.

Budući da je cijev troaksijalno napregnuta, trebalo bi izračunati usporedno naprezanje. Za materijale koji dobro podnose plastične promjene teorija najveće deformacione energije daje dobra približenja i omogućuje da se uzmu u obzir naprezanja u sva tri smjera. Zato ćemo je i primijeniti.

Usporedna naprezanja izračunana po formuli (13) odnosno (14) (koje su navedene u slijedećem odlomku) iznosile bi:

$$\sigma_{uv} = 9,7\text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{un} = 34,3\text{ N/mm}^2$$

Ranije smo izračunali temperature

$$t_v = 589,9 \approx 590^\circ\text{C}$$

$$t_n = 578,3 \approx 580^\circ\text{C}$$

Za te temperature pripadajuća dozvoljena naprezanja, uz koeficijent sigurnosti 1,5, za materijal loCrMo910 iznose

$$\sigma_{dv} = 23,3\text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{dn} = 27,3\text{ N/mm}^2$$

Vidimo da je na kritičnoj nutarnjoj strani cijevi $\sigma_{un} > \sigma_{dn}$ pa koeficijent sigurnosti iznosi 1,2 umjesto 1,5. Međutim, budući da je po [2] dozvoljen proračun debljine stijene na osnovi srednjeg usporednog naprezanja (teorija najvećih smičnih naprezanja), gornji proračun usporednih naprezanja na osnovi teorije najveće deformacione energije nije potreban, osim onda ako postoje uz unutarnji tlak i dodatna opterećenja (sile i momenti), odnosno dodatna naprezanja (toplinska) koja djeluju na cijev.

USPOREDNA NAPREZANJA

Budući da osim unutarnjeg tlaka djeluju i toplinska naprezanja, treba računati usporedna naprezanja kako slijedi:

$$\sigma_{uv} = \sqrt{\sigma_{\tau v}^2 + \sigma_{\tau v}^2 - \sigma_{1v} \sigma_{2v}} \quad (13)$$

$$\sigma_{un} = \sqrt{0,5 [(\sigma_{1n} - \sigma_{2n})^2 + (\sigma_{2n} - \sigma_{3n})^2 + (\sigma_{3n} - \sigma_{1n})^2]} \quad (14)$$

gdje je uz već prije izračunane vrijednosti

$$\sigma_{1v} = \sigma_{av} = 5,6 = +5,6\text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{2v} = \sigma_{\tau v} + \sigma_{\tau v} = +11,2 - 15,5 = -4,3\text{ N/mm}^2$$

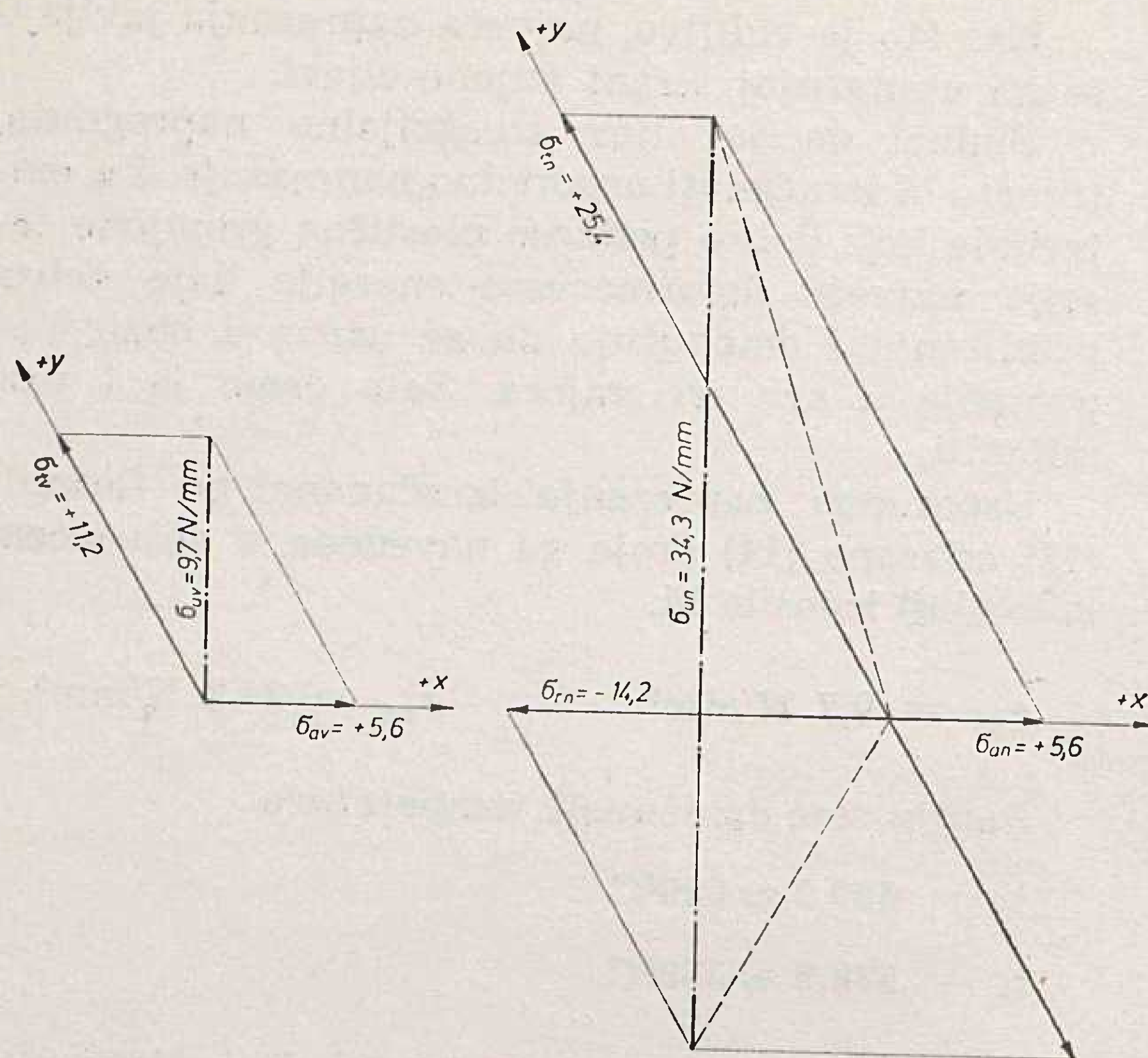
$$\sigma_{1n} = \sigma_{an} = 5,6 = +5,6\text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{2n} = \sigma_{\tau n} + \sigma_{\tau n} = +25,4 + 23,5 = +48,9\text{ N/mm}^2$$

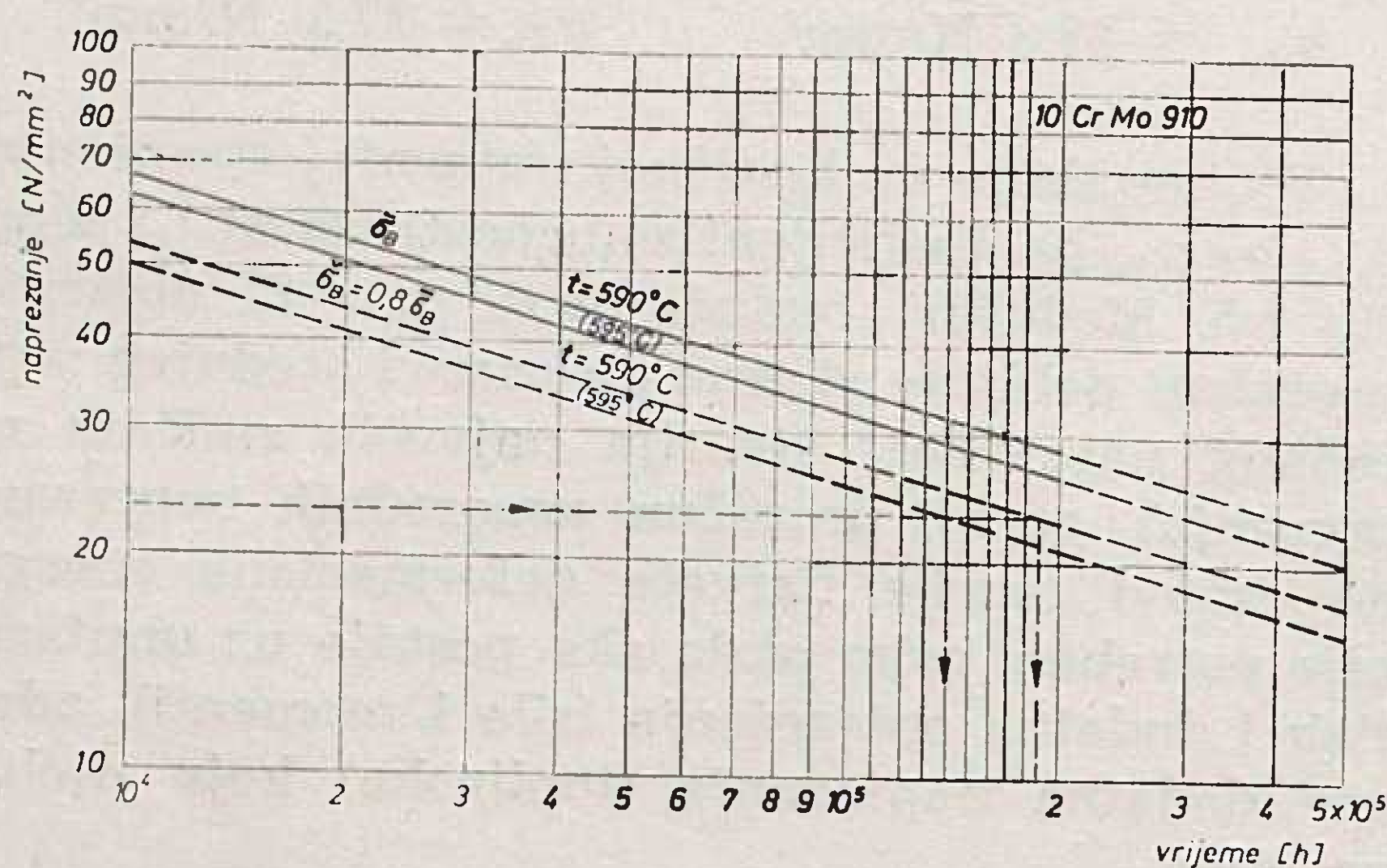
$$\sigma_{3n} = \sigma_{rn} = -14,2 = -14,2\text{ N/mm}^2$$

Uvrstimo li izračunane vrijednosti u jednadžbu (13) i (14), dobit ćemo konačno

$$\sigma_{uv} = 8,6\text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{un} = 55,96\text{ N/mm}^2$$



Sl. 2.



Sl. 3.

Na sl. 2 određena su ova usporedna naprezanja grafičkim putem (koji je objašnjen u slijedećem odlomku).

Budući da je promatrana cijev pregrijača pare oblikovana kao vijuga (nošena posebnim nosećim cijevima), to na takvu cijev ne djeluju vanjske sile i momenti, pa stoga treba naći mjerodavno usporedno naprezanje kako je u nastavku navedeno.

Umjesto numeričkog načina može se primijeniti prema [7] i grafički način određivanja usporednih naprezanja σ_{uv} i σ_{un} . On može poslužiti i kao kontrola.

U kosokutni koordinatni sistem pod kutem od 120° između osi $+x$ i $+y$ (sl. 2) treba na plus osi nanijeti pozitivne vrijednosti naprezanja σ_{ln} , odnosno σ_{sn} , te vektorski način rezultantu. Isto tako treba na obje osi nanijeti pozitivne vrijednosti naprezanja σ_{sn} i vektorski način fiktivnu rezultantu. Ako je σ_{sn} negativno, kao što je to ovdje slučaj, treba vrijednosti σ_{sn} nanijeti na minus osi x i y . Spojnica obiju rezultanti daje traženo usporedno naprezanje σ_{un} . Ako je $\sigma_s = 0$ (tj. bilo σ_{sn} ili

σ_{sv}), tada je vektorska rezultanta ujedno usporedno naprezanje.

Pripadajuće temperature koje smo prije izračunali iznose

$$t_v = 590^\circ\text{C}$$

$$t_n = 580^\circ\text{C}$$

Pošto smo izračunali usporedna naprezanja koja uključuju i toplinska naprezanja to ona mogu biti veća od $\sigma_{B/100\ 000}/1,5$, ali moraju biti, kao što je obrazloženo u [3], manja od $2\sigma_{1/100\ 000}$, gdje je $\sigma_{1/100\ 000}$ naprezanje pri povišenim temperaturama koje proizvodi produženje od 1% nakon 100 000 sati opterećenja.

Prema tome smije biti

$$\sigma_{dv} < 52\ \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{dn} < 60\ \text{N/mm}^2,$$

a to konačno znači da je kritično usporedno naprezanje $\sigma_{un} = 55,9$ manje od $\sigma_{dn} = 60\ \text{N/mm}^2$.

Time je ujedno pokazano da je moguće primijeniti feritni materijal 10CrMo910 kod $t_m = 540^\circ\text{C}$, $p = 142$ bara, $d_v = 26,9$ mm, $s = 6,3$ mm, $\hat{q} = 44\ 700\ \text{W/m}^2$ i $\alpha_n = 4\ 600\ \text{W/m}^2\text{K}$.

VISOKOTEMPERATURNNA KOROZIJA

Zbog sadržaja vanadija u gorivu može, iznad određenih temperatura stijene cijevi, doći do visokotemperaturne koroziije. Prema [8] smatra se da treba ponovno preispitati mehanizam nastanka visokotemperaturne koroziije. No i nadalje, budući da ni u novije vrijeme nije na izvedenim postrojenjima povećana visokotemperaturna koroziija, može se kao još dopustiva gornja temperaturna granica uzeti vanjska temperatura cijevi od najviše 590°C .

Prema tome, ne samo sa stajališta čvrstoće nego i sa stajališta visokotemperaturne koroziije dopuštena je gornja temperatura stijene.

OPĆENITO

Prikazani način proračuna odnosno naprezanja treba računati na kritičnim mjestima. Ne smiju se uzimati u račun srednje odnosno najveće gustoće toplinskog toka izračunate za cijelu površinu pregrijača pare, tj. $q = Q_{PP}/F$ [W/m^2], gdje je Q_{PP} [W] predana toplina u pregrijaču pare, a F_{PP} [m^2] ogrjevna površina.

Treba naročito naglasiti da ni izlazna ogrjevna površina pregrijača pare ne smije biti prevelika. Nadalje, broj gorača bitno utječe na jednolikost temperature pare u pojedinim vijugama, pa treba oprezno odrediti dodatak za nejednolikost.

Uopće treba računati tako da račun bude na strani veće sigurnosti. Kod novih konstrukcija

nužna su kontrolna mjerenja da bi se dobile eventualne potrebne korekture za proračun slijedećih jedinica.

ZAKLJUČAK

Na osnovi prikazanog proračuna moguća je upotreba feritnog materijala 10CrMo910 za temperaturu pregrijane pare od 540°C kod najvećeg dozvoljenog radnog tlaka od 142 bara ako:

- promjer cijevi nije veći od 26,9 mm,
- debljina stijena cijevi iznaša 6,3 mm,
- temperatura dimnih plinova na ulazu u izlazni pregrijač pare (PPIII) nije veća od oko 800°C,
- se izlazni pregrijač pare (PP III) izvede u sustruji s dimnim plnovima,
- se izlazni pregrijač pare (PP III) ugradi u redoslijedu u PP II — PP III — PP I,
- se odaberu odgovarajući protoci tako da ni gubici strujanja na strani pare nisu previsoki,
- se ogrjevna površina izlaznog pregrijača pare (PP III) ne izvede prevelika da bi time razlike u temperaturama pare u pojedinim vijugama bile što manje i omogućile elastične regulacije temperature pare,
- temperatura pregrijane pare na izlazu iz srednjeg pregrijača pare (PP II) nije veća od 500°C,
- se predvide dva hladnjaka pare,

- se temperatura pregrijane pare od 540°C regulira s tolerancijom od $\pm 5^\circ\text{C}$,
- je usporedno naprezanje zbog unutarnjeg tlaka i razlike temperature stijene cijevi Δt manje od $2 \cdot \sigma_{1/100\ 000}$.

LITERATURA

- [1] S. Herr, »Parni kotlovi srednjeg učina«, Strojarstvo 1977. br. 2.
- [2] DDA, »Technische Regeln für Dampfkessel« TRD 300 i 301, izdanje IV 1975.
- [3] M. Ledinegg, »Dampferzeugung« 1966.
- [4] S. Herr, »Temperatura stijene cijevi i rebra«, Strojarstvo 1979 br. 1.
- [5] G. Klefenz, »Einfaches Berechnungsverfahren für die Dampftemperatur — Regelung von Dampferzeugung«, Mitteilungen der VGB 1961, sv. 72.
- [6] S. Schwaigerer, »Festigkeitsberechnung von Bauelementen des Dampfkessel — Behälter und Rohrleitungsbaues«, 1970.
- [7] E. A. Lehmann, »Die bildliche Darstellung der Vergleichspannung«, Schweiz. Bauzeitung 1949.
- [8] K. Kautz i H. Kirsh, »Zum Einfluss des Vanadiums auf die Hochtemperaturkorrosion in ölgefeuerten Kesseln«, Mitteilungen der VGB 1973. sv. 9.

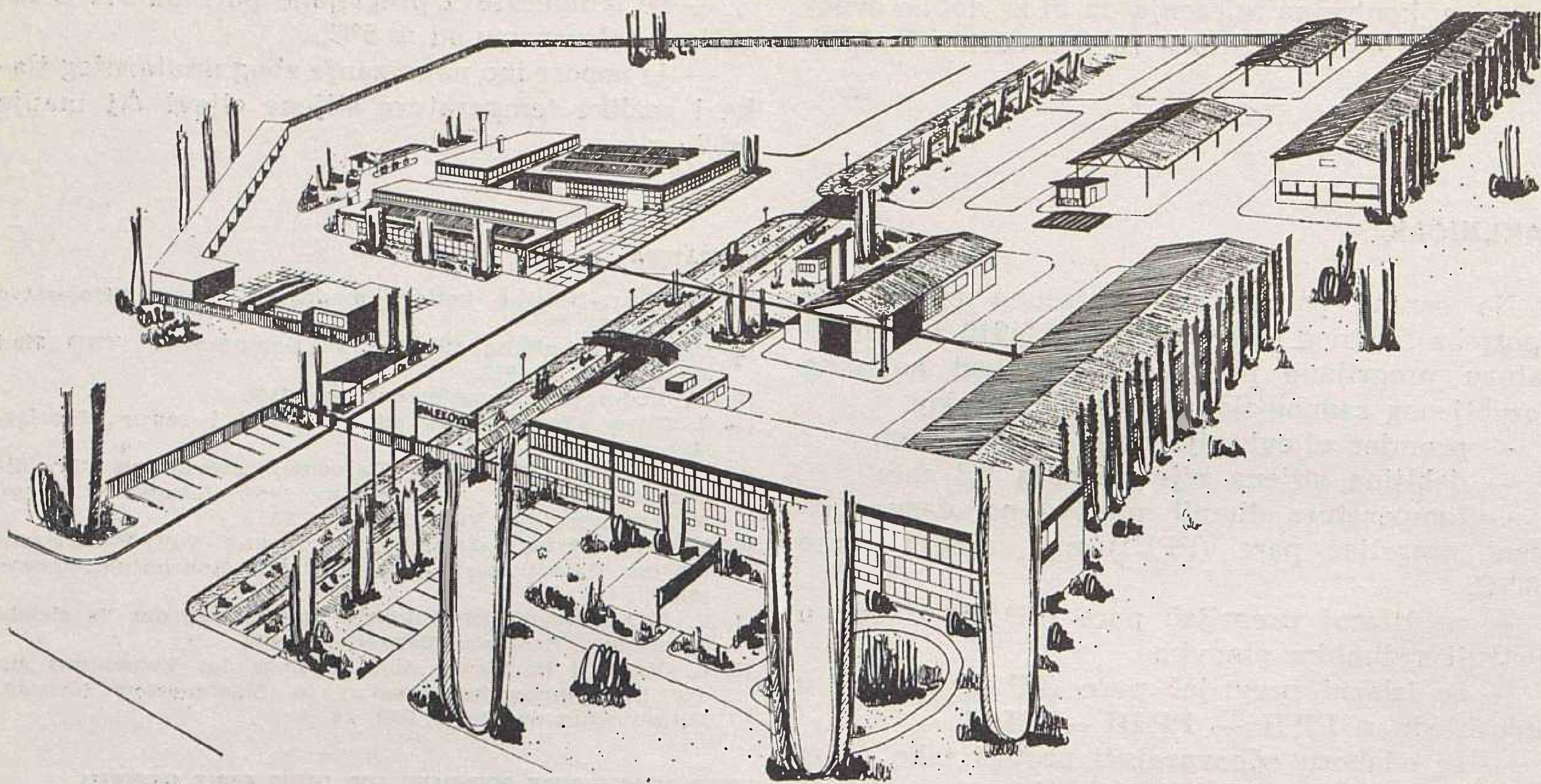
UPPER TEMPERATURE BOUNDARY FOR USING FERIT MATERIAL 10CrMo910

On the basement of calculations, in the article are presented allowable ranges of temperature overheated steam for using ferit material 10CrMo910. There are stated conditions that have to be fulfilled for operation within calculated time for use.

Naslovo pisca:

Stjepan Herr, dipl. ing.

Tvornica parnih kotlova, Zagreb



KUDA S NUKLEARNIM OTPACIMA

Kod radioaktivnih otpadaka razlikujemo otpatke sa slabim, srednjim i velikim zračenjem.

Kod plinovitog radioaktivnog otpada odvajaju se posebnim postupcima radioaktivni elementi; nakon toga sa njima se postupa kao i s ostalim radioaktivnim otpadom. Inače se stvara niz radioaktivnih otpadaka, pa zbog toga postoji i niz sistema za njihovu izolaciju.

U red radioaktivnog otpada slabog i srednjeg zračenja ulaze: otpadi od reaktora, iz radionica koje pripremaju i obrađuju radioaktivno gorivo, ispitnih stanica, industrije i bolnica koje se služe radioaktivnim materijalima.

Na svaki način, radi se o otpadu ograničene opasnosti. U pravilu ga se kompaktira isparivanjem, spaljivanjem, kalciniranjem, a onda su obično uliveni u cement, bitumen ili skrućujuće plastične mase.

Francuska računa da će do 2000. godine morati uskladištiti 400 000 m³ takvih radioaktivnih otpadaka. Za sada su ti materijali pohranjeni uz NTE; stalno uskladištenje je predviđeno u okolici Cherbourga. Predviđeni prostor zadovoljiti će do 1985. godine, a nakon toga trebat će pronaći drugo mjesto.

SR Njemačka predviđa uskladištenje takvog radioaktivnog otpada u napuštenim rudnicima soli kraj Brunswicka.

Švicarska predviđa pretvaranje takvih otpadaka u pepeo a konačno uskladištenje je predviđeno u Würenbincu.

Drugačiji je postupak s otpadom velike radioaktivnosti koji je opasan i za buduće generacije. Radi se u pravilu o predmetima ozračenim radioaktivnim gorivom od NTE. Tako ozračeni predmeti nalaze se u centrima za obradu iskorištenog nuklearnog goriva. Radi se o 3% težine goriva koje se otapa u otopinu nitrata, a radioaktivnost mu je vrlo visoka (1 000 + 12 000 kirija/l). Takva otopina sprema se u posude od specijalnog čelika, a ovaj pak u spremnike za mehaničku zaštitu. Radi sigurnosti takva se zaštita izvodi dva puta. Spremnici se stavljaju nekoliko metara pod zemlju u posebne betonske spremnike (debljine od 1,0 m), a svaki za sebe je neovisno betoniran. Nakon otprilike 5 godina zalijevaju se takvi radioaktivni otpaci u specijalno netopivo staklo (borosilikatno).

Takvi stakleni blokovi stavljaju se u posude od nekorodirajućeg čelika i stalno uskladištavaju u geološke formacije u kojima sigurno nema vlage, vode ili vodenih žila. Takva je praksa uskladištenja radioaktivnih otpadaka u Francuskoj.

U Švicarskoj računaju sa 2 + 3 m³ radioaktivnih otpadaka vrlo visoke aktivnosti godišnje po NTE 1 000 MW. Za sada se prerađuju u posebnim centrima i do 1990. godine neće biti problema s njihovim uskladištenjem. Nakon toga računaju da će ih uskladištiti u geološki stabilne terene na dubinama od nekoliko stotina metara, pa možda i tisuću, na način sličan kao u Francuskoj.

B. Mr.

Prema CEA 1, 1978.

ENERGETSKI RAZVOJ ČILEA

Čile, zemlja sa oko 10 milijuna stanovnika, svjesna je da je za daljnji ekonomski razvoj zemlje nužna energetska nezavisnost.

Planeri daju prednost ovim energetskim potencijalima:

1. korištenju geotermičkih energetskih izvora u sjevernom dijelu zemlje;
2. povećanju proizvodnje zemnog ulja u Magelanovu prolazu;
3. daljnjem korištenju hidroenergije;
4. u toku su i studije o mogućnosti korištenja sunčane i nuklearne energije.

Ad. 1. Istražni radio o primjeni geotermičke energije u Čileu se provode već 10 godina. U pustinjama zemlje, u blizini rudnika, na visini od preko 4500 m nalaze se geotermički potencijali od kojih su neki za sada najveći na svijetu.

Na izvorima (geotermičkim) El Tatio planira se izgradnja TE 30 MW s mogućnošću proširenja na 150 MW. Radovi bi trebali započeti 1979. godine. Planirano je da se stave u pogon 1981. godine. Iznos investicije je 30 milijuna USA \$, a u što je uračunat i visokonaponski prijenos. Izvori su na sjeveru Atacame, u pustinji, na visini 4572 m.

Istražni radovi su u toku u Puchuldizi na koti 426 m, gdje se planira izgradnja TE od 50 MW.

Postojeći geotermički izvori su, prema računima, za 50—60% jeftiniji od ostalih oblika energije, pri opskrbljivanju sjevernih pustinskih područja zemlje, što je prilika za jači rudarski razvoj tih krajeva.

Ad. 2. Istražnim radovima započetim 1975. godine utvrđene su bogate rezerve zemnog ulja. Računa se da će nalazišta u Magelanovu tjesnacu osigurati trećinu nacionalnih potreba u 1982. godini.

U toku su radovi na iskorištavanju nalazišta zemnog plina Cabo Negro. Radovi će biti završeni 1982. godine, kapacitet nalazišta je 7,0 × 10⁶ m³/dan, a investicija iznosi 335 milijuna USA \$.

Ad. 3. U slijedećih 10 godina hidroenergija je glavni energetski potencijal, naročito za najnapučeniji središnji dio zemlje. Računa se da je hidropotencijal barem 1 440 MW.

Ovog je časa u gradnji HE Antoco instalirane snage 300 MW na rijeci Laja. U planu je izgradnja elektrana: HE Colbur-Machicura sa 490 MW i s predviđenim rokom stavljanja u pogon 1985. godine; HE Nelume Center sa 250 MW, koju bi dovršili 1986. godine, i HE Colbun sa 400 MW, s rokom stavljanja u pogon 1990. godine.

Ad. 4. Projektna organizacija iz Švicarske (Ženeve) projektirala je kombiniranu solarnu elektranu instalirane snage 100 MW. Elektranu bi bila temeljna, tj. u pogonu 24 sata. Po noći bi se para proizvodila u kotlovima s naftom ili ugljenom. Investicija bi iznosila oko 140,0 × 10⁶ USA \$.

Isto se tako projektira izgradnja NTE snage 600 MW uz pomoć zajma iz inozemstva. Dovođenje elektrane se predviđa u 1988. godini. Za sada su predviđene četiri lokacije za izgradnju NTE. Najvjerojatnije će odabrati lokaciju na ušću rijeke Rapel (120 km jugozapadno od Santiaga) kraj luke Huasco, tj. u neposrednoj blizini rudnika bakra.

U toku je izrada studija o većem korištenju rezervi ugljena. Od proizvodnje ugljena od 1,4 × 10⁶ tona u 1977. godini, udvostručit će se proizvodnja u 1987. godini, a utrostručiti u 1997. godini — uza sve visoke cijene domaćeg ugljena (70,0 USA \$/t).

B. Mr.

Prema ENR od 11. 05. 1978.

SVJETSKA PROIZVODNJA NAFTE U 1978. GODINI

Iz podataka u priloženoj tabeli je vidljivo da je svjetska potrošnja nafte u 1978. godini bila za samo 0,2% veća nego u prethodnoj godini, tj. povećala se je od 3 048,7 mln tona na 3 055,7 mln tona ili za samo sedam milijuna tona. No, u pojedinim krajevima svijeta dinamika proizvodnje bila je različita.

Zapadna Evropa, čija proizvodnja nafte je u 1978. godini činila samo 2,7% svjetske proizvodnje, povećala je proizvodnju nafte od 64,3 mln tona u 1977. godini na 83,4 mln tona u 1978. godini ili za 29,8%, odnosno za 19,1 mln tona. To je povećanje uglavnom posljedica povećanja proizvodnje u podmorju Sjevernog mora, dok je u proizvodnji na kopnu bila tendencija slabljenja.

Sovjetski Savez i zemlje Istočne Evrope dale su u 1978. godini 596,5 mln tona nafte prema 573,6 mln tona u 1977. godini ili za oko 23 mln tona više, što je bilo više za 4,0%. Udio te proizvodnje u svjetskoj proizvodnji je 19,5%. No, pretežni dio proizvodnje i povećanje otpada na SSSR.

Afrika, koja je sudjelovala u svjetskoj proizvodnji nafte 9,1% u 1978. godini, proizvela je u toj godini 277,3 mln tona nafte, ali to je bilo za 2,5% manje nego u prethodnoj godini, kad je ta proizvodnja bila 284,5 mln tona.

Najveći i najvažniji proizvođač nafte na svijetu je Bliski istok, koji je dao u 1978. godini preko 1,06 mlrd tona nafte, a u toj je godini imao za 6,4% manju proizvodnju nego u 1977. godini. Udio je bio gotovo 35%.

Razlog padu proizvodnje nafte u 1978. godini na Bliskom istoku i u Africi jest u činjenici da su države u tim područjima članice OPEC (izvoznika nafte), koje su svoju proizvodnju podešavale prema potrebama svjetskog tržišta.

Proizvodnja nafte na Dalekom istoku iznosila je u 1978. godini preko 242 mln tona ili 7,9% od svjetske proizvodnje.

Prema proizvodnji u 1977. godini porast je iznosio oko 12 mln tona, a ostvaren je uglavnom u Kini.

Istočna hemisfera u cjelini dala je u 1978. godini ukupno 2 261 mln tona nafte, što je za 1,1 % manje nego u 1977. godini. Udio u svjetskoj proizvodnji bio je 74 %. Zapadna hemisfera povećala je proizvodnju nafte u 1978. godini za 4,2 %, na preko 794 mln tona.

Sjeverna Amerika, koja je u 1978. godini imala proizvodnju od 617 mln tona, povećala ju je prema onoj u 1977. godini za 6,2 %, što je posljedica povećanja proizvodnje na Aljasci i u Meksiku. Veliko smanjenje proizvodnje od 6,6 % imalo je karipsko područje, uglavnom radi manje proizvodnje u Venezueli. Međutim, udio te proizvodnje bio je u 1978. godini samo 4,1 % od svjetske proizvodnje. Južna Amerika u cjelini povećala je, doduše, proizvodnju nafte u 1978. godini za gotovo 12 %, ali to iznosi samo pet milijuna tona, tako da je proizvodnja od 45 mln tona u 1977. godini porasla na nešto preko 50 mln tona u 1978.

V. B.

SVJETSKA PROIZVODNJA NAFTE (10 ³ tona)					
Zemlja	1976.	1977.	1978.		Promj. u 1978. %
			proiz.	učešće %	
Zapadna Evropa	38 927	64 259	83 380	2,7	+ 29,8
SSSR i Ist. Evropa	543 485	573 588	596 500	19,5	+ 4,0
Afrika	271 858	284 533	277 300	9,1	— 2,5
Bliski istok	1 116 484	1 134 320	1 061 900	34,8	— 6,4
Daleki istok	211 409	230 096	242 355	7,9	+ 5,3
Istočna hemisfera	2 182 163	2 286 796	2 261 435	74,0	— 1,1
Sjeverna Amerika	572 876	581 199	617 000	20,2	+ 6,2
Karipsko područje	137 600	135 702	126 865	4,1	— 6,6
Južna Amerika	44 601	45 065	50 400	1,7	+ 11,8
Zapadna hemisfera	755 077	761 966	794 265	26,0	+ 4,2
Ukupno — svijet	2 937 240	3 048 762	3 055 700	100,0	+ 0,2

(Petroleum Economist, 46 5—7 (1/1979).

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.



Nagrađeni radnici koji su u »Dalekovodu« proveli 30 godina

PROSLAVA 30. GODIŠNJICE OSNIVANJA »DALEKOVODA«

Članovi poduzeća »Dalekovod« proslavili su 2. travnja ove godine 30. godišnjicu osnivanja i rada poduzeća. Prigodna svečanost održana je u Kongresnoj dvorani na Velesajmu. To je jedna od proslava koja će se održati u ovoj godini u povodu značajne obljetnice rada poduzeća.

Slične proslave održat će se u toku godine na svim većim gradilištima i u OOUR-a proizvodnje ovjesne i spojne opreme u Vinkovcima. Posebno će se održati svečana proslava za poslovne suradnike i predstavnike društveno-političkih organizacija, i to vjerojatno na Dan Republike ove godine.

Na održanoj prigodnoj svečanosti za članove kolektiva održanoj u Kongresnoj dvorani Velesajma pozdravni govor održao je dipl. ing. Jaroslav Vistrička, predsjednik komisije za proslavu. Zatim je predsjednik Centralnog radničkog savjeta Zlatko Bajić najavio generalnog direktora Radoslava Kliškića. U referatu je prikazan razvoj i rad poduzeća od osnivanja do danas. Iznesen je i program razvoja poduzeća u budućnosti. Na održanoj proslavi podijeljena su priznanja i nagrade radnicima koji su u »Dalekovodu« proveli 30, 25, 20 i 10 godina neprekidnog rada.

Poslije svečanog dijela proslave održan je kulturno-umjetnički i zabavni program koji su izveli članovi zagrebačkih kazališta.

I. R.

NAFTOVOD DO DANA REPUBLIKE

Konačnim spajanjem otoka Krka s kopnom mostom dugim 1130 metara počela je završna faza izgradnje Jugoslavenskog naftovoda od Omišlja na Krku do jugoslavensko-mađarske granice. Prema dosadašnjem toku radova, predviđeno je da će kompletna izgradnja naftovoda, u dužini od 750 km biti dovršena za Dan Republike ove godine.

U prvoj fazi rada kapacitet naftovoda bit će 20 milijuna tona nafte godišnje, a u drugoj fazi već 35 milijuna tona. U okviru ovog projekta na Krku je već izgrađen »naftni terminal« s dvanaest rezervoara zapremine 550 000 m³.

I. R.

ELEKTROPRIVREDA FINANCIRA ISTRAŽIVANJA ENERGETSKIH SIROVINA

Republički SIZ potrošača električne energije i Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske povjerili su Geološkom zavodu u Zagrebu istražne radove za pronalaženje ležišta energetskih sirovina na području Hrvatske, a ponajprije za ugljen i nuklearne sirovine.

U te istraživačke zahvate do 1980. godine elektroprivreda Hrvatske uložiti će 100 milijuna dinara. Zabilježeni su već i

prvi rezultati provedenih istraživanja. Do sad su pronađene i iskoristive zalihe oko osam milijuna tona ugljena na području Siverića i Biočinova Sela u Bukovici. Potvrđeno je postojanje ugljena u ležištima napuštenih ugljenokopa u Hrvatskom zagorju. U Vukomeričkim goricama, nađomak Zagrebu, postoje mogućnosti iskorištenja ležišta ugljena, a utvrđene su i veće količine kvalitetnog ugljena u Istri kod Koromačnog.

Otkrivene su veće količine ugljena i u području Sibinja, u blizini Slavonskog Broda. To su tek prvi rezultati. Istražni rad nastavlja se temeljito i na drugim područjima republike.

Istraživanje nuklearnih sirovina (u prvom redu urana), koja su u prvoj, početnoj fazi vršena u Lici, Baniji, Kordunu i u Slavoniji, navješćuju mogućnost ležišta izvjesnih radioaktivnih materijala. Potrebno je nastaviti detaljnim regionalnim istraživanjima da se konačno utvrdi o kojim se materijalima radi i u kojim količinama.

I. R.

RAZVOJ 400 kV MREŽE SLOVENIJE

Nakon završetka izgradnje prve faze 400 kV mreže Slovenije, započela je i realizacija druge faze.

Prva faza 400 kV mreže obuhvatila je izgradnju dviju transformatorskih stanica, i to: TS 400/220/110 kV »Ljubljana« i TS 400/110 kV »Maribor«, te razvodnog postrojenja 400 kV »Divača«.

U realizaciji postavljenih planova sudjelovala su tri investitora:

— Savske elektrarne su osim TS Ljubljana izgradile i 50,1 km jednosistemskog 400 kV dalekovoda.

— Soške elektrarne izgradile su oko 117 km jednosistemskog dalekovoda 400 kV.

— Dravske elektrarne, uz izgrađenu TS »Maribor«, izgradile su i 120 km jednosistemskog i oko 36,6 km dvosistemskog 400 kV dalekovoda.

Sve građevne i montažne radove na navedenim dalekovodima izveli su stručnjaci »Dalekovoda« iz Zagreba.

Pristupljeno je i realizaciji II faze 400 kV mreže u Sloveniji koji će se izvoditi u toku 1979. i 1980. godini.

U transformatorskoj stanici »Divača« izvest će se proširenje polja.

Počela je gradnja DV 400 kV Divača — talijanska granica, a zatim će uslijediti radovi na DV 2 × 400 kV Krško — Ljubljana.

Dravske elektrarne planiraju gradnju TS 400/220 kV »Podlog«, koja će se priključiti na TE Šoštanj. Na toj transformatorskoj stanici završeni su građevni radovi i pristupljeno je montaži opreme.

Proširenje će se izvesti i u TS 400/220/110 kV Ljubljana, a zatim je planirana gradnja TS 400/110 kV »Kranj«.

Investitori su gradnju dalekovodne mreže II faze 400 kV ponovno povjerili zagrebačkom poduzeću »Dalekovod«.

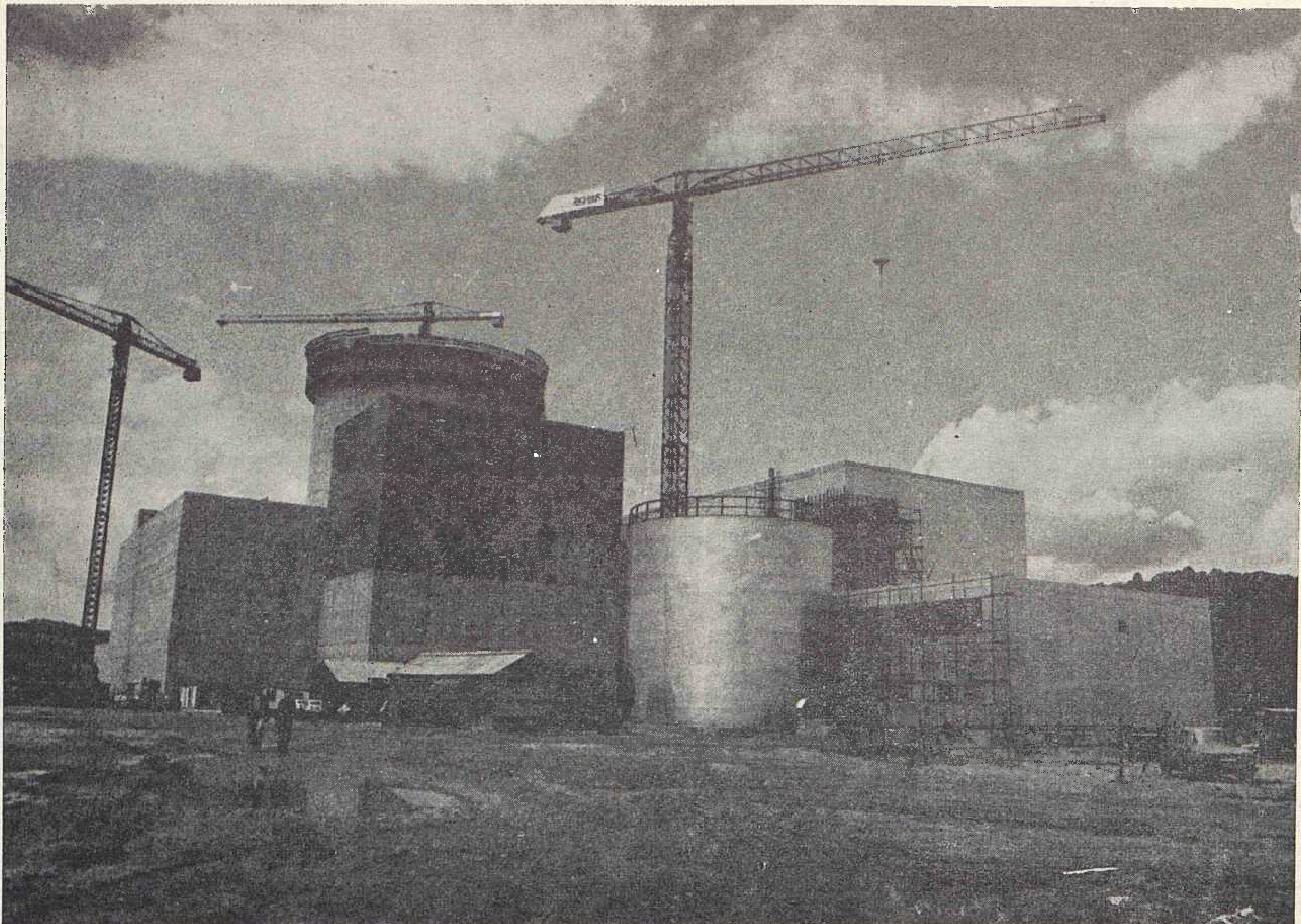
I. R.

OSNOVANA POSLOVNA ZAJEDNICA JUGOATOMENERGO

Jedanaest složenih i radnih OOUR-a iz Hrvatske i Slovenije potpisalo je Samoupravni sporazum o udruživanju u Poslovnu zajednicu za projektiranje i izgradnju nuklearnih elektrana »Jugatomenergo«. Zadatak novoosnovane organizacije jest usklađivanje razvojnih programa i planova udruženih organizacija radi podjele rada među njima, kooperacije i specijalizacije proizvodnje opreme. Utvrđen je i zajednički istup članica na tržištu, te sudjelovanje u pripremi i realizaciji međunarodnih bilateralnih i multilateralnih ugovora u domeni kompletnog inženjeringa za elektrane na nuklearno gorivo.

Zajednica »Jugatomenergo« uspostaviti će suradnju i s drugim našim organizacijama udruženog rada radi udruživanja sredstava, kao i s inozemnim međunarodnim korporacijama na području nuklearne tehnike i tehnologije. Program rada obuhvaća i ispitivanje tržišta, razređivanje ponuda, ugovora, projektiranja te izvođenja građevnih radova, proizvodnju opreme i montažu.

Poslove »Jugatomenergo« obavljat će udružene organizacije koje već sudjeluju u izgradnji naše prve nuklearne elektrane Krško. Tako je zagrebački i ljubljanski »Elektro-



Pogled na NE Krško s istoka

projekt« biti nosioci izrade glavnih i izvedbenih projekata koji obuhvaćaju nuklearne elektrane u cjelini, sa svim tehnološkim sistemima, opremom i građevnim objektima. Poduzeće »Hidroelektra« iz Zagreba i »Gradis« iz Ljubljane nosioci su izrade arhitektonsko-građevinske investicijsko-tehničke dokumentacije za pojedine faze rada na objektima, te za izvođenje svih građevnih poslova.

Grupa proizvođača strojogradnje i elektroindustrije tvornice »Đuro Đaković«, »Litostroj«, »Jugoturbina«, »Metalna«, te tvornice »Rade Končar« i TPK bit će glavni nosioci strojne i elektroopreme. Montažne radove obavljat će »Rade Končar«, »Đuro Đaković« i »Hidromontaža« u suradnji s drugim poduzećima, a transport teške opreme povjeren je »Hidromontaži«.

I. R.

milijuna Nm³ prirodnog plina uvezla iz SSSR-a. U usporedbi s prošlogodišnjom potrošnjom je u 1979. znatno povećana. U 1978. godini ona je iznosila nešto više od jedne milijarde i 100 milijuna Nm³ plina.

Za potrebe industrije INA-Naftaplin isporučit će se 537 milijuna Nm³. Potrebe distribucije su oko 762 milijuna Nm³ plina. Najveći potrošač u industriji je Petrokemija Kutina (257 milijuna Nm³), a najveći distributer je Gradska plinara Zagreb, preko koje će potrošačima biti isporučeno 400 milijuna Nm³ plina.

Plan istražnih radova u Panonskom bazenu vršit će se na 25 lokaliteta, od toga je 20 bušotina na novim područjima, gdje se procjenjuje da postoje veće količine prirodnog plina. Istražni radovi obavljat će se i u dravskoj, savskoj, murskoj i slavonsko-sremskoj depresiji.

I. R.

PLAN PROIZVODNJE NAFTE I PLINA U HRVATSKOJ

Osnovna proizvodnja i istraživanje nafte i plina na području Hrvatske i dalje će biti usmjerena na Panonski bazen, ali i na područje Dinarida i podmorje Jadrana. Planirana proizvodnja nafte u 1979. godini predviđena je sa oko 2 940 000 tona.

Za rafinerije INE-Rijeka, Sisak, Zagreb i Lendava — trebat će osigurati 11 milijuna i 945 000 tona sirove nafte. Kao što je planirano, iz vlastitih izvora proizvest će se oko tri milijuna tona, no glavni dio oko 7 milijuna i 281 000 tona morat će se osigurati iz uvoza. Osim toga potrebno je uvesti još oko 1 664 000 tona nafte kao dodatak iz kojeg bi se podmirile potrebe petrokemije, te poboljšala opskrba tržišta derivatima.

U 1979. godini planirana je proizvodnja plina od oko 932 milijuna Nm³ iz domaćih izvora, dok bi se količina od 345

ELEKTROENERGETSKA BILANCA HRVATSKE ZA 1979.

Zajednička skupština Republičke samoupravne zajednice potrošača električne energije i Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske usvojila je elektroenergetsku bilancu Hrvatske za 1979. godinu. Elektroenergetska bilanca razrađena je na temelju »Metodologije za izradu elektroenergetske bilance«.

Pri razradi elektroenergetske bilance težilo se da se postigne podmirenje utvrđenih potreba potrošnje električne energije uz optimalnu strukturu proizvodnje hidroelektrana i termoelektrana, te ugovorene nabave električne energije izvan Hrvatske uz najniže troškove.

Potrebe električne energije za distributivnu potrošnju, direktnu i specijalne potrošače, kao i gubici

električne energije utvrđuju se na osnovi metodologije, usvajajući momente koji zahtijevaju eventualno odstupanje.

Distributivna potrošnja. Godišnje potrebe električne energije za distributivnu potrošnju na mreži prijenosa utvrđena je na temelju metodologije i uzevši u obzir ostvarenu potrošnju u posljednje tri godine, tj. 1976, 1977. i 1978. godine.

Prema tim pokazateljima Komisija za elektroenergetsko bilanciranje distributivne potrošnje električne energije planira ukupne potrebe distributivne potrošnje u 1979. godini od 7 872 GWh, tj. povećanje prema metodologiji od 72 GWh.

Do navedenog odstupanja dolazi zbog:

— novih potrošača Elektroprimorja Rijeka, čija je predviđena potrošnja 42 GWh (Terminal naftovoda, Koksara Bakar i Tvornica papira Rijeka),

— povećanja kapaciteta Tvornice cementa za 80 GWh kod »Elektrodalmacije« Split,

— smanjenja potrebe Elektre Sisak za 50 GWh, jer će INA — Rafinerija Sisak podmirivati svoje potrebe iz vlastite energane.

Distributivna potrošnja 1979. veća je za 8,6 % od ostvarenja 1978. godine.

Potrebe električne energije za direktne i specijalne potrošače planirane su prema metodologiji, odnosno prema njihovim prijavama koje su usklađene s izdanim elektroenergetskim suglasnostima.

Plan direktnih potrošača za 1979. godinu je 867 GWh, a specijalnih 1 907 GWh.

Kod direktnih potrošača planira se u ovoj godini ulazak u pogon novog potrošača Tvornice cementa Našice s godišnjim potrebama od 35 GWh.

Gubici električne energije na mreži prijenosa planirani su 410 GWh, što iznosi 3,69 % od ukupno planiranih potreba, a to je na razini ostvarenja prošlih godina.

U 1979. godini planira se isporuka električne energije u količini od 36 GWh Elektroprivredi Crne Gore, koja je navedene količine deponirala u akumulacije hidroelektrana Hrvatske u toku 1978. godine i koja će ih, prema dogovoru, preuzeti u 1979. godini.

Plan ukupnih potreba električne energije na mreži prijenosa iznosi:

— distributivna potrošnja	7 872 GWh
— direktni potrošači	867 GWh
— specijalni potrošači	1 907 GWh
— isporuka drugim republikama	36 GWh
— gubici na mreži prijenosa	410 GWh
u k u p n o	11 092 GWh

Raspoloživa električna energija. Planom utvrđene potrebe električne energije iz mreže prijenosa kao i gubici prijenosa podmiruju se proizvodnjom elektrana, ugovorenim isporukama električne energije iz drugih republika (izgrađenih na temelju dugoročne suradnje na izgradnji elektroprivrednih objekata), te prema potrebi dodatnom nabavom električne energije u zemlji i inozemstvu.

Proizvodnja hidroelektrana. U toku 1979. ne predviđa se ulazak novih kapaciteta u pogon, ali će u HE Zakučac II biti osposobljena dva agregata po 130 MW koji će služiti kao rezerva dok se ne dovrši dovodni tunel.

Planirana proizvodnja hidroelektrana u 1979. iznosi 4 112 GWh električne energije. Plan je utvrđen prema metodologiji i prosječnoj vrijednosti moguće proizvodnje u nizu 40 godina, korigirane na neizgrađenost akumulacije Buško

Blato i razlici proizvodnje HE Dubrovnik koja je planirana na osnovi korištenja vode akumulacije Bileće u SR Bosni i Hercegovini.

Proizvodnja termoelektrana. Raspoloživa planska proizvodnja termoelektrana utvrđena je na temelju metodologije za izradu elektroenergetske bilance i zajedničkom radu elektroenergetskog sistema Hrvatske.

Od novih izvora predviđa se u toku godine redovita eksploatacija TE Rijeka, 300 MW, te ulazak u probni pogon novog turboagregata snage 113 MW u TE - TO Zagreb.

Planirana proizvodnja termoelektrana u Hrvatskoj za 1979. godinu iznosit će oko 4 219 GHh.

Nabava električne energije vrši se iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama na temelju ugovora o dugoročnoj suradnji na izgradnji elektroenergetskih objekata, kao i o zakupu snage u industrijskoj TE Jugovinil.

Na temelju ugovora i dogovora planira se godišnja nabava električne energije:

— iz BiH (TE Tuzla)	182 MW	1 200 GWh
— iz BiH (Te Kakanj — Gacko)	46 MW	278 GWh
— iz Srbije (TE Obrenovac)	280 MW	1 285 GWh
u k u p n o		2 761 GWh

Nabava električne energije iz industrijske elektrane TE Jugovinil nije planirana, nego je predviđena kao rezervna elektrana.

Ukupno raspoloživa električna energija. Prema planiranim veličinama proizvedene hidroelektrana i termoelektrana te nabave iz termoelektrana iz drugih republika, ukupne količine raspoložive električne energije za elektroenergetski sistem Hrvatske za 1979. iznose:

— proizvodnja hidroelektrana	4 112 GHh
— proizvodnja termoelektrana	4 219 GHh
— ugovorena nabava	2 761 GHh
u k u p n o	11 092 GHh

I. R.

ELEKTROPRENOS ZAGREB — GRADNJA TS 110 kV

Na području »Elektroprenosa« Zagreb u toku ove godine izvest će se radovi na gradnji osam transformatorskih stanica 110 kV. Plan obuhvaća ovu gradnju:

TS 110/35 kV »Križevci« sa dva transformatora po 20 MVA, čija je gradnja započela još prošle godine. U zajednici s distribucijom radi se na gradnji TS 110/20 kV »Samobor«, snage 1 × 20 MVA. Distribucija podiže kompletno postrojenje 20 kV, pomoćni pogon, a cjelokupno postrojenje 110 kV preuzeo je »Elektroprenos«. Nadalje, zajednička gradnja je TS 110/30 kV »Dugo Selo« (2 × 20 MVA), TS 110/20 kV »Karlovac II« (1 × 20 MVA), TS 110/20 kV »Zdenčina« i TS 110/10 kV »Zagreb-Jug II«.

TS »Zagreb-Jug II« planirana je kao veliko rasklopište vodova (12 polja 110 kV) u koje će dolaziti električna energija iz TS 400/110 kV »Zagreb«, i to putem dva voda 110 kV, od kojih je jedan već završen.

Proširenje će se izvesti i u TS 110/35 kV »Zabok« i TS 110/30 kV »Rakitje« za potrebe priključka dalekovoda 2 × 110 kV Rakitje — Zagreb zapad.

I. R.



R A D E
KONČAR

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

Uvod

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

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

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

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

Automatsko odvajanje voda u kvaru

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

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

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

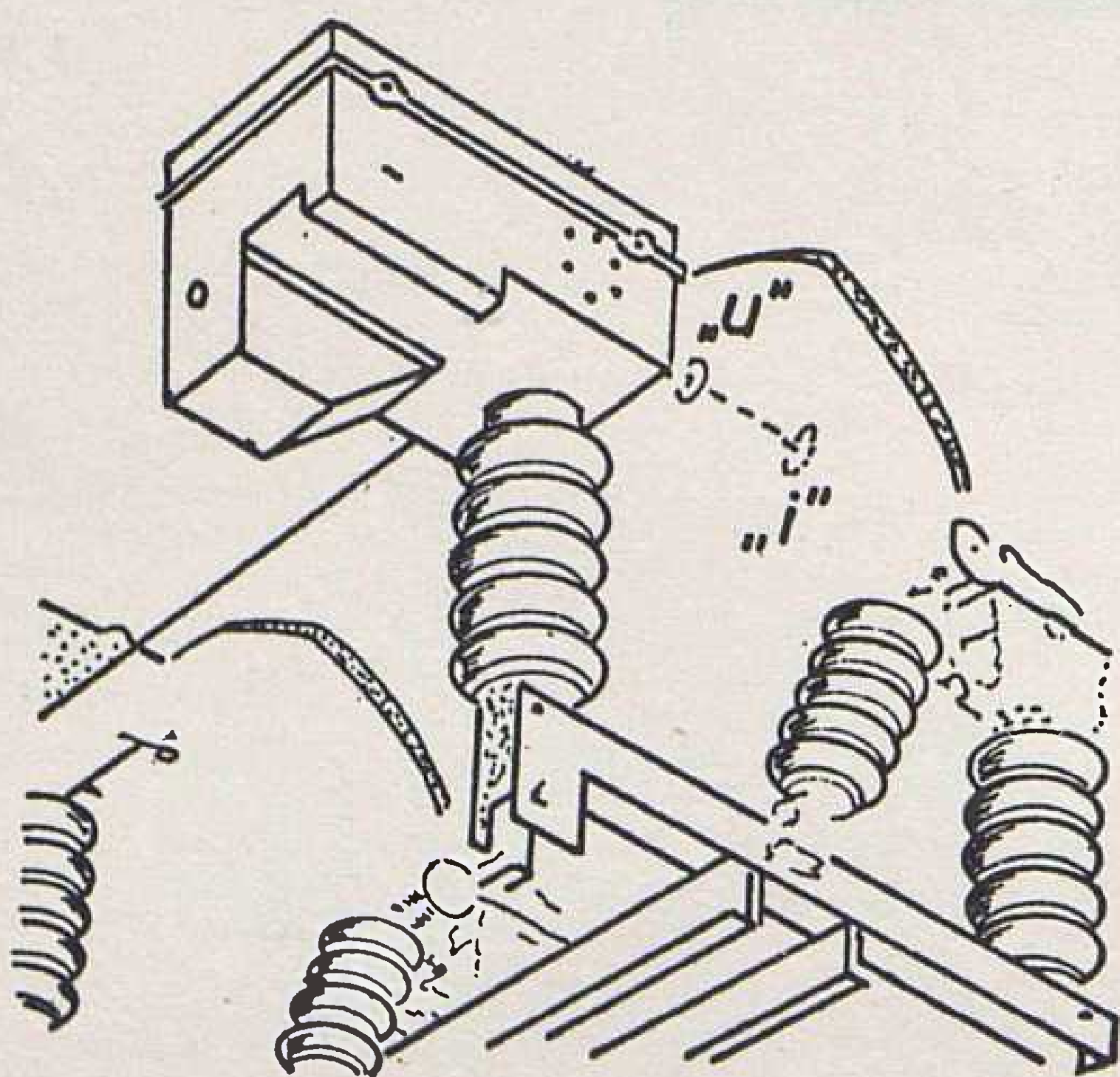
Primjenom ovog uređaja, omogućeno je veoma brzo odvajanje voda u kvaru, čime se osigurava nesmetana opskrba potrošača priključenih na druge krajnje vodove u promatranom konzumnom području.

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

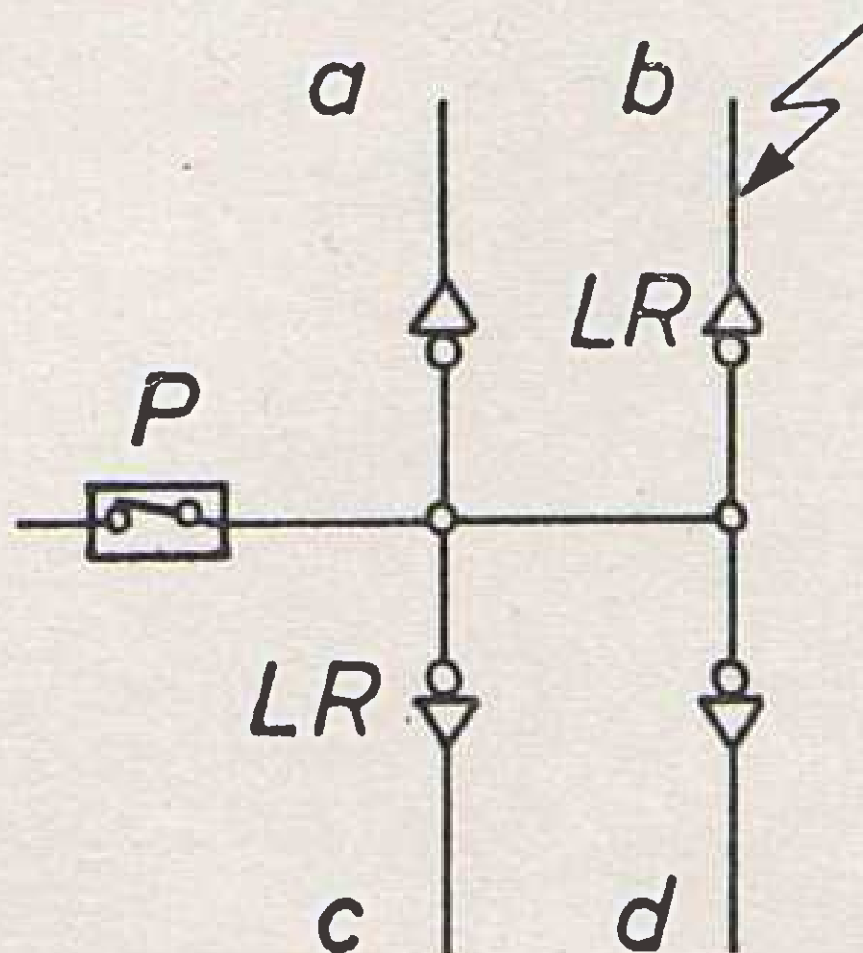
U slučaju pojave kvara na vodu (b), struja kratkog spoja I_k aktivira zaštitu prekidača (P), ugrađenog u TS na početku glavnog voda, koji prekida struju I_k za približno 0,1 — 0,2 sek. od njezinog nastanka.

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

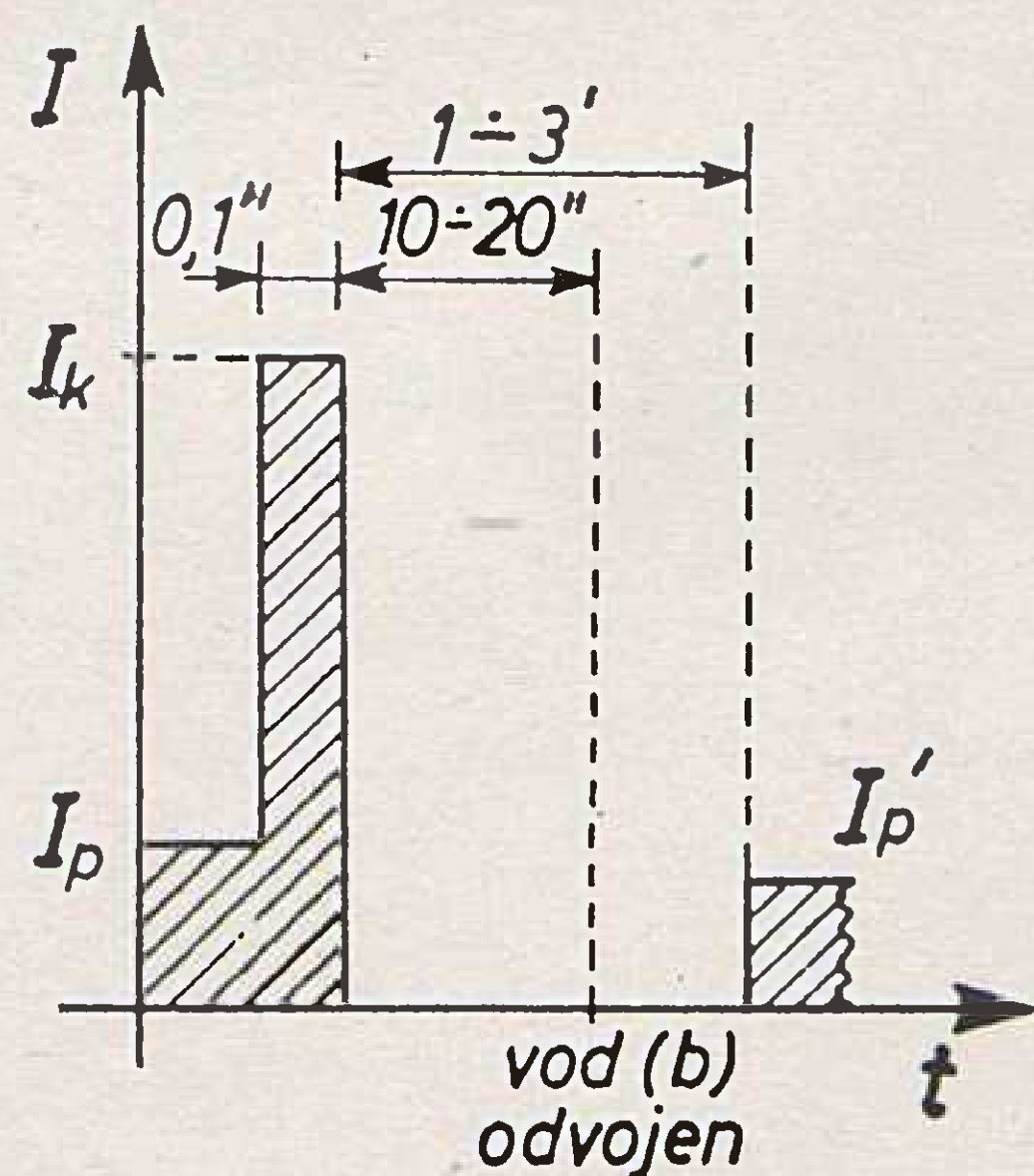
Uklapanjem prekidača, ručno ili automatski nakon pauze od 1 — 3 min., ponovno se nastavlja opskrba



Sl. 1.



Sl. 2.



Sl. 3.

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

$$I_p = I_k = 0$$

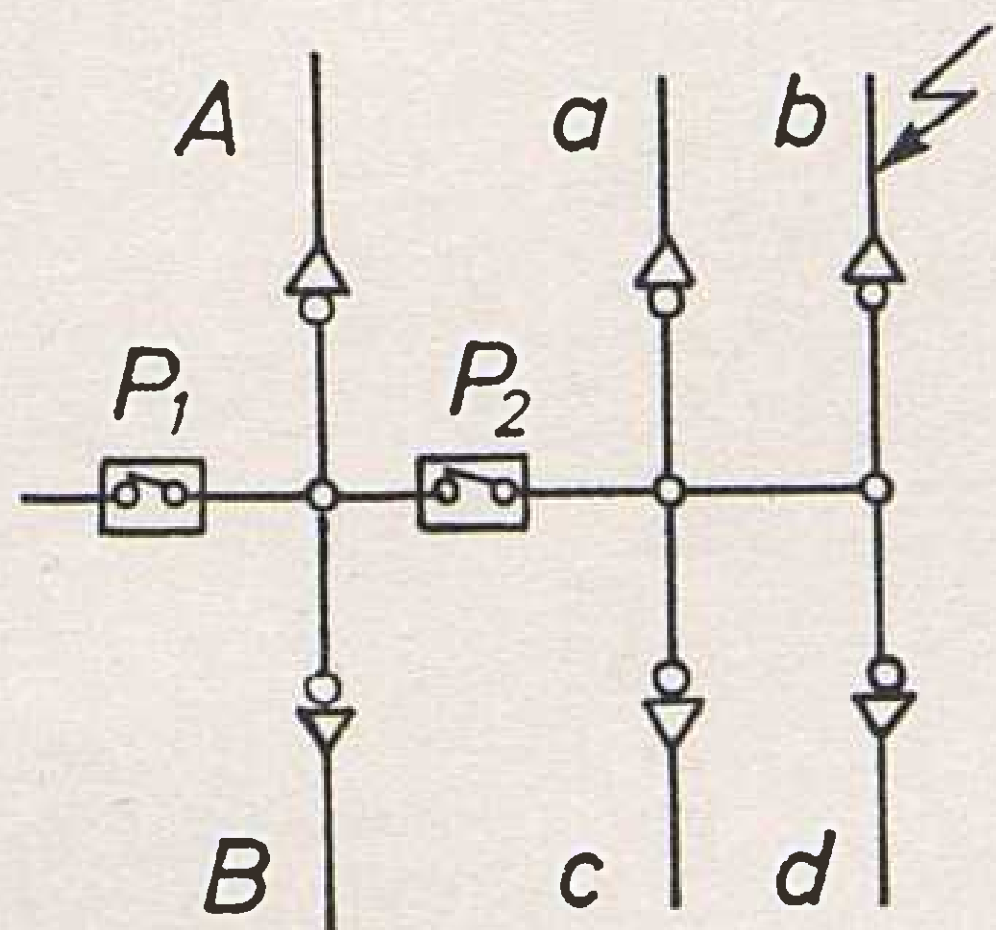
Prije otklanjanja kvara na vodu, potrebno je linijski rastavljač ručno otvoriti u krajnji isklonni položaj, čime se izdanak vidljiv na sl. 1. vrati iz položaja »i« u položaj »u« i na taj način ponovno zatvori strujni put kroz uređaj za automatsko odvajanje na vodu (b).

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

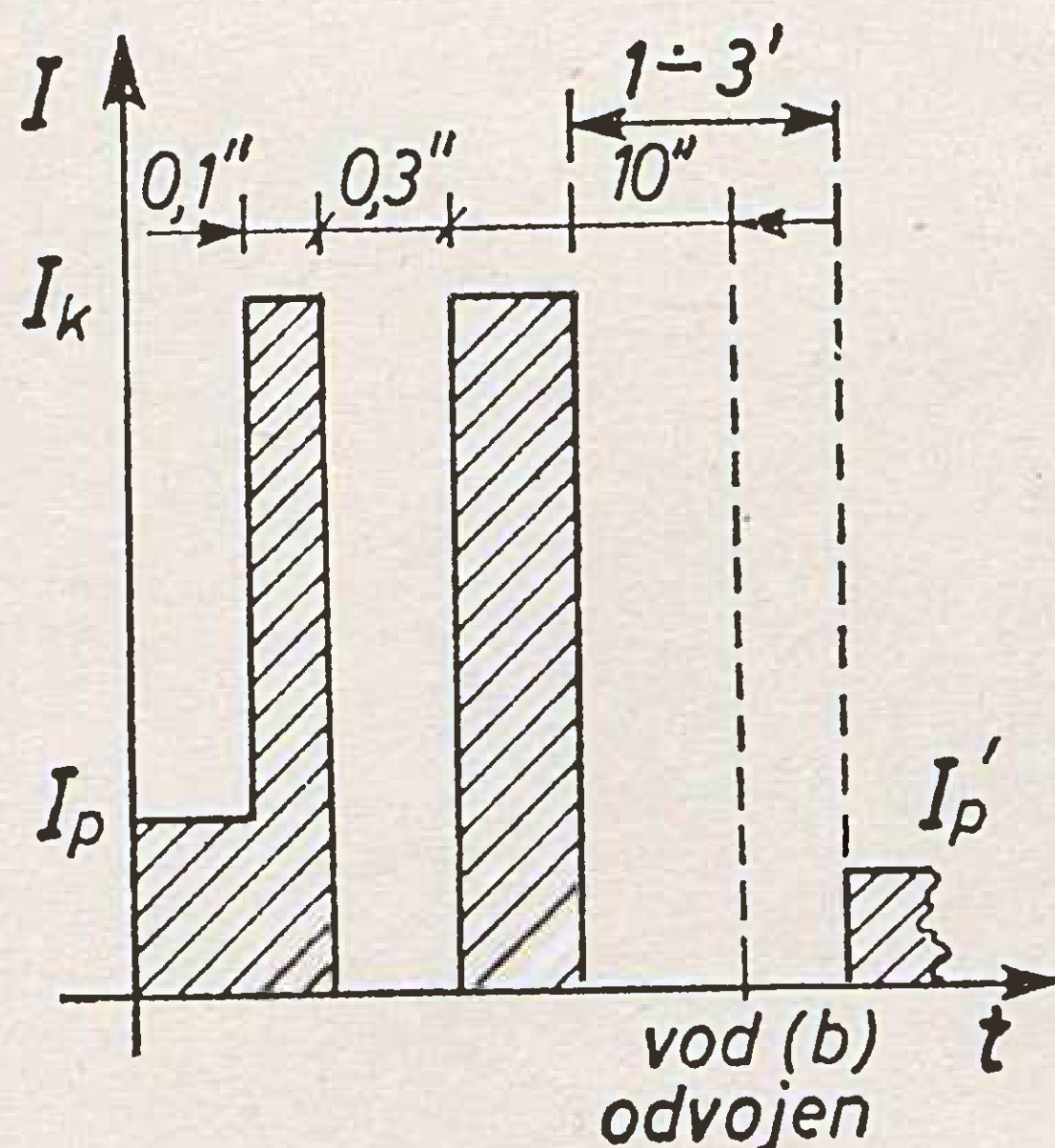
Neke mogućnosti primjene uređaja za automatsko odvajanje voda u kvaru

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

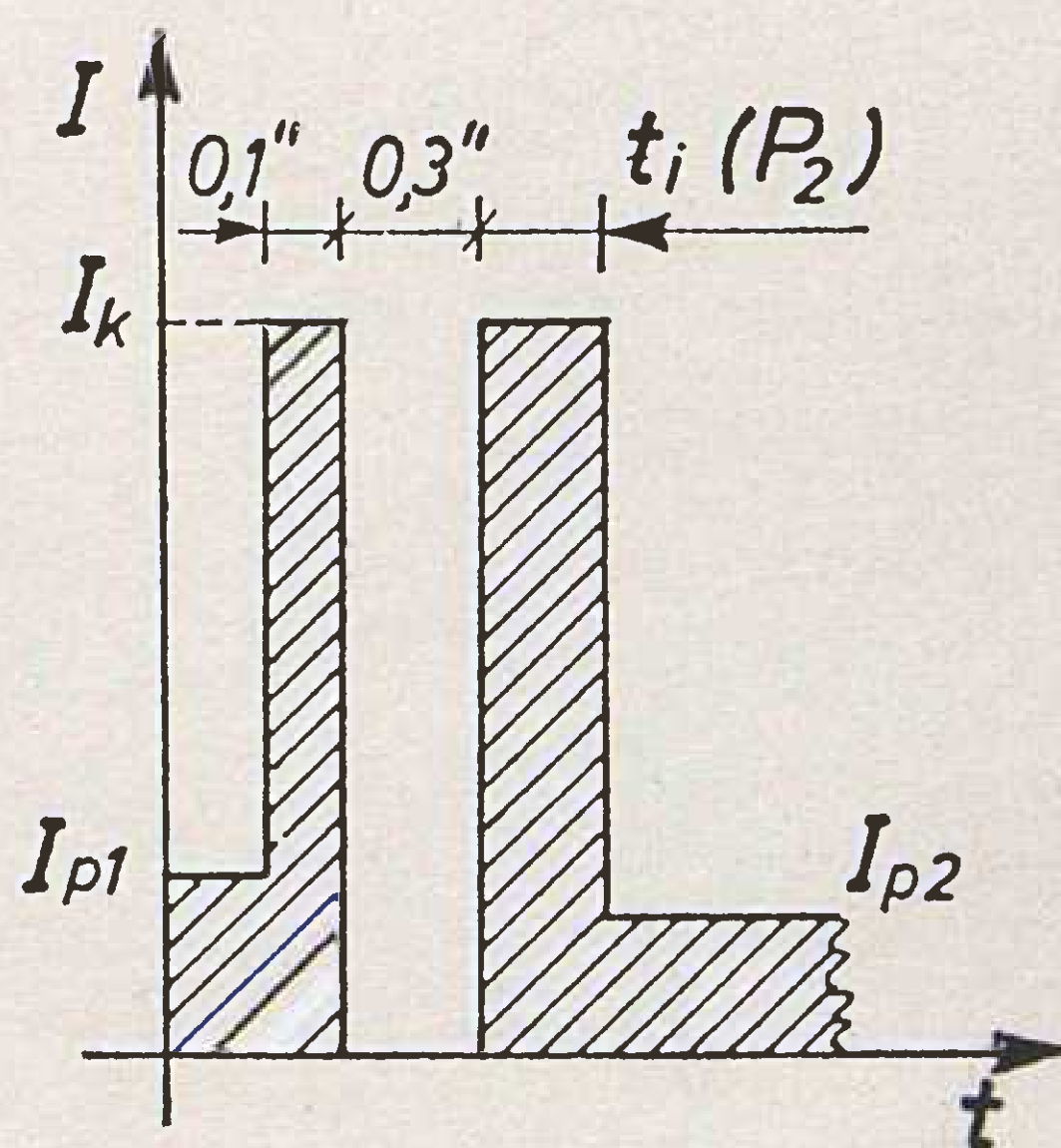
U našem primjeru, ponovno je pretpostavljen kvar na odvojk (b). Struja kratkog spoja istovremeno potiče relej za automatsko odvajanje voda (b), te odgovarajuće zaštite na prekidačima P_1 i P_2 . Zaštita prekidača u glavnoj TS, je tako podešena da prekidač P_1 prvi isklopi, dok je vremensko zatezanje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



Sl. 4.



Sl. 5.



Sl. 6.

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

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

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

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

Zaključak

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

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

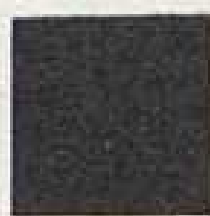
Sve ove prednosti potvrđuju zaključak, da se ubuduće može očekivati značajna primjena uređaja za automatsko odvajanje voda u kvaru na zračnim mrežama srednjeg napona.

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



ELEKTROPRIVREDA ZAGREB

**PODUZEĆE ZA PROIZVODNJU, PRIJENOS I KUPOPRODAJU
ELEKTRIČNE I TOPLINSKE ENERGIJE**



ZAGREB, Proleterskih brigada 37 • Telefon: 513-072 i 513-822

UTJECAJ TIPOVA VRŠNIH ELEKTRANA NA ELEKTROENERGETSKI SISTEM

Hrvoje Požar, Zagreb

UDK 621.311

U članku je provedena usporedba triju vrsta elektrana koje mogu služiti za proizvodnju vršne energije: elektrana s plinskim turbinama, pumpno-akumulacijskih elektrana i postojećih hidroelektrana s povećanom instaliranom snagom. Provedena je analiza primijenjena na određeni elektroenergetski sistem i tako određena optimalna snaga promatranih vršnih elektrana.

1. UVOD

Kao vršne hidroelektrane u elektroenergetskom sistemu mogu se iskoristiti elektrane s plinskim turbinama i pumpno-akumulacijska postrojenja, ali se mogu već postojeće hidroelektrane povećanjem njihove instalirane snage pretvoriti u vršne hidroelektrane. Takve hidroelektrane moraju imati akumulacijski bazen tolikog volumena da omogućuje iskorištavanje maksimalne snage hidroelektrane u razdoblju velikih opterećenja sistema.

U članku je provedena usporedba tih triju tipova vršnih elektrana da bi se prikazao utjecaj njihove izgradnje na prilike u elektroenergetskom sistemu, i to kao funkcije njihove snage (termoelektrane s plinskim turbinama i pumpno-akumulacijska postrojenja), odnosno kao funkcija povećanja snage (postojeće hidroelektrane). Na temelju takve analize, kako će se vidjeti, može se odrediti optimalna snaga promatranih elektrana i opravdanost gradnje promatranih tipova elektrana.

Analiza je provedena metodom simulacije. Pretpostavljalo se, naime, da se u promatranom sistemu grade različiti tipovi vršnih elektrana različitih snaga, pa je određivana potrebna snaga dodatnih elektrana za zadovoljenje potražnje i mogućnost iskorištavanja svih elektrana u sistemu (postojećih, dodatnih i vršnih). Tako se određuju podaci o troškovima ovisnim o investicijama i o troškovima za gorivo u termoelektranama, pa ukupni troškovi predstavljaju osnovu za usporedbu vršnih elektrana.

Da bi se u analizu uključio utjecaj hidroloških karakteristika vodotoka na kojima postoje hidroelektrane, razmatrane su hidrološke prilike u svim hidroelektranama u 40-godišnjem razdoblju, pa su u analizu praktički uključene sve situacije koje se mogu pojaviti u budućnosti, a kao rezultat dobivaju se ukupni troškovi koji su prosjek troškova u nizu godina. U neposrednoj budućnosti najviše će se graditi kovnencionalne termoelektrane na bazi ugljena i nuklearne elektrane. Zbog toga su

alternativno promatrani elektroenergetski sistemi u kojima se gradi jedan ili drugi tip elektrana. One su nazvane dodatne elektrane, jer moraju dopuniti manjak energije i snage koji se pojavljuje kao razlika između potražnje i mogućnosti proizvodnje postojećih elektrana i promatranih vršnih elektrana.

Svakako da rezultati analize vrijede samo za promatrani elektroenergetski sistem u određenom stanju razvoja, pa i zaključci vrijede samo za taj sistem. Prikazana analiza, međutim, predstavlja metodu koja se može primijeniti za bilo koji elektroenergetski sistem.

2. KARAKTERISTIKE PROMATRANOG ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Maksimalno godišnje opterećenje sistema iznosi 7 785 MW, a godišnja potražnja energije 45 661 GWh. U sistemu postoje termoelektrane sa slijedećim snagama na priključnicama generatora: ugljen 945 MW, loživo ulje 1 061 MW, nuklearne 771 MW i plinske turbine 138 MW. Postojeće hidroelektrane imaju snagu od 2 650 MW i prosječnu godišnju mogućnost proizvodnje od 11 364 GWh.

Termoelektrane imaju različite karakteristike, pa i različite specifične troškove za gorivo. Ako se sa 100% označe specifični troškovi za gorivo u termoelektrani loženoj ugljenom ali s najnižim specifičnim troškovima, specifični troškovi za gorivo u termoelektranama na ugljen iznose između 100 i 135%, na loživo ulje između 160 i 180%, u nuklearnoj elektrani 40%, a u plinskim turbinama 300%.

Ako se za dopunske termoelektrane na bazi ugljena računa sa specifičnim investicijama od 100%, dopunske nuklearne elektrane imaju specifične investicije od 150%. Specifični troškovi za gorivo u dopunskim termoelektranama na bazi ugljena iznose upravo kao u najpovoljnijoj posto-

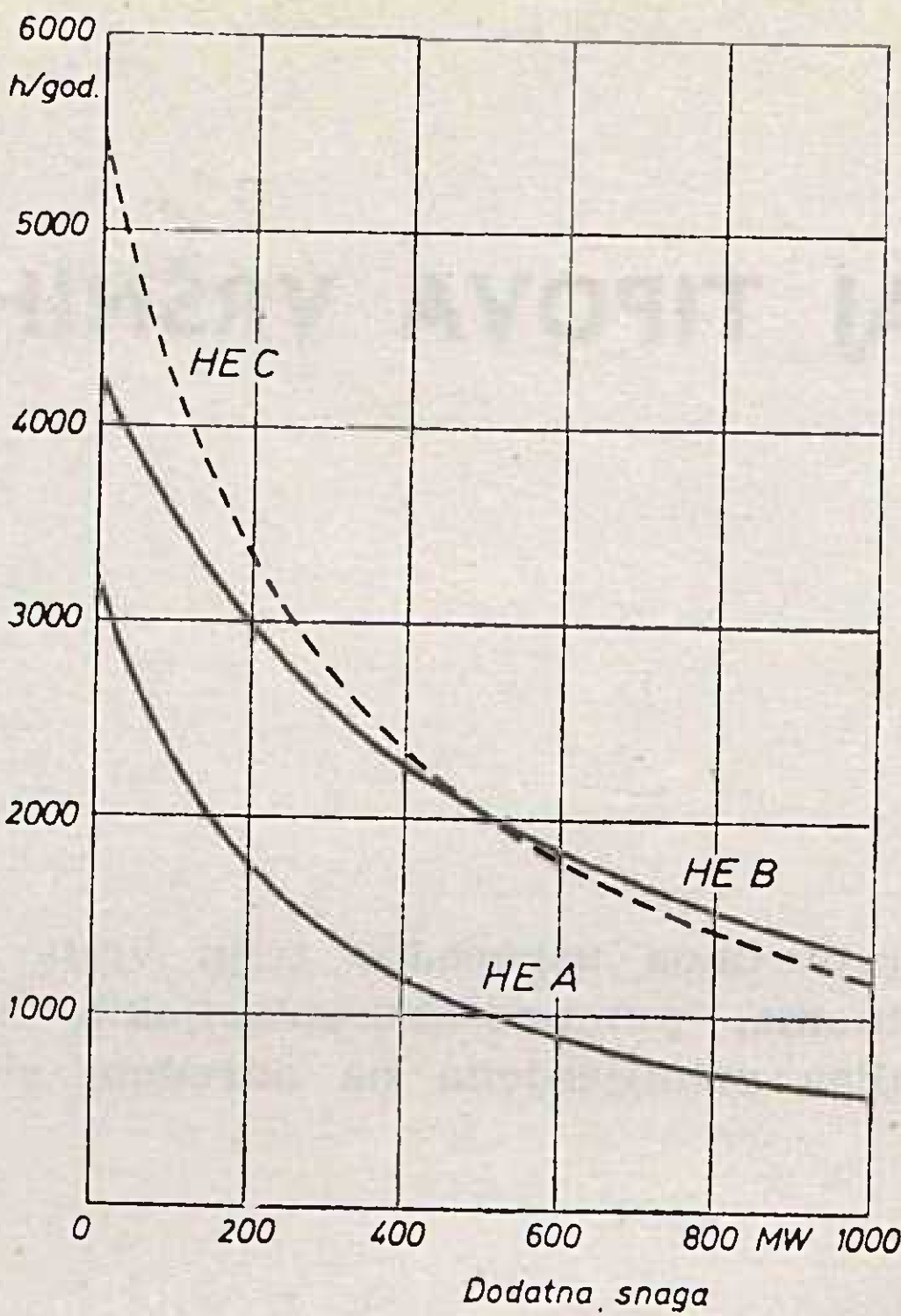
jećoj termoelektrani istoga tipa (100%), a u nuklearnim elektranama kao u postojećoj nuklearnoj elektrani (40%).

3. KARAKTERISTIKE VRŠNIH ELEKTRANA

Kad se računa s gradnjom plinskih turbina u vršnim elektranama, računato je da specifične investicije iznose 50% od specifičnih investicija za dodatne termoelektrane ložene ugljenom i da su specifični troškovi za gorivo jednaki onima u postojećim elektranama s plinskim turbinama.

Za promatrana pupno-akumulacijska postrojenja pretpostavljeno je da imaju akumulacijske bazene koji omogućuju turbinski pogon s maksimalnom snagom od 6 sati dnevno. Pretpostavljeno je, osim toga, da nema prirodnog dotoka u gornji akumulacijski bazen. Budući da spicifične investicije za gradnju pumpno-akumulacijskih postrojenja ovise o topografskim uvjetima, računato je s različitim vrijednostima tih investicija, i to uvijek u odnosu na specifične investicije po jedinici snage za gradnju plinskih turbina. Na primjer, ako su relativne specifične investicije $i = 1,5$, to znači da specifične investicije za pumpno-akumulacijsko postrojenje iznose 50% više nego za plinske turbine iste snage.

Za određivanje utjecaja povećanja instalirane snage postojećih hidroelektrana promatrane su tri hidroelektrane koje su već izgrađene u elektroenergetskom sistemu. Hidroelektrana A (HE A) ima vrlo velik akumulacijski bazen koji omogućuje gotovo potpuno iskorištenje vode i uz postojeću instaliranu snagu, pa se povećanjem instalirane snage samo neznatno povećava mogućnost proizvodnje energije (tabl. 1). Hidroelektrana C (HE C) ima mali akumulacijski bazen i njezina je instalirana snaga relativno niska u odnosu prema protocima, pa se s povećanjem njezine instalirane snage znatno više povećava mogućnost proizvodnje. Hidroelektrana B (HE B) ima karakteristike koje su između HE A i HE C (tabl. 1). U toj tablici nalaze se i podaci o konstantnoj energiji koja se mora proizvesti u hidroelektrani da se spriječe preljevi. To je energija koja se proizvodi s konstantnom sna-



Sl. 1. Trajanje iskorištenja instaliranih snaga promatranih hidroelektrana

gom u 24 sata u danu. Povećanjem instalirane snage postojećih hidroelektrana smanjuje se trajanje iskorištenja instalirane snage (sl. 1), pa se raspored proizvodnje u toku dana može bolje prilagoditi potražnji potrošača.

Specifične investicije za povećanje snage hidroelektrana promatrane su isto onako kao i specifične investicije pumpno-akumulacijskih postrojenja.

4. METODE ENERGETSKE ANALIZE

Elektronergetske analize provedene su metodom konstantne i varijabilne energije koja je u svojoj verziji opisana u [1], a dalje razvijena i prilagođena elektroničkom računalu [2]. Pomoću te metode mogu se izračunati — za bilo kakav elektroenergetski sistem — vrijednosti svih veličina koje su potrebne za energetske i ekonomske analize (iskorištenje snage i energije hidroelektrana, potrebnu proizvodnju svih termoelektrana, potrebnu snagu i proizvodnju novih termoelektrana, eventualni manjak energije i snage itd.). Da se uzmu u obzir

Tablica 1.

KARAKTERISTIKE HIDROELEKTRANA									
Dodatna snaga MW	Hidroelektrana			Hidroelektrana			Hidroelektrana		
	Instalirana snaga MW	Godišnja energija GWh	Konstantna energija GWh	Instalirana snaga MW	Godišnja energija GWh	Konstantna energija GWh	Instalirana snaga MW	Godišnja energija GWh	Konstantna energija GWh
0	232,7	745,1	69,6	432,0	1 837,3	512,5	216,0	1 164,6	685,6
100	332,7	751,3	29,0	532,0	1 868,2	322,2	316,0	1 316,9	548,5
200	432,7	753,1	14,0	632,0	1 877,6	187,5	416,0	1 389,7	400,0
300	532,7	754,4	8,8	732,0	1 879,4	97,7	516,0	1 422,2	280,8
400	632,7	754,4	6,1	832,0	1 879,8	47,5	616,0	1 438,5	191,9
500	732,7	754,4	3,3	932,0	1 879,8	19,9	716,0	1 445,5	123,2
600	832,7	754,4	—	1 032,0	1 879,8	6,6	816,0	1 448,1	81,5
700	932,7	754,4	—	1 132,0	1 879,8	3,5	916,0	1 448,3	49,8
800	1 032,7	754,4	—	1 232,0	1 879,8	0,7	1 016,0	1 448,3	26,9
900	1 132,7	754,4	—	1 332,0	1 879,8	—	1 116,0	1 448,3	12,8
1 000	1 232,7	754,4	—	1 432,0	1 879,8	—	1 216,0	1 448,3	6,2

oscilacije potražnje i oscilacije protoka, godina je podijeljena na mjesec, što znači da je potrebno 480 pojedinačnih proračuna za određivanje svih potrebnih podataka za jedno pretpostavljeno stanje izgradnje. Proračun potrebne proizvodnje svake grupe u termoelektranama proveden je prema raspoloživim snagama tih grupa da bi se dobila što vjernija slika o troškovima za gorivo. Detaljnije može se naći u [2] i [3].

Kad se promatraju varijante s gradnjom pumpno-akumulacijskih postrojenja, angažiranje snage takvih postrojenja određeno je metodom optimizacije koja je opisana u [4], [5] i [6].

5. UTJECAJ TIPOVA VRŠNIH ELEKTRANA NA ENERGETSKE ODOSE U SISTEMU

Dakako da se najvažniji utjecaj izgradnje vršnih elektrana manifestira u smanjenju potrebne snage termoelektrana za zadovoljenje potražnje. To naravno vrijedi uz pretpostavku da je izgradnja hidroelektrana zadana, što je i normalno slučaj prilikom takvih analiza.

Izgradnjom plinskih turbina smanjuje se potrebna raspoloživa snaga dodatnih termoelektrana upravo za raspoloživu snagu takvih postrojenja.

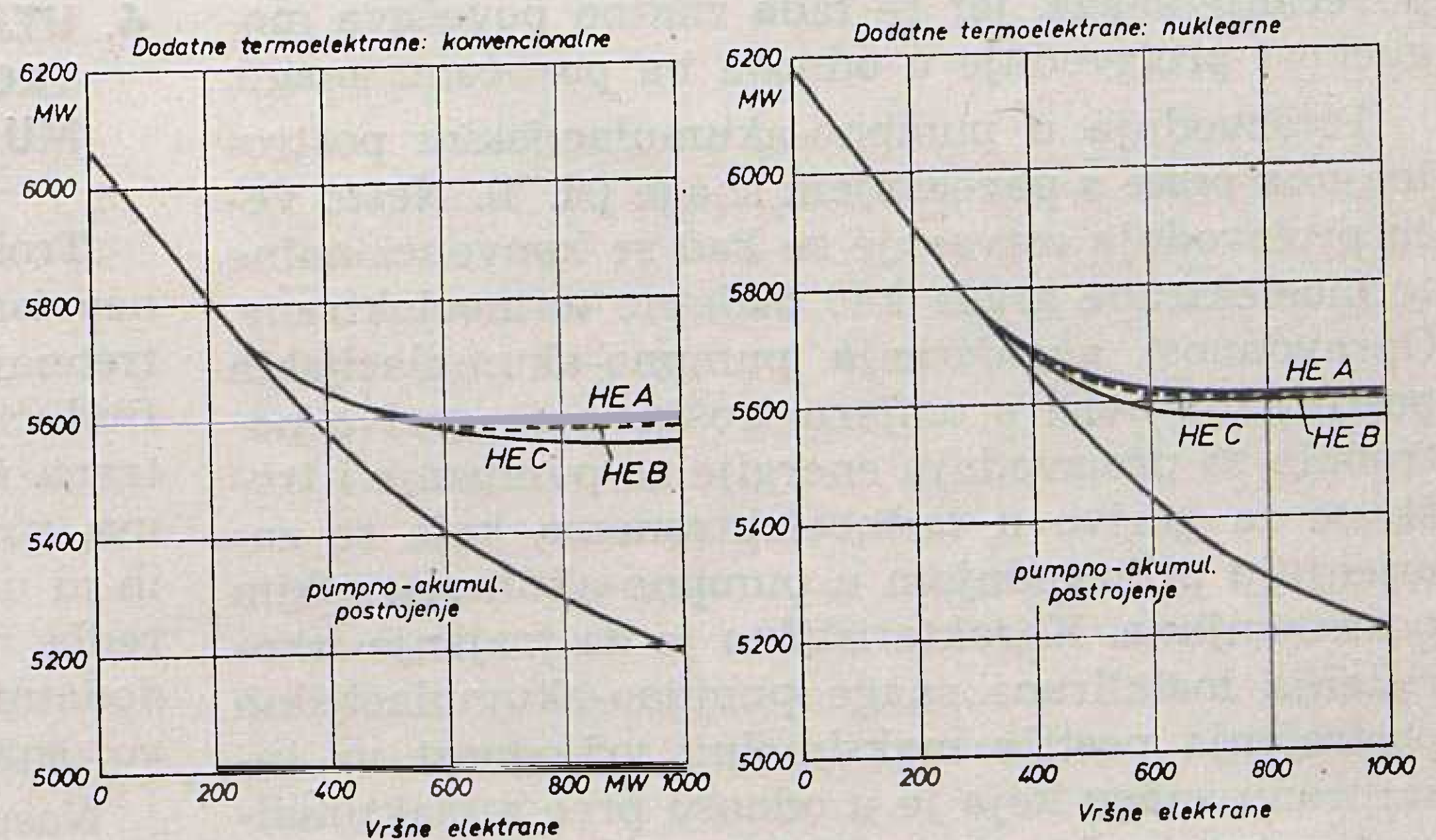
Kad se, međutim, promatraju pumpno-akumulacijska postrojenja i povećanje instalirane snage postojećih hidroelektrana (sl. 2), može se konstatirati da se postiže veće smanjenje potrebne snage termoelektrana gradnjom pumpno-akumulacijskih postrojenja nego povećanjem snage hidroelektrana. U pumpno-akumulacijskim postrojenjima uvijek se može osigurati potrebna voda za pogon s maksimalnom snagom za vrijeme od 6 sati u danu, jer se potrebna voda dovodi u akumulacijski bazen pumpanjem. S povećanjem instalirane snage hidroelektrana, nasuprot tome, ne povećava se raspoloživa količina vode, jer ona ovisi o prirodnim dotocima. Zbog toga se s povećanje instalirane snage sve više skraćuje mogućnost trajanja iskorištenja snage hidroelektrana. Budući da je za pokrivanje vršnog dijela dijagrama opterećenja potrebna i određena energija (ovisnost potrebne energije o snazi ovisi o obliku dnevnog dijagrama opterećenja), te budući da se s povećanjem snage povećava i potrebna energija, dio snage elektrana ostat će neiskorišten ako povećanje snage nije praćeno povećanjem energije. To se ne događa u pumpno-akumulacijskim postrojenjima, ali to se pojavljuje u hidroelektranama. Zbog toga su pumpno-akumulacijska postrojenja, s obzirom na smanjenje potrebne snage termoelektrana u sistemu, povoljnije od hidroelektrana s povećanom instaliranom snagom. Utjecaj povećanja energije na smanjenje potrebne snage termoelektrana vidi se us-

poredbom triju promatranih hidroelektrana, pa je najpovoljnija hidroelektrana C, jer se tada s povećanjem snage najviše povećava mogućnost proizvodnje energije. Razlika među hidroelektranama nije velika jer se povećana proizvodnja ne pojavljuje samo u razdoblju koje je mjernodavno za određivanje potrebne snage termoelektrana (kritično razdoblje sistema). Povećanje proizvodnje u hidroelektranama utječe i na raspored godišnjih revizija grupa u termoelektranama, pa se uz povećanu proizvodnju može ostvariti povoljniji raspored, što smanjuje potrebnu snagu u termoelektranama.

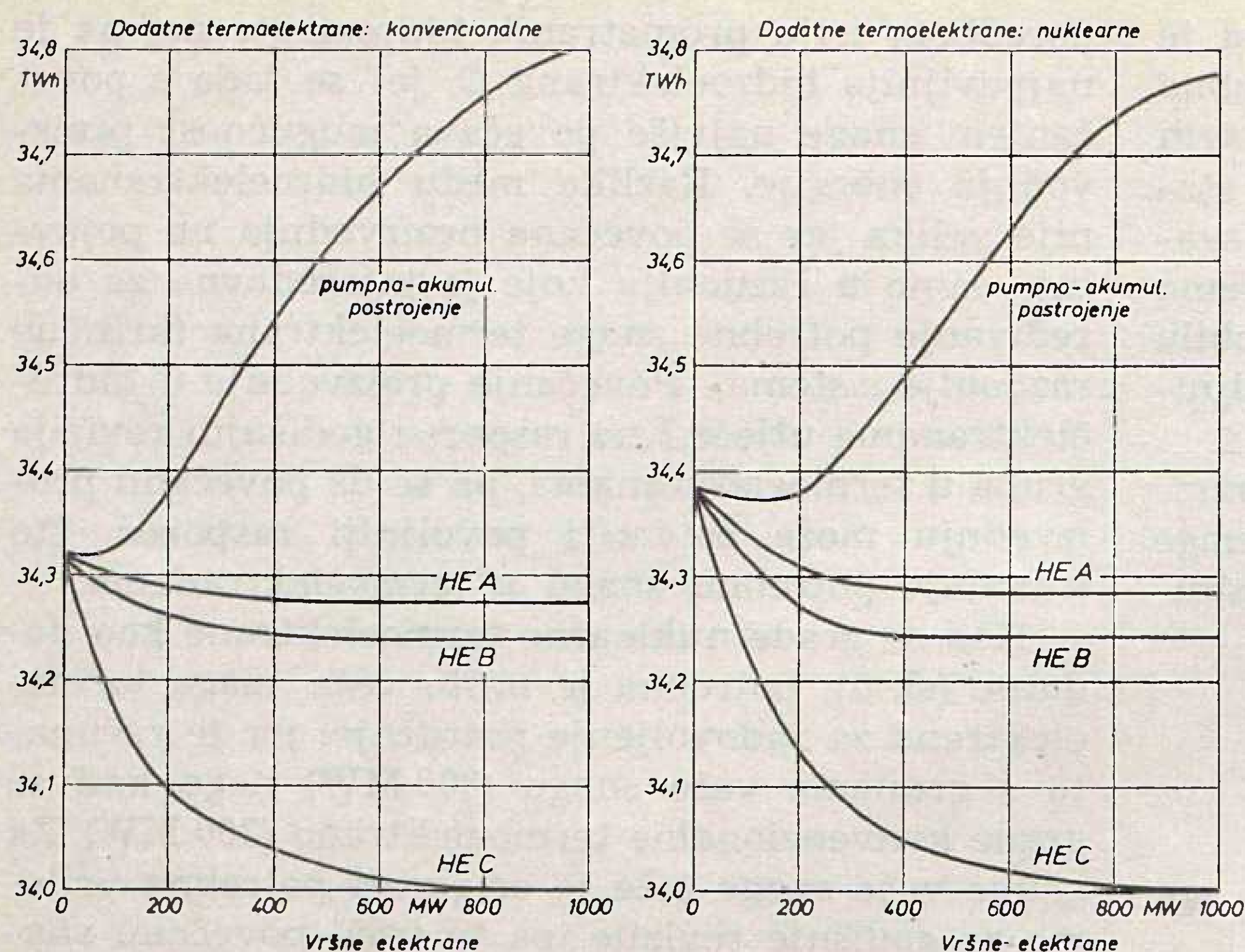
Kad se grade nuklearne termoelektrane kao dodatne (sl. 2), potrebna je nešto veća snaga termoelektrana za zadovoljenje potražnje, jer je računato s grupama veće snage (800 MW) nego kad se grade konvencionalne termoelektrane (300 MW). Za grupe veće snage teže je osigurati potrebno vrijeme za godišnje revizije, pa to traži povećanu snagu dodatnih termoelektrana.

Potrebna proizvodnja u termoelektranama u ovisnosti o tipu vršnih elektrana i o njihovoj snazi vidi se na sl. 3. S povećanjem snage pumpno-akumulacijskih postrojenja povećava se potrebna proizvodnja termoelektrana osim za vrlo male snage kad se energija za pumpanje dobiva smanjenjem preljeva u hidroelektranama. Kad su iskorištene mogućnosti sa smanjenjem preljeva, sva energija za pumpanje osigurava se povećanjem proizvodnje u termoelektranama, jer je u takvim postrojenjima potrebno više energije za pumpanje nego što se proizvodi u turbinskom pogonu. Povećanjem instalirane snage hidroelektrana smanjuje se proizvodnja u termoelektranama. To je smanjenje to veće što je veće povećanje proizvodnje u hidroelektrani (tabl. 1). Osim toga proizvodnja u termoelektranama smanjuje se zbog smanjenja preljeva u hidroelektranama (sl. 4).

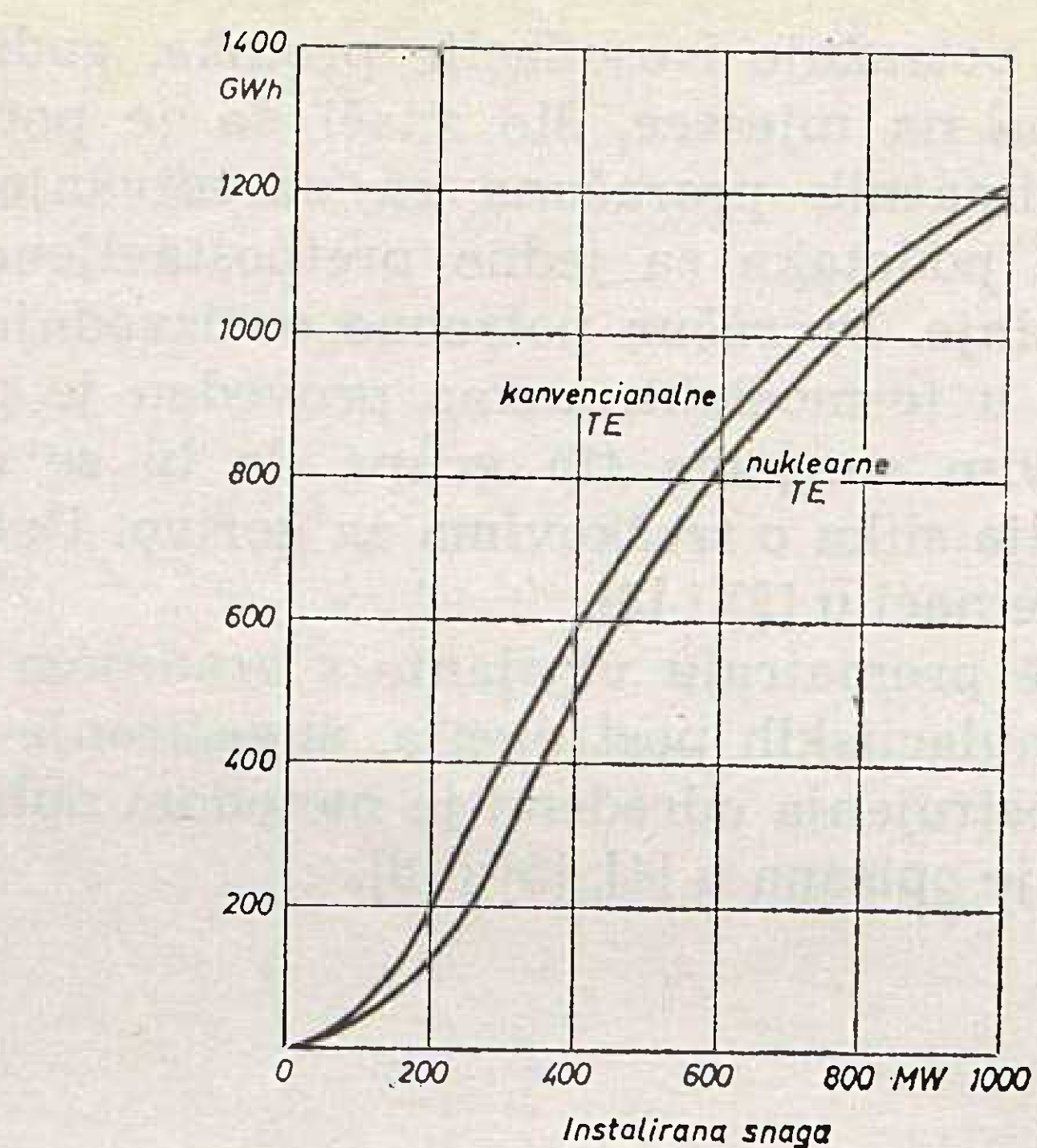
Preljevi u hidroelektranama veći su kad se računa s nuklearnim elektranama kao dodatnim, jer se tada grade grupe većih snaga pa je i tehnički minimum takvih agregata u apsolutnom iznosu veći. Povećanje preljeva pojavljuje se samo kad se poveća snaga hidroelektrane C, i to samo za malo



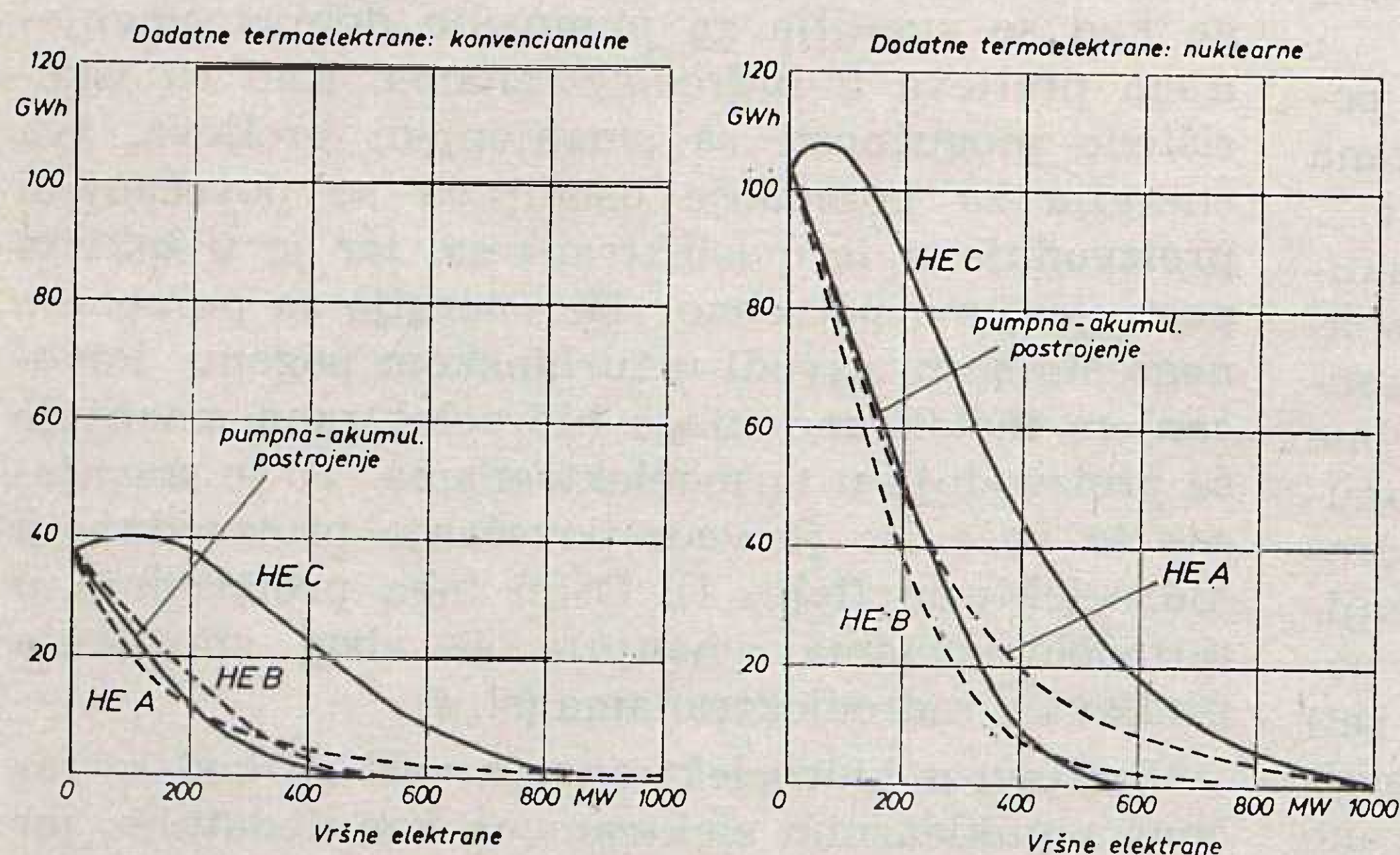
Sl. 2. Potrebna raspoloživa snaga termoelektrana



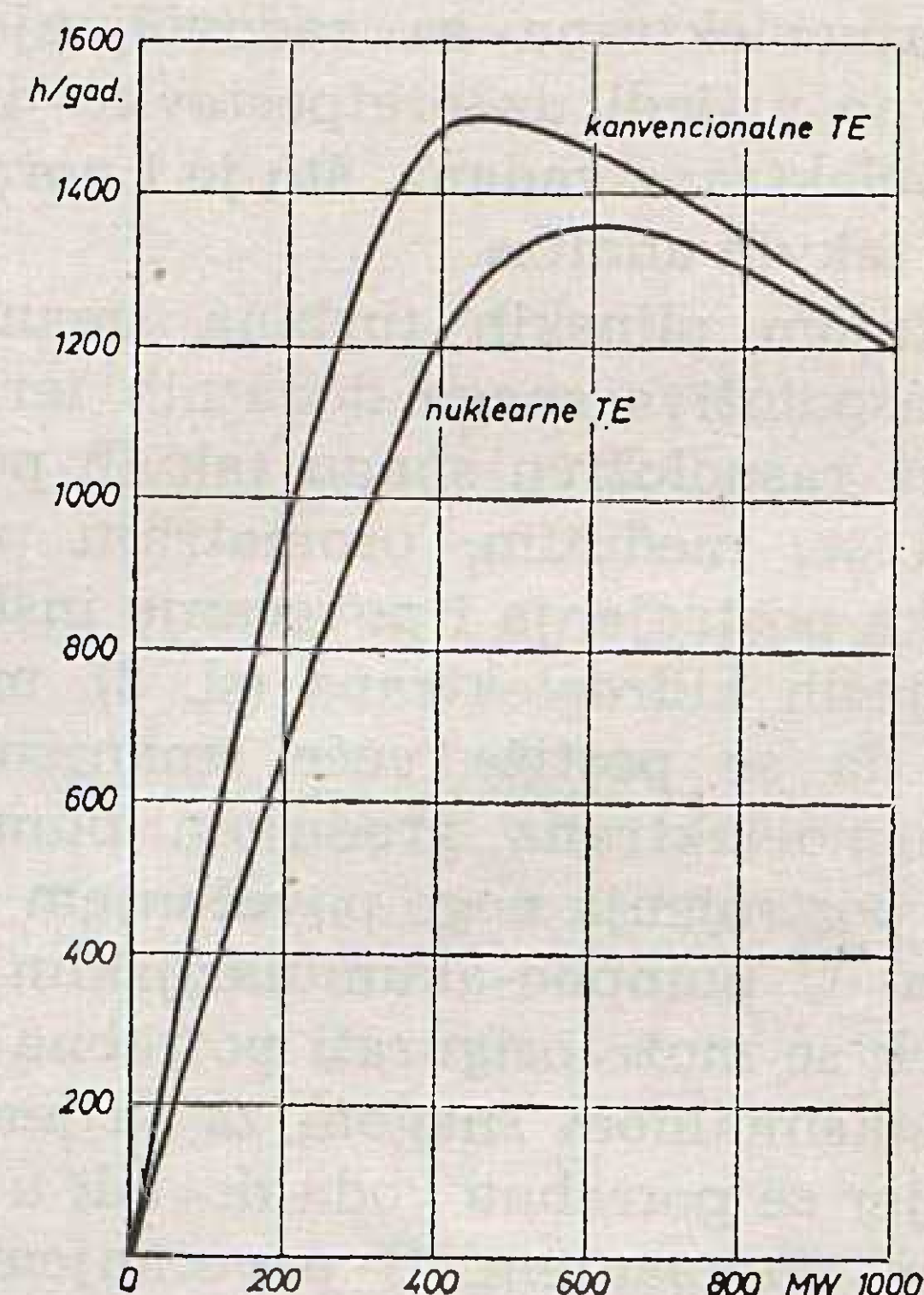
Sl. 3. Potrebna proizvodnja termoelektrana



Sl. 5. Proizvodnja energije u pumpno-akumulacijskim postrojenjima



Sl. 4. Preljevi u hidroelektranama



Sl. 6. Trajanje iskorištenja instalirane snage pumpno-akumulacijskih postrojenja

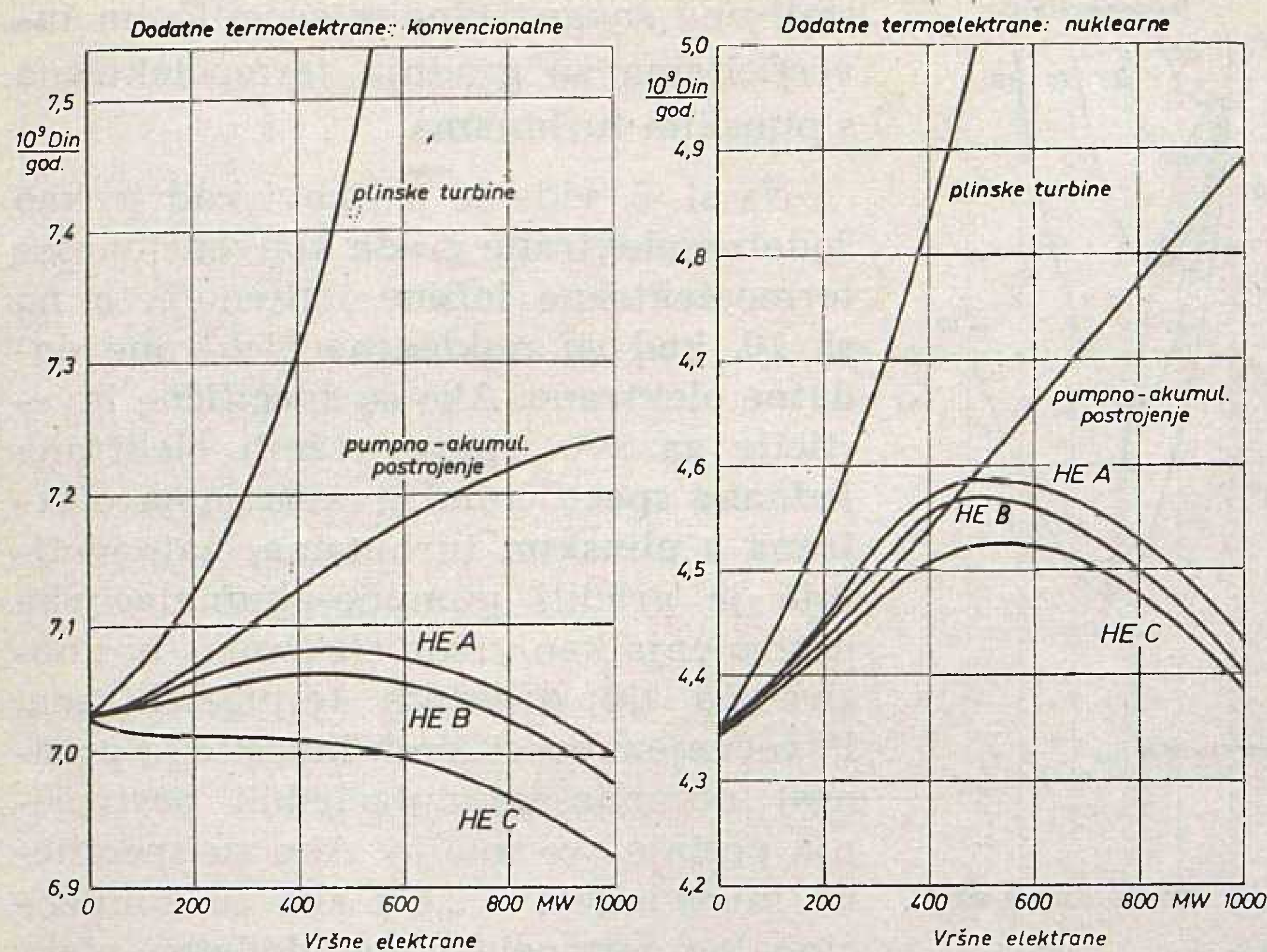
povećanje snage, jer se tada znatno povećava mogućnost proizvodnje u odnosu na povećanu snagu.

Proizvodnja u pumpno-akumulacijskim postrojenjima raste s povećanjem snage (sl. 5). Nešto veća proizvodnja ostvaruje se kad se konvencionalne termoelektrane grade kao dodatne termoelektrane. Opravdanost angažiranja pumpno-akumulacijskih postrojenja ovisi o omjeru troškova za gorivo potrebnih za proizvodnju energije za pumpanje i troškove za gorivo u termoelektranama koje se zamjenjuju proizvodnjom u pumpno-akumulacijskim postrojenjima. Karakteristično je da trajanje iskorištenja instalirane snage pumpno-akumulacijskih postrojenja postiže maksimalnu vrijednost uz instaliranu snagu koja je u odnosu prema maksimalnom opterećenju relativno malena (sl. 6).

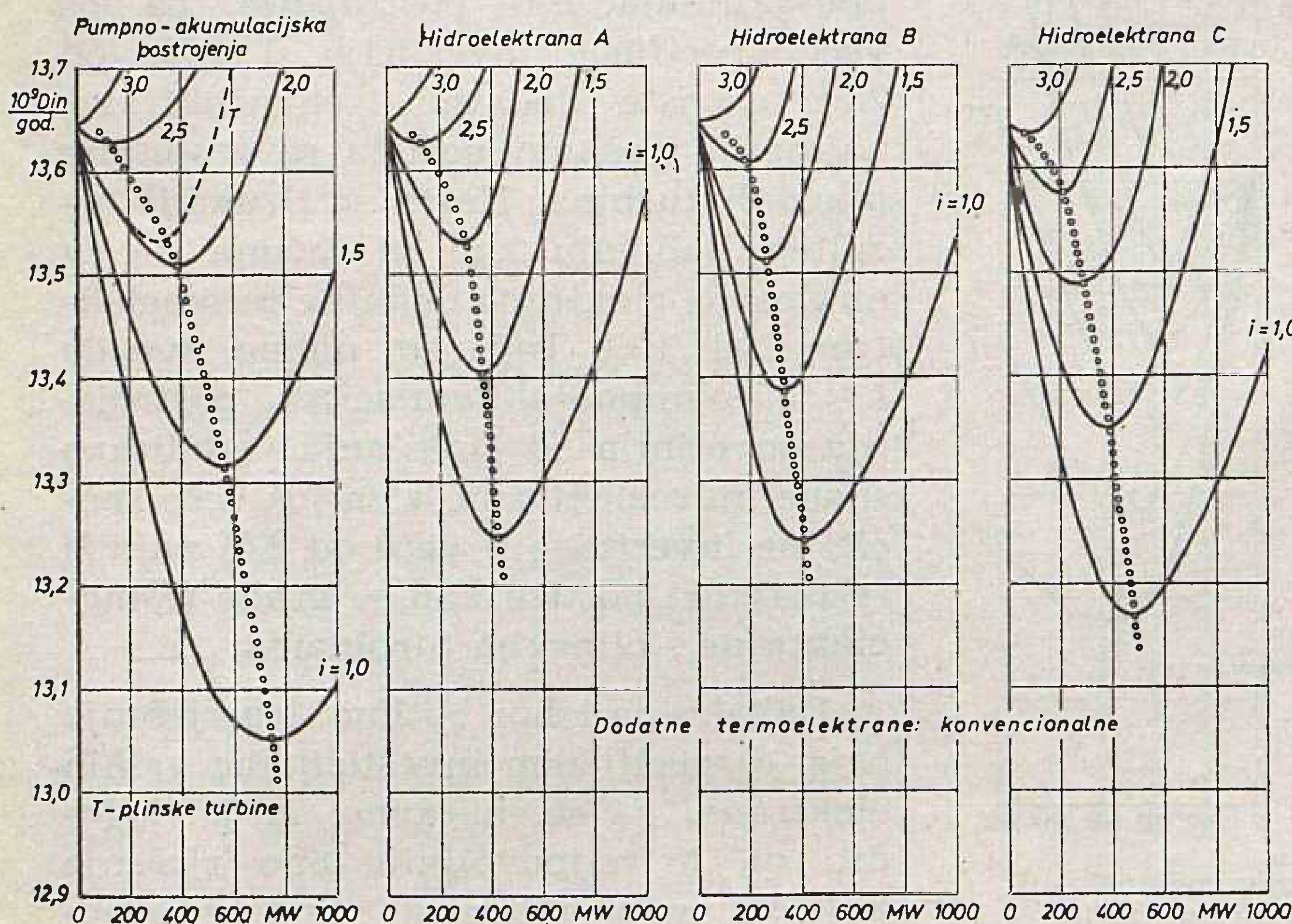
6. UTJECAJ TIPOVA VRŠNIH ELEKTRANA NA TROŠKOVE U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

Troškovi u elektroenergetskom sistemu koji su neovisni o proizvodnji (stalni troškovi) ovise o potrebnoj snazi dodatnih elektrana i o njihovoj vrsti. Budući da su stalni troškovi postojećih hidroelektrana i termoelektrana jednaki u svim varijantama, pri razmatranju troškova u sistemu ne treba ih ni uzimati u račun. Prema tome, prilikom usporedbe varijanta računa se sa stalnim troškovima dodatnih termoelektrana, koji su razmjerni njihovoj snazi i stalnim troškovima vršnih elektrana.

Nasuprot tome, kad se određuju troškovi za gorivo, moraju se uzeti u obzir sve termoelektrane,



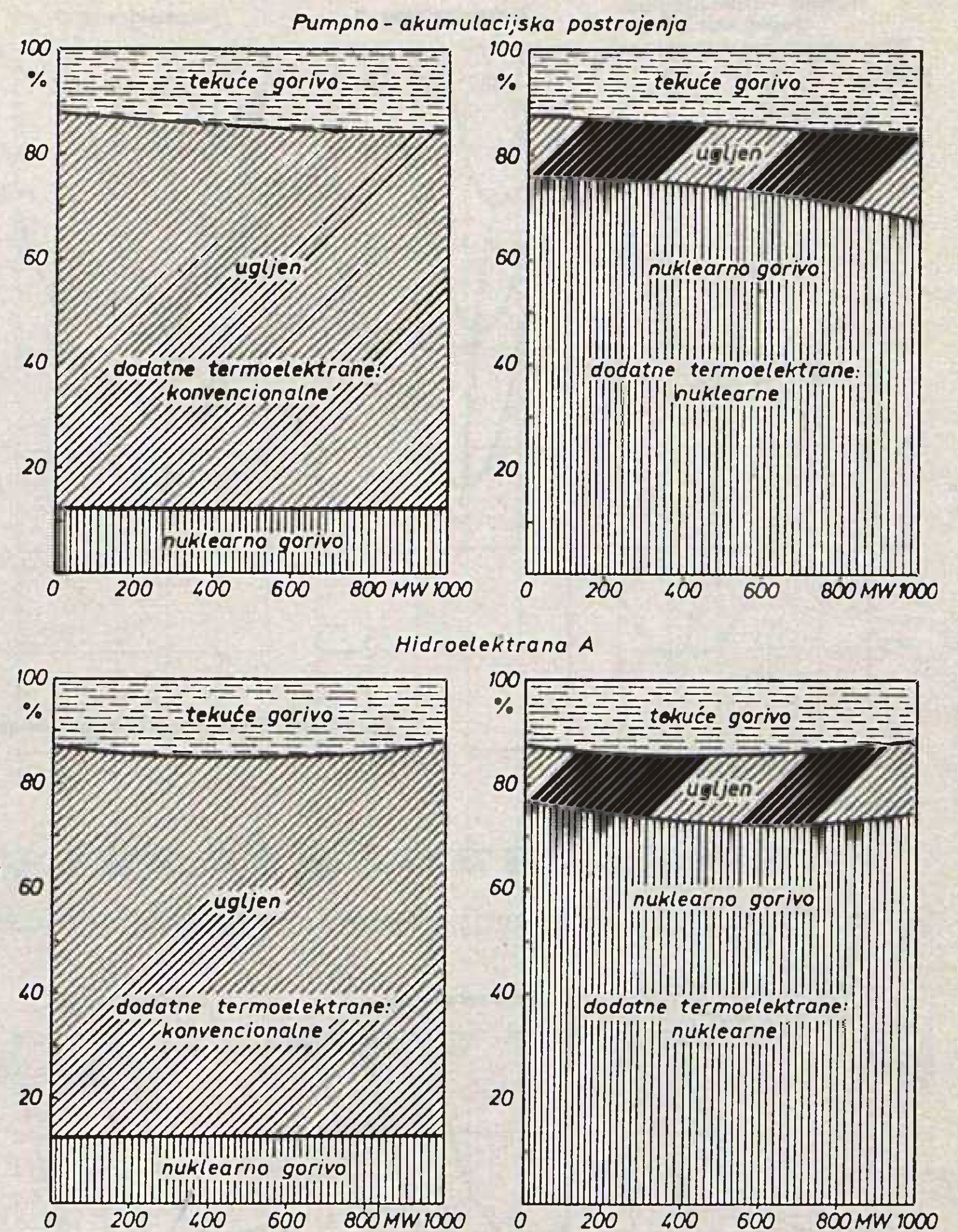
Sl. 7. Troškovi za gorivo u termoelektranama



Sl. 9. Troškovi u sistemu; dodatne elektrane: konvencionalne termoelektrane

jer svaka promjena na sistemu (gradnja novih elektrana, povećanje snage postojećih elektrana) utječe na angažiranje svih termoelektrana sistema.

Povećanjem instalirane snage termoelektrana s plinskim turbinama i pumpno-akumulacijskih postrojenja povećavaju se troškovi za gorivo (sl. 7). Znatno brže rastu troškovi za gorivo kad se grade plinske turbine nego kad su vršne elektrane pumpno-akumulacijska postrojenja, jer su specifični troškovi za gorivo plinskih turbina visoki, a proizvodnja takvih elektrana s povećanjem njihove snage naglo raste. S druge strane, kad se grade pumpno-akumulacijska postrojenja, povećanje troškova za gorivo ovisi o razlici troškova za gorivo u termoelektranama koje se mora angažirati za proizvodnju energije za pumpanje i troškova za gorivo koji se uštede zbog proizvodnje energije u pumpno-akumulacijskim postrojenjima.

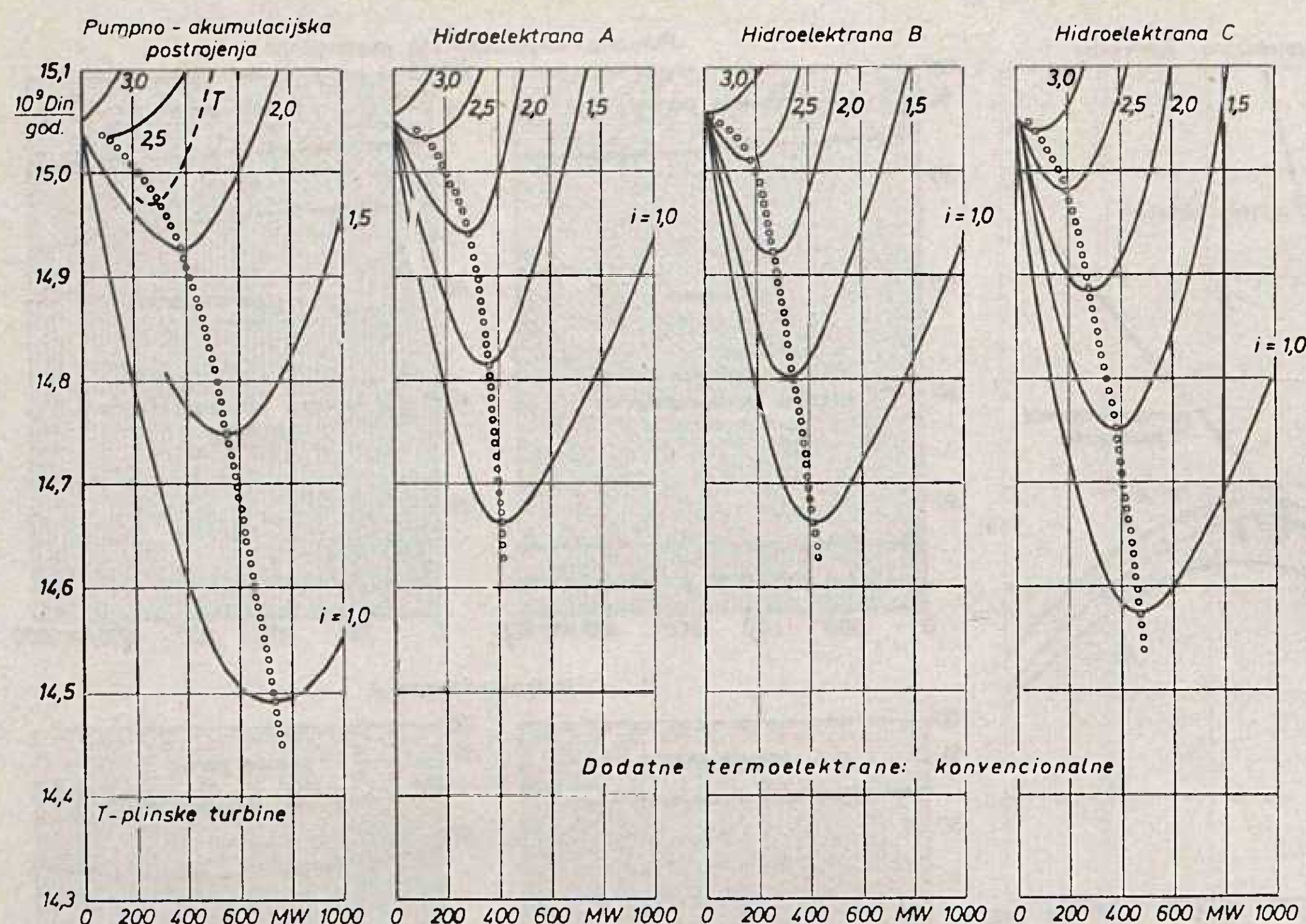


Sl. 8. Struktura proizvodnje u termoelektranama prema vrsti goriva

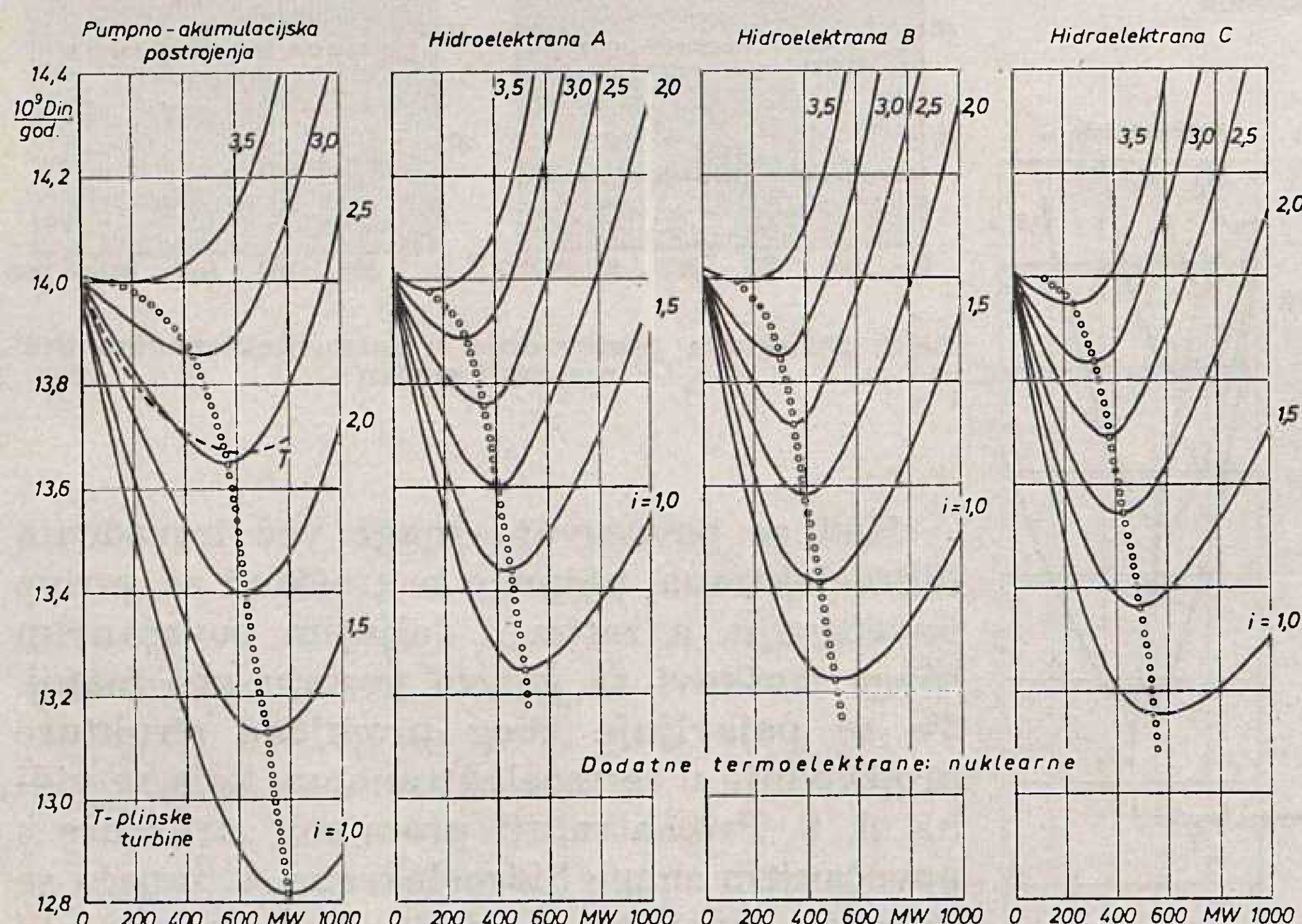
Kad se povećavaju snage već izgrađenih hidroelektrana, najprije se troškovi za gorivo povećavaju, a zatim s daljnjim povećanjem snage troškovi za gorivo postaju sve manji. To se pojavljuje zbog promjene strukture proizvodnje u termoelektranama, koja se vidi na sl. 8. Promatrajući promjenu strukture s povećanjem snage hidroelektrane A, zapaža se najprije smanjenje udjela konvencionalnih termoelektrana (kad su takve elektrane dodatne elektrane), odnosno nuklearnih elektrana (kad su to dodatne elektrane), a zatim povećanje udjela tih elektrana u ukupnoj proizvodnji termoelektrana. U oba slučaja

najprije se povećava udio termoelektrana na loživo ulje, a zatim se taj udio smanjuje. To se pojavljuje zbog promjene položaja termoelektrana u dijagramu opterećenja. Taj je utjecaj na troškove za gorivo veći kad se kao dodatne elektrane grade nuklearne elektrane nego kad se grade konvencionalne termoelektrane zbog većih razlika specifičnih troškova za gorivo.

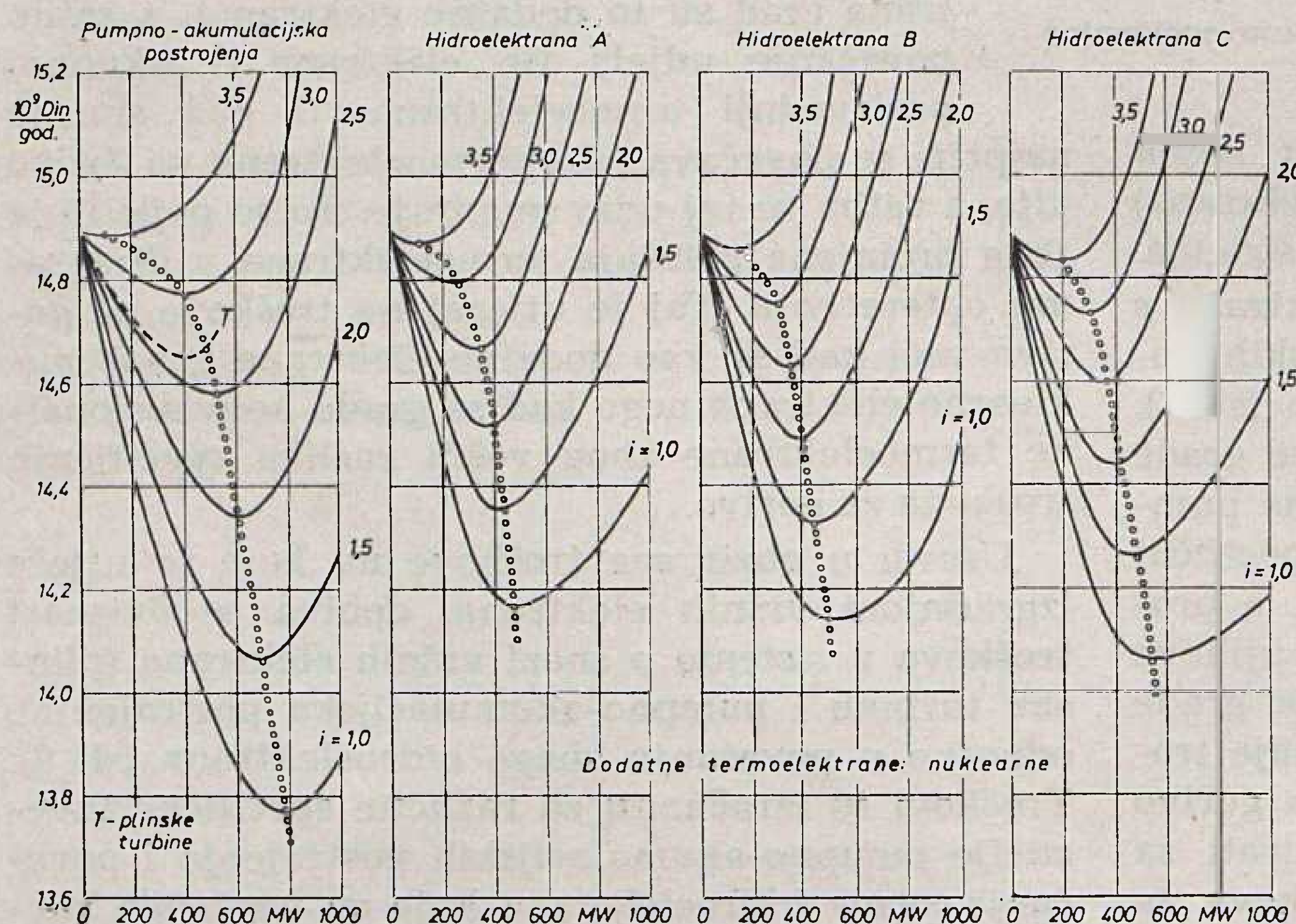
Uzevši u obzir sve troškove na koje se utječe izgradnjom vršnih elektrana, dobiva se ovisnost troškova u sistemu o snazi vršnih elektrana (plinske turbine i pumpno-akumulacijska postrojenja), odnosno o povećanju snage hidroelektrana (sl. 9). Troškovi su izračunati za različite specifične investicije pumpno-akumulacijskih postrojenja i povećanja snage hidroelektrana koje su označene koeficijentom i . Taj koeficijent ima vrijednost 1 ($i = 1,0$) kad su specifične investicije po jedinici in-



Sl. 10. Troškovi u sistemu; dodatne elektrane: nuklearne elektrane



Sl. 11. Troškovi u sistemu; dodatne elektrane: konvencionalne termoelektrane — troškovi za gorivo povećani za 20 %



Sl. 12. Troškovi u sistemu; dodatne elektrane: nuklearne elektrane — troškovi za gorivo povećani za 20 %

stalirane snage jednake specifičnim investicijama za gradnju termoelektrana s plinskim turbinama.

Na sl. 9. vide se troškovi kad se kao dodatne elektrane grade konvencionalne termoelektrane ložene ugljenom, a na sl. 10. kad su nuklearne elektrane dodatne elektrane. Ako su specifične investicije za sve tipove vršnih elektrana jednake specifičnim investicijama elektrana s plinskim turbinama, najpovoljnije je graditi pumpno-akumulacijska postrojenja kao vršne elektrane, bez obzira na tip dodatnih termoelektrana. Povećanjem specifičnih investicija prednost pumpno-akumulacijskih postrojenja postaje sve manja. Ako su specifične investicije $i = 2,0$ i ako su konvencionalne termoelektrane dodatne elektrane, nešto je povoljnije povećati snagu u hidroelektrani C nego graditi pumpno-akumulacijska postrojenja. Za još veće specifične investicije (i veće od 2,0), uz iste dodatne termoelektrane, najmanji troškovi postižu se gradnjom plinskih turbina. Nešto se drukčiji rezultati dobivaju kad se računa da su nuklearne elektrane dodatne termoelektrane (sl. 10.). Tada su, naime, sve do $i = 2,5$ pumpno-akumulacijska postrojenja povoljnija od povećanja instalirane snage hidroelektrana, a za još veće specifične investicije (i veće od 2,5) najniži se troškovi postižu kad se grade termoelektrane s plinskim turbinama.

Dakako da izbor optimalnog rješenja ovisi o specifičnim investicijama vršnih elektrana, pa se, naravno, može dogoditi da je najpovoljnije ono rješenje koje se na prvi pogled čini manje povoljnim.

Da se prikaže utjecaj cijena goriva na izbor vršnih elektrana, izračunati su troškovi u elektroenergetskom sistemu uz pretpostavku da se povećavaju svi troškovi za gorivo za 20% (sl. 11. i 12). Pokazuje se, kad su konvencionalne kao dodatne termoelektrane (sl. 11), da je manja prednost pumpno-akumulacijskih postrojenja prema povećanju instalirane snage hidroelektrana. Tako su samo do $i = 1,5$ povoljnija pumpno-akumulacijska postrojenja, a kad su specifične investicije veće, bolje je povećati instaliranu snagu hidroelektrana nego graditi pumpno-akumulacijska postrojenja.

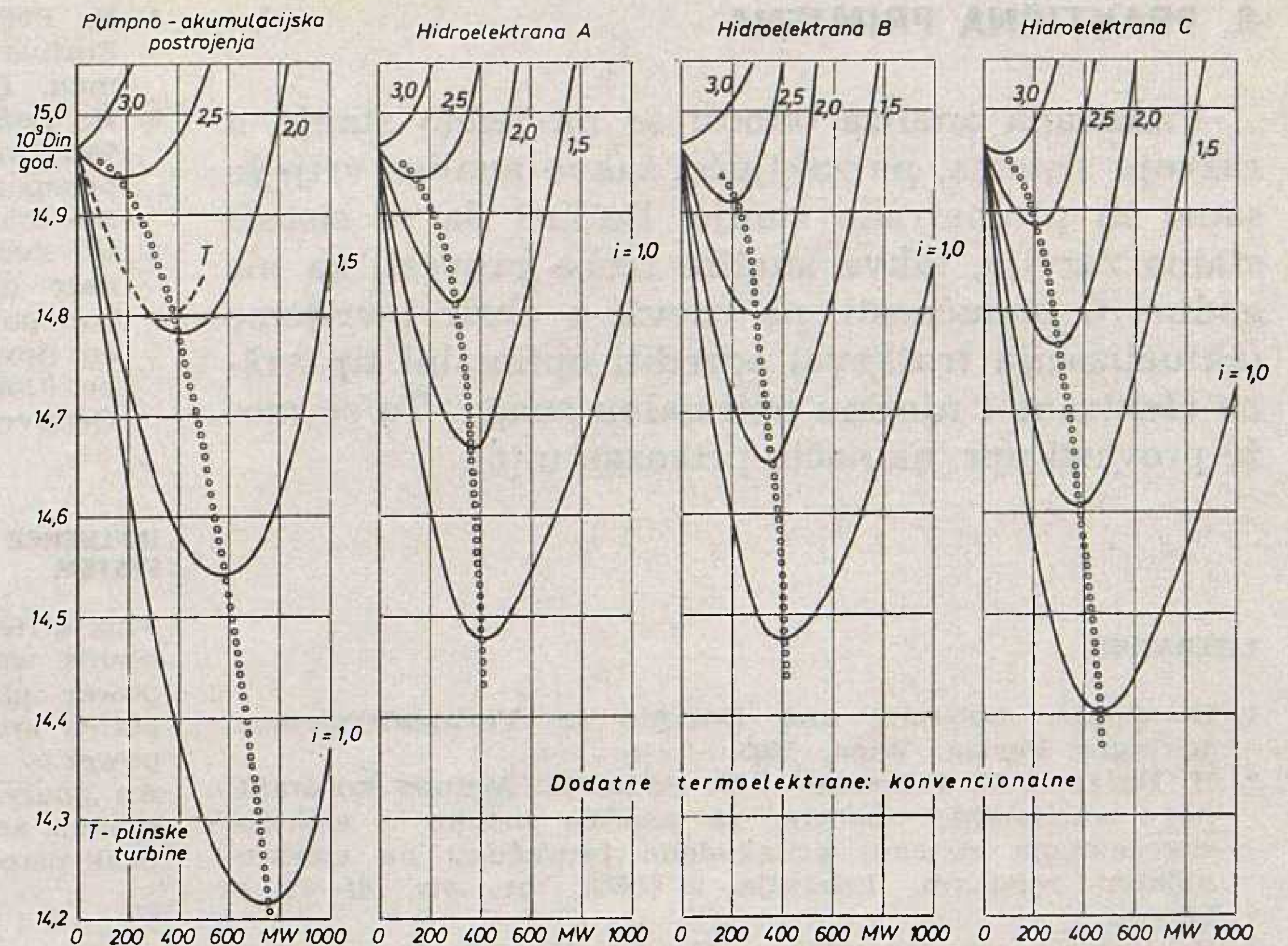
Ako se kao dodatne termoelektrane grade nuklearne elektrane (sl. 12), pumpno-akumulacijska postrojenja imaju

prednost pred povećanjem snage hidroelektrana sve dok specifične investicije ne postanu veće od $i = 2,5$.

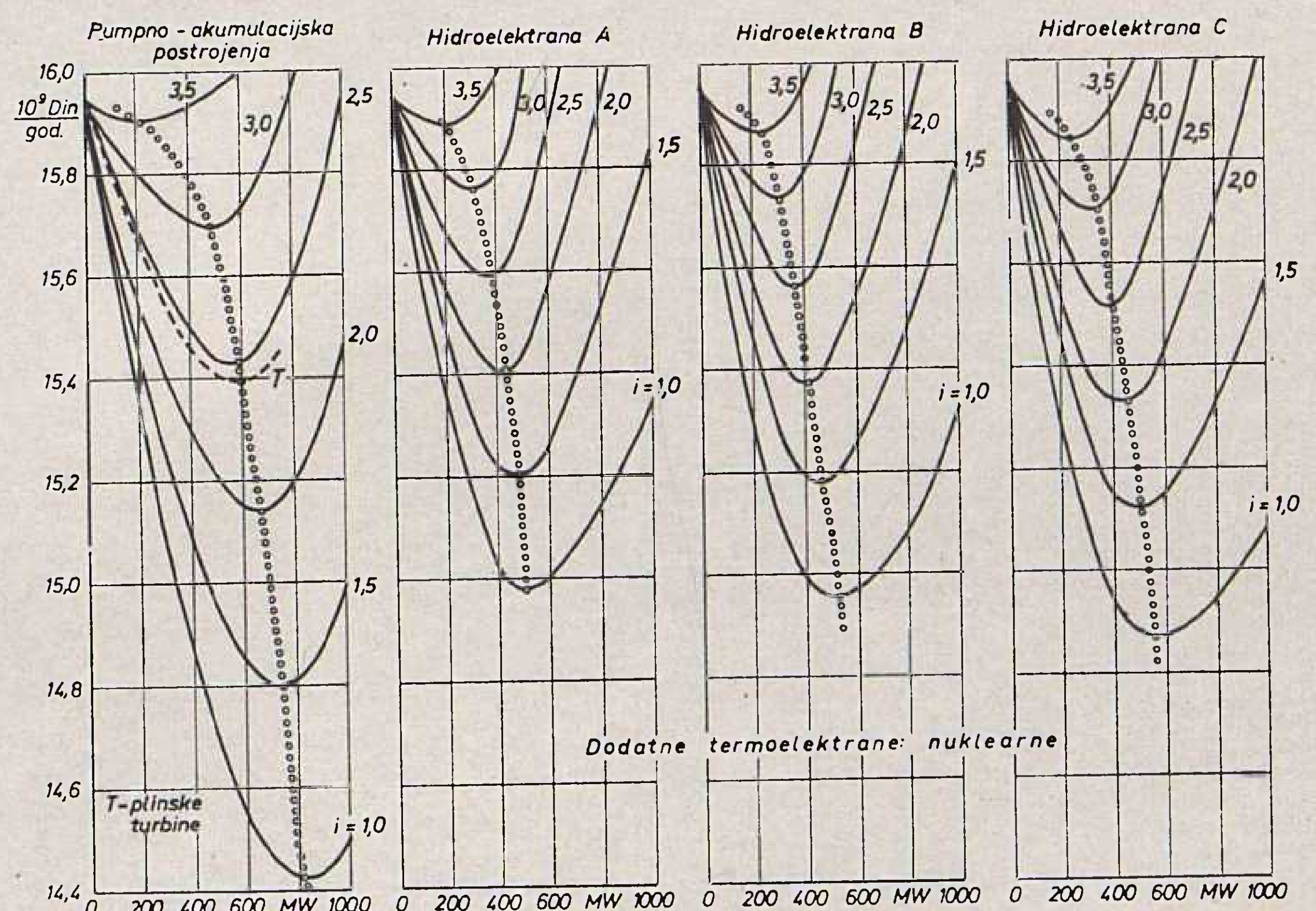
Utjecaj povećanja specifičnih investicija za sve tipove elektrana (računato je s povećanjem od 20%) vidi se na sl. 13 (konvencionalne kao dodatne elektrane) i na sl. 14 (nuklearne kao dodatne elektrane). Kad su konvencionalne termoelektrane dodatne elektrane u sistemu, pumpno-akumulacijska postrojenja povoljnija su od povećanja snage hidroelektrana sve dok su specifične investicije manje od $i = 2,0$. Za povećane specifične investicije (i veće od 2,0) najpovoljnija je gradnja termoelektrana s plinskim turbinama. Ako se računa s gradnjom nuklearnih elektrana kao dodatnih elektrana, pumpno-akumulacijska postrojenja povoljnija su od drugih tipova vršnih elektrana sve dok su specifične investicije manje od $i = 2,5$.

Kad se uspoređuju hidroelektrane u kojima se promatra povećanje instalirane snage, uvijek je najpovoljnija hidroelektrana C, dakle ona u kojoj se postiže najveće povećanje proizvodnje s povećanjem instalirane snage. Taj zaključak, međutim, vrijedi samo uz pretpostavku da su specifične investicije u svim hidroelektranama jednake.

Promatrajući utjecaj tipa dodatnih termoelektrana, može se zaključiti da će u sistemima u kojima se kao dodatne termoelektrane grade nuklearne elektrane biti opravdanije graditi pumpno-akumulacijska postrojenja nego povećavati instaliranu snagu hidroelektrana.



Sl. 13. Troškovi u sistemu; dodatne elektrane: konvencionalne termoelektrane — investicije povećane za 20%



Sl. 14. Troškovi u sistemu; dodatne elektrane: nuklearne elektrane — investicije povećane za 20%

7. ZAKLJUČNA NAPOMENA

Provedena analiza, koja — kako je već spomenuto — vrijedi za promatrani elektroenergetski sistem, pokazuje da je u sistemu potrebna samo ograničena snaga vršnih elektrana. Ona iznosi oko 10% od maksimalnog opterećenja sistema ako se kao vršne elektrane grade pumpno-akumulacijska postrojenja i ako su njihove specifične investicije na razini investicija za termoelektrane s plinskim turbinama. Uz tolike specifične investicije za povećanje snage u hidroelektranama opravdano je povećanje snage samo za 5 do 6% od maksimalnog opterećenja sistema. Naravno da se s povećanjem

specifičnih investicija smanjuje optimalna snaga vršnih elektrana. U sistemima u kojima se konvencionalne termoelektrane grade kao dodatne veći je utjecaj povećanja specifičnih investicija vršnih elektrana nego u sistemima u kojima se kao dodatne grade nuklearne elektrane.

Ako su specifične investicije vršnih hidroelektrana veće od $i = 2,0$ (kad su konvencionalne dodatne elektrane), odnosno veće od $i = 2,5$ (kad su nuklearne dodatne elektrane), povoljnije je graditi termoelektrane s plinskim turbinama kao vršne elektrane. Njihova snaga tada iznosi oko 4% (konvencionalne termoelektrane), odnosno oko 7% (nuklearne elektrane) od maksimalnog opterećenja elektroenergetskog sistema.

8. PRAKTIČNA PRIMJENA

Prikazana analiza odnosi se na jedno stanje u razvoju sistema, pa zaključci takve analize vrijede samo za promatrano stanje. Budući da se sistem stalno razvija, takve analize treba provesti za niz godina u budućnosti, pa uzevši u obzir i vrijeme (aktualizacija troškova) odrediti optimalni tip vršne elektrane i njezinu optimalnu snagu. To se može provesti npr. na način prikazan u [6].

LITERATURA

1. H. Požar: Leistung und Energie in Verbundsystemen, Springer Verlag, Wien, 1963.
2. H. Požar — B. Filipović — P. Bodlović: Metoda konstantne i varijabilne energije za analizu prilika u elektroenergetskom sistemu prilagođena proračunu na električkom računalu, Energija 21 (1972), br. str. 61—72 et 142—149.
3. H. Požar — B. Udovičić — G. Granić: Određivanje faktora raspoloživosti u elektroenergetskom sistemu, Elektroprivreda 28 (1975), br. 8/9, str. 28—35.
4. H. Požar — G. Granić: Verfahren zur Bestimmung des Einflusses von Pumpenspeichieranlagen auf Verbundsystemen, Elektrizitätswirtschaft 73 (1974), p. 217—227.
5. H. Požar — G. Granić: Einfluss der Kenngrößen eines Verbundsystems auf den Betrieb und Ausbau von Pumpenspeichieranlagen, Elektrizitätswirtschaft 73 (1974), p. 569—579.
6. H. Požar: Principes méthodologiques d'optimisation de la date d'entrée en service des centrales à accumulation par pompage dans le système mixte d'énergie électrique en développement, Commission économique pour l'Europe, Comité de l'énergie électrique, EP/GE. 3/R. 27/Add. 1, Genève, 1976.

INFLUENCE OF PEAK POWER PLANTS TYPES ON ELECTROENERGETIC SYSTEM

This article brings about the comparison of three type power plants which can be used for production of peak energy: power plant with gas turbines, pump-accumulated power plants and existing power plants with augmented installed power.

An analysis had been carried out on exact electroenergetic system and through it an optimal power of observed power peak plants had been defined.

Naslov pisca:

prof. dr Hrvoje Požar, dipl. ing.
Elektrotehnički fakultet, Zagreb

PRIMJENA TEORIJE POUZDANOSTI U NALAŽENJU OPTIMALNE SCHEME ELEKTRIČNIH POSTROJENJA (II dio)

Nikola Čupin, Zagreb

UDK 621.31

U ovom radu su dati osnovni pojmovi iz Teorije pouzdanosti koji su napisani i kao Dodaci članka »O računanju pouzdanosti distributivnih trafostanica« (koautori: S. Mušura i S. Vajnaht) što je napisan za XIV Savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Sarajevo 1979. (L. 1).

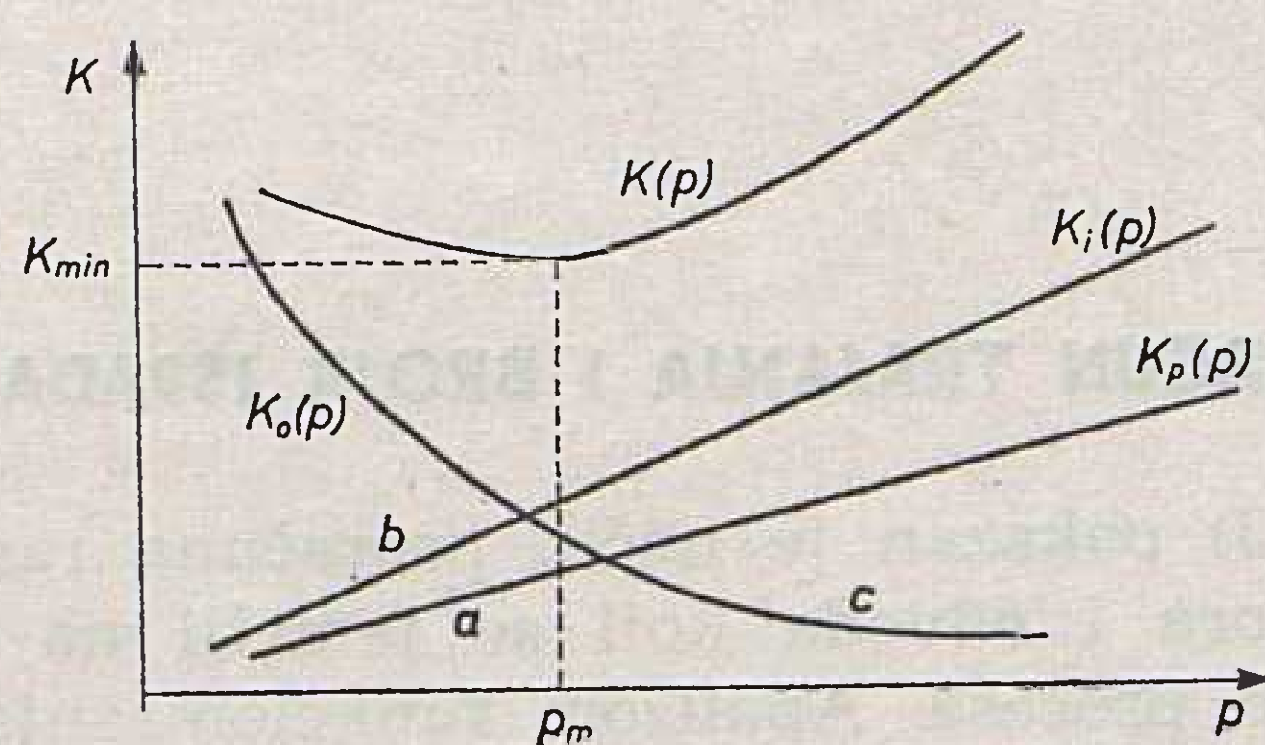
3. NAČIN OPTIMIRANJA

Svakom investiranju prethodi u pravilu proces optimiranja u kojemu se analiziraju različite mogućnosti realizacije. Očekivana ušteda ili dobit uspo-ređuje se s troškovima investiranja radi nalaženja maksimalne dobiti, odnosno minimalnih ukupnih troškova.

Shemama električnih postrojenja* prikazuju se strukture postrojenja kojima se nastoji realizirati određena funkcija što je postrojenje treba obaviti u sklopu elektroenergetskog sistema. Budući da je jednu funkciju moguće realizirati različitim strukturama (shemama), potrebno je između mogućih shema odabrati najoptimalniju, tj. onu čiji su ukupni troškovi minimalni. Drugim riječima, za k mogućih shema postrojenja $S_1, S_2, \dots, S_k$ valja naći minimum funkcije ukupnih troškova K .

Ukupni troškovi električnog postrojenja sastoje se općenito od troškova investicija (K_i), troškova pogona i održavanja (K_p) i troškova ispada (K_o). Svaki od parcijalnih troškova možemo prikazati u funkciji pouzdanosti (krivulje a, b, c na sl. 1).

Neka su $p_1, p_2, \dots, p_k$ neki pokazatelji pouzdanosti shema $S_1, S_2, \dots, S_k$. Tada je očito da će troškovi investicija $K_i(p)$ i troškovi pogona $K_p(p)$ rasti s pouzdanošću sheme jer će pouzdanije postrojenje zahtijevati veći broje elemenata (aparata), od kojih



Sl. 1. Ovisnost troškova o pouzdanosti shema

će mnogi biti redundantni i vršiti ulogu rezerve. Nasuprot tome troškovi ispada $K_o(p)$ će, u pravilu, padati s porastom pouzdanosti sheme jer će broj sati nepogona zbog kvara u postrojenju biti manji.

Funkcija ukupnih troškova

$$K(p) = K_i(p) + K_p(p) + K_o(p) \quad (1)$$

imat će, prema tome, za neki p_m koji odgovara shemi s_m minimum K_{min} (sl. 1) koji predstavlja optimalno rješenje.

Troškove investicija i troškove pogona i održavanja lakše je (što ne znači da je lako) računati nego troškove ispada. Za proračun tih potonjih potrebno je najprije izračunati pouzdanost pojedine sheme (tj. pokazatelje, npr. stacioniranu raspoloživost A_∞ , očekivani prosječan broj ispada i trajanja ispada godišnje i sl.).

4. TROŠKOVI ISPADA

Troškovi ispada nekog postrojenja iz pogona mogu se točno izračunati analizom troškova koje ispad prouzrokuje kod svakog potrošača (trošila) što se napaja iz tog postrojenja. Troškovi se dijele na indirektni i direktne. Indirektni troškovi su npr. gubici plaća i gubici u pogonu nastali zbog prekida napajanja. Direktne troškove ispada jednog potrošača mogu se za n ispada računati pomoću izraza (L.1):

$$K_{01} = \sum_{i=1}^n A_i + \sum_{i=1}^n F_i t_i B_i \quad (2)$$

gdje je:

A_i šteta nastala zbog i -tog ispada jednakog ili dužeg od kritičnog vremena t_k

* Ovdje mislimo na jednopolne i principne sheme spoja.

- B_i troškovi i-tog ispada u Din/kWh, proporcionalni neisporučenoj energiji
 t_i vrijeme prekida napajanja kod i-tog ispada
 F_i faktor kojim se uzima u obzir vrijeme obnavljanja tehnološkog procesa nakon vremena t_i

$$F_i = \frac{t + t_{Ei}}{t_i}$$

- t_{Ei} ekvivalentno vrijeme kojim se uzima u obzir izgubljena proizvodnja u odnosu prema proizvodnji koju bi bilo moguće ostvariti za vrijeme obnavljanja tehnološkog procesa.

Računanje troškova ispada prema izrazu (2) pretpostavlja poznavanje broja ispada n i trajanje ispada t_i u određenom razdoblju (obično jedna godina), što se za određenu shemu postrojenja može dobiti iz proračuna pouzdanosti. Na temelju toga potrebno je za svakog pojedinačnog potrošača priključenog na postrojenje računati troškove ispada pomoću izraza (2). Zbroj troškova ispada svih takvih potrošača daje onda ukupne troškove ispada za određeno postrojenje.

Takav postupak računanja troškova ispada prilično je točan, ali i veoma opsežan jer zahtijeva analizu svakog pojedinačnog potrošača.

Jednostavniji način je računanje troškova ispada za grupu potrošača, pri čemu se mora uzeti u obzir posebno trošak zbog ispada snage i trošak zbog ispada energije. Poznat je rad švedskih autora iznesen na CIGRE 1972 god., referat 31-06, u kojem je konstatirano da za sve potrošače u jednom elektroenergetskom sistemu nije moguće, zbog velikog rasipanja podataka, definirati srednje troškove ispada. Moguće je, međutim, od svih potrošača načiniti pet grupa s relativno malim rasipanjem:

1. industrija,
2. domaćinstvo,
3. poljoprivreda,
4. trgovina i obrt,
5. promet.

i za njih iskazati podatke o srednjim troškovima ispada.

Također je ustanovljeno da je kod dvije grupe potrošača jedan dio troškova ispada neovisan o trajanju ispada (što je u skladu s troškovima A_i u jednadžbi (2)).

Srednji troškovi ispada za grupu potrošača K_g računaju se, uz poznate specifične troškove ispada snage s (d/kW) i specifične troškove ispada energije e (d/kWh), pomoću izraza:

$$K_g = s \cdot P_g + e \cdot P_g \cdot t_g, \quad (3)$$

gdje je:

t_g — trajanje ispada (h)

P_g — snaga ispada grupe potrošača.

Troškove ispada prema (3) možemo smatrati direktnim troškovima. Indirektni troškovi iznose prema spomenutom švedskom radu, neovisno o trajanju ispada, za Švedsku 0,14 S/kW (cijena iz 1971. god.).

Radi optimiranja troškova pouzdanosti opskrbe električnom energijom potrošača u mrežama velikih gradova (L.2), potrošači su grupirani u tri grupe:

1. potrošači na naponu 10 kV — industrija i promet
2. potrošači na naponu 10 kV — trgovina i obrt
3. trafostanice 10/0,4 kV (pretežno domaćinstvo i male obrtničke radionice) i n.n. mreža.

Troškovi ispada računaju se također prema izrazu (3).

U tabeli I navedeni su, prema (L.3), specifični troškovi ispada snage s i energije e za sve spomenute grupe.

Tabela I

SPECIFIČNI TROŠKOVI ISPADA SNAGE I ENERGIJE NEKIH GRUPOU POTROŠAČA			
Grupa potrošača	Cijena u godini	Specifičan trošak ispada snage s	Specifičan trošak ispada energije e
1. Industrija	1971	0,08 \$/kW	0,30 \$/kWh
2. domaćinstvo	1971	0 „	0,60 „
3. poljoprivreda	1971	0 „	1,20 „
4. trgovina i zanatstvo	1971	0 „	1,00 „
5. saobraćaj	1971	0,12 „	0,50 „
6. potrošači 10 kV ind. i saobraćaj	1974	0,8 DM/kW	1,0 DM/kW
7. potrošači 10 kV trgovina i zanatstvo	1974	0,5 „	3,0 „
8. trafostanice 10/0,4 kV i n. n. mreža	1974	0,4 „	2,0 „

Ne ulazeći dalje u računanje troškova ispada, jer se ostali načini u osnovi temelje na dvama spomenutim načinima ili na njihovoj kombinaciji, napomenimo da je u optimiranju shema postrojenja za industriju, za proračun troškova ispada pogodno koristiti prvi način, tj. izraz (2), a za optimiranje postrojenja u elektroprivredi drugi način (izraz (3)).

5. PRORAČUN TRAJANJA I BROJA ISPADA

U (L.3) pokazan je način proračuna raspoloživosti čvora i odvoda koji se temelji na metodi Markovih procesa. Analizom funkcioniranja određene sheme dolazi se do stanja sistema od kojih su neka uspješna, tj. čvor (sabirnica) ili odvod nalaze se pod naponom, a neka neuspješna, što znači da se nalaze u ispadu.

Pretpostavimo li ukupno vrijeme rada postrojenja u godini dana T h/god, pri čemu ostatak $T_r = 8760 - T$ uzimamo kao vrijeme potrebno za redovno održavanje, tada se ukupno trajanje ispada T_d čvora ili odvoda može dobiti tako da njihovu stacionarnu neraspodjivost $\bar{A}_\infty$ pomnožimo sa T :

$$T_d = T \cdot \bar{A}_\infty. \quad (4)$$

Trajanje pogona T_p dobili bismo analogno iz raspoloživosti:

$$T_p = T \cdot \bar{A}_\infty. \quad (5)$$

Pri tome vrijedi:

$$A_\infty + \bar{A}_\infty = 1$$

$$T_p + T_d = T \quad (6)$$

$$T_r + T = 8760.$$

Prosječan broj ispada N može se dobiti kao zbroj umnoška vremena rada T s vjerojatnostima i -tih stanja P_i iz kojih sistem prelazi u jedno od j -tih stanja ispada i koeficijenta prijelaza λ_{ij} .

$$N = T \cdot \sum P_i \cdot \lambda_{ij} \quad (7)$$

Prosječno trajanje jednog ispada t_0 dobije se dijeljenjem ukupnog trajanja ispada T_d s prosječnim brojem ispada N

$$t_0 = \frac{T_d}{N}. \quad (8)$$

LITERATURA

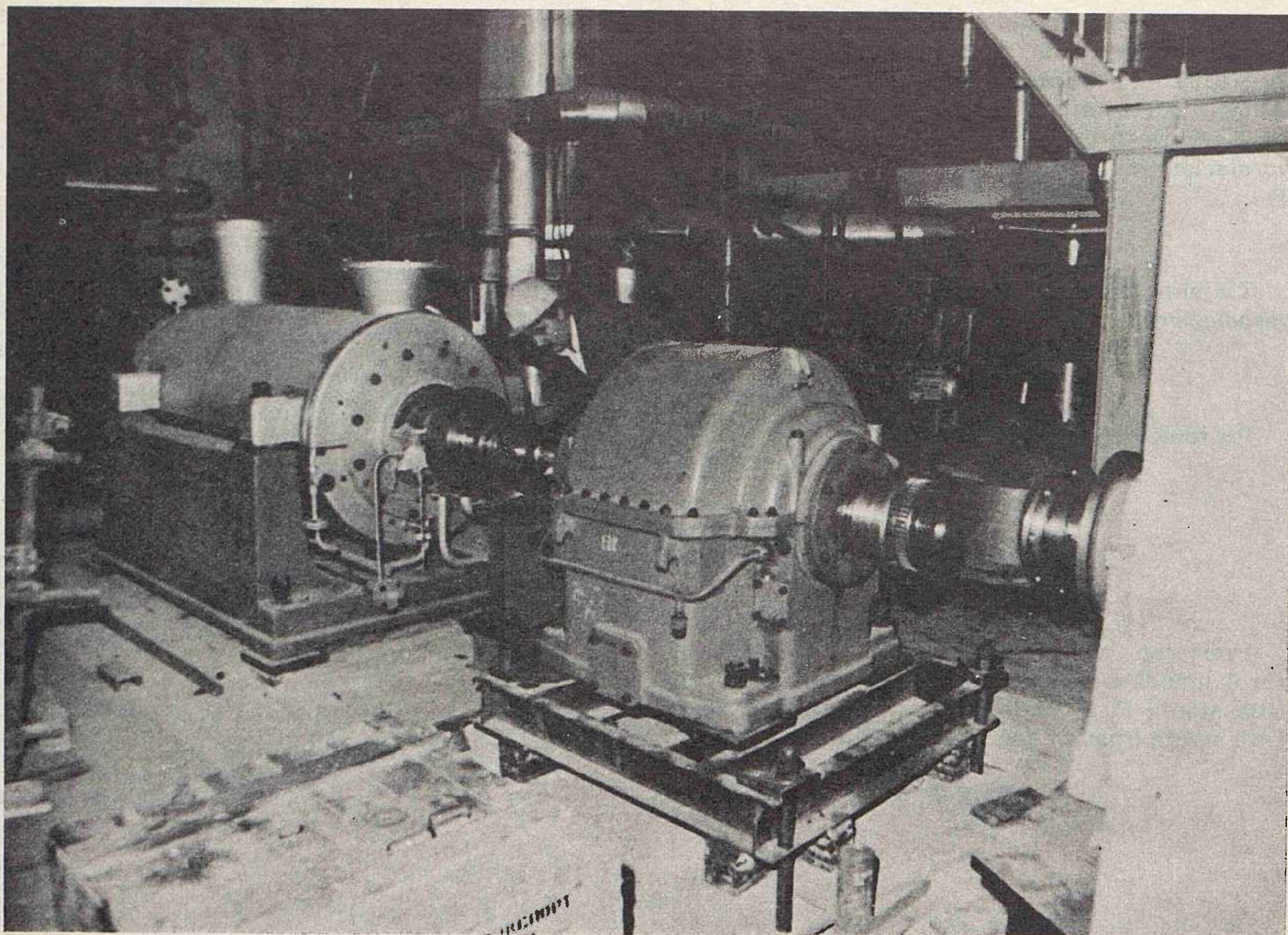
1. Nitu: The philosophy of substation reliability, Electra No 54
2. Kaufmann: Abnehmerorientierte Optimierung des Aufwandes für die Zuverlässigkeit der Elektrizitätsversorgung, insbesondere im Großstädtischen Netz, Universität Stuttgart, 1974. (disertacija)
3. Čupin — Mušura — Vajnaht: O računanju pouzdanosti distributivnih trafostanica, XIV savjetovanje CIGRE, Sarajevo, 1979.

THE APPLICATION OF REALITY THEORY IN FINDING OPTIMAL SCHEMES OF ELECTRICAL FORMATIONS

In the article are given basic notations from Reliability theory, which are described in the appendix to article "About Reliability Calculation for distribution transformer stations" (coauthors: S. Mušura, S. Vajnaht). The article was written for XIV. Meeting of Electro-energetic People from Yugoslavia, Sarajevo 1979. (L. 1).

Naslov pisca:

Mr Nikola Čupin, dip. ing.
Institut »Rade Končar«, Zagreb



NUKLEARNA ELEKTRANA KRŠKO (II dio)

Vladimir Vuković, Zagreb

UDK 621.039.5

Opisan je tok izgradnje prve jugoslavenske nuklearne elektrane Krško. Najprije se govori o pripremama, sakupljanju ponuda, ugovaranju, pa o kvaliteti i osobinama građevinskog zemljišta, meteorološkim uvjetima i uvjetima u vezi s rashladnom vodom. Opisani su građevinski objekti i reaktorski sistem.

5. POMOĆNI I SIGURNOSNI SISTEMI

5.1. Kontinuirana proizvodnja toplinske energije u nuklearnom postrojenju ne bi bila moguća bez zadovoljavajućeg rada pomoćnih i sigurnosnih sistema, među kojima su najvažniji:

- sistem za kemijsku i volumnu kontrolu
- sistem za odlaganje i hlađenje ozračenog goriva
- pomoćni i sigurnosni sistem za hlađenje komponenata nuklearnog postrojenja
- sistem za ventilaciju i kondicioniranje
- prerada i odlaganje radioaktivnog materijala
- sigurnosni sistem za hlađenje jezgre
- sistem za polijevanje kontejnmenta itd.

5.2. Voda u primarnom sistemu, cirkulirajući kroz reaktor i optočne krugove, vrši ulogu hladila, moderatora, reflektora i otapala za kemijski asporber. U svakom prolazu kroz aktivni dio jezgre izložena je jakom neutronskom fluksu i drugim zračenjima, a trpi i promjene temperatura, odnosno specifičnog volumena. Radi promjene sastava i količine fisibilnog materijala i produkata izgaranja u jezgri, te zbog drugih pogonskih prilika, koncentracija apsorbera se u životu jezgre mijenja. Energije zračenja rezultiraju i kemijskim reakcijama i drugim interakcijama s prisutnom materijom, pa dolazi do onečišćenja hladila. Nečistoće se otapaju u vodi, a najveći ih se dio fino raspodjeli po površini metalnih dijelova u obliku naslaga. Već i ukratko diskutirani problemi daju naslutiti da je sistemu reaktorskog hladila potreban jedan pomoćni sistem koji će se brinuti za održavanje volumena i čistoće toga hladila. Taj pomoćni sistem nazvan je sistemom za kemijsku i volumnu kontrolu, a ima ove funkcije:

- održava programirani nivo vode u tlačniku, odnosno održava zadani inventar vode u sistemu reaktorskog hladila;
- održava injekcijski protok visokotlačne ohlađene vode za brtvenice reaktorskih optočnih pumpi;
- održava nivo aktivnosti reaktorskog hladila odvođenjem korozijskih i fisijskih produkata, do ispod maksimalno dozvoljene koncentracije;

— održava koncentraciju neutronskog apsorbera (bora) prema dugoročnijim zahtjevima efekata reaktivnosti (odgor goriva, gomilanje fisijskih produkata, pojava ksenona itd.);

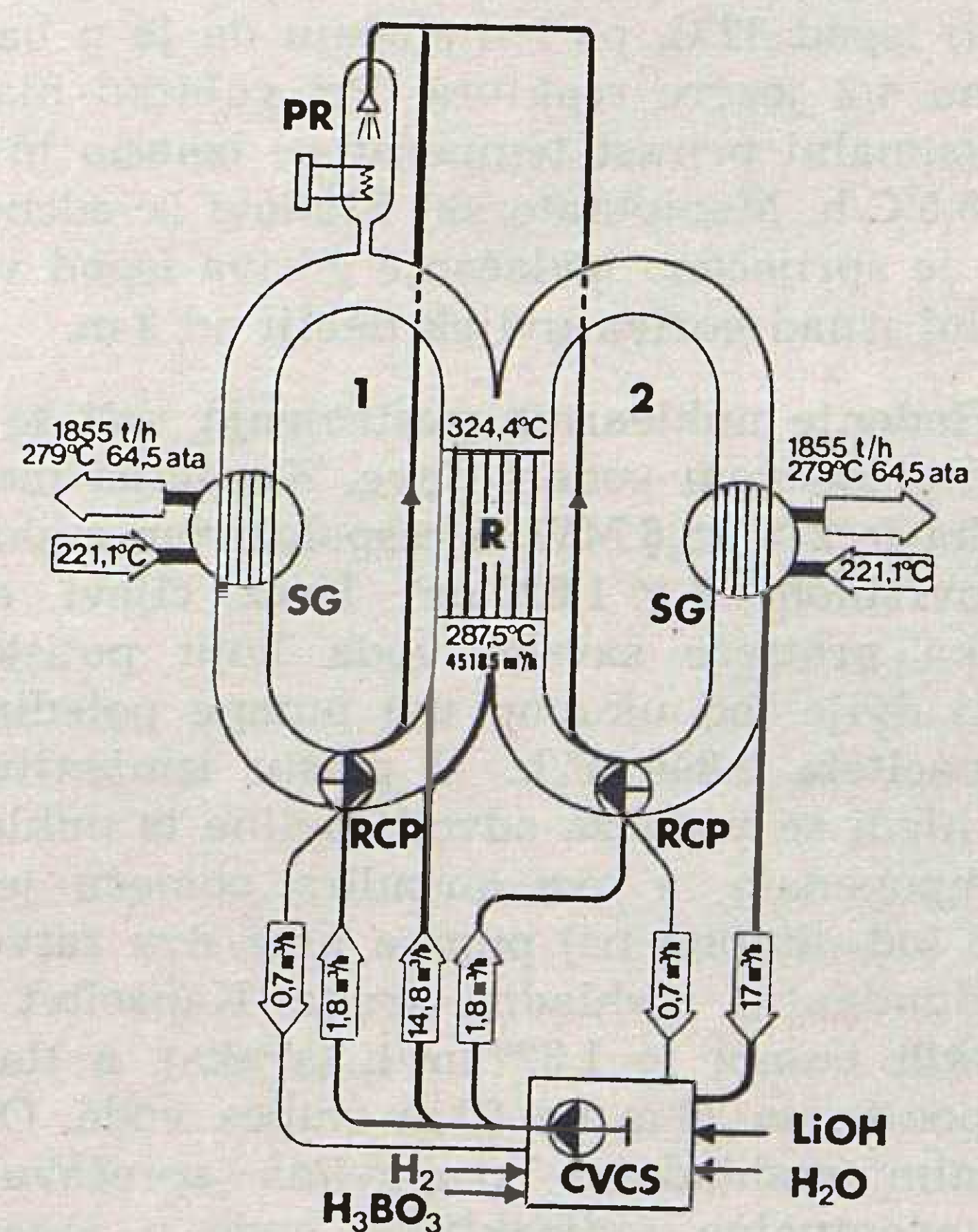
— održava kemiju i čistoću hladila u propisanim granicama kako u pogonu, tako i za vrijeme obustave i izmjene goriva, prečišćavanjem i kontroliranim dodavanjem LiOH, hidrazina i vodika;

— omogućava reprocesing reaktorskog hladila radi ponovne upotrebe borne kiseline i dodatne vode;

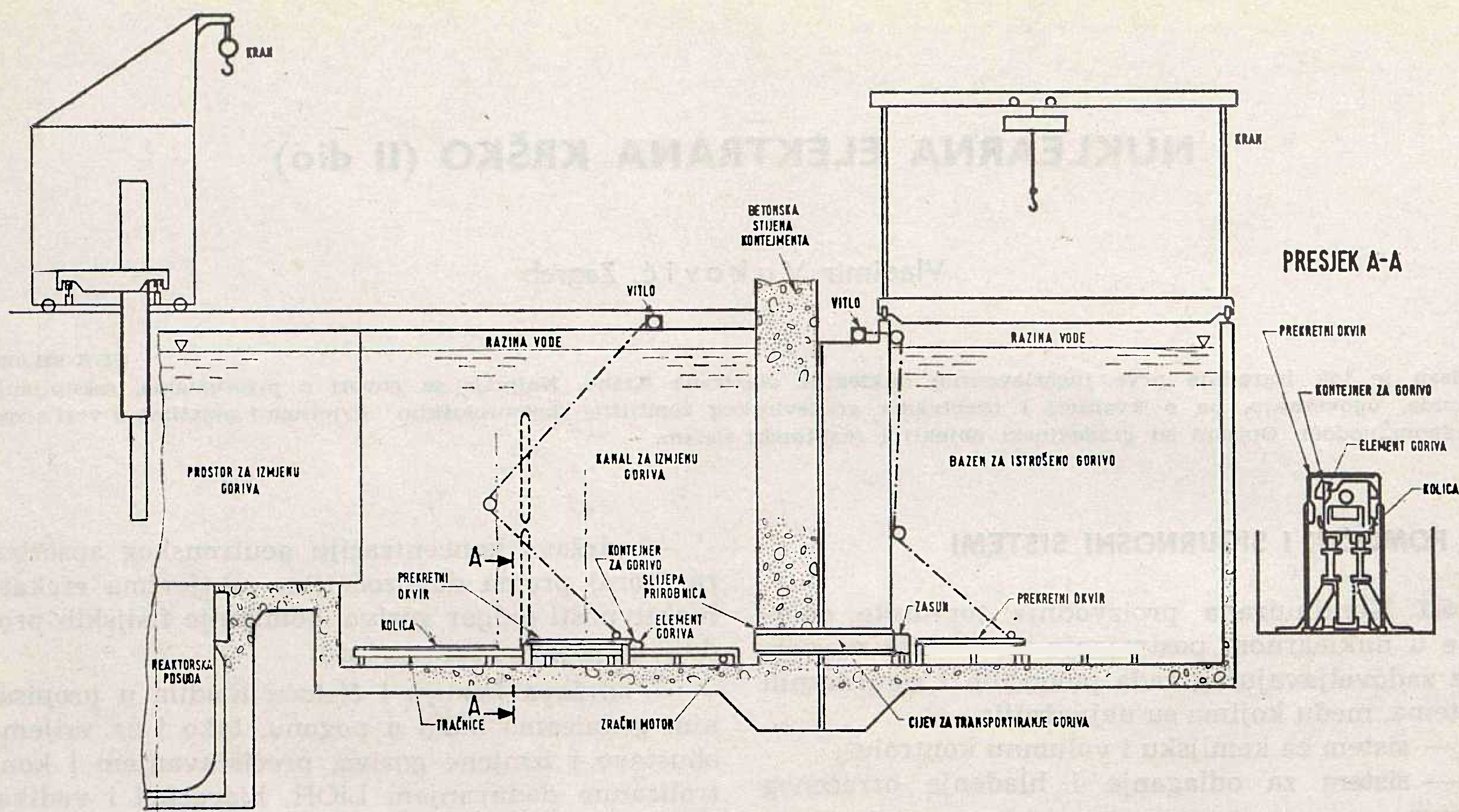
— omogućava punjenje, pražnjenje i tlačno ispitivanje sistema reaktorskog hladila.

Na slici 1. prikazan je kvantitativni dijagram optoka reaktorskog hladila i sistema za kemijsko-volumnu kontrolu (CVCS).

5.3. Sistem za odlaganje i hlađenje ozračenog goriva približno i djelomično je prikazan na slici



Sl. 1.



SI. 2.

2. Bazen za gorivo nalazi se izvan kontejnmenta, a teoretski ima mjesta za $(4 \times 5) \times 9 + (4 \times 5) \times 3 + (4 \times 4) \times 6 = 336$ elemenata goriva. Projektiran je po svim sigurnosnim kriterijima. Gorivo se slaže u posebne okvire od nerđajućeg čelika, koji ne dopuštaju pogrešni raspored snopova, odnosno korak snopova iznosi 533,4 mm, što osigurava $k_{\text{eff}} \leq 0,90$ pa i u slučaju da gorivo ostane na suhom. Bazen je napunjen vodom sa 2 000 ppm bora. Voda cirkulira pomoću jedne od dviju pumpi kroz izmjenjivač topline ili ionski izmjenjivač i filter radi hlađenja i prečišćavanja. Nominalni kapacitet toplinskog izmjenjivača je $1,7 \times 10^6$ kcal/h (~ 2 MW). Temperatura bazena može se održavati ispod 82°C , pa i u slučaju da je u bazen smješteno $4/3$ jezgre reaktora. Pri gubitku hlađenja maksimalni prirast temperature iznosio bi tada oko $8,5^\circ\text{C/h}$. Manipulatorski kranovi izvedeni su tako da je spriječeno izvlačenje goriva ispod vode čiji je sloj iznad goriva uvijek deblji od 3 m.

5.4. Hlađenje nuklearnih postrojenja vrši se indirektno protočnom vodom Save. Kapacitet međuhladnjaka je $2 \times 12,6$ MW, s raspoloživom rashladnom površinom 2×1820 m². Kroz cijevi ovih hladnjaka protječe savska voda koju potiskuju jedna ili dvije (od ukupno tri) pumpe pojedinačnog kapaciteta 2 840 m³/h. U plaštu izmjenjivača topline hladi se voda za odvod topline iz nuklearnih komponenata, a ova cirkulira pomoću jedne ili dvije (od ukupno tri) pumpe kroz dva zatvorena i redundantna rashladna kruga. Kapacitet cirkulacijskih pumpi je 1 827 m³/h (svaka), a tlak u krugu podižu sa 30 m na 60 m stupca vode. Ovim zatvorenim rashladnim krugovima sprečava se prodor eventualno radioaktivne vode u otvoreni protočni sistem.

Temperatura ohlađene vode je $32,2^\circ\text{C}$, ali u akcidentnim situacijama može narasti i do $48,9^\circ\text{C}$.

5.5. Nuklearno postrojenje za proizvodnju pare emitira preko većine svojih komponenata relativno veliku količinu otpadne topline, a neke komponente su potencijalni izvor radioaktivnih plinova. Procjenjuje se da npr. samo unutar kontejnmenta toplinski gubici iznose oko $1,1844 \times 10^6$ kcal/h (1,38 MW). Osim toga, i ostala topla oprema, u kojoj se nalazi radioaktivni fluid, smještena je u betonskim zaključanim prostorijama, pa je prirodni odvod topline nemoguć. Da bi se održavala potrebna ambijentna temperatura postrojenja, zatim ugodna atmosfera i sigurnost personala (nivo radioaktivnosti daleko ispod dozvoljenih granica), elektrana je opremljena s tridesetak podsistema za ventilaciju i kondicioniranje zraka. Projekt ovih podsistema, uz ostalo, zadovoljava ove principe:

- strujanje zraka izvedeno je iz prostorija sa potencijalno nižom radioaktivnošću, prema prostorijama s eventualno višom radioaktivnošću;

- održava se negativna razlika tlaka između pomoćne zgrade i zgrade za gorivo i vanjske strane ovih zgrada;

- u kontrolnim prostorijama održava se pozitivni tlak, a u slučaju akcidenta recirkulacija se održava u zatvorenom toku preko posebnih filtara;

- potencijalno radioaktivni zrak ispušta se u atmosferu samo preko filtara koji sadrže grube i apsolutne filtre, te filtre s drvenim ugljenom, ali i pod uvjetom da ispusni zrak ne pokazuje radioaktivnost (automatska blokada);

- grubi, apsolutni i filtri s drvenim ugljenom upotrebljavaju se za recirkulacijsku filtraciju u svim postakcidentnim uvjetima;

- monitorski sistem za nadzor radijacije osigu-

rava kontrolu na svim mjestima gdje postoji mogućnost pojave znakova radioaktivnosti.

5.6. Reaktoraska jezgra sadrži milijune kirija (Ci) radioaktivnih produkata fisije i aktivacijskih produkata, te je ona primarni izvor radijacije ($1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10}$ dezintegracija u sekundi, — mjera radioaktivnosti). Cirkulacijom hladila kroz jezgru ovo postaje visoko radioaktivno bilo kao otapalo fisijskih produkata, bilo kao nosilac aktivacijskih produkata. U procesu pročišćavanja hladila, zatim propuštanjima primarnog ili ostalih sistema pri uzimanju i analazi uzoraka itd. dolazi do takozvanih radioaktivnih otpadaka. Da bi se spriječio prijelaz radioaktivne materije u bilo kojem agregatnom stanju u okoliš elektrane, ovaj »otpad« se podvrgava posebnom procesu u postrojenjima za tretiranje i odlaganje. Početna faza tretiranja radioaktivnog materijala jest separacija po agregatnim stanjima. Tekući efluenti se dekontaminiraju ionskom izmjenom i uparavanjem. Ionske smole se nakon odležavanja solidificiraju cementnim vezivom, isto kao i talozi uparivača. Na taj način fluidna materija postaje čvrsti blok 200-litarske bačve, koji se odlaže na posebno predviđen prostor. Voda iz procesa, ako je kemijski čista, može se vratiti na ponovnu upotrebu, a potpuno dekontaminirana voda, ako nije za drugu upotrebu, može se nakon analize ispustiti u vodotok. Posebni monitor radijacije blokira ispust u slučaju tragova kontaminacije.

Radioaktivne plinove iz procesa (posuda volumne kontrole, ispusna posuda reaktorskog hladila, otplinjači evaporatora i prihvatni spremnici u recikliranju bora) usisava jedan od dva kompresora i tlači preko jednog od dva rekombinera u jedan od šest spremnika za raspad radioaktivnih plinova. Sistem za radioaktivne plinove projektiran je na bazi 1% oštećenja goriva u jezgri i mogućnosti procesuiranja kroz čitav vijek trajanja reaktorskog postrojenja. Ukupni volumen spremnika je $(4 \times 17) + (2 \times 17) = 102 \text{ m}^3$. Nakon dovoljnog odležavanja, kada je koncentracija radioaktivnosti ispod dozvoljene veličine, u povoljnim meteorološkim uvjetima, plinovi se iz izoliranog spremnika mogu ispuštati na ispuh elektrane. U slučaju znakova radioaktivnosti radijacijski monitor automatski zatvara izlaz plinova.

5.7. Jedna je od bitnih razlika između tlačno-vodnog reaktorskog postrojenja i kotlovskog postrojenja na fosilna goriva način prekidanja reakcije u kojoj se proizvodi energija. Kemijska reakcija gorenja u ložištu kotla obustavlja se prekidom dovoda goriva, a time i proizvodnja energije. U jezgri nuklearnog reaktora složena je količina nuklearnog goriva za proizvodnju energije u periodu koji je veći od godine dana, a prekid proizvodnje energije ne prestaje trenutno. NEK reaktor npr. i nakon jedne minute još uvijek ima snagu od 91,174 MW. Ova snaga potječe od:

- raspada U-238 zarobljavanjem neutrona; 6,566 MW
- zaostalih fisija; 3,002 MW
- raspada fisijskih produkata; 81,606 MW.

Sama lančana reakcija prekida se pak apsorpcijom neutrona bilo u tekućem, bilo u čvrstom apsorberu, koji je potrebno u tu svrhu ubaciti u jezgru reaktora (smanjenje reproduksijskog faktora). Već i ovako kratko opisana karakteristika nuklearnog reaktora upućuje na zahtjev zaštitnom sistemu da u slučaju opasnosti, s određenom logikom i sigurnošću, pokrene tehničke sigurnosne uređaje koji će u najkraće mogućem vremenu i automatski ubaciti kontrolne šipke u jezgru ili otopinu bora injektirati u reaktor. Zaostala proizvodnja energije mora imati osiguran i uvijek raspoloživ toplinski ponor da bi se spriječio porast temperature goriva i eventualno razaranje obloge goriva i ispuštanje radioaktivnih fisijskih produkata. Projektni zahtjevi 10 CFR 50 za najgore akcidentne uvjete vrijede i za NE Krško, a sastoje se u slijedećem:

- a) maksimalno dopuštena temperatura obloge goriva — 1204°C ;
- b) maksimalno dopuštena oksidacija u bilo kojoj točki obloge ne smije biti veća od 17% debljine;
- c) proizvodnja vodika u reakciji cirkonij-voda ne smije biti veća od 1% maksimalno moguće;
- d) geometrija jezgre mora uvijek osigurati hlađenje goriva;
- e) hlađenje jezgre mora se osigurati dugotrajno.

Za injektiranje apsorbera i kratkotrajno hlađenje jezgre služi sistem za sigurnosno injektiranje, a za dugotrajno hlađenje sistem za odvođenje ostatne topline.

Glavni parametri sistema za sigurnosno injektiranje:

- volumen spremnika sa 12% bornom kiselinom — $3,4 \text{ m}^3$,
- volumen tekućine (2 000 ppm B) u tlačnom akumulatoru — $2 \times 35,4 \text{ m}^3$,
- tlak dušika u akumulatoru — $52,5 \text{ kp/cm}^2$,
- tlak pumpi za sigurnosno injektiranje — 64 kp/cm^2 ,
- kapacitet pumpi za sigurnosno injektiranje — $2 \times 159 \text{ cm}^3/\text{h}$,
- volumen spremnika za izmjenu goriva — 1326 m^3 (2 000 ppm B).

Glavni parametri sistema za odvođenje ostatne topline:

- kapacitet pumpi — $2 \times 511 \text{ m}^3/\text{h}$,
- tlak pumpi — $8,25 \text{ kp/cm}^2$,
- površina izmjenjivača topline — $2 \times 241 \text{ m}^2$,
- kapacitet izmjenjivača topline $2 \times (7,06 \text{ do } 8,86 \text{ MW})$.

5.8. Sistem za polijevanje kontejnmenta uglavnom se sastoji od dvije pumpe, spremnika aditiva i sistema za raspršivanje u kontejnmentu. Služi

održavanju tlaka u kontejnmentu unutar projektiranih granica u slučaju gubitka hladila iz primarnog kruga (LOCA) ili u slučaju pucanja parovoda unutar kontejnmenta. Osim toga odvodi ispušteni jod u slučaju LOCA i održava pH vrijednost u slivniku kontejnmenta. Sistem za polijevanje kontejnmenta automatski se pokreće na signal vrlo visokog tlaka u kontejnmentu (ako 2 od 4 senzora tlaka dostignu postavnu vrijednost od 1,62 kp/cm²) ili pak ručno s kontrolne ploče. Pumpe povlače vodu iz spremnika borirane vode za izmjenu goriva, ejektorima uvlače i 30% NaOH, da bi preko 140 raspršivača na gornjem dijelu unutrašnjosti kontejnmenta raspršile vodu po kontejnmentu:

Glavni parametri sistema:

kapacitet pumpe — $2 \times 230 \text{ m}^3/\text{h}$,
tlak pumpe — 18 kp/cm^2 ,
volumen spremnika otopine NaOH — 15 m^3 .

6. TOPLINSKA SHEMA

6.1. Na slici 3. nalazi se toplinska shema NE Krško. Kako je već rečeno, sekundarni krug termoelektrane s lakovodnim nuklearnim reaktorom ima na početku ciklusa relativno niske parametre pare, jer konstrukcija i građevni materijali reaktora ne mogu dozvoliti više temperature i tlakove

od onih koji se na shemi mogu vidjeti. Posljedica toga je veća potrošnja topline. U slučaju NE Krško specifična potrošnja topline pri punoj snazi turbogeneratorsa iznosi

$$\frac{3\,707,9 \times 10^3 \text{ kg/h} (663,4 \text{ kcal/kg} - 227 \text{ kcal/kg})}{66\,4477 \text{ kWh/h}} = 2\,436 \frac{\text{kcal}}{\text{kWh}}$$

U usporedbi s TE Sisak (2 010 kcal/kWh), to je za oko 20% više.

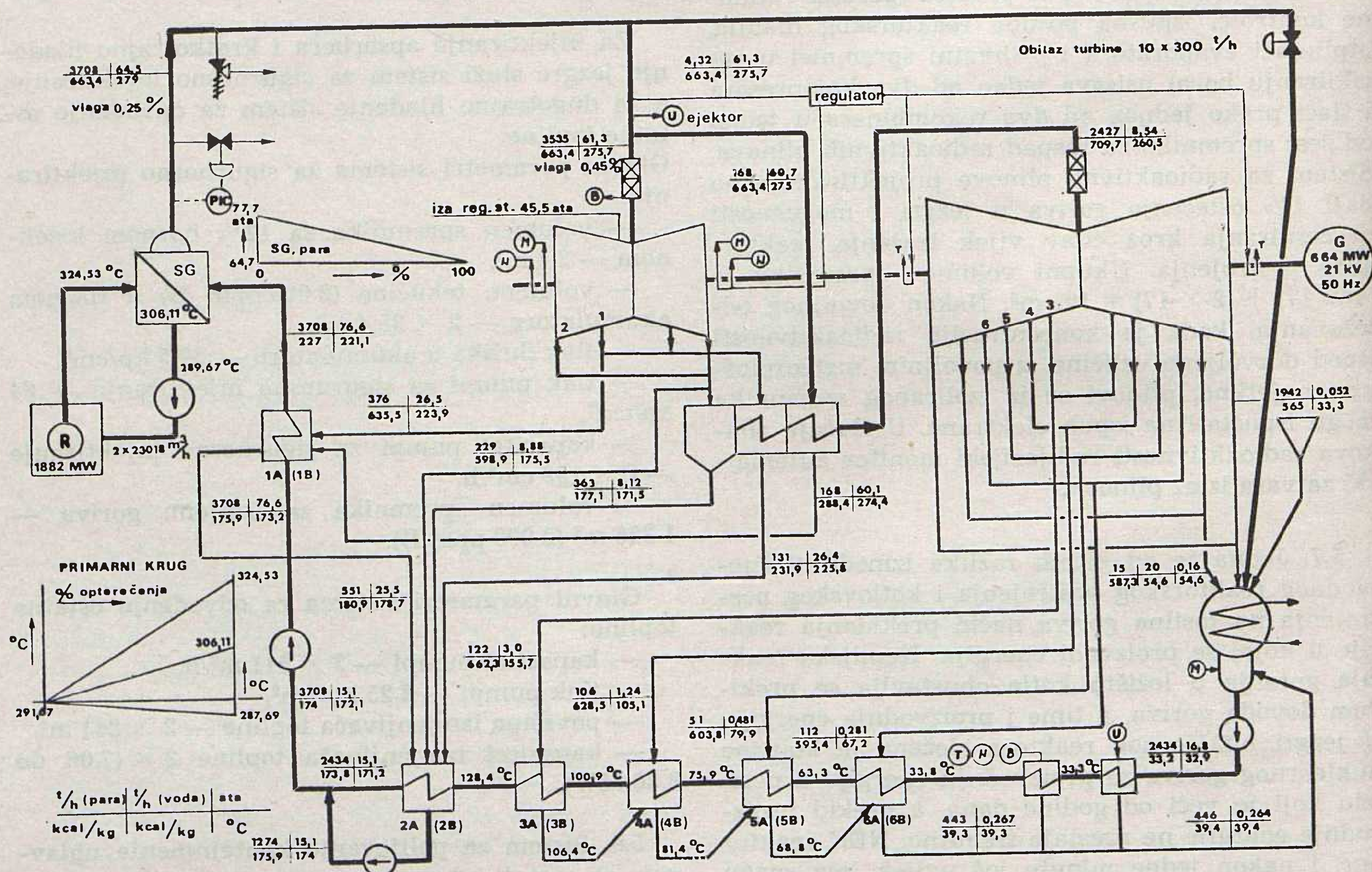
6.2. Budući da se iz sheme vide sve karakteristike sistema, ovdje će se navesti samo neki parametri uređaja za povrat kondenzata u generatore pare i to:

Elektromotorne pojne pumpe

kapacitet	$3 \times 2\,338 \text{ m}^3/\text{h}$
snaga motora	4,5 MW
diferencijalna visina dizanja	640 m
(izlazni tlak)	83 kp/cm ²
broj okretaja motora/pumpe	1 486/4 825 min ⁻¹

Pumpe kondenzata

kapacitet	$3 \times 1\,362 \text{ m}^3/\text{h}$
snaga motora	1,3 MW
ukupna visina dizanja	279 m
broj okretaja pumpe	$1\,470 \text{ min}^{-1}$
ukupna površina niskotlačnih	



Sl. 3.

zagrijača	115 296 m ²
ukupna površina visokotlačnih	
zagrijača	3 906 m ²
ukupni broj cijevi kondenzatora	$2 \times 17\,848$
ukupna površina kondenzatora	$2 \times 24\,465$ m ²
dužina cijevi	19,7 m

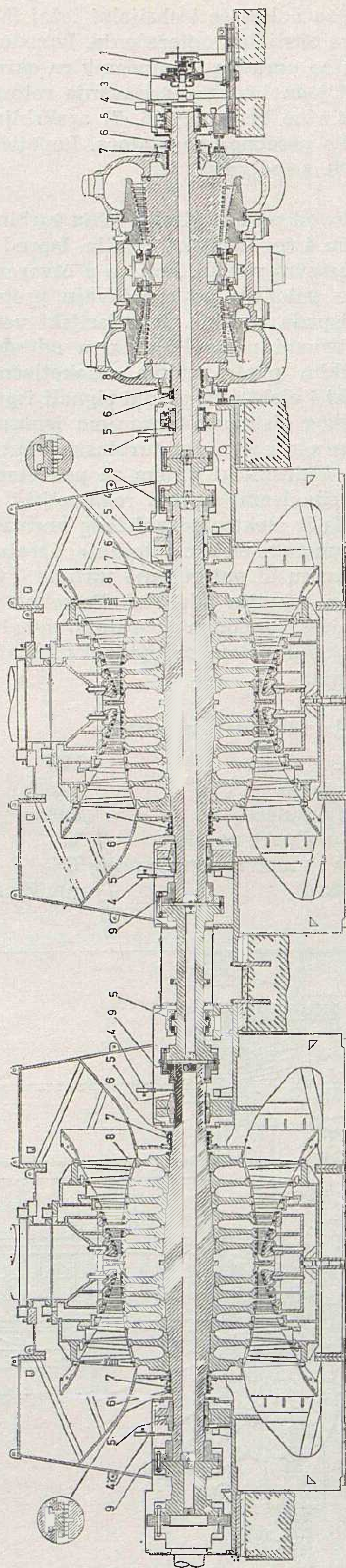
Rashladne pumpe

kapacitet	$3 \times 8,5$ m ³ /sek
snaga motora	1,5 MW
ukupna visina dizanja	13,7 m
broj okretaja pumpe	370 min ⁻¹

Važno je još upozoriti na takozvani obilaz turbine (bypass), čija je propusna mogućnost 3 000 t/h zasićene pare radnih parametara. Ovaj obilaz u tlačnovodnim reaktorima ima vrlo važnu ulogu, jer omogućava ispad turbine ili nagle promjene opterećenja turbine, bez bitnih temperaturnih tranzijenata u reaktoru, odnosno bez ispada reaktora. Osim toga, ovime se omogućava održavanje programirane temperature u reaktoru prilikom stavljanja reaktora u pogon ili u prvoj fazi obustavljanja elektrane. Naravno, s obzirom na to da para preko obilaza odlazi direktno u kondenzator odgovarajući vakuum mora biti na raspolaganju.

7. TURBINA

7.1. Turbina se sastoji od jednog visokotlačnog i dva niskotlačna dijela. Visokotlačna turbina je dvotočna s jednim regulacijskim kolom u svakom toku. Para ulazi u visokotlačno kućište kroz 4 para regulacijsko-zaustavnih ventila. Regulacijski ventili su na kućište turbine spojeni s parovodima koji paru uvode do prostora ispred statoskih mlaznica, raspoređenih po obodu privoda pare. Dva parovoda ulaze u donju polovicu, a dva u gornju polovicu kućišta. Para struji aksijalno u oba smjera kroz regulacijska kola i 12 reakcijskih stupnjeva, prema (2×2) izlaznim otvorima, u prestrujne parovode i dalje u odvajače vlage i međupregrijače. Pregrijana para tada kroz zaustavno-kontrolne ventile struji u dvije niskotlačne turbine. Parovodi su na kućište spojeni s ekspanzijsko-zglobnom vezom. Te veze apsorbiraju diferencijalne pomake parovoda pri grijanju i hlađenju. Niskotlačne turbine su također dvotočne s deset reaktivnih stupnjeva. Para ulazi u srednji dio turbine, te struji aksijalno kroz turbinu u oba smjera do izlaza i dalje u kondenzator. Svaka niskotlačna turbina ima svoj kondenzator. Svaki kondenzator ima kućište i dva rashladna cijevna snopa. Dužina zadnjeg reda lopatica je 1 117,6 mm. Na slici 4. nalazi se uzdužni presjek turbine. Centrifugalni izbacivač (1) nalazi se na prednjem kraju osovine, ispred glavne uljne pumpe (2). Rotor nulte brzine (3) pokazuje stanje kretanja, a vibracijski senzori (4) šalju signale na indikatore i pisane vibracija u kontrolnoj prostoriji. Rotor svake turbine ima po dva radijalna ležaja (5), a između dviju niskotlač-



Sl. 4.

nih turbina nalazi se i aksijalni ležaj (5) koji preuzima sva aksijalna opterećenja. Između generatora i turbine ugrađen je zupčanik za okretanje turbine radi jednoličnog zagrijavanja rotora pri startu. Labirintne brtvenice (6, 7) opskrbljuju se parom preko posebnog regulatora. Lopatice su označene sa (8), a spojke sa (9).

7.2. Dovod pare u visokotlačnu turbinu regulira se pomoću 4 regulacijska ventila. Ispred njih nalaze se zaustavni ventili, koji su u otvorenom ili zatvorenom položaju pa sprečavaju protok pare u slučaju ispada turbine. Regulacijski ventili oprugom pritiskani postavljaju se u određen položaj hidrauličkim putem, silom visokotlačnog fluida. Mehanički i električni okidni signali ispuštaju tlak hidrauličkog sistema otvaranjem ispusnih ventila i tada opruge zatvaraju turbinske ventile (zaštita turbine). Hidraulički sistem za pokretanje ventila (servo mehanizam) dobiva regulacijski varijabilni tlak fluida iz elektrohidrauličkog pretvarača. Digitalni računarski sistem određuje (izračunava) potrebnu brzinu ili opterećenje turbine (ovisno o veličini koju operator odabere). Potrebna veličina se uspoređuje s veličinom povratnih signala, a rezultat te usporedbe daje zahtijevani položaj regulacijskih ventila.

7.3. Glavni parametri turbine:

garantirana snaga	MW	664,477
brzina rotacije	min ⁻¹	1 500
tlak pare na ulazu	kp/cm ²	60,27
temperatura pare na ulazu	°C	275,7
temperatura međupregrijavanja	°C	260,5
izazni tlak	mm Hg aps.	38,1

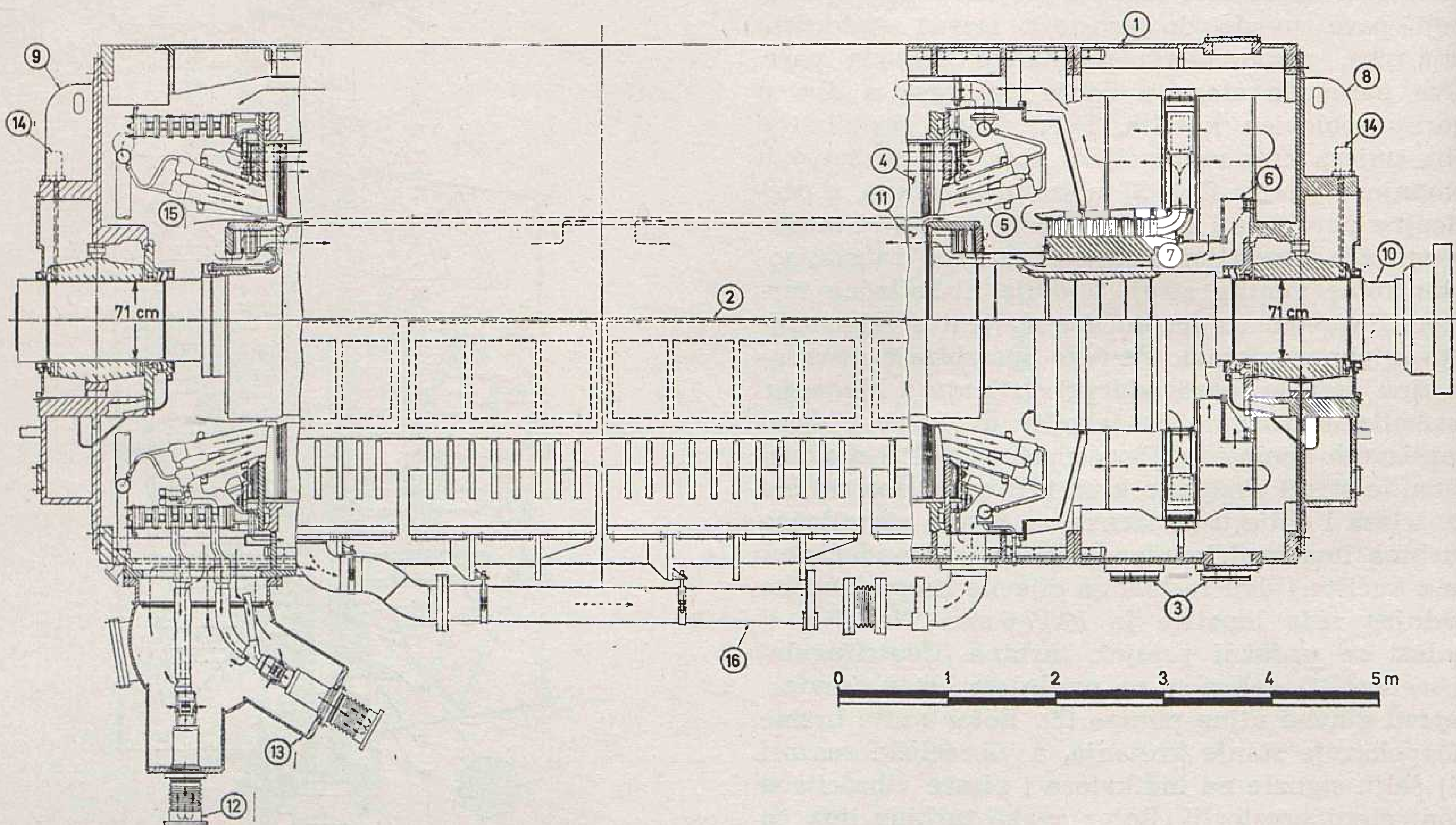
8. GENERATOR

8.1. Na slici 5. prikazan je uzdužni presjek generatora. Stator je zaštićen s vanjske strane oklopom (1) i (2). Hladnjaci vodika prolaze vertikalno kroz otvore (3). Statorska jezgra (4) hladi se demineraliziranom vodom (5). Vodik se usmjerava kanalima (6), a cirkulira kompresorom (7) čiji se rotor vrti na osovini generatora (10). Vodikom se hladi rotor (11). Dio vrućeg plina struji kroz cijev (16) u kompresor i hladnjak. Nosač (8) drži ležaj i brtvenice na strani turbine, a nosač (9) na strani uzbuđenog generatora. Električni odvod priključen je na mjestima (12) i (13). Senzori vibracija priključeni kod (14). Senzor za utvrđivanje zraka priključen je na otvoru (15). Generator radi pod tlakom vodika od 5,27 kp/cm², a temperatura rotora je normalna 46°C. Normalna temperatura statora je 50°C.

8.2. Glavni parametri generatora:

snaga generatora	kVA	812 740
struja u statoru	A	22 352
faktor snage	cos φ	0,85
brzina vrtnje	min ⁻¹	1 500
broj faza		3
frekvencija	Hz	50
napon statora	kV	21
uzbudni napon	V	425.

8.3. Slobodni prostor u rotoru generatora i kućištu napunjen je vodikom, a gubici se neprestano nadoknađuju iz boca. Vodik cirkulira pomoću kompresora, a hladi pomoću vode. Pomoćnim uređajima generatora pripadaju još uljni sistem za



Sl. 5.

brtvljenje generatora i sistem demineralizirane vode za hlađenje statora. Uzbuda je bez četkica.

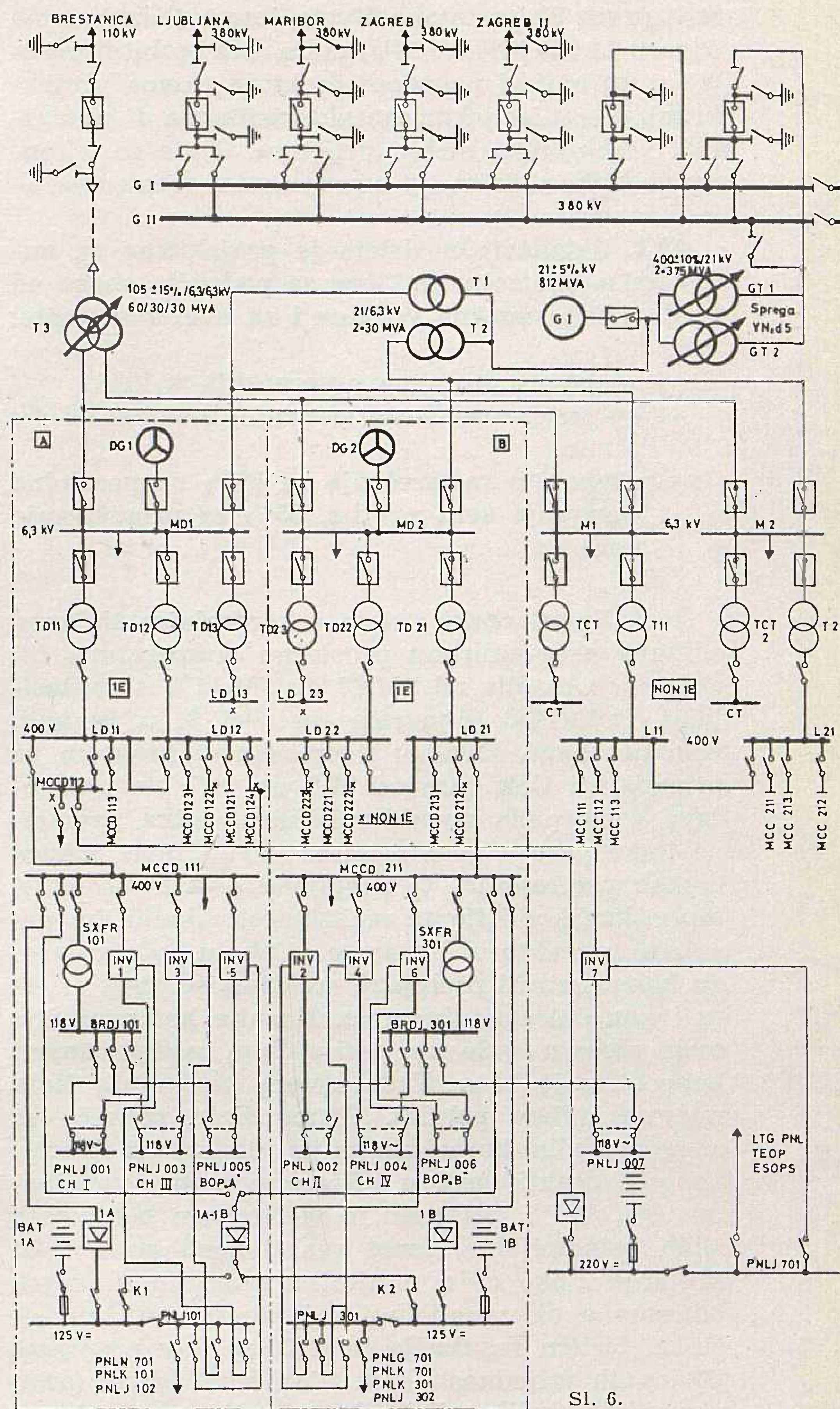
9. TOKOVI ELEKTRIČNE ENERGIJE

9.1. Na slici 6. prikazana je jednopolna shema tokova električne energije. Glavni generator proizvodi električnu energiju na naponskom nivou od 21 kV. Za dalekovodni sistem od 380 kV, napon se podiže kroz dva paralelna regulacijska transformatora GT1 i GT2. Naravno, u slučaju mirovanja generatora G1 smjer električnog toka moguće je okrenuti obrnuto. Pouzdaniji izvor električne energije (u slučaju generatora izvan pogona) je dalekovod iz TE Brestanica i regulacijski transformator T3, koji 110 kV napon transformira za potrebe NE Krško, na 6,3 kV. Vlastita potrošnja električne energije u elektrani zahtijeva ove naponske nivoe i oblike:

- 6,3 kV izmj. str.
- 400 V izmj. str.
- 118 V izmj. str.
- 125 V istosmj. str.
- 220 V istosmj. str.

U tu svrhu, odmah nakon sinhronizacijske sklopke i prije transformatora GT1 i GT2, odvaja se priključak na transformatore vlastite potrošnje T1 i T2, koji napajaju 6,3 kV potrošače i transformatore TD11, TD12, TD13, TD23, TD22, TD21, TCT1, T11, TCT2 i T21. Na 400-voltne razdjelnice priključeni su odgovarajući direktni potrošači preko takozvanih motor-kontrol-centra (MCC) ili pak dalji transformatori i pretvarači, na čijem izlazu je 118 V izmjenični napon, odnosno 125 V i 220 V istosmjerni napon. Izmjeničnu struju napona 110 V troši vitalna instrumentacija i zaštita reaktora, a 125 V i 220 V istosmjerni napon dovodi se kontrolnim uređajima, automatskoj regulaciji i nužnim potrošačima u nuklearnom i konvencionalnom dijelu elektrane, uključujući i distribuciju električne energije. Budući da bitna postrojenja za sigurnu obustavu reaktora u slučaju opasnosti ne smiju ostati bez električne energije, dva dizel-generatora, vezana za dva izlora elektroenergetska distribucijska sistema (A i B), na posebne signale, nakon 10 sekundi programirano preuzimaju opterećenja nužnih potrošača. Ovi potrošači nalaze se na razvodnicima MD 1, MD 2, LD 11, LD 12, LD 22 i LD 21.

9.2. Zbog sigurnosti elektrane bitni potrošači električne energije priključeni su na distribucijska postrojenja, uključujući i istosmjernu struju s invertorima i baterijama, projektirana i izvedena po razredu 1E, koja mogu podnijeti posebne uvjete rada kao i seizmičke akcidente. Raspodjela potrošača izvršena je po skupinama tako da se osigura najviša vjerojatnoća opskrbe potrošača po kriteriju »jednostrukog kvara«. Snaga dizel-generatora je $2 \times 3,5$ MW.



Slika 6.

9.3. Zaštita elektroenergetskih sistema je izvedena tako da nije moguće asinhrono spajanje različitih sistema.

10. RAD ELEKTRANE

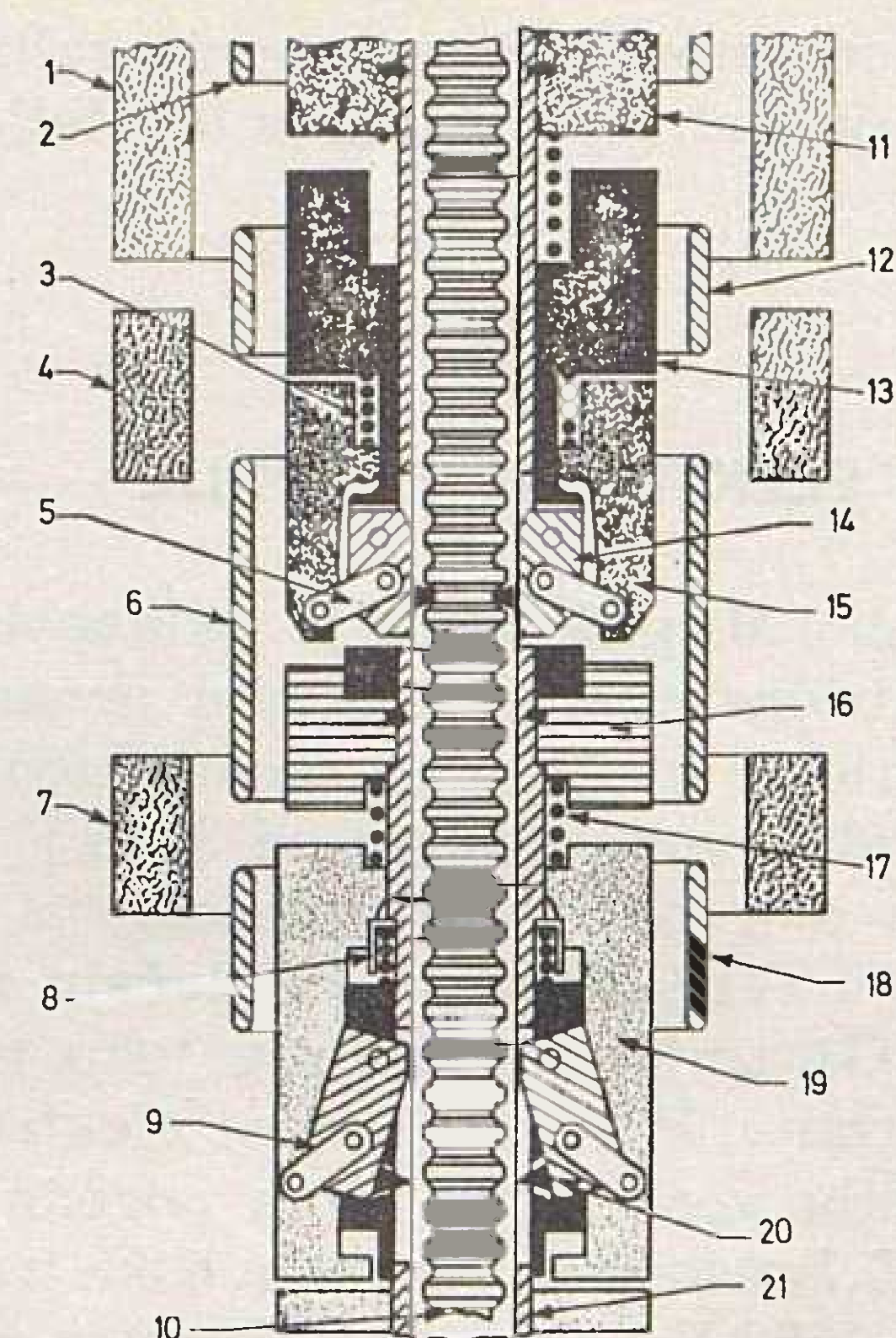
10.1. NE Krško je projektirana za dosta promjenjiv dnevni režim proizvodnje, odnosno za ciklus 12 — 3 — 6 — 3. Broj 12 označuje sate 100% opterećenja, broj 3 sate linearnog opterećivanja i rasterećivanja, a broj 6 sate 50% opterećenja. Da bi se omogućile ovakve dnevne oscilacije opterećenja unatoč pojavi »otrovnih« fizijskih produkata, u sistemu volumno kemijske kontrole ugrađena su 3 ionska izmjenjivača koji su u stanju u zadanom vremenu privremeno vezati kemijski apsorber ili ga pak ispustiti u reaktorsko hladilo. Na taj način

se u prvih 85 postotaka života jezgre (bazirano na odgoru 11 000 MWD/MTU) može, bez osobitih problema, upravljati pogonom reaktora prema projektiranim regulacijskim karakteristikama i izbjegavati »reaktorsko mrtvo vrijeme«. Time se i kontrolne šipke zadržavaju u propisanim granicama.

10.2. Regulacijski sistem je projektiran za automatsku kontrolu reaktora za područja snage od 15 do 100% nazivne veličine i za ove tranzijente:

- skokovite promjene opterećenja $\pm 10\%$
- opterećivanje (rasterećivanje) brzinom od 5% u min.
- skokovito rasterećenje za 95% uz paralelno otvaranje svih ventila, 85% za prigušivanje pare.

10.3. Regulacijski sistem s kontrolnim šipkama održava programiranu prosječnu temperaturu reaktorskog hladila od $291,67$ do $306,11^\circ\text{C}$ s oscilacijama $\pm 1,944^\circ\text{C}$ (dijagram na slici 3) u funkciji veličine snage. Ovakav temperaturni program uz pripadajući tlak pare od $77,7$ do $64,7$ ata omogućava kompromis između veličine tlačnika, promjene tlaka pare u generatorima pare (cijene sekundarnih postrojenja) te promjene (i kompenzacije) toplinskog koeficijenta reaktivnosti hladila (moderatora) u reaktoru. Kontrolne šipke u početku mogu kompenzirati promjene reaktivnosti zbog odgora i koncentracije ksenona. Kasnije kompenzacije ovih efekata vrše se periodičkim podešavanjem koncentracije bora. Tada sistem kontrolnih šipki mijenja njihov položaj. Grupe šipki pokreću se samo u cijelim koracima, pa je i dodavanje ili oduzimanje reaktivnosti u konačnim malim veličinama. Na slici 7. prikazan je mehanizam kontrolnih šipki principijelno. Iznos reaktivnosti po koraku kretanja šipke ovisi o njezinu položaju u jezgri, odnosno o diferencijalnoj vrijednosti reaktivnosti šipke. Sistem regulacije je stabilan, bez promjene postavnih vrijednosti kroz cijeli život jezgre (osim normalnih kolibracija). Do programera brzine i smjera kretanja kontrolni šipki (uključivši i programer) svi signali greške su analogni, a konačni traženi signal brzine šipki, pretvara se u digitalni impulsni, prije nego se upotrijebi za pokretanje šipki u koracima. Da bi se osigurala željena brzina šipki, mijenja se vremenski interval između impulsa (zavisno od potrebne brzine šipki). Za generiranje sveukupnog signala greške kao ulazne veličine u programer brzine i smjera upotrijebljena su dva različita kanala. Jedan kanal dovodi signal greške kao razliku modificiranog signala programirane prosječne temperature i modificiranog signala najviše izračunate stvarne prosječne temperature hladila ($T_{\text{ref}} - T_{\text{avg}}$). Drugi pak kanal dovodi modificirani signal greške kao razliku signala turbinskog opterećenja i nuklearne snage ($Q_{\text{tu}} - Q_{\text{n}}$). U funkciji sveukupnog signala greške generira se prema programu signal brzine kontrolnih šipki.



Sl. 7.: 1 — Namotaj za dizanje, 2 — fluksni prsten, 3 — opruga za vraćanje, 4 — namotaj pomične hvataljke, 5 — poluga pokretne hvataljke, 6 — fluksni prsten, 7 — namotaj stacionarne hvataljke, 8 — opruga za vraćanje, 9 — poluga stacionarne hvataljke, 10 — nazubljena šipka, 11 — pol za dizanje, 12 — fluksni prsten, 13 — čahura za dizanje, 14 — pokretna hvataljka, 15 — čahura pokretne hvataljke, 16 — pol stacionarne hvataljke, 17 — opruga za vraćanje, 18 — fluksni prsten, 19 — prsten stacionarne hvataljke, 20 — stacionarna hvataljka, 21 — cijevna vodilica.

10.4. Budući da kontrolne šipke služe i zaštititi reaktora, bezenergetsko stanje elektromagnetnih namotaja mehanizma šipki oslobađa šipke, te ih uvijek raspoloživa zemljina gravitacija uvlači u jezgru reaktora.

10.5. Procesno računalo ne upravlja procesom, već operatora neprestano opskrbljuje potrebnim procesnim informacijama. Osim toga vrši zapise unaprijed odabranih veličina 2 minute prije i 3 minute poslije ispada reaktorskog postrojenja (u 10 sekundnim intervalima) te nekih veličina, 10 sekundi prije i 10 sekundi poslije ispada, u dva i pol sekundnim intervalima (ukupno $100 + 24$ analogni »Post Mortem Review« ulaza).

11. UMJESTO ZAKLJUČKA

Pri ovako kratkom opisu elektrane obično se spomenu proizvođači opreme, graditelji elektrane, ekonomsko-financijski problemi, a na kraju i način opskrbe gorivom, te kapitalni troškovi i cijena proizvedene energije. Zbog složene i opširne problematike ove vrste, to se ostavlja za drugu priliku.

NUCLEAR POWER PLANT »KRŠKO« (II part)

In the article given description of construction of first Yugoslav nuclear power plant "Krško". At first, it is said about quality and characteristic of civil work soil, meteorological conditions and conditions of cooling water. There are described architectural objects and reactor system.

Naslov pisca:
Vladimir Vuković, dipl. ing.
NE Krško

PROBLEMI IZRADE PRIKLJUČNIH PLANOVA NA RAČUNALU

Nikola Čupin, Zagreb

UDK 681.13

Priključni planovi dio su projektne dokumentacije električnih postrojenja što daju informacije za izvođenje spojeva između aparata i podsistema. U radu je pokazano kako se standardizacijom i formalizacijom mogu uspješno riješiti problemi koncipiranja programa za izradu priključnih planova na računalu.

UVOD

Priključni planovi¹ dio su projektne dokumentacije električnih postrojenja u kojima su na jasan način prikazani spojevi među aparatima unutar i između podsistema² u električnom postrojenju. Iako sadrže iste informacije kao i strujne sheme odnosno sheme djelovanja, priključni planovi su nužni u izvedbi postrojenja jer, ne ulazeći u funkciju strujnih krugova, daju na jednostavan način upute za izvođenje spojeva (ožičenje). Ako sve aktivnosti u procesu projektiranja³ podijelimo na rutinske⁴ i kreativne (tabla I), tada je izrada priključnih planova očito rutinska aktivnost koja se izvodi na temelju podataka iz strujne sheme i preglednog nacrtu u kome je prikazan smještaj aparata unutar podsistema. Rutiniranost i kreativnost nisu konstante aktivnosti pa podaci iz tabele I odgovaraju današnjem stanju razvoja. Što je proces projektiranja napredniji, to sadrži veći broj rutinskih aktivnosti. Ako je način izvođenja neke aktivnosti nepoznat, moramo uložiti intelektualni napor da ju obavimo (od nas se tada traži kreativnost). Da bismo aktivnost načinili rutinskom, potrebno je razraditi formalni postupak izvođenja, odnosno potrebno ju je formalizirati.

Tablica I

AKTIVNOSTI O PROCESU PROJEKTIRANJA		
Red. br.	Aktivnost	Kratika
1	Analiza projektnog zadatka	k
2	Izrada osnove za jednopolnu shemu	k
3	Proračun struja mjerodavnih za naprežanje elemenata postrojenja	r
4	Izbor i dimenzioniranje glavnog strujnog pruga	k/r
5	Izbor i dimenzioniranje pomoćnih pogona	k/r
6	Izbor elemenata pomoćnih strujnih krugova	k/r
7	Razmještaj (dispozicije) postrojenja	k
8	Podloge za projekt građevinskog dijela	k
9	Strujne sheme	k/r
10	Popis (specifikacija) opreme	r
11	Pregledni (montažni) nacrti	k
12	Priključni planovi	r
13	Popis kabela	r
14	Plan polaganja kabela	r
15	Troškovnik	r

Kratice: r — rutinska aktivnost, k — kreativna aktivnost, k/r — djelomično rutinska.

Formalizacija je lakša ako postoji mogućnost primjene standardnih rješenja. Prema tome, **standardizacija** i **formalizacija** omogućavaju prijelaz od kreativnosti prema rutiniranosti, a poznato je (L1) da je ono što je rutinsko pogodno za obradu na računalu.

Iz svega proizlazi da je za opravdanu primjenu računala u projektiranju potrebno obaviti standardizaciju i formalizaciju u pojedinim aktivnostima procesa projektiranja. Na temelju toga što služi kao osnova za izradu algoritma stvaraju se određeni programi za izvođenje pojedine aktivnosti na računalu⁵.

U ovom radu istaknut ćemo neke probleme koji su se pojavili pri korištenju računala u izradi priključnih planova i pokazati kako su određenom standardizacijom i formalizacijom riješeni. To je dovelo do stvaranja modela (L2), prema kojemu je izrađen program za elektroničko računalu.

2. OZNAČIVANJE STEZALJKI U STRUJNOJ SHEMI

Primjena računala u projektiranju najčešće je ekonomski opravdana ako su zadovoljena dva uvjeta:

1. mala količina ulaznih podataka i
2. minimalna angažiranost projekatanta — inženjera.

¹ Umjesto priključnih planova nekad su se radile, manje prikladne, tzv. sheme vezivanja.

² Pod podsistemima električnog postrojenja razumijevaju se razvodni ormari, čelije, sklopni blokovi, polja u komandnim ormarima i relejnim stalcima, polja u postrojenjima visokog napona vanjske izvedbe itd. u kojima su smješteni aparati glavnih i pomoćnih strujnih krugova.

³ Proces projektiranja možemo definirati kao nematerijalan proces kojim se iz dokumentacije o elementima i podsistemima stvara dokumentacija za gradnju većih sistema.

⁴ Rutinskima smatramo one aktivnosti kod kojih je način rada potpuno definiran tako da se, nakon upoznavanja, mogu vršiti gotovo bez intelektualnog napora.

⁵ Standardizacija i formalizacija unutar pojedine aktivnosti moraju se međusobno uskladiti tako da se postupno stvara opći model procesa projektiranja kojemu će odgovarati paket programa s pripadnim upravljačkim programom.

Poznato je da »ručnu« izradu priključnih planova obavlja pretežno isto osoblje koje izrađuje i strujnu shemu, što je mnogo kreativnija aktivnost. Ako se primjenom računala smanji učešće projektanta — inženjera i time on oslobodi za ostale kreativne poslove, očito je da će cijena projekta biti manja. Međutim, ako se na izradi pomoću računala zaposli osoba s nižom kvalifikacijom, npr. projektant — tehničar, koja mora zbog velike količine ulaznih podataka dugo raditi taj posao, troškovi se neće smanjiti.

Iz toga proizlazi da ulazni podaci trebaju sadržavati što više informacija. Najveću količinu podataka za izradu priključnih planova sadrže strujne sheme čiji se oblik usklađuje na međunarodnom nivou. Tako se, između ostalog, donesene preporuke IEC 113-2 i DIN 40719 u kojima je definiran način označivanja stezaljki u strujnim shemama. Iako taj sistem označivanja nije formalno donesen kao međunarodni standard, poznato je da u praksi te preporuke imaju gotovo snagu standarda. Na temelju njih veći proizvođači električnih postrojenja donose svoje interne standarde koji su, dakako, detaljniji.

Oznaka stezaljki se, prema preporukama, dijeli na četiri dijela koji se u shemi označuju posebnim simbolima (tabl. II). Oznaka, kako se vidi iz tablice II, sadrži osim o priključku i vrsti aparata, i informaciju o smještaju unutar podsistema. Na temelju toga definiran je skup stezaljki što ih prema strujnoj shemi treba međusobno vodljivo povezati, kao tzv. P-skup (L3).

Unošenjem u računalu podataka o P-skupovima iz strujne sheme i podataka o smještaju aparata u podsistemu (iz preglednog nacrtu) moguće je programsko donošenje.

Tablica II

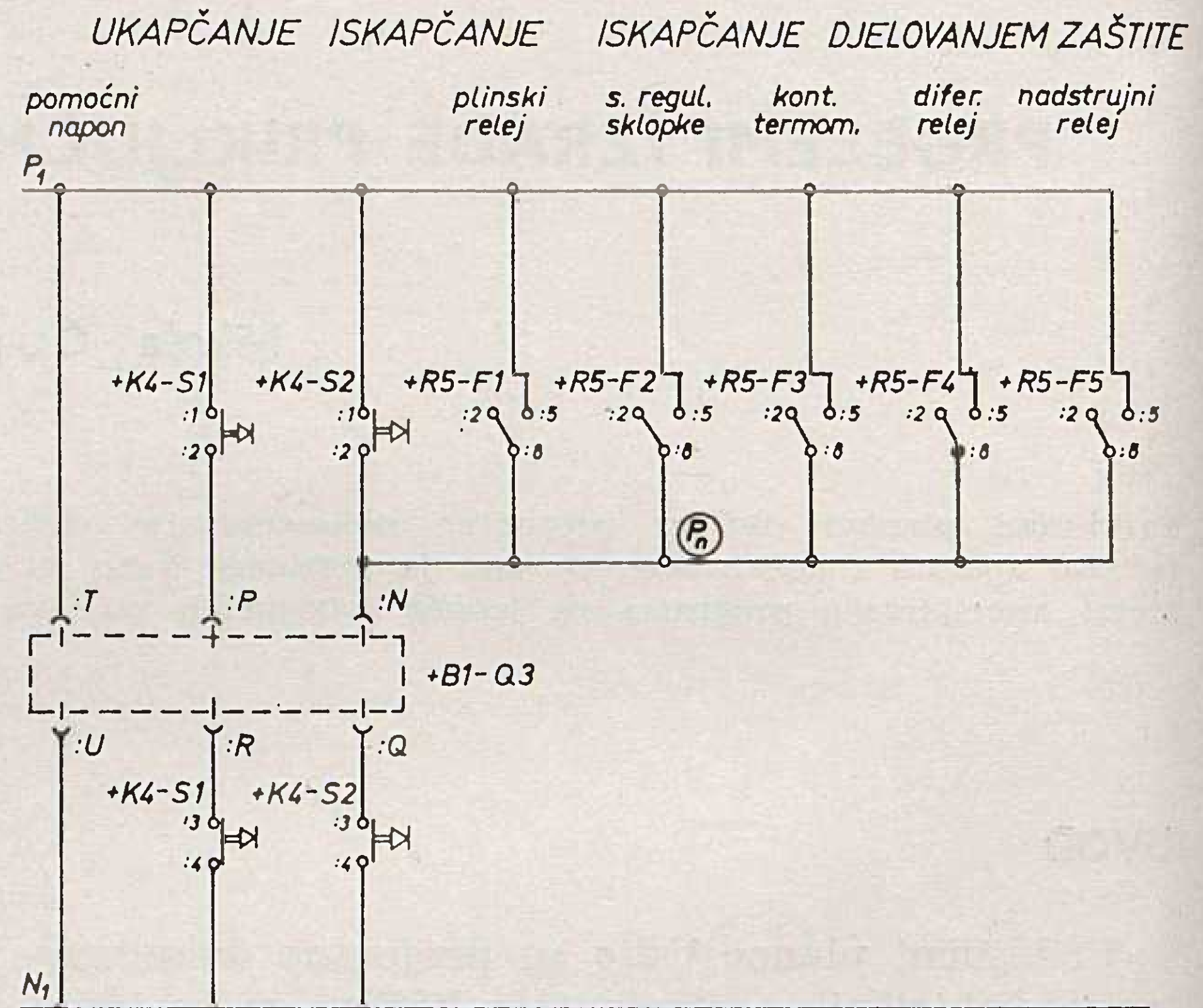
OZNAKE STEZALJKE PREMA IEC 113-2	
Simbol	Značenje
:	broj priključka na aparatu
—	vrst, broj (identifikacija) i funkcija aparata
+	smještaj aparata u dijelu postrojenja
=	funkcionalna pripadnost dijelu postrojenja

Time se je izbjeglo unošenje podataka o načinu izvedbe spoja uz svaki P-skup, što, osim povećanja mase ulaznih podataka, povećava i dragocjeno vrijeme potrebno za popunjavanje obrazaca.

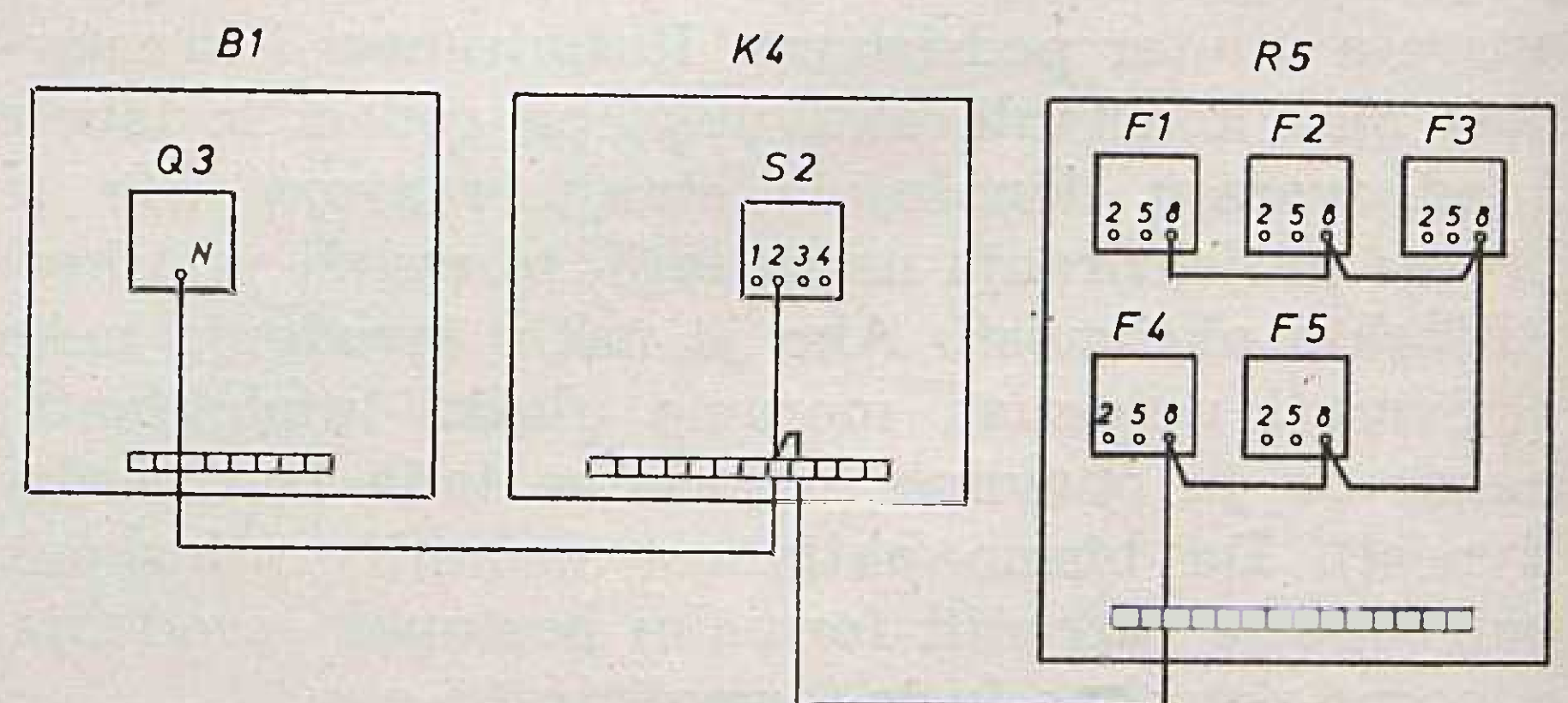
Ovaj problem možemo pojasniti na slijedećem primjeru. Neka je zadan P-skup stezaljki u krugu isklapanja prekidača (sl. 1), n-ti po redu:

$$P_n = \left\{ \begin{array}{l} +B1-Q3:N \\ +K4-S2:2 \\ +R5-F1:8 \\ +R5-F2:8 \\ +R5-F3:8 \\ +R5-F4:8 \\ +R5-F5:8 \end{array} \right\}$$

UPRAVLJANJE PREKIDAČEM

Sl. 1. Strujna shema upravljanja prekidačem i skup P_n

Skup se sastoji od 7 tročlanih⁶ elemenata, tj. stezaljki. Iz informacije koje sadrže prvi članovi slijedi da su stezaljke smještene na aparatima što se nalaze u 3 različita podsistema (B1, K4 i R5), pa se spoj može definirati programski koristeći se pravilom da se spojevi između različitih područja ožičenja izvode preko priključene letvice (sl. 2).

Sl. 2. Smještaj aparata u podsistemima B1, K4 i R5 i način spajanja skupa P_n

3. PODRUČJA OŽIČENJA

Način spajanja između aparata unutar jednog podsistema i između više podsistema razlikuje se prema izvedbi i vrsti podsistema i broju aparata unutar njega. Ako je u podsistemu smješten samo jedan aparat, nema razloga da se vodič koji dolazi

⁶ P-skup je zapravo definiran kao skup četveročlanih elemenata (L2) jer su za oznaku smještaja aparata u području ožičenja (točka 3) upotrijebljena dva člana.

Tablica III

INFORMACIJE O VRSTI PODRUČJA OŽIČENJA	
Oznaka prva dva člana u P-skupu	Vrst područja ožičenja
+B1, E1 +B1, O +0, B1 +X, M3	LV V-ravnina L X

iz drugog podsistema spaja preko priključne letvice. To isto vrijedi za spojeve u niskonaponskim sklopnim blokovima kada se izvode većim presjecima vodiča. Srednjonaponski sklopni blokovi konstruirani su tako da je u posebnom ormaru smješten niskonaponski dio s mjernim instrumentima, zaštitnim i pomoćnim relejima i sklopnim elementima za uklapanje i isklapanje. Stezaljke sekundarnih strujnih krugova aparata srednjeg napona kojima je konstrukcijski i funkcionalno pridružen taj ormar spajaju se preko priključne letvice koja je smještena u ormaru.

Kod visokonaponskih polja vanjske izvedbe uz polje je smješten tzv. komandni ormar koji ima sličnu ulogu kao i ormar kod srednjonaponskih blokova. Razvoj tehnologije kod energetskih i pomoćnih strujnih krugova (SF_6 , vakuum, elektronički sklopovi, mikroprocesori itd.) utječe na drugačije izvedbe s različitom logikom spajanja.

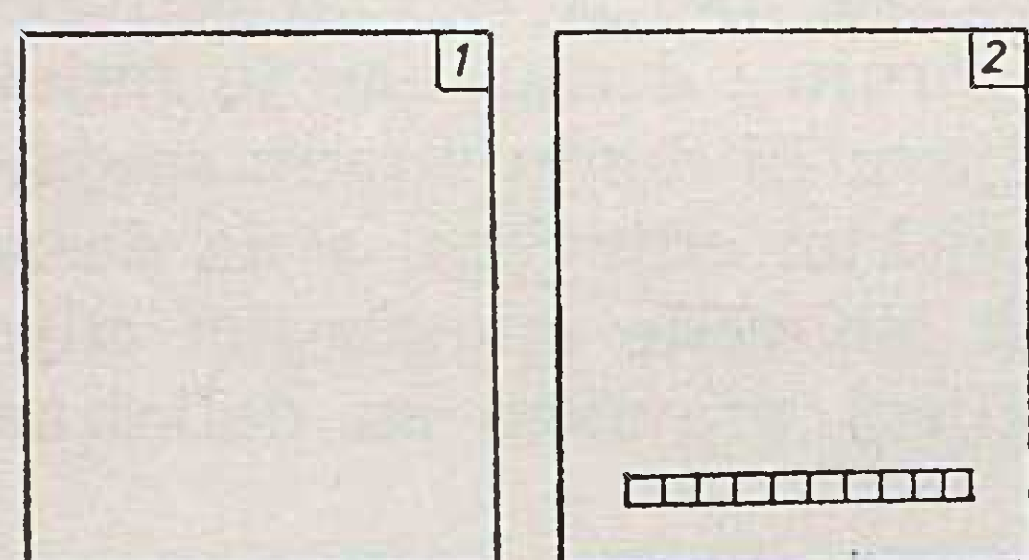
Sve što smo naveli moguće je sa stajališta izvedbe spojeva u odnosu na priključnu letvicu riješiti tako da se uvede pojam područja ožičenja, tj. formalnog prostora od jedne ili više ravnina s aparatima (formalizacija).

Prema dosadašnjem iskustvu dovoljno je bilo uvesti tri vrste područja ožičenja (sl. 3).

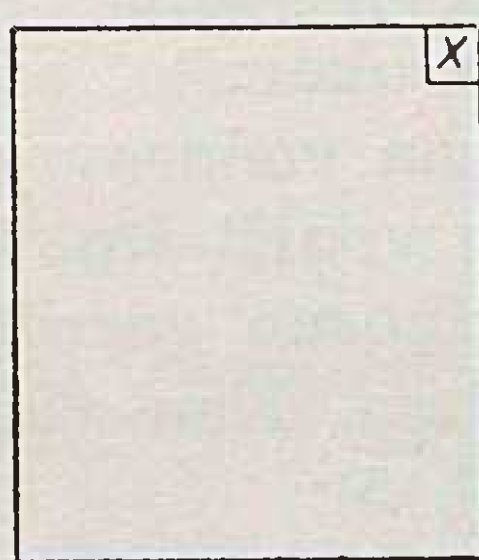
- L — područje sa dvije ravnine i priključnom letvicom na drugoj ravnini,
- LV — isto kao L područje, ali dodatno sa V-ravninom u kojoj su formalno smješteni svi aparati srednjeg i viših napona,
- X — područje s jednom ravninom bez priključne letvice.

U četveročlanom elementu P-skupa prva dva člana daju informaciju osim o smještaju i o vrsti područja ožičenja (tabl. III), što je iskorišteno za programsko određivanje načina spajanja.

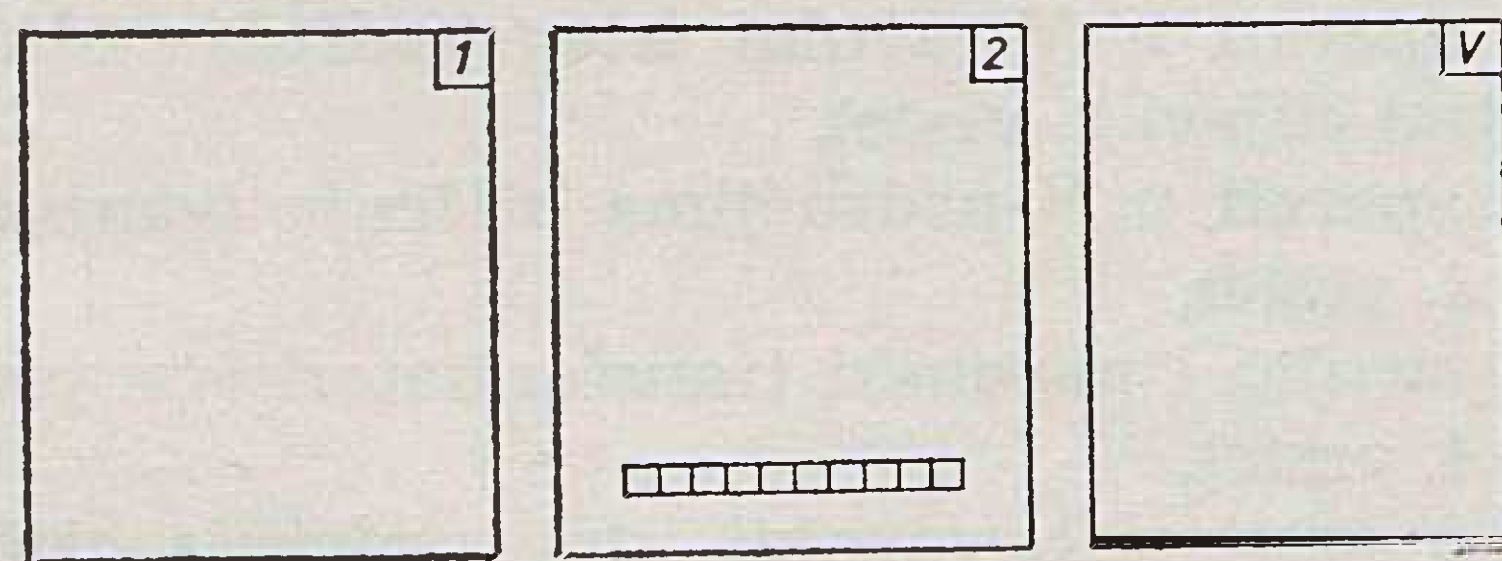
a) L-područje



c) X-područje



b) LV-područje



Sl. 3. Vrste područja ožičenja

4. REDOSLIJED SPAJANJA

Redoslijed spajanja potrebno je odrediti za stezaljke na jednom aparatu, za aparate u podsistemu i za podsisteme u električnom postrojenju. U ručnoj izradi priključnih planova projektant ima pred sobom skicu aparata s razmještajem stezaljki, pregledni nacrt pojedinog podsistema sa smještajem aparata i dispoziciju postrojenja s položajem podsistema, jednom riječju informacije o smještaju elemenata koji se moraju međusobno povezati.

Na osnovi tih informacija određuje se logički redoslijed spajanja s težnjom da utrošak vodiča bude minimalan.

Za programsko određivanje redoslijeda spajanja potrebno je, osim učitavanja informacija o smještaju, načiniti odgovarajući algoritam. Budući da je radi pouzdanosti spoja s jednom stezaljkom razumno spajati najviše dva vodiča, problem se svodi na tzv. problem »trgovačkog putnika«: »Trgovac, polazeći iz jednog grada, mora posjetiti $n-1$ gradova tako da svaki grad posjeti samo jednom, da se vrati u polazni grad⁷ i da ukupni troškovi putovanja budu minimalni.«

Troškovi pojedinih dionica su poznati, pa je potrebno, između mogućih putova, odabrati onaj gdje su troškovi minimalni.

Matematički se problem može definirati ovako: uz zadane troškove svake dionice puta $d_{i,j}$ od grada i do grada j naći permutaciju $i_2, \dots, i_n$ brojeva $2, \dots, n$ tako da suma $d_1, i_2 + d_{i_2, i_3} + \dots + d_{i_{n-1}, 1}$ bude minimalna i izračunati vrijednost minimuma. Ovaj problem spada u probleme redoslijeda ili kombiniranog optimiranja kod kojih funkcija cilja ovisi o redoslijedu operacija.

Za rješenje problema trgovačkog putnika ne postoji opća metoda, već su poznati manje ili više uspješni postupci koji kod malog broja gradova brzo dovode do cilja, a kod većeg broja svode se na heurističke postupke. U postupku potpune enumeracije potrebno je ispitati svih $(n-1)!$ mogućih rješenja, što je kod većeg broja gradova opsežan posao (npr. za 10 gradova $9! = 362\,880$). Nešto brži je postupak ograničene enumeracije i postupak što se temelji na metodi »Branch and Bound«, ali i ti

⁷ »Vraćanje u polazni grad« odgovara spajanju u zamku što se iz razloga pouzdanosti primjenjuje za spajanje većeg broja stezaljki. Normalno se spajanje obavlja bez zatvaranja zamke, što odgovara problemu trgovačkog putnika bez uvjeta vraćanja u polazni grad. Mogući broj rješenja u tom slučaju je $n!$

postupci zahtijevaju prilično vremena za izvođenje i rezervaciju ne male memorije u računalu. Heuristički postupak omogućava ograničenje vremena računanja, ali ne daje potpunu sigurnost da je dobiveno rješenje najbolje, ostavljajući i dalje problem velike memorije.

Uzme li se u obzir da bi za svaki P-skup valjalo računati redoslijed spajanja pomoću jedne od spomenutih metoda i da u postrojenju srednje veličine (npr. trafostanica 35/10 kV) ima oko 3 000 P-skupova, očito je da bi izvođenje takvog programa za izradu priključnih planova na računalu zbog duljine trajanja i velike memorije bilo ekonomski neopravdano.

Rješenje se opet nalazi u formalizaciji.

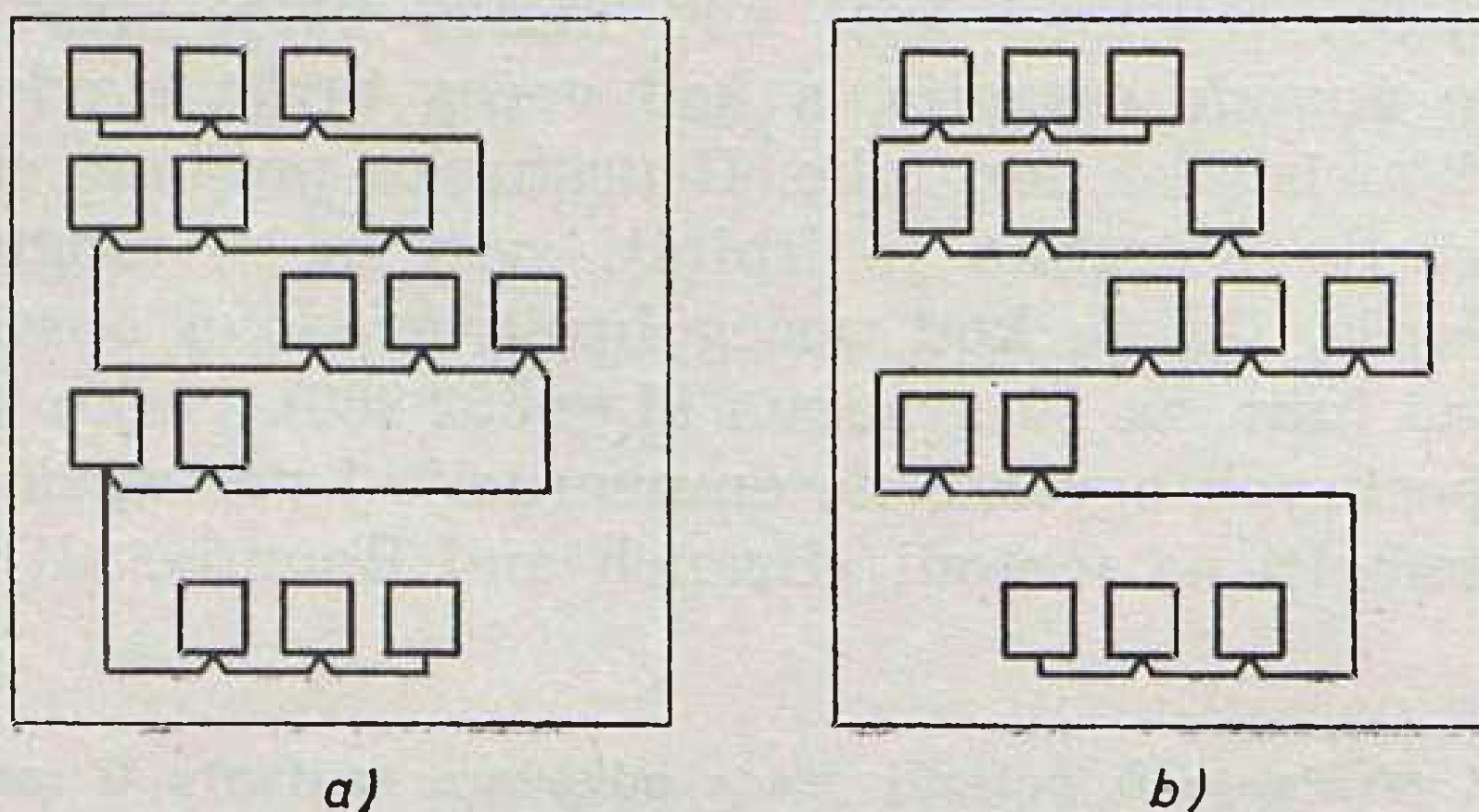
Smjeste li se, formalno, aparati što se nalaze na jednoj ravnini u zamišljene retke i stupce (isto vrijedi i za podsisteme u električnom postrojenju) i učitamo li u računalu broj retka i stupca što je pridružen svakom aparatu odnosno podsistemu, moguće je za određivanje redoslijeda spajanja primijeniti jedno od jednostavnih pravila, npr. »lijevo-desno-lijevo« ili »desno-lijevo-desno«.

Iako je mana ovih pravila što uvijek ne daju najbolji redoslijed spajanja, prednosti kao što su:

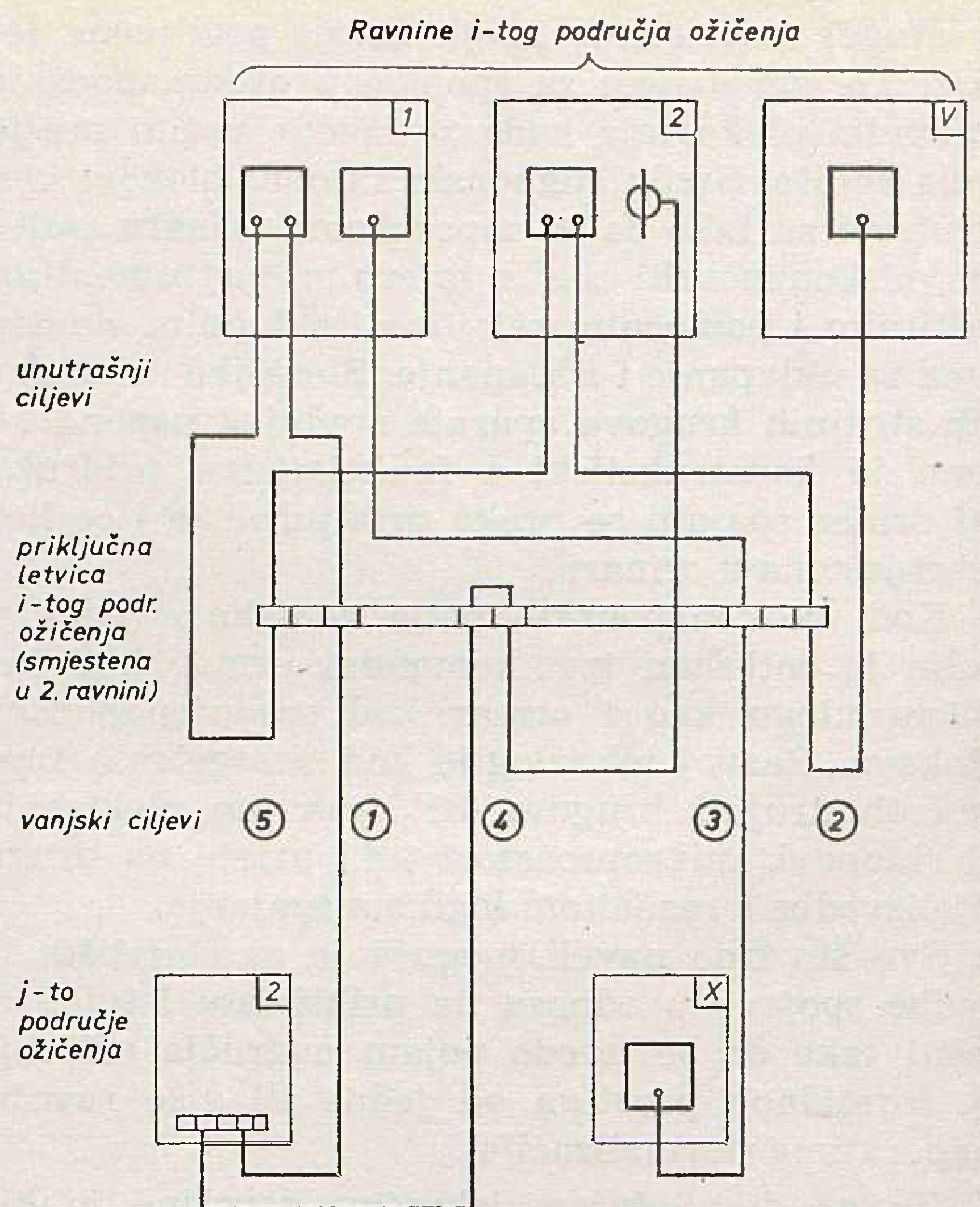
- brzina određivanja redoslijeda,
- nepotrebnost memorije,
- jednostavnost algoritma i
- nezavisnost algoritma od broja aparata (pod-sistema)

opravdavaju njihovu primjenu.

Kod određivanja redoslijeda spajanja stezaljki što se nalaze na jednom aparatu i pripadaju istom P-skupu moguće je uštedjeti i na učitanju i memoriranju podataka o njihovom smještaju na aparatu, ako se kao dovoljno točan uzme redoslijed prema rastućem rednom broju odnosno prema rastućem abecednom redu. Budući da se radi o malom prostoru na kojemu su smještene stezaljke jednog aparata, takav redoslijed je, s obzirom na velike uštede koje se time postižu, opravdan.



Sl. 4. Spajanje aparata u ravnini kao primjer određivanja redoslijeda spajanja pravilom: a) lijevo-desno-lijevo i b) desno-lijevo-desno



Sl. 5. Vanjski i unutarnji ciljevi priključne letvice

5. SPOJEVI NA PRIKLJUČNOJ LETVICI

Pri spajanju vodiča na priključnoj letvici nastoji se postići dobra preglednost spojeva radi lakšeg održavanja i iskoristiti obje strane stezaljke. Oba zahtjeva su međusobno suprotna jer zadovoljenje prvog vodi na neiskorištenje druge strane stezaljke priključene letvice i time na veći broj stezaljki. Budući da je u »ručnoj« izradi priključnih planova izvedba veoma raznolika i uglavnom prepuštena dobroj volji projekatanta, bilo je potrebno načiniti pravilo prema kojemu će se određivati način spajanja pomoću računala i time zapravo izvršiti neformalnu standardizaciju (L3).

Stezaljka priključne letvice ima dvije strane za spajanje, lijevu i desnu, ako je letvica smještena okomito, odnosno gornju i donju, ako je smještena vodoravno. Na lijevu ili donju stranu spajaju se vodiči što vode vanjskim ciljevima, a na desnu odnosno gornju vodiči što vode unutarnjim ciljevima. Kao vanjski ciljevi pravilom su definirani (sl. 5):

1. priključenje letvice drugih područja ožičenja ili vanjski ciljevi 1. vrste,
2. aparati u V-ravnini istog područja ožičenja (vanjski ciljevi 2. vrste),
3. aparati u X-područjima ožičenja (vanjski ciljevi 3. vrste),
4. strujni i naponski transformatori (vanjski ciljevi 4. vrste),
5. aparati u 1. ravnini istog područja ožičenja kada se spajaju s aparatima u 2. ravnini i spoj ide

preko priključne letvice (vanjski ciljevi 5. vrste). Ovaj način je u L3 definiran kao način spajanja 3.2,

6. dovod pomoćnog napona (ili sabirnice pomoćnog napona) ili vanjski cilj 6. vrste.

Unutarnji ciljevi su: aparati u svim ravninama L i LV područja ožičenja, osim u V-ravnini i 1. ravnini kada se ne radi o spoju s aparatom koji se nalazi u drugoj ravnini, gdje je i priključna letvica.

Za dobru preglednost spojeva nužno je izvršiti grupiranje i svrstavanje (sortiranje) na priključnoj letvici. U projektnim organizacijama »Rade Končara« uobičajene su ove grupe:

- pomoćni napon,
- upravljanje i blokada,
- signalizacija,
- mjerenje,
- zaštita,
- pomoćni pogon.

Unutar grupe provodi se sortiranje prema vanjskim ciljevima svake vrste. Sortiranje prema vanjskom cilju 1. vrste obavlja se tako da se vodiči koji imaju isti cilj (isto područje ožičenja) spoje na susjedne stezaljke radi lakšeg izvođenja spojeva s višezilnim kabelima. Nasuprot tome, kod sortiranja prema vanjskom cilju 4. vrste spajaju se na susjedne stezaljke počeci i krajevi sekundarnih namota strujnih, odnosno naponskih transformatora.

6. KARAKTERISTIKE OBRADE

Pošto smo u prethodnim točkama opisali neke od glavnih problema koje je valjalo riješiti da bi se elektroničko računalno uspješno primijenilo u izradi priključnih planova, u ovoj točki navest ćemo osnovne karakteristike obrade koja se vrši pomoću programa nazvanog OPTIM. Iz strujne sheme i preglednih i dispozicionog nacrtu koji se rade u devetoj odnosno jedanaestoj i sedmoj aktivnosti procesa projektiranja (tabl. I), ispunjavaju se podaci u obrasce i odatle bušenjem na kartice za učitavanje u računal. Podaci su organizirani u osnovne skupove i prikazani u tabeli IV. Prvih 7 skupova unosi se u strujne sheme, tako da se svakom P-skupu pridruži jedan element skupova VSK, OZV, TIP, PRE, NSH i STR. Ako sa P^+ označimo familiju P-skupova u električnom postrojenju, tada vrijedi ekvivalentnost⁸ skupova:

$$P^+ \sim VSK^+ \sim OZV^+ \sim TIP^+ \sim PRE^+ \sim NSH^+ \sim STR^+$$

gdje su skupovi: VSK^+ , OZV^+ , TIP^+ , PRE^+ , NSH^+ , STR^+ dobiveni preslikavanjem skupa NP (skup indeksa P-skupova) u skupove: VSK, OZV, TIP, PRE, NSH, STR respektivno.

Tablica IV

OSNOVNI SKUPOVI			
S k u p			Sadržaj
Red. br.	oznaka	naziv	
1	P	P-skup	stezaljke aparata
2	VSK	vrsta strujnog kruga	pomoćni napon, upravljanje i blokada, signalizacija, mjerenje, zaštita, pomoćni pogon
3	OZV	oznake vodiča	P, N, P1, M1, MS, TS, A1, R, S, T, ...
4	TIP	tipovi kabela	PPOO, PP41, ...
5	PRE	presjek vodiča	1,5, 2,5, 4, 6, ...
6	NSH	broj strujne sheme	
7	STR	broj strane u strujno shemi	prirodni brojevi
8	$AR_{n,m}$	smještaj aparata	aparati smješteni u m-toj ravnini n-tog područja ožičenja
9	$R_{n,m}$	reci aparata	reci svakog aparata u skupu $AR_{n,m}$
10	$S_{n,m}$	stupci aparata	stupci aparata u skupu $AR_{n,m}$
11	POZ	područja ožičenja	područja ožičenja u elektr. postrojenju
12	RE	reci pod. ožič.	reci područja ožičenja u skupu POZ
13	ST	stupci pod. ožič.	stupci područja ož. u skupu POZ

Skupovi označeni zvjezdicom su, dakle, grafovi funkcija:

$$f_1 : NP \rightarrow VSK$$

$$f_2 : NP \rightarrow OZV$$

$$f_3 : NP \rightarrow TIP$$

$$f_4 : NP \rightarrow PRE$$

$$f_5 : NP \rightarrow NSH$$

$$f_6 : NP \rightarrow STR.$$

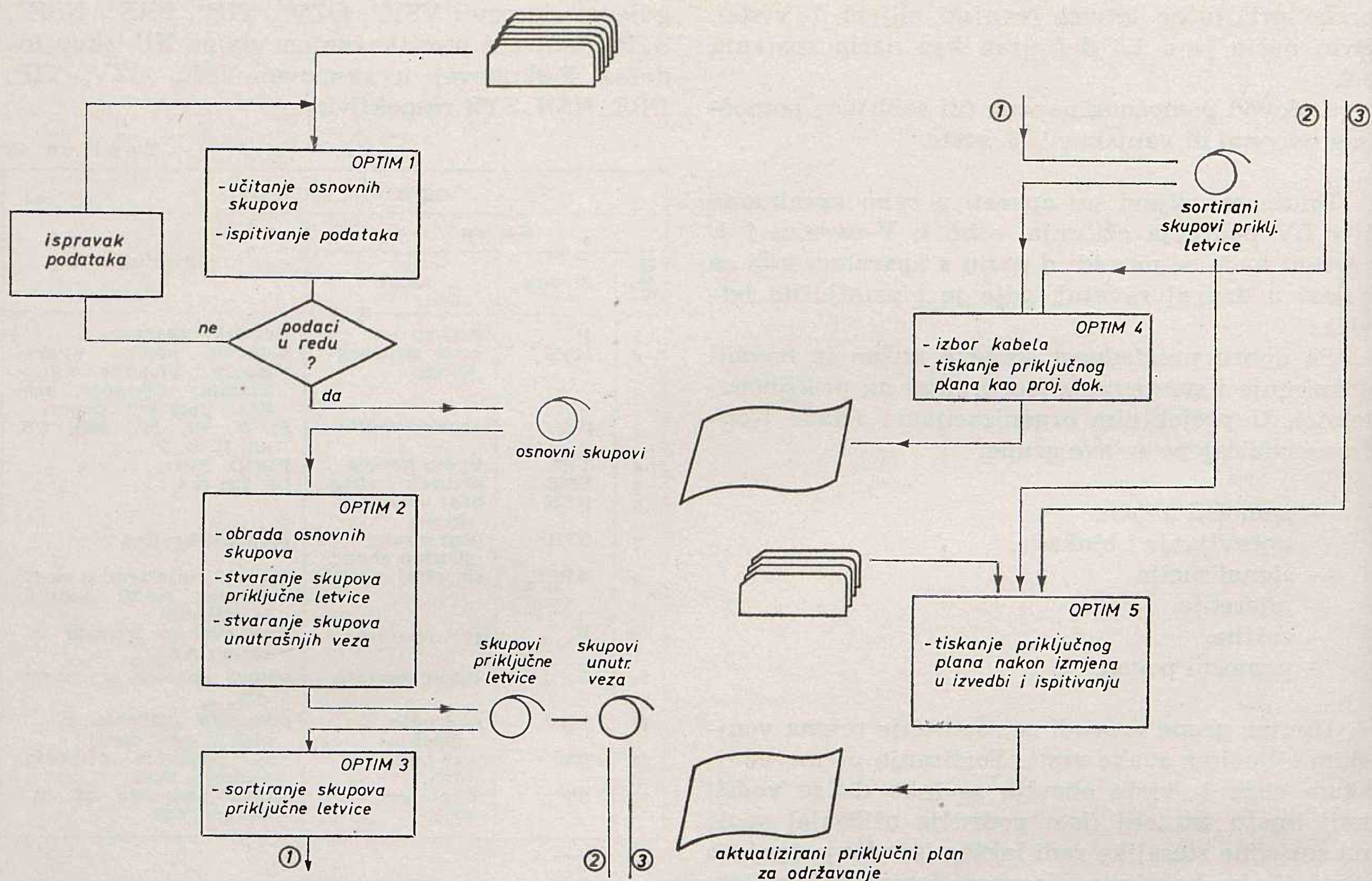
Relacija ekvivalentnosti vrijedi i među skupovima:

$$AR_{n,m} \sim R_{n,m} \sim S_{n,m}$$

$$POZ \sim RE \sim ST.$$

Količina podataka koje sadrže osnovni skupovi ovisi o veličini električnog postrojenja. Transformatorska stanica 35/10 kV, 2×16 MVA ima npr. oko 3 000 P-skupova i 40 područja ožičenja (oko 4 000 kartica). Obrada, koja počinje s ispitivanjem ulaznih podataka radi otklanjanja grešaka pri ispunjavanju obrazaca i bušenja kartica, a završava sa aktualiziranim priključnim planom vrši se postupno u nekoliko koraka koji su prikazani u blok-dijagramu na sl. 6. Nakon svakog koraka obrađeni podaci se spremaju na magnetsku vrpcu, čime se postiže veća elastičnost u obradi.

⁸ Skup A je ekvivalentan skupu B ($A \sim B$) ako postoji »preslikavanje na« (surjekcije) koje ima svojstvo da je svaki element od B slika bar jednog elementa od A i »preslikavanje 1—1« (injekcija) koje ima svojstvo da jednakost slika $f_1(a_1) = f_1(a_2)$ povlači jednakost originala $a_1 = a_2$, tj. ako postoji bijekcija $f_b : A \rightarrow B$.



Sl. 6. Blok-dijagram procesa izrade priključnih planova na računalu

7. ZAKLJUČAK

Primjena računala u procesu projektiranja električnih postrojenja moguća je naročito u aktivnostima rutinskog karaktera. U ovom radu je prikazana problematika izrade priključnih planova na računalu i istaknuto nekoliko problema koje je valjalo riješiti da bi primjena računala bila ekonomski opravdana. Pokazalo se da standardizacija i formalizacija znatno olakšavaju rješavanje problema, što vrijedi i za druge aktivnosti procesa projektiranja, koje postaju više rutinske što je proces projektiranja razvijeniji i napredniji.

LITERATURA

1. N. Čupin: Prilog projektiranju rasklopnih postrojenja pomoću računala, doktorska dizertacija, ETF, Zagreb, 1977.
2. N. Čupin: Modell für rechnerische Erstellung der Anschlusspläne von Schaltanlagen, Elektrik 32 (1978) H. 10
3. N. Čupin: O standardizaciji spojeva na priključnoj letvici podsistema sklopnog postrojenja, Energija 7—8, 1978.

PROBLEMS OF CONNECTING PLANS ON COMPUTER

Wiring diagrams are the part of documentation which contains informations about wiring between apparatuses and subsystems in an electrical arrangements. It is shown how the problems in making wiring diagrams by computer can be solved with standardisation and formalisation in this field.

Naslov pisca:
mr Nikola Čupin dipl. ing.
Institut »Rade Končar«, Zagreb

PRIMJENA METODE LAGRANGEOVOG MULTIPLIKATORA KOD OPTIMIZACIJE STACIONARNIH REŽIMA RADA PARNOPROIZVODNOG POSTROJENJA

Zmagoslav Prelec, Rijeka

UDK 65.011 681.3.06) : 620.4 : 665.66 : 621.18

U članku se razmatra primjena metode Lagrangeovog multiplikatora kod optimizacije stacionarnih režima rada parnog proizvodnog postrojenja s više jedinica, različitih karakteristika. Optimizacija se kod toga svodi na mogućnost promjene udjela pojedinih jedinica u ukupnoj proizvodnji, s ciljem da se ona ostvari uz minimalne pogonske troškove. Primjena opisane metode prikazana je za konkretan slučaj postrojenja sa četiri paro-proizvodne jedinice.

1. UVOD

Vrlo često se kod vođenja procesa energetske postrojenja mogućnost ekonomiziranja može provoditi putem optimizacije udjela pojedinih proizvodnih jedinica u ukupnoj proizvodnji. Osnovni preduvjet za rješenje takvog problema jest što točnije poznavanje odnosa »potrošnja — proizvodnja« uključenih jedinica.

Budući da se, kako je vidljivo iz samog naslova, promatraju stacionarni režimi rada postrojenja, kod takvog postupka optimizacije ne uzimaju se u obzir utjecaji promjene proizvodnog stanja kao kretanje i zaustavljanje pogona te druge prijelazne pojave. Naime, promjene opterećenja parnog proizvodnog postrojenja, naročito kod procesnih industrija, nisu učestale, pa se takvi utjecaji u tim slučajevima mogu zanemariti.

Nivo proizvodnje koji proizlazi iz potreba, odnosno potrošnje u nekom momentu može se ostvariti na više načina, ovisno o stupnju učešća pojedine proizvodne jedinice, a da pri tome ne budu zaobiđeni principi tehničke sigurnosti pogona. Međutim, cijena izlaznog proizvoda, u ovom slučaju pare, ovisi o načinu korištenja proizvodne jedinice (generatora pare) s obzirom na karakteristike stupnja iskorištenja, pa iz tog proizlazi zadatak optimizacije stacionarnih režima rada parnog proizvodnog dijela energetskog sistema.

Obrađeni primjer uključuje četiri generatora pare koji ostvaruju izlazni pritisak 36,3 bara i temperaturu 420°C, uz ove kapacitete (min/max):

- kotao br. 1 — 2,78/11,11 (kg/S),
- kotao br. 2 — 2,78/11,11 (kg/S),
- kotao br. 3 — 3,88/16,67 (kg/S),
- kotao br. 4 — 6,94/27,78 (kg/S),

2. EKONOMSKI MODEL PROBLEMA

Kao što je već prethodno napomenuto, zadatak se sastoji u određivanju uvjeta minimalnih pogonskih troškova za proizvodnju potrebne količine pare.

Dakle, treba odrediti skup troškova T_i tako da uz granične vrijednosti pojedinih proizvodnja $D_i > 0$ bude zadovoljeno:

$$\sum_{i=1}^n D_i - D = 0: \quad (1)$$

uz uvjet,

$$\sum_{i=1}^n T_i = \text{minimum}. \quad (2)$$

Pogonski troškovi proizvodnje pare proporcionalni su troškovima goriva po pojedinoj proizvodnoj jedinici, te se mogu izraziti kao

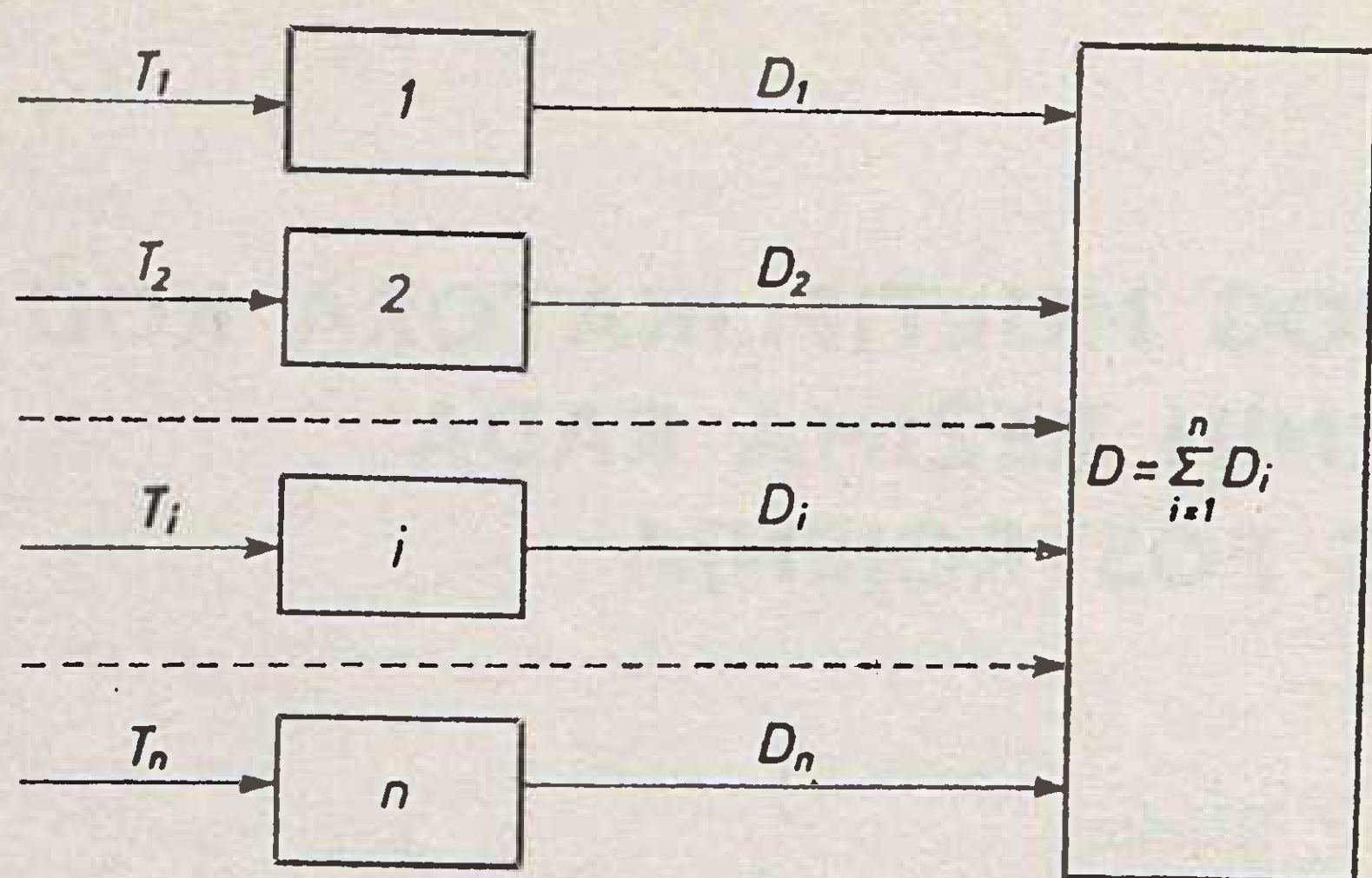
$$T_i = f_i(D_i). \quad (3)$$

Uvrštavanjem izraza (3) u (2) slijedi da je rješenje za minimalne troškove goriva skup T_i , uz uvjet $D_i > 0$, tako da je

$$\sum_{i=1}^n f_i(D_i) = \text{minimum}. \quad (4)$$

Jednadžba (4) predstavlja predmetnu funkciju, odnosno funkciju cilja koju treba optimizirati. Razvijanjem izraza (4) proizlazi:

$$T = \min \left[\sum_{i=1}^n f_i(D_i) \right] = \min [f_1(D_1) + \dots + f_n(D_n)]. \quad (5)$$



Sl. 1. Ekonomski model parnog proizvodnog postrojenja

U tom izrazu trebaju biti sadržane vrijednosti koje su dozvoljene tehničkim karakteristikama minimalnih i maksimalnih kapaciteta proizvodnje pojedinih jedinica.

Ukupna proizvodnja sistema dana je slijedećim izrazom (6), što ujedno predstavlja i ograničenje predmetne funkcije.

$$D = D_1 + D_2 + \dots + D_n \quad (6)$$

Budući da se, kako je u daljnjem tekstu kod razrade primjera vidljivo, matematički modeli parnih proizvodnih jedinica mogu s dovoljno točnosti aproksimirati funkcijama kvadratnog oblika, proizlazi da je i predmetna funkcija T kvadratnog karaktera, koju treba optimizirati uz zadovoljenje linearnog ograničenja (6).

Dakle, zadatak se svodi na problem nelinearnog programiranja.

3. ANALIZA PRISTUPA METODOM LAGRANGEVOG MULTIPLIKATORA

Razmatra se najprije opći matematički problem programiranja definiran na ovaj način: treba minimizirati neku funkciju $Y(X)$ u području svih realnih vrijednosti varijabli $X = (x_1, \dots, x_N)$ koje zadovoljavaju uvjete ograničenja $f_m(X) \geq b_m$, gdje je $m = 1 \dots M$, dok su b_m zadani realni brojevi. X je N — komponentni vektor sastavljen od N realnih skalarnih neovisnih varijabli. Predmetna funkcija, odnosno funkcija cilja Y koju treba minimizirati jest nelinearna, dok su uvjeti ograničenja dani u linearnom obliku.

Nužan uvjet za optimalno rješenje takvog problema jest da se odrede one vrijednosti $X_1, \dots, X_N, U_1, \dots, U_M, \lambda_1, \dots, \lambda_M$, koje zadovoljavaju odnose:

$$\frac{\partial L}{\partial X_n} = 0; \quad n = 1 \dots N \quad (7)$$

$$\frac{\partial L}{\partial U_m} = 0; \quad m = 1 \dots M \quad (8)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_m} = 0; \quad m = 1 \dots M, \quad (9)$$

gdje L označava Lagrangeovu funkciju koja je definirana jednadžbom:

$$L(X, U, \lambda) = Y(X) - \sum_{m=1}^M \lambda_m [f_m(x) - U_m^2 - b_m]. \quad (10)$$

$U_m (m = 1 \dots M)$ su klizne varijable za transformaciju nejednadžbi ograničenja u jednadžbe, a λ_m su Lagrangeovi multiplikatori.

Primjenom Lagrangeove metode kod razmatranja općeg matematičkog problema programiranja iz uvjeta (7) i (8) proizlazi:

$$\frac{\partial L}{\partial X_n} = \frac{\partial Y}{\partial X_n} - \sum_{m=1}^M \lambda_m \frac{\partial f_m}{\partial X_n} = 0; \quad n = 1 \dots N \quad (11)$$

$$\frac{\partial L}{\partial U_m} = 2 \lambda_m U_m = 0; \quad m = 1 \dots M. \quad (12)$$

Jednadžbama (12) postavljeni su zapravo dodatni uvjeti optimalnosti koji izražavaju da kod svih slučajeva, kada su granične vrijednosti ograničenja slobodne, pa su prema tome klizne varijable $U_m > 0$, trebaju faktori λ_m biti jednaki nuli. Kada se radi o čvrstim graničnim vrijednostima ograničenja, klizne varijable su jednake nuli ($U_m = 0$), pa je prema tome $\lambda_m \neq 0$.

Kao što je vidljivo iz prethodnog razmatranja, prisutnost jednadžbe (12) sadrži znatne popratne teškoće pri rješavanju, jer taj uvjetni izraz kazuje da za svaki slučaj ograničenja treba klizna varijabla ili Lagrangeov multiplikator (ili oba) biti jednaki nuli. Dakle, uz M ograničenja treba istražiti ukupno 2^M mogućih rješenja za svaku od N jednadžbi (11).

Međutim, problem se znatno pojednostavnjuje kada su uvjeti ograničenja izraženi u obliku jednadžbi, tj. kada postoje samo čvrste granične vrijednosti. U takvom, općem slučaju je zadatak definiran na ovaj način:

— zadana je funkcija $Y = Y(X_1, \dots, X_N)$ koju treba optimizirati;

— $f_m(X_1, \dots, X_N) = 0$ i $m = 1 \dots M$ su uvjeti ograničenja s čvrstim graničnim vrijednostima;

— pri tome je broj ograničenja manji od broja varijabli, odnosno $M < N$.

Skladno izrazima (7), odnosno (1), uvjeti optima glase:

$$\frac{\partial L}{\partial X_1} = \frac{\partial Y(X_1, \dots, X_N)}{\partial X_1} - \sum_{m=1}^M \lambda_m \frac{\partial f_m(X_1, \dots, X_N)}{\partial X_1} = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial X_2} = \frac{\partial Y(X_1, \dots, X_N)}{\partial X_2} - \sum_{m=1}^M \lambda_m \frac{\partial f_m(X_1, \dots, X_N)}{\partial X_2} = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial L}{\partial X_N} = \frac{\partial Y(X_1, \dots, X_N)}{\partial X_N} - \sum_{m=1}^M \lambda_m \frac{\partial f_m(X_1, \dots, X_N)}{\partial X_N} = 0.$$

Primjenom gore izvedenog na razmatrani primjer parnog proizvodnog postrojenja s funkcijom cilja (5) i uvjetima ograničenja (6), Lagrangeova funkcija poprima oblik:

$$L = f_1(D_1) + f_2(D_2) + f_3(D_3) + f_4(D_4) - \lambda(D_1 + D_2 + D_3 + D_4 - D).$$

U skladu s uvjetima (13) proizlazi:

$$\frac{\partial L}{\partial D_1} = \frac{\partial f_1(D_1)}{\partial D_1} - \lambda = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial D_2} = \frac{\partial f_2(D_2)}{\partial D_2} - \lambda = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial D_3} = \frac{\partial f_3(D_3)}{\partial D_3} - \lambda = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial D_4} = \frac{\partial f_4(D_4)}{\partial D_4} - \lambda = 0$$

Odnosno:

$$\frac{\partial f_1(D_1)}{\partial D_1} = \frac{\partial f_2(D_2)}{\partial D_2} = \frac{\partial f_3(D_3)}{\partial D_3} = \frac{\partial f_4(D_4)}{\partial D_4} = \lambda. \quad (14)$$

Izraz (14) predstavlja osnovu rješenja optimizacije parnog proizvodnog dijela energetskog postrojenja. Naime, time je definirano da kod optimalnog pogona trebaju sve jedinice raditi s jednakim prirastom troškova λ , odnosno, drugim riječima, u području gdje su im nagibi krivulja »pogonski troškovi — opterećenje« međusobno jednaki.

4. PRIMJER

Ovdje se prikazuje konkretan slučaj obrade parnog proizvodnog postrojenja u INA-Rafineriji nafte Rijeka, koje se sastoji od četiri jedinice prethodno navedenih osnovnih karakteristika.

Da bi se moglo pristupiti rješavanju problema optimizacije, potrebno je prethodno definirati matematičke modele pojedinih proizvodnih jedinica u obliku funkcije »ulaz-izlaz«, odnosno »potrošnja goriva (troškova) — proizvodnja«. U tu svrhu su korišteni statistički podaci pogonskog praćenja i mjerenja potrošnje goriva u odnosu na proizvodnju pare, na bazi kojih su prema metodi minimalnih kvadrata, proračunom pomoću digitalnog računala, određene jednadžbe krivulja »potrošnja goriva — proizvodnja« za svaku pojedinu proizvodnu jedinicu, koje imaju slijedeće oblike:

— za parnu proizvodnu jedinicu br. 1 i 2

$$Y_{1/2} = 0,05045 + 0,06018 \cdot X + 0,00121 \cdot X^2 \quad (15)$$

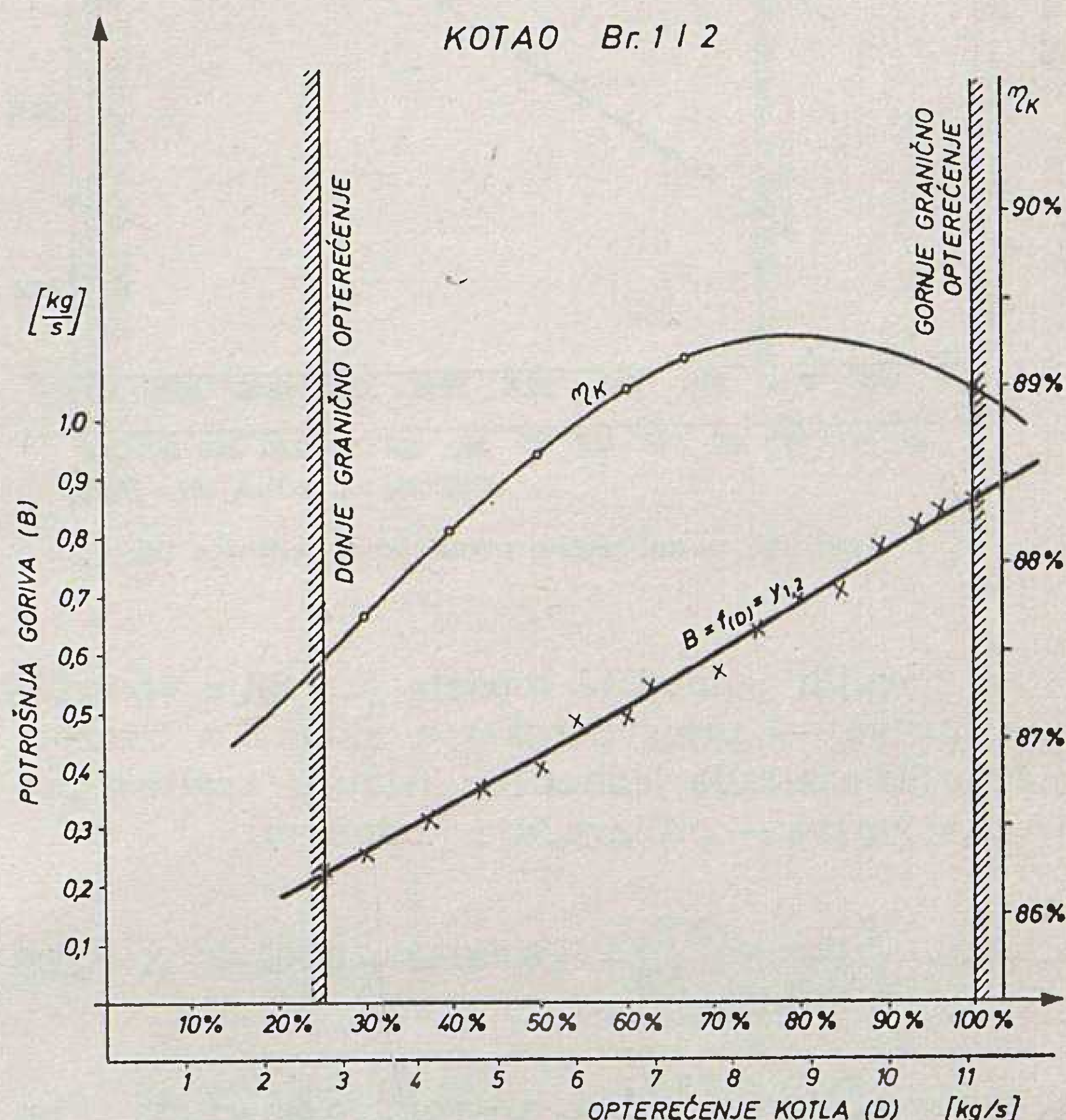
— za parnu proizvodnu jedinicu br. 3,

$$Y_3 = 0,05744 + 0,06581 \cdot X + 0,00051 \cdot X^2 \quad (16)$$

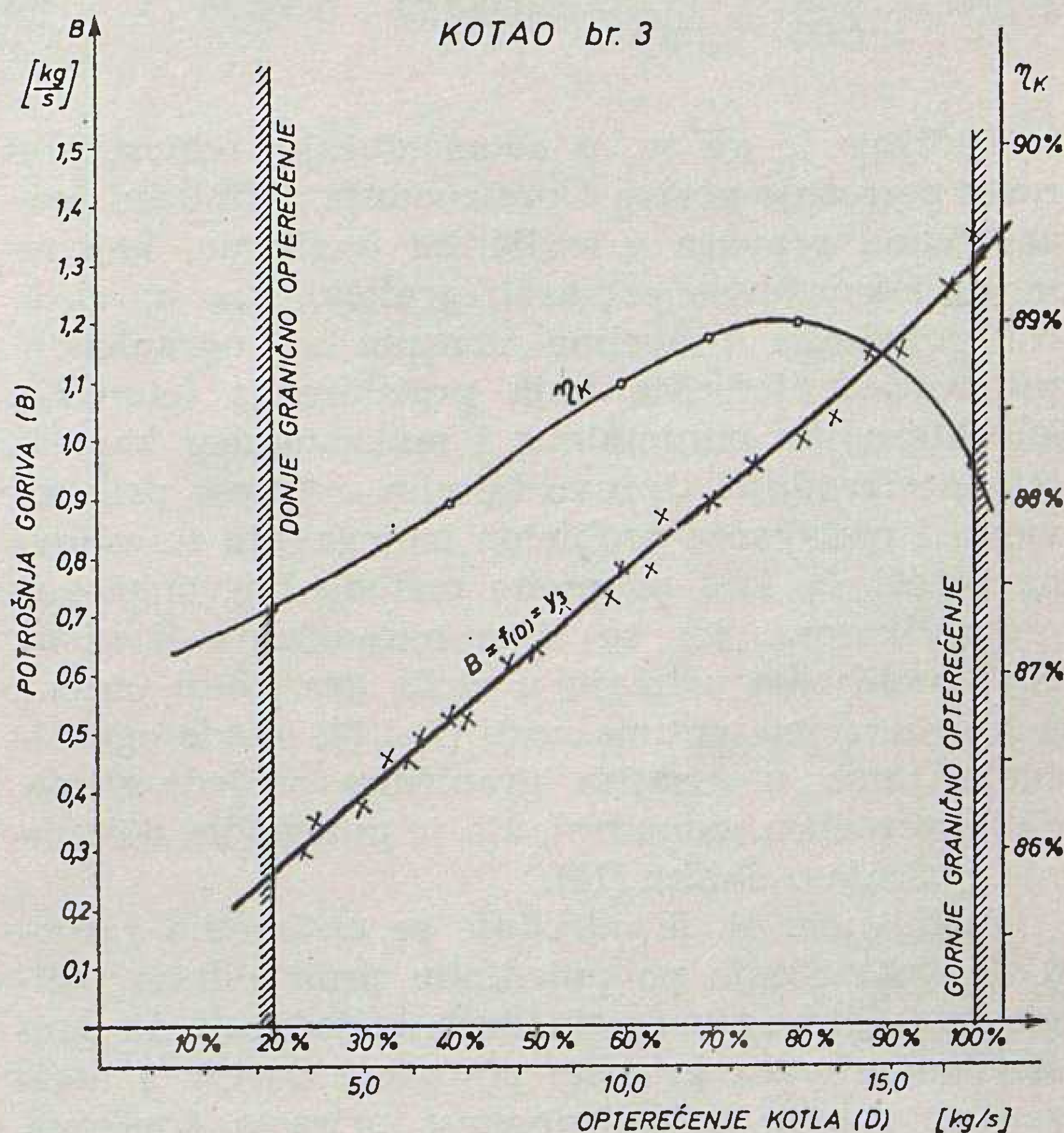
— za parnu proizvodnu jedinicu br. 4,

$$Y_4 = 0,06614 + 0,06777 \cdot X + 0,00020 \cdot X^2 \quad (17)$$

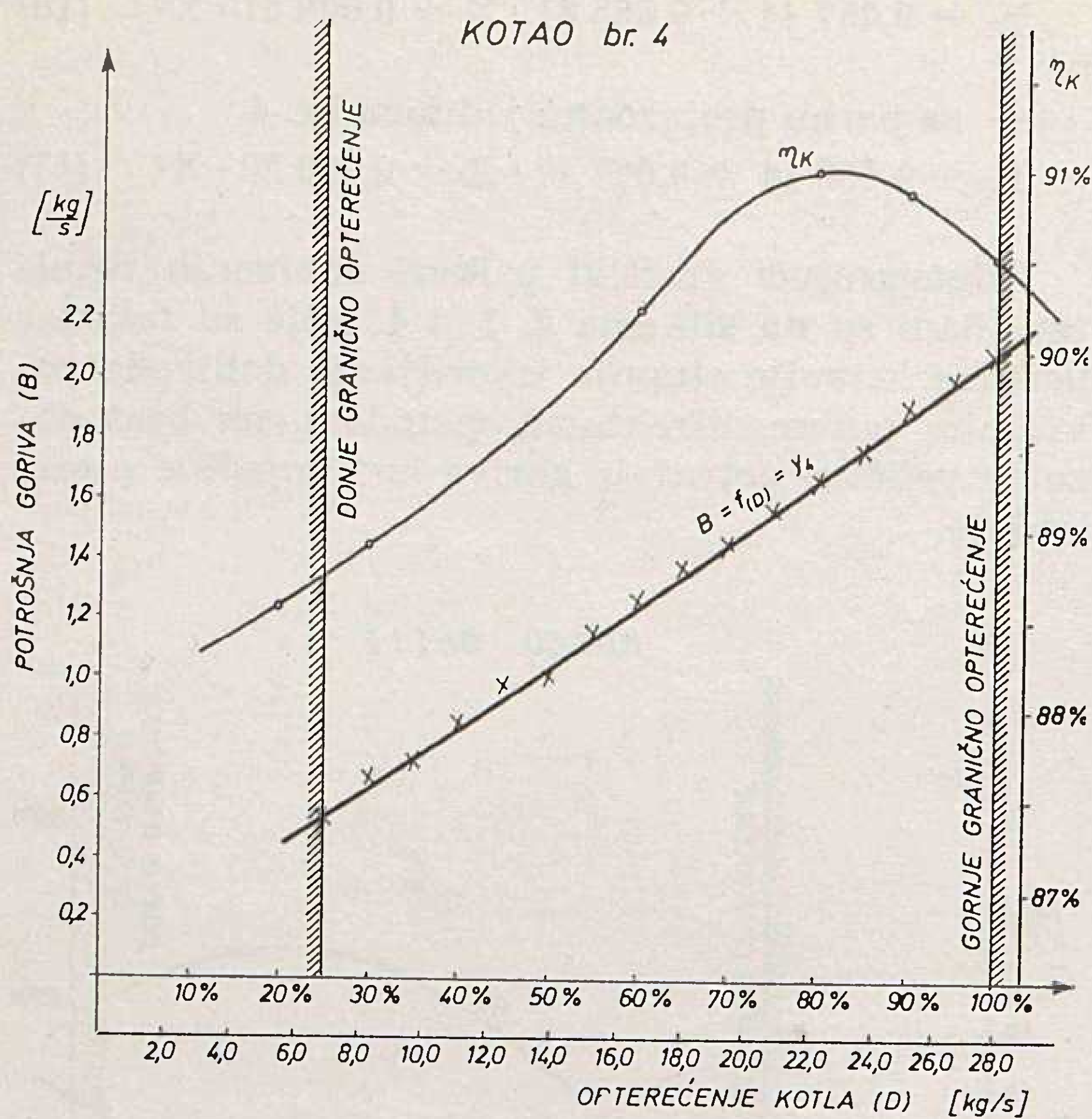
Odgovarajući grafički prikazi dobivenih rezultata dani su na slikama 2, 3. i 4. gdje su također ucrtane krivulje stupnja iskorištenja dobivene povratnim putem, direktnom metodom, na bazi poznate veličine potrošnje goriva kod pojedine proizvodnje.



Sl. 2. Grafički model parne proizvodne jedinice br. 1 i br. 2



Sl. 3. Grafički model parne proizvodne jedinice br. 3



Sl. 4. Grafički model parne proizvodne jedinice br. 4

Iz gornjih jednadžbi modela (krivulje »potrošnja goriva — proizvodnja«) u skladu s izrazom (14) proizlaze sada jednadžbe krivulja »prirast potrošnje goriva — proizvodnja«, odnosno:

$$\lambda_{1/2}(x) = \frac{\partial f_{1/2}}{\partial D_{1/2}} = \frac{\partial Y_{1/2}}{\partial X} = 0,06018 + 0,00242 \cdot X \quad (18)$$

$$\lambda_3(x) = \frac{\partial f_3}{\partial D_3} = \frac{\partial Y_3}{\partial X} = 0,06591 + 0,00102 \cdot X \quad (19)$$

$$\lambda_4(x) = \frac{\partial f_4}{\partial D_4} = \frac{\partial Y_4}{\partial X} = 0,06777 + 0,00040 \cdot X \quad (20)$$

Vidljivo je da su, u ovom slučaju, odnosi prirasta potrošnje goriva i proizvodnje definirani jednadžbama pravaca s različitim nagibima, koji se mogu jednostavno prikazati grafički, kao na sl. 5. Na pojedinim pravcima ucrtana su ograničenja proizvodnih jedinica koja proizlaze iz tehničkih karakteristika minimalnog i maksimalnog kapaciteta proizvodnje. Upravo takvim načinom prikazivanja i rješavanja problema izbjegavaju se osnovne poteškoće kod primjene metode Lagrangeovog multiplikatora, jer se time ograničenja izražena nejednadžbama uzimaju u obzir grafičkim putem, dok se u uvjete optimalnosti (7) i (8) uvode ograničenja samo u čvrstim graničnim vrijednostima, dakle u obliku jednadžbi, što je omogućilo dobivanje rješenja u obliku (14).

Primjenom sl. 5. određuje se optimalna raspodjela opterećenja po pojedinim proizvodnim jedinicama očitavanjem pripadnih vrijednosti na presjecištu pravaca prirasta potrošnje goriva s horizontalom koja daje jednakost prirasta troškova, što predstavlja dobiveni rezultat metode Lagran-

geovog multiplikatora. Dakako, pri tome se konačni rezultat dobiva pokušavanjem i postepenim približavanjem dok se suma udjela pojedinih jedinica ne izjednači s ukupno traženom proizvodnjom.

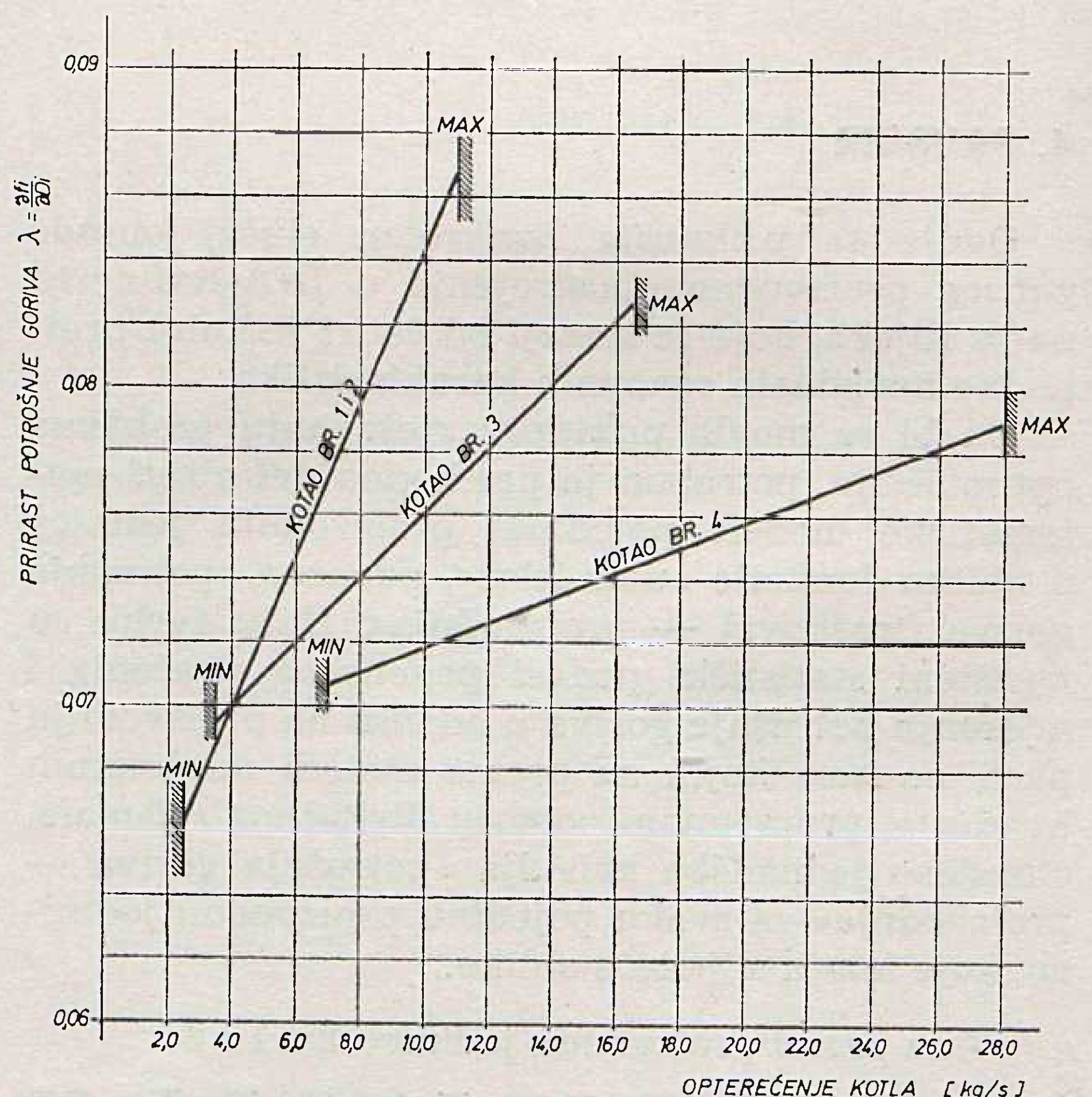
5. PRIMJENA POMAGALA S KLIZNIM POSTUPCIMA

Na bazi dobivenih rezultata za određivanje optimalnih udjela pojedinih proizvodnih jedinica u ukupnoj proizvodnji može se vrlo prikladno primijeniti princip kliznih stupaca, kao što je za konkretan primjer prikazano na sl. 6.

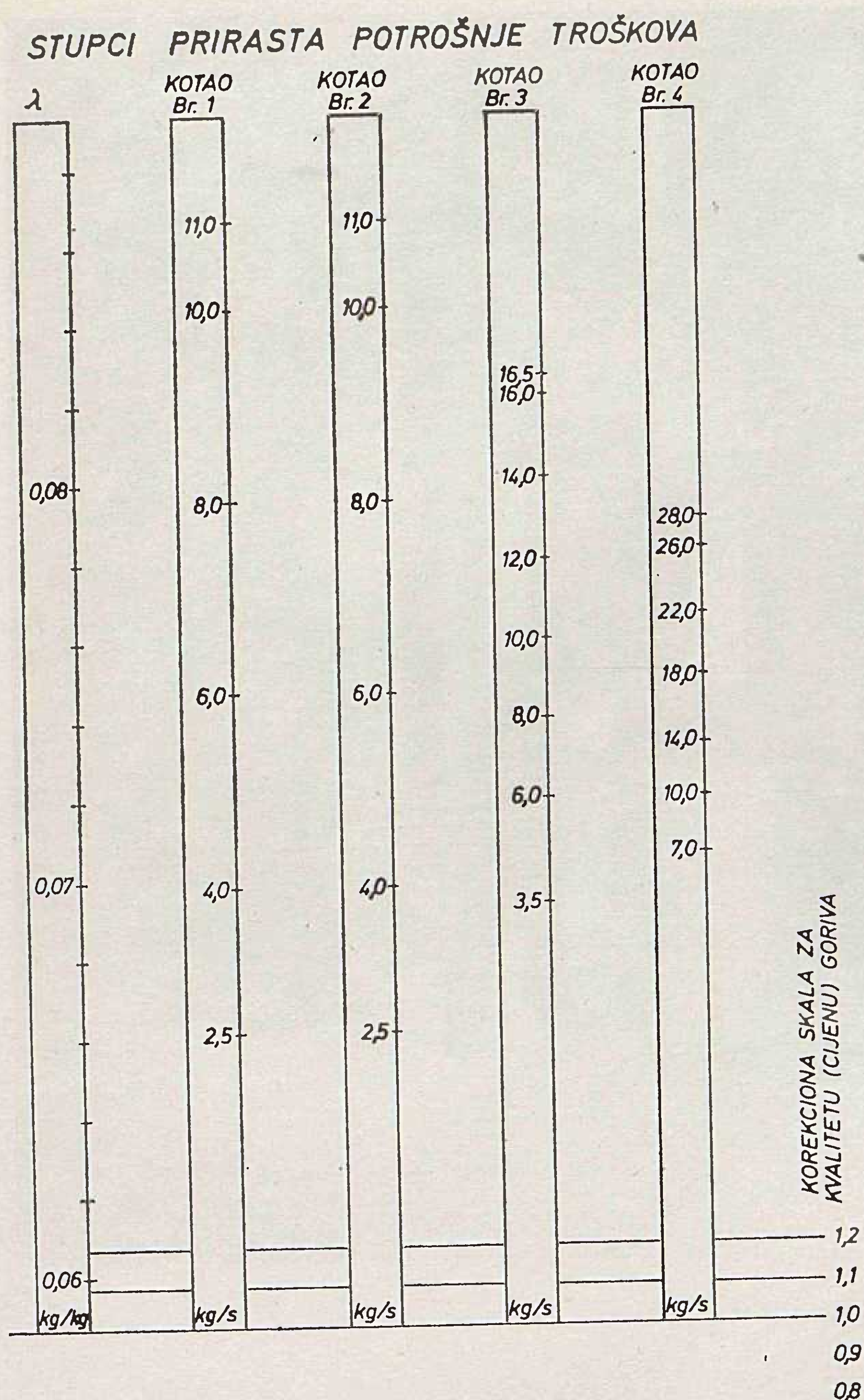
U osnovi su tu uključeni rezultati metode Lagrangeovog multiplikatora, jer se rješenje zasniva na jednakosti prirasta proizvodnih troškova, odnosno prirasta potrošnje goriva.

Kao što je vidljivo iz same slike, primjena kliznih stupaca sastoji se od jedne fiksne skale, kliznih stupaca za svaku proizvodnu jedinicu, te skale za uzimanje u obzir promjenu cijene (kvalitete) goriva. Pri tome je fiksna skala baždarena u jedinicama prirasta potrošnje, dok podjela na pojedinom stupcu odgovara ovisnosti između prirasta potrošnje i proizvodnje pojedine jedinice. Mogućnost određivanja minimalnih troškova proizvodnje, uzimajući u obzir također eventualne razlike u kvaliteti i cijeni goriva kod pojedine jedinice sadržana je u skali cijene (kvalitete) goriva. Razlike u gorivu se na taj način mogu uzeti u obzir pomicanjem stupca, tako da njegov početak padne na visinu koja odgovara omjeru pripadnih cijena.

Na taj se način za određeni prirast potrošnje goriva, kod neke ukupne proizvodnje direktno očitavaju optimalna pojedinačna opterećenja.



Sl. 5. Grafički prikaz prirasta potrošnje goriva parnih proizvodnih jedinica



Sl. 6. Klizni stupci

6. ZAKLJUČAK

Iz razmatranja je vidljivo da se metoda Lagrangeovog multiplikatora može vrlo uspješno, te na jednostavan i praktičan način primijeniti za rješa-

vanje problema optimizacije stacionarnih režima energetskeg sistema. Pri tome nije potrebno posjedovati, odnosno primjenjivati elektronsko računalo, pa je pogodna za korištenje i kod manjih pogona, a naročito uz uvođenje pomagala s kliznim stupcima. Nije prikladna za primjenu kod sistema gdje postoje velike razlike u kapacitetima proizvodnih jedinica, jer se takvim pristupom mogu odrediti rezultati samo za područje zajedničkih prirasta potrošnje.

Još jednom se napominje da je potrebno poznavati što točnije karakteristike odnosa »potrošnja — proizvodnja«, koje je najpouzdanije odrediti na temelju višekratnih mjerenja i statističkih praćenja, kako je to izvedeno i za slučaj koji je ovdje obrađen.

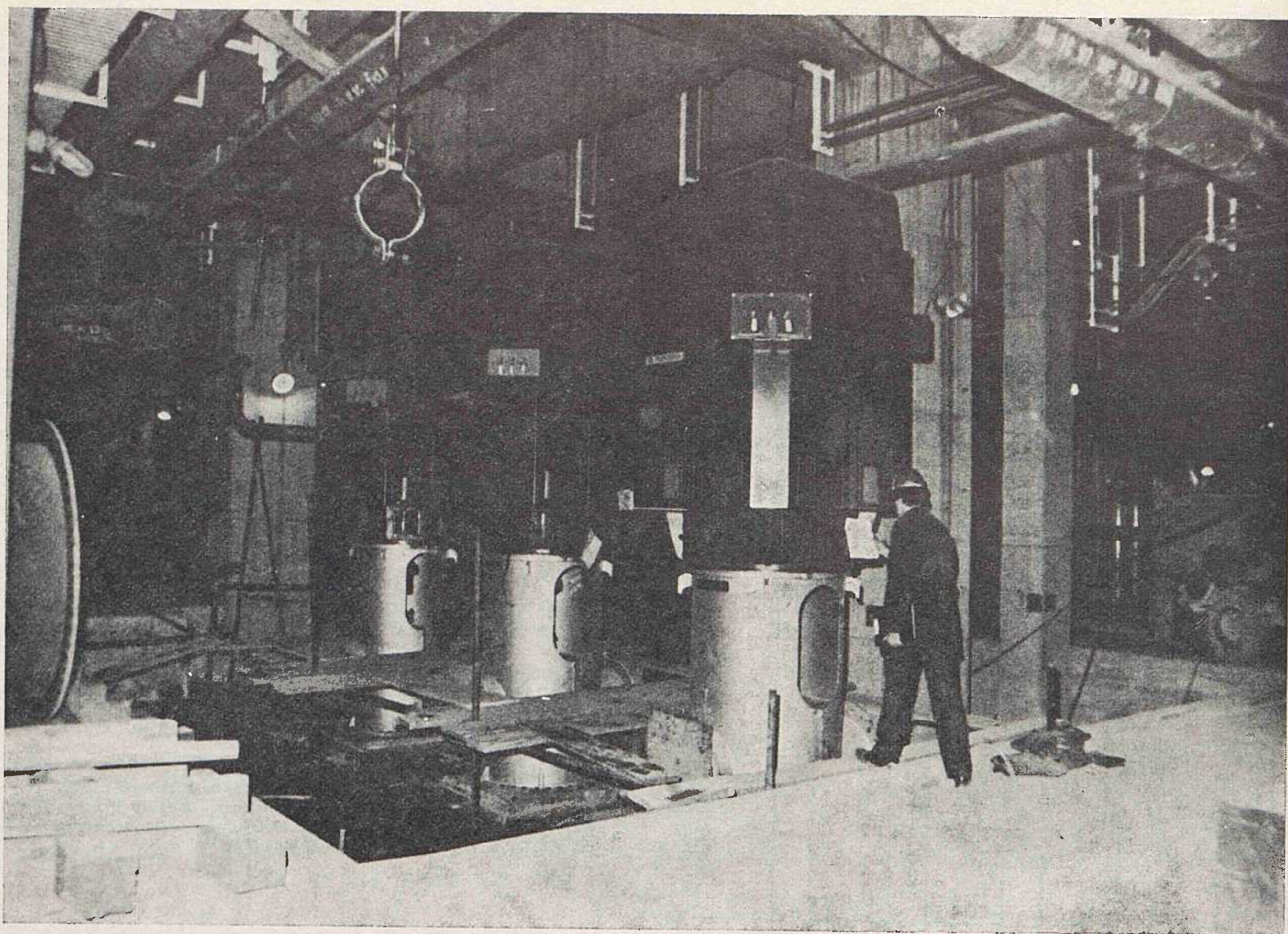
LITERATURA

1. Prelec Zmagoslav: Optimizacija stacionarnih režima rada energetskeg sistema u rafineriji nafte, Magistarski rad, 1978.
2. T. Lee, G. Adams, W. Gaines: Computer Process Control: Modeling and Optimization, John Wiley & Sons, Inc. 1968.
3. Leon K. Kirchmayer: Economic Operation of Power System, John Wiley & Sons, Inc., 1958.
4. K. V. Mital: Optimization Methods in Operations Research and Systems Analysis, Wiley Eastern Limited, 1977.
5. Michael D. Canon, Clifton D. Cullum, Elijah Polak: Theory of Optimal Control and Mathematical Programming, Mc Graw-Hill Book Company, 1970.

APPLICATION OF LAGRANGE MULTIPLIERS METHOD FOR STEADY-STATE OPTIMIZATION OF STEAM-GENERATION PLANT

An application of the Lagrange multipliers method is considered in the paper, for steady-state optimization of a steam-generation plant with several dissimilar units. Here, the optimization is based on the possibility of participation changes of individual units in the total production, with a goal to work at minimum operating costs. The application of the described method is represented for a concrete plant with four steam-generation units.

Naslov pisca:
mr Zmagoslav P r e l e c dipl. inž.
INA-Rafinerija nafte, Rijeka



PRIMJENA NEUTRALNOG VODENOG REŽIMA KOD TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA

Jovo Kontić, Sisak

UDK 621.311.22

Upućuje se na mogućnost vođenja neutralnog režima pogonskih voda (pH 7) bez dodavanja sredstava za alkaliziranje i upozorava na njegove prednosti u eksploataciji.

UVOD

O nesmetanom radu energetskih postrojenja ovisi sva ostala privreda jedne zemlje, pa se zbog toga mora posebna pažnja pokloniti korozionoj problematici i zaštiti postrojenja. Koroziona razaranja pojedinih dijelova termoenergetske opreme mogu dovesti do velikih poremećaja u radu, pa su potrebne preventivne mjere već od samog početka, tj. od izrade idejnog projekta.

Proučavanje korozionih pojava u termoenergetskim postrojenjima za vrijeme pogona prilično je teško s obzirom na to da je promatranje mehaničkih promjena materijala i mehanizma korozionih reakcija laboratorijski nepristupačno.

Za takva proučavanja u energetski razvijenim zemljama postoje mala industrijska postrojenja, premda i tamo u toku razmatranja problema postoje odstupanja. Mehanizmi korozije, osnovne formule tih kemijskih reakcija navedeni su u literaturi i odnose se na normalne uvjete, iako kinetika takvih procesa ili eventualno stvaranje intermedijera u pogonskim uvjetima nije još dokraja osvijetljena. Bez obzira na to što se radi o velikoj zamršenosti, konačni produkti korozije su poznati. Dat ćemo jedan kratak osvrt na njih, na ponašanje konstrukcionog metala u radnom mediju (voda — para i kondenzat) prije nego što prikažemo neutralni vodeni režim, njegovu primjenu i prednosti.

KOROZIJA ŽELJEZA U RADNOM MEDIJU TERMOENERGETSKOG POSTROJENJA

Konstrukcioni metal od kojeg je izrađeno termoenergetsko postrojenje raznolik je ne samo po dijelovima pojedinih sklopova, nego se jedan te isti ugradbeni materijal po atestima (σ_v i kemijskom sastavu) također razlikuje i sastoji od plemenitih i manje plemenitih dijelova.

Željezo (čelik) ima tendenciju da se vrati u svoj prvobitni prirodni oblik oksida, tj. ono se kao konstrukcioni materijal uništava iako je uronjen u elektrolit (voda za napajanje generatora pare bilo

demineralizirana ili obrađeni kondenzat), pokazuje tendenciju da se otapa u obliku iona. To je tzv. tlak (tenzija otapanja). S druge strane, ti metalni ioni, u našem slučaju željezni, pokazuju tendenciju da se ponovno uklope u metalnu rešetku, tj. da se istalože u metalu. Kada te dvije tendencije postanu međusobno jednake, uspostavlja se dinamička ravnoteža. Oba te procesa, tj. stvaranje i nestajanje iona, elektrokemijske su prirode jer su metalni ioni pozitivno nabijeni (kationi), pa se ovaj korozioni proces zove elektrokemijski jer je praćen stvaranjem korozionih mikročlanaka.

Na primjer: $\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{+2} + 2\text{e}^-$ (Anodički proces).

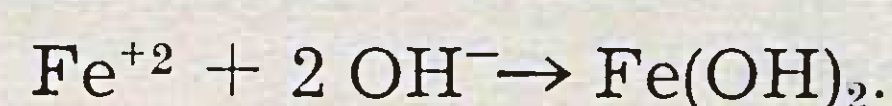
Proces u smjeru strelica nadesno jest otapanje željeza (čelika), a u smjeru strelice zdesna nalijevo jest izbijanje iona (taloženje) željeznih iona u obliku svojih oksida — hidratiziranih spojeva $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, FeO , Fe_2O_3 i Fe_3O_4 . To su korozioni produkti različitih sastava i veličine.

Prateći gornju ravnotežu, vidimo da se oslobađaju elektroni koji ostaju u željezu (metal — krutoj fazi), a ioni željeza Fe^{+2} (fero ioni) idu u otopinu i na granici faza metal/otopina, tj. u električnom dvosloju nastaje skok potencijala i metal poprima prema otopini izvjesni potencijal. Što je veća tenzija otapanja metala a što je manja tendencija izbijanja metalnih iona, to je taj potencijal negativniji.

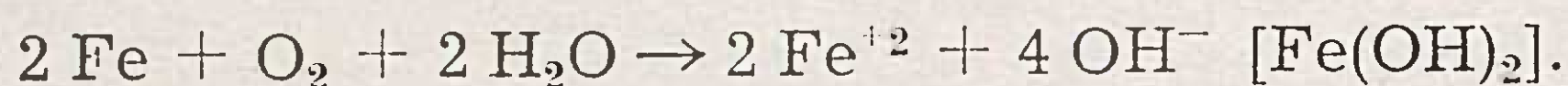
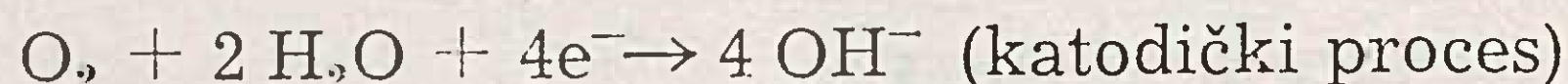
Metali s izrazito negativnim potencijalom nazivaju se neplemenitim, a metali s pozitivnim potencijalom su plemenitiji. Na taj način svi su metali poredani u **elektrokemijski red**.

No, vratimo se konkretnom slučaju koji je karakterističan za vodeno-parni režim jednog termoenergetskog postrojenja, i koji pokazuje rđanje željeza i uloga kisika otopljenog u pojnoj vodi.

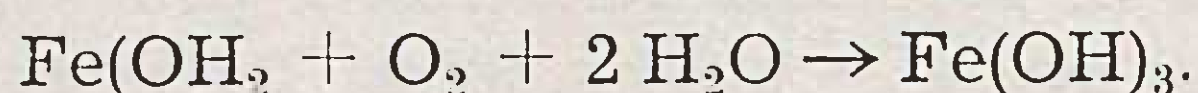
Voda je elektrolit, a za generatore pare se koristi obrađena demineralizirana voda sa sredstvi-
ma za kondicioniranje — ona je alkalna, $\text{pH} = 9$, što znači da imamo veliku koncentraciju OH^- iona (hidroksilnih iona) negativno nabijenih s kojima Fe^{+2} ioni stupaju u kemijsku reakciju prema ovoj jednadžbi:



Hidroksilni ioni nastaju iz vode, a kako je prisutan kisik, to se uz primanje elektrona od anodnog otapanja željeza odvija i katodički proces uz ovaj mehanizam reakcije:



Međutim, u otopinama koje sadrže otopljen kisik željezo se sekundarnom reakcijom oksidira u željezni (III) oblik i pri tome nastaje korozioni produkt rđa koja se taloži na metalnoj površini i nema zaštitna svojstva. Mehanizam prelaska željeza u viševalentni oblik može se prikazati ovom reakcijom:



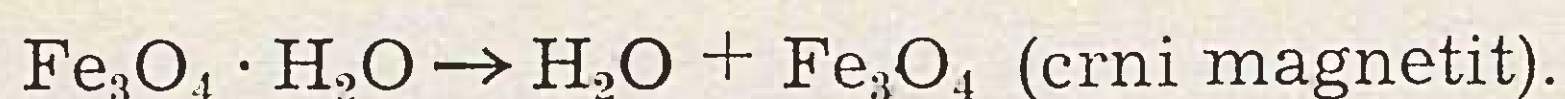
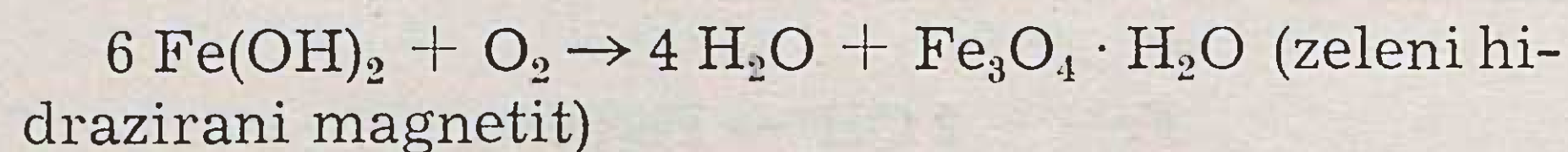
Proces trošenja kisika naziva se depolarizacija kisikova depolarizacija) i ona je karakteristična za vodeno-parni režim. Ma koliko idealno se vodio proces, nemoguće ga je zaustaviti. Ovisno o uvjetima ovi nastali produkti mogu poprimiti različite fizikalne forme koje variraju prema boji, stanju raspodjele, hidrataciji i volumenu. Prema efektu taloženja i kvaliteti korozionih produkata na anodi može se promijeniti tok korozionog procesa, što je već prikazano.

Na katodičku reakciju kisik utječe na ovaj način: Brzina kemijske ili elektrokemijske reakcije proporcionalna je produktu aktiviteta reaktanta. To znači da je brzina reakcije (katodički proces) proporcionalna koncentraciji kisika na katodi. Ako su ostali faktori ostali nepromijenjeni, katodička reakcija napreduje brže što je veća količina za reagiranje otopljenog kisika.

Ako se prekine dovodenje kisika, prestaje katodička reakcija. Ako nije nadomještena nekim drugim procesom na katodi, uopće nema nikakve reakcije. Jedina preostala katodička reakcija je razvijanje vodika iz vode. Izrazita ireverzibilnost te reakcije sprečava njezino sudjelovanje u ukupnom procesu na katodi u određenom opsegu. Zato se može zaključiti da se bez kisika ne može održavati nikakva mjerljiva katodička reakcija, odnosno kako se anodička (koroziona) reakcija mora odvijati istom brzinom kao i katodička, brzina korozije željeza je neznatna.

Međutim, korozija se može usporiti ako su na površini željeza u vodi — pari i kondenzatu nastali korozioni kompaktni produkti koji ne dozvoljavaju difuziju kisika do osnovnog metala. Često dolazi do modifikacije sekundarne reakcije ako je dovod kisika ograničen, pa se stvaraju intermedijarni oksidacioni produkti željeza (II) hidroksida.

Može se smatrati da ti modificirani produkti proizlaze iz sekundarnih anodičkih reakcija.



Navedeni primjer korozije željeza u alkalnoj sredini pokazao nam je da se uz smanjen dovod otopljenog kisika i nastajanjem čvrstih korozionih produkata (Fe_3O_4) na površini metala smanjuje i proces korozije željeza (anodičko otapanje željeza).

Ovo su tipični elektrokemijski procesi korozije koji su prisutni u vodenom i kondenzacionom dijelu termoenergetskog postrojenja. Da se smanji količina kisika otopljenog u vodi, koji je glavni nosilac korozije, pribjegava se uglavnom dvijema metodama: fizikalnoj i kemijskoj metodi, o čemu se ovdje neće govoriti.

Međutim, suprotno onom što je gore izneseno, u neutralnim vodenim otopinama povećan sadržaj kisika može usporiti brzinu korozije željeza, što se može objasniti efektom diferencijalne aeracije koji spada među važnije principe nauke o koroziji.

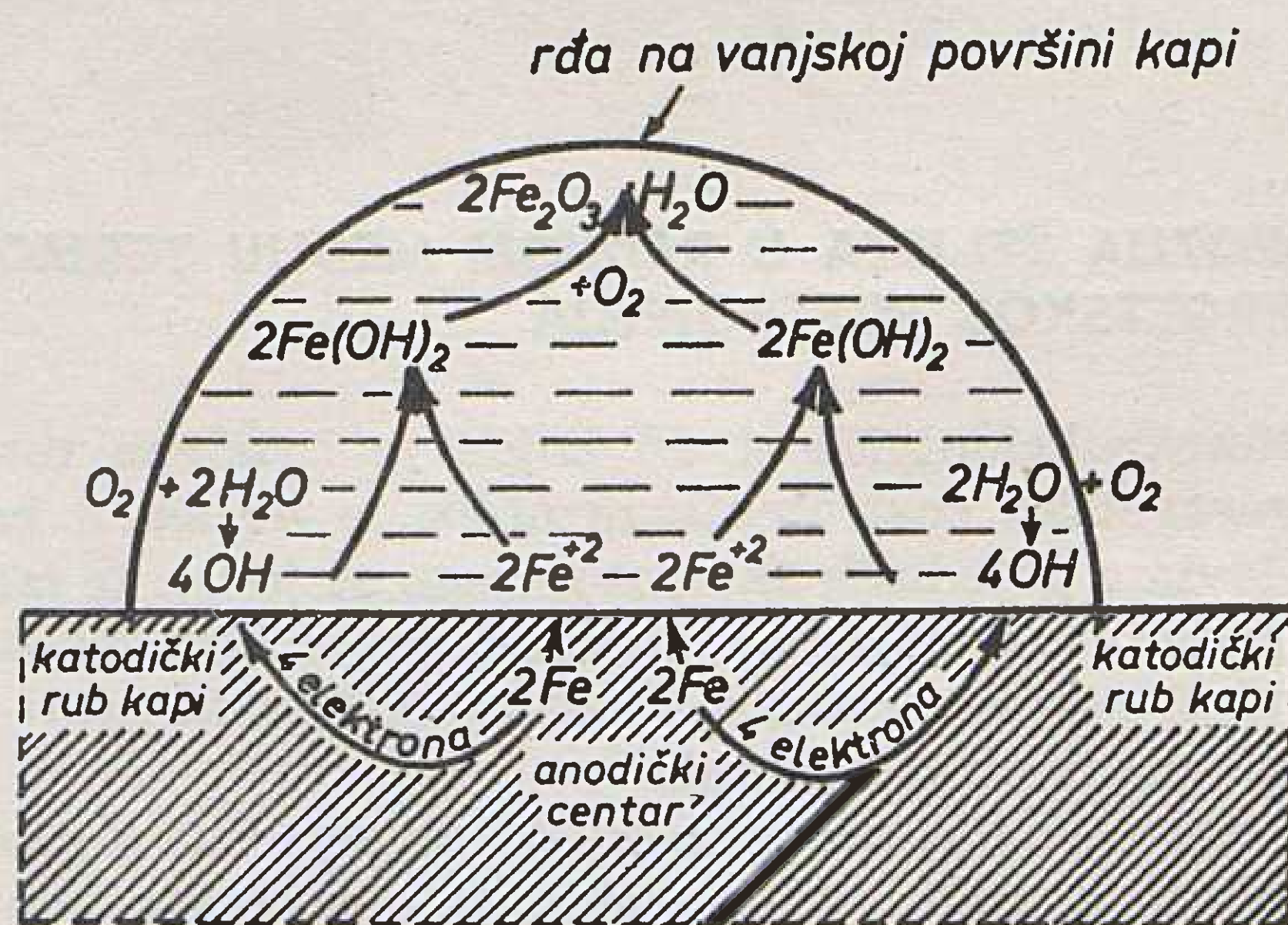
Izraz je za potencijal kisikove elektrode:

$$e_r = \text{konst.} + (2,3 \text{ RT}/4 \text{ F}) \log p_{\text{O}_2}$$

gdje je p_{O_2} parcijalni tlak plinovitog kisika u ravnoteži s kisikom otopljenim u elektrolitu.

Taj izraz pokazuje: što je veća koncentracija otopljenog kisika na elektrodi, to je pozitivniji njezin potencijal. Ako je iz bilo kojeg razloga dio površina u kontaktu s većom koncentracijom kisika, potencijal površine s više kisika je pozitivniji (plemenitiji) od drugih površina s manje kisika. To se može prikazati modelom kapi, korozija željeza u centru kapi (neutralna vodena otopina) na zraku.

Metal na rubu kapi u kontaktu s otopinom relativno bogatom kisikom te diferencijalna aeracija koja rezultira unutar kapi uzrokuje u centru kapi anodično otapanje željeza u obliku željeznih (II) iona. Zbog tog efekta stvorio se aktivni korozioni članak. Transport tih iona difuzijom, konvekcijom i ionskom migracijom prema katodičkoj periferiji kapi dovodi do taloženja hidratiziranog željeznog (III) hidroksida (rđe) reakcijom s kisikom i viškom hidroksil — iona koji difundiraju s



Sl. 1. Diferencijalna aeracija: korozija željeza u centru kapi solne otopine na zraku

periferije. To taloženje nastupa na mjestima između anodičkih i katodičkih površina i još dalje snažno smanjuje nadomještanje kisika u anodičnom centru kapi.

Princip diferencijalne aeracije može se na prvi pogled činiti nespojiv s ranijim dokazima koji upućuju na to da s povećanom koncentracijom kisika raste brzina korozije željeza uronjenog u neutralnu otopinu. Takvih se primjera može još navesti (utjecaj diferencijalne aeracije), no vratit ću se konkretnom slučaju smanjenja korozije u neutralnoj sredini doziranjem kisika na termoenergetskim postrojenjima.

Vodeno parni režim termoenergetskih postrojenja potrebno je voditi tako da ne dolazi do zastoja i neekonomičnosti. Da bi se to postiglo, potrebno je držati konstrukcioni materijal od kojeg je izrađeno termoenergetsko postrojenje u pasivnom stanju, a zato nam stoje na raspolaganju dvije diametralno suprotne metode kod pripremanja radnog medija.

Prvi postupak kojim se koriste veliki energosistemi sasoji se u korekciji pojne vode s alkalizirajućim sredstvima ($N_2H_4 + NH_3$) ili s aminima koji u sebi sadržavaju reducirajuću i alkalizirajuću komponentu. Postupak se uglavnom osniva na održavanju minimalne koncentracije kisika u pojnoj vodi. Takav vodeni režim primjenjuje se kod nas, a do prije godinu dana primjenjivao se i u SSSR-u. I u mnogim drugim zemljama zadržao se taj postupak.

Drugi je postupak bez korekcije pojne vode, tj. neutralni vodeni režim s povećanom koncentracijom kisika u pojnoj vodi koji je primijenjen na velikim termojedinicama u SR Njemačkoj (Hamburg), gdje su blokovi kondenzacionog tipa s velikim parametrima.

Prijelaz na nekorekcionu kemijsko vodeni režim omogućuje normalan rad energobloka, a omogućuje i izuzimanje dijela opreme pojnog trakta u toplinskoj shemi (deaeratora), kao i potrošak kemikalija kod eksploatacije (hidrazina, amonijaka, fosfata) i broj ljudi za posluživanje.

Odstunost amonijaka iz trakta pojne vode dovelo je do mnogo većeg produženja radnog perioda uređaja za pripremu turbinskog kondenzata. Zbog velikog alkaliteta kationska ionska izmjenjivačka smola u kationskom stupnju i u miješanom stupnju brzo se zasite NH_4^+ ionom umjesto ionima željeza i bakra. Takvi uređaji zahtijevaju češće regeneracije sredstvima za regeneraciju, pa se pogonski troškovi povećavaju.

Iako su već donesene norme (1971. god.) od VGB o organizaciji vodenog režima i kvaliteti pojne vode s alkalnim postupkom, predviđaju se za donošenje i ove nove norme kvalitete pojne vode, a odnosit će se na neutralni postupak.

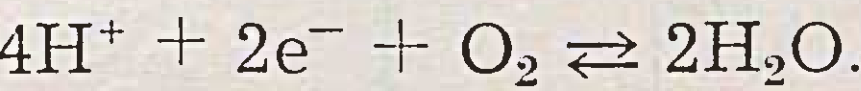
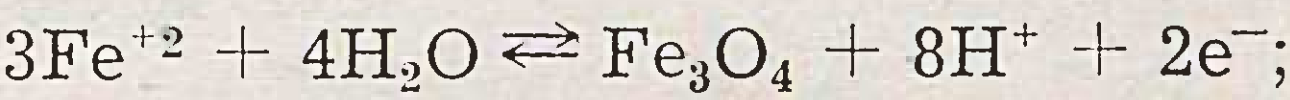
U tablici 1. prikazane su norme kvalitete pojne vode na termoenergetskom bloku u Hamburgu kod neutralnog vodenog režima.

Tablica 1.

Vrijednosti	Područje
specifična vodljivost (kod 25° C), $\mu S/cm$	$\leq 0,15$
pH	6,5 — 7,5
redoks-potencijal (Eo) (kod 25° C), V	+0,40 do +0,43
ukupna koncentracija željeza (Fe) $\mu g/kg$	≤ 20
ukupna koncentracija bakra (Cu), $\mu g/kg$	≤ 3
kisik, $\mu g/kg$	
T < 200° C	20 — 200
T > 200° C	10 — 50
koncentracija silicija (SiO_2), $\mu g/kg$	< 20
KMnO ₄ (n/100), mg/kg	< 5
ulje, mg/kg	< 0,3

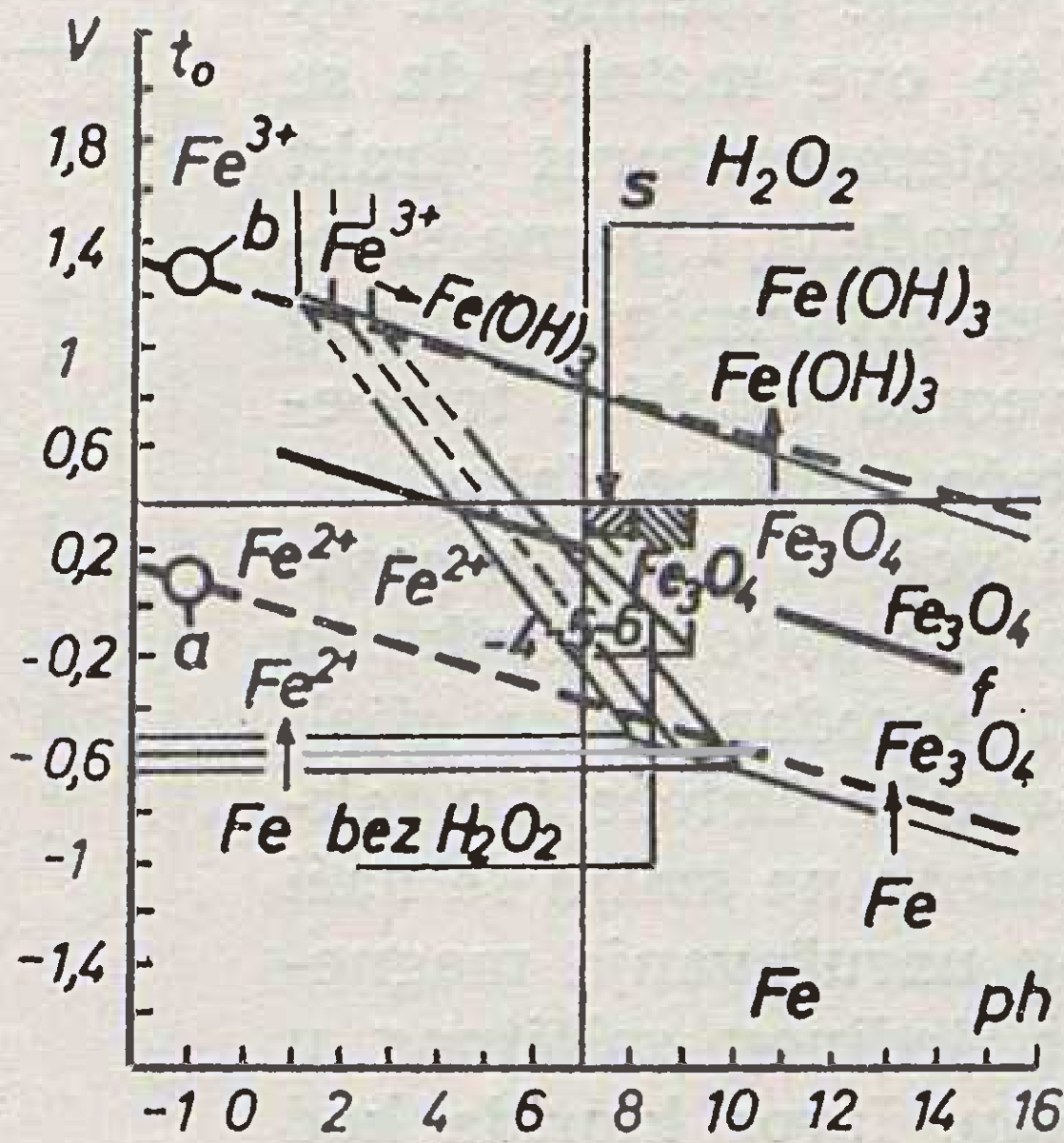
Neutralni vodeni režim ispitivan je prije nekoliko godina empiričkim putem na termoenergetskim postrojenjima, a kasnije je provedena primjena na energoblokovima u Hamburgu, kao i teoretska razrada primjene neutralnog vodenog režima što ju je prevelo minhensko sveučilište.

U neutralnoj odsoljenoj vodi kod 25°C na površini ugljičnog čelika dolazi do stvaranja kompaktnog visokoatkezionog zaštitnog magnetitnog filma u prisutnosti kisika u takvim koncentracijama, pri čemu se odvija ova kemijska reakcija:

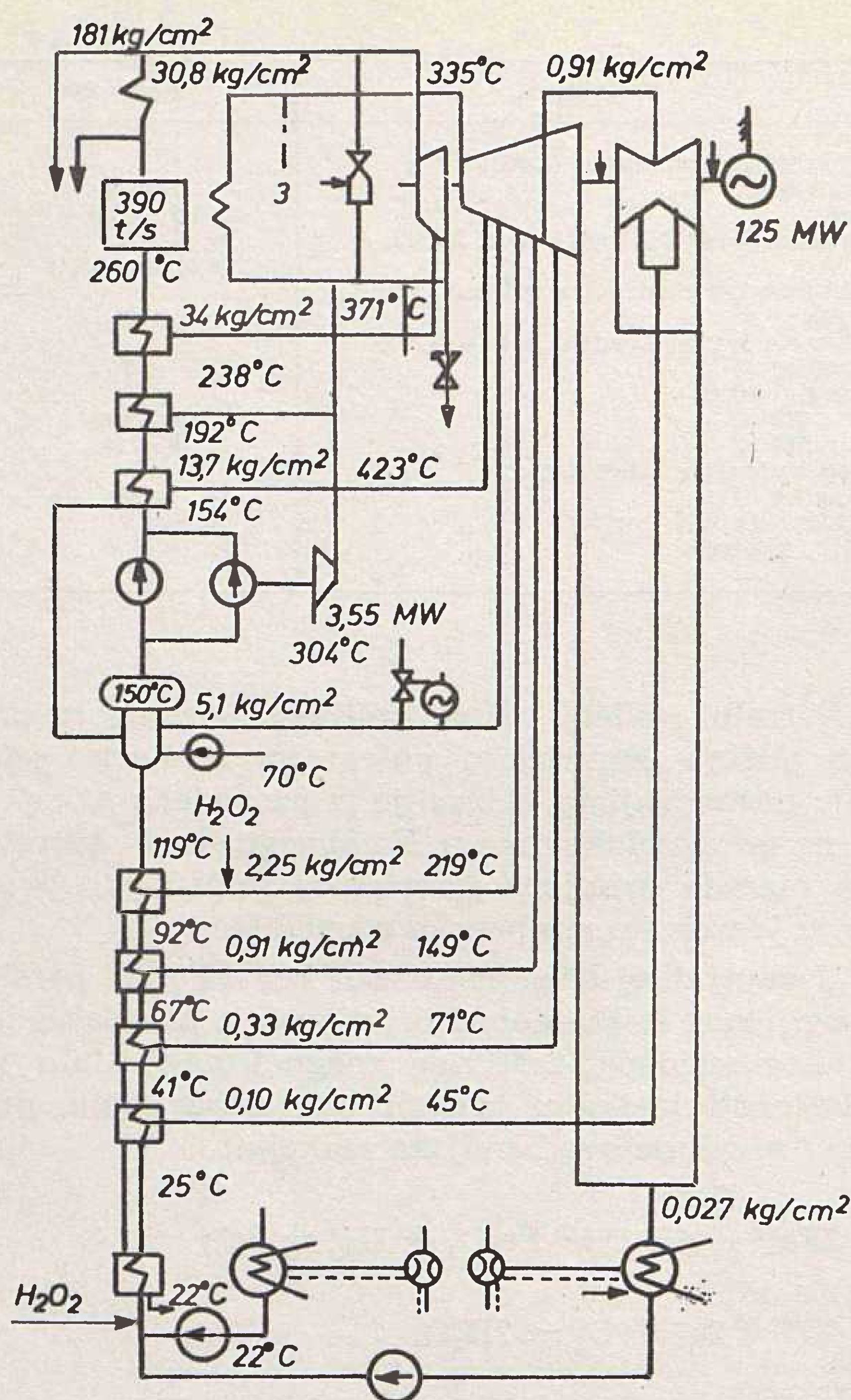


Treba primjetiti da isključivo ioni Fe^{+2} koji se nalaze u kristalnoj rešetki metala sudjeluju u stvaranju zaštitnog filma magnetita. U vezi s time topljivost Fe^{+2} u veoma odsoljenoj vodi nalazi se u jasnoj zavisnosti od vrijednosti oksidirajućeg (redoks) potencijala i pH-otopine.

Na taj način nastali magnetitni film odlikuje se dobrim zaštitnim osobinama i može nastati u pozitivnom potencijalnom dijelu djelovanjem kisika. To je vidljivo iz dijagrama Purbaixa na sl. 2. za



Sl. 2. Purbeix-dijagram za sisteme željezo-voda (Fe_3O_4 , Fe, Fe^{2+} , $Fe(OH)_3$)



Sl. 3. Toplinska shema bloka — doziranje razrijeđene otopine peroksidne kiseline

sistem željezo — voda. Nastajanje zaštitnog filma magnetita na ugljičnom čeliku omogućeno je u određenom području pH vrijednosti i oksidirajućeg obnavljanja (redoks) potencijala E_o .

U vezi s tim dobivanje optimalne vrijednosti E_o reda 0,4 V ostvaruje se specijalnim doziranjem razrijeđene kiseline (sl. 3).

Zadatak je ove metode da se zaštiti niskotemperaturni trakt pojne vode (vodena i parna strana ZNT), jer stvaranje zaštitnog filma pri veoma visokim temperaturama teče prilično lako.

Neutralni vodeni režim s povišenom koncentracijom kisika u pojnoj vodi pogodan je za cijeli kondenzat visoke čistoće i u takvom kondenzatu ne smiju se naći kloridi zbog narušavanja magnetitnog sloja jedinog zaštitnog u ovom sistemu. Izvor klorida kod ovakvih energetskih jedinica koje su locirane na rijekama poznat je

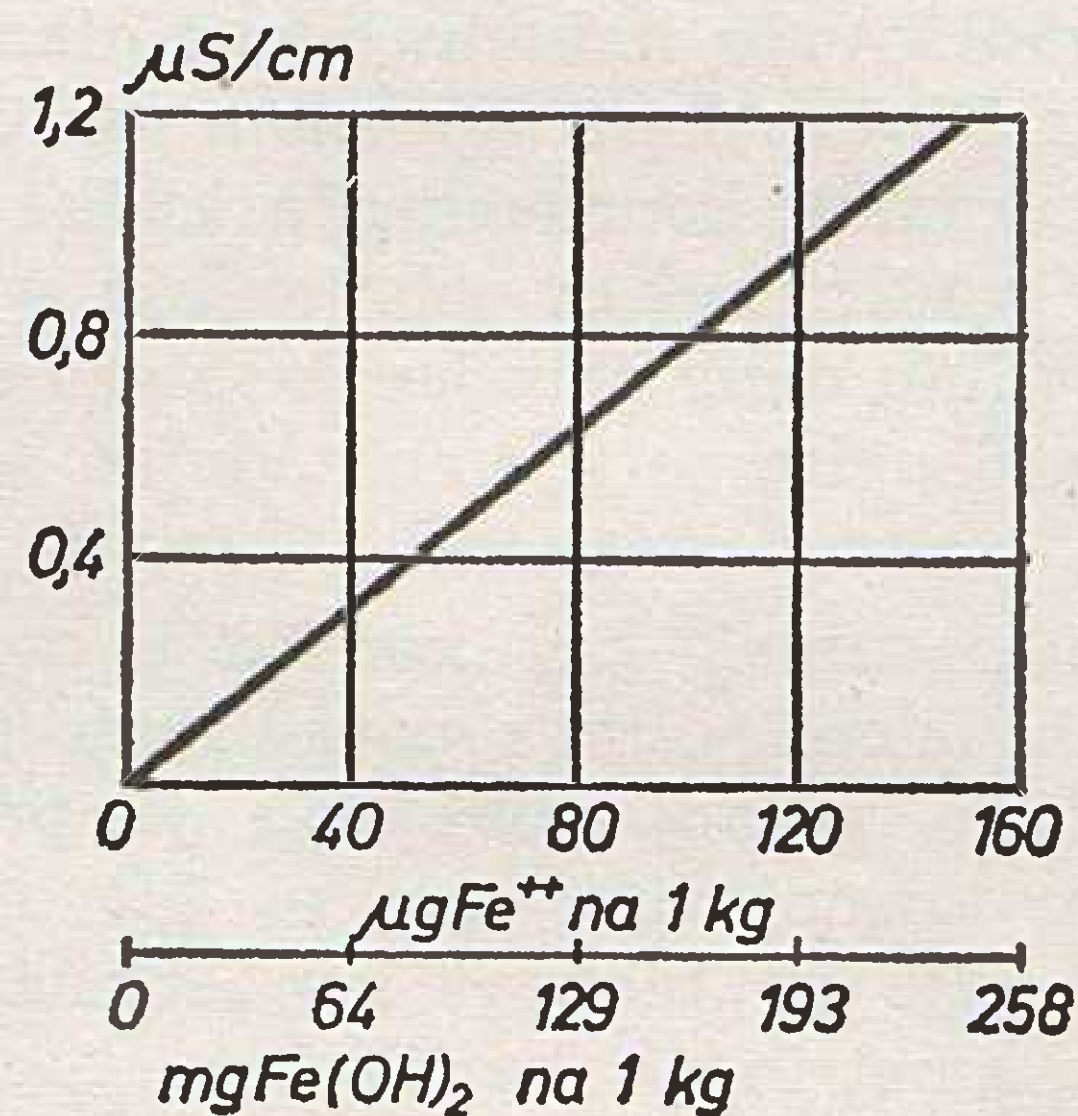
i može biti iz:

- uređaja za tretiranje turbinskog kondenzata od regeneranta (HCl),
- kemijske pripreme vode, tj. uređaja za dodatnu vode i
- od kemikalija koje se primjenjuju za naknadnu obradu.

Koncentracija klorida već od $100 \mu\text{g/kg}$ snizuje potencijal na ugljičnom čeliku i izaziva koroziju metala.

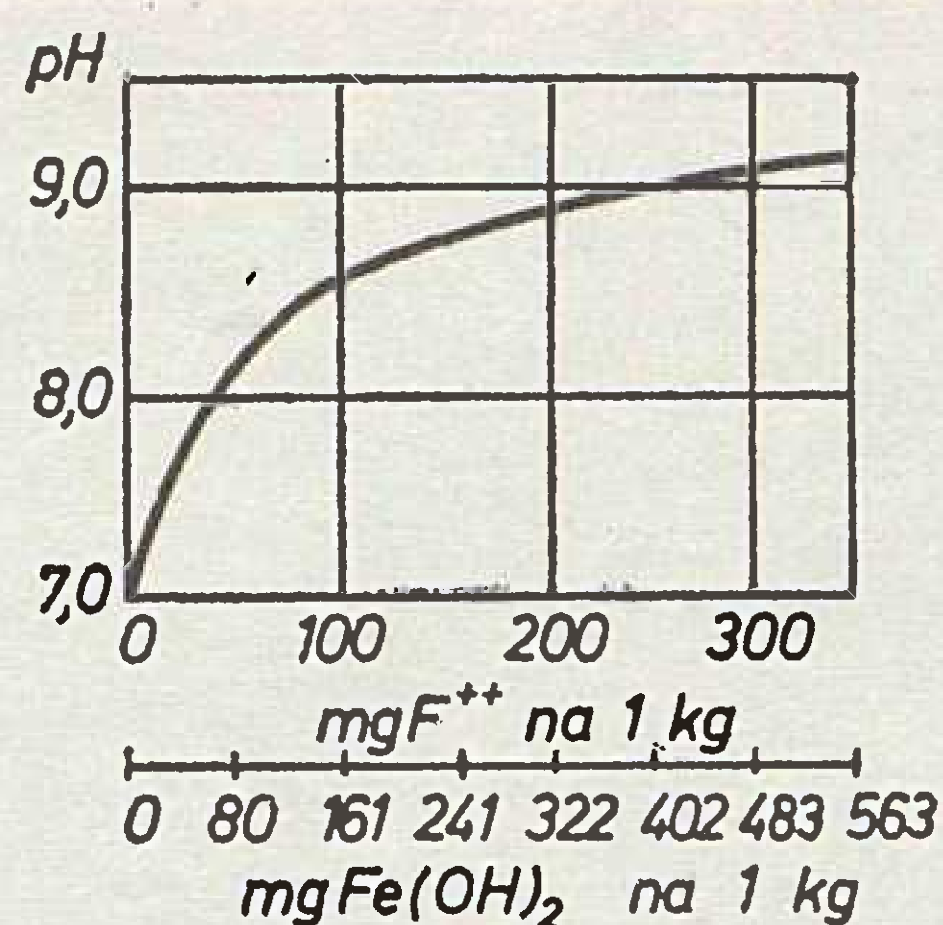
Zavisnost između otopljenog Fe(OH)_2 u odsoljenoj vodi, električne vodljivosti otopine i njezine pH vrijednosti prikazana je na slikama 4. i 5.

Pri uspoređivanju tih zavisnosti, iz Purbaixovog dijagrama je vidljivo da se zaštitni film može kontrolirati preko električne vodljivosti i redoks-potencijala. Zatim, opseg kontrole pri eksploataciji uz primjenu neutralnog režima manji je u usporedbi s opsegom kontrole na termoblokovima gdje se održava normalan alkalizirajući postupak.

Sl. 4. Zavisnost električne vodljivosti otopine kod 20°C od koncentracije Fe(OH)_2 i Fe^{2+}

Tablica 2.

VRIJEDNOSTI ZA DOBIVANJE PURBEIXOVIH DIJAGRAMA KOD POJNE VODE S $C_{\text{iona}} = 10^{-8} \text{ mol/kg}$		
	Elektrokemijske reakcije	Parametri
1	$2\text{Cu} + \text{HO}_4 \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{O} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	$E_o = 0,471 - 0,0591 \text{ pH}$
2	$\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{CuO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	$E_o = 0,669 - 0,0591 \text{ pH}$
3	$2\text{Cu}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{O} + 2\text{H}^+$	$E_o = 0,747 - 0,0591 \text{ pH}$
4	$\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CuO} + 2\text{H}^+$	$\text{Ig} [\text{Cu}^+] = -0,84 - \text{pH}$
5	$3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^-$	$\text{Ig} [\text{Cu}^{2+}] = -7,89 - 2 \text{ pH}$
6	$\text{Cu} \rightleftharpoons \text{Cu}^+ + \text{e}^-$	$\text{Ig} [\text{Cu}^{2+}] = 9,21 - 2 \text{ pH}$
7	$\text{Cu} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$	$E_o = -0,085 - 0,0591 \text{ pH}$
8	$\text{Cu}_2\text{O} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Cu}^+ + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	$E_o = 0,520 + 0,0591 \text{ Ig} [\text{Cu}^+]$
9	$\text{Cu}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CuO} + 2\text{H}^+ + \text{e}^-$	$E_o = 0,337 + 0,0295 \text{ Ig} [\text{Cu}^{2+}]$
10	$\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	$E_o = 0,203 + 0,0591 \text{ pH} + 0,0591 \text{ Ig} [\text{Cu}^{2+}]$
11	$3\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	$E_o = 0,620 - 0,1182 \text{ pH} - 0,0591 \text{ Ig} [\text{Cu}^+]$
	Linija a odnosi na na	$E_o = -0,440 + 0,0295 \text{ Ig} [\text{Fe}^{2+}]$
	$\kappa p_{\text{H}_2} = 1 \text{ } \kappa\text{zC/cm}^2$	$E_o = 0,980 - 0,2364 \text{ pH} - 0,0886 \text{ Ig} [\text{Fe}^{2+}]$
	$2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$	$E_o = 0,000 - 0,0591 \text{ pH} - 0,0295 \text{ Ig } p_{\text{H}_2}$
	Linija b odnosi se na	$E_o = 0,000 - 0,0591 \text{ pH}$
	$\kappa p_{\text{O}_2} = 1 \text{ } \kappa\text{zC/cm}^2$	$E_o = 1,228 - 0,0591 \text{ pH} + 0,0147 \text{ Ig } p_{\text{O}_2}$
		$E_o = 1,228 - 0,0591 \text{ pH}$

Sl. 5. Zavisnost pH otopine kod 20° C od koncentracije Fe(OH)_2 i Fe^{2+}

Rezultati dobiveni ispitivanjem na termoelektranama hamburških energosistema kod nekorekcione i korekcione metode vodeno-parnog režima pokazuju da se nakupine (talozi) u protočnom dijelu turbine sastoje od oksida bakra, Cu_2O , s primjesama CuO i oksida željeza.

Održavajući vrijednosti koncentracije kisika za pojedina temperaturna područja prema navedenim normama, postiže se bolja vodljivost konstrukcijskog metala u sistemu voda — para kondenzata, s time se smanjuje količina korozivnih produkata koji predstavljaju poteškoće kod eksploatacije termoenergetskih postrojenja.

Termodinamske ravnoteže za sistem željezo — voda i bakar — voda predstavljene su u obliku specijalnih Pourbaixovih dijagrama za pojnu vodu kod koncentracija iona 10^{-8} mol/kg (sl. 6).

U tablici 2. prikazane su jednadžbe elektrokemijskih reakcija s osnovnim parametrima za Pourbaixove dijagrame.

Također je ispitana pri temperaturi 75°C brzina korozije u ovisnosti o koncentraciji kisika u neutralnoj sredini.

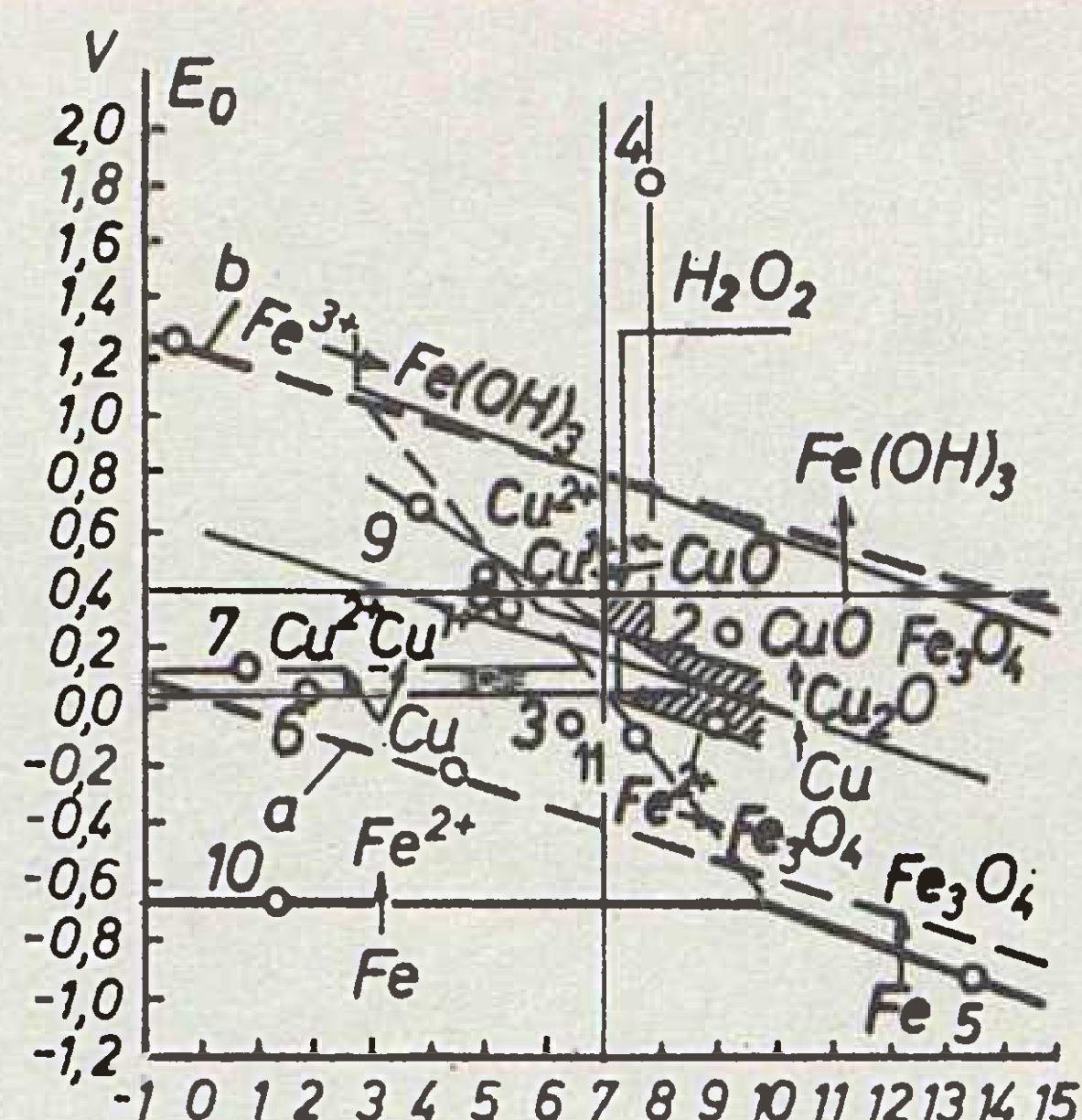
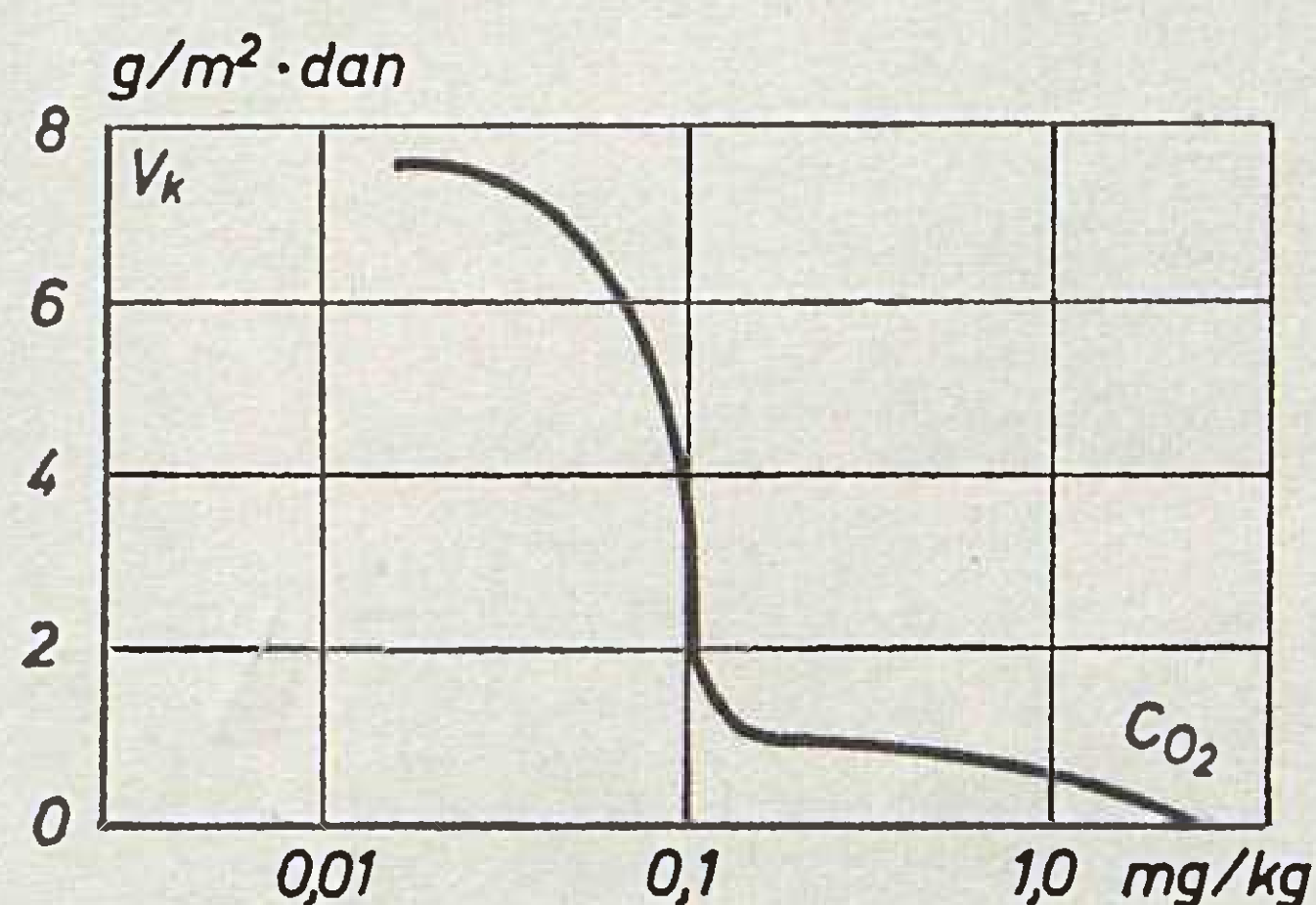
Kod brzine gibanja medija od 1,6 m/sek u dobro odsoljenoj vodi ($\kappa \leq 0,1 \mu\text{S/cm}$) ugljični je čelik uz povišenu koncentraciju kisika (0,1 — 0,2 mg/kg) stabilniji nego pri nižim koncentracijama, što je prikazano na sl. 7.

Danas je na više od 10 termoelektrana u SR Njemačkoj s parametrima od 100 do 255 kg/cm² uveden neutralni režim i one rade uspješno. Također se počelo s primjenom tog postupka i u SSSR-u na velikim kondenzacionim jedinicama uz neke male zamjene konstrukcijskog materijala u sklopu energetske opreme.

U perspektivi je izgradnja velikog broja termoelektrana za koje je kod početnog momenta eksploatacije predviđen rad s neutralnim vodenim režimom.

ZAKLJUČAK

— Primjenom neutralnog vodenog režima smanjila bi se korozija konstrukcijskog metala termoenergetske opreme zbog veće pasivnosti metala u takvoj sredini.

Sl. 6. Pourbaix-dijagram za uvjete pojne vode (sadržaj soli 10^{-8} mol/gk)Sl. 7. Brzina korozije V_k u zavisnosti od koncentracije kisika O_{02} L = 75° C; t = 24 h; brzina 1,6 m/sek; $\kappa = 0,1 \mu\text{S/cm}$

— Dobiveni zaštitni filmovi su kompaktniji, manje porozni i bolje vezani uz samu površinu metala zbog određene debljine magnetitnog sloja (5 — 15 μm).

— Pogonski troškovi su manji jer se ne primjenjuju alkalizirajuća sredstva.

— Opseg kemijske kontrole također je smanjen na temelju iskustava postignutih na termoblokovima koji su ga primijenili.

Kod nas nije još došlo do primjene ovog postupka, no ovim se želi pružiti informacija o načinu kondicioniranja postrojenja, što u odnosu na dosadašnji način obrade pojne vode predstavlja novost koja iskazuje niz prednosti.

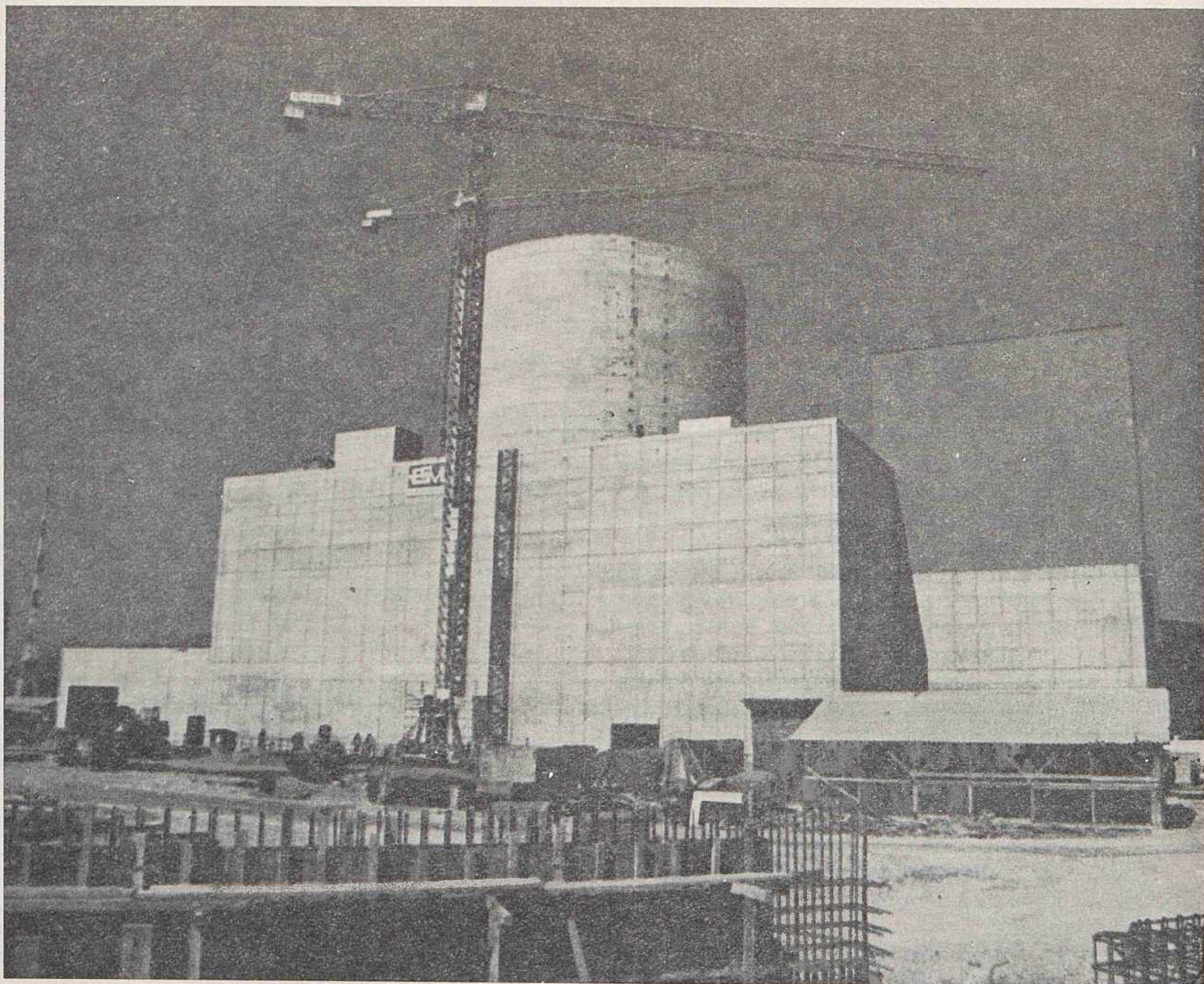
LITERATURA

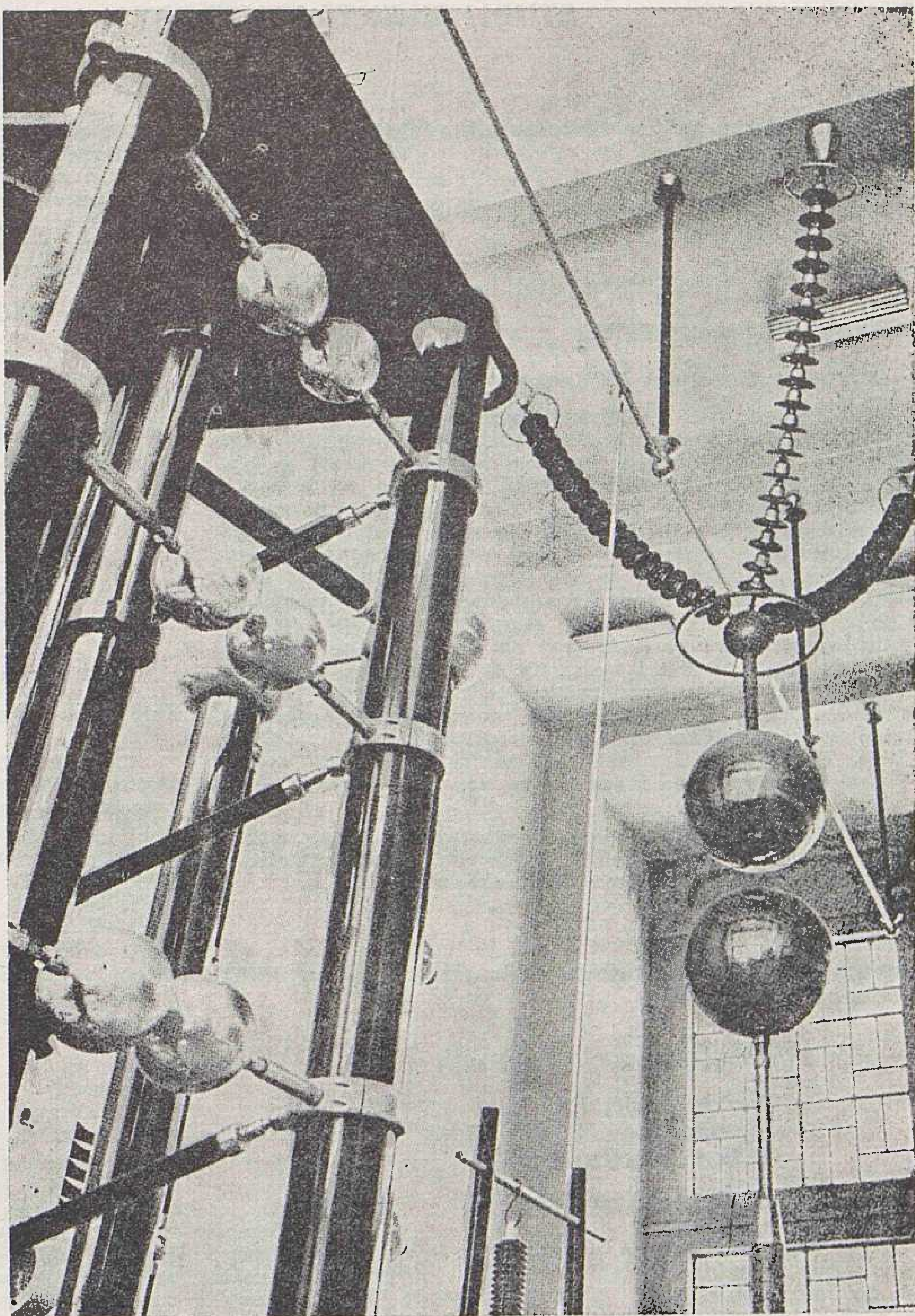
1. Erik Aggernaes, Change of the conditioning of 270 MW Peak — Load unit from Hidrizin — Amonia to Hydrogenperoksid — treatment of the watersteam sistem, May 1977.
2. V. Zenkevič, S. A. Kozina, Uns oksida mjedi s parom sverhritečeskovo davlenija.
3. M. S. Škrob, Otloženija v prjamatočnih kotlah u protočnoj časti parovih turbin, Energija, Moskva, 1972.

APPLICATION OF KATERY REGIME AT TERMO ENERGETIC PLANTS

The article treats the possibility of conducting neutral watery regime of technological waters (pH 7) without no addition of means for alkalinity and call attention to its advantages in exploitation.

Naslov pisca:
mr Jovo, Kontić, dipl. Ing.
Termoelektrana »Sisak«, Sisak





RAD INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU U 1978. GOD

Institut za elektroprivredu u Zagrebu osnovan je sa zadatkom da znanstveno obrađuje probleme razvoja elektroprivrede i ostale energetike, i u tom području djeluje već dvadeset i šest godina.

Svojim razvojem i afirmacijom Institut jne postao nosilac obrade važnih problema jugoslavenske i hrvatske elektroprivrede i energetike uopće. Naročito valja istaknuti aktivnost Instituta na znanstvenim istraživanjima metoda bilanciranja energetskih sistema uspoređivanjem vrijednosti elektrana, stalni rad na studiji perspektivnog razvoja jugoslavenske mreže visokog i najvišeg napona, te rad na analizi potrošnje i drugim problemima razvoja razdjelnih mreža.

Osim rada na užoj problematici razvoja elektroenergetskog sistema, razvio se rad na tehnološkim elementima termoeenergetike, te u tehnici visokog napona. U pojedinim specijalnostima ovih područja Institut je vodeća ustanova u zemlji. Posljednjih godina ubrzano se razvija i studij automatizacije u elektroprivredi.

Suradnici Instituta su također i priznati stručnjaci izvan Instituta, među kojima i nekoliko istaknutih sveučilišnih profesora.

Znanstveno istraživački rad se obavlja, prema unutarnjoj organizaciji, u nekoliko posebnih grupa, od kojih svaka ima svoj zaokruženi djelokrug rada:

Studijska radna jedinica za elektroenergetske sistema i ekonomsku problematiku

Studijska radna jedinica za prijenosne mreže

Studijska radna jedinica za razdjelne, visokonaponske, n.n. mreže i za projektiranje

Studijska radna jedinica za automatizaciju i regulaciju

Studijska radna jedinica za termoeenergetske sisteme

Studijska radna jedinica za visoki napon i jaku struju

Studijska radna jedinica za hidrotehničke sisteme.

U daljnjem tekstu su prikazani važniji radovi iz djelovanja pojedinih grupa u 1978. godini.

STUDIJ ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA

Rješenje sistema zaštite tlakovodnih reaktora nuklearnih elektrana

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske.

Autor: dr Josip Lakota, dipl. ing.

Dovršeno u kolovozu 1978.

Studija je podijeljena u tri dijela.

Prvi dio je opći i obrađuje osnove zaštite nuklearnih reaktora u elektranama. Naglasak je na tlakovodnim reaktorima, to jest reaktorima koji kao rashladni medij koriste laganu vodu pod pritiskom (PWR). Obrađuju se kratko i osnovni krugovi ovog reaktora, kao i njegovi pasivni i aktivni sigurnosni uređaji. Zatim je obuhvaćeno ponašanje jezgre istog tipa reaktora u opsegu neophodnom za osnove zaštite reaktora. Također se obrađuju kritični kvarovi ovog reaktora te njihove osnovne manifestacije, kao i varijable za detekciju opasnih pogonskih stanja i iniciranje zaštitnih akcija. Prezentirani su i zahtjevi na sistem zaštite reaktora te odgovarajući propisi i smjernice ili preporuke. Obrađuju se dalje kvarovi u sistemu zaštite, te redundancija, izborne (koincidentne) logike i diverzitet kao najvažnije mjere za borbu protiv pojedinačnih i sistematskih kvarova u sistemu zaštite. Tretiraju se i problemi nezavisnosti sistema zaštite od sistema upravljanja i regulacije, kao i neki drugi problemi reaktora.

Drugi i treći dio obrađuju konkretnije rješenje zaštite tlakovodnih reaktora američke proizvodnje Westinghouse i zapadnonjemačke proizvodnje Kraftwerkunion.

Analiza varijanti izgradnje hidroelektrana na Krki i Zrmanji

Naručitelj: »Elektroprivreda Dalmacije« — Split

Autori: Slavko Alerić, dipl. ing.,
dr Božo Udovičić, dipl. ing.,
Neda Komerički, oec.

Dovršeno u ožujku 1978. godine.

U studiji je analiziran utjecaj izgradnje hidroelektrane na Krki i Zrmanji na elektroenergetski sustav SR Hrvatske. Promatrano je deset varijanti izgradnje hidroelektrana na Krki i Zrmanji s različitim energetske-ekonomskim karakteristikama za prilike koje se očekuju 1985. godine u elektroenergetskom sustavu.

Metodom konstantne i varijabilne energije i metodom simulacije mogu se odrediti uštede (koristi) u elektroenergetskom sustavu, a na temelju njih i opravdanost (povoljnost) izgradnje pojedine varijante izgradnje hidroelektrana na Krki i Zrmanji. Sve analize u ovoj studiji provedene su uz sigurnost opskrbe potrošača od 95 %, osiguranje rotirajuće rezerve i remonta agregata u termoelektranama.

Opseg: 86 stranica i 10 slika.

Elektroenergetske osnove za 15 godišnji plan razvoja potrošnje i izgradnje izvora električne energije u Hrvatskoj do 1995. s osvrtnom na 2000. godinu

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske — Zagreb

Autori: prof. dr Božo Udovičić, dipl. ing.,
Slavko Alerić, dipl. ing.,
Nikola Bilčar, dipl. ing.,
Đuro Hatić, dipl. ing.

Dovršeno u listopadu 1978. godine.

U prvom dijelu studije razrađena su predviđanja potrošnje električne energije za budućnost (do 2000. godine) pomoću nekoliko metoda (logističkom krivuljom, predviđanjem potrošnje pojedinih kategorija potrošača, te predviđanjem potrošnje pomoću korelacije potrošnje i društvenog proizvoda). Na temelju učinjenih predviđanja određena je najvjerojatnija potrošnja koja se može očekivati u budućnosti.

U drugom dijelu studije analizirane su mogućnosti proizvodnje hidroelektrana, te iskorištenost hidropotencijala. Provedenom analizom došlo se do zaključka da je preostali dio hidropotencijala malen i relativno nepovoljniji s energetske-ekonomskog stajališta od već izgrađenog potencijala. Nakon analize iskorištenja hidropotencijala analizirane su mogućnosti izgradnje termoelektrana na području SR Hrvatske. Prema današnjim saznanjima i tu su nam mogućnosti veoma skromne.

U trećem dijelu studije provedene su elektroenergetske bilance kako bi se utvrdile potrebe izgradnje svih vrsta elektrana koje bi mogle zadovoljiti predviđenu potrošnju u prvom poglavlju. Provedenim analizama došlo se do zaključaka koji pokazuju da treba graditi preostali hidropotencijal, preostale mogućnosti gradnje klasičnih termoelektrana u našoj republici i izvan nje, te pristupiti kontinuiranoj izgradnji nuklearnih elektrana.

Opseg: 100 stranica, 1 tablica i 2 slike.

STUDIJ PRIJENOSNIH MREŽA

Ispitivanja očekivanih pogonskih stanja na mreži 400 kV

Naručitelj: Elektroprivreda, Elektroprenos, Zagreb, ZEOH — Zagreb

Autori: Boris Markovčić, dipl. ing.,
mr Zdenko Tonković, dipl. ing.

Dovršeno u svibnju 1978.

Ispitivane su prilike i mogućnosti uklapanja voda Ernestinovo—Zagreb—Maribor u jugoslavenski elektroenergetski sistem. Posebno su se istraživali naponi koji se očekuju u pojedinim čvorištima veze Obrenovac—Ljubljana, te koji faktori i koliko utječu na naponski režim promatranog voda. Ispitivano je koji je redoslijed i koja su mjesta sklapanja najpovoljnija. Posebno su promatrane posljedice uklapanja neopterećenih vodova. Istraživan je i utjecaj prijenosnih omjera transformatora u Zagrebu, Ljubljani i

Tuzli, te djelovanje prigušnica vezanih na transformatore. Promatran je i 400 kV vod u normalnom pogonu, razdioba tokova snaga na 400 kV i 220 kV vodove, gubici i kutovi vektora napona.

Ispitivana je i sjeverna magistrala u paraleli s južnom, kao i gubici regije Zagreb zbog tranzita u Sloveniju.

Opseg: 2 dijela (I: tekst; II: crteži), 106 str., 108 slika.

Prijenosna mreža južne Dalmacije do 2000. godine Gubici u prienosnoj mreži regije Zagreb

Naručitelj: Elektroprivreda Dalmacije, Split

Autori: Boris Markovčić, dipl. ing.,
mr Zdenko Tonković, dipl. ing.

Dovršeno u prosincu 1978.

Ovo je prvi dio studije u kojem su analizirane tehničke alternative napajanja južne Dalmacije električnom energijom za godine 1982, 1985, 1990. s projekcijom 2000. godine. U drugom dijelu studije ispitat će se ekonomski aspekt rješenja predloženih u prvom dijelu. Mreža za 1982. samo je provjeravana jer je ona danas već definirana. Prije 1985. konstatirana je potreba drugog voda iz Trebinja za Dubrovnik. U 1985. otoci su dvostruko povezani s kopnom: s elektrinog gledišta nije utvrđena bitna razlika između priključka na Ploče i na Ston. U 1990. konstatirana je potreba izgradnje potpune točke superponiranog napona praktički svedeno 220/110 ili 400/110; prednost bi imala ona u području ušća Neretve. Dubrovačko područje moglo bi se još napajati sa dva 110 kV voda iz Trebinja. U vezi s mrežom na otocima bilo bi korisno izgraditi još jednu 110 kV vezu Dugi Rat — Nerežišće, to više što je Nerežišće najopterećenija stanica na otocima. S druge strane, gledajući tokove snaga, bilo bi povoljnije zatvoriti petlju na Ploče nego na Ston. Za 2000. učinjeno je nekoliko varijanti mreže, s posebnim naglaskom na mogućnost izvlačenja što više snage iz HE Dubrovnik u regionalnu mrežu Dalmacije.

Opseg: 45 stranica, 21 slika.

Gubici u prijenosnoj mreži regije Zagreb

Naručitelj: Elektroprivreda, Zagreb

Autori: Boris Markovčić, dipl. ing.,
mr Zdenko Tonković, dipl. ing.

Dovršeno u listopadu 1978.

Ispitivani su gubici u visokonaponskoj mreži regije Zagreb za prilike u 1977. godini i one kakve se predviđaju u 1980. s uključenim kondenzatorskim baterijama. Gubici su utvrđeni u apsolutnoj vrijednosti, kao i njihovo smanjenje kao posljedica uklapanja kondenzatorske baterije. Ujedno je upozoreno na uska grla prijenosne mreže regije. Visokonaponska mreža je obuhvaćena do predajne strane distribucije, dakle u gubicima su uključeni i oni u transformatorima. Izabrana su karakteristična opterećenja i promatrana u jutarnjem i večernjem maksimumu, te u minimumu. Utvrđena je korisnost ugradnje kondenzatora usprkos tome što je TS 400/110 kV značajan izvor jalove snage, posebno u slučajevima kvara. Godišnji se gubici energije smanjuju oko 13 %.

Opseg: 35 stranica, 16 tablica, 10 slika.

Proračun kratkog spoja mreže za 1985. godinu

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autor: Davor Nevečerel, dipl. ing.

Dovršeno u lipnju 1978.

Studija je izrađena u dvije faze. U I fazi je definirana konfiguracija i uklopno stanje mreže 110, 220 i 400 kV SR Hrvatske. Zatim je obavljen proračun direktnih (početnih) i nultih impedancija svih elektrana, vodova i transformatora nazivnih napona 110 kV i viših na području SR Hrvatske, te nadomjesnih impedancija susjednih SR, značajnih za spomenuti proračun.

U II fazi je učinjen proračun maksimalnih očekivanih ukupnih struja početnog trolnog i jednopolnog kratkog spoja u svim čvorištima mreže, kao i raspodjela izračunatih struja na sve grane koje su neposredno vezane za taj čvor.

Rezultati su prikazani tabelarno i ukazuju da u cijeloj mreži 110 kV na području SR Hrvatske struje ne prelaze 40 kA, osim kod jednopolnog kratkog spoja na sabirnicama 110 kV u TS 400/110 kV Zagreb — jug, a i u tom slučaju prekoračenje ne prelazi 5 % i može se već uzemljenjem samo jednog od dva autotransformatora 400/115/31,5 kV, 300/300/100 MVA znatno reducirati.

Opseg: 10 stranica, rezultati redukcije mreže Jugoslavije, 9 tablica, 23 slike.

Dopunski proračuni kratkog spoja u početnim i novim uvjetima

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih poduzeća Hrvatske

Autor: dr Miroslav Jung, dipl. ing.

Dovršeno u prosincu 1978.

Predložen je jedan novi (sintetički) postupak za proračun parametara proizvoljno oblikovanih linearnih trofaznih simetričnih elektroenergetskih mreža, koji su nužni za provedbu dopunskih proračuna kratkog spoja u stanovitoj mreži, i to bilo u njezinim prvobitnim, bilo u novim (nešto izmijenjenim) uvjetima. Za razliku od poznatih (analitičkih) postupaka predloženi postupak omogućava brži i jednostavniji proračun jednakovrijednih rezultata na temelju malog broja podataka iz rezultata prethodno provedenog temeljnog proračuna kratkog spoja u promatranom sistemu.

Navedeni postupak je osobito pogodan za sve dopunske proračune u prvobitnim uvjetima promatrane mreže, kao i u novim uvjetima, uz ograničene promjene u konfiguraciji ili/ u parametrima pojedinih grana, a može se primijeniti i na proračun parametara stanovitog četveropola ako su nam poznate strujne i naponske prilike na njegovim krajevima.

Opseg: 122 stranice, 15 slika, 6 tablica.

Uzemljenje zvjezdišta mreža 35 kV na području Knina i Drniša

Naručitelji: »Elektrodistribucija«, Knin,
»Elektrozagora«, Drniš,
»Elektroprenos«, Split

Autori: dr Miroslav Jung, dipl. ing.,
Davor Nevečerel, dipl. ing.,
Željko Zlatar, dipl. ing.,
Ante Sekso, dipl. ing.

Dovršeno u prosincu 1979.

Studija je podijeljena u tri dijela:

I dio. Uzemljenje zvjezdišta i proračun kratkog spoja, u kojem je obrađen prijelaz postojećih mreža 35 kV od pogona s izoliranim zvjezdištem na pogon sa zvjezdištem uzemljenim preko otpornika za ograničenje struja jednopolnog kratkog spoja. Uvažujući razvoj navedenih mreža u srednjoročnoj budućnosti, proveden je proračun očekivanih najvećih i najmanjih struja trolnog i jednopolnog kratkog spoja kod neistodobnih kvarova u pojedinim postrojenjima.

II dio. Relejna zaštita i automatsko ponovno uključivanje obrađuje pretpostavke za izbor relejne zaštite mreže, toplinske provjere i primjenu brzih releja, moguće vrste brzog isključenja vodova, prijedlog i obrazloženje izbora relejne zaštite mreže, analizu djelovanja i proračun udešenja odabrane relejne zaštite te relejnu zaštitu osjetljivih potrošača i primjenu automatskog ponovnog uključivanja.

III dio. Uzemljivači i prenaponska zaštita postrojenja i vodova 35 kV obrađeni su za prilike kod uzemljenog zvjezdišta mreže. Dane su smjernice za izbor uzemljivača transformatorskih stanica i vodova. U svim postojećim transformatorskim stanicama izvršena je mjerenjem i proračunima provjera opasnih napona i efikasnosti prenaponske zaštite. Prema potrebi dane su upute za korekcije uzemljivača i prenaponske zaštite za sva postrojenja u mreži.

Opseg: 120 stranica, 15 tabela, 45 slika.

Program i upute za mjerenja intenziteta zagađivanja izolacije morskom solju

Naručitelji: »Elektroprivreda Dalmacije«, Split,
»Elektroprenos«, Split

Autor: Ante Sekso, dipl. ing.

Dovršeno u veljači 1978.

Studija je imala zadatak da detaljno opiše metode mjerenja nivoa zagađivanja visokonaponske izolacije solju, koje će se primijeniti u našem obalnom području. Mjerenjima će se utvrditi kriteriji za izbor i održavanje izolacionog nivoa u ugroženim područjima.

U početku je dan pregled i usporedba različitih postupaka kojima se u svijetu mjeri stupanj zagađivanja visokonaponske izolacije. Nakon toga je izvršen izbor metoda za

primjenu kod nas. Odlučili smo se da kao osnovnu metodu usvojimo mjerenje pomoću usmjerenih sakupljača sa 4 kolektora. Dodatno će se na nekim mjernim mjestima primijeniti metoda pranja ispitnog izolatorskog lanca i metoda neusmjerenog spremnika. Također je učinjen izbor mjernih mjesta s obzirom na lokaciju planirane nuklearne elektrane u Dalmaciji i pripadnih vodova i postrojenja.

Predviđeno je da se izgradi 6 malih ispitnih stanica u kojima bi se kroz duže vremensko razdoblje prikupljali

podaci. U posljednjem poglavlju dane su smjernice za prikupljanje i obradu rezultata mjerenja. Na temelju toga i dodatnih ispitivanja u posebno opremljenim laboratorijima ili u velikim ispitnim stanicama u prirodi moći će se izvršiti pouzdan izbor visokonaponske izolacije i eventualnih dodatnih zaštitnih mjera.

Opseg: 36 strana, 3 tabele, 3 obrasca za mjerenje, 7 slika.

STUDIJ RAZDJELNIH I NISKONAPONSKIH MREŽA

Projektni zadatak za kabel 110 kV TS 220/110 kV izbora kabela

Vrboran — TS 110/10 kV Split 3 sa studijom

Naručitelj: Elektrodalmacija, Split

Autori: Mirjana Rimac, dipl. ing.,
Dasenko Baldasari, dipl. ing.

Dovršeno u srpnju 1978.

Ovaj rad sastoji se od dva dijela:

A. Projektnog zadatka za izradu glavnog projekta kabela 110 kV

B. Paralelne studije kao prilog izboru kabela 110 kV.

Projektnim zadatkom definirani su radovi projektanta i sadržaj projektne dokumentacije.

U studijskom dijelu dan je uvodni dio s prikazom tipova i izvedbi kabela i opreme i njihovim naponskim, strujnim, termičkim i mehaničkim karakteristikama. U drugom dijelu studije analizirale su se konkretne prilike i uvjeti rada budućih kablskih veza te je izvedena usporedba mogućih rješenja. U zaključku su dani prijedlozi za izbor kabela i trasa po etapama.

Opseg: 71 stranica, 17 tablica, 32 slike.

Kabliranje DV 2×110 kV TS 220/110 kV Vrboran — TS 110/35 kV Sučidar

Naručitelj: Elektroprenos, Split

Autor: Mirjana Rimac, dipl. ing.

Dovršeno u studenom 1978.

Postojeća TS 110/35 kV Sučidar se napaja preko 110 kV nadzemnog voda koji je jednim svojim dijelom u gradskoj urbanoj sredini. Upravo iz tog razloga bilo je potrebno riješiti napajanje TS Sučidar podzemnim kablom, kako bi se mogao napustiti postojeći nadzemni vod. U elaboratu je predloženo rješenje kablске veze TS 220/110 kV Vrboran — TS 110/35 kV Sučidar.

Odabrana je trasa kabela, tip kabela s obzirom na izolaciju, materijal vodiča, presjek, izračunati su troškovi realizacije kablске mreže.

Opseg: 31 stranica, 9 slika, 12 tablica.

Rješenje budućeg napajanja tvornice pamučna predionica Glina u Glini električnom energijom

Naručitelj: Pamučna predionica Glina u Glini

Autori: Josip Moser, dipl. ing.,
Ernest Mihalek, dipl. ing.

Suradnik: Damir Balantin, dipl. ing.

Dovršeno u lipnju 1978.

Pamučna predionica Glina (PPG) napaja se danas preko 10 kV mreže, a ima obračun na 35 kV tarifi. Kako se na distributivnom području Gline u 1978. g. pušta u pogon nova TS 110/20 kV Glina 2×20 MVA, to će s vremenom cijelo područje prijeći na povoljnije napajanje na 20 kV. Time se, međutim, ukida tarifa 35 kV i za PPG treba naći neko ekonomičnije rješenje napajanja električnom energijom. Pri tome treba uzeti u obzir planove razvoja PPG,

Uzrok koji navodi da je nužna analiza najpovoljnijeg načina napajanja PPG električnom energijom jest, uz izgradnju TS 110/20 kV Glina, i taj što je sadašnji način napajanja vrlo nesiguran i nekvalitetan. Zračni vod 10 kV je star, pa ga treba zamijeniti novim, a postojeći kabel 10 kV ide trasom na kojoj se planira izgradnja novih pogona, te se kabel mora prebacivati.

U toku razrade obavljen je osvrt na sadašnje stanje i određen perspektivni razvoj budućeg konzuma tvornice PPG. Na osnovi tog razvoja konzuma određeni su troškovi gubitaka u prijenosu i troškovi potrošene energije za razne tarifne stavove, kao i različite odnose između tarifa i sezona. Dan je opis osam mogućih varijanata rješenja te proračun investicija za gradnju mreže po svakoj varijanti. Ukupni troškovi su analizirani te je učinjena usporedba aktualiziranih i neaktualiziranih troškova.

Najpovoljniji način napajanja PPR jest putem dvaju kabela 20 kV iz TS 110/20 kV i da se izvrši rekonstrukcija TS 10/0,4 kV i mreže u krugu tvornice. Pri tome treba postići mogućnost kupovine energije po što nižoj tarifi.

Opseg: 42 strane, 23 tablice, 12 slika.

Idejno rješenje električne mreže grada Skopja I. dio — 7. knjiga: Idejno rješenje niskonaponske mreže Skopja

Naručitelji: »Elektromakedonija« Skopje, OOST,
»Elektroskopje«, Skopje

Autor: Ernest Mihalek, dipl. ing.

Suradnik: Josip Moser, dipl. ing.

Dovršeno u travnju 1978.

Niskonaponska mreža grada Skopja obuhvaća danas oko 750 mrežnih stanica 10(6)/0,4 kV s ukupnom dužinom niskonaponske mreže od oko 1750 km.

Polazna pretpostavka za dimenzioniranje buduće mreže niskog napona jest iznos snage tropskog kratkog spoja na nivou 10 kV od 250 MVA.

Promatrane su tri vrste n. n. vodova: klasični s golim vodičima, nadzemni sa SKS-om (samonosivi kablški snop) i kablški (podzemni).

Kao drugi važan element razmotreni su i transformatori 10/0,4 kV; za sve te elemente prodiskutirane su opteretivosti i gubici snage. Posebna poglavlja obrađuju godišnje troškove pogona redom istih elemenata te su postavljeni izrazi koji sadržavaju sve pretpostavke za proračun. Ovi proračuni su ujedno polazna pretpostavka za idući korak, a to je određivanje najpovoljnijih parametara čitave mreže putem najmanjih ukupnih godišnjih specifičnih troškova (Din/SJ. god.).

Rezultati pokazuju da:

— za seoska naselja odgovaraju stupne stanice do 250 kVA s SKS razvodom

— za gradska naselja s individualnom izgradnjom »industrijske« stanice 1×400 kVA sa SKS razvodom,

— za gradska naselja s kolektivnom izgradnjom do P + 12 odgovaraju »tipske« stanice 1×630 i 2×630 kVA s kablškim razvodom PPOO-A presjeka 185 i 240 mm².

U gradskim naseljima s još većim kolektivnim objektima nestaje niskonaponska mreža, a ulogu priključne mreže preuzima mreža 10 kV.

S obzirom na pouzdanost napajanja zaključeno je da za većinu sitnih potrošača zadovoljava radijalna mreža, a za važnije ugovorit će se dvostruko napajanje. Kabliranje je također jedan od načina povećanja pouzdanosti. Kao

zaštita u mreži predviđa se nulovanje. Kompenziranje javnih snaga trebat će u principu obavljati na mjestu potrošača, a centralno u industriji i kod većih potrošača. U vanjskoj rasvjeti predložene su vrijednosti iz »Međunarodnih preporuka za rasvjetu javnih putova« Internacionalne komisije za rasvjetu.

Općenit zaključak svih razmatranja jest taj da je već danas izgrađen pretežni dio konačne mreže niskog napona te da će trebati ubuduće graditi relativno sve manje ove mreže, i to stoga što će kod velikih gustoća ova mreža praktično nestajati. Ono ostalo treba graditi po suvremenim principima oslanjajući se što više na tipizaciju opreme i industrijsku finalizaciju.

Opseg: 112 stranica, 8 tablica, 15 slika.

Tehno-ekonomska analiza uvođenja nadzemne kabelske niskonaponske mreže u elektrodistribuciju SR Hrvatske

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija SR Hrvatske, Zagreb

Autor: Ernest Mihalek, dipl. ing.

Suradnik: Josip Bunjevčević, dipl. tehn.

Nadzor: Branko Mrakovčić, dipl. ing.

Dovršeno u srpnju 1978.

Prvi dio ove studije obrađuje stanje postojećih niskonaponskih mreža u SR Hrvatskoj. Oko 60 % svih novoizgrađenih distributivnih mreža čine upravo ove niskonaponske, pa rješavanje njihove veće ekonomičnosti izgradnje mnogo znači za ukupno gospodarenje u elektroprivredi. Godišnje se izgradi prosječno 3,2 % novih n.n. mreža, a uzevši u obzir i rekonstrukcije, može se zaključiti da postoji značajan broj mreža koje se mogu projektirati na noviji i suvremeniji način.

Izvedbom n.n. mreža sa SKS-ovima samonosivim kabelskim snopovima bitno se poboljšava kvaliteta isporučene električne energije jer se znatno smanjuje broj prekida, održavanje itd. Tu praktički nestaju kratki spojevi.

Naš domaći sistem ima uzor u francuskom sistemu Tor-sades, dok su kućni priključci u skandinavskom sistemu koji nema nosivi vodič.

Promatrajući mogućnost iskorištenja voda, vidi se da se SKS može relativno bolje iskoristiti nego klasični vod s golim vodičima, ponajviše zbog njegova manjeg induktivnog otpora. Nadalje se pokazuje da su i specifični godišnji troškovi klasičnog voda znatno veći nego kod SKS-a i iznose u postocima:

- kod vodova na drvenim stupovima do 10 % više
- kod vodova na betonskim stupovima do 30 % više
- kod vodova na zidnim konzolama do 60 % više.

S obzirom na sve izneseno u studiji, treba potpuno napustiti klasične vodove niskog napona, što je u interesu sigurnosti ljudi i pogona kao i uštede u elektroprivredi.

Opseg: 40 strana, 5 tablica, 23 slike.

Program za provođenje sortiranja i selektivnog tiska razrađenih podataka o trajanju pojedinih vrsti prekida u dobavi električne energije potrošačima pomoću elektroničkog digitalnog računala ICL 1900 S u programskom jeziku Fortran 1900

Autor: mr Ivan Čauš, dipl. ing. i oec.

Dovršeno u prosincu 1978.

Prikazani program se u poboljšanoj verziji nadovezuje na iskustva stečena pri izradi sličnog programa 1972. g. koji je bio potreban za izradu dijela studije »Utjecaj kvalitete isporuke električne energije na tehnologiju i ekonomiku potrošača...« što je bila izrađena u ovom Institutu također 1972. g.

Naime, sada se koristilo digitalno elektroničko računalo ICL 1900 S umjesto ranijeg računala IBM 1130, a program je pisan na odgovarajućem programskom jeziku FORTRAN IV.

Program omogućava tisak tablica sortiranih podataka za osam tipova prekida u dobavi električne energije raspoređenih na dvije kategorije, i to:

- nenajavljeni prekidi: ispad, kvar, oštećenje;
- najavljeni prekidi: iskopčanje na zahtjev, radovi, revizija, prekopčanje, redukcija po organizacijama udruženog rada koja su bila njima pogodena u razdoblju cijele kalendarske godine.

Ovako se kompjutor koristi kao potrebna zamjena rutinskog rada čovjeka u toku jedne središnje etape studije o štetama, što ih prouzrokuje ona električna energija koja nije bila dobavljena industriji u određenom vremenskom intervalu.

Kao ulazni medij za podatke koriste se bušene kartice, a izlazni medij za rezultate su papirni listovi, dok se vanjska memorija ne koristi.

Opseg: 10 strana, 5 slika, 12 priloga s elektroničkog računala.

Dvogodišnje anketiranje (1974. i 1976. g.) industrijskih potrošača električne energije radi kvantifikacije šteta uzrokovanih odtupanjem od kvalitene dobave električne energije potrošačima

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija SR Hrvatske, Zagreb

Autor: mr Ivan Čauš, dipl. ing. i oec.

Dovršeno u užujku 1978. g.

Studija obuhvaća istraživanja i kvantifikacije šteta zbog odstupa od kvalitetne dobave električne energije potrošačima koji pripadaju po SDK — nomenklaturi industrijsko-rudarskoj oblasti privrede na konzumnom području SR Hrvatske, i to u razdoblju cijele 1974. te 1976. godine.

Primijenjena metoda preuzeta je iz ranije provedene studije u ovom Institutu pod naslovom »Utjecaj kvalitete isporuke električne energije na tehnologiju i ekonomiku...« još 1972. godine.

Tako se cijeli rad temelji na anketiranju potrošača — tzv. reprezentanata pojedinih grana i grupa djelatnosti cijelog područja industrije i rudarstva.

Iz razrađenih tablica mogu se u studiji uočiti svi kvantitativni odnosi za promatranje stanja, što je signifikantno iz razloga zadržanih uvjeta promatranja (metodologija traži nepromijenjen sastav anketiranih potrošača i jednake entitete promatranja):

— apsolutni iznosi šteta radi prekida u dobavi električne energije su se kretali od 284,2 milijuna dinara u 1974. g. sve do 297,8 milijuna dinara u 1976. g., pa su porasli za 4,8 % u odnosu na 1974. g.

— reducirane kvantificirane štete pokazuju, naprotiv, tendenciju pada za 4,2 % u odnosu na 1974. g., tj. od 540,8 milijuna dinara u 1974. g. na 514,7 milijuna dinara u 1976. g., što predstavlja u odnosu na vrijednost proizvoda ove privredne oblasti 0,436 % za 1974. g., a 0,330 % za 1976. g. pad od 24,3 % u odnosu na 1974. g.

— pojedine grane djelatnosti trpe promjenjiv kvantum ovih šteta, a najviše je pogođena industrija nemetala, pa prehrambena industrija, te industrija nafte, ako se filmska industrija ne uzme u obzir zbog svog malog udjela u ukupnoj vrijednosti proizvoda.

Opseg: 68 strana, 1 slika, 180 strana tablica rezultata.

Osnovno rješenje razvoja visokonaponske mreže na području OOUR Elektra Poreč, OOUR Elektra Pazin - Buzet i OOUR Elektra Rovinj

Naručitelj: »Elektroistra«, Pula

Autori: Ivan Janić, dipl. ing.,
Zvonko Janžeković, dipl. ing.

Dovršeno u svibnju 1978.

Opskrba električnom energijom područja općina Buzet, Pazin, Poreč i Rovinj obavlja se sada putem vodova 35 kV iz TS 110/35 kV Pula, Raša i Buje,

Na temelju podataka regionalnih planova, te podataka o razvoju turizma i ostalih većih potrošača električne energije načinjena je analiza buduće potrošnje električne energije i vršnog opterećenja.

Rješenje visokonaponske mreže dano je sa sustavom 110—20 kV koji se pokazao kao najpovoljniji na području Istre.

Rješenje predviđa izgradnju pet transformatorskih stanica:

110/20 kV: Buzet 2×40 MVA, Pazin 2×40 MVA, Vranja 2×40 MVA, Poreč 3×40 MVA i Rovinj 3×40 MVA.

Također se predviđa izgradnja 250 km vodova 110 kV te 800 km nadzemnih vodova i 460 km kablinskih vodova 20 kV, kao i 770 transformatorskih stanica 20/0,4 kV.

Mreža je razrađena etapno, a dan je i način i razdoblje prijelaza od napona 35 kV i 10 kV na napon 20 kV.

Opseg: 240 stranica, 166 tablica, 97 slika.

STUDIJ TERMOENERGETSKIH SISTEMA

Razvoj toplifikacije i plinifikacije Karlovca

Naručitelj: Jugoturbina — Commerce

Autori: dr Duško Čorak, dipl. ing.,
Hrvoje Štingl, dipl. ing.,
Zlatko Komerički, dipl. ing.,
Marino Balog, dipl. ing.,
Marijan Sarajlija, dipl. tehn.

Suradnici: Hrvoje Brkić, dipl. ing.,
Florijan Rigler, dipl. ing.,
Marijan Miklaužić, dipl. ing.

Razvoj toplifikacije i plinifikacije urbanih sredina danas je nezamisliv bez studioznog pristupa toj problematici.

Nakon izrade studije toplifikacije Osijeka i Slavenskog Broda ovaj rad predstavlja daljnji napredak u tom području jer je osim varijantnih rješenja toplifikacije razrađena problematika opskrbe ogrjevnih potrošača i ostalim oblicima energije (plinom). Polazi se od raspodjele urbanih zona jedne veće urbane sredine i usmjeravanja zona na različite oblike opskrbe, pa se nakon optimalne raspodjele pristupa optimalizaciji svakog pojedinog rješenja. Dobiveni rezultati su dobre polazne osnove za planere i za konkretnu daljnju realizaciju optimalnog rješenja.

Opseg: oko 200 stranica i oko 100 slika i dijagrama, te priloga proračuna.

Izgaranje emulzije tekućih goriva

Naručitelj: ZEOH

Autor: dr Dubravko Matanić, dipl. ing.

U studiji je dan pregled poznatih postupaka i metoda za stvaranje emulzija tekućih goriva i vode kao goriva u termoeenergetskim postrojenjima radi pospješivanja procesa izgaranja i smanjenja zagađivanja čovjekove okoline.

Posebno su dane neke nove mogućnosti na području stvaranja emulzije koje su ispitane na postojećim postrojenjima.

Opseg: oko 220 stranica slika i dijagrama.

Opravidanost rekonstrukcije TA 12,5 MW u EL-TO Zagreb

Naručitelj: »Elektroprivreda« Zagreb, OOUR EL-TO Zagreb

Autori: mr Niko Malbaša, dipl. ing.,
Miroslav Juretić, dipl. ing.

Na bazi metodologije uključivanja toplanskih jedinica u elektroenergetski i toplinski sistem učinjena je analiza opravdanosti rekonstrukcije postojećeg protutlačnog TA 12,5 MW kojom je utvrđena opravdanost rekonstrukcije s tehničkog i ekonomskog stajališta.

Opseg: oko 25 stranica teksta i priloga proračuna.

Raspodjela vlastite potrošnje električne energije bloka kotao 6 - TA 4 između grane 111 i toplinske djelatnosti

Naručitelj: Elektroprivreda, Zagreb
OOUR EL-TO Zagreb

Autor: Ernest Prištof, dipl. ing.

Na bazi dosadašnjih mjerenja na postrojenjima EL-TO načinjena je raspodjela vlastite potrošnje električne energije na granu 111 i toplinsku djelatnost.

U elaboratu su postavljene energetske i exsergetske karakteristike bloka koje omogućavaju eneregtsku i exergetsku raspodjelu vlastite potrošnje električne energije.

Opseg: 25 stranica teksta, slika i dijagrama.

Izveštaj o uzrocima havarije magistralnog parovoda PTE - Osijek

Naručitelj: Elektroslovanija, Osijek

Autori: Đuro Hatić, dipl. ing.,
Zoran Kuljiš, dipl. ing.,
dr Dubravko Matanić, dipl. ing.,
Ratko Pećanić, dipl. ing.,
Florijan Rigler, dipl. ing.,
Cvjetko Rus, dipl. ing.

Ovim radom napravljena je analiza uzroka havarije magistralnog parovoda PTE Osijek. Ovakav rad zahtijevao je osim pregleda izvedbene dokumentacije i analizu uzoraka nosivih stupova, naknadne proračune, rekonstrukciju događaja nakon havarije i niz ekspertiza koji su poslužili za utvrđivanje člnjениčnog stanja i prijedloga za sanaciju nastale štete.

Opseg: oko 100 stranica teksta i proračuna.

Vodna stepenica Moslavina na rijeci Dravi Idejno rješenje HE - Moslavina

Naručitelj: Elektroslovanija, Osijek

Autori: Slavko Alerić, dipl. ing.,
Stanko Drempetić, dipl. ing.,
Đuro Hatić, dipl. ing.,
Nedjeljko Šimundić, dipl. ing.,
dr Božo Udovičić, dipl. ing.

U pet knjiga obrađeno je energetska rješenje, a uz to je dan osvrt na osnovnu koncepciju višenamjenskog rješenja.

Opseg: 320 str. teksta s proračunima, 80 priloga (nacrti) i 294 str. dokumentacijskog priloga (protokol elektroničkog računalna).

Vodna stepenica Osijek na rijeci Dravi Idejno rješenje HE - Osijek

Naručitelj: Elektroslovanija, Osijek

Autori: Slavko Alerić, dipl. ing.,
Stanko Drempetić, dipl. ing.,
Đuro Hatić, dipl. ing.,
Nedjeljko Šimundić, dipl. ing.,
dr Božo Udovičić, dipl. ing.

U četiri knjige obrađeno je energetska rješenje, a uz to je dan kratak osvrt na osnovnu koncepciju višenamjenskog rješenja.

Opseg: 250 str. teksta s proračunima, 60 priloga (nacrti).

Konzultantski poslovi

Naručitelj: Elektroslavonija, Osijek

Voditelj poslova: Đuro Hatić, dipl. ing.

Suradnja Instituta s »Elektroslavonijom« — Osijek razvijena je u području termoelektričnih postrojenja i korištenja toplinske energije.

U 1977. godini Institut je s »Elektroslavonijom« započeo suradnju na poslovima perspektivnog razvoja višenamjenskog korištenja potencijala voda rijeke Drave i poriječja na dijelu njezina donjeg toka. Ovi radovi obuhvaćaju široku lepezu istraživanja, studiranja i planiranja vodnih resursa, od čega Institut jedan dio obrađuje samostalno, a u dijelu aktivnosti je konzultant »Elektroslavonije«.

Pogranični položaj rijeke Drave na dionici donje Drave prema Mađarskoj pretpostavlja zajedničko korištenje vodnog blaga. Institut sudjeluje u suradnji između dvije države na ovom području.

Naručitelj: »Elektroprivreda« Zagreb, OOUR
TE Sisak

Voditelj poslova: dr Dubravko Matanić, dipl. ing.

Dugogodišnja suradnja Instituta i Elektroprivrede Zagreb, OOUR TE Sisak rezultirala je u toku 1977. godine potpisivanjem Samoupravnog sporazuma o petogodišnjoj tehničkoj suradnji između ovih organizacija na zajedničkom rješavanju pogonske eksploatacije i razvojne problematike TE Sisak. Jedan od najznačajnijih zadataka koji će se u okviru Sporazuma rješavati jest snižavanje tehničkog minimuma blokova TE Sisak, i to u I fazi na 50 %, u II fazi na 30 % nominalnog opterećenja. Na rješavanju problematike cirkulacije kroz generator pare predviđa se i tehnička suradnja sa sovjetskim partnerima, dok se za rješavanje problematike loženja predviđa angažiranje prvenstveno domaćih stručnjaka i proizvođača opreme. Značajna pažnja posvetit će se i problematici niskotemperaturne korozije primjenom aditiva Coalrol i Mc-7. Djelotvornost primjene navedenih aditiva i ispitivanja vezana za njihovu primjenu utvrđena je posebnim mjerenjima koja je u okviru međusobne tehničke suradnje obavio Institut čiji angažman će se nastaviti i u budućnosti.

Radovi na planiranju i praćenju izvršenja radova na izgradnji NE Krško

Naručitelj: Nuklearna elektrana Krško — u izgradnji

Izvršilac: Zoran Selanec, dipl. ing.

U okviru radova na planiranju i praćenju izvršavanja radova na izgradnji NE Krško obavljaju se radovi na gantogramskom planiranju i praćenju izvršenja radova, te prilagođavanju i analizi osnovne logike mrežnog dijagrama izgradnje NE Krško, praćenju i aktualiziranju mrežnog plana i analiziranju kompjutorskih izvještaja obrade mrežnog plana. Ovi radovi se obavljaju radi određivanja kritičkih aktivnosti u daljem toku izgradnje, utvrđivanju njihova utjecaja na rok završetka elektrane, potrebnim korektivnim akcijama za skraćivanje roka, te radi razgraničenja odgovornosti za zakašnjenje puštanja elektrane u redovni pogon.

Radovi na tehničko tehnološkom nadzoru i osiguranju kvalitete izrade i montaže strojarske opreme za TE-TO

Naručitelj: Elektroprivreda Rijeka,
OOUR Kvarnerske elektrane

Izvršioци: Vladimir Bradač, dipl. ing.,
Mijo Martinko, dipl. ing.

U okviru poslova na nadzoru i osiguranju kvalitete strojarske opreme za TE-TO Rijeka ostvareni su prvi kontakti i razgovori s glavnim isporučiocima opreme u vezi definiranja programa kontrola i osiguranja kvalitete opreme u toku proizvodnje. Također su obavljene i prve kontrole u fazi proizvodnje opreme.

Osiguranje kvalitete strojarske opreme za NE Krško

Naručitelj: Nuklearna elektrana Krško — u izgradnji

Izvršioци: Zoran Kuljiš, dipl. ing.,
Vladimir Bradač, dipl. ing.,
Hrvoje Štingl, dipl. ing.,
Mijo Martinko, dipl. ing.

Radovi na osiguranju kvalitete strojarske opreme za NE Krško započeti su definiranjem i komentiranjem programa za osiguranje kvalitete po uzoru na američki model osiguranja kvalitete koji je definiran ugovorom. U okviru navedenih poslova, osim definiranja zahtjeva za osiguranje kvaliteta opreme, obavljena je kontrola proizvodnje opreme za NE Krško kod isporučilaca opreme u SAD i Jugoslaviji, a također se obavlja i kontrola ugradnje opreme na gradilištu te pregled atestne dokumentacije. Prema potrebi se poduzimaju korektivne akcije kako bi se stanje opreme dovelo u sklad s primjenjivom tehničkom regulativom.

Program osiguranja kvalitete ima svrhu da se postigne odgovarajuća kvaliteta opreme i radova kako bi se dobila sigurna i pouzdana nuklearna elektrana, a prikupljeni dokazi o kvaliteti opreme i radova treba da posluže za izdavanje uporabne dozvole za objekt, a ujedno da predstavljaju dobru osnovu za što lakše i svrsishodnije održavanje elektrane u pogonu.

Osiguranje kvalitete izrade strojarske opreme za HE Čakovec

Naručitelj: RZ HE Čakovec

Izvršioци: Mijo Martinko, dipl. ing.,
Zoran Kuljiš, dipl. ing.,
Vladimir Bradač, dipl. ing.

U toku 1978. god. započete su aktivnosti Instituta na poslovima osiguranja kvalitete izrade strojarske opreme za HE Čakovec.

U okviru ugovornih obveza Institut za elektroprivredu je provodio konzultantske poslove kojima su bile obuhvaćene ove aktivnosti:

— prikupljanje referentne njemačke, francuske i jugoslavenske tehničke regulative prema kojoj je definirana kvaliteta poluproizvoda, izrada i montaža strojarske opreme za HE Čakovec,

— usporedba francuskih i njemačkih nacionalnih standarda s jugoslavenskom tehničkom regulativom i internim tvorničkim propisima domaćih isporučilaca opreme,

— komentiranje i davanje završne stručne ocjene o usklađenosti metoda ispitivanja, operatorskog kadra, tehnologije izrade i montaže, kriterija ocjenjivanja i kvantitativno-kvalitativnoj usklađenosti programa kontrole kvalitete radi osiguranja tehnoloških konstrukcija opreme domaćih i stranih isporučilaca,

— konzultantski poslovi oko definiranja i izrade programa kontrole kvalitete izrade dva trofazna sinhrona cijevna generatora tipa RV 504—186 Alsthom, 42 MVA, 125 %/min, 50 Hz koje izrađuju domaći i strani isporučioци,

— terminsko praćenje odvijanja aktivnosti izrade dokumentacije i opreme prema postojećim gantogramima,

Aktivnosti na utvrđivanju gotovosti radova i funkcionalnom ispitivanju rotacionih strojeva u TE-TO Zagreb

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb,
OOUR TE-TO Zagreb

Izvršilac: Vladimir Bradač, dipl. ing.

U okviru radova na aktivnosti utvrđivanja gotovosti radova i funkcionalnih ispitivanja rotacionih strojeva u TE-TO Zagreb vršena su preuzimanja montažnih radova po čvorovima i to:

- gotovost građevinskih radova,
 - gotovost strojarskih radova,
 - gotovost električarskih radova,
 - gotovost radova regulacije i mjerenja,
- te obavljena funkcionalna ispitivanja rotacionih strojeva.

Funkcionalna ispitivanja rotacionih strojeva izvođena su radi provjere funkcionalnosti opreme i početnog stanja opreme pri upuštanju (kao što su vibracije, temperatura ležaja, hidraulički parametri i sl.).

Ovako dobiveni podaci osim osnovne svrhe dokazivanja kvalitete montaže i funkcionalnosti opreme daju i sliku o stanju opreme pred ulazak u probni pogon elektrane.

- komentiranje i dopunjavanje podnarudžbi za pojedine strojarske komponente.

Osim općih konzultantskih poslova započeto je i kontinuirano praćenje izrade dijelova poluproizvoda i finalno obrađenih komponentata, te preuzimanje opreme u zemlji i inozemstvu. Kako je izrada strojarske opreme započela u drugoj polovini 1978. god. Institut će glavni dio svojih aktivnosti provoditi u 1979. god., kada je predviđeno da se osiguranjem kvalitete obuhvati:

- izrada i montaža u sklop trofaznog sinhronog cijevnog generatora,
- izrada i montaža u sklop cijevnog asinhronog generatora za biološku izmjenu (1,3 MVA),
- izrada strojarskog dijela komponentata transformatora,
- ostala pomoćna i dodatna oprema (pumpe, sistem ulja za podmazivanje, ventilatori itd.).

Primopredajna ispitivanja kotlova na otpadnu toplinu kapaciteta 58 t/ u TE Jertovec

Naručitelj: Elektroprivreda, Zagreb,
OOUR TE Jertovec

Autor: Stjepan Ivančić, dipl. ing. sa suradnicima

Ispitivanja su provedena radi provjere ugovorom garantiranih vrijednosti za kapacitet i temperaturu pare, a pri uvjetima pogona kotlova koji odgovaraju garantnim uvjetima, tj. pri pogonu plinske turbine s temeljnim opterećenjem. U okviru primopredajnih garantnih ispitivanja provedena su i informativna ispitivanja kotlova pri pogonu plinske turbine s djelomičnim opterećenjem, radi utvrđivanja ovisnosti količine i temperature proizvedene pare od opterećenja plinske turbine.

Opseg: oko 70 stranica teksta, slika i dijagrama, te priloga proračuna.

Kompleksna normativna ispitivanja PTA u TE Jertovec

Naručitelj: Elektroprivreda, Zagreb,
OOUR TE Jertovec

Autor: Stjepan Ivančić, dipl. ing.
sa suradnicima

U toku 1978. god. provedena su kompleksna normativna ispitivanja PTA s kotlovima na otpadnu toplinu vezana s postojećom parnom turbinom u tzv. kombi-pogon. Ispiti-

vanja su provedena da se mjerno odrede tehničke karakteristike postrojenja, i da se na bazi mjerenjem utvrđenih karakteristika utvrde normativni potrošci topline i vlastiti potrošci električne energije ispitivanog postrojenja.

Ispitivanja su provedena pri četirma opterećenjima plinske turbine, pri čemu:

- maksimalno opterećenje odgovara temeljnom opterećenju turbine,
- a minimalno opterećenje određeno je tako da je temperatura pare na ulazu u parnu turbinu iznosila oko 400° C, što predstavlja donju granicu za normalan pogon parne turbine.

Utvrđivanje energetske karakteristike i normativa bloka V u TE Tuzla

Naručitelj: TE Tuzla

Autori: Stjepan Ivančić, dipl. ing. sa suradnicima

Prethodna ispitivanja i proračuni pokazali su neke manjkavosti u radu bloka V u TE Tuzla, koji su se iskazivali u povećanom specifičnom potrošku topline, pa je nakon toga obavljena rekonstrukcija na postrojenju radi otklanjanja utvrđenih nedostataka.

Zbog toga je u toku 1978. god. pristupljeno ponovnim ispitivanjima da se utvrde energetske karakteristike bloka i normativni potrošci topline i vlastiti potrošak električne energije.

Bilanciranja koja su se u vezi s tim provodila osnovana su na kompleksnom praćenju svih energetske zbivanja u bloku.

Potrošak topline utvrđivan je upotrebom energetske karakteristike na bazi rezultata mjerenja provedenih specijalno za tu svrhu.

Ovakav elaborat daje podlogu za realno i na mjerenju zasnovano bilanciranje i sadrži analizu energetske rada bloka, te ujedno omogućava lokaliziranje i otkrivanje gubitaka, nakon čega je moguće utjecati na njihovo smanjenje, što u krajnjoj liniji pridonosi poboljšanju energetsko-ekonomskom poslovanju postrojenja.

Opseg: oko 100 stranica teksta, dijagrama, te prilog proračuna na elektroničkom računalu.

Ostali radovi

Naručitelji: razni

Autori: kolektiv studijske jedinice

Na zahtjev elektroprivrednih i drugih organizacija obavljene su u toku 1978. god. razne aktivnosti od kojih se navode neke opsežnijeg karaktera:

- garantna ispitivanja vrelovodnog kotla VKL-50 u EL-TO Zagreb,
- kontrola izgaranja u ložištima većim od 1 Gcal/h obavljena na temelju rješenja Sekretarijata za zdravstvenu zaštitu grada Zagreba, broj 07-524/2-74 od 10. 4. 1974. izdanog na temelju člana 7. Odluke o mjerama za zaštitu zraka od zagađivanja produktima izgaranja,
- nadzor nad izvođenjem izolacije na cjevovodima i opremi NE Krško,
- niz ispitivanja i mjerenja manjeg opsega na energetskim objektima radi provjere garantiranih veličina od isporučioaca opreme ili radi poboljšanja ekonomije postrojenja.

ZAVOD ZA VISOKI NAPON I JAKU STRUJU

1. Studija zaštite zgrade pogonskog osoblja u TS 380/110 V Ernestinovo

Naručitelj: Elektroslavonija, Osijek

Autor: Josip Kučak, dipl. ing.

Rad obuhvaća analizu mogućih električnih utjecaja TS 380/110 kV Ernestinovo na grupu stambenih objekata pogonskog osoblja, odgovarajuća tehnička rješenja s obzirom na uzemljivač predmetnih objekata, njihovu gromobransku zaštitu, elektroenergetsko napajanje, uvođenje telefonske i signalne veze iz TS Ernestinovo te priključak vodovoda i kanalizacije.

Opseg: 20 stranica, 4 crteža.

2. Studija praćenja stanja izolacionog ulja u energetskim transformatorima

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Radna zajednica Zagreb

Autori: Blaž Uzelac, dipl. ing.,
Josip Kučak, dipl. ing.

Studija prikazuje kako je značajno da se prati starenje izolacionog ulja u energetskim transformatorima, o čemu ovisi pravilan rad transformatora u pogonu te njegova životna dob. Dan je prikaz novih izolacionih ulja, metoda ispitivanja i analize mehaničkih, kemijskih i električnih svojstava. Akcent je na održavanju i kontroli izolacionih ulja u pogonu, kvarenju ulja i preporukama za ispitivanje. Prikazane su glavne razlike između JUS-ovih i IEC propisa o ispitivanju izolacionih ulja.

Opseg: 70 stranica, 4 slike.

3. Smjernice za ispitivanje i preuzimanje 110 kV opreme rasklopnih postrojenja

Naručitelj: Elektra, Sisak

Autor: Josip Kučak, dipl. ing.

Rad naglašava značenje kontrolnih i primopredajnih ispitivanja 110 kV — opreme — prekidača snage, rastavljača, izolatora, potpornih, provodnih i za dalekovode, odvodnika prenapona, mjernih naponskih i strujnih transformatora te energetskih transformatora.

Sva analiza kontrolnih ispitivanja i dodatnih ispitivanja u tvornici proizvođača elektroopreme dana je u skladu sa JUS-ovim odnoso IEC propisima.

Opseg: 121 stranica.

4. Primjena kabela AXHS 12/20 kV za napajanje RTV-objekta na Biokovu

Naručitelj: RTV Zagreb

Autor: Josip Mužny, dipl. ing.

S obzirom na starost postojećeg kablenskog voda (oko 15 g) i potrebe povećanja priključne snage RTV i drugih objekata na Biokovu, te prijelaza TS Makarska 35/10 kV na 35/20 kV, nametnula se potreba zamjene postojećeg kabela nazivnog napona 10 kV, novim kabelom nazivnog napona 12/20 kV. S obzirom na veliku ugroženost kablenskog voda od atmosferskih pražnjenja razrađena je nova konstrukcija kabela (AXHS 12/20 kV) otporna na struje groma veće i od 400 kA. Kako je kablenski vod dug oko 9 km, s novom konstrukcijom kabela otpada nužnost ugradnje odvodnika prenapona u trasu kabela. Prema tome, upotrebom nove konstrukcije kabela povećava se pogonska sigurnost i pojednostavljuje održavanje kablenskog voda.

Opseg 17 stranica i 7 nacrti.

5. Ovisnost unutarnjih prenapona u razdjelnim mrežama o načinu uzemljenja zvjezdista i o drugim utjecajima

Naručitelj: Elektra, Sisak

Autor: dr Ivo Hrs, dipl. ing.

Dovršeno u prosincu 1978.

Uz prijelaz razdjelnih mreža Elektre, Sisak na pogon s uzemljenjem zvjezdista preko djelatnog otpora male vrijednosti analizirane su dobiti takvog pogonskog sistema. Prikazani su rezultati ispitivanja prenapona u različitim 35 kV mrežama kod namjernih kvarova i isklapanja kvarova, pri čemu su jednom te mreže bile s izoliranim zvjezdištem, a drugi put sa zvjezdištem uzemljenim preko djelatnih otpora različitih malih vrijednosti.

Velik broj dobivenih rezultata podvrgnut je nadalje opsežnom statističkom promatranju u okviru kojeg su istraživani različiti utjecaji na prenapone nastale kod kvarova i isklapanja kvarova: način uzemljenja zvjezdista, oblik kvara, udaljenost kvara, veličina i vrsta mreže, momentalna vrijednost napona u trenutku kvara, veličina otpora u zvjezdistu i kvaliteta sklopke kojom se isklapa kvar.

Na temelju provedenih ispitivanja i analiza moglo se zaključiti o značajnom doprinosu otpornog uzemljenja zvjezdista, sniženju napona i povećanju pogonske sigurnosti razdjelnih mreža, te su dane smjernice za otporno uzemljivanje mreža Elektre, Sisak.

Opseg: 99 stranica, 112 slika, 27 tablica.

6. Prenaponska zaštita napajanja vojnog objekta

Autori: Josip Mužny, dipl. ing.,

dr Ivo Hrs, dipl. ing.

Dovršeno u lipnju 1978.

U okviru rješavanja prenaponske zaštite jednog specijalnog objekta, osobito ugroženog od atmosferskih pražnjenja, istraživane su razne mogućnosti zaštite 10 kV napajanja, koje je tipa nadzemni vod-kabel. Pri tome su najprije obavljena različita mjerenja karakteristika tla u točki prijelaza nadzemni vod-kabel duž kablenske trase i na kraju kabela, te drugih karakteristika odlučnih za dimenzioniranje prenaponske zaštite.

Odlučeno je da se postojeći kabel 10 kV zamijeni novim, čije karakteristike odgovaraju analiziranom nivou očekivanih prenaponskih smetnji. Određene su nadalje karakteristike osnovne prenaponske zaštite u točki prijelaza nadzemni vod-kabel upute za način montaže i za izvedbu uzemljivača odvodnika prenapona, te dodatne zaštitne mjere na nadzemnomvodu i duž kablenske trase. Konačno su dane smjernice za izvedbu prijelaza nadzemnog voda u kabel.

Opseg: 23 stranice, 10 slika.

7. Ispitivanje rada prenapona zaštite rasklopnog postrojenja TE-TO Zagreb

Naručitelj: Termoelektrana-Toplana, Zagreb

Autor: dr Ivo Hrs, dipl. ing.

Dovršeno u lipnju 1978.

Analizirani su nivoi mogućih prenaponskih smetnji u postrojenjima 110 kV i 30 kV Termoelektrane-Toplane, Zagreb, za normalna i iznimna uklopna stanja priključenih nadzemnih vodova i kabela, i za njihov izolacioni nivo, te je ocijenjena usklađenost očekivanih prenaponskih smetnji s izolacionim nivoom opreme.

Na temelju provedene analize izabran je sistem prenaponske zaštite postrojenja 110 kV i 30 kV, te je dano detaljno rješenje prenaponske zaštite, u okviru kojeg su određene karakteristike zaštitnih aparata, izabrani odgovarajući tipovi odvodnika prenapona i određeno mjesto i način njihove montaže.

Opseg: 14 stranica, 3 tablice, 3 slike.

Razni radovi

Naručitelji: razni

Autori: Kolektiv studijske jedinice

Na zahtjev elektroprivrednih i drugih organizacija vršena su u toku 1978. godine ispitivanja elektroenergetske opreme. Značajni su radovi na tom području:

— primopredajna ispitivanja elektroopreme za TS 380/220 kV Melina (prekidača, rastavljača, mjernih naponskih i strujnih transformatora, potpornih izolatora) i energetske transformatora.

— kompletno ispitivanje centrale s trafostanicama 10/0,4 kV. Energetski transformatori, ispitivanje izolacije te trafo- ulja. Razvod 10 kV i 0,4 kV, cjelokupan pregled s ispitivanjima. Relejna zaštita mjerenja prorađanih strujnih i vremenskih veličina. Mjerni transformatori, naponski i strujni. Mjerni instrumenti; voltmetri i ampermetri. Kodenzatorske baterije. Kabeli 10 i 0,4 kV. Električna centrala. Uzemljenje kompletnog postrojenja 10/0,4 kV. Gromobranske zaštite.

Nakon svake od navedenih točaka dana je analiza stanja i prijedlog za pravilan i ispravan rad u smislu tehničkih propisa.

— Ispitivanja i mjerenja na odašiljačima RTV Zagreb: Učka, Biokovo, Buje, Labištica, Pula, Mirkovica, Hvar, Vidova gora, Plješevica, Kalnik, Lončarski vis, Borinci, Psunj, Tovarnik, Deanovac, Belje i Šubićeva, Zagreb.

Na svim RTV objektima mjereni su otpori uzemljenja naponi koraka i dodira, kontrola instalacija rasvjetnih stupova i gromobranske instalacije, analiza i prijedlog za sanaciju u skladu s tehničkim propisima.

Ispitivanje kabela

Da bi se odredila kvaliteta i karakteristične konstante, ispitivani su kabeli.

Mjerena su svojstva izolacije izmjeničnim, istosmjernim i udarnim naponima, kao i dielektrički gubici. Rezultati mjerenja poslužit će za usporedbu različitih konstrukcija i izvedbe kabela.

Uz ispitivanje u proizvodnji i na novim kabelima obavljena su ispitivanja kabela nakon polaganja.

Važnost takvih ispitivanja je velika, jer se pravodobno mogu otkriti pogreške učinjene prilikom polaganja i izbjeći kasniji prekidi pogona.

Ispitivane su kabeleske glave i spojnice. Ispitivanja su obuhvatila naponska ispitivanja izmjeničnim i udarnim naponima, kao i nepropusnost na mjestima brtvljenja. Također su ispitivane kabeleske 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. Zbog toga su nužna 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.

Ispitivanje i atestiranje zaštitnih sredstava

Prema propisima JUS-a moraju se gumene rukavice i gumene čizme za električara ispitivati svakih šest mjeseci, a ako su neupotrijebljene na skladištu, svakih 12 mjeseci. Sva ta zaštitna sredstva koja su zadovoljila atestiranja su u našem laboratoriju. Također su ispitivane i atestirane izolacijske rasklopne motke i motke za uzemljenje, te izolacijske ploče kod rada u postrojenju pod naponom.

Ispitivanje električne opreme i materijala

Ispitivane su sklopke, priključni pribor, niskonaponski razvodni uređaji, kondenzatori snage, automatski regulatori, prekostrujni i diferencijalni releji, visokoučinski niskonaponski osigurači, izolatori, ovjesni materijal, stezaljke i dr. Ispitivani su i plastični materijali, razna ulja, kabeleske mase itd.

Ispitivanje prototipova opreme

Ispitivani su prototipovi neke opreme. Pri tome je bila osobito uspješna suradnja između Laboratorija i proizvođača jer se nije samo formalno upozorilo na nedostatke, nego su se davali i prijedlozi za njihovo otklanjanje sve dotle dok naknadna ispitivanja nisu pokazala da proizvod potpuno zadovoljava propise i naznačenu primjenu. Nakon toga naručitelj je od Instituta dobio atest za ispitivani proizvod.

Ispitivanje kvalitete

Obavljena su ispitivanja i atestiranja električnih štednjaka, bojlera i ostale opreme za široku potrošnju.

Ispitivanje odvodnika prenapona

Povremeno ispitivanje odvodnika prenapona obuhvaća kontrolu izmjeničnog i udarnog prorađanog napona.

Za ocjenu stanja odvodnika prenapona nužna su ispitivanja izmjeničnim i udarnim naponom, jer se na taj način može kontrolirati njegovo ponašanje u mreži pri pojavi prenapona.

Prilikom ovakvih ispitivanja odvajaju se dotrajali odvodnici prenapona koji ne bi više osigurali efikasnu zaštitu od prenapona ili bi mogli uzrokovati smetnje zbog nesposobnosti gašenja popratne struje.

Osim ispitivanja Laboratorij je u svojim radionicama izrađivao i uređaje za ispitivanje i mjerenje.

Uređaji za ispitivanje kabela IPKN-10

Ispitivanje ovim uređajima obavlja se istosmjernom strujom, što ima prednost, jer je uređaj lakši i pogodniji za pronalaženje eventualne pogreške u kabelu. Za što točnije ustanovljavanje mjesta pogreške potrebno je, naime, da na tom povrijeđenom mjestu bude što manji otpor izolacije, tj. što bolji spoj. To se postiže tzv. propaljivanjem kabela tako da se, pošto je ispitivanjem ili pak za vrijeme pogona ustanovljena pogreška u izolaciji kabela, s dovoljno jakom strujom i dovoljno visokim naponom propaljuje kabel dok se na povrijeđenom mjestu ne postigne karbonizirani spoj minimalnog otpora. Nakon toga nije teško odrediti mjesto pogreške bilo kojom poznatom metodom.

Prema tome, uređaj služi za ispitivanje izolacije kabela napona 10 kV nakon polaganja. Također omogućuje brzo i točno pronalaženje mjesta pogreške u kabelima bilo kojom od poznatih metoda, a može se upotrijebiti u granicama svojih karakteristika i u druge svrhe.

Uređaj za ispitivanje kabela IPKN-1

Ovaj uređaj namijenjen je ispitivanju kabela do 1 kV; u nekim slučajevima njime se mogu propaljivati i kabeli do 10 kV, a da prethodno nisu obrađivani visokonaponskim dijelom uređaja IPKN-10.

Uređaj IR-2S 50 A

Ovaj uređaj služi za ispitivanje i podešavanje sekundarnih neusmjerenih nadstrujnih releja i njihovih vremenskih članova. Proizvodi struju od 5, 15 i 50 A, čija se vrijednost može kontinuirano mijenjati. Može se koristiti i kao izvod reguliranog napona od 0 do 300 V.

Priključuje se na izmjenični napon 220 V.

Uređaj služi za regulaciju i mjerenje s dodatnim uređajima (IR-1000 A i IR-2000 A).

Uređaj IR-UZ

Ovaj uređaj služi za ispitivanje i podešavanje sekundarnih usmjerenih nadstrujnih, zemljospojnih i sličnih releja i njihovih vremenskih članova.

Uz dodatak IR-1000 i IR-2000 A mogu se obaviti primarna ispitivanja spomenutih releja. Fazni pomak između struje i napona može se grubo mijenjati po 60° induktivno i kapacitivno, a unutar grubih stupnjeva kontinuirano, te se na taj način može ustanoviti i osjetljivost releja pri faznim pomacima.

Uređaj se priključuje na trofaznu mrežu 380/220 V.

Uređaji IR-1000 A i IR-2000 A, i više

Ovi uređaji su dodatni uređaji IR-2 S to A i IR-UZ, pa imaju kontinuiranu regulaciju i mjerenje struja do 1000 A, 2000 A i više.

Nove knjige

H. SCHAEFER: ELEKTRISCHE KRAFTWERSTECHNIK

Izdavač-Springer Verlag Berlin-Heidelberg-New York, 1979, 131 strana, 94 slike. Broširano DM 52, US Dolara 28, 60

Materija o tehnici elektrana, kojom se bavi ova knjiga, vrlo je opširno obrađena u stručnoj literaturi sa svim detaljima u osnovama i konstrukciji. Pisac ove knjige, profesor na tehničkom sveučilištu u Münchenu nastojao je, međutim, dati studentima i praktičarima sažeto, ali zato sveukupno djelo koje sadrži teoretske osnove, objašnjava energetske karakteristike i djelovanje pojedinih komponenta u elektroenergetskom sistemu.

Knjiga ima 9 poglavlja. Počinje s uvodom, gdje je opisan razvoj interkonektiranog sistema i osnovni pojmovi elektroprivrede. Drugo poglavlje izlaže koncepcije i razvoj elektrana, treće se bavi generatorima, a četvrto transformatorima. U daljnjem poglavlju 5. govori se o razvodnim postrojenjima elektrane, u 6. o zaštitnim uređajima, a u 7. o regulaciji napona i jalove snage. Na kraju, u 8. poglavlju, bavi se regulacijom frekvencija-snaga, a 9. automatizacijom termoelektrana.

Knjiga se može preporučiti širokom krugu stručnjaka kao dobar izvor informacija o tehnici elektrana.

GRUPA AUTORA: HÜTTE, TASCHENBÜCHER DER TECHNIK, ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIK, BAND 1, MASCHINEN.

Izdavač: Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 29. izdanje 1978. 622 stranice, 456 slika, 73 tablice. Tvrdo ukočičeno, format 148×21. Cijena DM 128 ili US Dolara 70.40

U broju 11–12, Energije 1978. objavili smo izlaženje 2. sveska poznatog priručnika Hütte »Naprave«. Sada je izašao prvi svezak »Strojevi«, a u pripremi su još dva sveska: »Mreže« i »Primjena«.

U ovom 2. svesku ima ukupno 4 poglavlja:

1. Opće osnove
2. Osnove projektiranja i proračuna
3. Konstrukcija i karakteristične veličine električnih strojeva
4. Ispitivanje i nadzor pogona električnih strojeva.

Prvo poglavlje 1. sveska kojeg ćemo ovdje opisati, počinje s oznakama formula, veličinama i jedinicama, zatim je dan pregled DIN normi i VDE propisa. Nadalje su opisani magnetski i izolacioni materijali te materijali za vodiče i kontakte. U posljednjem se poglavlju govori o električnim mjerenjima. Na kraju ovog a i svih ostalih poglavlja naznačena je odgovarajuća stručna literatura i DIN norme i VDE propisi.

Drugo je poglavlje posvećeno električnim i mehaničkim proračunima potrebnim za projektiranje strojeva. Ovdje se tretiraju također problemi ugrijavanja i hlađenja, a na kraju je obrađen problem buke i smetnji od iskrenja.

U trećem je pak poglavlju iznesena konstrukcija, način rada i vladanje u pogonu pojedinih vrsta električnih strojeva. Obuhvaćeni su istosmjerni strojevi, sinhroni i asinhroni strojevi, mali motori, motori za električnu vuču te na koncu specijalni strojevi.

Posljednje, četvrto poglavlje, bavi se ispitivanjem i nadzorom pogona električnih strojeva. Obrađena su mjerenja za određivanje stanja izolacije, utvrđivanje reaktancije sinhronih strojeva, ispitivanja praznog hoda i kratkog spoja, opterećenja i ugrijavanja. Na kraju ovog poglavlja govori se o pogonskim pitanjima i održavanju strojeva.

Zbog sistematične i sažete obrade ovaj priručnik za električne strojeve može se preporučiti širokom krugu elektrotehničkih stručnjaka najrazličitijeg profila.

Prednost knjige je upravo u tome da je široka problematika električnih strojeva, osvijetljena sa svih aspekata sadržana pregledno na jednom mjestu.

OUR
ELEKTRA
ZADAR

U SASTAVU ELEKTRODALMACIJE – SPLIT

RADNE ORGANIZACIJE ZA DISTRIBUCIJU ELEKTRIČNE ENERGIJE

57 000 ZADAR, ul. JNA 8

Telefoni: 22-188 i 22-183

RADNA ORGANIZACIJA

ELKA

TVORNICA ELEKTRIČNIH KABELA ZAGREB, Šubićeva 38



PROIZVODNJA PODMORSKIH KABELA 20 i 35 kV U SURADNJI ELKA — PIRELLI

Proizvodnja podmorskih energetske kabela zah-
tijeva, zbog specifičnosti eksploatacije, vrhunsku
tehnologiju i rigorozna fazna završna ispitivanja.

Međutim izbor izolacija energetske podmorske
kabela na srednjem naponu nije velik. Danas se
proizvode u kombinaciji papir-ulje, odnosno etil-
enpropilenu (EPDM).

Dugogodišnje proizvodno i eksploatacijsko isku-
stvo tvornice PIRELLI i drugih poznatih svjetskih
proizvođača pokazalo je da EPDM ima svojstva
koja se traže od izolacije za energetske kabele sre-
dnjeg napona, kao što su npr.:

- otpornost na djelovanje vode,
- otpornost na pojavu »treeing« — efekta,
- otpornost na mehanička naprezanja,
- elastičnost
- vijek trajanja, i dr.

»Elka« ima u proizvodnji kabela izoliranih etilen-
propilenom dugogodišnje iskustvo, počevši od bro-
dskih 1 kV kabela, lokomotivskih 3 kV kabela, sve
do 10, 20 i 35 kV energetske kabela.

U suradnji s renomiranom tvornicom »Pirelli«,
»Elka« je pristupila realizaciji zajedničkog pro-
grama proizvodnje i polaganja podmorske kabe-
la za jadranske otoke, pa će u ovoj godini polagati
20 i 35 kV kabele u konstrukcijama 3 X 70 i
3 X 120 mm².

Umjesto da se pristupi spaja-
nju žila gotovog kabela i če-
lične armature na brodu pola-
gaču, uz pomoć stručnjaka in-
vestitora izabrali smo sigur-
niju i bolju varijantu. Žile će
se spajati kod použenja i tako
tvoriti neprekinutost žila i če-
lične armature. Razumljivo je
da se to nije moglo obaviti u
Zagrebu već u tvornici na
jadranskoj obali, u ovom slu-
čaju u Pirellijevoj tvornici u
Napulju, gdje će kabel biti do-
vršen i ukrcan na jugoslaven-
ski brod — polagač.

U proizvodnji spomenutih žila, kojih je proizve-
dono više od 100.000 m primijenjena je posebna
tehnologija proizvodnje, počevši od izrade speci-
jalne izolacione mase, pa do izoliranja u jedno-
vremenoj troslojnoj ekstruziji, što znači da se sva
tri sloja brizgaju istovremeno i to:

- prvi poluvodljivi sloj na vodiču,
- primarna izolacija,
- drugi poluvodljivi sloj preko izolacije.

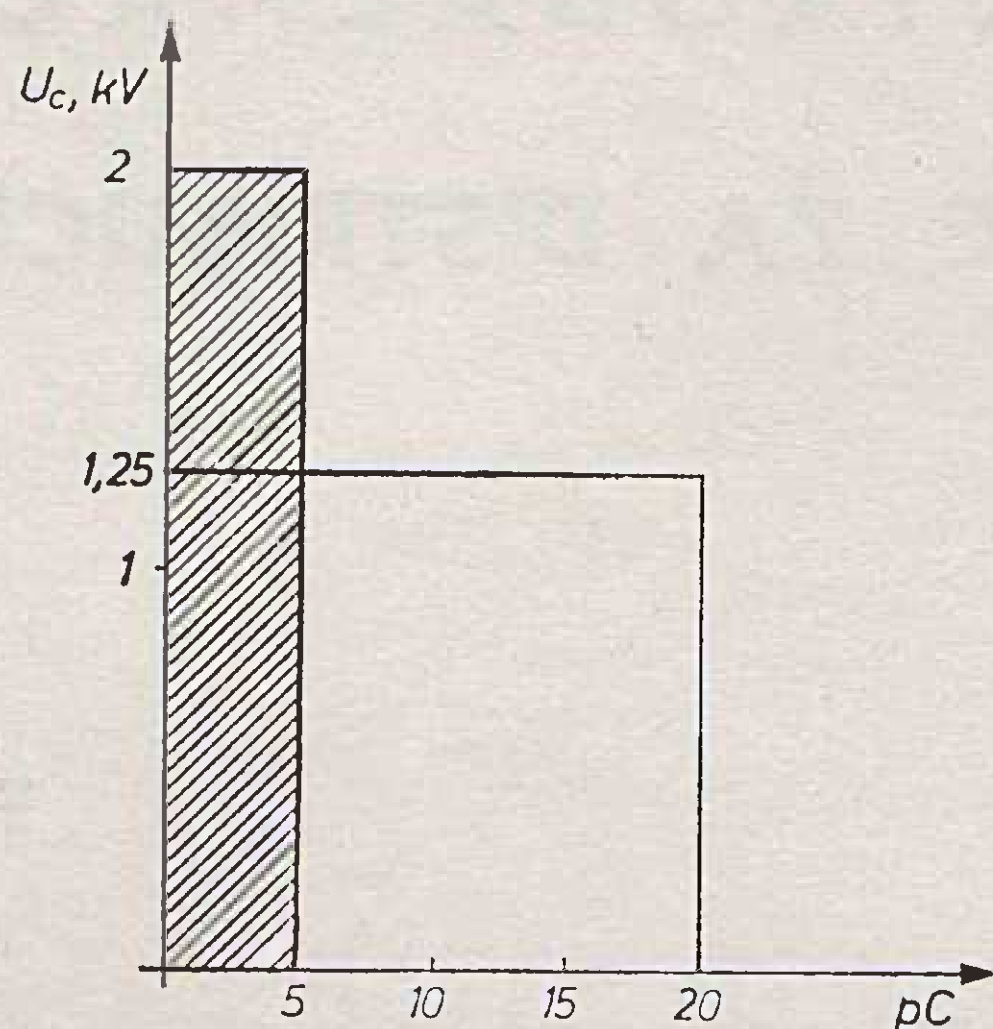
Ova tehnologija osigurava kvalitetan i čvrst spoj
između slojeva, te daje garanciju da u trajnom
radu kabela, pri cikličkom grijanju — hlađenju, ne
može doći do odvajanja slojeva, pojave parcijalnih
pražnjenja, te propadanja izolacije. Dakle, postiže
se maksimalna čistoća svih slojeva, a time i dugi
vijek trajanja kabela.

Svih 100% proizvedenih žila imalo je pri ispitiva-
nju parcijalnih izboja ispod 5 pC i to pri dvostru-
kom nazivnom naponu, (sl. 1).

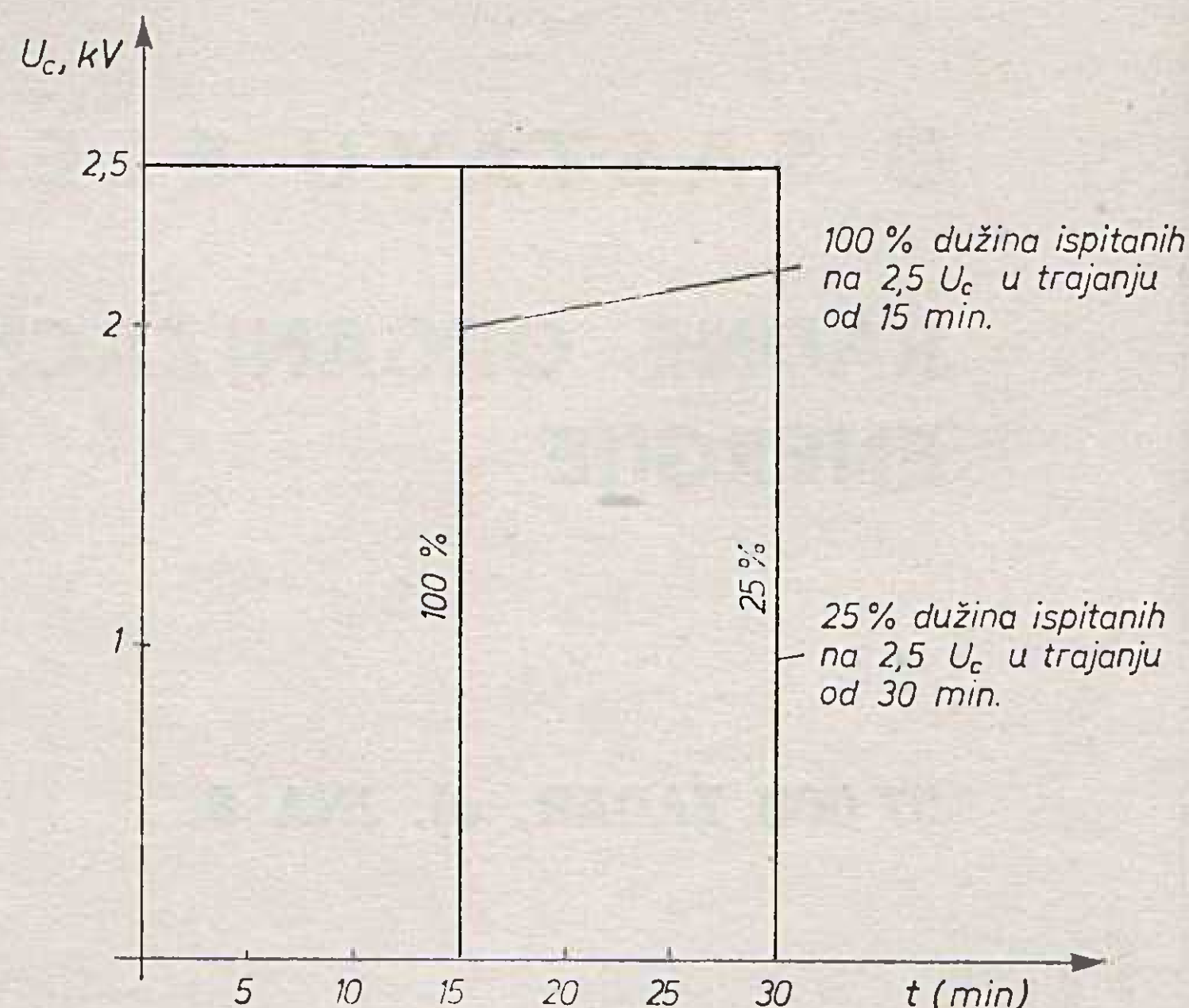
Svih 100% proizvedenih žila ispitano je na napon
2,5 U₀ u trajanju od 15 minuta, a 25% dužine je
dodatno ispitano na napon 2,5 U₀ u trajanju od
30 min radi provjere (sl. 2).

Sve ispitane žile prošle su test, tj. ni jedna dužina
nije probila, niti je odbačena zbog eventualno vi-
ših parcijalnih pražnjenja.

Ovi rezultati najbolje sami za sebe govore o razini
kvalitete žila podmorske kabela iz programa
ELKA — PIRELLI.



Sl. 1.



Sl. 2.

RADNA ORGANIZACIJA ZA AUTOMATIZACIJU I TEHNIKU MJERENJA U INDUSTRIJI INDUSTRIAL MEASUREMENT AND CONTROL ENGINEERING

41001 ZAGREB • HEINZELOVA 70A • TELEFON: 514-122 • TELEX: 21364 • POŠT. PRETINAC: 14

Radna organizacija ATM specijalizirana je organizacija za proizvodnju, projektiranje, montažu i održavanje postrojenja mjerno-regulacijske tehnike i automatike u industriji.

U toj tehničkoj grani jedna je od najvećih radnih organizacija takve vrste u Jugoslaviji.

PROJEKTIRA, MONTIRA I SERVISIRA:

postrojenja, mjerno-regulacijske tehnike i automatike na području termoeenergetike, obojene i crne metalurgije, petrokemije, industrije građevinskog materijala, industrije termotehničkih uređaja i prehrambene industrije.

PROIZVODI:

opremu za temperaturna mjerenja; opremu za mjerenja porotoka pare, vode i plinova; opremu za mjerenja regulaciju i signalizaciju nivoa; elektronske regulatore i pretvarače, servomotore, regulacijske ventile, redukciono-rashladne stanice i više mjerenih i elektronskih instrumenata za potrebe mjerenja i regulacije.

ATM enterprise (for Industrial Measurement and Control Engineering) is an organization specialized for production, projecting, installation and maintaining equipment of the measure-regulating technic and automation in industry.

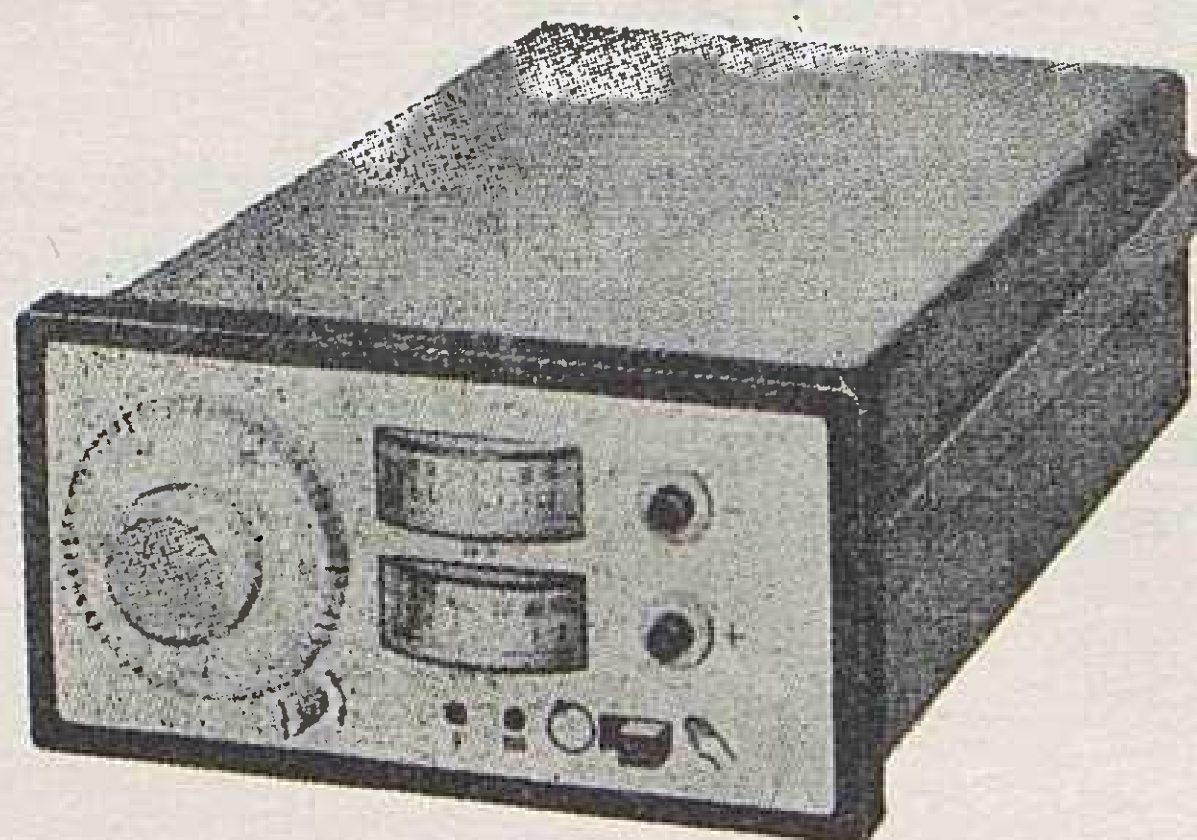
PROJECTS, INSALS and SERVICES:

installation of measure-regulating technic and automation in the field of thermoenergetics, coloured and black metallurgy, petrochemistry, industry of building material, industry of thermotechnical instruments and food industry.

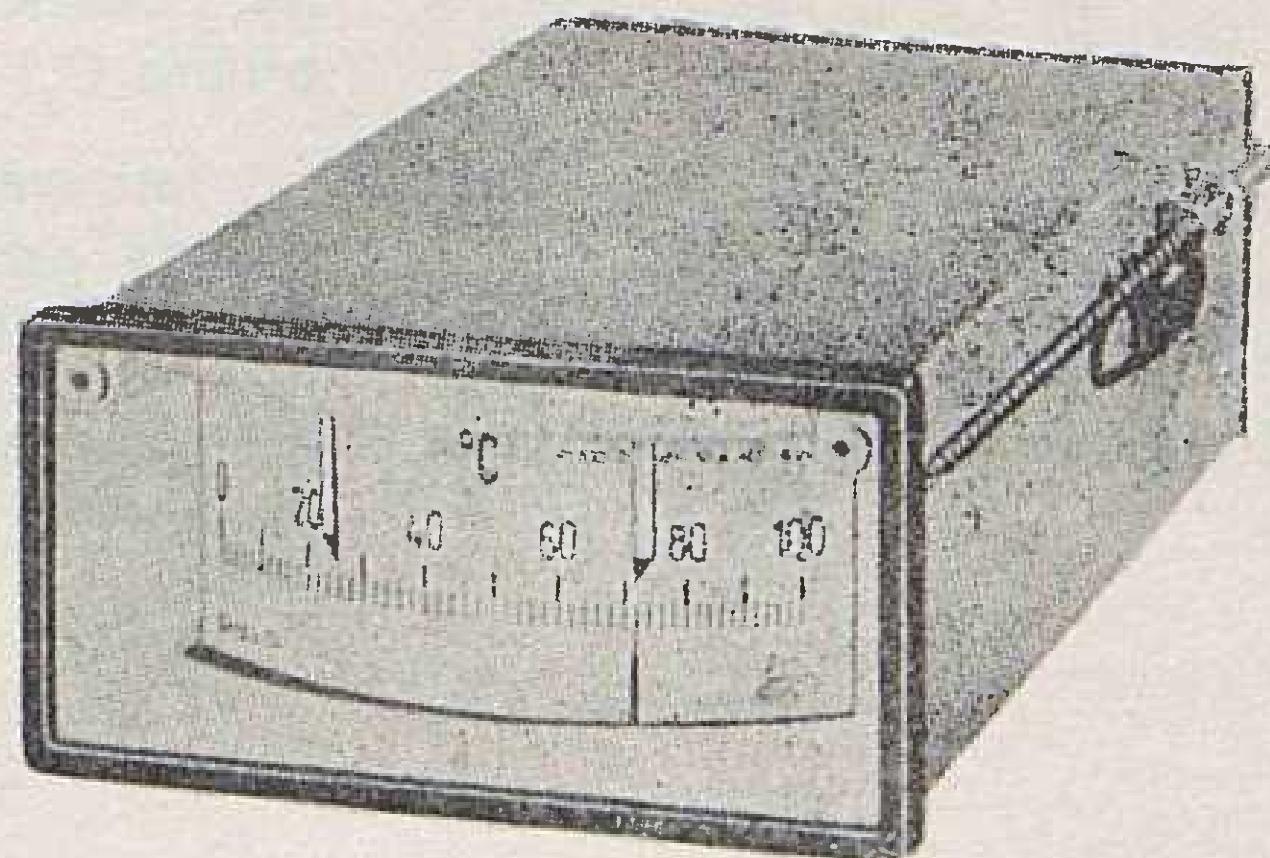
PRODUCES:

equipment for measurement of temperature equipment for measurement of flow of vapour, water and gas; instrument for measurement, regulation and signalization of levels; electronic controllers and transmuters, servomotors, regulating valves, reduction-cooling stations and many other measuring and electronic instruments aimed to measurement and regulation.

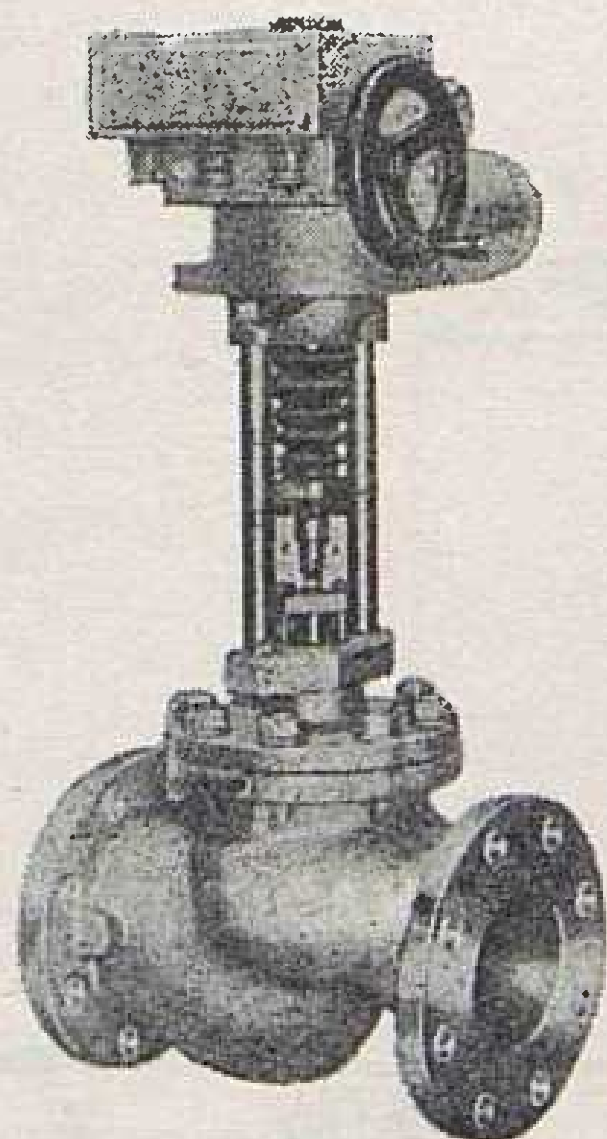
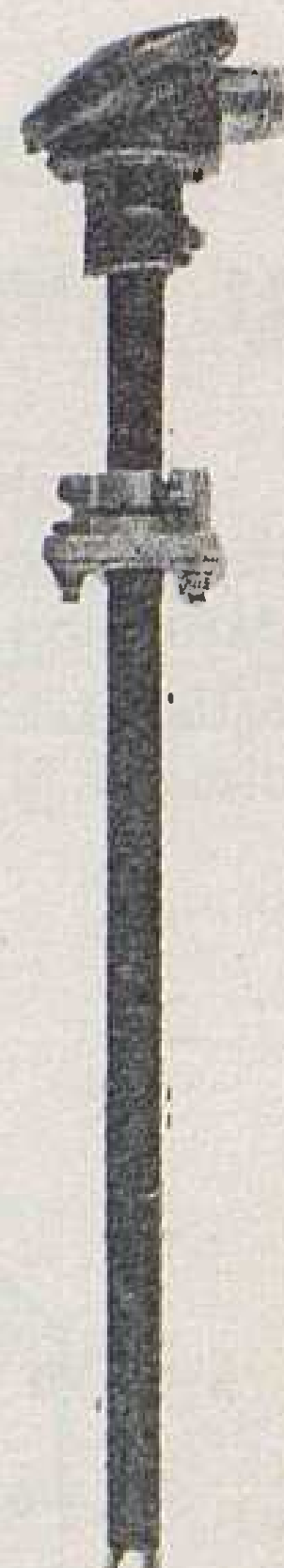
PREDSTAVLJAMO VAM NEKE OD NAŠIH PROIZVODA WE PRESENT SOME OF OUR PRODUCTS



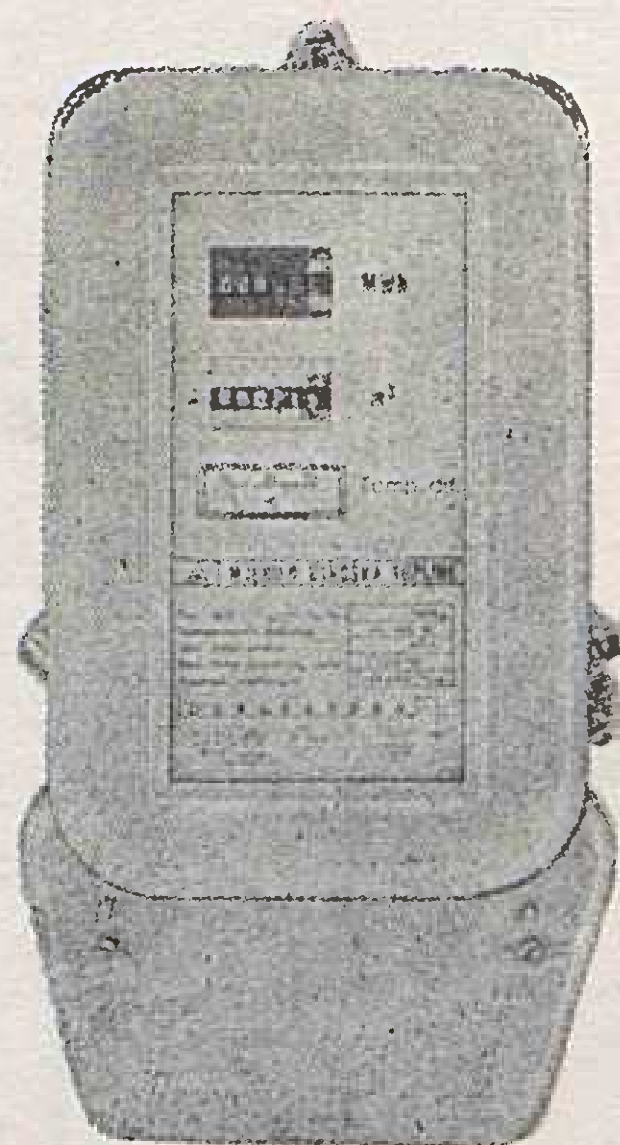
Regulatori, pokazni i registracioni instrumenti
Controllers, Indicators and registration instruments



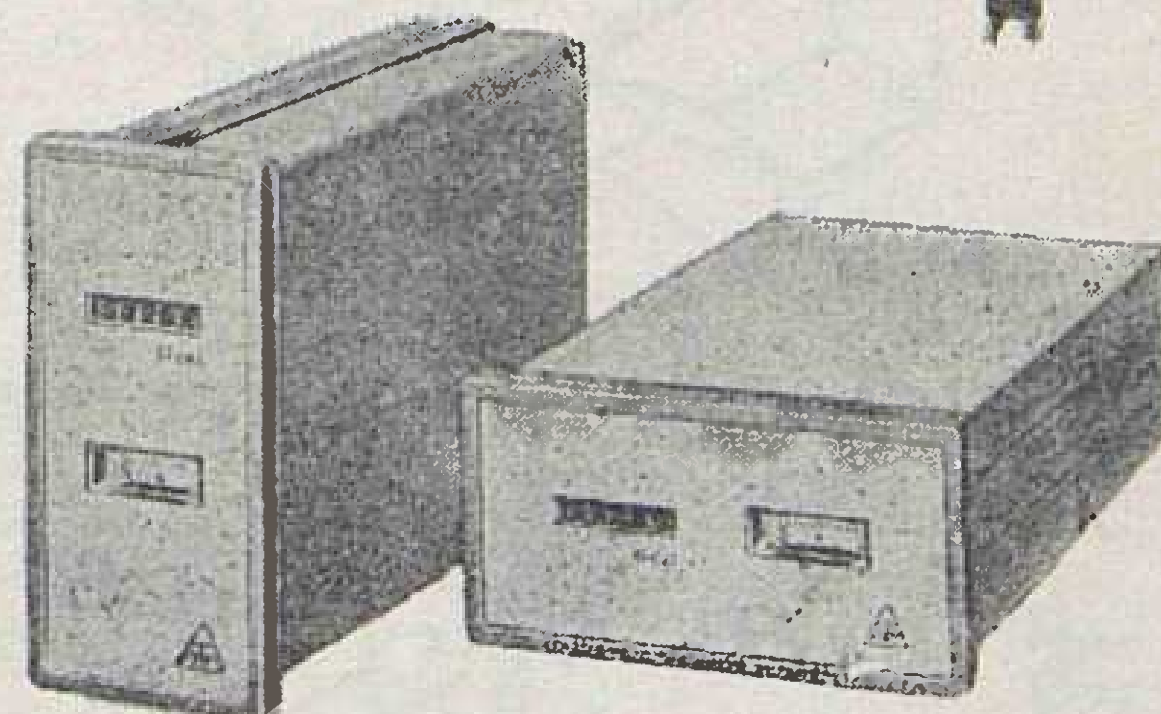
Termoelementi i otporni termometri
Thermocouples and resistance thermometers



Regulacioni ventili
Control valves



Mjerila toplinske energije
Heat consumption meters



Elektronski pretvarači i integratori
Electronic transmuters and integrators

ATM - ZAGREB - ATM - ZAGREB - ATM - ZAGREB - ATM - ZAGREB - ATM - ZAGREB



R A D E
KONČAR

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

Uvod

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

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

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

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

Automatsko odvajanje voda u kvaru

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

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

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

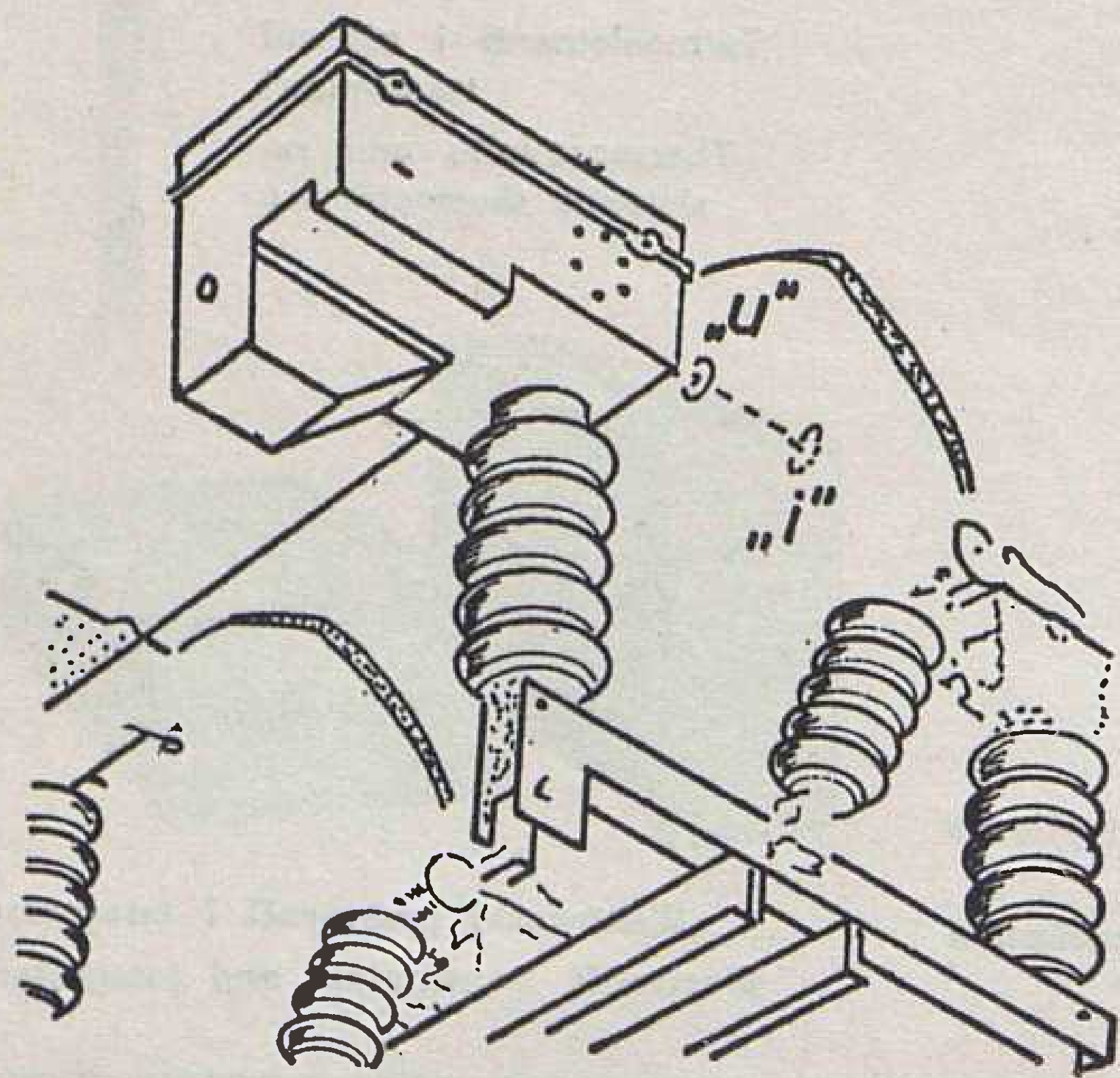
Primjenom ovog uređaja, omogućeno je veoma brzo odvajanje voda u kvaru, čime se osigurava nesmetana opskrba potrošača priključenih na druge krajnje vodove u promatranom konzumnom području.

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

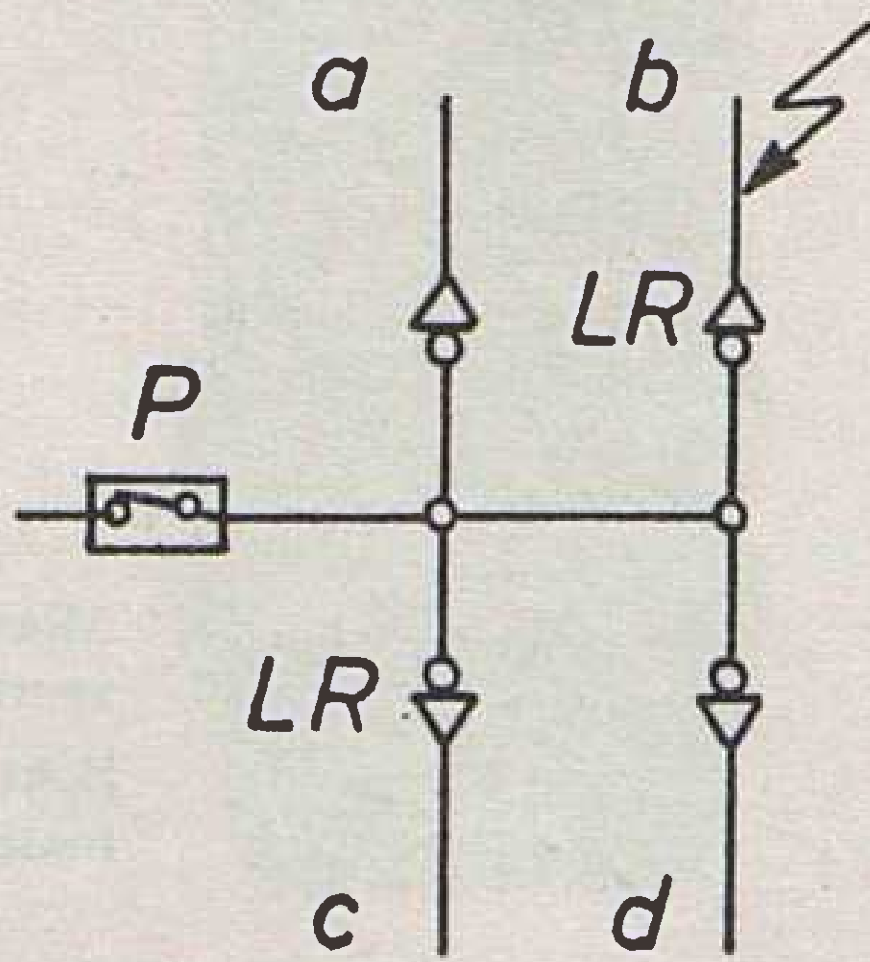
U slučaju pojave kvara na vodu (b), struja kratkog spoja I_k aktivira zaštitu prekidača (P), ugrađenog u TS na početku glavnog voda, koji prekida struju I_k za približno 0,1 — 0,2 sek. od njezinog nastanka.

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

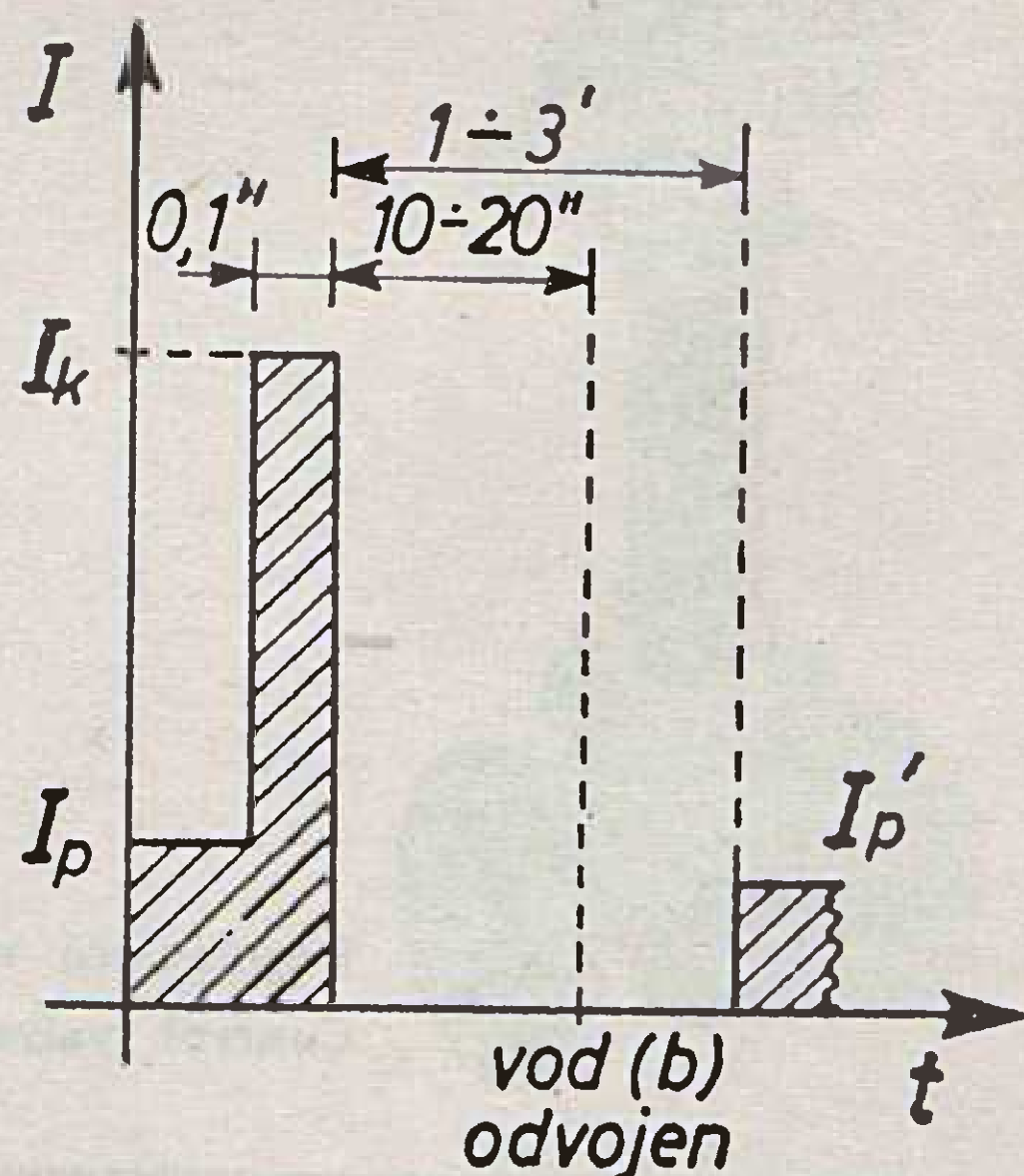
Uklapanjem prekidača, ručno ili automatski nakon pauze od 1 — 3 min., ponovno se nastavlja opskrba



Sl. 1.



Sl. 2.



Sl. 3.

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

$$I_p = I_k = 0$$

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

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

Neke mogućnosti primjene uređaja za automatsko odvajanje voda u kvaru

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

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

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

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

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

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

Zaključak

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

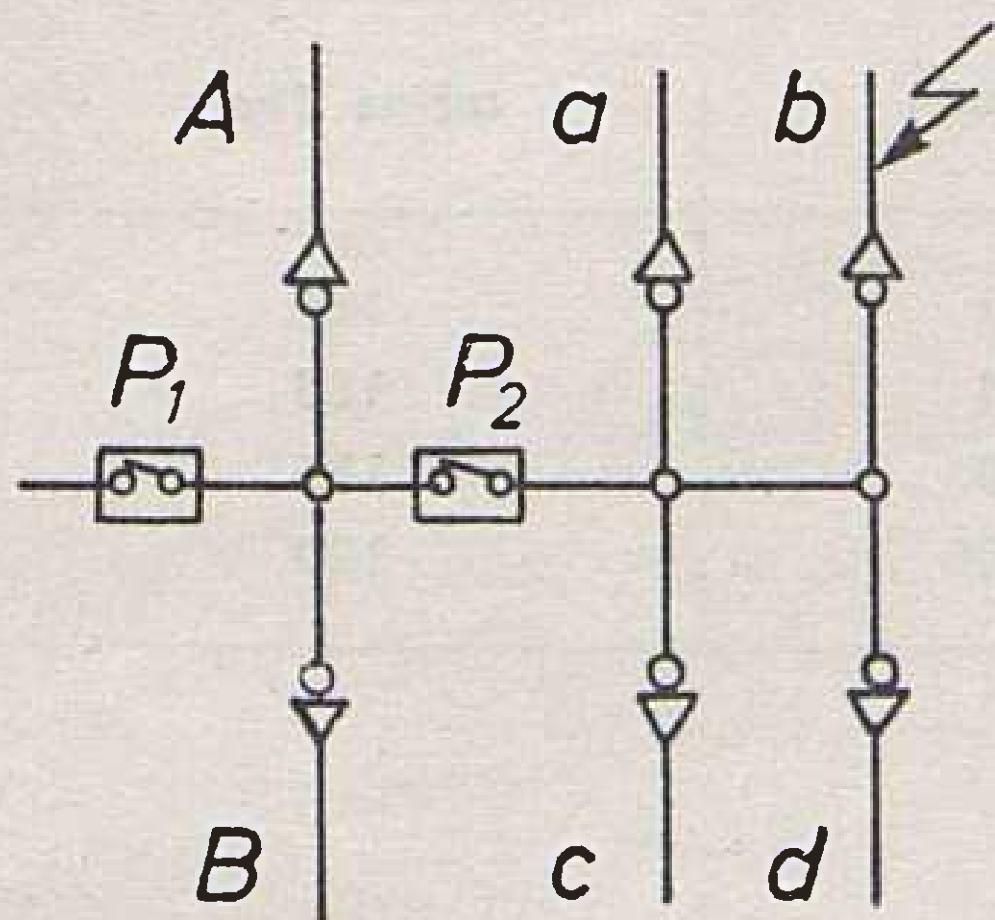
- sigurniju opskrbu el. energijom, radi manjeg broja ispada, jer izvan pogona ostaje samo vod u kvaru,
- kraće vrijeme za pronalaženje i otklanjanje kvara,
- manje troškove za otklanjanje nastalih kvarova,
- manje ljudstva i vozila za održavanje zračnih mreža srednjeg napona.

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

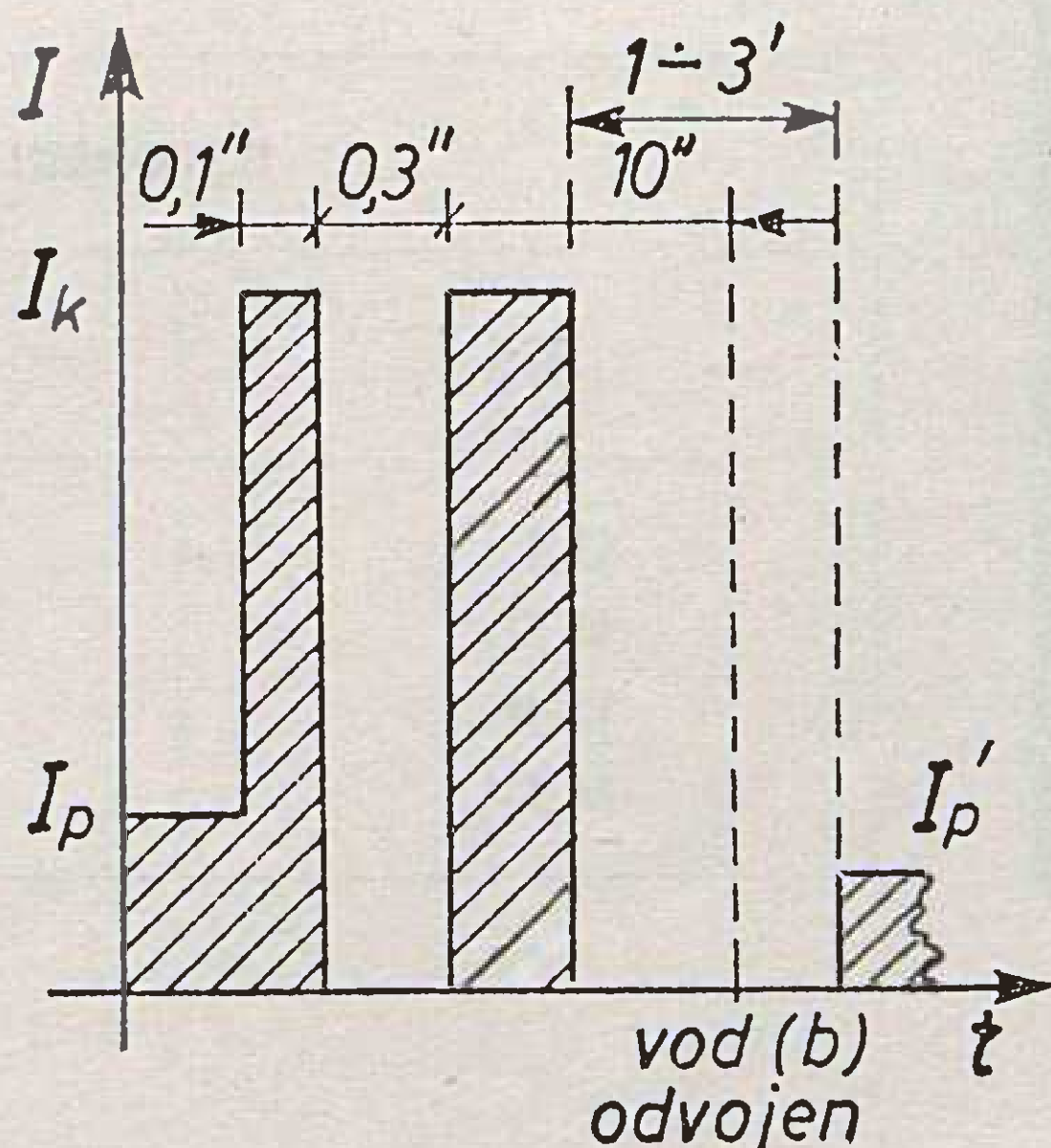
Naslov pisca:

Josip Polanc, dipl. ing.

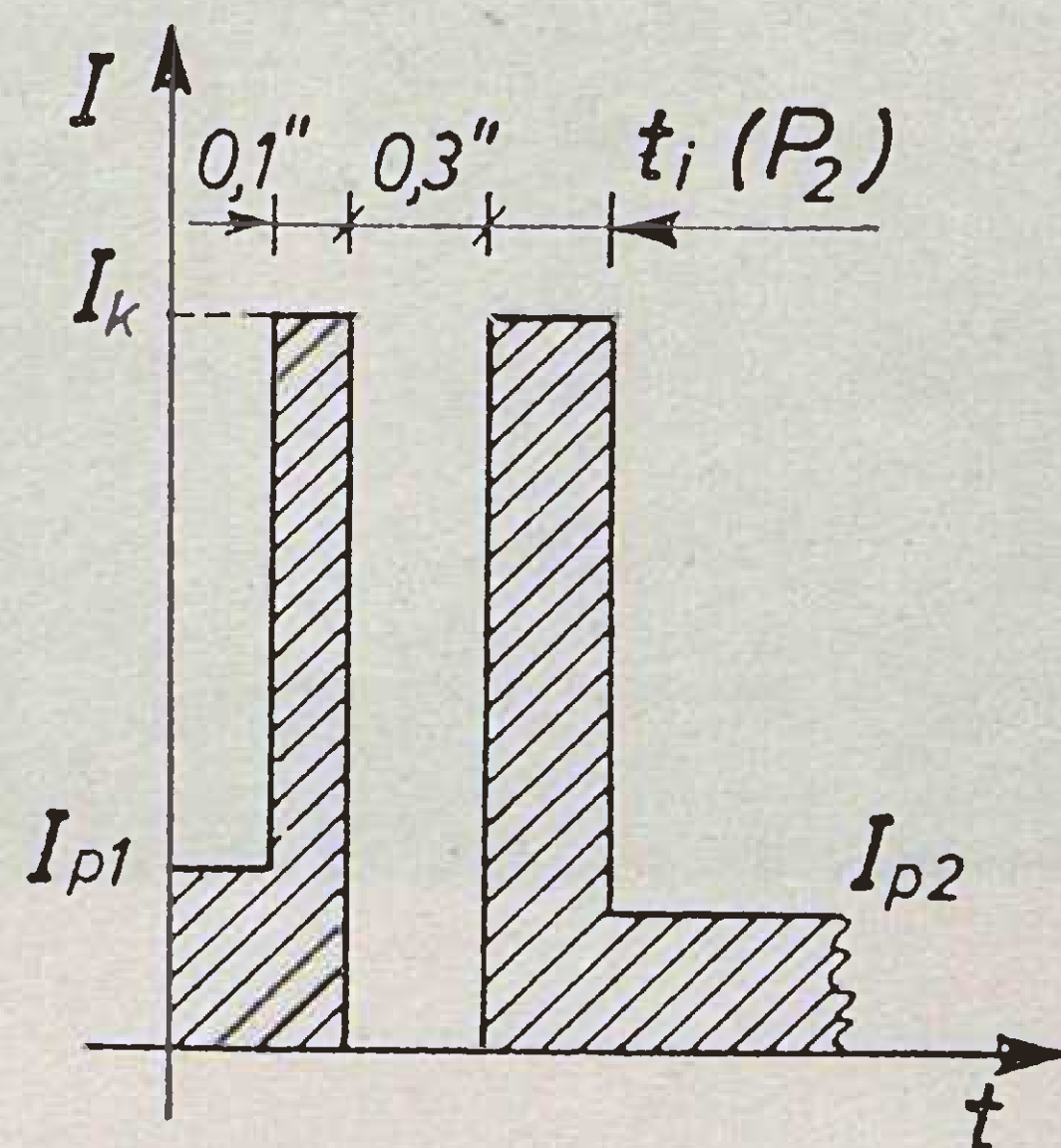
RO »Rade Končar« — Elektrouređaji



Sl. 4.



Sl. 5.



Sl. 6.

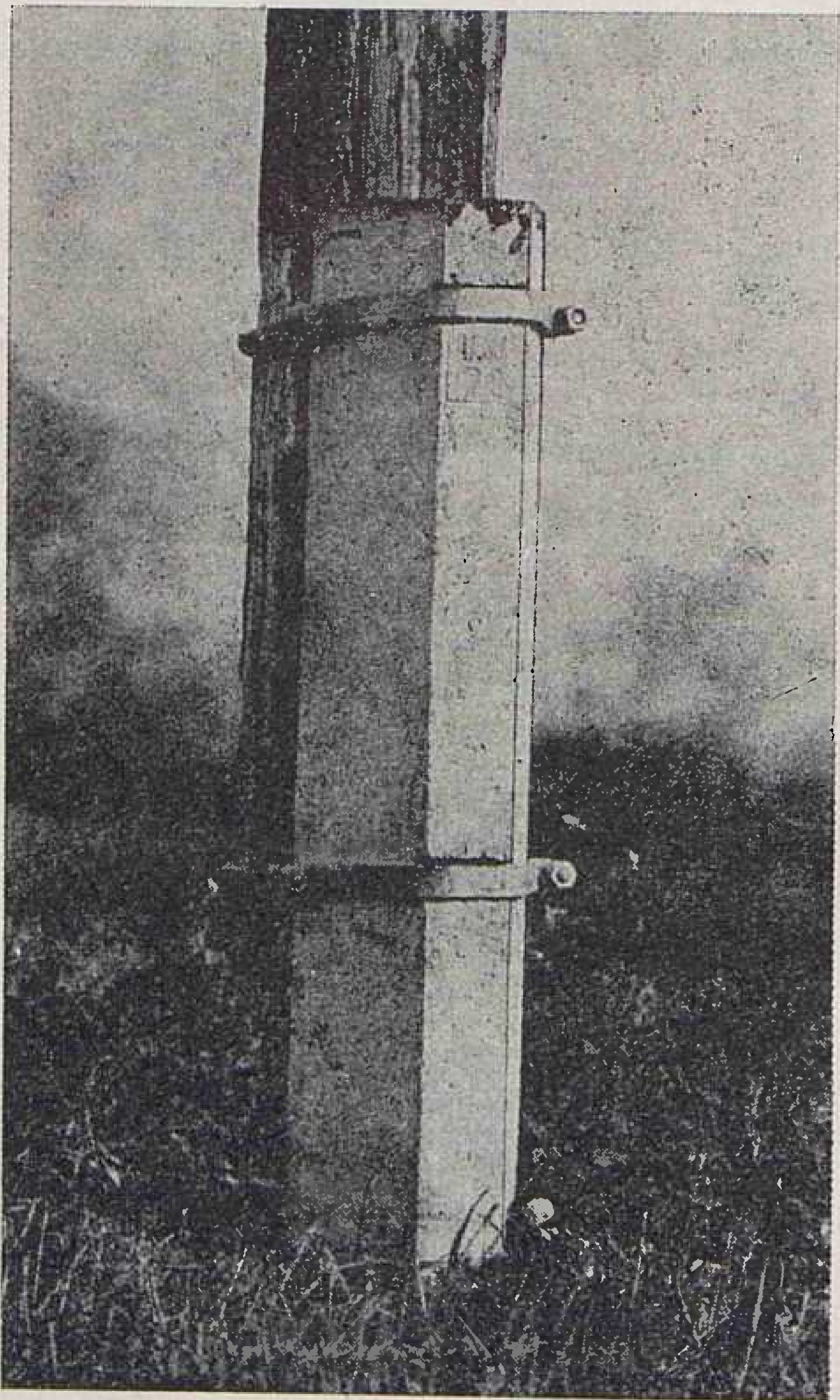
BETONSKI NOGARI „UNIVERZAL”

proizvodnje IGM „Sava” — Krško



Industrija građevinskog materijala »Sava« iz Krškog već niz godina proizvodi betonske proizvode za potrebe elektroprivrede. Njezina namjena je da s novim materijalima pojednostavi i promijeni gradnju električnih vodova niskog, srednjeg i visokog napona.

Kao rezultat njezinih napora nastao je prije više godina prvi proizvod iz serije betonskih proizvoda za potrebe elektroprivrede i to betonski nogar »Univerzal«. Elektroprivreda je tražila nogar koji bi bio lagan, jednostavne manipulacije, sposobnosti i velike mogućnosti. Služio bi sanaciji dotrajalih drvenih mreža, kao i za nove. Iz tih razloga je poduzeće izradilo betonski nogar »Univerzal«, koji odgovara svim tim zahtjevima. Lakši je od do sada upotrebljavanih klješta, ali je još uvijek dosta jak. Kako je već rečeno, upotrebljava se kako za sanaciju dotrajalih drvenih stupova, tako i za novogradnju. Njegova prednost je i u tome, što se može upotrebljavati neovisno o vremenskim uvjetima, što se postiže sa suhim temeljenjem pomoću stabilizacionih ploča.



Nekoliko tehničkih podataka o nogarima »Univerzal«. Proizvodi se u četiri tipa od I. do IV. Razlikuju se međusobno u nosivoj sposobnosti od 620 kpm do 2000 kpm, tako da odgovaraju svim zahtjevima. Težina je promjenljiva od 180 do 190 kg ovisno o tipu. Komplet čini:

- nogar
- par pocinčanih obujmica
- stabilizacione ploče, prema prospektu ovisno o tipu nogara.

BETONSKI NOGARI »UNIVERZAL«		
Tip	M_x/M_y (kpm)	težina (kg)
U I.	620/400	180
U II.	1000/600	183
U III.	1500/750	186
U IV.	2000/1000	190

ODREĐIVANJE NAZIVNE SNAGE TRANSFORMATORSKE STANICE 110/10, 20 kV I PRESJEKA VODIČA 10, 20 kV KABELSKOG VODA POMOĆU ISPITIVANJA NA MODELU

Rihard Schenner, Zagreb

UDK 621.311.4

U članku su dani rezultati rada koji su nastavak ispitivanja na modelu radi određivanja nazivne snage transformatorske stanice 110/10, 20 kV i presjeka vodiča 10, 20 kV kabelskog voda, kao i kritički osvrt na primijenjenu metodu.

1. UVOD

U članku se primijenila metoda specifičnih godišnjih troškova. Osnovna je primjedba na takav pristup što se na taj način ne obuhvaća vremensko razdoblje od puštanja 110 kV transformatorske stanice u pogon do njezina punog opterećenja. Druga primjedba je što se nije uzeo u obzir utjecaj 110 kV mreže.

Daljnijim radom na modelu željeli su se obuhvatiti upravo spomenuti momenti. Pri tome se više obradio utjecaj porasta opterećenja 110 kV transformatorske stanice nego utjecaj 110 kV mreže, jer se smatra da je taj utjecaj veći.

2. MODEL BEZ UTJECAJA 110 kV MREŽE

Osnovni pristup je bio taj da se pomoću modela kojim se ne uzima u obzir utjecaj 110 kV mreže odrede varijante koje dolaze u obzir, a da se zatim obavi kontrola utjecaja 110 kV mreže na jednostavnijem modelu.

Za sve odabrane varijante određuju se troškovi i povrat investicija za svaku godinu i aktualiziraju na početnu godinu analize. Zbog lakšeg računa troškovi su podijeljeni na

- troškove nove opreme
- godišnje troškove investicija
- godišnje troškove gubitaka.

Ukupni aktualizirani troškovi u analiziranom vremenskom razdoblju određeni su izrazom:

$$T_a = \sum_{n=1}^N T_n \cdot a^{-n}, \text{ gdje su} \quad (1)$$

- T — ukupni troškovi i povrat investicija u analiziranom vremenskom periodu u dinarima.
- N — broj godina u periodu analize
- T_n — ukupni troškovi i povrat investicija u n -toj godini u dinarima.

Međutim, da bi se mogle usporediti transformatorske stanice velikih i malih nazivnih snaga, potrebno je izračunati specifične troškove za svaku varijantu.

Da se odrede specifični troškovi, potrebno je poći od osnovne jednadžbe metode aktualizacije

$$D = \sum_{n=1}^N D_n \cdot a^{-n} - \sum_{n=1}^N T_n \cdot a^{-n}, \text{ gdje je} \quad (2)$$

- D — ukupna dobit u periodu analize d
- D_n — prihod u n -toj godini d
- a — faktor aktualizacije.

Osnovni uvjet za pozitivno poslovanje jest taj da ukupna razlika prihoda i rashoda bude veća od nule, odnosno sređenjem tog izraza dobije se:

$$\frac{\sum_{n=1}^N T_n \cdot a^{-n}}{\sum_{n=1}^N D_n \cdot a^{-n}} \leq 1. \quad (3)$$

Osnovni izraz za sumu aktualiziranih troškova već je prije određen.

Kod transformatorske stanice 110/10, 20 kV i njezine 10, 20 kV mreže određen je prihod u pojedinoj godini razlikom kupljene i prodane električne energije i snage. Suma aktualiziranog prihoda određena je izrazom:

$$D_a = \sum_{n=1}^N P_n \cdot (\Delta c_s + \Delta c_e \cdot t_m) \cdot a^{-n}, \text{ gdje je} \quad (4)$$

- D_a — suma aktualiziranog prihoda d
- P_n — vršno opterećenje stanice u n -toj godini kW
- Δc_s — razlika cijene kupljene i prodane snage električne energije d/kW
- Δc_e — razlika cijene kupljene i prodane električne energije d/kWh

t_m — vrijeme trajanja vršnog opterećenja sati.

Za transformatorsku stanicu 110/10, 20 kV može se napisati da je

$$\Delta C_s + \Delta C_e \cdot t_m = K. \quad (5)$$

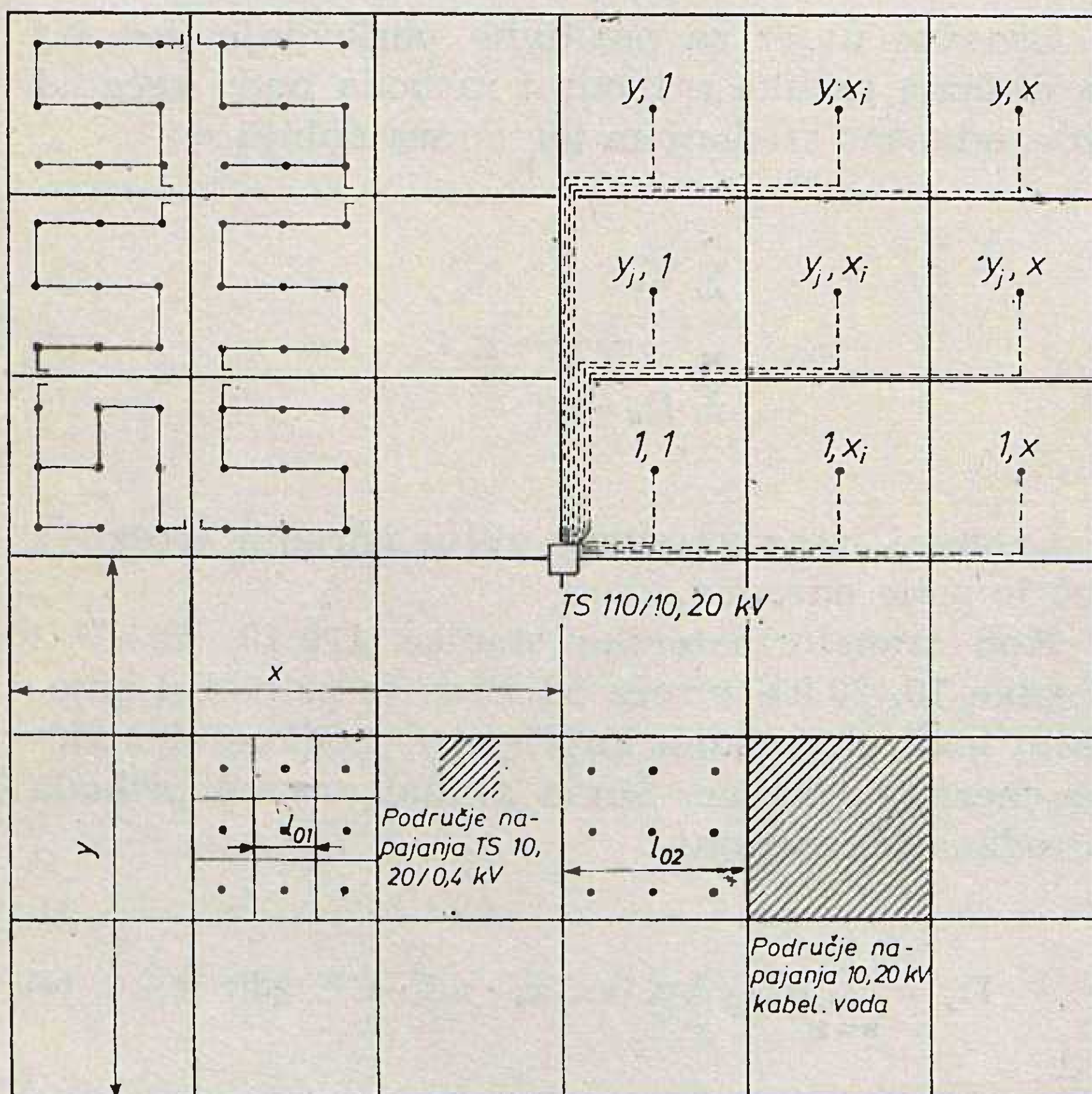
Na taj način dobije se:

$$D_a = K \sum_{n=1}^N P_n \cdot a^{-n}. \quad (6)$$

Pri izračunavanju troškova najveći problem je bilo odrediti troškove nove opreme, odnosno godišnje troškove za 10, 20 kV kabelsku mrežu. Razlog tome je što dužina 10, 20 kV mreže ovisi o raznim faktorima i razvija se dosta nepravilno tokom vremena.

Na sl. 1. nalazi se shematski prikaz modela za konačno stanje, odnosno za kraj analiziranog vremenskog razdoblja. Cijelo područje napajanja 110 kV stanice podijeljeno je za konačno stanje na kvadratna područja koja predstavljaju površinu napajanja jednog 10, 20 kV kabelskog voda. Stranica kvadrata takvog područja određena je izrazom

$$l_{02} = \sqrt{\frac{S_{K 10, 20 N}}{G_N}}, \text{ gdje je} \quad (7)$$



$$L_1 = b_{TS 10, 20 N} \cdot l_{01} \cdot k \quad l_{01} = \sqrt{\frac{S_{TS 10, 20 N}}{G_N}}$$

$$L_2 = k_1 \sum_{x_i=1}^x \sum_{y_j=1}^y (x_i + y_j - 1) \cdot k \cdot l_{02} \quad l_{02} = \sqrt{\frac{S_{K 10, 20 N}}{G_N}}$$

$$b_i = k_1 \cdot X \cdot Y \quad L = L_1 + L_2$$

Sl. 1. Shematski prikaz načina određivanja dužine 10, 20 kV mreže za konačno stanje

- l_{02} — stranica kvadrata područja napajanja 10, 20 kV kabelskog voda km
 $S_{K 10, 20 N}$ — maksimalno predviđeno vršno opterećenje 10, 20 kV kabelskog voda MVA
 G_N — gustoća opterećenja na kraju perioda analize MVA/km².

Područje napajanja jednog 10, 20 kV kabelskog voda podijeljeno je opet na manja kvadratna područja sa stranicama kvadrata:

$$l_{01} = \sqrt{\frac{S_{TS 10, 20 N}}{G_N}}, \text{ gdje je} \quad (8)$$

- l_{01} — stranica kvadrata područja napajanja TS 10, 20/0,4 kV km
 $S_{TS 10, 20 N}$ — maksimalno predviđeno vršno opterećenje TS 10, 20/0,4 kV MVA.

Dužina 10, 20 kV mreže sastoji se na taj način od dva dijela. Jedan dio dužine koji je potreban da se poveže 110 kV stanica i područje napajanja 10, 20 kV kabelskog voda, a drugi dio dužine potreban za međusobno povezivanje pojedinih transformatorskih stanica 10, 20/0,4 kV.

Dužina 10, 20 kV kabelske mreže potrebna za povezivanje pojedinih 10, 20 kV stanica određena je izrazom

$$L_1 = b_{TS 10, 20 N} \cdot l_{01} \cdot k, \text{ gdje je} \quad (9)$$

- L_1 — dužina 10, 20 kV mreže za povezivanje TS 10, 20/0,4 kV km
 $b_{TS 10, 20 N}$ — broj TS 10, 20/0,4 kV na kraju perioda analize
 k — faktor korekcije dužine 10, 20 kV mreže.

Dužina 10, 20 kV kabelske mreže potrebna za spajanje područja napajanja pojedinog 10, 20 kV kabelskog voda sa lokacijom 110 kV stanice određena je izrazom

$$L_2 = k \cdot k_1 \cdot l_{02} \sum_{X_i=1}^X \sum_{Y_j=1}^Y (X_i + Y_j - 1), \text{ gdje je} \quad (10)$$

- L_2 — dužina 10, 20 kV mreže potrebna za spajanje područja napajanja pojedinog 10, 20 kV kabelskog voda s lokacijom TS 110/10, 20 kV km
 k_1 — faktor lokacije TS 110/10, 20 kV. Za lokaciju u centru konzuma $k_1 = 4$, a na rubu konzuma $k_1 = 2$
 X_i, Y_j — indeksi područja napajanja pojedinih 10, 20 kV kabelskog voda.

Za etape se predvidjelo da se 10, 20 kV mreža formira odmah prema zahtjevu konačnog stanja ovisno o vršnom opterećenju područja odnosno 110 kV stanice. Prema ovom modelu ovisi vršno opterećenje 110 kV stanice o broju izgrađenih stanova

na području. Pri tome je definirano početno vršno opterećenje jednog stana i trend porasta tog opterećenja, a vršno opterećenje grupe stanova određeno je prema L 2. Za svaku 10, 20 kV stanicu i 10, 20 kV kabelski vod određen je broj stanova koji napajaju u konačnom stanju, a taj isti broj stanova napajaju i u etapama, odnosno na taj način se određuje potreban broj TS 20, 20/0,4 kV i 10, 20 kV kabelskih izvoda u etapama.

Dužina 10, 20 kV mreže potrebna za spajanje područja napajanja pojedinog 10, 20 kV voda s lokacijom 110 kV stanice ovisi u etapama o indeksima područja napajanja pojedinog kabelskog voda (X_j, Y_j). Oni se zadavaju po volji i na taj način se može dosta dobro imitirati realna izgradnja 10, 20 kV kabelske mreže. Odlučilo se za račun s ekstremnim i prosječnim uvjetima razvoja 10, 20 kV mreže. Ekstremni uvjeti su razvoj 10, 20 kV mreže od periferije područja napajanja prema lokaciji 110 kV stanice odnosno obrnuto. Prosječni uvjeti su razvoj 10, 20 kV mreže od jedne periferije (na primjer lijeve) prema drugoj (desnoj).

Dužina 10, 20 kV mreže potrebna za povezivanje 10, 20 kV stanica ovisi isključivo o broju tih stanica, a ne o razvoju konzuma po području i može se vrlo lako izračunati.

Aktualizirani troškovi nove opreme kao i povrat investicija u 10, 20 kV mrežu određeni su za n-tu godinu izrazom:

$$T_{a10,20n} = (C_{10,20n} - C_{10,20n-1}) \cdot \left(a^{-n} - \frac{n_k - N + n}{n_k} \cdot a^{-N} \right),$$

gdje su

(11)

$T_{a10,20n}$ — aktualizirani troškovi nove opreme u n-toj godini dinara
 $C_{10,20n}, C_{10,20n-1}$ — cijena 10, 20 kV mreže u n-toj odnosno n — 1 godini dinara
 n_k — vijek trajanja 10, 20 kV mreže god.

Troškovi transformatorske stanice 110/10, 20 kV podijeljeni su na početne troškove, troškove transformatora, troškove ovisne o broju transformatora i troškove 10, 20 kV izvoda. Među početne troškove pripadaju troškovi terena, građevni troškovi, troškovi priključka 110 kV stanice na 110 kV mrežu i sl. Troškovi ovisni o broju transformatora su troškovi kompenzacije, MTK uređaja i uzdužnog rastavljanja 110 kV sabirnica ako su jednostruke. Kod troškova transformatora potrebno je napomenuti da se u etapama računalo sa po dva transformatora i da su etapno predviđene manje nazivne snage transformatora od konačne nazivne snage.

Troškove 10, 20 kV izvoda vrlo je lako izračunati iz potrebnog broja 10, 20 kV izvoda u n-toj godini i cijene 10, 20 kV vodnog polja.

U analizama se računalo sa slijedećim konačnim nazivnim snagama 110 kV stanica: 2×20 ; $2 \times 31,5$; 2×40 ; 2×63 ; $3 \times 31,5$; 3×40 i 3×63 MVA i sa slijedećim materijalom i presjekom 10, 20 kV kabelskih vodova: 150, 185 i 240 mm² Al.

Presjek 10, 20 kV kabelskog voda utječe na broj 10, 20 kV izvoda, a samim time i na dužinu 10, 20 kV mreže potrebne za povezivanje 110 kV stanice i područja napajanja 10, 20 kV kabelskog voda.

Detaljan opis programa i svih upotrijebljenih jednadžbi i izraza za model nisu mogli biti ovdje izneseni zbog pomanjkanja prostora. Model je rađen prvenstveno za izbor nazivne snage transformatora stanice 110/20 kV za distribuciju grada Zagreba.

2. 1 Rezultati analize

Na računskom stroju izračunati su najprije specifični aktualizirani troškovi s ulaznim podacima za koje se smatra da su najčešći u praksi.

Najprije su analizirani podaci sa lokacijom 110 kV stanice u centru konzuma, 110 kV stanica je u SF6 izvedbi, sva tri načina razvoja konzuma po području, sva tri presjeka 10, 20 kV kabelskog voda, nekoliko veličina razvoja vršnog opterećenja 110 kV stanice, procentom aktualizacije od 8% i faktorom godišnjih troškova od 0,12. U tabelama I

Tablica 1.

OMJERI SPECIFIČNIH AKTUALIZIRANIH TROŠKOVA ZA PRVIH PET NAJPOVOLJNIJIH NAZIVNIH SNAGA TRANSFORMATORSKIH STANICA 110/10 kV u SF6 IZVEDBI, LOKACIJA STANICE U CENTRU KONZUMA								
Gustoća opterećenja na kraju perioda MVA km²	Udaljenost između 10,20kV stanica m	Početni broj stanova	Izgradnja stanova u godini dana	Konačna nazivna snaga TS 110/10, 20 kV MVA				
				2×40	2×63	3×31,5	3×40	3×63
razvoj konzuma po području od periferije područja napajanja prema lokaciji 110 kV stanice								
5	320	5 000	1 500	1,020	1,000	1,049	1,027	1,082
20	160			1,060	1,000	1,078	1,017	1,026
40	110			1,079	1,000	1,093	1,012	1,006
80	80			1,112	1,012	1,121	1,019	1,000
5	320	10 000	3 000	1,043	1,000	1,049	1,025	1,047
20	160			1,120	1,018	1,099	1,031	1,000
40	110			1,186	1,051	1,151	1,058	1,000
80	80			1,251	1,083	1,202	1,084	1,000
razvoj konzuma po području od lokacije 110 kV stanice prema periferiji područja napajanja								
5	320	5 000	1 500	1,038	1,000	1,061	1,003	1,001
20	160			1,108	1,026	1,122	1,026	1,000
40	110			1,144	1,040	1,153	1,038	1,000
80	80			1,175	1,054	1,179	1,047	1,000
5	320	10 000	3 000	1,073	1,013	1,072	1,014	1,000
20	160			1,195	1,068	1,166	1,062	1,000
40	110			1,263	1,099	1,219	1,089	1,000
80	80			1,324	1,125	1,266	1,112	1,000

Tablica 2.

OMJERI SPECIFIČNIH AKTUALIZIRANIH TROSKOVA ZA PRVIH PET NAJPOVOLJNIJIH NAZIVNIH SNAGA TRANSFORMATORSKIH STANICA 110/20 kV u SF6 IZVEDBI, LOKACIJA STANICE U CENTRU KONZUMA									
Gustoća opterećenja na kraju perioda MVA km²	Udaljenost između 10,20kV stanica m	Početni broj stanova	Izgradnja stanova u godini dana	Konačna nazivna snaga TS 110/10, 20 kV MVA					
				2×40	2×63	3×31,5	3×40	3×63	
razvoj konzuma po području od periferije područja napajanja prema lokaciji 110 kV stanice									
5	320	5 000	1 500	1,063	1,000	1,071	1,020	1,020	
20	160			1,121	1,016	1,124	1,032	1,000	
40	110			1,161	1,029	1,163	1,049	1,000	
80	80			1,196	1,044	1,196	1,063	1,000	
5	320	10 000	3 000	1,102	1,012	1,083	1,027	1,000	
20	160			1,231	1,066	1,188	1,080	1,000	
40	110			1,306	1,098	1,249	1,111	1,000	
80	80			1,372	1,127	1,304	1,139	1,000	
razvoj konzuma po području od lokacije 110 kV stanice prema periferiji područja napajanja									
5	320	5 000	1 500	1,110	1,026	1,115	1,036	1,000	
20	160			1,173	1,047	1,174	1,058	1,000	
40	110			1,204	1,056	1,203	1,069	1,000	
80	80			1,230	1,065	1,227	1,078	1,000	
5	320	10 000	3 000	1,164	1,050	1,139	1,057	1,000	
20	160			1,287	1,100	1,240	1,106	1,000	
40	110			1,355	1,127	1,293	1,132	1,000	
80	80			1,413	1,150	1,340	1,155	1,000	

i II nalaze se rezultati za transformaciju 110/10 kV i 110/20 kV. Prije analize rezultata potrebno je napomenuti da su u tabelama omjeri specifičnih aktualiziranih troškova za prvih pet najpovoljnijih nazivnih snaga 110 kV stanica. U tabelama se također nalaze rezultati za samo ekstremne razvoje konzuma po području.

Već je prije spomenuto da je vršno opterećenje 110 kV stanice vezano za broj stanova koje napaja ta stanica. U tabelama se predviđa da je u prvoj godini na 110 kV stanicu priključeno 5 000 odnosno 10 000 stanova, a da se zatim svake godine izgradi još 1 500 odnosno 3 000 stanova sve dok se ne dođe do konačnog broja stanova koje napaja jedna 110 kV stanica. U analizama je predviđeno da vršno opterećenje jednog stana iznosi na početku analize 8 kVA pa se uz $f_{\infty} = 0,2$ (L 2) dobiju početna vršna opterećenja 110 kV stanica od 8,5 MVA odnosno 16,6 MVA. Trend porasta vršnog opterećenja jednog stana iznosi 3%.

Još je potrebno spomenuti da se računalo s periodom analize od 30 godina.

Nazivna snaga 3×63 MVA ima prema rezultatima na modelu u svakom pogledu prednost kod transformacije 110/20 kV (tab. II). Ona jedino nije optimalna kod uvjeta najnepovoljnijih za tako veliku nazivnu snagu, i to kod najmanje analizirane gustoće opterećenja, najmanjeg početnog opterećenja i trenda porasta opterećenja, kao i najnepovoljnijeg predviđenog razvoja 20 kV mreže. Kod transformacije 110/10 kV ova nazivna snaga pokazuje dobre rezultate, ali ipak u najnepovoljnijem slučaju odstupa u troškovima od optimalne nazivne snage za 8,2%.

S obzirom na takve rezultate potrebno je spomenuti neke momente koji se nisu mogli obuhvatiti modelom odnosno koji su kasnije analizirani.

Ponajprije to se odnosi na problem raspjeta 10, 20 kV vodova iz transformatorske stanice 110/10, 20 kV. Taj problem naročito je velik kod transformacije 110/10 kV ako je 110 kV stanica locirana u starom, izgrađenom centru grada. Taj problem se želio također obuhvatiti u modelu, međutim prema konzultacijama s projektantima uvidjelo se da praktično svaka lokacija ima drugu problematiku u vezi s raspletom 10 kV vodova.

Drugi je problem veličina cijene terena. U analizi se računalo sa 2 000 dinara/m². Međutim, ako je oslobađanje terena vezano s rušenjem nekih postojećih objekata ili slično, tada je cijena mnogo veća, što također ovisi o slučaju odnosno lokaciji.

Svi spomenuti momenti povećavaju troškove kod nazivne snage 3×63 MVA i trebaju se uzeti u obzir pri izboru nazivne snage 11 kV stanice.

Nazivna snaga 3×40 MVA nije optimalna ni u jednom slučaju, ali većinom troškovi kod te nazivne snage vrlo malo odstupaju od troškova kod optimalnih nazivnih snaga. Naročito je to istaknuto kod transformacije 110/10 kV gdje se odstupanja kreću u prosjeku oko 4,1%, a maksimalno 11,2%. Kod transformacije 110/20 kV odstupanja su nešto veća tako da prosječno odstupanje iznosi 7,6%, a maksimalno 15,5%.

Nazivna snaga $3 \times 31,5$ MVA dala je najnepovoljnije rezultate od pet nazivnih snaga koje se navode u tabelama I i II. Troškovi kod transformacije 110/10 kV odstupaju minimalno sa 4,9%, a maksimalno za 26,6% od troškova kod optimalnih nazivnih snaga, a kod transformacije 110/20 kV su ta ista odstupanja 7,1% odnosno 34,0%.

Nazivna snaga 2×63 MVA dala je nešto bolje rezultate od nazivne snage 3×40 MVA. Tako da troškovi prosječno odstupaju od optimalnih kod transformacije 110/10 kV za 3,7%, a maksimalno 12,5%, a kod transformacije 110/20 kV prosječno za 6,3%, a maksimalno za 15,0%.

Nazivna snaga 2×40 MVA dala je nešto lošije rezultate od nazivne snage 3×40 MVA, tako da se u prosjeku nalazi na četvrtom mjestu nazivnih snaga analiziranih iz tabela I i II.

Osim ispitivanja s ovim ulaznim podacima vršena su ispitivanja i sa slijedećim promjenama ulaznih podataka:

- smanjilo se početno vršno opterećenje i trend porasta opterećenja
- analizirala se rubna stanica
- analizirala se 110 kV stanica u klasičnoj izvedbi.

Ovdje će se samo ukratko analizirati rezultati.

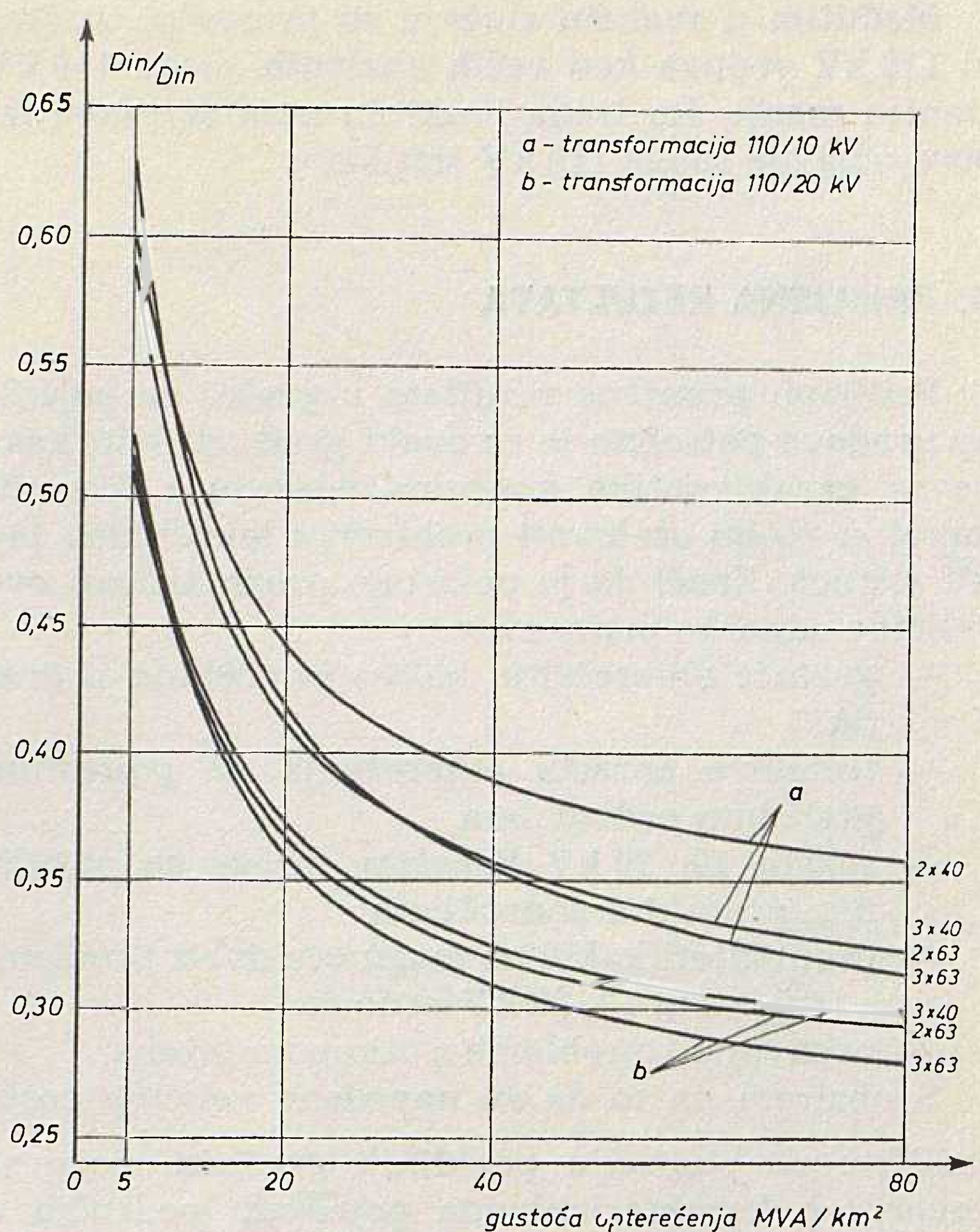
Prilikom smanjenja konzuma u prvim godinama analize smanjuje se količina transformirane energije i snage u tim godinama. To ima za posljedicu da na rezultate dosta jako utječu troškovi prvih godina analize, što ide na štetu većih nazivnih snaga. Kod najmanjeg porasta opterećenja koji se analizirao to je imalo takav utjecaj da nazivna snaga 3×63 MVA kod transformacije 110/10 kV nije u najnepovoljnijem slučaju za tu nazivnu snagu ni među prva četiri rezultata. Ona nije najpovoljnija niti kod vrlo visoke gustoće opterećenja od 80 MVA/km^2 . Kod praktično svih analiziranih slučajeva, i to kod obje transformacije, ima prednost nazivna snaga 2×63 MVA. Rezultati iz tabele I i II također pokazuju da porast konzuma ima dosta jak utjecaj na troškove, tako da taj moment treba imati na umu isto kao i veličinu gustoće opterećenja.

Kod lokacije stanice na rubu konzuma povećavaju se troškovi odnosno dužina 10, 20 kV mreže, što također ide na štetu većih nazivnih snaga. To je naročito istaknuto kod transformacije 110/10 kV, tako da kod gustoće opterećenja od 5 MVA nazivna snaga 3×63 MVA nije zadovoljila zadani kriterij pada napona u 10 kV mreži i u tom slučaju je bila najpovoljnija nazivna snaga od 2×40 MVA. Kod transformacije 110/20 kV taj utjecaj nije tako značajan.

Analiza s klasičnom izvedbom 110 kV stanice u odnosu na SF6 izvedbu, uz nepromijenjenu cijenu 10, 20 kV kablenskog voda, znači na modelu smanjenje troškova 110 kV stanice u odnosu na troškove 10, 20 kV mreže, a to znači da će biti povoljnije stanice manjih nazivnih snaga. To su i potvrdili rezultati na modelu. Međutim kao prve četiri optimalne nazivne snage još su uvijek 2×40 , 2×63 , 3×40 i 3×63 .

Usporedbom troškova kod različitih presjeka vodiča 10, 20 kV kablenskih vodova potvrdio se rezultat dobiven na statičkim modelima, a to je da uz veće nazivne snage 110 kV stanica dolaze u obzir i veći presjeci vodiča 10, 20 kV kablenskih vodova. To je više istaknuto kod transformacije 110/10 kV nego kod transformacije 110/20 kV. Međutim maksimalna razlika u rezultatima s obzirom na presjek vodiča kabela iznosi $4,5\%$ što je razmjerno malo da bi rezultati na modelu bili isključivi razlog izbora određenog presjeka vodiča. Kod transformacije 110/10 kV potrebno je imati na umu i problematiku kratkog spoja u 10 kV mreži i raspleta 10 kV kablenskih vodova iz 110 kV stanice, pa ima određenu prednost presjek vodiča od 240 mm^2 Al.

Kod ovakvih analiza uobičajeno je da se rezultati zbog preglednosti daju dijagramski. Međutim, smatra se da je tablični prikaz povoljniji zbog točnijih podataka i zbog manjeg potrebnog prostora. No zbog ilustracije na sl. 2 nalazi se dijagram specifičnih aktualiziranih troškova za transformaciju 110/10 kV i 110/20 kV uz uvjete koji se smatraju prosječnim.



Sl. 2. Specifični aktualizirani troškovi kod prosječnih ulaznih podataka

3. MODEL S UTJECajem 110 kV MREŽE

Model s utjecajem 110 kV mreže rađen je zbog toga da se vidi kakav je udio troškova 110 kV mreže u ukupnim troškovima. Pri tome se pod ukupnim troškovima smatraju troškovi 110 kV vodova, 110 kV stanica, 10 kV odnosno 20 kV vodova i jedan dio prijenosne mreže koji je različit po varijantama.

Način rada bio je praktično isti kao i u L 3. Pretpostavilo se da se napaja određeno područje kvadratnog oblika s određenim početnim i krajnjim opterećenjem i za četiri etape razvoja konzuma određivani su navedeni troškovi za razne varijante i zatim uspoređeni.

Kod transformacije 110/10 kV analizirane su nazivne snage 2×40 i 2×63 MVA. Udio troškova 110 kV vodova u ukupnim troškovima bio je kod jedne i kod druge nazivne snage oko 12% . Razlika u troškovima bila je manja od jedan posto ($0,7\%$).

U slučaju transformacije 110/20 kV analizirane su nazivne snage 2×63 i 3×63 MVA. Udio troškova 110 kV vodova u ukupnim troškovima bio je kod nazivne snage 2×63 MVA $14,2\%$, a kod nazivne snage 3×63 MVA $12,5\%$.

Ti rezultati pokazuju da su troškovi 110 kV vodova razmjerno maleni, ali i to da se razmjerno malo razlikuju s promjenom nazivne snage 110 kV stanice. Zbog toga se smatra da se rezultati rađeni na modelu bez utjecaja 110 kV mreže mogu prihvatiti kao dosta realni.

Međutim u svakom slučaju su prosječni troškovi 110 kV vodova kod većih nazivnih snaga 110 kV stanica manji, što treba imati na umu prilikom izbora nazivne snage 110 kV stanice.

4. PRIMJENA REZULTATA

Prilikom primjene rezultata u praksi za pojedine gradove potrebno je za svaki grad odrediti kakve se karakteristike konzuma očekuju i ocijeniti kakvi se mogu očekivati problemi s lokacijama 110 kV stanica. Znači da je potrebno proanalizirati ove veličine odnosno momente:

- gustoće opterećenja kakve se očekuju u gradu
- trendove porasta opterećenja na pojedinim gradskim područjima
- razvoj 10, 20 kV kabelske mreže po pojedinim gradskim područjima
- predvidjeti kakvi se mogu očekivati problemi s raspletom 10, 20 kV vodova
- predvidjeti probleme s otkupom terena.

S obzirom na to da su navedene veličine dosta različite po području pojedinih gradova može se govoriti o karakteristikama pojedinih područja u gradu. To ponekad dovodi i do izbora dvije tipske nazivne snage transformatorske stanice 110/10, 20 kV za pojedini grad.

Prema analizi koja je rađena za grad Zagreb zaključilo se slijedeće:

1. Transformatorske stanice 110/10 kV

- nazivna snaga 2×40 MVA pogodna je za stare gradske centre. Na takvim područjima očekuju se najviše gustoće opterećenja, ali i najmanji trendovi porasta opterećenja i prilično veliki problemi s raspletom 10 kV vodova i otkupom terena.
- nazivne snage 2×63 MVA i 3×40 MVA dale su praktično jednake rezultate na modelu.
- nazivna snaga 2×63 MVA ima u SF₆ izvedbi određenih prednosti jer su građevinski troškovi kod te nazivne snage manji. Ta nazivna snaga može služiti kao jedina tipska nazivna snaga.
- nazivna snaga 3×63 MVA nije uzeta u obzir za praktičnu primjenu u distribuciji grada Zagreba kod transformacije 110/10 kV zbog velikih građevinskih troškova, problema raspleta 10 kV vodova, otkupa terena i dosta kompliciranog 10 kV postrojenja.

Pregledom literature vidjelo se da je kod nekih velegradova kao tipska snaga odabrana i veća nazivna snaga (4×63 MVA). Isto se tako primijetilo da u prosjeku veći gradovi imaju i veće tipske nazivne snage. Takve rezultate daje i model, jer su veće nazivne snage povoljnije u slučaju bržeg opterećenja stanice. Kod velegradova je apsolutni porast opterećenja prilično velik zbog velikog početnog konzuma, pa je i porast opterećenja na pojedinim lokacijama dosta jak.

2. Transformatorske stanice 110/20 kV

Kod ovih transformatorskih stanica je problematika raspleta 20 kV vodova prilično mala zbog manjeg broja 20 kV izvoda u odnosu na broj 10 kV izvoda. Zbog toga se nazivna snaga 2×40 MVA nije primijenila za distribuciju grada Zagreba kod ove transformacije

- nazivna snaga 2×63 MVA ima kod ove transformacije nešto veću prednost nego kod transformacije 110/10 kV, jer je jednostavniji transformator (dvonamotajni), a samim tim i 20 kV rasklopište
- nazivna snaga 3×40 MVA povoljna je u istim slučajevima kao i kod transformacije 110/10 kV
- nazivna snaga 3×63 MVA primijenila se za jednu varijantu 110 kV mreže grada Zagreba, i to uglavnom zbog provjere troškova 110 kV vodova.

5. ZAKLJUČAK

Prilikom rada na modelu želi se što više približiti realnosti. Smatra se da je ovim modelom to više postignuto nego statičkim, jer su osim gustoće opterećenja obuhvaćeni i utjecaji porasta konzuma stanice i razvoja 10, 20 kV mreže koji su dosta veliki.

Međutim, ne preporuča se da rezultati analize na modelu budu isključivi razlog odluke. Već su u članku spomenuti neki elementi koji se ne mogu obuhvatiti analizom odnosno vrlo teško. Zbog toga model služi samo kao pomoć prilikom izbora nazivne snage transformatorske stanice 110/10, 20 kV i izbora presjeka vodiča 10, 20 kV kabelskog voda.

Isto je tako potrebno istaknuti da rezultati vrijede uz određene cijene elemenata mreže. Ova analiza rađena je s cijenama koje se smatraju realnima za zagrebačko područje.

LITERATURA

1. Optimizacija sistema transformatorske stanice 110/10/20 kV i mreže 10/20 kV: R. Schenner, ref. br. 322.05, CIGRE, Bled 1977.
2. The Simultaneous Demand in Distribution Network Supplying Domestic Consumers: S. Rusck, ASEA —10, S 59—61, 1956.
3. Modellnetze für die Versorgung einkerniger Verdichtungs-räume: grupa autora, etz-a Bd. 98 (1977) H.11.

DEFINING NOMINAL POWER OF TRANSFORMER STATION 110/ K, 10, 20 Kv AND CROSS SECTION 10, 20 Kv OF CABLE WIRE BY RESEARCH ON THE MODEL

In this article, results of continued research work are considered on a model by reason of defining nominal power of transformer station 110/10, 20 kV and cross section 10, 20 kV of cable wire. A critical review on the applied method is also given.

Naslov pisca:

mr Richard Schenner, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

MODEL VENTILNOG ODVODNIKA PRENAPONA KOD PRORAČUNA PRENAPONSKIH POJAVA NA DIGITALNOM RAČUNALU

Salih Sadović, Sarajevo

UDK 621.315:681.31

Prikazan je točan numerički model ventilnog odvodnika prenapona pri analizi prenaponskih pojava na digitalnom računalu. Predloženi model odnosi se na analizu prenaponskih pojava u području prenaponskih valova atmosferskog porijekla. Također su prikazani primjeri proračuna prenapona uz pomoć predloženog modela.

1. UVOD

Pravilna koordinacija izolacije u elektroenergetskim sistemima razumijeva što točnije određivanje prenaponskih prilika. Prenaponske pojave se analiziraju uz pomoć analognih računala, prijelaznog mrežnog analizatora i digitalnih računala. Analize na analognim računalima i prijelaznim mrežnim analizatorima mnogo su su koristile u početku prošlog desetljeća.

Nagli razvoj digitalnih računala omogućio je analizu prenaponskih pojava kompliciranih sistema u vrlo kratkim vremenima. Točnost dobijenih rezultata ovisi o izabranom stupnju točnosti modeliranja pojedinih komponenata sistema. Višestruke analize s velikim brojem varijanti omogućavaju brzo dobijanje statističkih informacija o prenaponskim pojavama. To bi bili samo neki razlozi koji su doveli do toga da se danas analize prenaponskih pojava izvode isključivo na digitalnim računalima. Razvijeno je mnogo moćnih univerzalnih programa koji se temelje na jednom od slijedićih modela:

- a) numeričko integriranje diferencijalnih jednadžbi,
- b) metode transformacije upotrebom Fouriereove ili Laplaceove transformacije,
- c) Bewleyev mrežni dijagram,
- d) metoda karakteristika.

Izbor odgovarajuće metode za razvoj programa za digitalno računalno ovisi o željenom stupnju točnosti rezultata, vremenu dobijanja rezultata, točnosti usvojenih modela pojedinih komponenata sistema i sl. Prijenosni dalekovod se može npr. modelirati samo valnim otporom konstantne vrijednosti (u jednofaznoj izvedbi) ili preko frekventno ovisnih parametara kod kojih je uključen utjecaj gromobranske užadi, skin-efekta, nehomogenosti zemlje ispod dalekovoda (u trofaznoj izvedbi).

Vrlo važan element u koordinaciji izolacije jest ventilni odvodnik prenapona (u daljem tekstu VOP), pa mu se mora u programu za digitalno računalno pridružiti dovoljno točan numerički model.

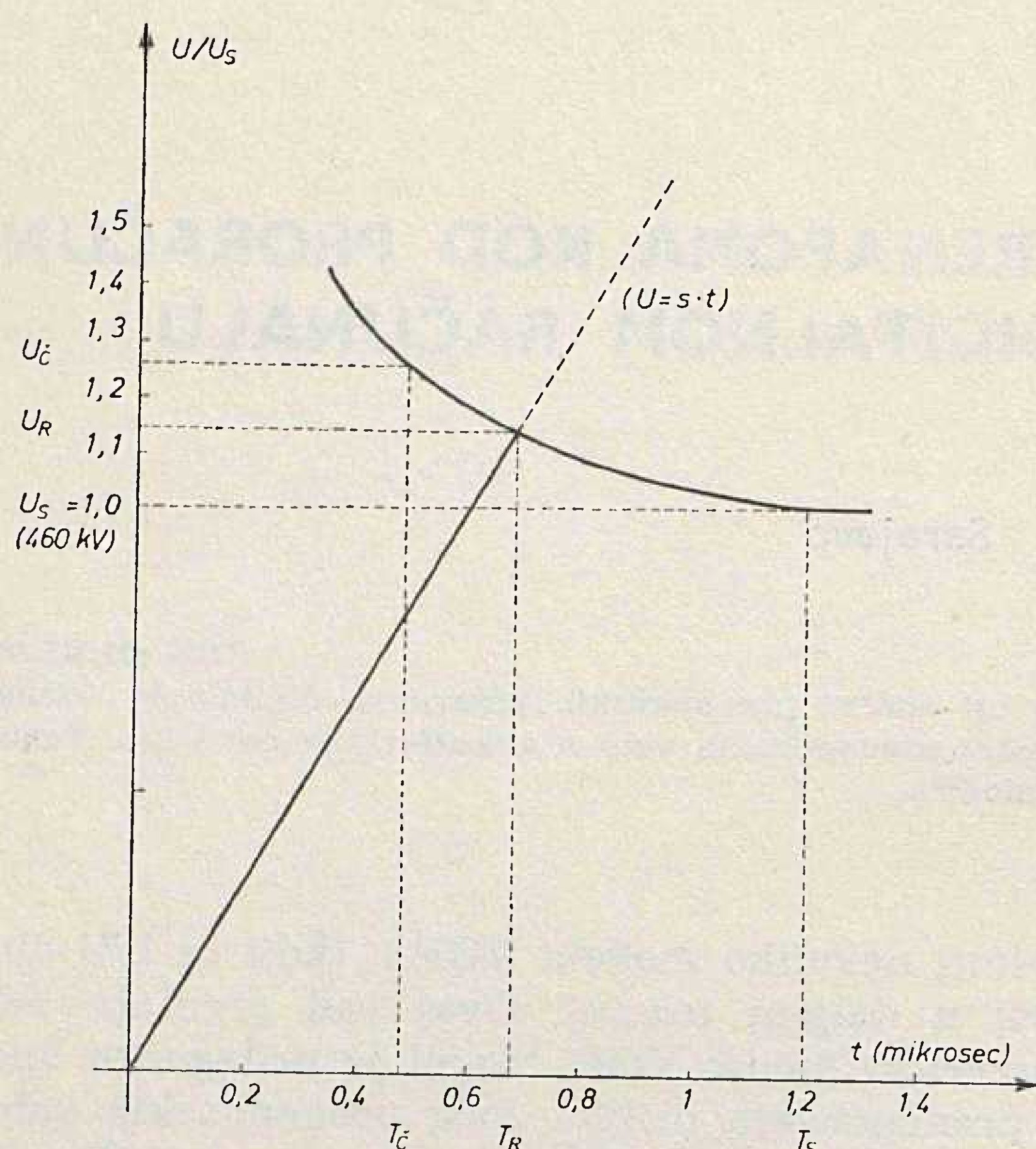
Postoji nekoliko modela VOP-a (koji će biti obrađeni u daljem tekstu). Ovaj rad predlaže točan numerički model VOP. Model je prilagođen analizi prenaponskih prilika zbog prenaponskih valova atmosferskog porijekla, a odnosi se i na VOP s klasičnim iskrištem i na VOP s magnetskim otpuhivanjem el. luka (VOP s aktivnim iskrištem). Uz neznatne modifikacije model se može proširiti tako da uzima u obzir pad napona na električnom luku kod VOP-a s aktivnim iskrištem pri proračunima sklopnih prenapona. Osim toga, način aproksimacije krivulje preostalog napona može se upotrijebiti i za najnovije VOP bez iskrišta (cink-oksidge VOP), koji su još uvijek u fazi ispitivanja.

2. REŽIM RADA VENTILNOG ODVODNIKA PRENAPONA

Režim rada VOP-a može se podijeliti na dva područja:

- a) područje u kome VOP nije reagirao,
- b) područje nakon reagiranja VOP-a.

Prvo područje je određeno tzv. »preskočnom impulsnom karakteristikom« iskrišta VOP-a, koja definira napon reagiranja VOP-a u različitim područjima prenaponskih valova. Najniža vrijednost napona reagiranja je u području napona industrijske frekvencije, dok je najviša vrijednost ovog napona u području veoma strmih prenaponskih valova koji nastaju zbog direktnih udara groma u blizini VOP-a ili zbog povratnih preskoka na prilaznim dijelovima dalekovoda postrojenjima. Budući da se u ovom radu obrađuje koordinacija izolacije u području valova atmosferskog porijekla, preskočna impulsna karakteristika VOP-a bit će modelirana za ovo područje. Impulsna preskočna karakteristika je u ovom području određena sa 100% udarnim naponom reagiranja i udarnim naponom reagiranja na čelu vala. Na slici 1. prikazana je tipična preskočna impulsna karakteristika VOP-a za područje valova atmosferskog porijekla



Sl. 1. Preskočna impulsna karakteristika VOP

(karakteristika dana na slici 1. odnosi se na GEC 192 kV VOP — L.1).

Oznake na slici 1. imaju slijedeće značenje:

- U_c — napon reagiranja VOP na čelu vala
- T_c — vrijeme reagiranja VOP na čelu vala
- U_s — 100% udarni napon reagiranja za val 1,2/50 mikrosec.
- T_s — 1,2 mikrosec.
- U_R — napon reagiranja VOP kod prenaponskog vala strmine s.
- T_R — vrijeme reagiranja VOP kod prenaponskog vala prosječne strmine s.

Strmina vala kojim se ispituje napon reagiranja na čelu vala (U_c/T_c) ovisi o nazivnom naponu VOP (ova vrijednost iznosi 100 kV/ μ s za svakih 12 kV nazivnog napona VOP, s gornjom granicom od 1200 kV/ μ s).

Režim rada VOP-a nakon njegovog reagiranja određen je krivuljom preostalog napona, koja je određena karakteristikom nelinearnog otpornika i ima oblik:

$$I = k \cdot U^A \quad (1)$$

Koeficijent nelinearnosti kreće se u granicama $2 < A < 6$. Važno je primijetiti da koeficijent A nije konstantan, već ovisan o veličini struje kroz nelinearni otpornik.

Krivulja preostalog napona dobije se laboratorijskim ispitivanjima sa standardnim udarnim strujnim valom oblika 8/20 mikrosec. U tablici 1.

Tablica 1.

U (kV)	1.5	3	5	10	20	40
I (kA)	300	349	382	427	482	585

prikazana je krivulja preostalog napona za navedeni VOP nazivnog napona 192 kV.

Preostali napon na VOP povećava se s povećanjem strmine strujnog vala kroz VOP. Ako se radi o strminama koje su znatno veće od strmine standardnog 8/20 mikrosec. strujnog vala, ovu je pojavu moguće uzeti u obzir uvođenjem korekcionog faktora (L.2):

$$F_{STR} = 1 + 0,015 \cdot (di/dt) / (di/dt)_{8/20} \quad (2)$$

Vrijednosti preostalog napona u pojedinim točkama se množe sa F_{STR} .

Ako je priključni provodnik VOP dugačak, onda se induktivni pad napona $L \cdot di/dt$ na ovom provodniku treba dodati vrijednostima preostalog napona. Približna vrijednost induktiviteta priključnog provodnika iznosi 1,2 mikroH/m.

Otpor uzemljenja VOP-a nije potrebno uzimati u obzir, ako su VOP i štićeni objekti spojeni na isti uzemljivački sistem. U protivnom treba računati s padom napona na uzemljivaču VOP-a.

3. PREDSTAVLJANJE VENTILNOG ODVODNIKA PRENAPONA U ANALIZI PRENAPONSKIH PRILIKA

Određivanje napona na mjestu priključka VOP i struje kroz VOP, nakon reagiranja VOP je preko Theveninovog ekvivalentnog kola (slika 2), odnosno rješavanje sistema jednačbi:

$$U_{VOP} = U^* - Z_E \cdot I_{VOP} \quad (3)$$

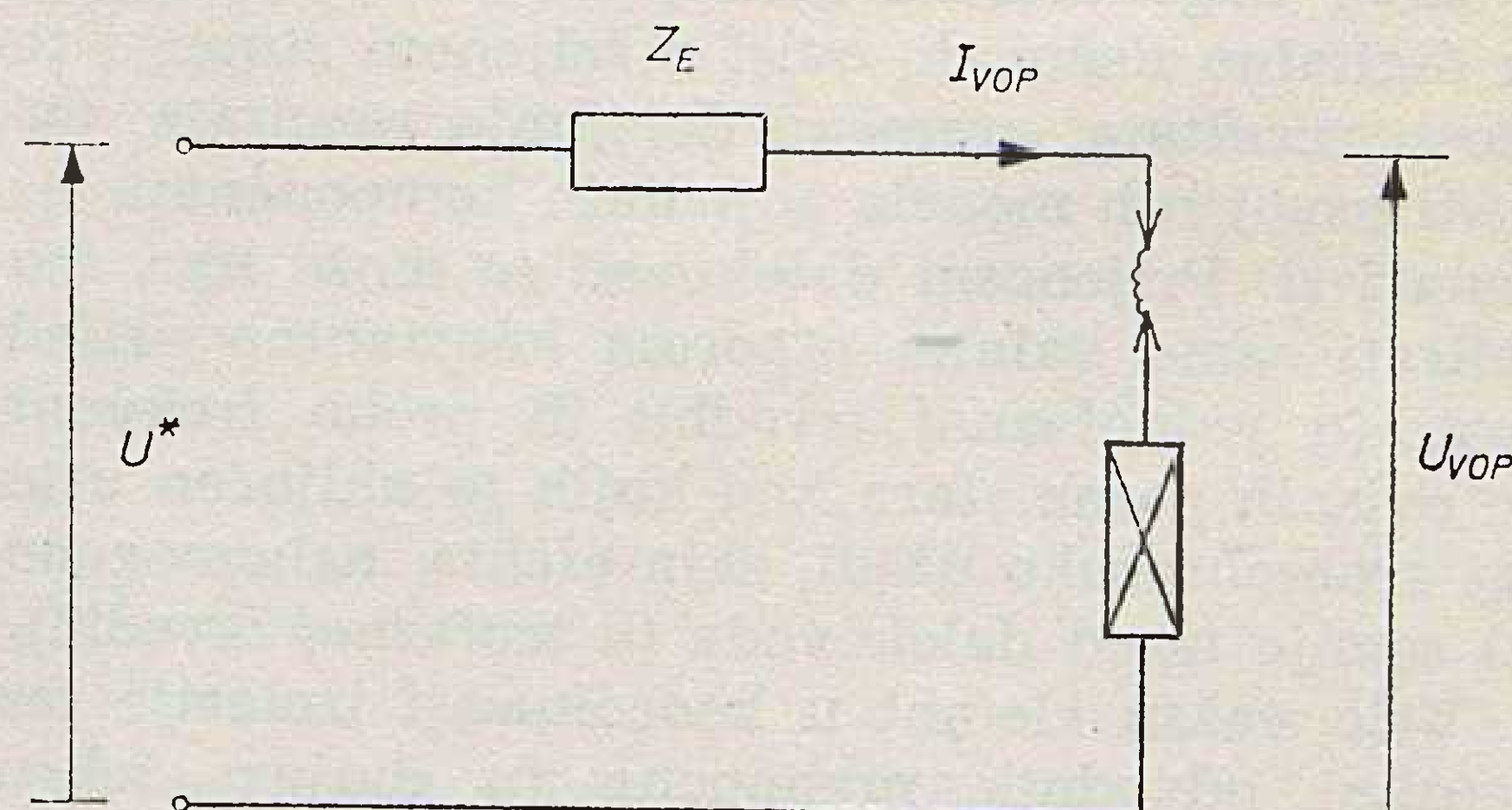
$$U_{VOP} = f(I_{VOP})$$

U jednačbama (3) su:

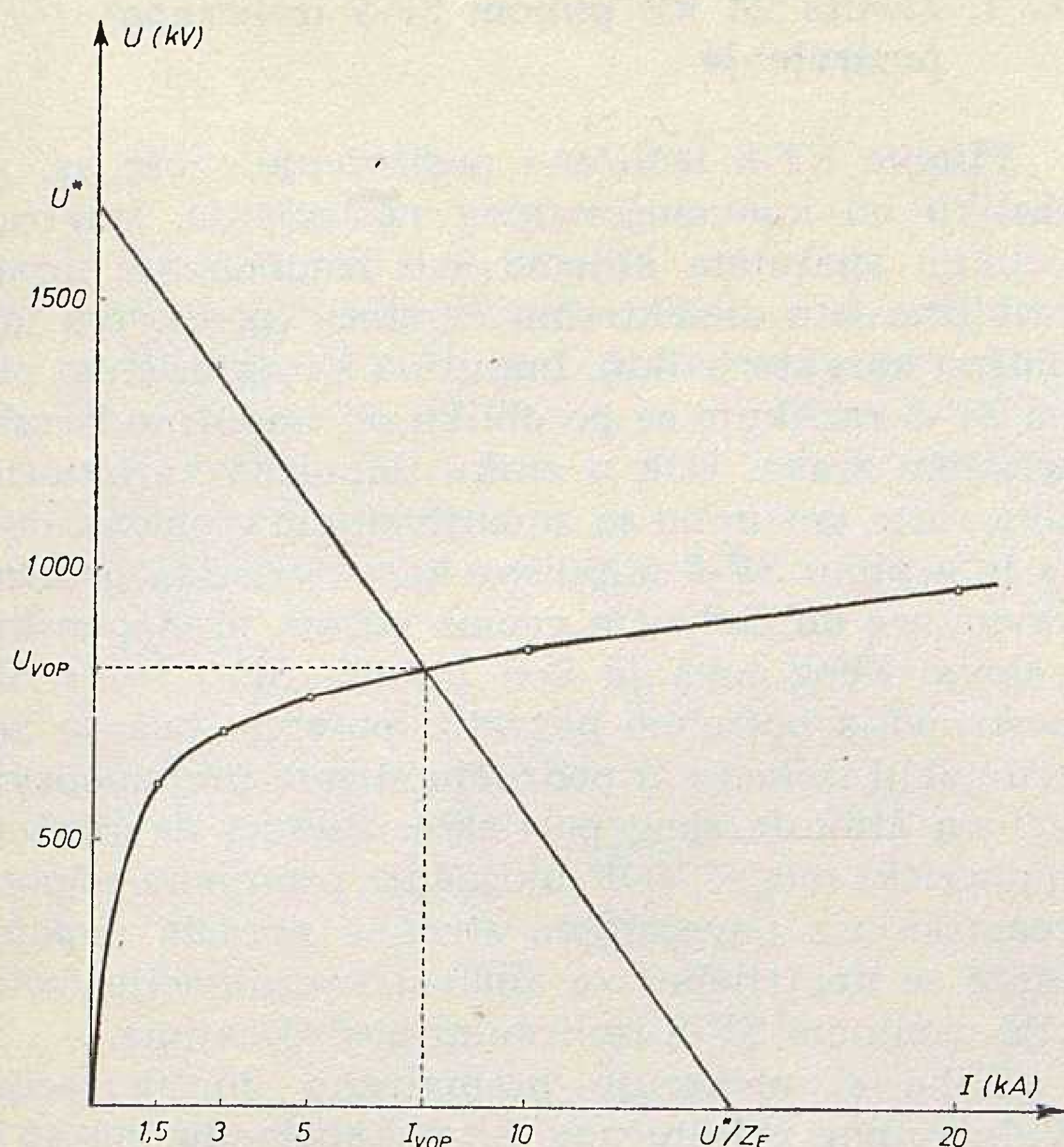
- U^* — Theveninov napon praznog hoda
- Z_E — ekvivalentni valni otpor gledano s mjesta priključka VOP-a u sistemu (paralelna kombinacija valnih otpora spojenih direktno u čvornu točku).

U_{VOP} — preostali napon koji vlada na VOP-u

I_{VOP} — struja kroz VOP.



Sl. 2. Thevenin-ovo ekvivalentno kolo za određivanje napona VOP i struje kroz VOP



Sl. 3. Grafička interpretacija određivanja napona na VOP i struje kroz VOP

Grafička interpretacija određivanja napona i struje VOP-a prikazana je na slici 3.

4. NUMERIČKI MODEL PRESKOČNE IMPULSNE KARAKTERISTIKE VOP-a

Preskočna impulsna karakteristika VOP podijeljena je na dva dijela. Prvi dio se odnosi na prenaponske valove čija je strmina manja ili jednaka strmini kod 100% udarnog napona reagiranja. U ovom dijelu impulsne karakteristike pretpostavlja se da je napon reagiranja konstantan, tj.

$$U_R = U_S \text{ za } t \gg T_S = 1,2 \text{ mikrosek.} \quad (4)$$

Drugi dio preskočne impulsne karakteristike VOP-a odnosi se na veoma strme prenaponske valove. U ovom području impulsna karakteristika je modelirana s eksponencijalnom funkcijom povučenom kroz točke $(U_{\check{c}}, T_{\check{c}})$ i (U_S, T_S) (slika 1). Ako spomenuta eksponencijalna funkcija ima opći oblik

$$U = C \cdot e^{-P \cdot t} \quad (5)$$

onda se za konstante C i P dobiju izrazi:

$$C = U_S \cdot e^{1,2 \cdot P} \quad (6)$$

$$P = \frac{\ln(U_{\check{c}}/U_S)}{1,2 - T_{\check{c}}} \quad (7)$$

Upotrijebljeni algoritam ima slijedeći oblik:

1. Izračunava se vrijednost napona U^* i prosječna brzina porasta napona u čvornoj točki. Ako

je $U^* < U_S$ (VOP nije reagirao), proračun se nastavlja bez VOP-a.

2. Ako je prosječna brzina porasta napona u čvornoj točki manja ili jednaka brzini porasta kod 100% napona reagiranja, a $U^* > U_S$, VOP se uključuje u analizu.

3. Za slučaj da je prosječna brzina porasta napona u čvornoj točki veća od brzine porasta 100% udarnog napona reagiranja a $U^* > U_S$, sistem jednadžbi se rješava:

$$U = C \cdot e^{-P \cdot t} \quad (8)$$

$$U = s \cdot t.$$

Ako se rješavanjem sistema (8) dobije $U < U^*$ (preskok na eksponencijalnom dijelu impulsne karakteristike), VOP se uključuje u kolo. U protivnom se proračun nastavlja bez VOP-a.

5. NUMERIČKI MODEL KRIVULJE PREOSTALOG NAPONA

Postoji nekoliko numeričkih modela krivulja preostalog napona za proračune na digitalnom računalu. U (L.3) krivulja preostalog napona VOP-a je aproksimirana ravnom linijom povučenom kroz točke koje odgovaraju vrijednostima struja od 5 kA i 10 kA. Najveći broj programa za digitalno računalno ima krivulju preostalog napona modeliranu linearnim odsječcima između pojedinih diskretnih vrijednosti preostalog napona (L.4), (L.5). U (L.6) i u (L.7) je za modeliranje krivulje preostalog napona upotrijebljena eksponencijalna aproksimacija (jednadžbe 1), pri čemu je pretpostavljeno da su koeficijenti K i A konstantni u čitavom području.

Numerički model krivulje preostalog napona, koji se ovdje prikazuje, uključuje aproksimaciju s eksponencijalnim funkcijama vodeći računa da koeficijenti K i A nisu konstantni.

Koeficijenti K i A najprije se odrede povlačenjem eksponencijalne funkcije

$$I = K \cdot U^A \quad (1)$$

kroz točke koje odgovaraju strujama 5 kA i 10 kA. Uz ovako dobivene koeficijente rješava se sistem jednadžbi

$$U_{VOP} = U^* - Z_E \cdot I_{VOP} \quad (9)$$

$$I_{VOP} = K \cdot U_{VOP}^A,$$

odnosno traži nula jednadžbe

$$F(U_{VOP}) = U_{VOP} + Z_E \cdot K \cdot U_{VOP}^A - U^* = 0 \quad (10)$$

Rješavanje jednadžbe (10) brzo se provodi primjenom numeričkog postupka regula falsi. Na osnovi dobivenog napona U_{VOP} određuje se vrijednost struje kroz VOP. Ako vrijednost struje I_{VOP} pripada intervalu struja (5 kA, 10 kA), dobiveno

rješenje zadovoljava. U protivnom se locira interval struja kome pripada unaprijed dobivena vrijednost struje. Koeficijenti K i A odrede se na osnovi točaka krivulje preostalog napona koje odgovaraju strujama promatranog intervala i za ovako dobivene koeficijente rješava jednačba (10). U narednom se vremenskom intervalu rješavanje jednačbe (10) provodi koeficijentima K i A dobivenim u prethodnom vremenskom intervalu i pronalazi interval struja kome pripada ovako dobivena vrijednost struje.

Izloženi numerički postupak se veoma brzo provodi. Koeficijenti K i A su unaprijed određeni za svaki interval struje.

6. PROGRAMSKO RAZMATRANJE

Prikazani numerički model VOP-a uključen je u program za digitalno računalo (L.8) u vidu posebnog potprograma. Poseban blok podataka sadrži podatke o preskočenoj impulsnoj karakteristici, krivulji preostalog napona, kao i koeficijente K i A za različite intervale struje. U ovom bloku nalaze se podaci za VOP nazivnog napona od 3 kV pa sve do 330 kV. Ulazne informacije potprograma u kome je programiran numerički model VOP-a jesu:

- nazivni napon VOP
- U^*
- prosječna brzina porasta napona u razmatranoj čvornoj točki.
- dužina priključnog voda VOP (ako se uzima u obzir)
- informacija o potrebi korekcije krivulje preostalog napona zbog povećane strmine strujnog vala.
- otpor uzemljenja VOP (ako se uzima u obzir).

Kao izlaz spomenutog potprograma dobije se napon na VOP-u i struja kroz VOP usvakom vremenskom intervalu.

7. PRIMJERI

Radi ilustracije izloženog numeričkog modela VOP-a izdvojena su dva primjera analize prenaponskih prilika na digitalnom računalu. Proračuni su obavljani na računalu ICL 1902 Elektrotehničkog fakulteta u Sarajevu. Slike prikazane u okviru ova dva primjera dobivene su na linijskom štampaču pomoću posebnog potprograma koji je sastavni dio ranije spomenutog općeg programa za proračun prenaponskih prilika na digitalnom računalu.

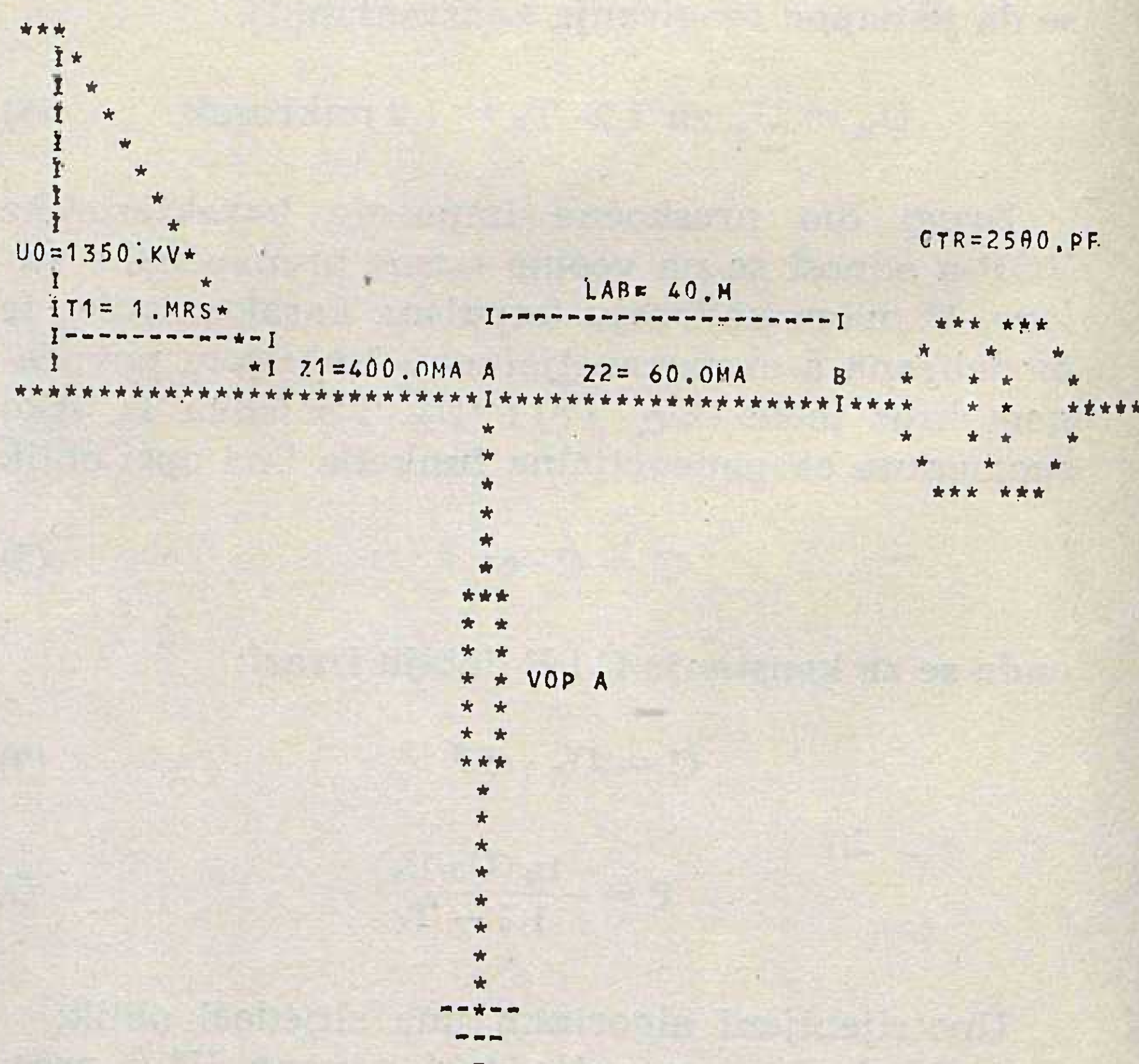
7. 1. Zaštita 24 kV plinom SF-6 izoliranog postrojenja

Plinom SF-6 izolirano postrojenje može se, za razliku od konvencionalnog postrojenja, smatrati velikim aparatom kojemu sve komponente imaju približno istu dielektričnu čvrstoću (podnosivu impulsnu karakteristiku). Impulsna karakteristika plina SF-6 razlikuje se po obliku od impulsne karakteristike zraka. Dok u zraku impulsna karakteristika raste postupno sa smanjivanjem vremena, dotle je u plinu SF-6 impulsna karakteristika prilično ravna sve do područja veoma strmih prenaponskih valova. Zbog toga je kod plinom SF-6 izoliranih postrojenja potrebno posvetiti posebnu pažnju koordinaciji izolacije u području strmih prenaponskih valova atmosferskog porijekla. Budući da izloženi numerički model VOP uključuje promjenu napona reagiranja s povećanjem strmine porasta napona, može se upotrijebiti za analizu koordinacije izolacije u plinom SF-6 izoliranim postrojenjima.

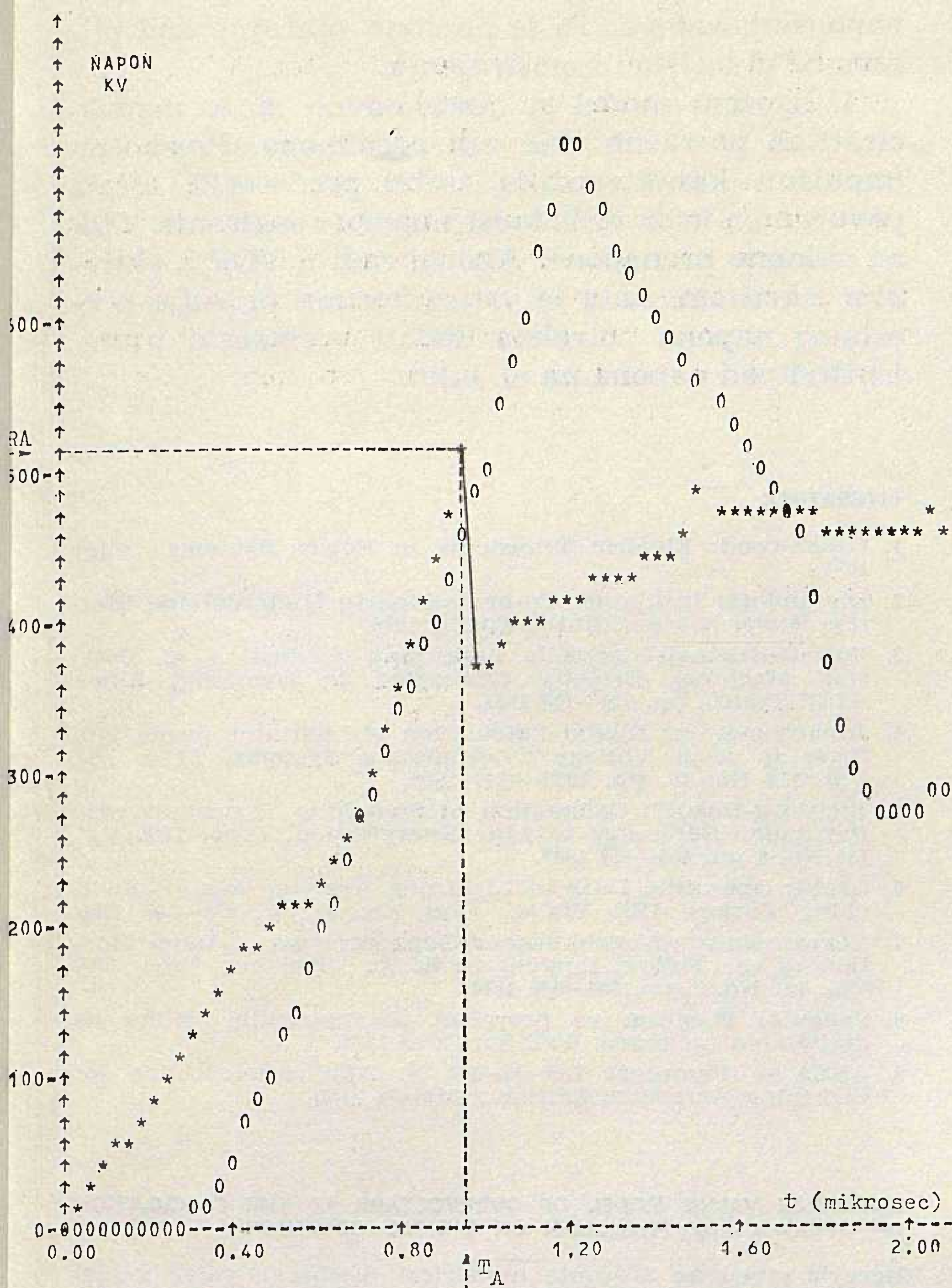
Slika 4. prikazuje promatranu konfiguraciju. Valni otpor priključnog SF-6 kabla dužine 40 m iznosi 60 oma, dok je valni otpor nadzemnog dalekovoda 400 oma. VOP je priključen na spojnem mjestu dalekovoda i kabla (u blizini provodnog izolatora). Transformator snage kapaciteta $C = 2500 \text{ pF}$ je ekvivalentiran kratkom linijom otvorenom na kraju. Pretpostavljena strmina upadnog prenaponskog vala iznosi 1350 kV/mikrosek . Slika 5. prikazuje oblik napona na spojnem mjestu dalekovoda i SF-6 kabla (točka A) i na transformatoru (točka B).

Preskočna impulsna karakteristika OVP-a određena je:

- naponom reagiranja na čelu vala $U_c = 580 \text{ kV}$



Sl. 4. Zaštita plinom SF-6 izoliranog postrojenja



Sl. 5. Analiza prenaponskih prilika: oblik napona u točkama A* i A⁰

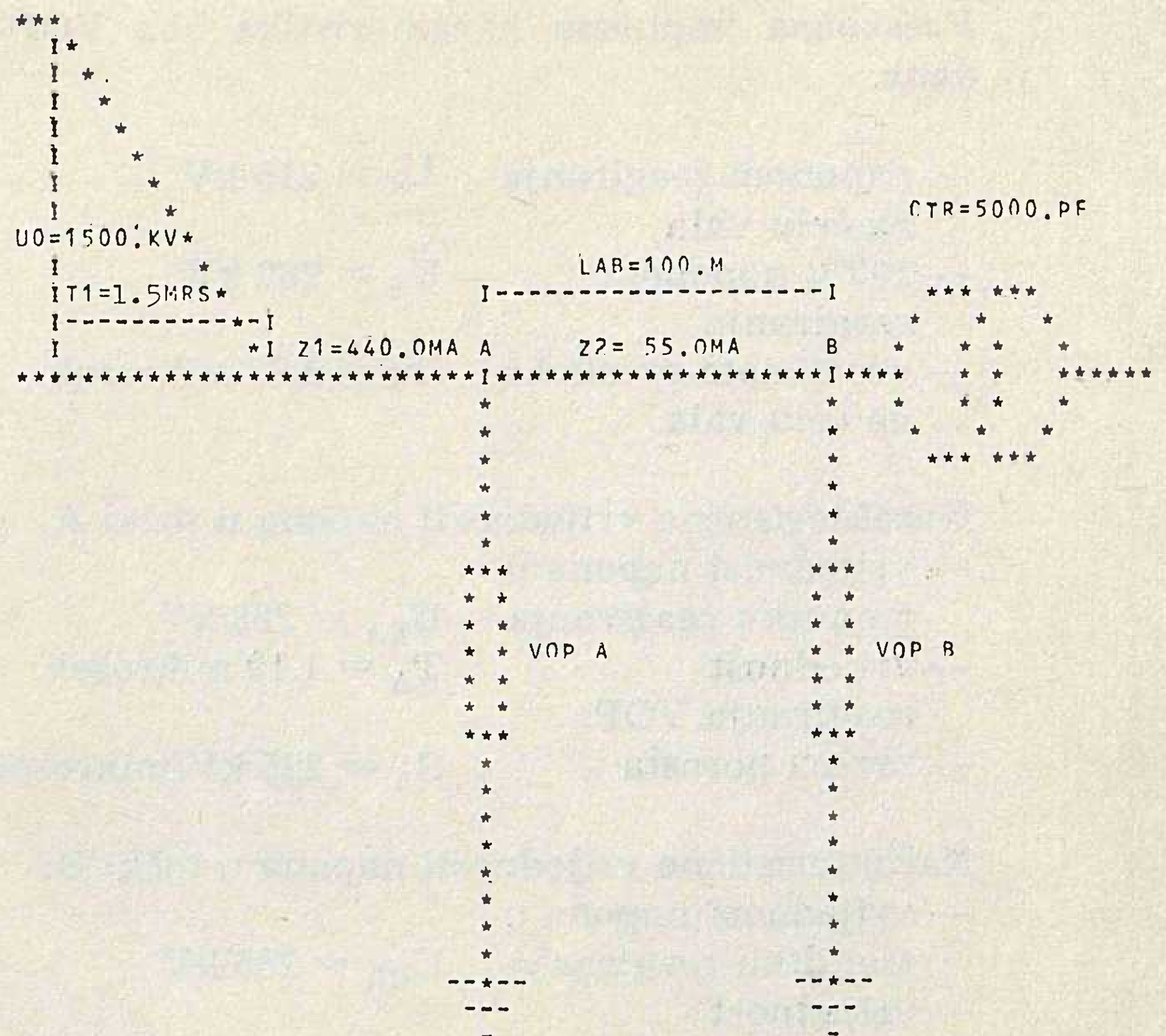
- 100% naponom reagiranja $U_S = 460 \text{ kV}$
- vremenom preskoka na čelu vala $T_{\check{c}} = 0,48 \text{ ms}$
- Karakteristične vrijednosti napona u točki A:
- vrijednost napona u točki A u trenutku reagiranja VOP $U_{AR} = 518 \text{ kV}$
- vrijeme reagiranja VOP $T_A = 0,97 \text{ ms}$
- prosječna brzina porasta napona $s_A = 534 \text{ kV/ms}$

Kako je $s_A > U_S/1,2 = 383 \text{ kV}/\mu\text{s}$, zaključujemo da je VOP reagirao u području jako strmih valova (što se vidi i iz $T_A < 1,2 \text{ mikrosec.}$).

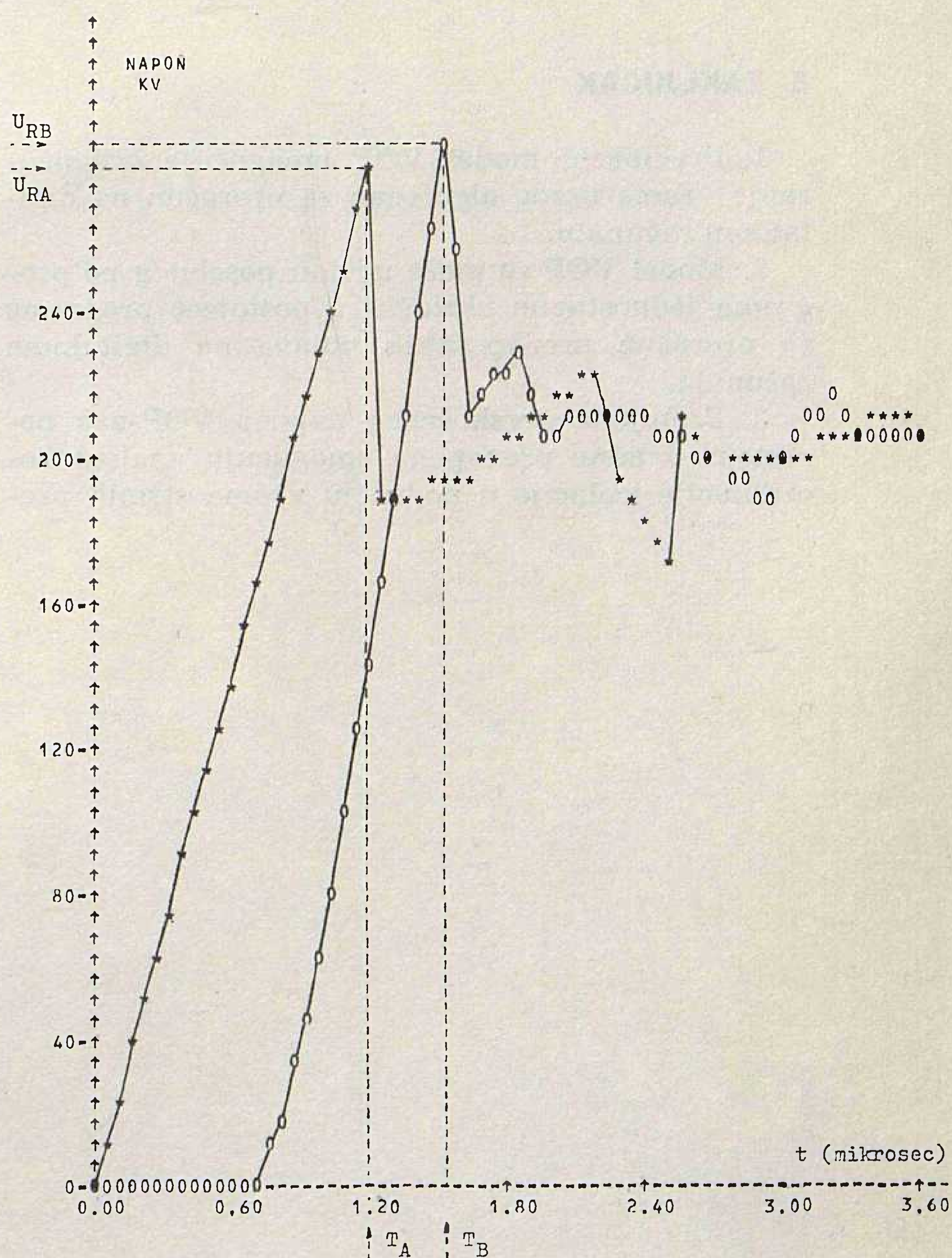
Vrijeme proračuna ovog primjera iznosilo je 25 sekundi vremena centralnog procesora računala, što ukazuje na veoma brz algoritam.

7. 2. Priključak transformatora preko dugačkog kabela

Na slici 6. prikazana je razmatrana konfiguracija. Po preporukama (L.9) zbog dužine kabela veće od 50 m upotrijebljena su dva VOP (jedan na spojnem mjestu dalekovoda i kabela a drugi uz transformator). Na slici 7. prikazan je oblik napona u točkama A i B.



Sl. 6. Priključak transformatora preko dugačkog kabela



Sl. 7. Analiza prenaponskih prilika: oblik napona u točkama A* i B⁰

Preskočna impulsna karakteristika oba VOP-a ja dana:

- naponom reagiranja na čelu vala $U_C = 315 \text{ kV}$
- 100% naponom reagiranja $U_S = 262 \text{ kV}$
- vremenom preskoka na čelu vala $T_C = 0,35 \text{ mikrosek.}$

Karakteristične vrijednosti napona u točki A:

- vrijednost napona u trenutku reagiranja $U_{RA} = 268 \text{ kV}$
- vrijednost reagiranja VOP $T_A = 1,19 \text{ mikrosek.}$
- brzina porasta $S_A = 225 \text{ kV/mikrosek.}$

Karakteristične vrijednosti napona u točki B:

- vrijednost napona u trenutku reagiranja $U_{RB} = 285 \text{ kV}$
- vrijednost reagiranja VOP $T_B = 1,56 \text{ mikrosek.}$
- brzina porasta $S_B = 320 \text{ kV/mikrosek.}$

VOP u točki B je zbog $s_B > U_S/1,2 = 218 \text{ kV}$ reagirao u području jako strmih prenaponskih valova.

8. ZAKLJUČAK

1. Predloženi model VOP omogućuje organiziranje veoma brzog algoritma za proračun na digitalnom računalu.

2. Model VOP se može u vidu posebnog potprograma jednostavno uključiti u postojeće programe za proračun prenaponskih pojava na digitalnom računalu.

3. Promjena preskočenog napona VOP-a s porastom strmine prenapona omogućuju analizu koordinacije izolacije u području veoma strmih pre-

naponskih valova. To je posebno značajno kod plinom SF-6 izoliranih postrojenja.

4. Izloženi model se jednostavno može modificirati za proračun sklopnih prenapona. Preskočnu impulsnu karakteristiku treba predstaviti crtom povučenom kroz vrijednost napona reagiranja VOP na sklopne prenapone. Ako se radi o VOP s aktivnim iskrištem, tada je vrijednostima krivulje preostalog napona potrebno dodati vremenski promjenljivi pad napona na el. luku.

LITERATURA

1. Greenwood: Electric Transients in Power Systems, Wiley 1971.
2. Diesendorf: Insulation Co-ordination in High Voltage Electric Power System, Butterworths 1974.
3. Powell-Hileman-Maxwell: Lightning Protection of Rotating Machines Directly Connected to Overhead Lines, AIEE Trans., pp. 721—728 1963.
4. Johansen-Huse: Digital Calculation of Lightning Surge Voltages in High Voltage Transmission Systems, Proc. IEE Vol. 112 No. 10, pp. 1933—1941 1965.
5. Bickford-Doepel: Calculation of Switching Transients with Particular Reference to Line Energisation, Proc. IEE Vol. 114 No. 4 pp. 465—477 1967.
6. Ozaki: Operating Duty of Lightning Arrester Againsts Switching Surges, IEE Trans., PAS No. 8, pp. 831—837 1966.
7. Veeraraghavan-Nagabhushana-Gopalakrishna: Determination of the Follow Current in Surge Diverters, Proc. IEE Vol. 121 No. 7, pp. 684—686 1974.
8. Sadović: Program za proračun prenaponskih prilika na digitalnom računalu, ETF Sarajevo 1978.
9. ASEA — Pamphlet LB 80—101 E: Application Guide for Lightning Arresters, Edition 2 March 1970.

DISCHARGE VALVE MODEL OF OVERVOLTAGE AT THE CALCULATION OF OVERVOLTAGE PHENOMEN ON DIGITAL COMPUTER

Here is given an accurate numerical discharge valve model of overvoltage at the analysis overvoltage phenomenon on digital computer. The proposed model is related to the analysis of overvoltage phenomenon in the area of overvoltage waves of atmospheric origin. Some examples on overvoltage calculation are described, using the proposed model.

Naslov pisca:

mr Salih Sadović dipl. ing.
Elektrotehnički fakultet, Sarajevo

ANALIZA KVARA NA OTPORNIKU U TS 110/35/10 kV PULA

Elio Sterpin i Luciano Delbianco, Pula

UDK 621.311.4:621.314.21

Prikazan je postojeći način uzemljenja zvjezdišta u Istri. Zatim se detaljno opisuje kvar na otporniku u TS 110/35/10 kV Pula, uz analizu rada relejne zaštite. Predlažu se i određena rješenja kojima je svrha da pogon s uzemljenim zvjezdištem učine sigurnijim.

1. UVOD

S obzirom na činjenicu da su u mreži 35 kV »Elektroistre« kapacitivne struje zemljospoja znatno prekoračile vrijednosti kod kojih je još dozvoljen pogon s izoliranim zvjezdištem, prišlo se uzemljenju zvjezdišta s niskoomskim otpornikom ovih vrijednosti:

- 70 ohma, 300 A kod nadzemne mreže 3 kV,
- 21 ohma, 1 000 A kod kabelske mreže 35 kV,
- kod mješovite nadzemno-kabelske mreže 35 kV; 21 ohma, 1 000 A, 30 ohma, 700 A, 70 ohma 300 A, prema svakom pojedinom slučaju.

S toga su nabavljeni otpornici i ugrađeni u postojeće trafostanice:

- TS 110/35/10 kV PULA
Otpornik za fazni napon $35/1,73 = 21$ kV nazivne struje 1 000 A tipa 21 OU 1000, proizvodnje »Rade Končar« (ugrađen 1975. godine),
- TS 110/35 kV PAZIN
Otpornik za fazni napon $35/1,73 = 21$ kV nazivne struje 300 A tipa 21 OU 300, proizvodnje »Rade Končar« (ugrađen 1977. godine).

Otpornici kao spojevi za uzemljenje zvjezdišta dimenzionirani su termički prema nazivnoj struji otpornika u trajanju od 5 sec.

U bliskoj budućnosti predviđa se uzemljenje zvjezdišta transformatora u TS 110/35 kV Buje (70 ohma, 300 A) i TS 110/35(20) kV Poreč (u izgradnji) (70 ohma, 300 A).

2. OPIS KVARA

Kvar koji se u ovom članku analizira dogodio se 1. 2. 1979. u 3,20 sati na otporniku u TS 110/35/10 kV Pula. Uzrok kvaru bio je proboj na 35 kV kabelu na dionici TS 110/35/10 kV Pula — TS 35/10 kV Centar (prilog 1).

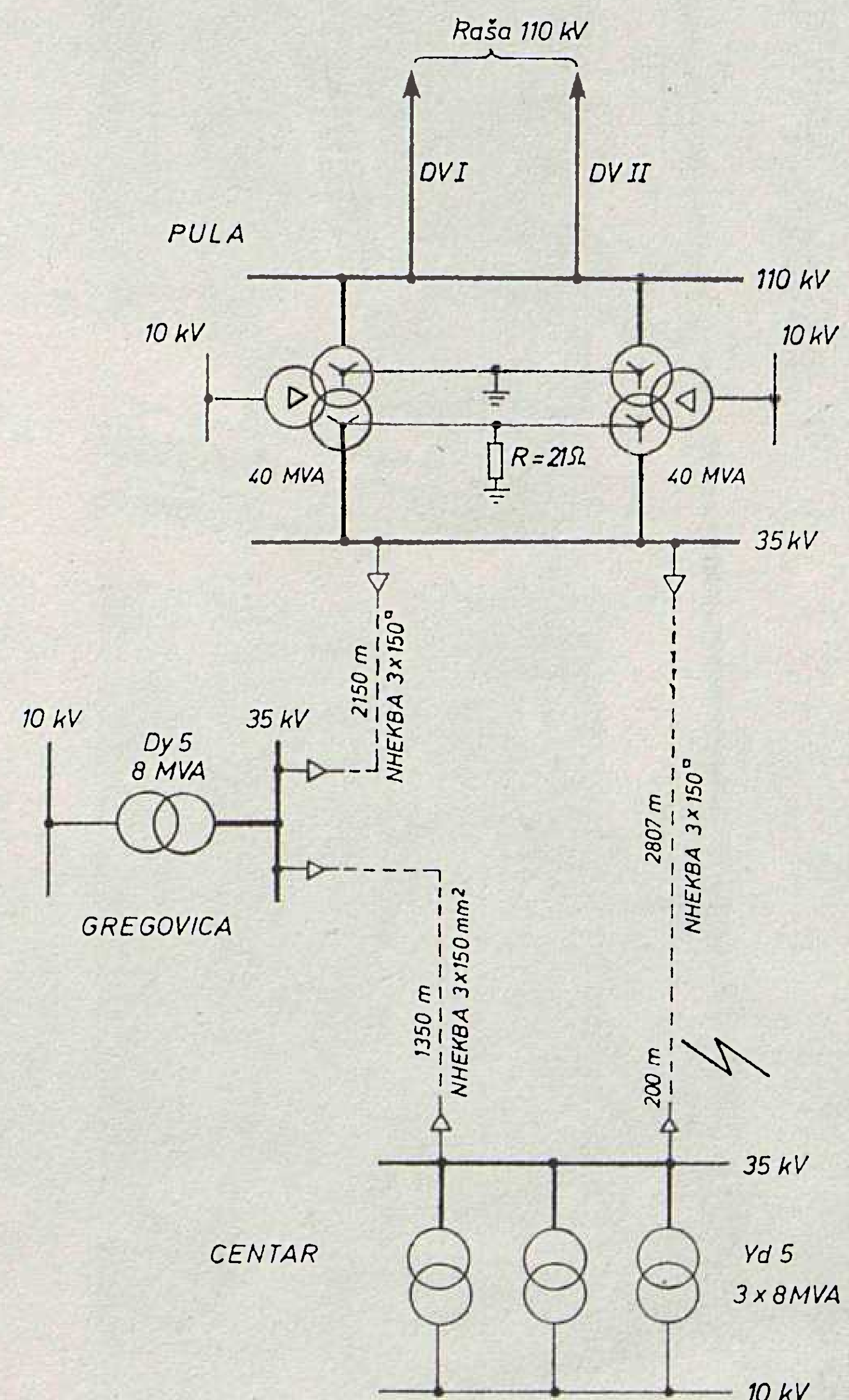
Kabel je tipa NHEKBA 3×150 Cu, a položen je 1959. godine. Pretpostavlja se da je kabel bio

mehanički oštećen jer se na tom dijelu trase izvode građevni radovi.

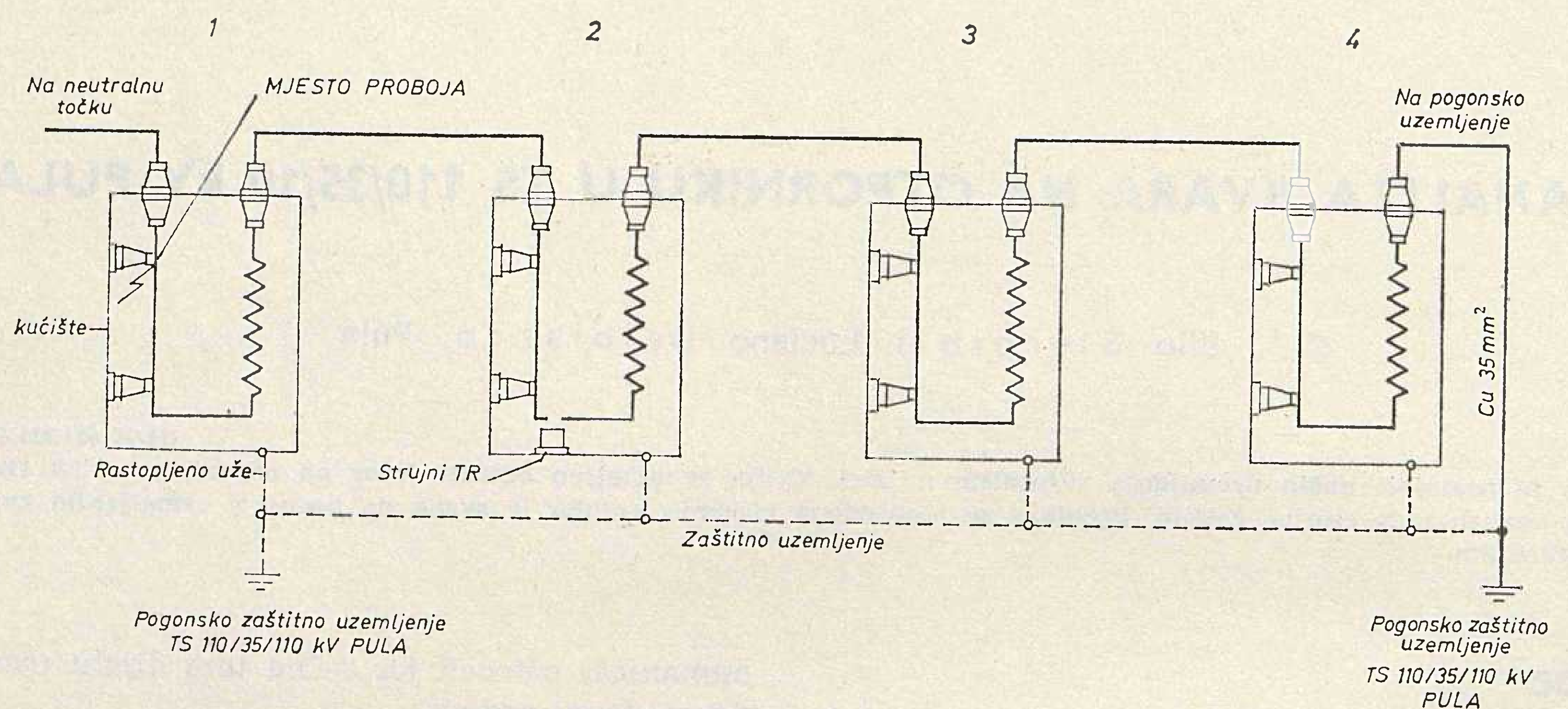
Dakle, oslabljena izolacija vjerojatno zbog mehaničkog oštećenja, uzrokovala je proboj jedne faze prema zemlji, koja zbog uzemljenja mreže 35 kV ima karakter jednopolnog kratkog spoja.

U normalnim uvjetima otpornik za uzemljenje ograničava struju jednopolnog kvara na 1 000 A. U tom slučaju, međutim, struja je bila mnogo veća, reda veličine 6 500 A. To se može objasniti na ovaj način:

Na otporniku za uzemljenje nul-točke 35 kV transformatora u TS 110/35/10 kV (prilog 2) poja-



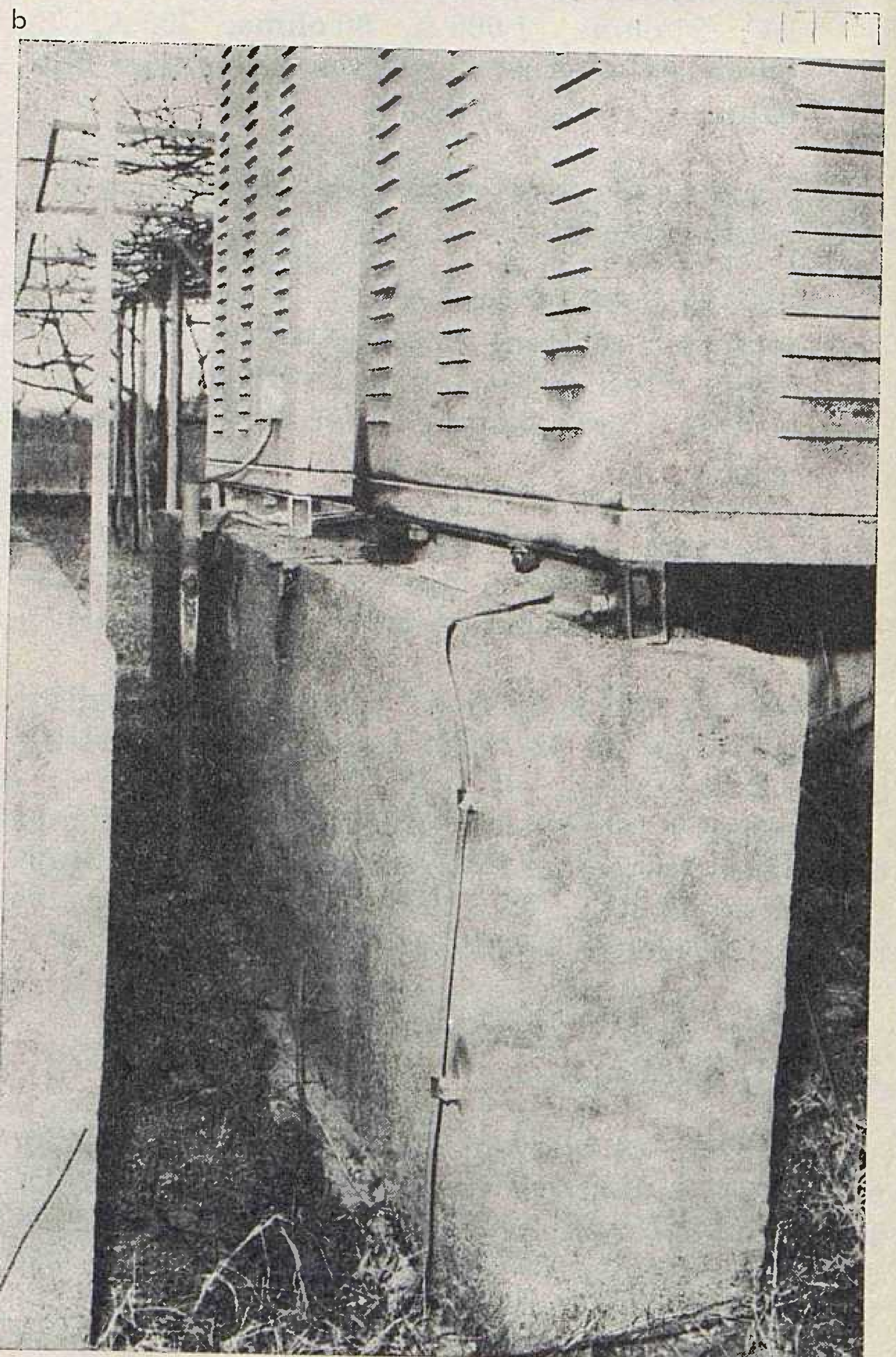
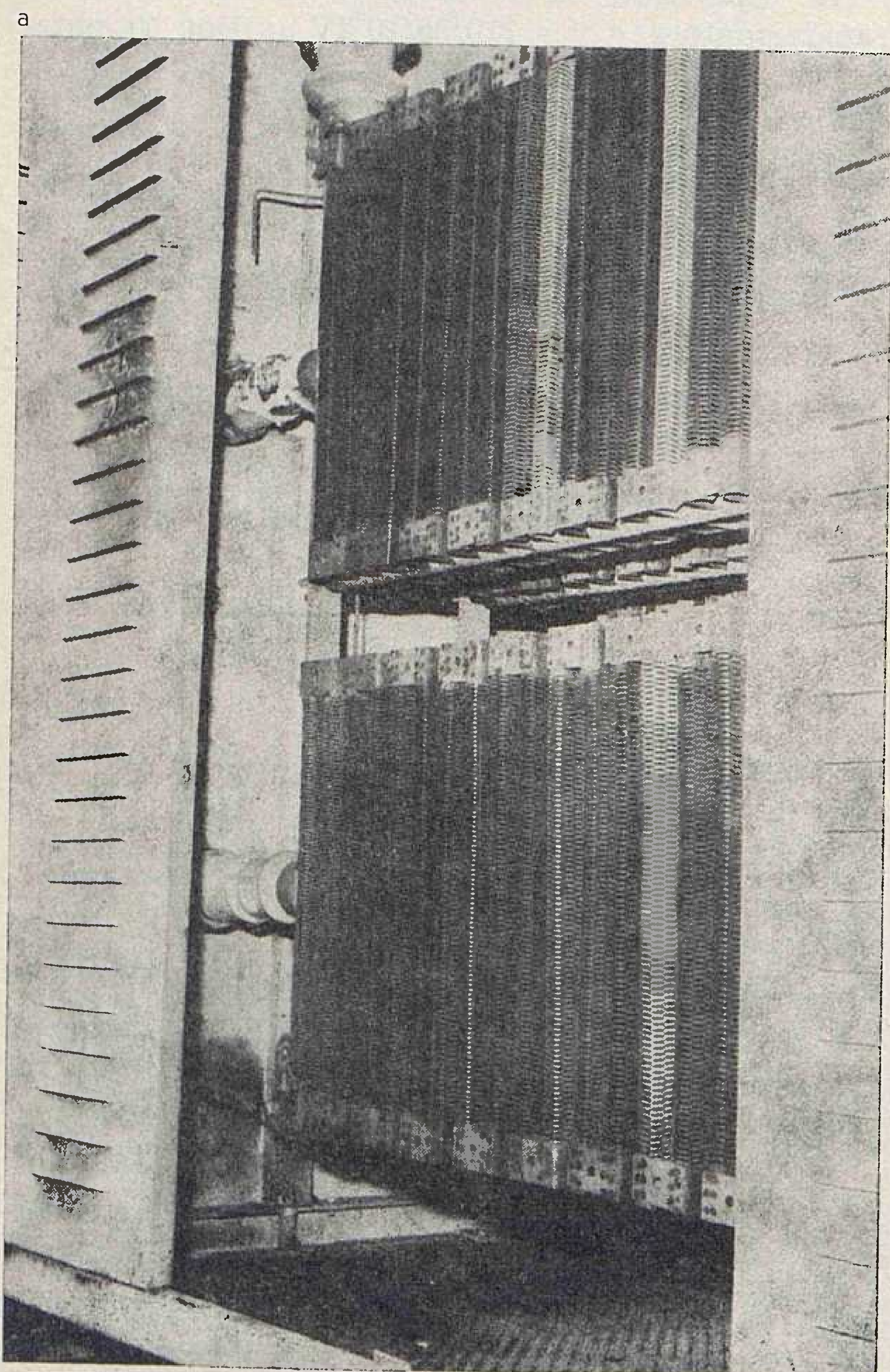
Prilog 1. Mjesto kvara u kabelskoj mreži 35 kV grada Pule



Prilog 2. Otpornik »Rade Končar« tip 210 U 1000 od 4 elementa

vio se kod nastanka proboja na kabeu 35 kV »Cen-tar« fazni napon 21 kV. Zbog vlage, metalne prašine od korozije i drugih onečišćenja na potpornom izolatoru (za unutarnju montažu) stvorio se polu-vodljivi sloj, te je došlo do preskoka na kućište otpornika. Samim tim otpornik za uzemljenje bio

je premošten, struja jednopolnog kratkog spoja ni-je bila ograničena i poprimila je, kao što smo već naveli, vrijednost 6 500 A. Zbog dužine trajanja kvara ta je struja prouzrokovala termičko razara-nje izolacionih elemenata i pogonskog uzemljenja otpornika (prilog 3a).



Prilog 3. Snimci havarije otpornika

Za proračun te struje koristila se metoda simetričnih komponenata.

Parametri kabelaške mreže i transformatora uzeti iz studije Instituta za elektroprivredu, Zagreb i iz Elektrotehničkog priručnika. Rezultati su orijentacionog karaktera i mogu služiti kao pokazatelji u analizi jednopolnih kvarova u kabelaškoj mreži 35 kV grada Pule.

Izračunata struja jednopolnog kratkog spoja kod krutog uzemljenja zvjezdišta iznosi, kao što je prije napomenuto, oko 6 500 A ako se uzima kao mjesto kvara proboj na kabelu 35 kV Centar, a dobiva se pomoću formule:

$$I_T = 3 I_d = \frac{3 E_d}{Z_d + Z_i + Z_o} = \frac{3 E_d}{2 Z_d + Z_o}$$

$$I_T = \frac{3 \frac{36}{\sqrt{3}}}{2(0,214 + j 4,74) + 0,47 + j 0,065}$$

$$I_T = 0,61 - j 6,48 = 6,5 \quad |275^\circ \text{ kA},$$

uz uvjete na mjestu kvara

$$V_T = 0 \quad I_R = 0 \quad I_S = 0$$

gdje je:

I_d	=	struja direktnog sistema
Z_d, Z_i, Z_o	=	nadomjesne impedancije direktnog, inverznog i nultog sistema,
E_d	=	fazna elektromotorna sila direktnog sistema
V_T	=	fazni napon
I_R, I_S	=	fazne struje.

Ta struja rasporedila se 84% kroz galvanski povezane plaštove svih kabela 35 kV promatrane zamke, a 16% kroz uzemljivač. Međutim, kroz po-

3. ANALIZA RADA RELEJNE ZAŠTITE

KRONOLOŠKI REDOSLIJED KVARA				
Dan	Vrijeme	Manevar		Zaštita
1. 2. 79.	3,20 h	signal	DV 110 kV Raša I	distantna zaštita bez člana
	"	"	DV 110 kV Raša II	distantna zaštita bez člana
	"	ispad	kab. 35 kV Centar	prorada konduktantnog releja IMT Iz 2,6 sek
	"	signal	kab. 35 kV Centar	zemljopisna zaštita
	"	"	kab. 35 kV Gregovica	prorada člana Im na konduktantnom releju i na zemlj. zaštiti, te zastavica zemlj. zaštite
	3,23 h	uključen	kab. 35 kV Centar	Vod. polja Gregovica II prorada konduktantnog releja IMT Iz 2,6 sek
	"	ispad	kab. 35 kV Centar	zemljopisna zaštita
	"	signal	DV 110 kV Raša I	distantna zaštita bez člana
	"	"	DV 110 kV Raša II	
8,45 h		Otvoren rastavljač otpornika zvjezdišta 35 kV trafo II		

gonsko uzemljenje otpornika protekao je opet cjelokupni iznos od 6 500 A, koji je naprosto rastopio uže za uzemljenje Cu 35 mm² (prilog 3b).

Ako se ti podaci analiziraju, može se zaključiti da su relejni uređaji uglavnom ispravno djelovali. Međutim, jednostavno se može uočiti da su vremena podešenja relativno visoka, a to posebno vrijedi za zaštitu od jednopolnih kvarova (zemljospojna zaštita) koja ima vrijeme podešenja 2,5 sek. Postojeće stanje zahtijeva takvo udešenje radi sačuvanja osnovne selektivnosti u kabelaškoj mreži 35 kV Pule. Uбудуće bi uzdužna diferencijalna zaštita osigurala osnovnu selektivnost i mnogo kraće vremensko zatezanje, (njena montaža je upravo u toku).

Međutim, ispad kabela 35 kV »Centar« prouzrokovala je konduktantna zaštita u 3. stupnju (2,6 sek), dakle u pitanju je točnost vremenskog člana zaštite od jednopolnih kvarova RI 110.

Kod nastanka kvara na kabelu i nakon preskoka na potpornom izolatoru otpornika zbog povećanja vrijednosti struje jednopolnog kvara signalizirala je distantna zaštita na višenaponskom nivou.

Treba još reći da relejna zaštita otpornika nije proradila kod kvara na otporniku s obzirom na to da je njeno vremensko podešenje 3,5 sek, tj. duže od podešenja na kabelu Centar.

Zbog toga je dežurna osoba u TS 110/35/10 kV Pula mogla vizualno ustanoviti da je otpornik u kvaru tek pošto je primijećena vatra.

4. POGONSKE MJERE ZA POVEĆANJE SIGURNOSTI NISKOOMSKOG OTPORNIKA

4. 1. Konstrukcija niskoomskog otpornika

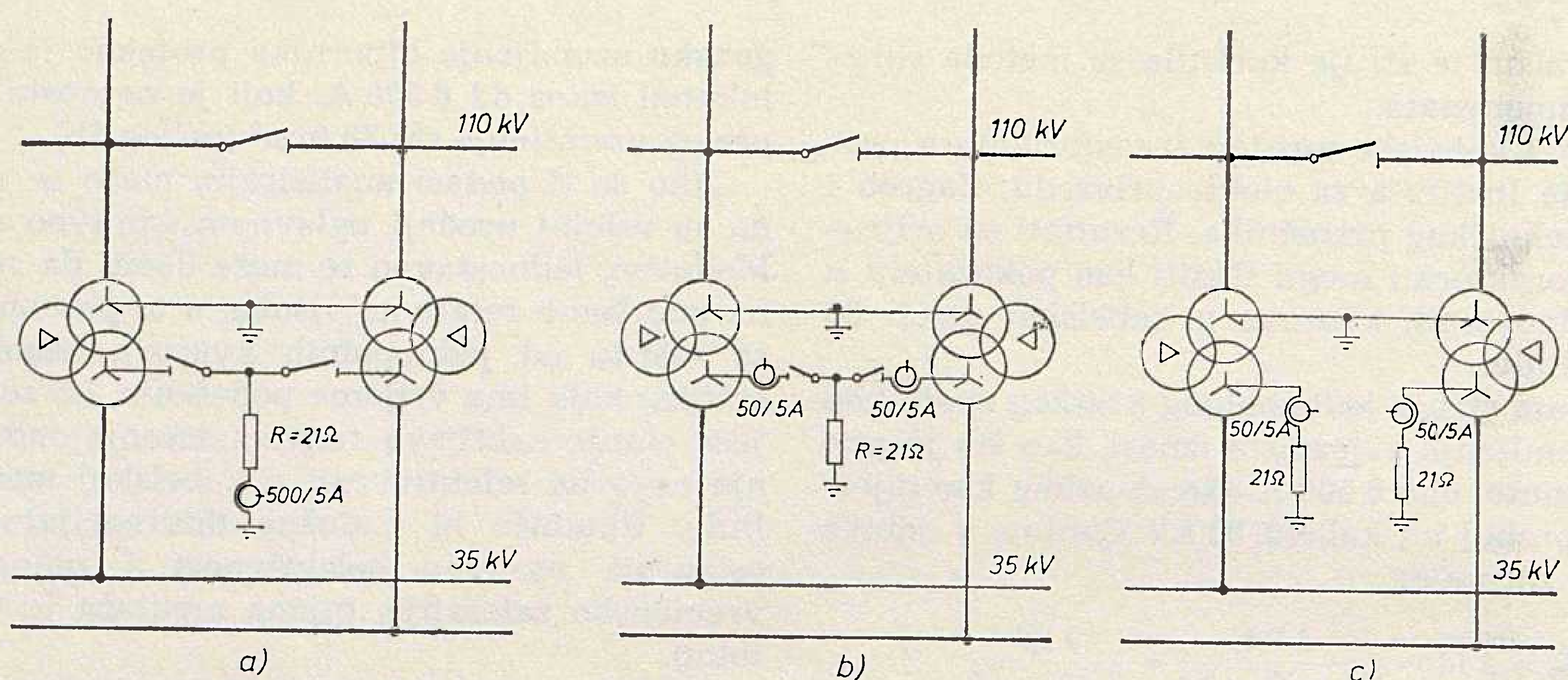
Nakon nalize kvara došlo se do slijedećih spoznaja, koje je potrebno primijeniti u praksi.

Od proizodača treba zahtijevati da sam otpornik, u tom slučaju metalni, bude lako pristupačan za održavanje.

Blindirane ćelije za vanjsku montažu moraju imati pristup s prednje i stražnje strane. Zato je potrebno ugrađivati prednja i stražnja vrata. Osim toga, otvori za ventilaciju moraju biti dovoljno veliki i odgovarajuće smješteni.

Raspored elemenata u ćeliji, kao što su provodni i potporni izolatori, otpornik, zatim sabirnice i eventualni strujni transformator, mora biti funkcionalan i mora zadovoljavati propisane razmake.

Bez obzira na to što metalni otpornik ne zahtijeva neko posebno održavanje, potrebno je pravovremeno očistiti izolatore, provjeriti vrijednost otpora i ispitati relejnu zaštitu.



Prilog 4. Način uzemljenja nul-točke TR 110/35/10 kV

4. 2. Relejna zaštita niskoomskog otpornika

Zadatak relejne zaštite otpornika jest zaštita otpornika od ovih kvarova:

- proboja prema masi i
- proboja među susjednim elementima.

Također mora postojati i rezervna zaštita, ako zataji zaštita od jednopolnih kvarova na sekundarnoj strani transformatora i u vodnim poljima.

Slučaj koji se dogodio u Puli pokazuje nam da relejna zaštita i njezino područje šticejenja nisu odgovarali efikasnoj zaštiti otpornika od jednopolnih kvarova.

4. 2. 1. Smještaj strujnog transformatora

Ako se promatra prilog 4a vidljivo je da položaj gdje je montiran strujni transformator nije povoljan kod kvara na ulazu otpornika. Imajući na umu da je tada fazni napon polja na početku otpornika, te da je mogućnost proboja na tom mjestu najveća, dolazi se do konstatacije da zonu šticejenja treba proširiti. Naime, najbolje rješenje bila bi montaža strujnih transformatora odmah na izlazu 35 kV zvjezdišta transformatora (prilog 4b).

Tada bi svaki energetska transformator imao svoju pripadnu zaštitu otpornika.

Eventualni jednopolni kvar na potezu od zvjezdišta do otpornika bio bi obuhvaćen i zaštita bi efikasno proradila, te bi isključila vlastiti transformator.

Dakle, u tom slučaju pogon transformatora mogao bi biti pojedinačan, paralelan ili odvojen.

Kompromisno rješenje je montaža strujnog transformatora neposredno prije otpornika u njegovu kućištu. Na taj način relejna zaštita otpornika djeluje na oba transformatora i štiti samo otpornik.

Treba napomenuti da kod priključenja strujnog transformatora između transformatora snage i nis-

koomskog otpornika njegov nominalni napon ne smije biti manji od faznog napona mreže čija se neutralna točka uzemljuje.

Ubuduće je potrebno također razmotriti mogućnost primjene obuhvatnih strujnih transformatora koji bi bili montirani odmah iza kabelskih glava.

4. 2. 2. Vrste zaštita i udešenja

Otpornik je šticejen nadstrujnim relejem za jednopolne kvarove RI 110 koji djeluje na nultu struju.

Područje podešenja releja kreće se od 20 do 50% I_n , $I_n = 5$ A. Strujno podešenje releja iznosi sekundarno 20% I_n , $I_n = 5$ A $I_{pod} = 1$ A svedeno na primar 60 A, dok je vremensko podešenje $t = 3,5$ sek.

Vrijeme djelovanja nadstrujnog releja niskonaponskog otpornika podešeno je tako da bude 0,5 sek duže od vremena djelovanja iste zaštite na transformatoru i 1 sek duže od one na vodovima.

Nedostatak takvog načina zaštite jest u tome što kod kvara na otporniku relej isključuje prekidače transformatora tek nakon isteka podešenog vremena od 3,5 sek. To je predugo, pa otpornik i njegovi pripadni elementi mogu biti ozbiljno oštećeni, kao što je pokazalo prethodno izlaganje.

Da bi se izbjegla ta mogućnost, potrebno je ugraditi jedan dodatni relej (IR 10) koji bi djelovao bez vremenskog zatezanja kod prekoračenja nominalne struje otpornika.

U Puli bi njegovo strujno podešenje iznosilo 1 100 A ili više. Na taj način relejna zaštita otpornika obuhvatila bi sve kvarove i bila bi također i aktivna rezerva u slučaju da zataji zaštita na transformatoru i na vodovima 35 kV.

Jasno je da to vrijedi ako je strujni transformator montiran prije otpornika i to što bliže zvjezdištu transformatora.

4. 3. Rješenja s dva otpornika

Praktična iskustva pokazala su da je pogodnije rješenje kad svaki transformator ima vlastiti otpornik s pripadnim elementima i relejnu zaštitu (prilog 4c). U Puli je čitavo vrijeme dok otpornik nije popravljen mreža 35 kV radila kao izolirana, a to je nedopustivo kad se jednom prijeđe na pogon s uzemljenim zvjezdištem.

U TS 110/35 kV »Elektroistre« obično je jedan transformator u pogonu i dovoljan je za podmirenje konzuma kod redovnog uklopnog stanja, dok je drugi transformator izvan pogona i služi kao rezerva.

Na isti način trebalo bi postupati i s otpornikom; u tom bi slučaju bila osigurana efikasna rezerva i stvorile bi se nove mogućnosti pogona, kao na primjer odvojeni rad transformatora. Osim toga poboljšala bi se i selektivnost relejne zaštite.

U današnje vrijeme nude se na tržištu otpornici s bitno manjim dimenzijama, s cijenama koje su konkurentne, te krajnja računica navodi na rješenje s dva otpornika, naročito ako se polazi od toga

da je iznos minimalan s obzirom na dobivene pogonske sigurnosti.

LITERATURA

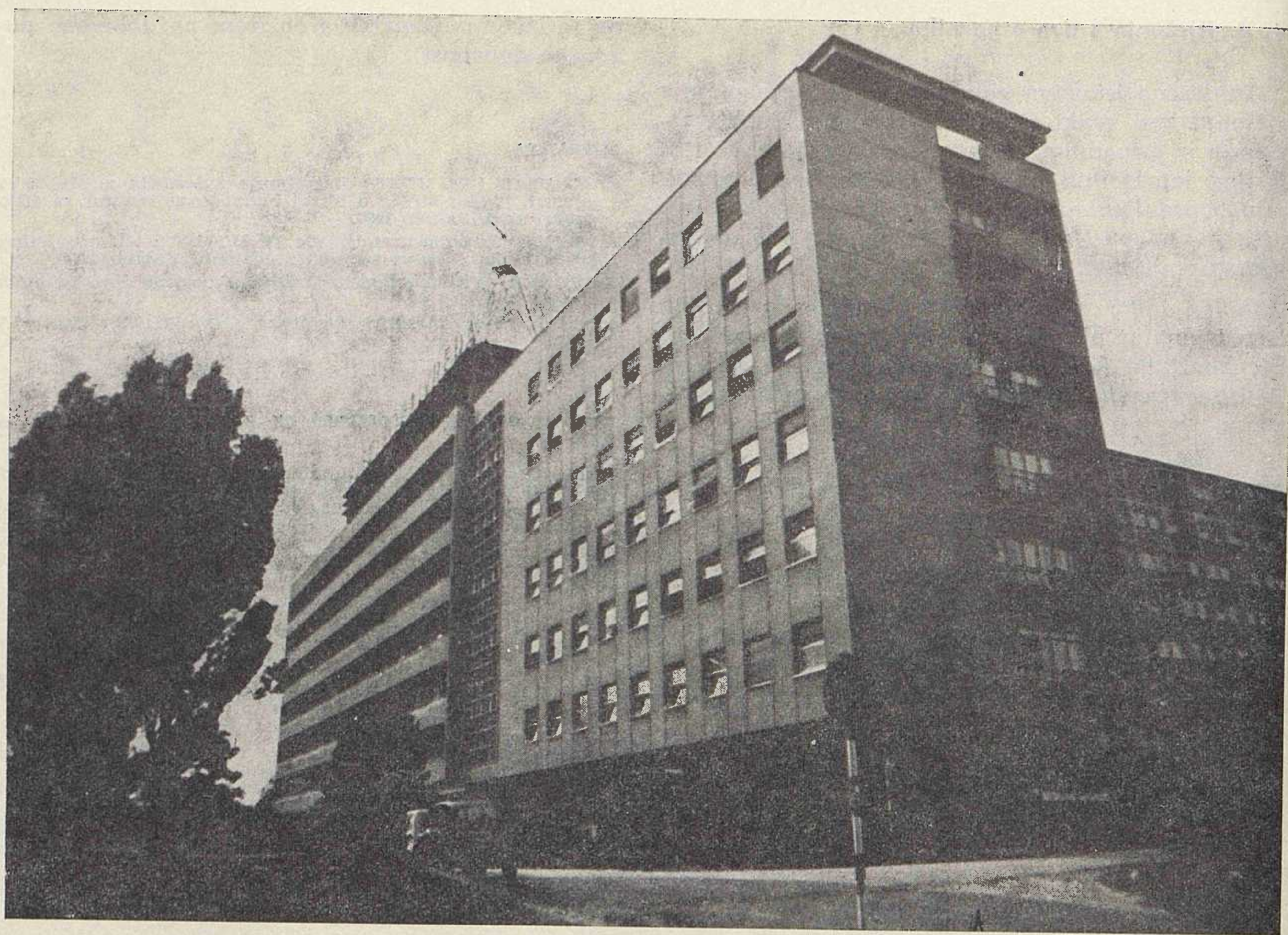
- Ž. ZLATAR i M. JUNG: Uzemljenje zvjezdišta mreže 35 kV u Istri, 1. dio: Mreža u bližoj budućnosti, Institut za elektroprivredu Zagreb 1968.
A. SEKSO: Izvedba uzemljivača TS 35/10 kV u težim uvjetima uzemljenja, Institut za elektroprivredu Zagreb 1972.
H. POŽAR: Visokonaponska raslopna postrojenja, Tehnička knjiga Zagreb 1967.
»Elektroprenos« Matulji: Pogonski dnevnik TS 110/35/10 kV Pula.

ANALYSIS ON FAILURE OCCURED ON RESISTANCE TS 110/35/10 kV PULA

The existing way of grounding Y connection in Istria is discussed in this article. Further on a failure on resistance in TS 110/35/10 had been described in detail including the analysis on work of relay protection. At the end some conclusions are proposed tending to make more secure the operation with grounded Y connection.

Naslov pisaca:

Elio Sterpin, dipl. ing.
Luciano Delbianco, dipl. ing.
»ELEKTROISTRA« Pula



U zgradi ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE nalazi se nekoliko elektroprivrednih organizacija. To su: ELEKTRO-PRIVREDA ZAGREB, ZAJEDNICA ELEKTROPRIVREDNIH ORGANIZACIJA SRH, ELEKTROPRENOS, ELEKTRO-PROJEKT, INSTITUT ZA ELEKTROPRIVREDU i DALEKOVOD.

UTJECAJ ZAGAĐENJA ZRAKA NA DIELEKTRIČNU ČVRSTOĆU IZOLATORA VISOKIH NAPONA

Ivan Štahan, Zagreb

UDK 621.315

Zagađenje zraka industrijskom prašinom, plinovima agresivnog djelovanja, posolicom u obalnim krajevima, uz prirodne stohastičke pojave magle, inja, kiše itd. bitno djeluju na smanjenje dielektrične čvrstoće izolacionih površina. U članku su opisane fizikalne osnove preskoka električnog luka, kao i veza između teoretskog i stvarnog modela. Prikazani su i utjecaji zagađenja na preskočne napone i fenomen »samočišćenja« izolacionih površina pod utjecajem kiše.

1. UVOD

Posljednjih nekoliko godina sve se više nameće spoznaja da dosadašnji klasični kriteriji za određivanje dielektrične čvrstoće izolacionih površina sklopnih aparata srednjeg i visokog napona za vanjsku montažu i drugih elemenata postrojenja i prenosnih vodova nisu posve dovoljni. Određivanje oblika i dimenzija izolatora klasičnim kriterijima, ispitivanjem s naponom industrijske frekvencije i udarnim atmosferskim naponom, više ne zadovoljava. Istraživanja pouzdanosti sklopnih aparata pokazuju da pouzdanost pada upravo zbog utjecaja zagađenosti zraka. Kod prijenosnih vodova situacija je još teža, jer prijenosni vodovi prolaze kroz krajeve koji su različito zagađeni industrijskom prašinom, dimnim plinovima agresivnog djelovanja, posolici itd. i sve češće dolazi do pojava lokalnih dozemnih spojeva i potpunih raspada pri-

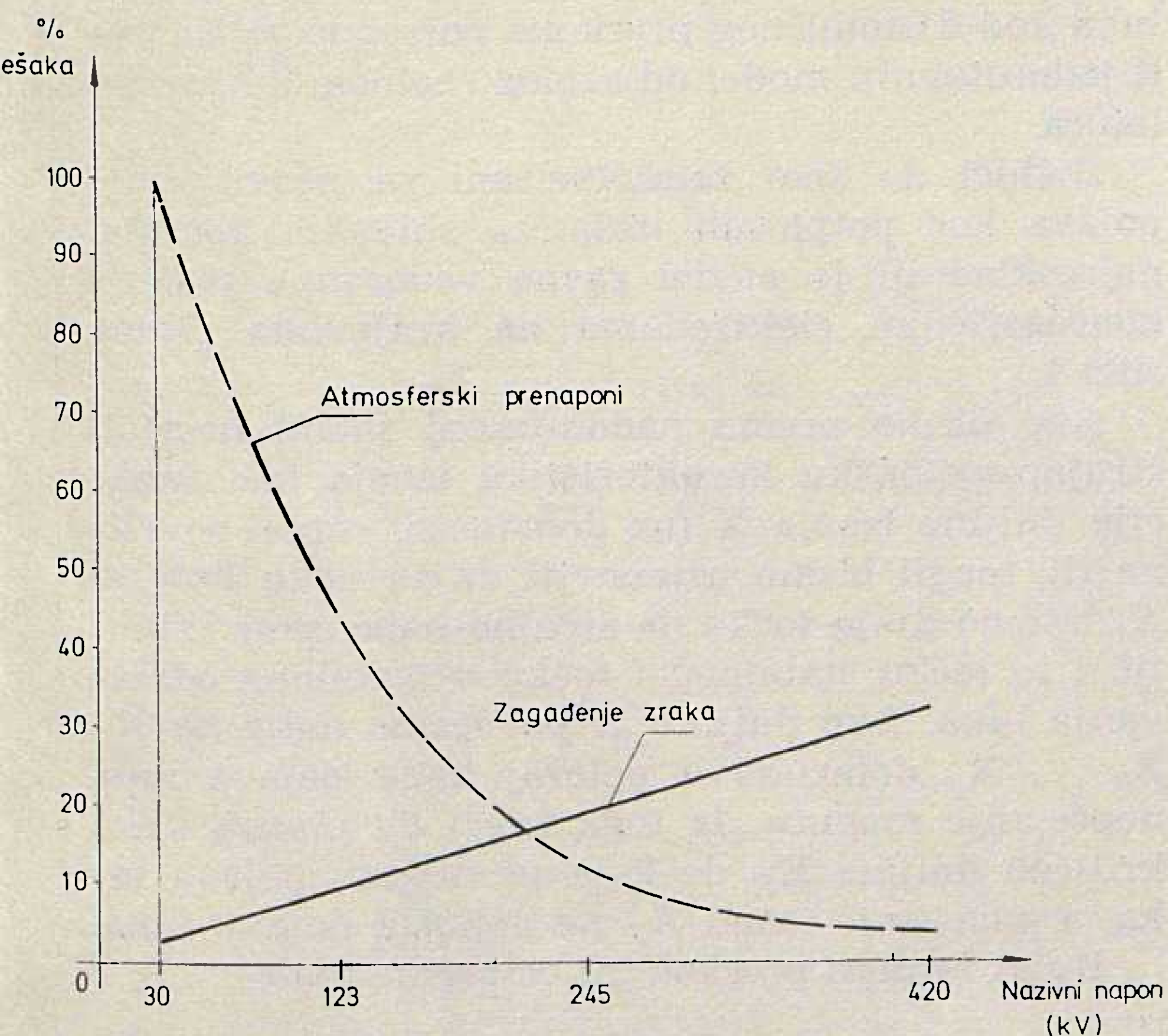
jenosne mreže. Svi ti problemi vezani su uz stohastičke pojave vjetra, kiše, vlage, magle, mraza, snijega itd., a svaka od ovih pojava u sprezi sa zagađenjem stvara nove uvjete za snižavanje odgovarajuće dielektrične čvrstoće izolacionih površina. Iako su svi izolatori koje smo do sada ugrađivali bili atestirani prema klasičnim kriterijima naponskih ispitivanja, sve češće dolazi do preskoka prema zemlji. Prema tome, ti kriteriji nisu više dovoljni za određivanje dielektrične čvrstoće, nego moramo uvesti još jedan, a to je ispitivanje u uvjetima zagađene atmosfere. Stalna industrijalizacija zahtijeva poraste napona prijenosnih vodova, a kod ovih problemi koji donosi zagađenje zraka postaju dominirajući faktor. Dijagram na slici 1. pokazuje takvu ovisnost, jer što je napon viši utjecaj atmosferskih prenapona na preskoke prema zemlji pada, ali preskoci zbog zagađenosti rastu.

2. FIZIKALNE OSNOVE PROBLEMA

Problem preskoka na izolatorima studira se već nekoliko desetaka godina i nije još nađena zadovoljavajuća teorija koja bi objasnila fizikalni proces kojim djelomični preskok premošćuje mokri vodljivi sloj i dalje se razvija u puni preskok. Problem je toliko kompleksan da se radije prilazi eksperimentalnim istraživanjima i daju se isključivo tehnička rješenja, kao duljina klizne staze, različiti oblici krila izolatora itd.

Proces preskoka uključuje fizikalne procese kao što su isparavanje vodnog sloja, ionizacija, promjena otpora stranog sloja zbog zagrijavanja i isparavanja i skrivljenje električnog polja zbog stranog sloja, prijenos materije itd. Budući da se svi ovi procesi odigravaju u vrlo kratkom vremenu, a istovremeno i više njih, svi teoretski modeli nastoje se bitno pojednostavniti.

Fizikalnu sliku procesa preskoka možemo podijeliti u četiri faze:



Sl. 1.

- formiranje stranog sloja i vlaženje
- stvaranje suhih zona
- djelomičan preskok preko suhih zona
- širenje djelomičnog preskoka i razvoj u puni preskok.

Svaka od tih faza odvija se jedna za drugom, i ako bilo koja faza izostane ili se tehničkim načinom spriječi, do razvoja u puni preskok ne može doći.

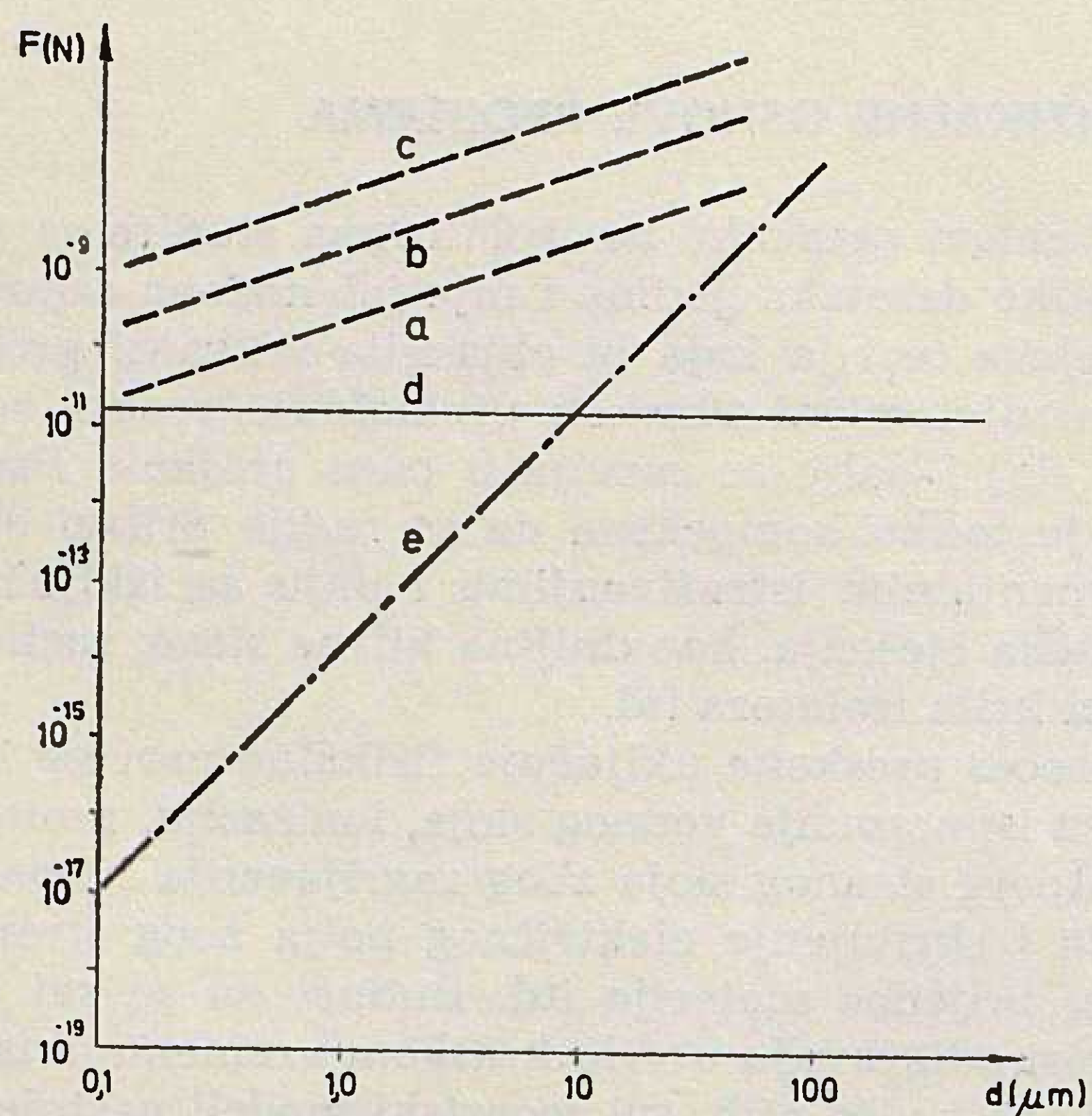
2. 1. Formiranje stranog sloja

Taloženje čestica iz zagađene atmosfere vrši se određenom dinamikom koja ovisi o izvoru zagađenosti, konfiguraciji tla, meteorološkim uvjetima itd. Sile koje djeluju na česticu da se transportira na površinu izolatora jesu slijedeće:

- sila gravitacije $F = m \cdot g$ (m = masa, g = gravitacija)
- sila el. polja $F = q \cdot E$ (q = količina naboja, E = jačina el. polja)
- sila vjetra $F = 3\pi \cdot \mu \cdot v \cdot d$ (μ = koeficijent trenja zraka, v = brzina vjetra, d = promjer čestice).

Djelovanje tih sila u funkciji promjera čestica prikazano je na slici 2.

Za djelovanje sila električnog polja potrebno je još napomenuti da su one znatno izraženije u slučaju stvaranja suhih zona jer se neravnomjerna raspodjela polja još više poremeti i oko suhih zona nastaje snažna koncentracija polja. To je uzrok da se čestice talože na suhim mjestima pa i ispod kri-la izolatora, tj. na mjestima koje zovemo »zaštićena mjesta«.



Sli. 2.

a = brzina vjetra 2 m/sec, b = brzina vjetra 5 m/sec, c = brzina vjetra 10 m/sec, d = el. polje $E = 2\text{kV/cm}$, naboj $q = 1000\text{ As}$, e = gravitacija.

Suhe naslage čestica nisu same po sebi problem, ali one u navlaženom stanju pokazuju osobine provodnika drugog reda, tj. elektrolita. Vlaženje je posljedica kiše, magle, rose, snijega itd. Magla i rosa (iako vremenski ograničenog djelovanja) imaju najveći utjecaj. Proces vlaženja uzrokovan kondenzacijom (zbog razlike temperatura površine izolatora i temperature okoline) različit je za izolatore pod naponom (dinamička impedancija) i izolatore koji nisu pod naponom (statička impedancija).

2. 2. Stvaranje suhih zona

Nastankom procesa vlaženja povećava se provodnost površine izolatora i klizne struje koje protječu povećavaju se za nekoliko desetaka puta u odnosu na suhi izolator.

Struja gubi kapacitivnu i poprma sve veću radnu komponentu, što znači da se smanjio pomak između napona i struje. Posljedica je razvijena toplina po jedinici površine izolatora, a ova ovisi o gustoći struje na nekom mjestu. Gustoća struje mijenja se na površini izolatora ovisno o njegovu obliku te na mjestima najveće gustoće dolazi do lokalnih termičkih šokova i bržeg stvaranja suhih zona. Čitava površina izolatora prekrivena je zonama bitno različite vodljivosti. Daljnji proces je tzv. linearno širenje suhih zona radi stanjivanja vlažnog sloja i konačno na mjestima najužeg presjeka izolatora javljaju se tzv. prstenaste suhe zone.

Suhe zone imaju znatno veći potencijal napona i stvaraju se uvjeti za djelomični preskok.

2. 3. Djelomičan preskok preko suhih zona

Shematski prikaz djelomičnog preskoka preko suhih zona dan je na slici 3.

Da bi matematički mogli prikazati uvjete pojave luka kod djelomičnog preskoka potrebno je izabrati jednostavniji model od samog realnog oblika izolatora.

Budući da smo zainteresirani za promatranje pojava kod potpornih izolatora sklopnih aparata, najprikladniji je model ravne vodoravne ploče s koncentričnim elektrodama na krajevima prema slici 4.

Ako bismo prema nadomjesnoj shemi nacrtali strujno-naponsku karakteristiku izboja kao funkciju duljine izboja X (uz konstantni otpor površine R), mogli bismo ustanoviti da za neku duljinu X_1 imamo dvije točke na strujno-naponskoj krivulji, i to točku stabilnog i točku nestabilnog održavanja luka. Ako duljinu X povećamo dalje na X_2 , $X_3 \dots X_n$ dolazimo u položaj kada pojava luka uopće nije moguća. Iz toga izlazi da postoji neka kritična duljina X_K do koje je moguća pojava luka, a povećanje iznad X_K ne dopušta pojavu luka.

Uvjet za puni preskok bit će prema tome

$$L < X_K. \quad (1)$$

Drugi bitan uvjet za pojavu luka je tzv. minimalni potrebni napon na kojem će se luk održavati, a ispod kojeg nije moguće održavanje niti pojava luka. Ovo se promatranje može provesti također strujno-naponskom karakteristikom s konstantnim otporom površine R i duljine izboja X , ali s variranjem napona izvora. Analogno ranije rečenom postoji i neki kritični napon V_K iznad kojeg će se luk proširiti u puni preskok. Odnos između kritičnog napona i kritične duljine prikazan je na slici 5.

Za neku duljinu izboja X_i stabilan luk je moguć za sve napone iznad V_i ili za neki stabilan napon izvora V_i luk se može širiti samo do duljine X_i . To vrijedi za sve napone do V_K iznad kojeg dolazi do punog preskoka.

Za krug na slici 4. može se napisati ova naponska jednadžba:

$$V = V_L + V_R. \quad (2)$$

Slijedi poznata jednadžba za napon luka

$$V_L = A \cdot i^{-n} \cdot X, \quad (3)$$

gdje su A i n konstante luka, i struja luka i X duljina luka.

Pad napona na nepremoštenom dijelu prema slici 4. je

$$V_R = i \cdot r (L - X), \quad (4)$$

gdje je r otpor stranog sloja po jedinici duljine i L duljina modela izolatora.

Iz toga slijedi:

$$V = X \cdot A \cdot i^{-n} + ir (L - X) + V_E. \quad (5)$$

V_E je dodatni pad napona jer se oblikom koncentriranih strujnica ne iskorištava cijeli strani sloj. Veličina V_E određena je mjerenjem.

Poznato je da je minimalni napon tangenta na strujno-naponsku krivulju, pa jednadžbu (5) moramo riješiti uz uvjet:

$$\frac{\text{parc. } dV}{\text{parc. } dI} = 0. \quad (6)$$

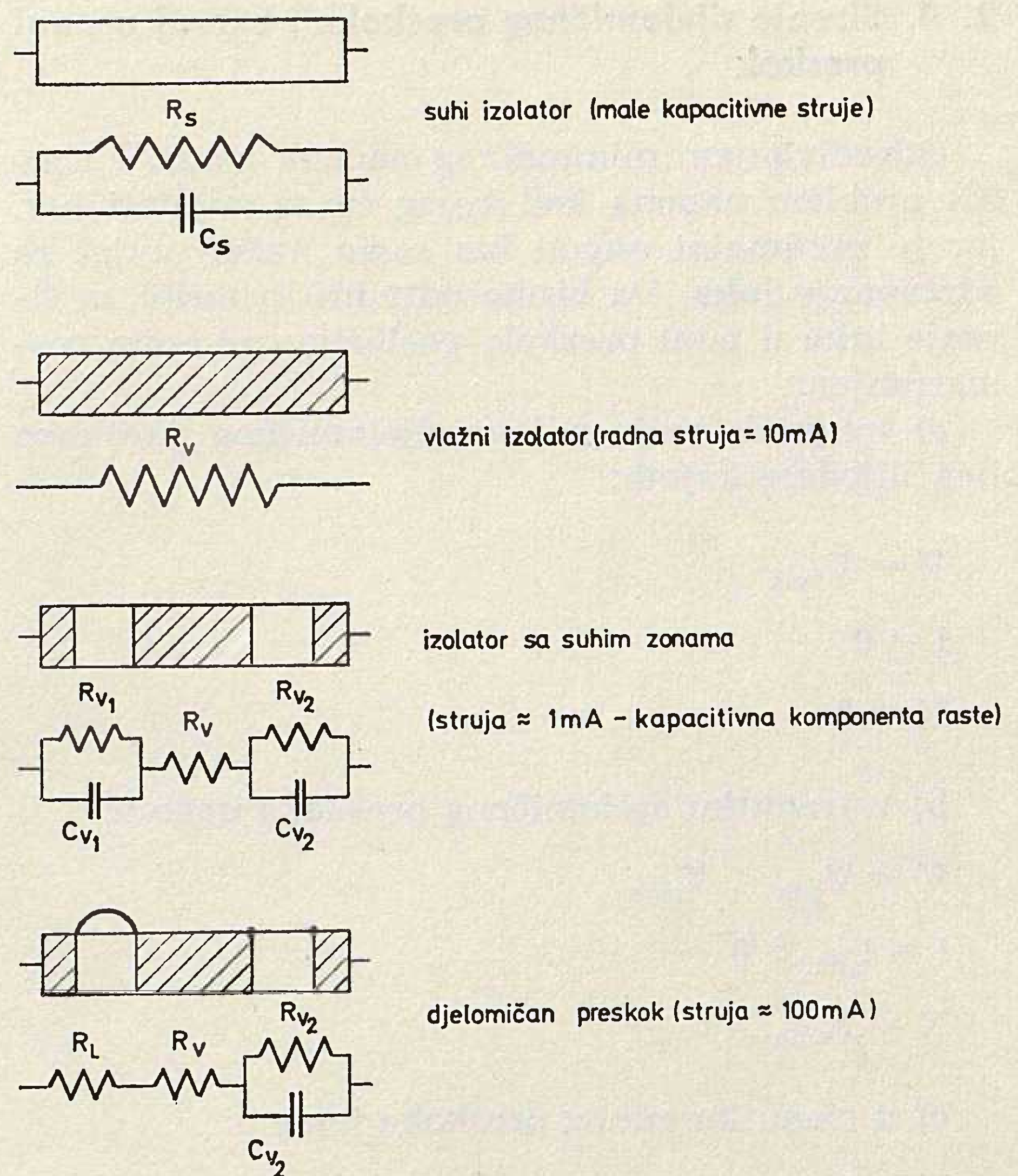
Rješenjem jednadžbe (5) uz uvjet (6) dobijemo:

$$i_{\min} = \left[\frac{n \cdot A \cdot X}{r(L - X)} \right]^{\frac{1}{1+n}} \quad (7)$$

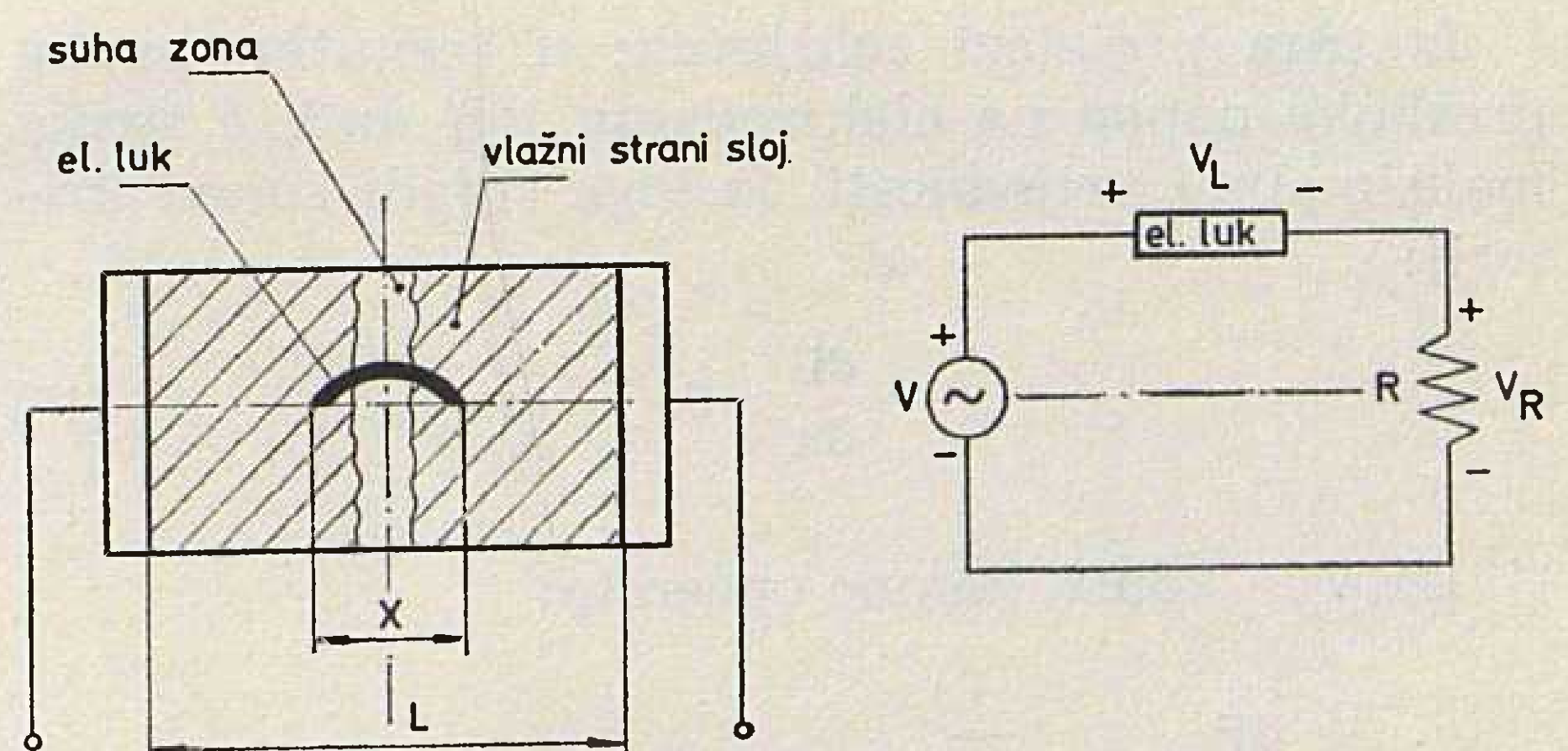
$$V_{\min} = (n + 1) (A \cdot X)^{\frac{1}{1+n}} \left[\frac{r(L - X)}{n} \right]^{\frac{n}{n+1}} + V_E. \quad (8)$$

Prema slici 5. i iz jednadžbi (5) i (6) imamo:

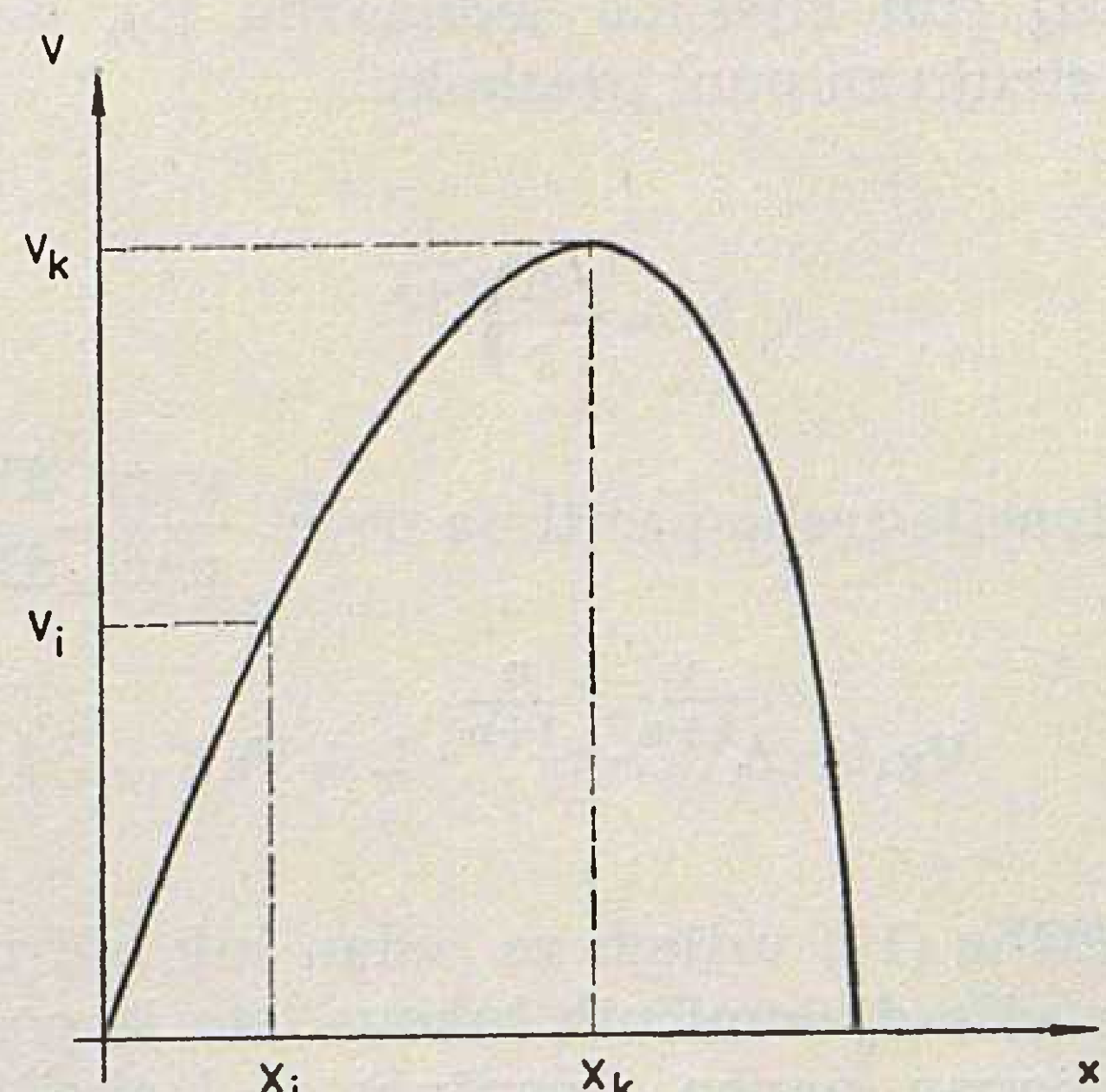
$$i_{\max} = \left[\frac{(n + 1) A \cdot X}{V} \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (9)$$



Sli. 3.



Sli. 4.



Sli. 5.

2. 4. Širenje djelomičnog preskoka i razvoj u puni preskok

Određivanjem minimalnog napona nismo i riješili problem napona kod kojeg će se pojaviti luk, jer je minimalni napon bio samo nužan uvjet za održavanje luka. Da bismo odredili kriterije za širenje luka u puni preskok, poslužimo se ovim razmatranjem:

a) trenutak prije pojave djelomičnog preskoka ima slijedeće uvjete:

$$V = V_{\max}$$

$$i = 0$$

$$X = 0$$

b) u trenutku djelomičnog preskoka imamo:

$$V = V_{\min} < V_{\max}$$

$$i = i_{\min} > 0$$

$$X = X_{\min} > 0$$

c) u trenutku punog preskoka imamo:

$$V = 0$$

$$i = i_{\max}$$

$$X = X_{\max} = L.$$

Iz toga proizlazi zaključak: u trenutku punog preskoka napon na elektrodama teži nuli, a struja maksimalnoj vrijednosti. Iz toga slijedi i novi kriterij:

$$\frac{di}{dx} > 0. \quad (10)$$

Uz $V = \text{konst.}$ imamo općenito:

$$\frac{dP}{dx} > 0. \quad (P \text{ je snaga uzeta iz izvora}). \quad (11)$$

Takav pristup problemu dosta je sličan Steenbeckovoj teoriji luka, tzv. principu minimuma. Ako uz kriterij (10) riješimo jednadžbu (5), dobijemo kritičnu struju za puni preskok:

$$i_k = \left(\frac{A}{r} \right)^{\frac{1}{1+n}} \quad (12)$$

(kod derivacije treba paziti na uvjet $\frac{\text{parc. } dV}{\text{parc. } dX} < 0$)

$$V_{K1} = A^{\frac{1}{1+n}} \cdot r^{\frac{n}{1+n}} \cdot L + V_E. \quad (13)$$

Jednadžba (10) vrijedi za jedan luk, ali u praksi imamo više djelomičnih lukova (što je pozitivno, jer se ukupan napon smanjuje u funkciji broja djelomičnih lukova) i dobijemo:

$$V_K = m V_{K1}. \quad (14)$$

Promatranjem preskoka na površini izolatora može se vidjeti pomicanje korjena luka, tj. luk šeće. Ovaj mehanizam pomicanja luka može se protumačiti pojačanom ionizacijom zbog velike gustoće struje u korijenu luka, a samim tim i nastalom temperaturom. Ako je ionizacija dovoljno velika, nastaje novi strujni put čija vodljivost raste povećanjem struje, pa se ukupna struja »prebacuje« na novi put. Ovom se pridružuju i vanjske sile kao pritisak pare, termički uzgon, elektromagnetske i elektrostatičke sile.

Određivanjem do sada ustanovljenih kriterija ostvarili smo samo osnovne uvjete za istraživanje pojava vezanih za ponašanje izolacionih površina u zagađenoj atmosferi.

Ipak mogući su ovi zaključci:

- minimalni napon kod kojeg će goriti luk direktno je proporcionalan otporu stranog sloja po jedinici duljine ili što je veće zagađenje, potrebne su manje vrijednosti minimalnog napona,
- minimalna struja koja teče kroz luk (sa svim posljedicama koje su već ranije razmatrane) obrnuto je razmjerna otporu stranog sloja ili što je veće zagađenje struja kroz luk je veća. Isti zaključak je i kod maksimalne struje kroz luk,
- što je veće zagađenje, kritični napon kod kojeg dolazi do punog preskoka je manji.

3. POVEZIVANJE TEORETSKIH SA STVARNIM MODELIMA

Pretpostavimo da je jedan izolator, određenih geometrijskih oblika, jednoliko zagađen slojem specifičnog otpora ρ . U tom slučaju ukupni otpor između elektroda (prirubnice izolatora vrše ulogu elektroda) iznosi:

$$R = \rho \int_0^L \frac{dL}{\pi d(L)}, \quad (15)$$

gdje je:

- dL = elemenat duljine klizne staze
- L = ukupna duljina klizne staze
- $d(L)$ = promjer izolatora na mjestu dL .

Ako promotrimo izraz $\int_0^L \frac{dL}{d(L)}$, možemo

primijetiti da on sadrži samo geometrijske pokazatelje. On je zapravo pokazatelj konfiguracije oblika izolatora pa se i naziva »faktorom oblika« (F).

$$R = \rho \cdot F \quad (16)$$

Očito je da će se izolator s većim faktorom oblika, zbog većeg površinskog otpora, bolje ponašati pod djelovanjem stranog sloja.

Ako bismo željeli stvarni izolator nadomjestiti odgovarajućim ekvivalentnim cilindrom s efektivnim promjerom d_{ef} , onda je to moguće izrazom

$$d_{ef} = \frac{L}{\int_0^L \frac{dL}{d(L)}} \quad (17)$$

Iz (15) dobivamo:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{\pi \cdot d_{ef}} \text{ odnosno,}$$

$$F = \frac{L}{\pi d_{ef}}.$$

Iz jednadžbe (18) možemo izvesti ove zoključke:

- što je dulja klizna staza (ili broj repetitivnih jedinica), veći je faktor oblika
- što je manji promjer izolatora, veći je faktor oblika.

Međutim, daljnja istraživanja pokazuju da klizna staza nije presudan faktor, jer se izolatori s odgovarajućim oblikom krila a manjom kliznom stazom bolje ponašaju u nekim slučajevima zagađenosti od onih s većom kliznom stazom. Osim toga, klizna staza ima i tzv. tehničku i ekonomsku granicu i nije ju moguće produljivati u nedogled.

Budući da su potporni ili noseći izolatori podvrgnuti znatnim mehaničkim silama, postoji za svaki određeni slučaj dozvoljeni minimalni promjer.

4. PRESKOČNI NAPON KAO FUNKCIJA ZAGAĐENOSTI POVRŠINE

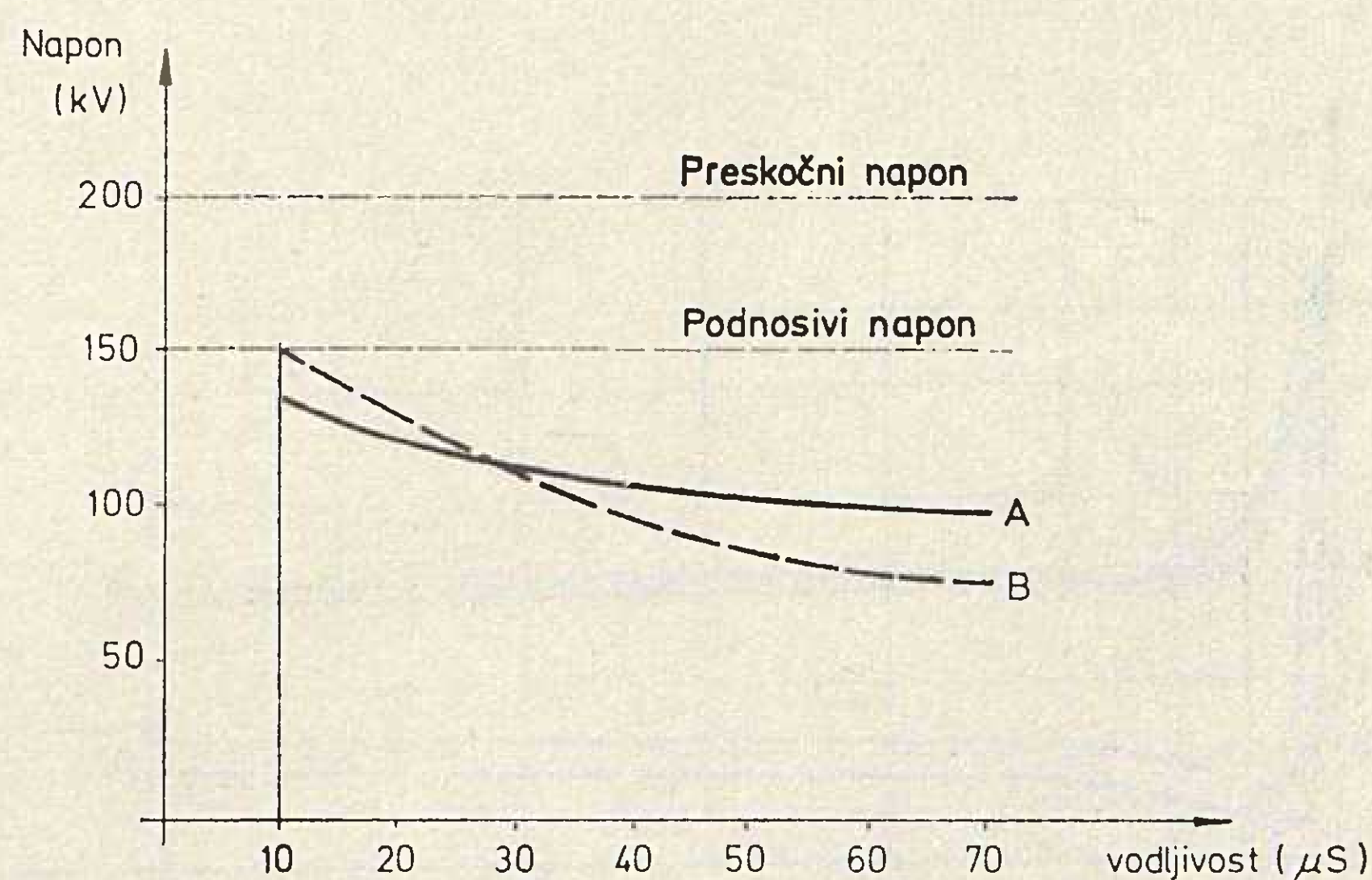
U Laboratoriju francuske firme CERALEP — Stj. Vallier obavljena su ispitivanja umjetno zagađenih površina potpornih izolatora za prekidače i rastavljače prema IEC 507/1975. Ispitivane su dvije vrste izolatora:

- izolator A: visina 1150 mm, promjer 222 mm, klizna staza 3 495 mm
- izolator B: visina 1150 mm, promjer 192 mm, klizna staza 2 400 mm.

Izolatori su se razlikovali oblikom krila. Srednju vrijednost rezultata ispitivanja prikazuje dijagram na slici 6.

Na osnovi dijagrama mogući su ovi zaključci:

- klizna staza nije jedini i presudni faktor u kriterijima za određivanje dielektrične čvrstoće,



Slika 6.

toće, jer izolator A iako ima dulju kliznu stazu sve do vodljivosti od 30 μ S slabije podnosi naponska naprezanja od izolatora B. To se može tumačiti utjecajem krila na formiranje i koncentraciju polja, a kod većih zagađenja, tj. veće vodljivosti veći utjecaj ima klizna staza.

- potvrđuje se izvedeni zaključak da sa povećanjem zagađenja pada izolaciona čvrstoća površine i izolatori slabije podnose preskočne napone, tj. naponi potrebni za preskok niži su nego kod zagađenog izolatora.

5. UTJECAJ KIŠE

Prirodni fenomen da izolatori imaju sposobnost da se čiste prirodnom kišom bitno nam pomaže u praksi jer dolazi do tzv. samočišćenja. Izvršena laboratorijska ispitivanja zagađenih izolatora uz pranje umjetnom kišom daju izvanredno zanimljive rezultate.

Ispitivana su dva tipa izolatora:

- izolator A (kapasti za prenosne vodove); klizna staza 3 690 mm,

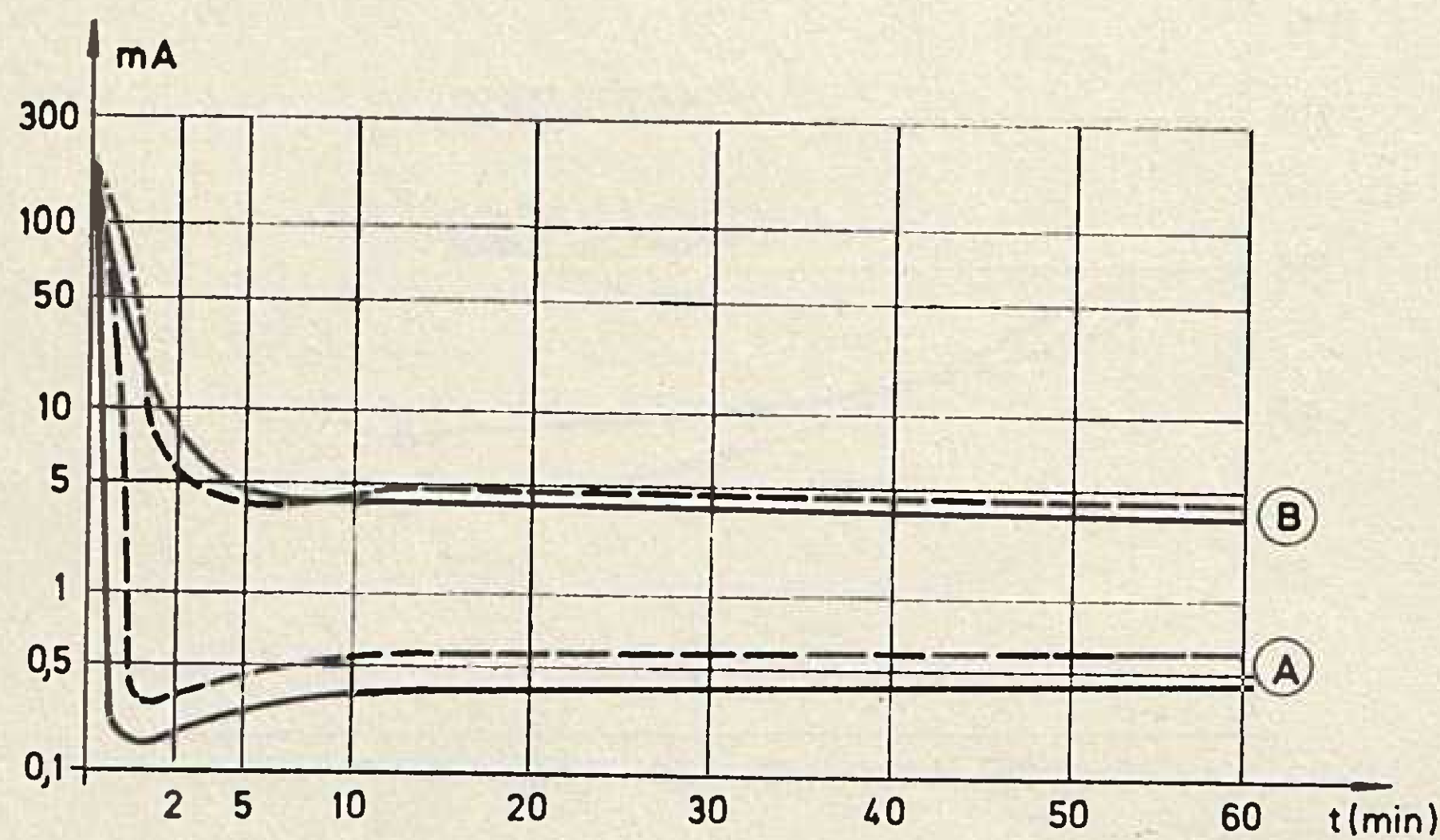
$$\frac{\text{klizna staza}}{\text{duljina izolatora}} = 2,93$$

- izolator B (Štapni za prenosne vodove); klizna staza 2 485 mm,

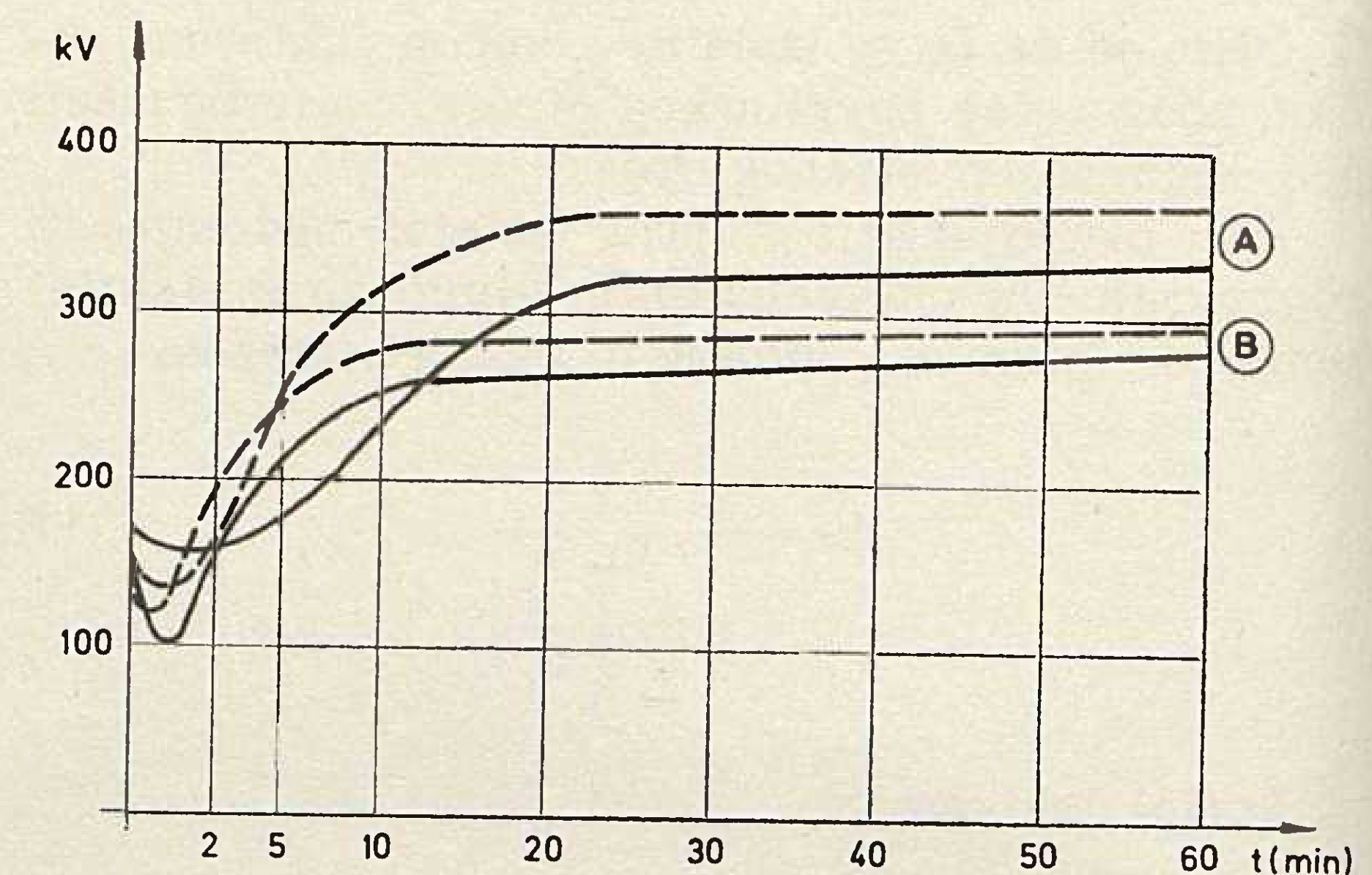
$$\frac{\text{klizna staza}}{\text{duljina izolatora}} = 1,95.$$

Ispitivanja su provedena na konstantno zagađenim izolatorima, običnom vodom, uz dva intenziteta umjetne kiše 1 mm/min i 3 mm/min. Ispitni napon bio je 50 kV.

Kod mjerenih izolatora, u osnovi, klizne struje u početku kiše naglo padaju, a zatim zbog lokalnih zagrijavanja dolazi do sušenja oko stupa izolatora (jer je koncentracija polja sada najveća oko suhih



Sl. 7. — = 1 mm/min



— — — — = 3 mm/min Sl. 8.

površina) i struje nešto porastu u ovisnosti o intenzitetu kiše. U ovom slučaju bitnu ulogu ima kosina krila. Kiša u trajanju više od 10 minuta bitno ne pridonosi povećanju kliznih struja.

Preskočni napon u početku pada, a zatim do trajanja kiše do 10 minuta naglo raste, a dalje bez obzira na duljinu trajanja kiše veoma lagano po prima veće vrijednosti. »Samočišćenje« zagađenog izolatora djelovanjem prirodne kiše pozitivno djeluje na porast preskočenog napona, a to je i vrlo logično jer se smanjuje zagađenje odnosno vodljivost, a povećava otpor.

Rezultati ispitivanja u laboratoriju u potpunosti se poklapaju sa zaključcima kod fizikalnog promatranja procesa preskoka, a to daje dobru osnovu za daljnja istraživanja.

LITERATURA

1. Miletić i suradnici: Izolacija visokonaponskih postrojenja u uslovima atmosferske zagađenosti — IRCE Energoinvest, Sarajevo, 1968.
2. D. Jolly: Contamination Flashover, Part I.: Theoretical Aspects IEEE Trans. Power Apparatus and Systems 1971, p.p. 2437—2442.

3. R. Wilkins: Arc propagation along an electrolyte surface PROC. IEE. Vol. 118, No 12, Decembar 1971.
4. M. Woodson, A. Mc. Elroy: Insulators with Contaminated Surfaces, Part II.: Modeling of Discharge Mechanisms, IEE Transp-Power Apparatus and Systems, Vol. pas. 89, No 8 p.p. 1858—1867 11/12—1970.
5. S. Sušac, I. Štahan: Razvoj optimalnog oblika krila porculanskih izolatora — predstudija, E 855, ETI Rade Končar, 1978.
6. I. Štahan: Utjecaj zagađenja zraka na pouzdanost el. aparata visokog napona. Referat 13. 6, XIV savjetovanje JUKO — CIGRE — Sarajevo, 1969.

INFLUENCE OF AIR POLLUTION ON DIEL. RIGIDITY OF HIGH VOLTAGE ISOLATORS

Air pollution caused by industry dust, gases of aggressive activity, salt in sea shore districts with natural stochastic fog and rain appearance essentially act upon decrease of diel. rigidity of isolation surfaces. In this article physical basic jumps of electrical bend have been described and the connection between theoretic and real model is given. Pollution influence on jump tensions and phenomenon of »self cleansing« of isolation surfaces when raining is also shown.

Naslov pisca:

Ivan Š t a h a n, dipl. inž.

Elektrotehnički Institut »R. Končar«

POSLEDICE PRIKLJUČIVANJA STATIČKIH (TIRISTORSKIH) USMJERIVAČA NA DISTRIBUTIVNU ELEKTRIČNU MREŽU

Matko Kučer, Erlangen

UDK 621.314.7

Uključivanje sve većeg broja tiristorskih usmjerivača u distributivne mreže uzrokuje pogoršanje prilika u mreži. Razmatran je problem kratkotrajnih naponskih udaraca, viših harmonika, nesavršenog oblika istosmjerne struje, potreba jalove snage osnovnog i viših harmonika.

UVOD

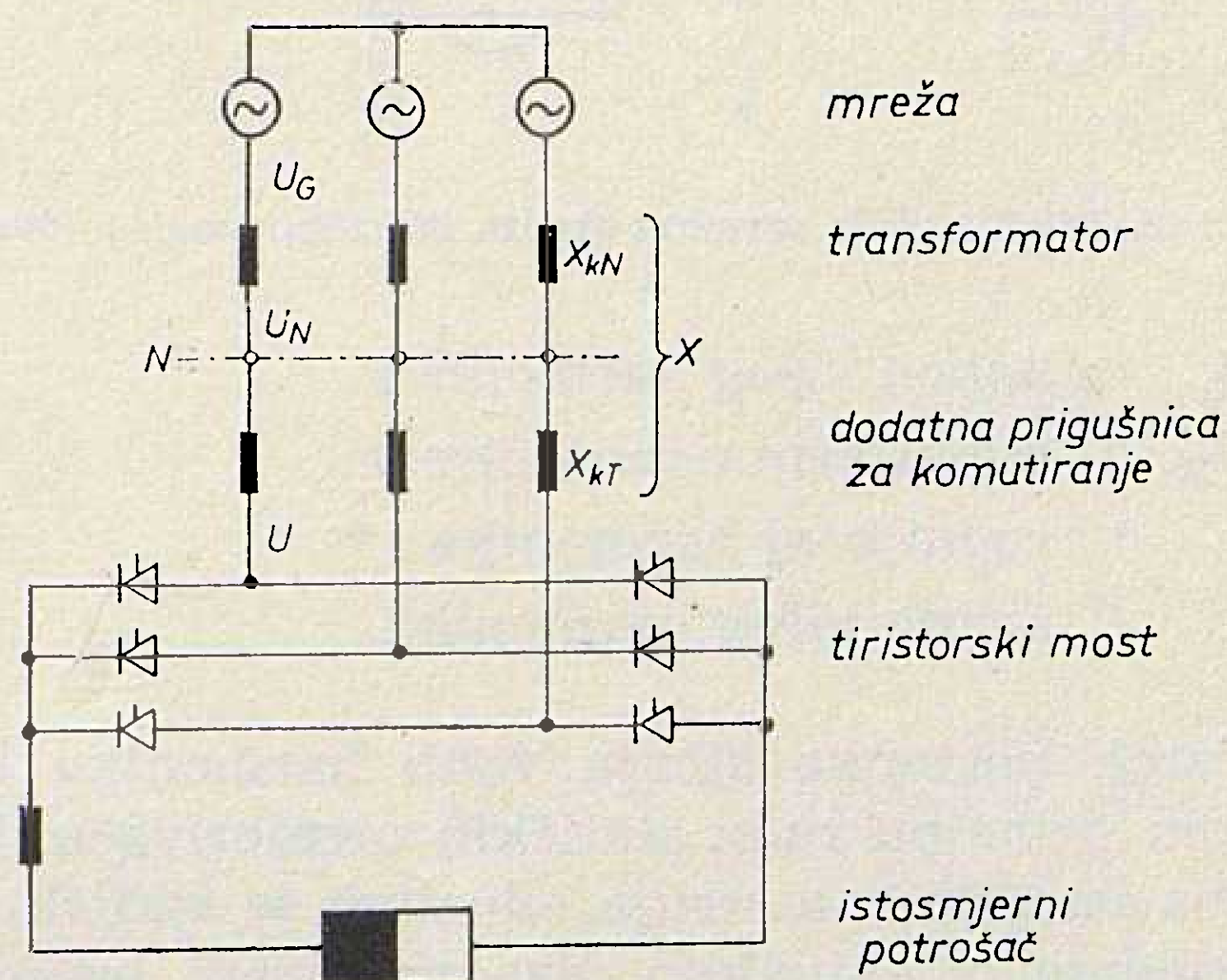
Usavršavanje elektronike, posebno na području tiristorskih usmjerivača dovelo je do povećanja broja i snage jedinica ovog tipa, koje se svakodnevno priključuju na električnu mrežu. Moderna tiristorska tehnika sve se više primjenjuje u raznim područjima tehnike, kao što su promet, industrijska postrojenja ili kućanski aparati. Po utjecaju na distributivne električne mreže najvažnija je primjena statičkih usmjerivača u elektromotornim pogonima s regulacijom broja okretaja. Osim neospornih prednosti, kojima se odlikuje ova tehnika, kao što su preciznost regulacije, niski gubici i ekonomičnost, pojavljuju se i neugodne popratne pojave, koje stavljaju proizvođače i potrošače električne energije pred nove probleme.

KRATKOTRAJNI PADOVI NAPONA ZA VRIJEME KOMUTIRANJA

Budući da je nemoguće odjednom razmatrati sve vrste spojeva koji se u tiristorskoj tehnici primjenjuju, razmatranja u ovom prilogu vrijede za, šesterotaktni trofazni (most), spoj koji se najčešće primjenjuje (slika 1).

Pri komutiranju tiristorskih dioda (prijenos vođenja struje s jedne diode na drugu) dolazi do kratkotrajnog kratkog spoja mrežnog transformatora (kraće od 2 ms). Fazni napon na niskonaponskoj strani može za to vrijeme izgubiti i do 70% svoje momentane vrijednosti.

Veličina tih padova napona ovisna je o odnosu reaktancije mreže prema ukupnoj reaktanciji u krugu komutiranja. Uključivanjem dodatnih induktiviteta (komutacionih prigušnica) između mrežnog transformatora i tiristorskog pretvarača ili biranjem transformatora s višim naponom kratkog spoja postiže se reduciranje komutacionih padova napona. Zbog komutacionih padova napona mogu nastati smetnje na osjetljivim elektroničkim uređajima, u prvom redu na preostalim postrojenjima istog tipa koji se napajaju iz istog transformatora.



Sl. 1. Šesterotaktni, trofazni spoj s tiristorima

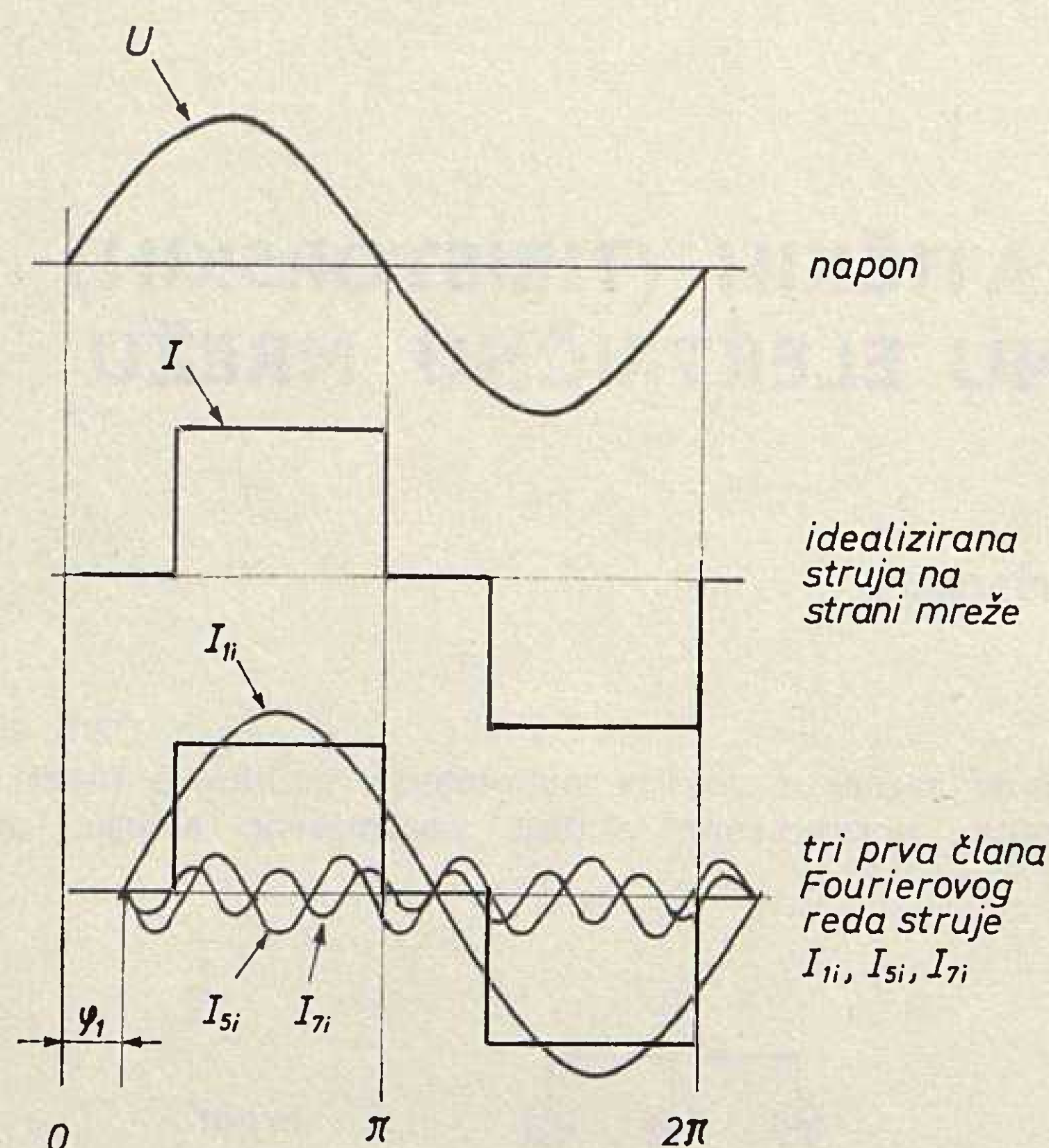
STRUJE VIŠIH HARMONIKA I IZOBLIČENJE NAPONA

Tiristorski usmjerivači uzimaju iz električne mreže, osim osnovnog harmonika (50 Hz), koji jedini služi za prijenos djelatne snage, još i čitav spektar struja viših harmonika. Te struje zatvaraju se preko mrežnih reaktancija, na kojima se istovremeno pojavljuju naponi istih frekvencija. Naponi viših harmonika najveći su na mjestu priključka statičkog usmjerivača. Što se više približimo izvoru električne energije (generatoru), naponi su sve manji.

Naponi viših harmonika pribrajaju se momentanim vrijednostima napona osnovnog harmonika, koji stoga sve više odstupa od prvobitnog sinusnog oblika. Takve deformacije napona mreže mogu imati neugodne posljedice na ostale potrošače, pogotovo ako se radi o slabim mrežama, s niskom snagom kratkog spoja, te stoga ova problematika zaslužuje posebnu pažnju.

Napon viših harmonika reduciran na napon mreže, može se izračunati prema jednadžbi

$$\frac{U_v}{U_M} = \frac{\sqrt{3} I_v \cdot v \cdot X_M}{U_M}, \text{ gdje je}$$



Sl. 2. Idealizirana mrežna struja statičkog usmjerivača

- U_v = napon višeg harmonika
- U_M = međufazni napon mreže
- v = redni broj harmonika
- I_v = struja višeg harmonika.

Uzrok postanka struja viših harmonika leži u samom principu rada statičkih usmjerivača. Konstantna istosmjerna struja oduzima se cikličkim redoslijedom iz pojedinih faza na strani izmjenične struje, tako da unatoč prvobitnom sinusnom naponu, na strani mreže teče struja pravokutnog oblika. Odnos između napona i nije više linearan i baš tu je uzrok postanka viših harmonika (slika 2).

Pravokutni oblik fazne struje je idealizirani oblik, pri čemu je pretpostavljena idealno izglačana (konstantna) istosmjerna struja i zanemaren utjecaj komutacije.

Fourierovom analizom može se pokazati da se u faznoj struji javljaju samo viši harmonici, s cjelobrojnim rednim brojevima prema relaciji

$$v = pk \pm 1$$

- v = redni broj viših harmonika
- p = broj taktova
- k = cjelokupna rastuća konstanta 1, 2, 3, ...

Ta jednadžba vrijedi za sve p , osim za $p = 1$.

Prema tome, kod šesterotaktnog spoja javljaju se viši harmonici struje s rednim brojevima: 5, 7, 11, 13, 17, 19, ...

Za idealizirani (pravokutni) oblik fazne struje amplitude pojedinih harmonika izračunataju se prema jednadžbi

$$I_{vi} = -\frac{I_{11}}{v}$$

(indeks i znači da se radi o idealiziranim veličinama).

Prema tome su amplitude viših harmonika struje obrnuto razmjerne rednim brojevima, što znači da s porastom rednih brojeva amplitude opadaju. U praksi se stoga viši harmonici s rednim brojem većim od 13 mogu zanemariti, osim onda kada se radi o radio-smetnjama.

Efektivna vrijednost fazne struje iznosi

$$I_{ef} = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2 + \dots}$$

Za idealizirani oblik struje vrijedi $I_{ef} = 0,817 I_{di}$, I_{di} = vrijednost istosmjerne struje (idealizirana). Udio osnovnog harmonika struje iznosi

$$I_{11} = 0,78 I_{di} = 0,955 I_{ef}.$$

U praksi se upotrebljavaju veličine: sadržaj (faktor) osnovnog harmonika g_i

$$g_i = \frac{I_{11}}{I_{ef}} = 0,955$$

i sadržaj viših harmonika ili faktor izobličenja

$$k_i = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} I_v^2}}{I_{ef}} = 0,296$$

Te veličine povezuje relacija

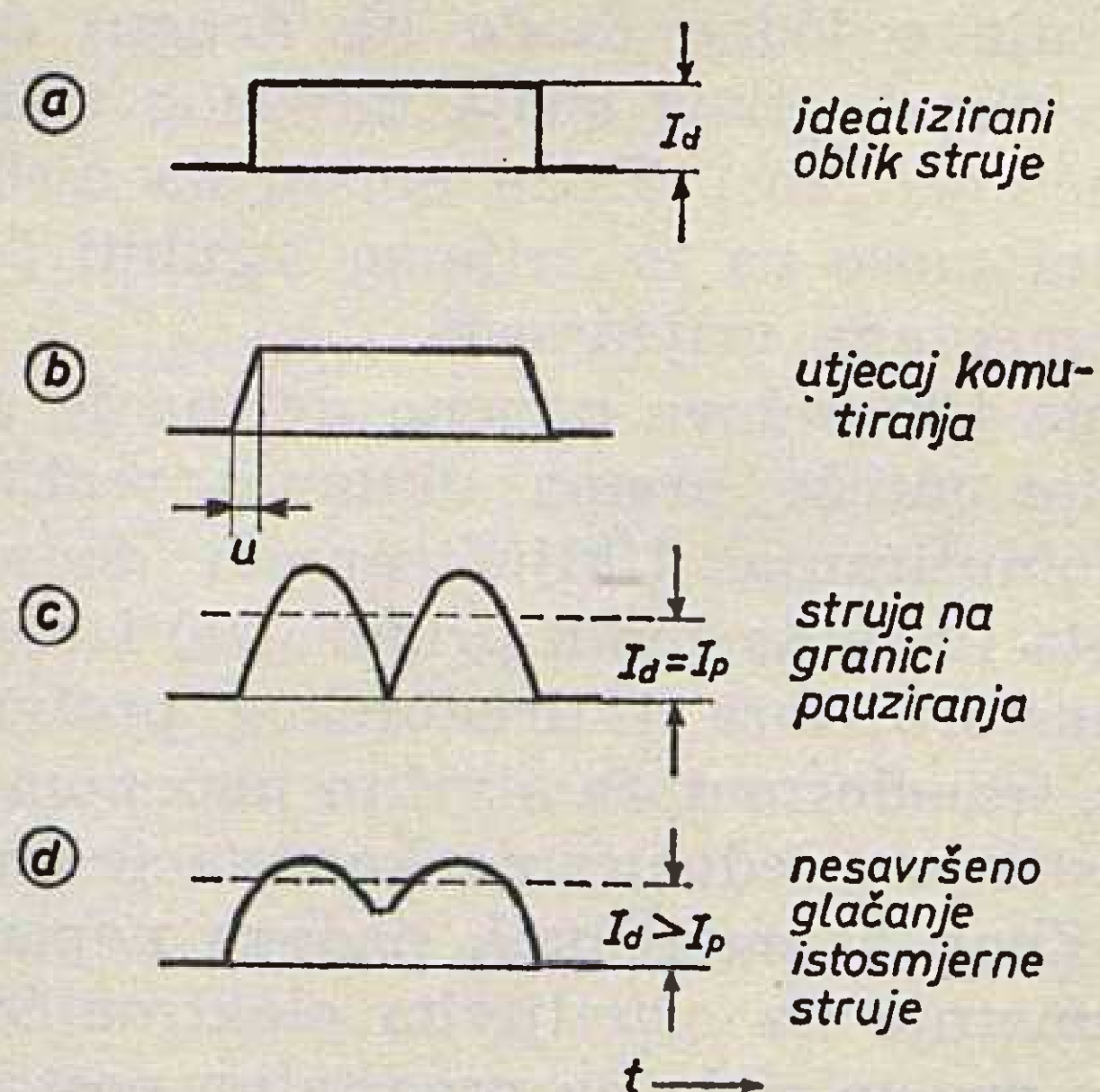
$$g_i^2 + k_i^2 = 1.$$

Pomoću sličnih relacija može se izraziti i deformacija napona.

UTJECAJ INDUKTIVITETA U KRUGU KOMUTIRANJA

Stvarni oblici faznih struja odstupaju manje ili više od pravokutnog oblika.

Induktiviteti u krugu komutiranja utječu tako da fazna struja ne može skokovito porasti na svoju



Sl. 3. Mogući oblici mrežne struje kod tiristorskog ispravljača

konačnu vrijednost, već je za to potrebno neko vrijeme. Stoga fazna struja poprima trapezni oblik, što znači približavanje sinusnom obliku (slika 3b). Reaktancije, u krugu komutiranja imaju povoljan utjecaj na amplitude viših harmonika. Prigušenje viših harmonika, u ovisnosti u kutu preklapanja u , koji zapravo predstavlja trajanje komutiranja, prikazan je na slici 4.

UTJECAJ NESAVRŠENOG GLAČANJA ISTOSMJERNE STRUJE

Istosmjerna struja statičkih usmjerivača nije vremenski konstantna, nego manje ili više valovita (pulsirajuća), što ovisi o induktivitetima obuhvaćenim u krugu istosmjernog potrošača.

Fazna struja na strani mreže može poprimiti oblik kao na slici 3d.

Slika 3c prikazuje granični slučaj, kada je struja zbog valovitosti dostigla granicu pauziranja I_p .

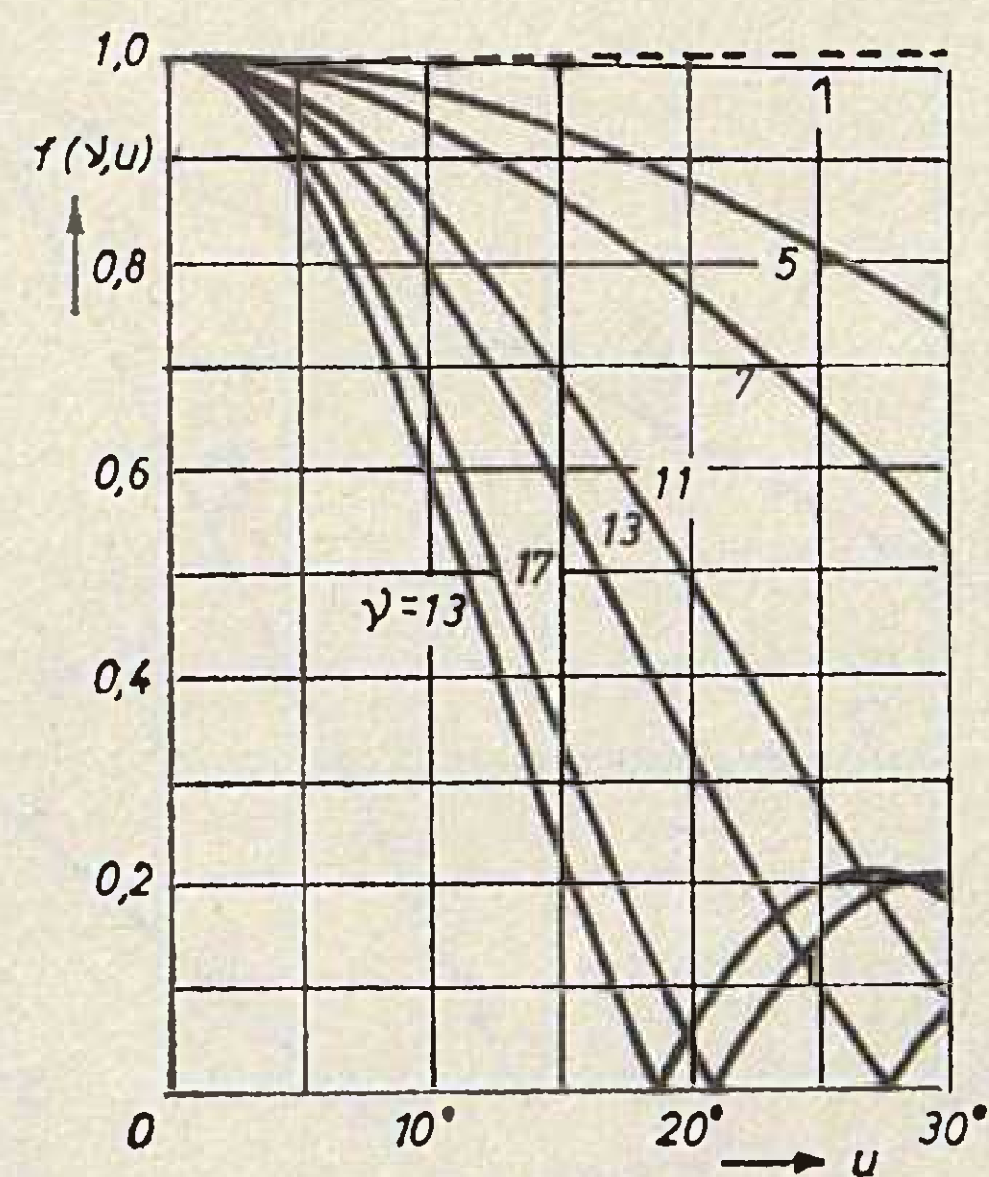
Valovitost struje utječe u velikoj mjeri na amplitude viših harmonika u mreži; tako peti harmonik može na granici pauziranja dostići veličinu 45% od veličine osnovnog harmonika. Na slici 5. prikazan je utjecaj valovitosti struje na amplitude važnijih viših harmonika.

Struje viših harmonika potrebne su za rad statičkih usmjerivača, te ih možemo promatrati kao narinute struje koje nije moguće jednostavno filtrirati. Ugrađivanjem serijskih filtara, koji bi povećali impedanciju za određene frekvencije viših harmonika, postigao bi se efekt suprotan od željenoga.

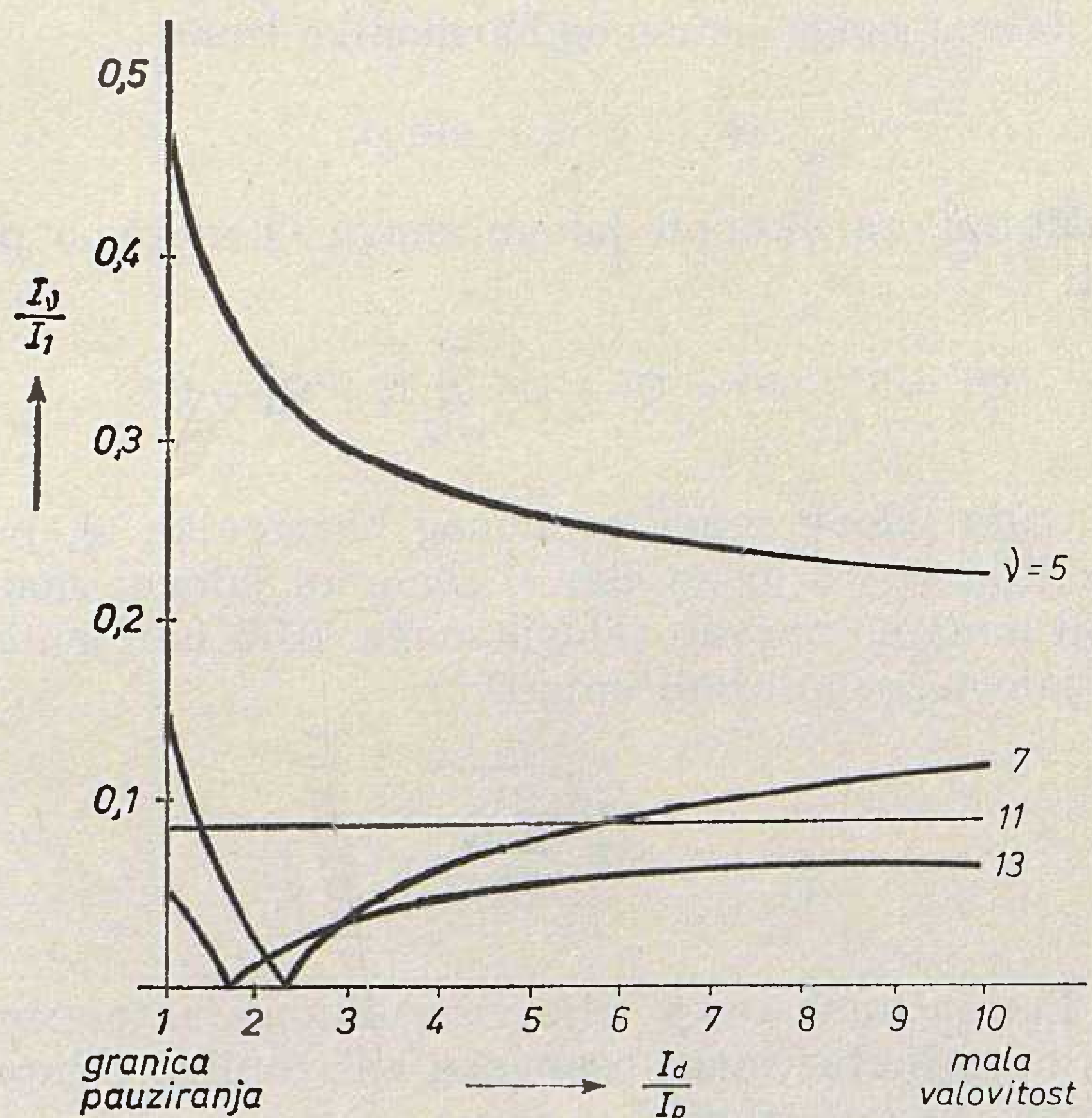
Struje viših harmonika ne bi se bitno smanjile, ali bi se pripadajući naponi umnogostučili.

JALOVA SNAGA

Statički usmjerivači, posebno oni s mogućnošću regulacije djelatne snage, odnosno broja okretaja, uzimaju iz električne mreže velike količine jalove snage. Potrošnja jalove snage proizlazi iz samog principa regulacije (upravljanja) djelatne snage pomoću tiristorskih usmjerivača. Kod većine elektromotornih pogona zakretni moment i struja su neovisni o broju okretaja (ovo ne vrijedi za pumpe, ventilatore, transportne trake i sl.). Stoga je i prividna snaga $S = U \cdot I$, koju usmjerivač uzima iz mreže, u čitavom području regulacije konstantna. Budući da djelatna snaga pada sa smanjenjem broja okretaja, mora jalova snaga usporedo rasti, da bi prividna snaga ostala konstantna (kružna karakteristika). Regulacija djelatne snage pomoću usmjerivača postiže se zakašnjavanjem paljenja tiristorskih ventila, tj. mijenjanjem faznog pomaka između napona i prapadajuće fazne struje (faktora snage). Na taj način dolazi do potrošnje jalove snage, i to bez obzira je li konačni potrošač na istosmjernoj strni induktivnog ili omskog karaktera.



Sl. 4. Faktor korekcije $f(v, u)$ za amplitude viših harmonika struje u ovisnosti o kutu preklapanja u



Sl. 5. Utjecaj valovitosti na amplitude viših harmonika

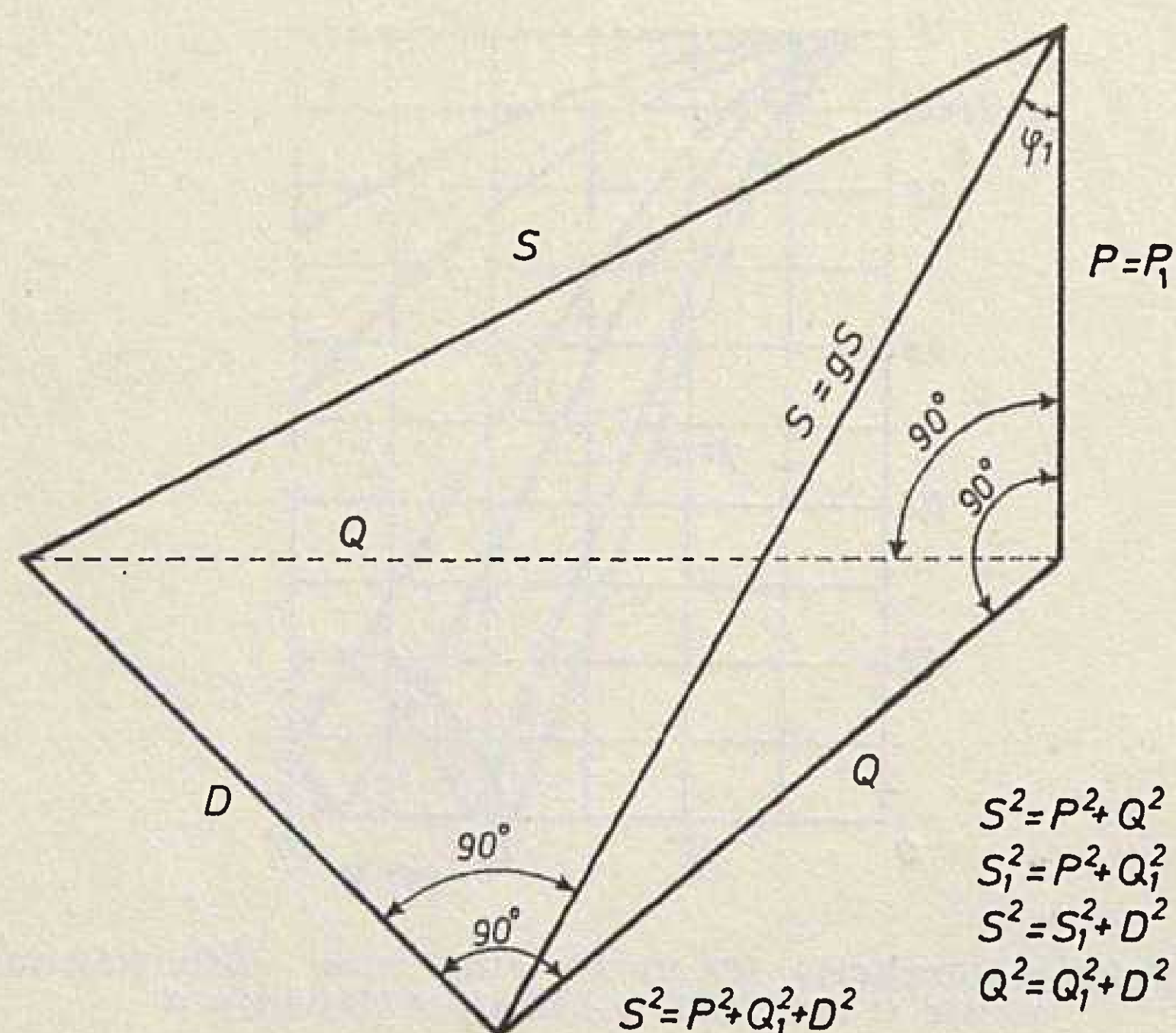
Osim jalove snage, koja proizlazi iz principa upravljanja, postoji još i jalova snaga koja nastaje zbog induktivnog pada napona u krugu komutiranja. Ta komponenta može u najnepovoljnijem slučaju iznositi do 10% ukupne jalove snage, pa se u praksi uglavnom zanemaruje.

Pojava struja i napona viših harmonika komplicira definiciju i proračun radne i jalove snage. Razmatranje se umnogome pojednostavljuje ako zanemarimo izobličenje napona, tj. za napon pretpostavimo čisti sinusni oblik. Prividnu snagu, koja je mjerodavna za dimenzioniranje električnih uređaja, možemo definirati kao produkt napona i efektivne vrijednosti struje:

$$S = U \cdot I_{ef}.$$

Za prijenos djelatne snage mjerodavan je osnovni harmonik struje I_1

$$P = P_1 = U \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = S_1 \cdot \cos \varphi_1.$$



Sl. 6. Geometrijski prikaz učinskih veličina

Jalova snaga osnovnog harmonika iznosi

$$Q_1 = U \cdot L_1 \cdot \sin \varphi_1.$$

Međutim, za ukupnu jalovu snagu Q možemo pisati

$$Q^2 = S^2 - P^2 = Q_1^2 + U^2 \sum_{v=2}^{\infty} I_v^2 = Q_1^2 + D^2.$$

Osim jalove snage osnovnog harmonika Q_1 pojavljuje se još jedan član u ukupnoj jalovoj snazi, koji možemo nazvati jalova snaga viših harmonika ili jalova snaga izobličenja D :

$$D = \frac{U \cdot \sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} I_v^2}}{I_{ef}} = k_i \cdot S.$$

Prema tome $\cos \varphi_1$ nije više ukupni faktor snage, nego faktor snage osnovnog harmonika. Ukupni faktor snage λ iznosi

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{U \cdot L_1 \cos \varphi_1}{U \cdot I_{ef}} = g_1 \cdot \cos \varphi_1.$$

Pri grafičkom prikazivanju navedenih odnosa moramo se poslužiti prostornim tetraedrom prema slici 6.

O navedenim popratnim pojavama primjene statičkih pretvrača mora se misliti prilikom projektiranja električnih postrojenja. Dodatni gubici izazivaju zagrijavanje transformatora, sklopki, motora i ostalih uređaja.

Na primjer, kod motora peti harmonik stvara suprotno magnetsko polje peterostruke frekvencije, koje kao kočno obrtno polje zagrijava motor, a može izazvati i neugodne vibracije. Prekostrujna zaštita može pogrešno reagirati, zbog pogreške prijenosa strujnih transformatora kada se radi o struji koja sadrži više harmonike. Također može doći do pogrešnog pokazivanja električnih mjernih instrumenata, kao i brojila djelatne i jalove energije.

Na osnovi navedenih primjena, može se očekivati da će rad na razvijanju uređaja za otklanjanje ovih pojava dobivati sve veću važnost.

LITERATURA

1. G. Möltgen: Netzgeführte Stromrichter mit Thyristoren. 3. Auflage. Siemens A6 Berlin — München 1967.

THE CONSEQUENCES OF THE CONNECTIONS OF STATIC (THYRISTOIC) RECTIFIER INTO ELECTRIC DISTRIB. NET

The connecting of an over growing number of thyristoic rectifier to distributien nets causes the worsening of the situation within the nets. A problem of short duration voltage leaps, higher harmonics, unstable forms of D.C. and the necessity of blind currents of basic and higher harmonics, was discussed.

Naslov pisca:
Matko Kučer, dipl. ing.
Erlangen

TEHNOLOŠKE ZAŠTITE I BLOKADE POSTROJENJA TERMoeLEKTRANE

Dragoljub P i p e r s k i, Priština

UDK 621.311.22

U članku se objašnjava namjena tehnoloških zaštita na bloku, podjela zaštita po značaju, moguća rješenja izbora impulsa za proradu zaštita i potreba selektivnosti djelovanja zaštite, uz ilustraciju konkretnih rješenja.

UVOD

Osnovni režim rada termoelektrane je režim normalne eksploatacije pri kome se upravljanje osnovnim agregatima bloka ostvaruje pomoću sistema automatske regulacije koji obezbeđuje održavanje zahtevanog režima bloka i zadate vrednosti osnovnih parametara. Uloga operatora u ovom režimu se u osnovi ograničava na praćenje rada pojedinih delova postrojenja i unošenje potrebnih korektura u rad automatske regulacije pojedinih agregata. U režimu puštanja upravljanje blokom vrši operativno osoblje i sistem za automatsko upravljanje.

U procesu eksploatacije dolazi do remećenja normalnog režima rada bloka ili nekih njegovih agregata. Ove poremećaje mogu da izazovu nagle i značajne promene opterećenja, delimično ili potpuno ispadanje iz pogona osnovne ili pomoćne opreme, kvarovi na pojedinim uređajima, pogrešno delovanje osoblja i drugi razlozi.

U zavisnosti od vrste i veličine nastalog poremećaja treba da se izvrše prespajanja u toplotnoj shemi, uključivanje rezervne opreme, isključivanje pojedinih agregata i druge operacije koje treba da spreče oštećenja postrojenja. Pravovremeno izvršavanje ovih operacija od operativnog osoblja praćenje je značajnim teškoćama i sa velikom verovatnoćom pogrešnog delovanja, dok je u nekim slučajevima praktično nemoguće. Zbog toga se izvršavanje čitavog niza operacija upravljanja postrojenjem ostvaruje pomoću automatskih uređaja koji stupaju u dejstvo kod poremećaja režima rada ili pojave neispravnosti na tehnološkoj opremi. Automatsko upravljanje u ovakvim režimima vrše uređaji tehnoloških zaštita i blokada.

Zaštita stupa u dejstvo u slučaju kada se iscrpe sve mogućnosti automatskog ili daljinskog upravljanja prema predhodnim odstupanjima parametara iznad određenih granica i to kada sistem automatskog upravljanja ne može da ispravi nastalu havarijsku situaciju te kod ručnog upravljanja kada operator nije u stanju da blagovremeno reaguje na havarijsku promenu režima rada. Postro-

janje tehnoloških zaštita suštinski povećava pouzdanost parnog generatora, turbine i pomoćne opreme.

Kao primer može da se uzme tzv. prekobrzinska automatska zaštita turbine koja isključuje turbinu kod povećanja broja obrtaja iznad dopuštene granične vrednosti kada automatski regulator broja obrtaja turbine ne može da savlada dato povećanje brzine.

Prema nivou delovanja na postrojenje zaštitni uređaji se dele na osnovne (glavne) i lokalne. U osnovne spadaju zaštitni uređaji čije delovanje dovodi do zaustavljanja parnog generatora, do kompletnog zaustavljanja bloka ili do dubokog snižavanja njegovog opterećenja. Lokalne zaštite sprečavaju razvoj havarija bez zaustavljanja osnovnih agregata. Budući da zamena funkcije zaštitnih osnovnih uređaja nije moguća, u havarijskim situacijama oni treba da budu pouzdaniji od sistema upravljanja i regulacije koji stalno funkcionišu. Zbog toga se logične sheme zaštite koje određuju redosled puštanja ili zaustavljanja uređaja tako sastavljaju da verovatnoća lažnog delovanja ili otkazivanja zaštite bude bliska nuli.

Funkcija blokada je ograničena na izvršavanje automatskog prespajanja u toplotnoj shemi pri promenama opterećenja ili režima rada postrojenja uključivanjem rezervnih pomoćnih mehanizama, obezbeđivanje zadatog redosleda prebacivanja u procesu upravljanja radi uprošćavanja upravljanja i sprečavanja grešaka itd. Pri tome funkcije blokada nisu strogo odvojene od funkcija zaštita koje izvršavaju lokalne operacije te je njihova podela u znatnoj meri uslovna.

Na primer, havarijsko zaustavljanje ventilatora dimnih gasova parnog generatora preko uređaja za električno blokiranje dovodi do zaustavljanja ventilatora svežeg zaduha i zagrejačkih uređaja.

Dalje, u sistemu za transport goriva ne može se uključiti mehanizam u liniji transporta ako nije uključen prethodni mehanizam. Uključivanje treba da se vrši polazeći od poslednjeg u liniji transporta, zatim predposlednjeg itd. Mogućnost nepravilnog redosleda uključivanja isključena je uređajima za automatsko blokiranje.

Uređaji tehnoloških zaštita i blokada obuhvataju izvore diskretnih informacija: signalne kontakte instrumenata i davača, pomoćne kontakte prekidača i kontaktora, prekidače kraja hoda ventila i logički (relejni ili beskontaktni) sistem. Kod pojave odgovarajuće izvorne informacije logički sistem izvršava ranije zadate logičke operacije i realizuje traženi program upravljanja radom postrojenja. Program izvršenja logičkih operacija i redosled delovanja na postrojenje u znatnoj meri zavisi od osobnosti osnovne i pomoćne opreme, toplotne sheme i primenjene aparature.

Većina savremenih zaštitnih uređaja predstavlja sisteme indirektnog delovanja koji se sastoje od posebnih međusobno povezanih elemenata: davača, pojačavačkih uređaja, međuelemenata, uređaja za puštanje i zaustavljanje izvršnih pogonskih mehanizama i dr.

Jedan od najvažnijih zahteva za uređaje tehnoloških zaštita i blokada je obezbeđenje pouzdanog delovanja u havarijskim situacijama. Pri tome je pouzdanost uređaja određena kako verovatnoćom otkazivanja u trenutku prorade tako i verovatnoćom lažnog delovanja. Proračunska ocena pouzdanosti kao i statistička obrada eksploatacionih podataka pokazuje da je pouzdanost shema tehnološke zaštite suštinski veća od pouzdanosti instrumenata koji se koriste kao davači informacija za zaštitu. Zbog toga je pokazatelj pouzdanosti svake od zaštita u znatnoj meri određen brojem uređaja, shemom uključivanja i pouzdanošću aparata koji se koriste. Najčešće strukturne sheme povezivanja aparata koji se primenjuju u uređajima za zaštite i blokade date su na sl. 1.

Shema data na sl. 1.a koristi za zaštitu jedan instrument. Kod dostizanja zadate vrednosti parametara koji se kontroliše kontaktni uređaj instrumenta uključuje odgovarajući element električne sheme zaštite. Pogodnost je ove sheme njena jednostavnost. Verovatnoća otkazivanja nije velika i zavisi od učestalosti otkazivanja aparata. Svako lažno delovanje kontaktnog uređaja aparata u ovoj shemi je praćeno lažnim delovanjem zaštite. Na

osnovu toga primena ove sheme se predviđa za zaštite kod kojih se koriste dovoljno pouzdani specijalni aparati, kao i za zaštite čije otkazivanje može da izazove veća oštećenja postrojenja i može da dovede do većih gubitaka koji su značajniji od lažnog delovanja zaštite (na primer: osno pomeranje rotora turbine, havarijsko snižavanje vakuma u kondenzatoru itd.).

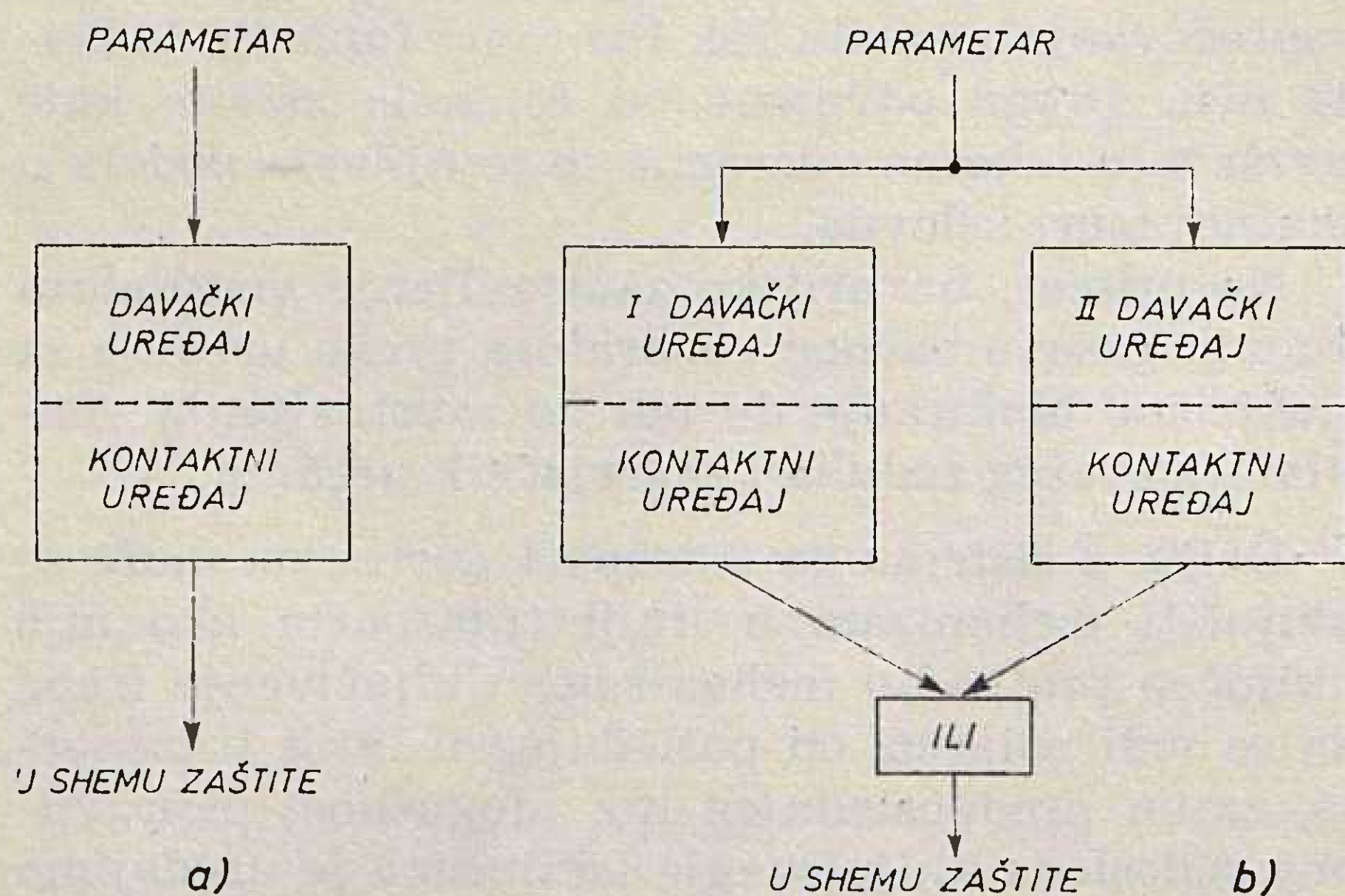
Po ovoj shemi se uključuju instrumenti za izvršavanje različitih blokada i zaštita koje izvršavaju lokalne operacije jer je njihovo delovanje usmereno na sprečavanje nastajanja havarijskog režima (uključivanje rezervnih mehanizama, očuvanje vatre u ložištu itd.), a njihovo lažno delovanje, po pravilu ne povlači za sobom zaustavljanje ili snižavanje opterećenja postrojenja. Prema sličnim shemama izvode se sve zaštite koje deluju na isključivanje pomoćnih mehanizama. Informacija u logičku shemu u ovim slučajevima, dolazi ne od kontaktnih uređaja mernih instrumenata, već od pomoćnih (blok) kontakata prekidača odgovarajućeg elektromotora.

U slučajevima kada sigurnost rada postrojenja zahteva povećanu pouzdanost zaštite lažno delovanje je relativno malo verovatno ili ne dovodi do težih posledica, u shemama zaštite se koriste dva instrumenta čiji se kontakti uključuju paralelno (shema ILI) i deluju jednovremeno (sl. 1.b).

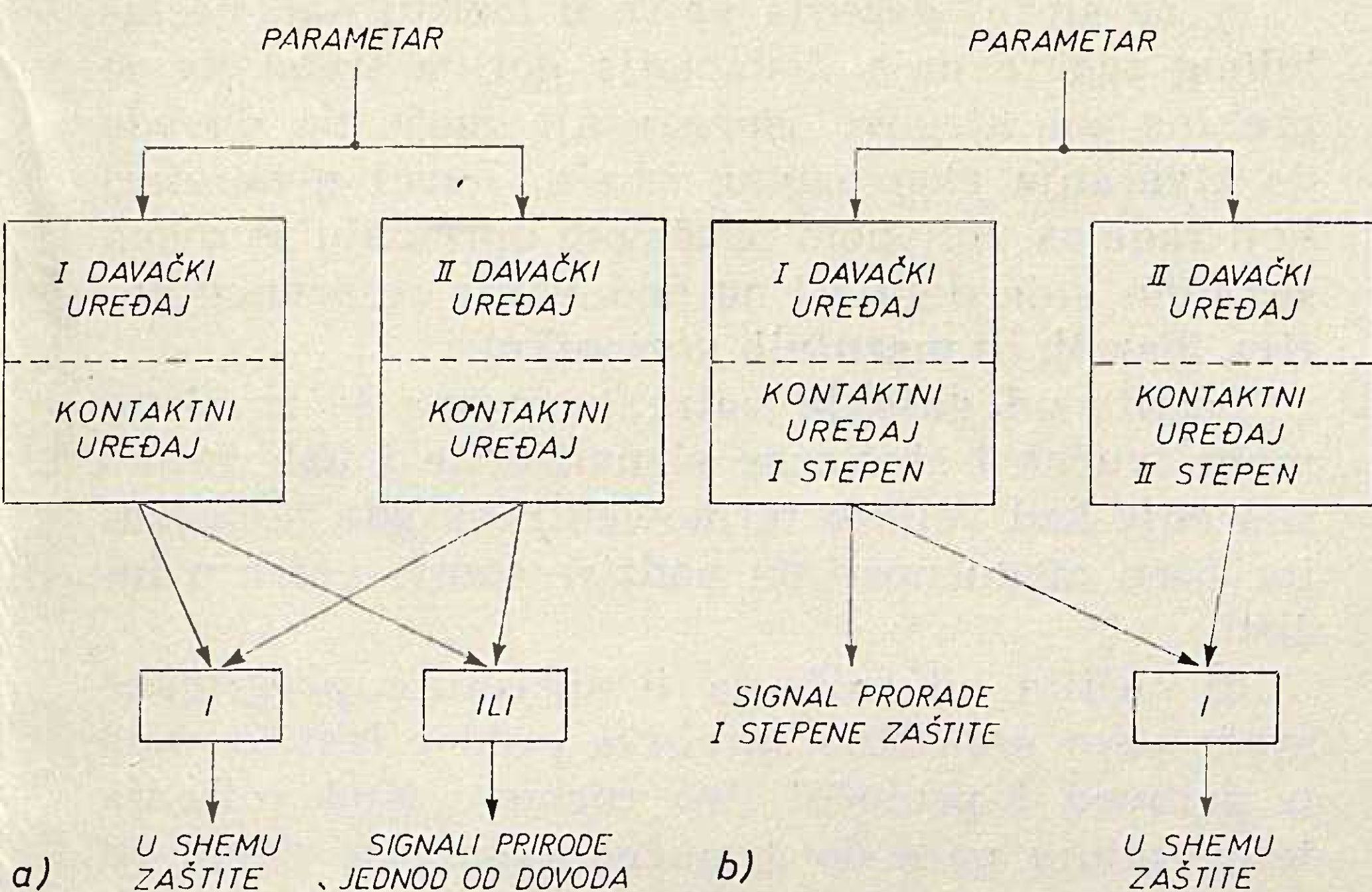
Primer takvog izvođenja zaštite je shema koja deluje na otvaranje ventila sigurnosti kotla kod povećanja pritiska pare u kotlu. Koriste se dva električna kontaktna manometra čiji se kontakti povezuju paralelno. Verovatnoća lažnog delovanja manometra kod povećanja pritiska je relativno malen, a iz uslova bezbednog rada parnog generatora proizlazi da otkazivanje ove zaštite treba da bude svedeno na minimum.

Znatan broj zaštita koje deluju na zaustavljanje ili snižavanje opterećenja postrojenja koriste kao izvor informacija elektronske pretvarače i instrumente koji su predviđeni za merenje temperature, protoka, nivoa itd. Ti uređaji su dosta složeni i kod nastajanja kvara na sekundarnom instrumentu, davaču ili spojnoj liniji signalni kontakti sekundarnog instrumenta deluju u nekim slučajevima i kada ne postoji havarijsko odstupanje parametra koji se kontroliše. Zbog toga može doći do lažnog delovanja zaštite koje izazivaju zaustavljanje ili snižavanje opterećenja bloka. Smanjenje verovatnoće lažnog delovanja zaštite ostvaruje se primenom dvaju instrumenata čiji se izlazni kontakti povezuju redno. Delovanje zaštite je moguće samo kada prorade kontaktni uređaji obaju instrumenata (shema »dva od dva«), što znatno smanjuje verovatnoću lažne prorade zaštite. Strukturna shema uključivanja instrumenata zaštite po shemi »dva od dva« dana je na sl. 2.

Najčešće se primenjuje shema pokazana na sl. 2.a kod koje se ostvaruje jednovremena podešenost prorade kontaktnih uređaja obaju instrumenata. Ova shema se, na primer, primenjuje za prekidanje napajanja kotla vodom kod povećanja ili smanjenja



Sl. 1.



Sl. 2.

nivoa u bubnju kotla, kod smanjenja pritiska gasovitog goriva ispred gorionika itd. Redno povezivanje kontakata dvaju nezavisnih instrumenata smanjuje verovatnoću lažnog delovanja izazivajući jednovremeno povećanje verovatnoće otkazivanja rada zaštite. Zbog toga se ovom shemom predviđa davanje svetlosnog i zvučnog signala u komandnoj sali kod prorade signalnog dela jednog od dva instrumenta ako je drugi otkazao. Tako se operativno osoblje pravovremeno obaveštava o havarijskom odstupanju parametara i može da preuzme potrebne mere za zaštitu postrojenja. Jednovremeno sa tim dati signal obaveštava osoblje o neispravnosti jednog od instrumenata za zaštitu. Postojanje ovog signala zajedno sa periodičnim ispitivanjem zaštita omogućuje da se ovom shemom dobiju dovoljno visoki eksploatacioni pokazatelji pouzdanosti.

Kod nekih zaštita povezivanje instrumenata po shemi »dva do dva« izvodi se u skladu sa sl. 2.b. U ovom slučaju kontaktni uređaj prvog instrumenta podešava se da deluje kada parametar postigne prvu havarijsku vrednost i tada se aktiviraju lokalne operacije. Kontaktni uređaj drugog instrumenta podešava se na drugu havarijsku vrednost. Signalni kontakti obaju instrumenata uključuju se kod prorade kontakata oba instrumenta.

Na sl. 3. data je shema povezivanja instrumenata za zaštitu poznata pod nazivom shema »dva do tri« koja predviđa korišćenje triju instrumenata za zaštitu čiji su signalni kontakti podešeni na iste vrednosti i povezuju se tako da prorada kontakata svaka dva instrumenta izaziva delovanje zaštite. Pokazatelji pouzdanosti ove sheme nalaze se na sredini između pokazatelja pouzdanosti shema na sl. 1.a i sl. 2.a. Ova shema se ipak malo primenjuje zbog većeg broja instrumenata i povećanja obima preventivnih i remontnih radova.

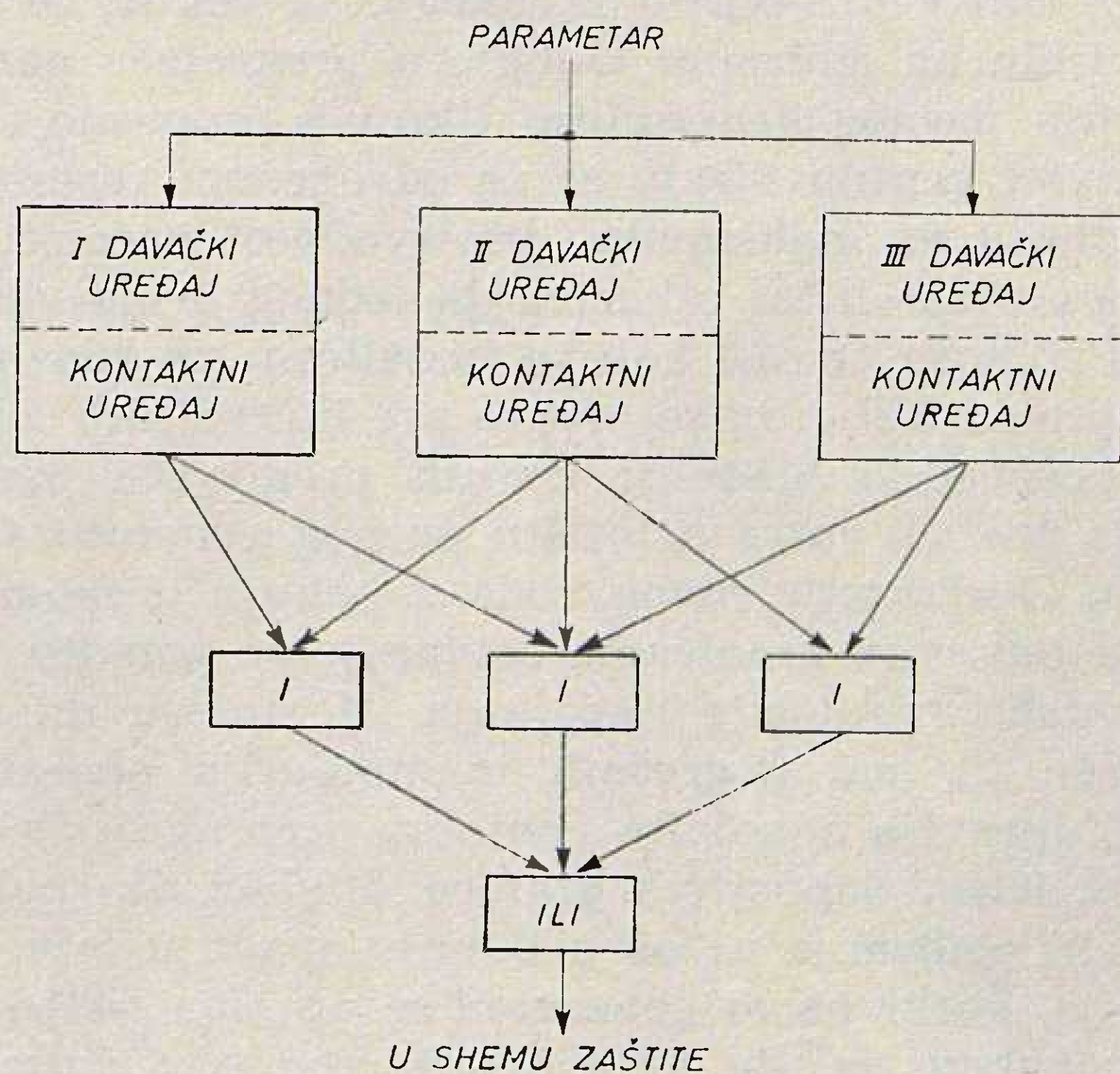
Delovanje zaštite treba da bude jednostruko. Prevođenje svih agregata i uređaja na koje je delovala zaštita u polazni položaj koji je postojao pre prorade zaštite treba da obavi osoblje posle otklanjanja uzroka koji su izazvali delovanje zaštite.

Ispunjavanje ovog zahteva sprečava ponovno stvaranje havarijske situacije jer sa isključivanjem postrojenja može da nestane i uzrok (impuls) koji je izazvao delovanje zaštite. Uvođenje postrojenja u rad posle delovanja zaštite bez odgovarajuće kontrole može dovesti do stvaranja havarijskih situacija.

Kod jednovremenog delovanja više zaštita koje izazivaju različit stepen rasterećenja postrojenja treba da se izvrše samo one operacije koje predviđa zaštita koja izaziva najveći stepen rasterećenja. To obezbeđuje jednostrukost delovanja zaštite i isključuje mogućnost davanja protivrečnih komandi. Delovanje zaštite treba da se produži do potpunog izvršenja svih operacija koje su predviđene programom date zaštite. To garantuje pronalaženje uzroka delovanja zaštite i isključuje pogrešna reagovanja operativnog osoblja ako se ono meša u rad zaštite.

Budući da je delovanje jedne od zaštita u pravilu praćeno proradom čitavog niza drugih zaštita (na primer kod zaustavljanja kotla iz bilo koga razloga nastaje gašenje vatre, prestaje dodavanje napojne vode u kotao, smanjuje temperature pare na izlazu iz kotla itd.), sheme zaštita treba da obezbede jednoznačno fiksiranje primarnog uzroka prorade zaštite. Sem toga, kod prorade svake od zaštita treba da se da odgovarajuća informacija u uređaj za registraciju redosleda prorade zaštita (ako postoji) koji omogućuje da se kasnije detaljno analizira odvijanje havarije.

Za znatan broj zaštita impuls koji izaziva delovanje zaštite jest havarijsko smanjenje parametara ili isključenje pomoćnog mehanizma. Kod puštanja osnovnih agregata ovi parametri (temperatura pare, vakuum u kondenzatoru, protok rashladne vode za hlađenje generatora i dr.) niži su od granično dopuštenih vrednosti i pomoćni mehanizmi su isključeni. Kod zaustavljanja osnovnih agregata nastaje isključivanje niza pomoćnih mehanizama, a parametri su smanjeni ispod dopuštenih vred-



Sl. 3.

nosti. Ako se zaštite pravovremeno ne isključe, tada kod planskog zaustavljanja bloka zaštite reaguju i izazivaju prinudno rasterećenje ili potpuno zaustavljanje postrojenja. S druge strane puštanje u rad postrojenja kod uključenih zaštita je nemoguće jer delujuće zaštite isključuju postrojenje već kod izvođenja prvih operacija za puštanje. Zbog toga se u shemama zaštita predviđa mogućnost automatskog ili ručnog isključenja zaštita koja omogućuje da osoblje izvrši puštanje i zaustavljanje postrojenja.

Za parne generatore koji rade sa dva oblika goriva (gas i mazut, ugalj i gas) sheme zaštite sadrže preklopku za oblik goriva kojom se unose sve potrebne promene u program delovanja zaštita kod promene oblika goriva koje sagoreva.

Kod prorade neke zaštite na komandnoj tabli se pojavljuje svetlosno-zvučni signal koji obaveštava operativno osoblje o uzroku nastajanja havarijske situacije.

U shemama zaštita predviđaju se sredstva koja omogućuju da se potpuno isključi svaka od zaštita ili samo njeno delovanje na postrojenje uz zadržavanje odgovarajuće signalizacije. To omogućuje da se isključi odgovarajuća zaštita kod kvara na davačkom instrumentu ili drugim uređajima za zaštitu, da se izvede podešavanje, remont i ispitivanje pojedinih zaštita itd.

U shemama tehnoloških zaštita, u pravilu, primenjuje se standardna relejna aparatura. Relativno visoka pouzdanost relejne aparature u poređenju sa drugim elementima uređaja za tehnološke zaštite-davačima, instrumentima, izvršnim mehanizmima obezbeđuje visoku pouzdanost logičkih shema u sistemu tehnoloških zaštita u celini.

AUTOMATSKE TEHNOLOŠKE ZAŠTITE BUBANJSKIH PARNIH GENERATORA

a) Svaki parni generator snabdeven je sigurnosnim ventilima koji deluju kod povećanja pritiska iznad dozvoljene vrednosti. Ti ventili se postavljaju na izlaznom kolektoru pregrejača pare i bubnju parnog generatora. Ukupne propusne sposobnosti ventila biraju se sa određenom rezervom u odnosu na maksimalnu proizvodnost parnog generatora za slučaj otkazivanja jednog broja ventila. Pri tome ventili koji su instalirani na izlaznom kolektoru treba da se otvore pre bubanjskih da bi se obezbedilo hlađenje parnih pregrejača parom kada postoji vatra u ložištu parnog generatora.

b) Održavanje nivoa vode u bubnju u zadanim ili dopustivim granicama ostvaruje se pomoću automatske regulacije napajanja. U slučaju da ova otkáže ili kod pogrešnih manipulacija operatora koji upravlja napojnim ventilom nivo može da odstupa izvan dopustivih granica. Budući da spuštanje ili podizanje nivoa u bubnju spada u teže havarije, svaki parni generator se oprema sistemom automatske zaštite koja deluje kod povećanja ili sniženja nivoa.

c) Za slučaj gašenja vatre u ložištu kod nestabilnog sagorevanja dodavanje goriva treba da se prekine jer njegovo isparavanje može da dovede do stvaranja eksplozivne smeše. Parni generatori koji rade sa ugljenom prašinom opremaju se ovom zaštitom koja deluje i na dodavanje rezervnog goriva (gasnih ili mazutnih gorionika).

Zaštita od gašenja vatre povezana je sa sistemom zvučne i svetlosne signalizacije i ima veliko značenje kod velikih termoelektrana gde je operator lišen mogućnosti da nadzire stanje vatre u ložištu.

d) Zaštita od sniženja temperature pregrejane sveže pare praktično sprečava prodor čestica vode u parovod i protočni deo turbine. Kod sniženja temperature pare do granične vrednosti signal od davača temperature izaziva, preko odogovarajućih blokadnih veza, zaustavljanje parnog generatora.

Kod blokovskih postrojenja sa jednim parnim generatorom zaštita od sniženja temperature sveže pare koja ide k turbini deluje na zatvaranje stop-ventila turbine.

Na analogan način ostvaruje se i deluje sistem zaštite od povećanja temperature sveže pare iznad utvrđene maksimalne vrednosti.

AUTOMATSKE TEHNOLOŠKE ZAŠTITE PROTOČNIH PARNIH GENERATORA

Protočni parni generatori opremaju se svim vrstama zaštite koje se koriste i kod bubanjskih agregata isključujući zaštitu od povećanja i smanjenja nivoa vode u bubnju. Budući da su konstruktivne osobenosti protočnog parnog generatora povezane sa prinudnom cirkulacijom, na njemu se postavlja i niz dopunskih zaštita koje deluju na zaustavljanje parnog generatora kod nastajanja havarijskih situacija.

a) Kod protočnog parnog generatora treba da bude obezbeđen stalni dovod napojne vode. Zbog toga se predviđa zaštita od prestanka dovoda napojne vode. Kod prestanka dovoda vode zaštita deluje na zaustavljanje parnog generatora sa vremenskom zadržskom koja je potrebna za prelazak sa radne napojne pumpe na rezervnu.

b) Gubitak vode u ekonomajzeru zbog pojave proboja u cevima osim znatnih gubitaka napojne vode može da dovede do narušavanja normalnog režima rada isparivačkog sistema i povećanja temperature pare. Zbog toga pojava debalansa u protoku vode do i posle ekonomajzera na svakom od njegovih tokova služi kao signal za proradu zaštite koja deluje na zaustavljanje parnog generatora sa određenom vremenskom zadržskom koja je potrebna da se spreči lažno zaustavljanje zbog debalansa protoka u režimskim uslovima. Ponekad se kao potvrdni signal zaštite koristi naglo povećanje temperature pare u ovom sklopu.

Na sličan način mogu da budu sačinjene i druge zaštite od oštećenja zagrevnih površina.

c) Zaštita od povećanja (sniženja) pritiska pare ispred ventila postavlja se kod parnih generatora s natkritičnim pritiskom pare. U vodeno-parnom delu ovog generatora postavlja se ventil koji se koristi kod puštanja i rada parnog generatora sa malim opterećenjem. Pri radu generatora treba da se održavaju dopustive varijacije pritiska u datom sistemu. Donja granica pritiska uspostavlja se iz uslova rada kod potkritičnih pritisaka radnog fluida, a gornja granica je određena uslovima čvrstoće materijala zagrevnih površina parnog generatora. Radi obezbeđenja tih uslova parni generator je opremljen zaštitom koja ga zaustavlja kod povećanja ili sniženja pritiska ispred ventila koji je ugrađen u vodeno-parni sistem. Otkazivanje zaštite može dovesti do vrlo teških posledica.

d) Radi zaštite međupregrejača predviđa se zaustavljanje parnog generatora u slučaju prestanka protoka pare kroz parni pregrejač. Signal za progradu zaštite je pad pritiska na međupregrevanju. Zaštita deluje sa vremenskom zaštitom da bi se sprečilo pogrešno zaustavljanje parnog generatora.

Zaustavljanje parnog generatora ostvaruje se putem prekidanja dovoda goriva u ložište. Zbog toga se zatvaraju zaporni ventili na cevovodima koji dovode gorivo u svaki od gorionika i potpuno zaustavlja dovod goriva u parni generator.

Ostale operacije za zaustavljanje parnog generatora izvršavaju se sistemom tehnoloških blokada. Ventilatori dimnih gasova i svežeg vazduha ostaju u radu radi ventilacije ložišta i gasnih kanala.

AUTOMATSKE TEHNOLOŠKE ZAŠTITE PARNIH TURBINA

a) Učestalost okretanja osovine turbogeneratora koji je uključen u električni sistem treba da se održava stalan sa visokom tačnošću radi održavanja učestalosti mreže. Ovaj zadatak izvršava sistem regulacije. Uvećanje učestalosti okretanja za 10% iznad dopustive vrednosti zbog otkazivanja sistema regulacije ili iz drugih razloga izaziva progradu prekobrinske zaštite koja deluje na zatvaranje stop ventila ispred turbine.

b) Obrtanje rotora ima određenu slobodu produžnog pomeranja u odnosu na stator. Dimenzije ovog pomeranja su veoma malene (do 1,5 mm za različite vrste turbine) i ograničene su nosećim ležajima turbogeneratora. Zbog trošenja radnih površina ili prekoračenja proračunskih naprezanja može doći do produžnog pomeranja rotora koje prelazi dopustivu vrednost. Ako se pri tome ne preduzmu odgovarajuće mere (delimično ili potpuno rasterećenje ili zaustavljanje turbine), tada preterano osno pomeranje rotora izaziva oštećenje krajnjih zaptivača ili lopatičnog sistema turbine. Stoga su savremene turbine opremljene specijalnim zaštitnim uređajima koji deluju na zaustavljanje turbine kod preteranog osnog pomeranja rotora.

c) Smanjenje vakuuma u kondenzatoru dovodi do porasta temperature pare u poslednjem delu turbine, što izaziva termičke deformacije tela turbine i zahteva snižavanje opterećenja. Kod naglog sniženja vakuuma operator ne može pravovremeno da preduzme potrebne mere. Stoga je potrebna automatska zaštita koja će delovati na zaustavljanje turbine radi sprečavanja njenog ozbiljnog oštećenja. Signal za zaštitu kod gubitka vakuuma formira se pomoću specijalnog vakuumskog releja.

d) U normalnom režimu rada ulje u sistemu podmazivanja ležaja dolazi pod zadatim pritiskom iz sistema uljne hidraulične regulacije turbine. U slučaju otkazivanja predviđene su rezervne uljne pumpe koje se uključuju automatski kod pada pritiska ispod prve ili druge granične vrednosti. Kod sniženja pritiska ispod treće granične vrednosti signal deluje na zatvaranje stop-ventila ispred turbine i uključuje motor za okretanje rotora turbine radi hlađenja.

Delovanje različitih zaštita za zaustavljanje turbine svodi se u svim slučajevima na zatvaranje stop-ventila ispred turbine.

Osim toga u svakom slučaju isključivanje električnog generatora treba da dovede do zaustavljanja turbine. Sem električnih zaštita generator je snabdeven sopstvenim sistemom tehnoloških zaštita koje deluju na njegovo isključivanje, na primer kod zaustavljanja svih uljnih pumpi za zaptivanje osovine i kod prestanka protoka rashladne vode za hlađenje generatora.

AUTOMATSKE TEHNOLOŠKE ZAŠTITE POMOĆNIH UREĐAJA

Automatske tehnološke zaštite pomoćnih uređaja termoelektrane čine lokalni sistem automatskih uređaja. Njihovo delovanje nije povezano sa zaustavljanjem osnovne opreme i njegovih mehanizama jer pomoćni uređaji imaju obično i rezervni uređaj ili se relativno brzo repariraju. Osim toga preterane varijacije njihovih regulacionih parametara nemaju direktan uticaj na proizvodnost parnog generatora i proizvodnju električne energije.

a) Zaštita regenerativnih zagrejača visokog pritiska. Prepunjavanje zagrejača visokog pritiska vodom do nivoa ulaska cevovoda zagrevne pare nedozvoljeno je zbog opasnosti od ulaska vode u parovod. Takva opasnost nastaje kod otkazivanja automatskih regulatora nivoa u zagrejaču ili kod proboja cevni zmijske napojne vode. U ovom slučaju predviđa se povratna klapna na cevovodu zagrevne pare koji povezuje telo zagrejača sa komorom neregulisanog oduzimanja na turbini kao i specijalna zaštita koja deluje na sistem dovoda napojne vode na zaobilaznom putu čitave grupe zagrejača visokog pritiska.

b) Zaštita napojno-deaeracionih uređaja. Napojne pumpe su »srce« toploćnog dela električne centrale. Zbog toga u slučaju havarijskog isključenja

radne pumpe ili nepredviđenog sniženja pritiska vode u napojnoj magistrali predviđa se automatsku uključivanje rezervne pumpe. Kada postoje napojne turbo-pumpe, njihove pogonske turbine se opremaju zaštitama od povećanja učestalosti okretanja osovine, osnovnog pomeranja rotora i snižavanja pritiska ulja u sistemu regulacije i podmazivanja ležaja. Na dearatorima napojne vode predviđa se zaštita od povećanja pritiska u dearatorskoj glavi (sigurnosni ventili ili hidrozatvarači), od sniženja pritiska u cevovodu oduzimne pare za deaerator (isključivanje linije rezervnog dovoda pare) i od povećanja nivoa vode u akumulatorskom rezervoaru. Kod prekoračenja maksimalno dopustivog nivoa automatski se otvara ventil na havarijskom slivu vode iz rezervoara, a kod dostizanja minimalnog nivoa uključuje se rezervna pumpa za dovod hemijski očišćene vode.

Sheme zaštita

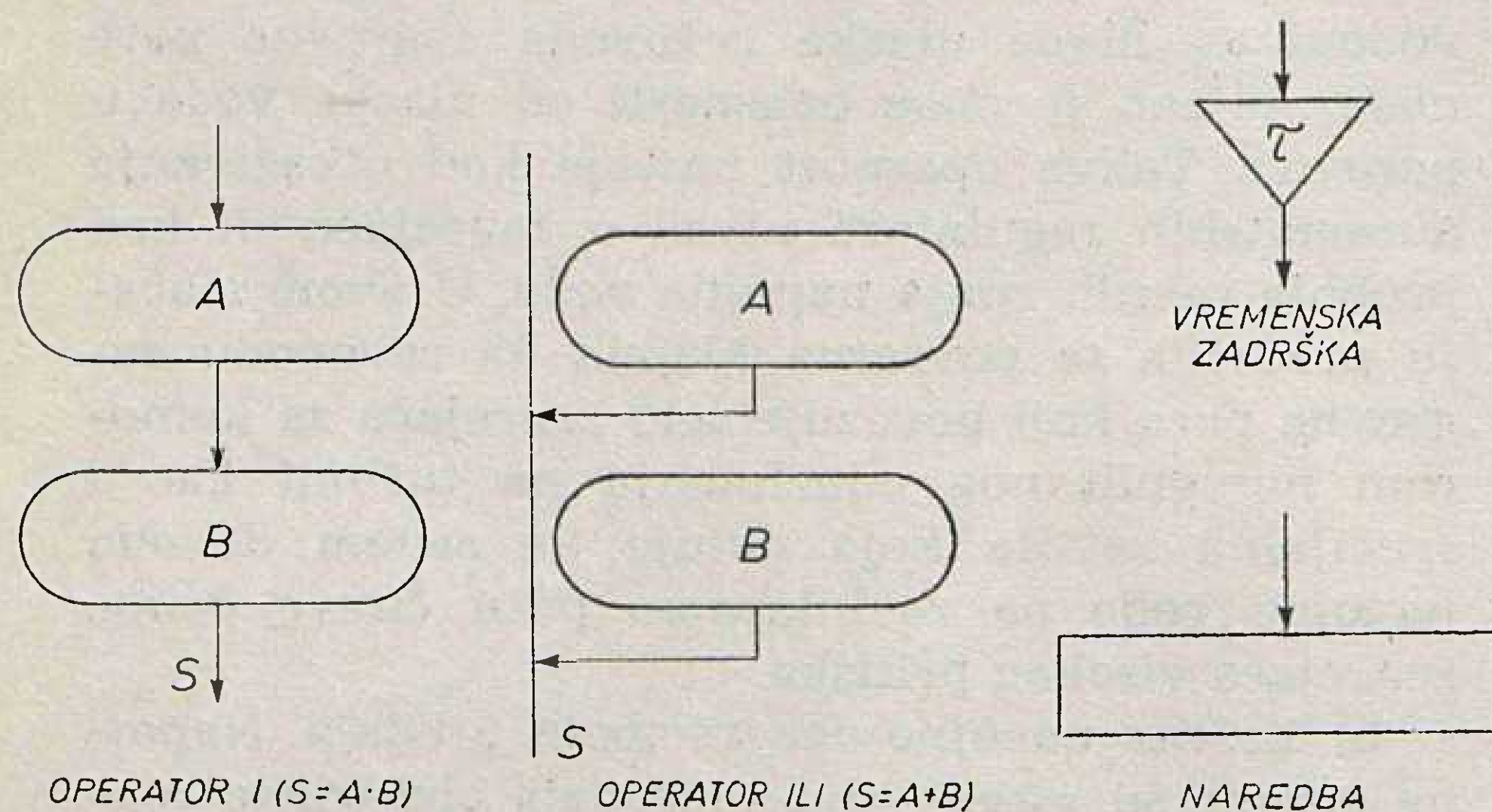
Redosled delovanja svih uređaja u složenim sistemima zaštite predstavlja se grafički pomoću logičkih (strukturnih) shema. Logičke sheme odražavaju osnovne tehničke zahteve koje treba da udovolje tehnološke zaštite.

Na logičkim shemama crtaju se odgovarajuće oznake (sl. 4) koje predstavljaju sve uređaje i elemente koji učestvuju u radu date zaštite. Uređaji i elementi povezuju se međusobno spojnim linijama koje pokazuju smer delovanja.

Ako zaštita treba da deluje pri jednovremenom dobijanju signala od dva uređaja, tada se signali objedinjuju pomoću simbola I. Ako je delovanje zaštite moguće pri dobijanju signala jednog od nekoliko uređaja, tada se signali povezuju simbolom III. Ako signal od nekog uređaja deluje sa vremenskom zadržskom, tada se na liniji veze crta element sa simbolom τ i datim vremenom zadržke.

Posebno se crtaju logičke sheme tehnoloških uslova zaštite za uključivanje i za isključivanje pojedinih uređaja.

Logičke sheme zaštita složenijih agregata — parnih generatora turbina, blokova — u celini imaju složenu formu jer se ovde ostvaruje delovanje na veći broj agregata i uređaja.

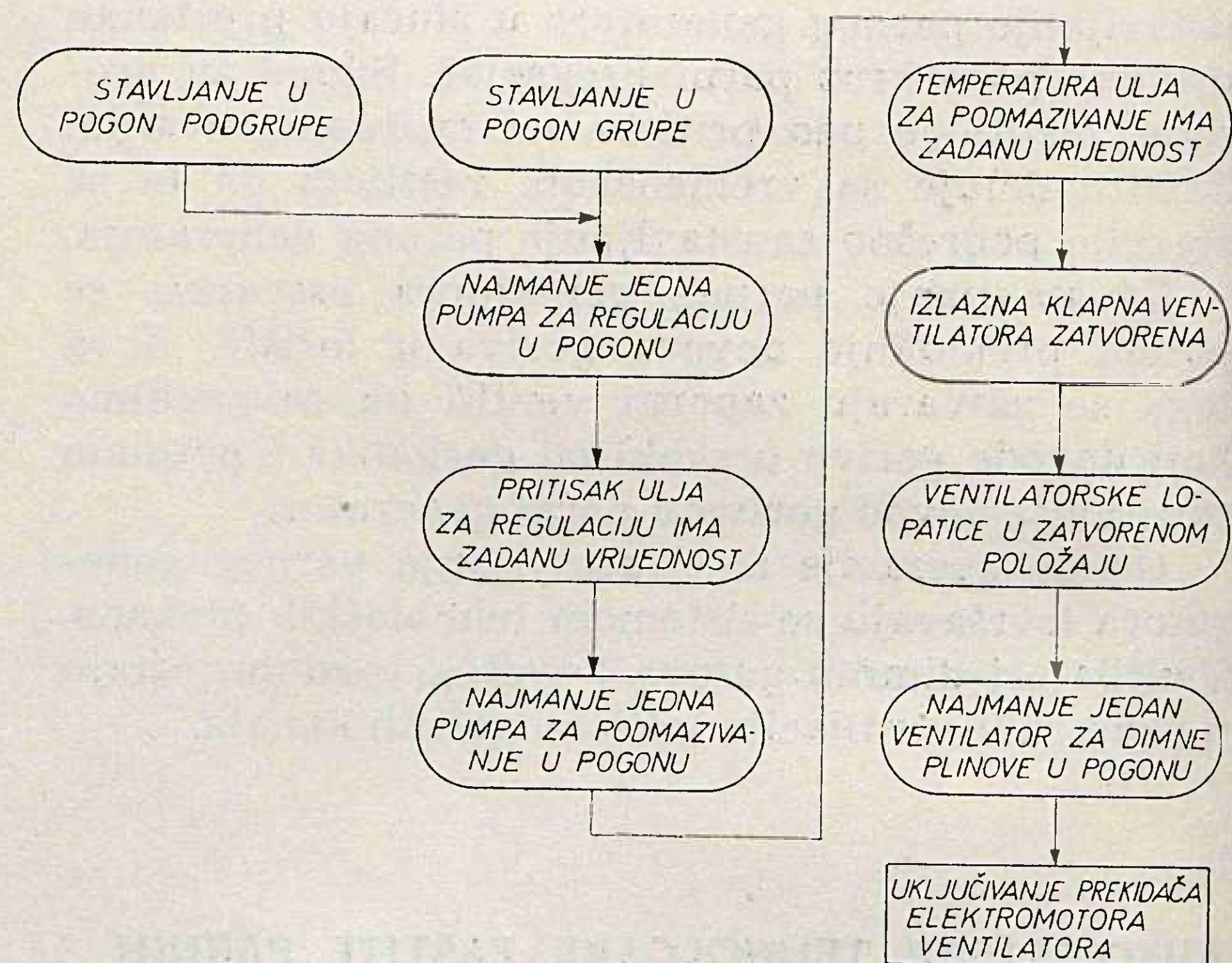


Sl. 4.

Radi ilustracije prethodnog izlaganja predstavimo nekoliko primera tehnoloških zaštita za deo kotlovskog postrojenja termoelektrane u izgradnji »Kosovo B« 2×340 MW.

PRIMER

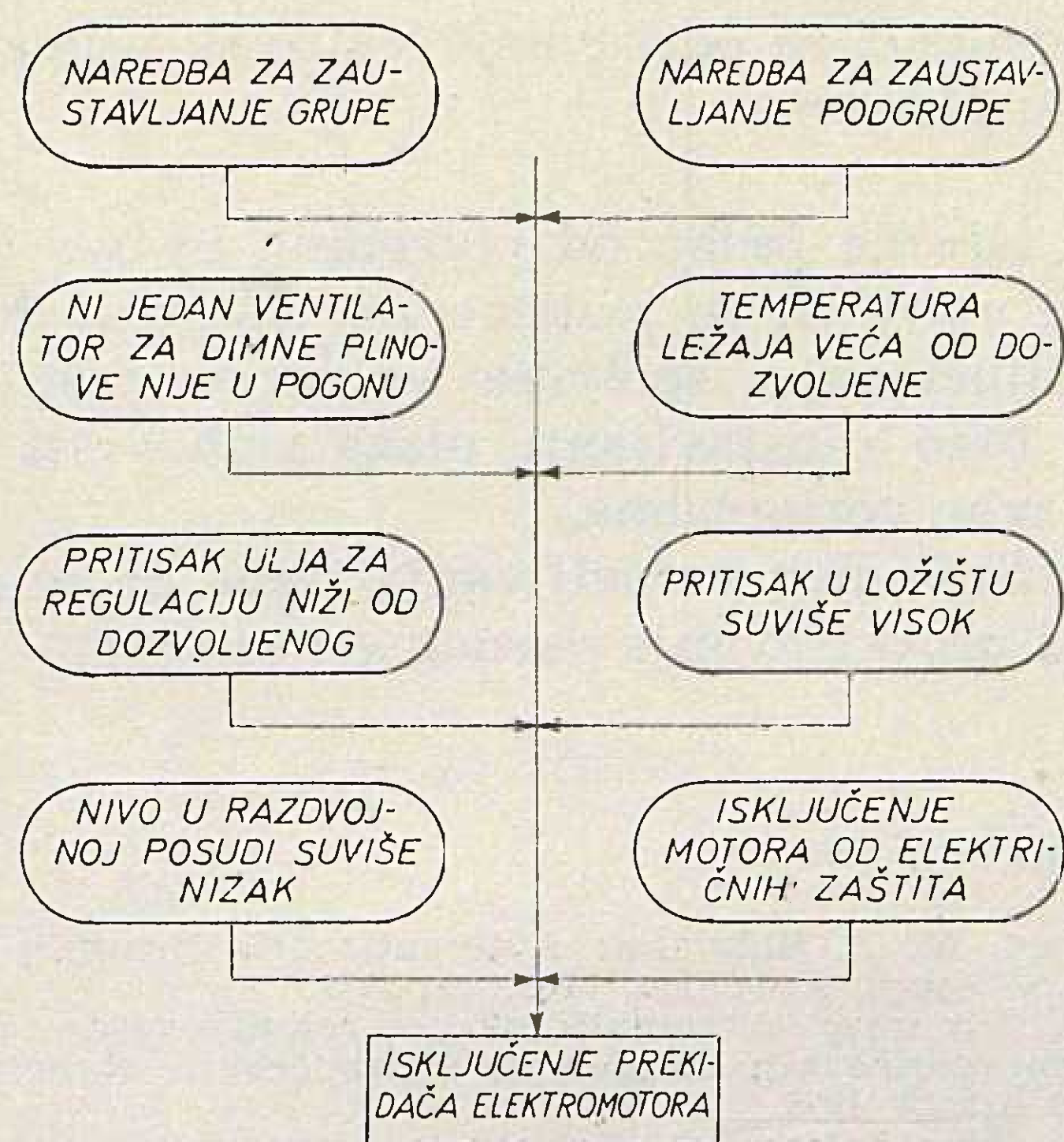
Za svaki blok predviđena su dva ventilatora svežeg vazduha (potisni ventilatori). Ventilatori su helikoidalnog tipa i pokreću se pomoću elektromotora sa konstantnom brzinom. Variranje protoka se ostvaruje promenom koraka helikoidalnosti. Orijentacija lopatica se ostvaruje pomoću hidrauličnog regulacionog organa kojim se komanduje preko kola regulacije.



Sl. 5.

Tehnološki uslovi blokiranja kod stavljanja u pogon (sl. 5) su sledeći:

- pritisak ulja za regulaciju veći od dozvoljenog (signal od manostata)
- jedna od pumpi za regulaciju za ulje je u pogonu (signal od kontakta kontaktora pogonskog elektromotora)
- jedna od pumpi za ulje za podmazivanje je u pogonu (signal od kontakta kontaktora pogonskog elektromotora)
- temperatura ulja u kolu za podmazivanje veća je ili jednaka dozvoljenoj (signal od termostata)
- izlazna klapna ventilatora je zatvorena (signal kontakta kraja hoda na izvršnom pogonskom mehanizmu)
- ventilatorske lopatice su u zatvorenom položaju (signal kontakta kraja hoda na izvršnom pogonskom mehanizmu)
- najmanje jedan ventilator dimnih gasova je u pogonu (signal od prekidača pogonskih elektromotora).



Sl. 6.

Ako su svi dati uslovi ispunjeni, agregat (motor-ventilator) se može staviti u pogon preko odgovarajućeg komandnog modula za upravljanje funkcionalnom grupom date linije ventilatora ili komandnog modula za upravljanje podgrupom uređaja ovog agregata.

Tehnološki uslovi zaštita (sl. 6) koje isključuju agregat (motor-ventilator) su:

- nijedan ventilator dimnih gasova nije u pogonu (signal od pomoćnih kontakta prekidača pogonskog elektromotora)
- pritisak ulja za regulaciju je niži od dozvoljenog (signal od monostata)
- temperatura ležaja veća je od dozvoljene (signal od termostata)
- pritisak u ložištu je previše visok (signal od manostata)
- nivo u razdvojnoj posudi (Sulcerovog) parnog generatora je suviše nizak (signal od kontrole nivoa)
- delovanje električnih zaštita pogonskog elektromotora.

Svi ti zaštitni signali po shemi ILI izazivaju zaustavljanje pogonskog elektromotora ventilatora, zatvaranje klapne na potisnoj strani ventilatora i zatvaranje regulacionih klapni na rotoru ventilatora.

Osim zaštitnih signala zaustavljanje ventilatora se ostvaruje pomoću komandnog modula funkcionalne grupe date linije ventilatora ili komandnog modula podgrupe koju sačinjavaju agregat ventilator — pogonski elektromotor i prateći pomoćni uređaji.

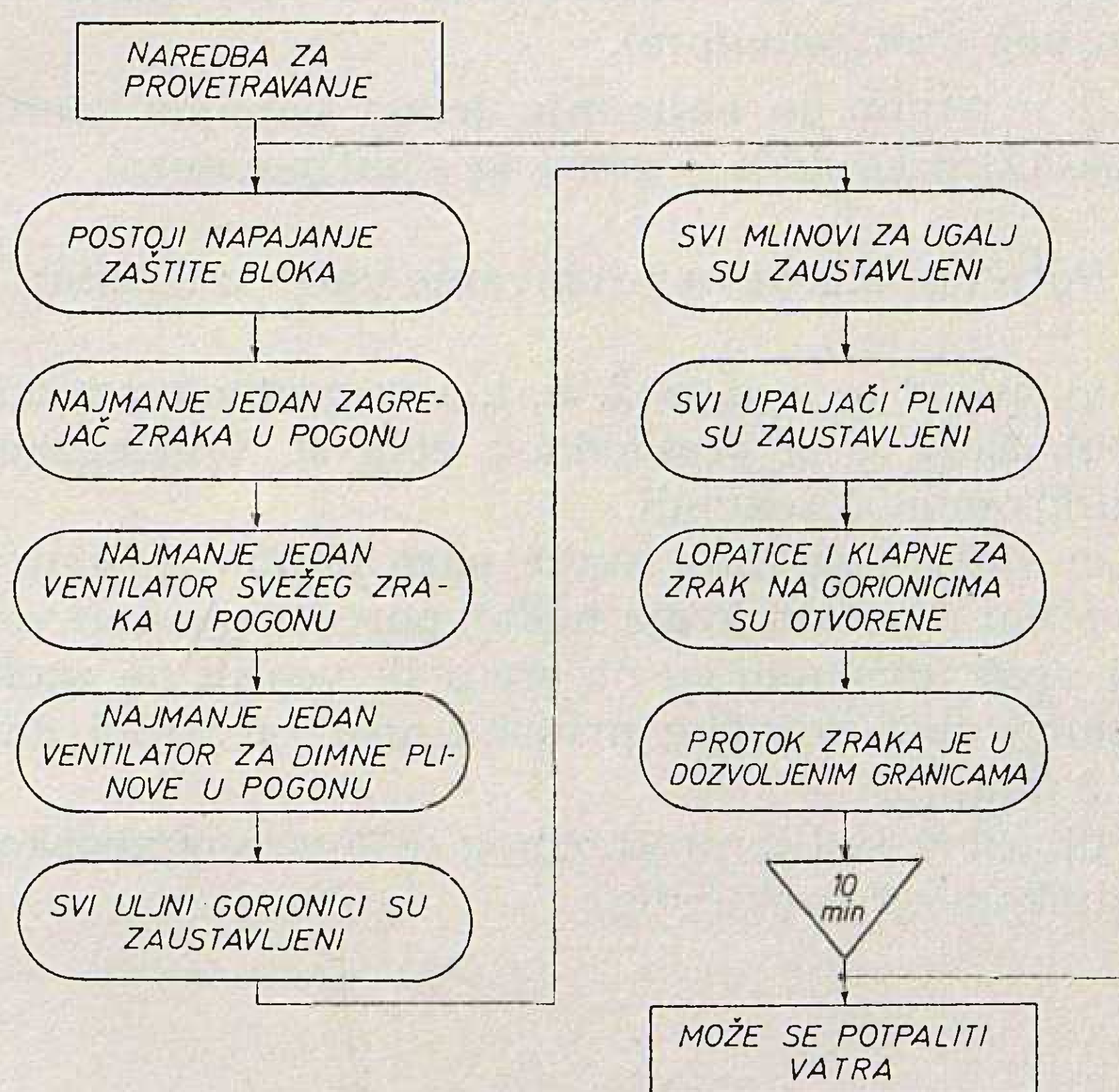
Uslovi za provetravanje parnog generatora. Provetravanje je prethodna obavezna operacija pre svakog potpaljivanja parnog

generatora. Ta operacija se sastoji u evakuaciji zaostalih gasova u ložištu, kod izmenjivača toplote i dimnim kanalima. Evakuacija se ostvaruje kontinualnom cirkulacijom vazduha za sagorevanje.

Pod provetravanjem razumeva se neprekidan protok određene količine vazduha kroz ložište koja je jednaka ili manja od petostruke zapremine ložišta za vreme najmanje 10 min.

Uslovi koji omogućuju izvođenje provetravanja dati su na sl. 7.

Ako su ti uslovi ispunjeni, memoriše se signal koji omogućuje u odgovarajućem redosledu potpaljivanje vatre u ložištu parnog generatora.



Sl. 7.

Opšte zaštite parnog generatora. Pored uputstava o eksploataciji parnog generatora koje eksploataciono osoblje treba striktno da ispunjava, parni generator je zaštićen pomoću sistema opštih zaštita koje automatski deluju čim se pojave odgovarajući nenormalni uslovi.

Zaštita parnog generatora može se razdeliti na:

- potrebne uslove za potpaljivanje
- potrebne uslove za održavanje vatre.

Potrebni uslovi koji omogućuju potpaljivanje vatre u ložištu su:

- a) postoji signal (da je obezbeđeno napajanje uređaja automatike i regulacije),
- b) najmanje jedan zagrejač vazduha je u pogonu (signal od detektora rotacije),
- c) isteklo je vreme provetravanja i postoji signal da je završeno provetravanje,
- d) u pogonu je najmanje jedan potisni ventilator (vazduha),
- e) u pogonu je najmanje jedan usisni ventilator (dimni gasovi),

f) protok vazduha za sagorevanje je manji ili jednak maksimalnom protoku (signal relea granične vrednosti),

g) protok vode kroz isparivač iznad minimalnog (signal relea granične vrednosti),

h) nivo u separatoru (razdvojnoj posudi) je veći od donje granične vrednosti (signal relea granične vrednosti),

i) pritisak u ložištu je ispod maksimalnog (signal presostata),

j) pritisak u ložištu je veći od minimalnog (signal presostata),

k) u pogonu je najmanje jedna cirkulaciona pumpa parnog generatora (kontakt prekidača pogonskog elektromotora),

l) u pogonu je najmanje jedna napojna pumpa (kontakt prekidača pogonskog elektromotora).

Potrebni uslovi za održavanje vatre u ložištu:

a) uslovi a, c, d, e, f, h, i, j iz prethodnog dela,

b) uslov g iz prethodnog dela sa vremenskom zadržkom od 5 sekundi,

c) ventili na liniji sveže pare prema turbini su otvoreni (kontakt kraja hoda), pored toga stop ventili pred turbinom su otvoreni ili ventili na zaobilaznom vodu visokog pritiska nisu zatvoreni duže od 2 minuta,

d) uslov k, l iz prethodnog dela sa vremenskom zadržkom od 3 sekunde,

e) gorionici za održavanje vatre su u pogonu uz kontrolu plamena.

Čim iščezne jedan od potrebnih uslova za održavanje vatre ili se pritisne na taster za havarijsko isključivanje ispoljava se akcija zaštite koja izaziva brzo zaustavljanje ulaza svih vrsta goriva prema svim gorionicima.

Kod ponovnog potpaljivanja treba da se ponovo aktivira provetravanje parnog generatora.

LITERATURA

1. Pod red. M. P. Šalmana: Avtomatizacija krupnih teplovih elektrostanciji, Energija, Moskva, 1974.
2. G. P. Pletnev: Avtomatičeskoje regulirovanje i zaštita teploenergetičeskih ustanovok električeskih stanciji, Energija, Moskva, 1976.
3. D. Ja. Kuzmenko: Regulirovanije i avtomatizacija parovih kotlov, Energija, Moskva, 1978.
4. Teknikal Seminar: Overall control and monitoring in power stations-BBC, Dubrovnik, 1978.
5. Projektna tehnička dokumentacija za TE »Kosovo B« 2 × 340 MW od firme Stein Industrie i CGEE Alsthom.

TEHNOLOGY PROTECTION AND BLOCKING OF TERMO ELECTRICAL FORMATION

This article deals with Assignment of technology protection on block, protection division according to its importance, possible solutions at the impulse choice and the need for acting protection selectivity with the illustration of concrete decisions.

Naslov pisca:

mr Dragoljub Piperski, dipl. ing.
REM HK »Kosovo«, Priština

IZVJEŠTAJ O RADU I ZAKLJUČCI XIV SAVJETOVANJA ELEKTROENERGETIČARA JUGOSLAVIJE

XIV savjetovanje JUKO CIGRE održano je od 13. do 19. svibnja 1979. u Sarajevu, gdje je točno prije 25 godina (1954) održano drugo savjetovanje. U tom su razdoblju SR BiH, a posebno grad Sarajevo doživjeli golemi napredak i procvat u svakom pogledu.

Jugoslavenski komitet CIGRE se u tih četvrt stoljeća razvio u značajnu organizaciju. Dok je na savjetovanju 1954. izneseno na diskusiju 23 referata uz sudjelovanje od 135 stručnjaka, ovom je prilikom napisano 185 referata, a registrirano je 1058 prisutnih. Procijenjuje se, međutim, da je bilo i oko 250 neprijavljenih, koji su prisustvovali manifestacijama CIGRE.

Domaćin savjetovanja SOUR Elektroprivreda BiH, na čelu s predsjednikom pokroviteljskog odbora direktorom Nikolom Andrićem i organizacionog odbora direktorom Nikolom Pavičićem, dipl. ing., uložila je mnogo truda kako bi savjetovanje bilo što uspješnije.

U subotu, 12. svibnja, uoči savjetovanja, posjetili su predsjednik i generalni sekretar CIGRE s predstavnicima domaćina Izvršno vijeće BiH, gdje su ih primili član Izvršnog vijeća Vlado Mijatović, dipl. ing., zadužen za energetiku i podsekretar u sekretarijatu za privredu Davor Ivanišević. Zatim je predsjednik prof. Velašević dao kratak intervju za sarajevsku televiziju.

U nedjelju 13. svibnja posjetili su predstavnici CIGRE i domaćina, Skupštinu grada Sarajeva, i obavijestili predsjednika Skupštine Antu Sučića i predsjednika izvršnog odbora Skupštine Branka Barića o djelatnosti i ciljevima CIGRE.

Svečano otvorenje je održano istog dana u 18 sati u kongresnoj dvorani KSC Skenderija. U dvoranama tog kompleksa održavale su se sve priredbe za vrijeme Savjetovanja. Tu je bilo sjedište sekretarijata i prijemne službe.

Savjetovanje je otvorio predsjednik JUKO CIGRE prof. Milorad Velašević, dipl. ing. Nakon govora predsjednika, skup su pozdravili:

Vlado Mijatović, član Izvršnog vijeća BiH,
Branko Barić, predsjednik Izvršnog vijeća grada,
dr Lazar Ljubiša, generalni direktor Zajednice jugoslovenske elektroprivrede.

Na kraju svečanosti pročitao je pozdravni telegram upućen drugu Titu.

Radni se dio Savjetovanja odvijao na sastancima radnih grupa 14, 15, 16. i 17. svibnja i to simultano u dvije dvorane kompleksa »Skenderija«, ujutro i popodne.

Osim rada u radnim grupama, većina studijskih komiteta održala je po dva sastanka. Jedan prije zasjedanja dotične grupa, kad je prodiskutiran plan rada i vođenje diskusije na zasjedanju, i drugi, kad su sastavljeni zaključci i preferencijalne teme za slijedeće XV savjetovanje 1981. godine. Ukupno su za vrijeme Savjetovanja održana 24 sastanka studijskih komiteta.

U ponedjeljak 14. svibnja u 20 sati priredio je domaćin za sve sudionike drugarski sastanak, a u srijedu kulturno-umjetnički program, također u prostorijama »Skenderije«.

Za pratioce sudionika Savjetovanja domaćin je u utorak 15. V organizirao razgledavanje Sarajeva.

Za vrijeme ove velike manifestacije elektroenergetičara Jugoslavije organizirane su i tehničke ekskurzije, koje su bile dobro posjećene. Naprotiv, ekskurzije organizirane na kraju Savjetovanja u subotu 19. V nisu se održale zbog premalog broja prijavljenih.

U petak 18. V održan je plenum na kojemu su predsjednici studijskih komiteta iznijeli zaključke što su proizašli iz referata i diskusija, preferencijalne teme za slijedeće savjetovanje i predložili najzapaženiji referat svoje grupe za diplomu.

Prihvaćeni zaključci i preferencijalne teme za XV savjetovanje, po grupama su:

Sekcija I: ELEMENTI POSTROJENJA

Grupa 11 — Rotacioni strojevi

Predsjednik: prof. dr Božidar Frančić, dipl. inž.
Tajnik: Zvonko Čulig, dipl. inž.
Stručni izvjestilac: prof. dr Zvonko Sirotić, dipl. inž.

Na osnovi izvještaja stručnog izvjestitelja i zaključaka Studijskog komiteta 11 referata i informacija svrstano je prema preferencijalnim temama u 7 skupina:

1. Izbor parametara sinhronih generatora i uzбудnih sistema (nema referata ni informacija)
2. Gradnja velikih generatora (11. 01, 11. 02, 11. 03, 11.04, 11. 05)
3. Uzбудni sistemi i regulacija uzbuđe generatora (11. 06, 11. 07)
4. Posebna pogonska stanja sinhronih generatora (11. 08, 11. 09, 11. 10, 11. 11)
5. Izolacija velikih strojeva (11. 12, 11. 13)
6. Metode mjerenja i ispitivanja velikih strojeva (11. 14, 11. 15)
7. Pogoni s velikim motorima (11. 16, 11. 17, 11. 18, 11.19, 11. 20)

Na osnovi diskusije na savjetovanju i zaključaka Studijskog komiteta 11, usvojeni su zaključci i preferencijalne teme za XV savjetovanje.

Zaključci

1. Izbor parametara sinhronih generatora i uzбудnih sistema

Na XIV savjetovanju nije podnesen nijedan referat o izboru parametara sinhronih generatora i uzбудnih sistema, premda su u nekoliko referata izvan te teme, u preferencijalnim temama 2. i 3, dotaknuta i pitanja izbora parametara. U budućem radu studijskog komiteta valja ovoj temi posvetiti naročitu pažnju, zbog njezinog općeg značaja, i boljeg odziva za XV savjetovanje. Očekuje se da će zajednički rad širokog kruga stručnjaka biti naročito potaknut budućim samoupravnim sporazumom JUGEL-JUMEL, kojim se predviđa niz dugoročnih akcija na području razvoja i izbora parametara opreme.

2. Gradnja velikih generatora

Na savjetovanju su obrađena veoma značajna pitanja mehaničkog projekta velikih generatora: torzione oscilacije turboagregata, kriteriji za dozvoljena mehanička naprezanja rotora hidrogenatora i odnos vlastite frekvencije fleksionih oscilacija prema brzini pobjega.

Utvrđeno je da suvremene metode proračuna omogućuju uvid u prilike torzionih oscilacija turboagregata, tako da se za pretpostavljene pojave smetnji (udarni kratki spojevi, otklanjanje kvara s ponovnim brzim uspostavljanjem napona i dr.) mogu predvidjeti torzione oscilacije, ocijeniti njihovo dozvoljeno trajanje sa stanovišta sigurnosti agregata i po potrebi poduzeti odgovarajuće mjere u sistemu zaštite agregata. Zbog toga je nužna trajna suradnja korisnika i proizvođača agregata.

Suvremene metode proračuna, koje se primjenjuju i u našoj praksi, omogućuju da se materijal mehanički optimalno iskoristi uz očuvan odgovarajući stupanj sigurnosti. No je proučavati prilike fleksionih oscilacija hidrogenatora, kojima se nastoje povećati granične snage. Potrebno je proučavati prilike fleksionih oscilacija hidrogenatora, pogotovu njihovo prigušenje, kako bi se vlastita frekvencija na dopustivi način približila brzini pobjega i time doprinijelo povećanju graničnih snaga.

Potrebno je i nadalje raditi na optimiranju sistema hlađenja turbogeneratora, sa stanovišta efikasnosti hlađenja, korisnosti i pogonske sigurnosti. Suvremene metode mjerenja, signalizacije i automatizacije pomoćnih sistema (plin, voda) moraju pridonositi povećanju pogonske sigurnosti.

3. Uzбудni sistemi i regulacija uzbuđe generatora

Postignut je dobar stupanj sposobnosti analize sistema uzbuđe i regulacije, koji omogućuje da se svakom objektu pristupa pojedinačno, uzimajući u obzir njegove parametre, položaj u elektroenergetskom sistemu i parametre odgovarajućeg dijela sistema.

Stečena su teorijska i praktična iskustva u razvoju sklopova za stabilizaciju, koji se uvode u već postojeće uzbudne sisteme, na osnovi signala aktivne snage, što djeluje

na smanjenje oscilacija agregata. Pokazano je da se više-parametarska regulacija uzbude može optimirati već pri izradi projekta, kako po strukturi tako i po parametrima. Potrebno je proučavati pitanja optimalne uloge i djelovanja pojedinačnih regulatora, a posebno međusobni utjecaj višeparametarske regulacije uzbude i grupne regulacije uzbude s primarnim djelovanjem u elektranama s više agregata, kako bi se njihovo djelovanje koordiniralo.

4. Posebna pogonska stanja sinhronih strojeva

Na savjetovanju su razmatrana pitanja zaleta agregata za pumpno-akumulacione elektrane, rad generatora u poduzbuđenom stanju i kratkotrajna preopterećenja uzbuđenog namotaja.

Agregati za pumpno-akumulacijske elektrane sve su aktualniji. Očekuje se da će se, naročito kod velikih jedinica, sve više primjenjivati metode sinhronog zaleta.

Potrebno je i nadalje razvijati metode proračuna i prikupljati podatke mjerenja u čeonom prostoru generatora u poduzbuđenom stanju, kako bi se optimalno riješila konstrukcija i već u fazi projekta sa sigurnošću odredila pogonska karta generatora u 2. kvadrantu i njoj prilagodili odgovarajući ograničivači u sistemu uzbude. Preporuča se mjerenje prilika u čeonom prostoru i na strojevima u eksploataciji. Potrebno je analizirati i mogućnost da se kratkotrajno dozvole i veća opterećenja od ograničenja koja se odnose na zagrijavanje u trajnom poduzbuđenom radu, ovisno o prethodnom stanju opterećenja, kako bi se povećale operativne sposobnosti agregata.

5. Izolacija velikih strojeva

Postoje dobri uvjeti za sistematsko praćenje i predviđanje stanja izolacije generatora u pogonu. Takve postupke valja nastaviti i razmotriti mogućnost da se praćenje proširi na veći broj parametara (parcijalna izbijanja, koeficijent apsorpcije i dr.), kako bi se među njima utvrdio stupanj koleracije. Posebno je istaknuto da je organizirana zajednička akcija JUGEL-JUKO CIGRE na proučavanju pitanja izolacije visokonaponskih rotacionih strojeva da bi se postavile osnove za odgovarajuće preporuke, koje bi bile odraz naših potreba i stupnja razvoja. Na tom programu zajednički rade znanstvene organizacije elektroprivrede i industrije.

6. Metode mjerenja i ispitivanja velikih strojeva

Prikazan je postupak koji omogućuje da se točnije određuje struja kratkog spoja velikih asinhronih motora pri nazivnom naponu, na osnovi mjerenja sa sniženim naponom, koja su često, kod većih snaga, jedino moguća. Taj postupak je potrebno potkrijepiti što brojnijim podacima mjerenja za motore raznih nazivnih brzina i snaga.

Određivanje parametara sinhronih generatora na osnovi mjerenja u stanju mirovanja posebno je pogodno zbog jednostavnosti. Prikazana metoda omogućuje da se jednostavno odrede parametri turbogeneratora, u broju i kvaliteti koji su najčešće dovoljni, uzimajući u obzir djelovanje masivnog rotora. U budućnosti je potrebno da se ta metoda provjerava na što većem broju izvedenih strojeva uključujući i hidrogeneratore, kako bi se stekle osnove za njezino uvođenje u praksu. Potrebno je također provjeravati upotrebljivost takvih parametara za detaljne proračune nesimetričnih stanja.

7. Pogoni s velikim motorima

Pogoni s velikim motorima naročito su značajni za pouzdani rad elektroenergetskih postrojenja. Stoga je potrebno da se svaki značajniji pogon potanje analizira, uzevši u obzir elektromagnetske i toplinske karakteristike motora, karakteristike radnog stroja i prilike u pojnoj mreži. Današnja razina metoda proračuna omogućuje da se svaki slučaj takvog pogona, a posebno perturbacije u dinamičkim stanjima, detaljno obradi već u projektiranju. Pri tome je potrebno poznavati prilike u mreži, pa se predlaže da se izrade određeni propisi ili preporuke, kako bi se odredio dozvoljeni pad napona na pojnim točkama po iznosu i trajanju.

Buka motora se suvremenim metodama projektiranja sve uspješnije suzbija i svodi na razinu koja je objektivno neizbježna. Buka se može smanjiti manjom iskorištenošću materijala ili akustičkim izoliranjem, o čemu valja donositi odluku u konkretnom slučaju.

S obzirom na naglašenu potrebu štednje energije, potrebno je razmotriti pitanje optimalnih troškova elektromotornih pogona, birajući na odgovarajući način između utroška materijala i utroška energije u eksploataciji.

Preferencijalne teme

1. Izbor parametara sinhronih generatora i uzbuđenih sistema.
2. Gradnja velikih generatora.
3. Uzbuđeni sistemi i regulacija uzbude generatora.
4. Eksploatacija sinhronih generatora.
5. Izolacija velikih strojeva.
6. Metode mjerenja i ispitivanja velikih strojeva.
7. Pogoni s velikim motorima.

Grupa 12 — Transformatori

Predsjednik: dr Tomislav Kelemen, dipl. ing.,
Tajnik: v. d. mr Petar Vešić, dipl. ing.,
Stručni izvjestioci: dr Peter Jerab, dipl. ing.,
dr Zvonimir Valković, dipl. ing.,
mr Petar Vešić, dipl. ing.

Zaključci

1. Do donošenja JUS-a za mjerenje parcijalnih izbijanja — PI na mjernim transformatorima (osim kapacitivnih) preporuča se da se primijeni posljednji nacrt IEC standarda za PI u mjernim transformatorima.
2. Posebna radna grupa SK 12 treba da razmotri probleme mjerenja PI na kapacitivnim naponskim transformatorima.
3. Potrebno je formirati radnu grupu SK 11 koja će podnijeti prijedlog o načinu mjerenja kuta gubitaka na novim transformatorima da bi se dobili referentni podaci za kontrolu u pogonu.
4. Radi kontrole stanja izolacije mjernih transformatora u pogonu preporuča se:
 - A) Mjerenje PI pomoću ultrazvuka primjenjivati kao preventivnu metodu jer ne zahtijeva da se pogon isključi, a samo ispitivanje se obavlja brzo. Valja nastaviti rad na usavršavanju ove metode i definiranju kriterija na osnovi usporedbe s drugim metodama.
 - B) Kromatografsku analizu plinova u ulju valja primijeniti na one transformatore za koje nije bilo moguće drugim metodama jednoznačno utvrditi stanje izolacije.
 - C) Otpor izolacije i kut gubitaka kontrolirati u vrijeme redovnog remonta i to:
 - a) prije puštanja u pogon, ako ne postoje referentni podaci;
 - b) na transformatorima starim 5, 8, 10 godina, i dalje svake dvije godine, ako nisu uočene promjene u izolaciji, kad treba češće kontrolirati izolaciju ovom ili drugim metodama.
 - D) Trebalo bi razmotriti mogućnost mjerenja sadržaja vlage u ulju i dielektrične čvrstoće ulja na terenu.
 - E) Bilo bi korisno uspostaviti stalni kontakt i izmjenjivati iskustva s institucijama u svijetu koje se bave sličnom problematikom i imaju više iskustva.
5. Potrebno je aktivirati i koordinirati rad na istraživanju i usklađivanju karakteristika energetskog sistema, mjernih transformatora i zaštite radi definiranja karakteristika zaštite i mjernih transformatora.
6. Neophodna je suradnja Studijskih komiteta 33 — Koordinacija izolacije, 12 — Transformatori i 13 — Sklopni aparati, a naročito elektroprivrede i proizvođača opreme radi definiranja nivoa izolacije sklopa treći namot (tercijar) — priključena oprema interkonektivnih transformatora. Isto tako valja definirati karakteristike zaštite tog sklopa od prenapona.

Preferencijalne teme

1. Iskustva u pogledu izbora parametara energetskih i mjernih transformatora najviših napona i stnovišta u pogledu budućeg razvoja.
2. Iskustva iz eksploatacije energetskih i mjernih transformatora u jugoslavenskim mrežama. Prikupljanje i statistička obrada podataka radi njihove upotrebe pri projektiranju, ispitivanju i u eksploataciji.
3. Nove tendencije u razvoju transformatora u pogledu koncepcije, konstrukcije, tehnologije, ispitivanja i područja primjene.
4. Rezultati istraživanja na području energetskih i mjernih transformatora.
5. Karakteristike mjernih i energetskih transformatora za vrijeme prelaznih stanja u mreži.

Grupa 13 — Sklopni aparati

Predsjednik: mr Ante Miliša, dipl. ing.
Tajnik: Ivan Naumovski, dipl. ing.
Stručni izvjestilac: Miloš A bad žić, dipl. ing.,
Sead Krajinić, dipl. ing.

Zaključci

1. Valja nastaviti s teoretskim i eksperimentalnim istraživanjima pojava koje nastaju pri sklapanju malih induktivnih struja.
Pri tome osim razmatranja sklapanja neopterećenih transformatora, te transformatora opterećenih prigušnicama, valja razmatrati i pojave što se javljaju prilikom sklapanja visokonaponskih motora.
2. Uočen je značajan doprinos eksperimentalnih i teoretskih istraživanja pojava sklopnih prenapona u visokonaponskim mrežama. Preporučuje se da se ubuduće, radi povećanja upotrebljivosti prikupljenih podataka, tim istraživanja obuhvati i prekidač kao element čiji je utjecaj na istraživane pojave značajan. U tome treba naći svoje mjesto i zajednička radna grupa komiteta 13 i 33.
3. Pouzdanost rada sklopnih aparata treba ostati jedno od prioritarnih područja rada studijskog komiteta. Nedostatak domaćih statističkih podataka nameće potrebu prikupljanja podataka uz upotrebu ranije predložene metodologije. U tom pravcu je neophodna veća angažiranost elektroprivrede.
4. Treba nastaviti s daljim istraživanjem utjecaja zagađenosti okoline na električne karakteristike izolatora.
5. Pojava visokonaponskih sklopki na tržištu nameće potrebu da se ubrza donošenje zaključaka vezanih za primjenu tih aparata u visokonaponskim mrežama.

Preferencijalne teme

1. Pojave kod sklapanja struja opterećenja, uključujući male induktivne struje i kapacitivne struje.
2. Pouzdanost i održavanje sklopnih aparata; utjecaj mehaničkih, klimatskih i električnih naprezanja.
3. Aktualni problemi ispitivanja sklopnih aparata.
4. Tendencije razvoja i primjene metalom oklopljenih aparata.

Sekcija II: VODOVI I POSTROJENJA

Grupa 21 — Energetski kabeli

Predsjednik: Miodrag Stevanović, dipl. ing.,
Tajnik: Hana Albahari-Zigrai umjesto
Stručni izvjestilac: Ranka Vučković,
Krunoslav Jalušić, dipl. ing.,
dr Jure Mrzel, dipl. ing.

Zaključci

1. Osjeća se nedostatak jugoslavenskog rješenja kablenskog pribora kabela s krutim dielektrikom za naponske nivoe 20 i 35 kV. Raznolikost pribora koji se sada koristi stvara ozbiljne teškoće u eksploataciji kabela. Potrebno je da zainteresirane industrije ulože napor za realizaciju jugoslavenskog rješenja pribora i njegove proizvodnje.
2. Svi energetičari koji već posjeduju 110 kV kabele ili planiraju blisko polaganje ovakvih kabela u svojim mrežama očekuju od jugoslavenske kablenske industrije osim 110 kV kabela i odgovarajući pribor, rješenju tehnologiju polaganja, spajanje i završavanje kao i potrebnu intervenciju u slučaju kvara.
3. Preporučuje se da jugoslavenska kablenska industrija osigura, za kablenske mreže 10 kV i svih većih napona, pomoć pri projektiranju, polaganju i eksploataciji.
4. Preporučuje se elektroprivredi da svojim Tehničkim preporukama daje prvenstvo upotrebi aluminijske vodice u kabelima i da pripreme tipizaciju presjeka, tipova i ostalih elemenata mreže s ovakvim kabelima.
5. Potrebno je da Studijski komitet 21 — Energetski kabeli — zajedno s proizvođačima razmotri pogodno konstruktivno rješenje srednjonaponskih i 110 kV kabela za teške mehaničke uvjete polaganja.
6. Naći odgovarajuće konstruktivno rješenje za kabele specijalne namjene kao što su: kabeli za područje s visokim nivoom atmosferskih pražnjenja, kabeli s malim redukcijskim faktorom, da bi se smanjila opasnost od iznošenja potencijala izvan 110 kV postrojenja.

7. U slučaju korištenja tehnike dubokog vodovoda umjesto dva trožilna kabela, valja koristiti četiri jednožilna.
8. Preporučuje se kablenskoj industriji da s korisnicima podzemskih kabela sudjeluje u izboru konstrukcije, rješavanju problema polaganja, spajanja i završavanja.

Preferencijalne teme

1. Pribor za 110 kV kabele.
2. Dosadašnja iskustva s visokonaponskim kabelima s čvrstim dielektrikom i odgovarajućim priborom u svijetu i kod nas.
3. Pregled i analiza mjerenja redukcijskih faktora u realnoj 110 kV mreži, utjecaj na iznošenje potencijala i utjecaj na PTT vodove.
4. Praćenje i analiza kvarova kablenske mreže i njena pouzdanost.
5. Rješenje problema kvalitetnog, sigurnog i ekonomičnog uzemljenja prilikom korištenja jednožilnih kabela s čvrstim dielektrikom u mreži, gdje to zahtijevaju uvjeti terena.
6. Proučavanje metoda ispitivanja 110 kV kabela u proizvodnji i nakon polaganja i donošenja preporuka za ispitivanje.

Grupa 22 — Nadzemni vodovi

Predsjednik: Ban Jovanović, dipl. ing.,
Tajnik: Veroslava Jovanović, dipl. ing.,
Stručni izvjestilac: Ranko Škarica, dipl. ing.

Zaključci

1. Pouzdanost rada nadzemnih vodova i postrojenja u rajonima sa zagađenom atmosferom postaje sve manja s obzirom na broj zagađivača atmosfere i pojačavanje intenziteta već postojećih. Proučavanje uvjeta rada izolacije u ovakvim slučajevima, konstrukcija odgovarajućih tipova izolatora, poduzimanje i drugih mjera predstavljaju jedan od zadataka kojima se mora brzo prići sagledavajući cijeli problem sa svih mogućih pogleda (rajonizacija ovakvih područja, utvrđivanje sastava zagađivača u pogledu štetnog djelovanja, ponašanja različitih tipova izolatora itd.), koristeći dosadašnja iskustva onih koji su primijenili bilo koje rješenje preventivne zaštite od zagađenja. Radi efikasnijeg i kompleksnijeg rada oko uklanjanja ovih problema predlaže se formiranje radne grupe sastavljene od članova Studijskih komiteta 13, 22, 23 i 33.
2. Potrebno je da se završe i objave Standardi za ispitivanje izolatora u nezagađenoj atmosferi čiji je rad zastao i započeti rad na donošenju standarda za ispitivanje izolatora u zagađenoj atmosferi.
3. Povećanje pouzdanosti nadzemnih vodova i preuzimanje odgovarajućih mjera zahtijeva sistematsko prikupljanje i obradu statističkih podataka kao i pravovremeno otkrivanje i praćenje ponašanja dijelova vodova na ugroženim mjestima.
4. Potrebno je proučavati odnos između ulaznih podataka za dimenzioniranje vodova (dodatno opterećenje i vjetar) s faktorima sigurnosti sastavnih dijelova nadzemnih vodova u rajonima gdje se očekuju ili pojavljuju nepovoljni klimatski uvjeti.
5. Grijanje vodiča kao jednu od preventivnih mjera za sprečavanje havarija uslijed velikih dodatnih tereta treba detaljno razmatrati i utvrditi da li su kod nas ovakvi postupci primjenjivi, pod kojim uvjetima i kakvu koordinaciju rada treba uspostaviti s hidrometeorološkim službama.
6. U vezi s problemom uklapanja dalekovoda u okolinu postoje i zahtjevi koji iziskuju neopravdano velika ulaganja. Ovo pitanje treba proučavati koristeći naša iskustva i iskustva drugih zemalja.
7. Proučavanje cjelokupne problematike u vezi s upotrebom i djelovanjem zaštitne užadi postaje sve važnije, s obzirom na različite materijale i njihovu primjenu kako u pogledu mehaničke sigurnosti tako i električnih osobina s ciljem da se poveća zaštita od udara groma, savladaju povećane struje zemljospoja i smanje utjecaji na druge objekte. Prednosti i problematiku primjene izoliranih zaštitnih užadi SLK, treba i dalje proučavati na temelju naših iskustava.
8. Potrebno je nastaviti rad na ispitivanju opreme sa starih dalekovoda, radi utvrđivanja njihove današnje mogućnosti i iznalaženja konkretnih mjera za povećanje pogonske sigurnosti dalekovoda.

1. Ponašanje izolatora u zagađenoj atmosferi. Iskustva iz pogona, ispitivanje tipova izolatora koji se primijenjuju, konstrukcije novih tipova.
2. Mjere za povećanje pouzdanosti u radu nadzemnih vodova. Pregled dosadašnjih iskustava.
3. Iskustva iz oblasti planiranja, projektiranja, izvođenja i pogona nadzemnih vodova s posebnim osvrtom na ponašanje vodova koji su dugo godina u pogonu.
4. Problematika rada na vodovima u blizini vodova ili dijelova pod naponom.
5. Tehnički rješenja za stupove, temelje itd., odnosno vodove za posebne uvjete. Donošenje odgovarajućih propisa i organizacija radova.

Grupa 23 — Razvodna postrojenja

Predsjednik: Velimir Ribar, dipl. ing.,
Tajnik: Dragan Maksimović, dipl. ing.,
Stručni izvijestilac: Miloš Pirivatrić, dipl. ing.

Zaključci

1. Pri izboru lokacije elektroenergetskih postrojenja u blizini velikih termoelektrana, kao i industrijskih postrojenja, voditi prvenstveno računa o utjecaju zraka. Da se kod određivanja lokacije ovakvih postrojenja u vezi sa zaštitom od zagađenja uzme u obzir i primjena opreme SF₆. Da se kod lokacije ovakvih postrojenja proučava i problem koordinacije izolacije, kao i da se općenito ovom problemu priđe studijski. Pri ovakvim studijskim proučavanjima izvršiti kemijsku analizu medija zagađenosti i u laboratorijima i na terenu. Pri tome valja uzeti u obzir i stupanj agresivnosti oštećenja postrojenja.
2. Raditi dalje na proučavanju pouzdanosti elektroenergetskih postrojenja, kao sastavnom elementu elektroenergetskog sistema.
3. Nastaviti rad na proučavanju mrežastih uzemljivača da bi se dobili što jednostavniji putovi proračuna i točniji rezultati. Da se nastavi rad na razmatranju i proučavanju mjera za ograničenje struja kratkog spoja u 110 kV mreži (primjena izoliranih transformatora 400/110 kV; sekcioniranje mreže 110 kV; uzemljivanje minimalnog broja zvjezdista transformatora itd.). Da se radi na proučavanju primjene sredstava za poboljšanje uzemljenja (bentonit, sonde itd.).
4. Zaključeno je da se referati i problematika utjecaja električnog polja i zaštite pogonskog osoblja prebaci u grupu 36 — Perturbacije.

Preferencijalne teme

1. Izbor lokacije elektroenergetskih postrojenja uz velike termoelektrane i u industrijskim sredinama prvenstveno s aspekta aerozagađivanja.
2. Primjena opreme SF₆ u visokonaponskim postrojenjima uz termoelektrane i u industrijskim sredinama, zbog zaštite od aerozagađivanja.
3. Primjena SF₆ u visokonaponskim postrojenjima lociranim u ograničenom prostoru u hidroelektranama i u urbanim sredinama.
4. Poboljšanje pouzdanosti visokonaponskih postrojenja oblikovanjem jednopolnih shema i konstruktivnim rješenjima.
5. Suvremeni način proračuna mrežastih uzemljivača.
6. Analiza i poduzimanje mjera za ograničenje struja zemnog spoja u 110 kV mrežama.
7. Primjena sredstava za poboljšanje uzemljivača u nepovoljnim terenima s lošim specifičnim otporom.
8. Pretvaračke stanice za paralelni rad i vezivanje velikih nezavisnih elektroenergetskih sistema.
9. Standardizacija potrošačkih stanica u urbanim sredinama.
10. Upravljanje i automatika u visokonaponskim postrojenjima.

Sekcija III: MREŽE

Grupa 32 — Planiranje i pogon električnih mreža

Podgrupa 321 — Prijenosne mreže

Predsjednik: prof. dr. Božidar Stefanini, dipl. ing.,
Tajnik: mr. Srđan Babić, dipl. ing.,
Stručni izvijestilac: Boris Marković, dipl. ing.

1. Perspektivni razvoj visokonaponske mreže Jugoslavije kao i povezivanje sa susjednim zemljama treba intenzivno studirati. Treba konkretizirati studije o budućem višem naponu na nivou dvostrukog ili trostrukog od današnjih 400 kV i o istosmjernoj vezi za potrebe nezavisnog povezivanja sa susjednim sistemima.
2. Posebno treba studirati rješenja visokonaponske mreže za područja velikih gradova.
3. Pokazalo se da se kod nas intenzivno radi na matematskim modelima i programima za planiranje mreže. Pri tome bi trebalo istražiti koji problemi u našim uvjetima zahtijevaju posebne metode.
4. Treba intenzivirati rad na definiranju zahtjeva u pogledu kvalitete rada sistema u cjelini, kao i posebnih karakteristika npr. odstupanje napona i frekvencije, veličine gubitaka u mreži i sl.
5. Izgradnjom osnovne 400 kV mreže bitno je poboljšano stanje raspoloživih jalovih snaga u sistemu. Međutim treba voditi računa o činjenici, da je u načelu vrlo neekonomično prenositi jalovu snagu iz višeg naponskog nivoa u niži, pa je stoga vrlo korisno za svaki konkretni slučaj proučavati taj problem i utvrditi da je ekonomično provoditi kompenzaciju na nižim naponima. Takva kompenzacija može biti i iz tehničkog gledišta korisna u slučaju teških havarija.
6. Pojačanjem jugoslavenske visokonaponske mreže na svim nivoima, postaje kratki spoj sve ozbiljnije pitanje. Stoga je potrebno što jedinstvenije utvrditi principe i način računanja kratkog spoja uzimajući u obzir mogućnost i ekonomiju prekidača.
7. Treba proučavati metode za proračune stabilnosti prikladne za naše prilike i pri tome uzeti u račun eksperimentiranje na stvarnoj mreži.
8. Što pažljivije pratiti pogonske događaje u sistemu, kako bi se dobilo što više konkretnih elemenata koji će se moći uzeti u račun prilikom planiranja.
9. Potrebno je studirati veličinu i strukturu gubitaka snage i energije u jugoslavenskoj mreži radi otkrivanja njihovih uzroka i pronalaženja racionalnih mjera za njihovo ograničenje.
10. Preporuča se da se prije stavljanja u pogon novih i važnih dionica mreže provedu što potpunija ispitivanja očekivanih pogonskih stanja, a dobiveni rezultati provjere u eksploataciji.
11. Treba sakupiti iskustva o dosadašnjem upravljanju elektroenergetskog sistema i mreža i što skorije ugrađivati pogodnu automatiku i uređaje za upravljanje.

Preferencijalne teme

1. Planiranje mreža

- 1.1. Perspektivni planovi razvoja prijenosne mreže u Jugoslaviji i visokonaponske veze s inozemstvom.
- 1.2. Metode planiranja mreže i zahtjevi da prijenosna mreža zadovolji u normalnim i posebnim uvjetima.
- 1.3. Problemi reaktivnih snaga i promjena napona u visokonaponskoj mreži u normalnom i poremećenom stanju.

2. Eksploatacija elektroenergetskog sistema.

- 2.1. Metode proračuna gubitaka aktivne i reaktivne snage, mjesta gubitaka i njihovo svodenje na racionalnu mjeru.
- 2.2. Metode estimacije stanja sistema i izbor metoda za on-line primjenu u realnom vremenu.
- 2.3. Metode za izbor agregata za uključivanje u sistem (unit commitment) za pokrivanje dnevnih i tjednih potreba za energijom i snagom.

Podgrupa 322 — Distributivne mreže

Predsjednik: Jozo Šuste, dipl. ing.
Stručni izvijestilac: Vojislav Plazinić, dipl. ing.

Zaključci

1. Uzemljenje elektroprivrednih objekata

1. Izgradnjom jedinstvene 400 kV mreže i uvođenjem direktne transformacije 400/110 kV i 110/SN u kabelskim mrežama urbanih sredina bitno se otežava rješavanje previsokih napona koraka i dodira. Ovo treba rješavati kompleksno i usklađeno, od instalacija potrošača, preko distributivne mreže do postrojenja prijenosa.

- Pri dimenzioniranju uzemljenja stupova nadzemnih vodova 10 i 20 kV bez zaštitnog užeta, ekonomski je neopravdano zadovoljiti kriterij zaštite od povratnih preskoka koji predviđa propis za gradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova. Isti propis treba izmijeniti i u tom smislu da se kriterij zaštite od previsokih napona dodira uvjetuje održavanjem određenih napona dodira kod stupova a ne napona uzemljenja.

2. Planiranje i oblikovanje distributivnih mreža

- Ne postoji univerzalni matematički model koji može uzeti u obzir sve relevantne elemente za izradu dugoročne prognoze potreba konzuma za energijom i snagom. Pri izradi prognoze, korištenje matematičkih modela služi kao pomoć, a odluka se donosi na osnovi iskustva i mišljenja šireg kruga stručnjaka. Konstatira se da postoji potreba daljeg rada na razvijanju matematičkih modela.
- Kad ima više tipova, transformatorskih stanica u izboru treba primjenjivati teoriju vrednovanja složenih sistema radi odabiranja onog tipa koji najviše odgovara postavljenim zahtjevima čime se smanjuje subjektivizam. Ovu metodu treba i dalje razvijati i prilagođavati našim uvjetima.
- Teoriju pouzdanosti treba ubuduće što više primjenjivati u planiranju i eksploataciji elektroenergetskih mreža.
- Pri izboru nazivne snage transformatorskih stanica 110/10 (20) kV i izbora presjeka kabelskih vodova rezultate dobivene matematičkim modelima treba korigirati faktorima koji se modelima nisu mogli uzeti u obzir.
- U slijedećem razdoblju očekuje se sve šira primjena poliestera u izgradnji elemenata distributivnih mreža. Upotrebi elementa od poliestera mora prethoditi ispitivanje, dobivanje određenih atesta i kompletiranje proizvoda.

3. Temelji podataka elemenata distributivnih mreža

- Konstatira se izuzetna i neophodna potreba stvaranja široke osnove podataka o prirodnim veličinama i događajima na distributivnoj mreži u cijeloj Jugoslaviji. Moderne metode planiranja, projektiranja i eksploatacije ne mogu se primjenjivati bez kvalitetnih podataka.

4. Racionalno korištenje električne energije

- Racionalizacija korištenja električne energije zajednički je problem cijelog društva. U rješavanju ovog pitanja zadatak je elektroenergetičara da se uključe u širu akciju društva. Potrebno je da elektrodistributivne organizacije smanje gubitke u vlastitoj mreži i ispituju mogućnost pružanja savjeta svojim potrošačima u racionalizaciji korištenja električne energije.

Preferencijalne teme

- Racionalno korištenje električne energije.
 - Optimizacija gubitaka električne energije i snage u distributivnim mrežama,
 - Mjere za racionalizaciju potrošnje električne energije potrošača električne energije.
- Planiranje i oblikovanje distributivnih mreža.
- Korištenje metode pouzdanosti u planiranju i eksploataciji distributivnih mreža.
- Formiranje i korištenje baze podataka distributivnih mreža.
- Eksploatacija distributivnih mreža:
 - održavanje distributivnih mreža
 - upravljanje distributivnim mrežama.

Grupa 33 — Prenaponi i koordinacija izolacije

Predsjednik: prof. Ljubiša Milanković, dipl. ing.,
Tajnik: Sreten Stojanović, dipl. ing.
Stručni izvjestilac: Miodrag Cvetković, dipl. ing.

Zaključci

- Nastaviti i proširiti registriranje prenapona u postrojenjima visokog napona radi provođenja potrebnih analiza.

- Treba nastaviti s daljim eksperimentalnim istraživanjima sklopnih prenapona u visokonaponskim i niskonaponskim krugovima postrojenja visokog napona.
- Neophodna je suradnja studijskih komiteta za koordinaciju izolacije, za transformatore i za rasklopne aparate radi rješavanja problema izbora izolacionih sistema i zaštitnih uređaja za tercijere interkonektivnih transformatora.
- Usavršiti računske metode za proračun sklopnih prenapona uvažavajući realne karakteristike prekidača i ostalih elemenata mreže dobivenih eksperimentalnim putem.
- Proračunima i simulacijama analizirati moguće nastajanje posebno dugotrajnih prenapona u mreži 400 kV i pravovremeno poduzimati odgovarajuće mjere da se takvi slučajevi eliminiraju.
- Ističe se problem zagađenja izolacije, pa treba objediniti sredstva i kadrove za što efikasnije rješavanje problema izolacije vodova i postrojenja. Pouzdanost rada čitavog energetskog sistema kao i gubici u prijenosu direktno ovise o stanju zagađenosti izolacije, pa se ovaj problem sve više nameće. Treba formirati radnu grupu sastavljenu od članova SK 13, 23, 22 i 33 radi utvrđivanja programa rada i koordinacije aktivnosti na ovom području.
- Valja nastaviti s eksperimentalnim istraživanjima radi dobivanja potrebnih karakteristika izolacije opreme u skladu sa zaključcima prethodnih savjetovanja.

Preferencijalne teme

- Eksperimentalni podaci o atmosferskim pražnjenjima i prenaponima.
- Problemi aerozagrađenja.
- Izolacioni nivoi i zaštita od prenapona transformatora, a posebno njihovog tercijara.
- Eksperimentalni podaci o sklopnim prenaponima.
- Računske metode proračuna prenapona.
- Izolacione karakteristike opreme.
- Prenaponi u pomoćnim kolima (mjernim, komandnim, signalnim itd.)
- Problemi koordinacije izolacije.

Grupa 34 — Zaštita i automatika

Predsjednik: dr. Anton Ogorelec, dipl. ing.
Tajnik: Albin Kurnik, dipl. ing.
Stručni izvjestilac: prof. Ivan Novak, dipl. ing.
doc. Željko Zlatar, dipl. ing.
Albin Kurnik, dipl. ing.

Zaključci

- Pri projektiranju osnovnih i rezervnih zaštitnih uređaja velikih termoelektrana (sa strojevima iznad 300 MW), zajedno s konstruktorom turbogrupa odrediti maksimalno dozvoljeno vrijeme isključenja kvarova, naročito bliskih međufaznih. Pri tom posebno analizirati isključivanje kvarova s aspekta dozvoljenih torzionih naprezanja.
- Potrebno je i nadalje proučavati problematiku tranzitnih prenapona u sekundarnim krugovima visokonaponskih postrojenja. Na osnovi toga izraditi jugoslavenske preporuke i predložiti odgovarajuće promjene IEC standarda. Ova će problematika biti naročito važna pri uvođenju mikroprocesora u elektroenergetska postrojenja.
- I dalje nastaviti s istraživanjem optimalne zaštite kratkih kabelskih mreža.
- Predlaže se da se pripreme tehnički uvjeti za ispitivanje zaštitnih i automatskih aparata. Prije primjene novih zaštitnih i automatskih aparata potrebno ih je detaljno ispitati (npr. na mikromreži odnosno u laboratoriju velikih snaga).
- Preispitati mogućnost primjene dviju statičkih zaštita u dalekovodnom polju 400 kV umjesto dosadašnje koncepcije jedne statičke i jedne mehaničke.
- Sa zadovoljstvom se prima na znanje, da naša industrija radi na razvoju nekonvencionalnih zaštitnih transformatora. U razvoju je potrebno povezivanje s istraživačko-razvojnima organizacijama zaštitnih uređaja i lokalne automatike.
- Smatra se da treba pokloniti veću pažnju sistemskoj automatiki, posebno s aspekta međudržavnih povezivanja i povezivanja s mrežom SUDEL-a. Isto tako treba raditi na unapređivanju sistemske automatizacije unutar elektroenergetskog sistema SFRJ.

8. Predviđeno vođenja elektroenergetskog sistema zahtijeva pripremu elektrana za primjenu automatizacije. S tim u vezi treba:
 - u postojećim HE prilagoditi postojeće uređaje i pripremiti ih za automatizaciju;
 - u nekim HE uvoditi automatizaciju čitavog sliva radi optimalnog iskorištenja raspoložive energije;
 - izraditi zajedničke smjernice za automatizaciju kako bi se izbjegle neopravdane raznolikosti.
9. Prilikom uvođenja automatizacije u elektranama treba usredotočiti pažnju na grupnu regulaciju i koristiti se njenim prednostima.
10. U automatizaciji HE potrebno je posvetiti posebnu pažnju problemima vezanim za uvođenje elektronskih uređaja (polaganje kabela, vlaga, povišenja temperature i pomoćni naponi itd.).
11. Prilikom projektiranja velikih elektrana potrebno je da rade stručnjaci različitih profila kako bi se uspješno riješili mnogobrojni i kompleksni problemi izgradnje i kasnije eksploatacije (fakulteti i renomirane znanstveno-istraživačke organizacije).

Preferencijalne teme

1. Daljnja modernizacija automatizacije HE s aspekta vođenja elektroenergetskog sistema.
2. Problematika regulatora i grupne regulacije u HE.
3. Daljnje modernizacije automatizacije termoelektrana s aspekta vođenja elektroenergetskog sistema.
4. Zaštita i automatizacija u postrojenjima srednjih napona povezana s daljinskim upravljanjem.
5. Ispitivanje zaštitnih i automatiskih uređaja s analizom rezultata.
6. Tranzijentni prenaponi u sekundarnim krugovima i iskustva u pogonu.
7. Daljnja modernizacija automatizacije trafostanica s aspekta vođenja elektroenergetskog sistema.
8. Superponirani sistemi zaštite i automatike na nivou postrojenja i sistema.
9. Primjena digitalne tehnike u zaštiti i automatizaciji.

Grupa 35 — Komunikacije

Predsjednik: Biljana Radoman, dipl. ing.
 Tajnik: Dragoljub Popović, dipl. ing.
 Stručni izvjestilac: Mirko Majić, dipl. ing.

Zaključci

1. Utvrđivanje informacijskih koncentracijskih točaka u sklopu sistema za daljinsko upravljanje, gdje struktura sistema to zahtijeva, jedan je od najpogodnijih načina da se postigne visoka raspoloživost i konzistentnost informacija, a posebno u slučajevima gdje postoji više korisnika istih informacija.
 Takvim rješenjima se ujedno osigurava visoka elastičnost i druge eksploatacione performanse poželjne u dispečerskom informaciono-upravljačkom sistemu.
2. U postupku izbora konfiguracija, karakteristika i načina rada računarskih sistema za potrebe nadzora i upravljanja procesom rada elektroenergetskog sistema, neophodno je detaljnije analizirati način ostvarivanja predviđenih funkcija. Samo takve analize omogućuju izbor adekvatnih računala kojima se mogu postići željene funkcionalne i eksploatacijske performanse u predviđenom vremenu eksploatacije i uz planirana ulaganja.
3. Analiza stanja i karakteristika postojeće elektroprivredne telefonske mreže ukazuje da se u procesu njene daljnje izgradnje moraju rješavati pitanja:
 - a) elastičnost organizacije u smislu osiguranja prioriteta korisnika, novih funkcija, kategorizacije korisnika i alternativnog usmjeravanja saobraćaja,
 - b) povećavanje kapaciteta,
 - c) povećavanje pouzdanosti rada mreže,
 - d) korištenje tipizirane opreme,
 - e) korištenje tipizirane opreme za potrebe tehnološkog i administrativnog saobraćaja,
 - f) uvođenje programski upravljanih EATC,
 - g) prijenos podataka (npr. za sistem poslovnog upravljanja) u telefonskoj mreži,
 - h) efikasno održavanje.

S obzirom na tekući i očekivani brzi rast jugoslavenskog elektroenergetskog sistema, a s tim u vezi i teleforske mreže, neophodno je već u sadašnjim planovima razvoja rješavati ova pitanja.

4. Radi osiguranja raspoloživosti kanala veza posebnu pažnju posvetiti:
 - razradi mjernih metoda i protokola mjerenja i donošenja preporuka za minimalno dozvoljeno vrijeme prekida kanala veze;
 - uvođenje stalnog praćenja stanja kanala veza u okviru mjesečnih izvještaja — prikupljenih statističkih podataka.
5. S obzirom na postojeće, kao i na broj predviđenih VF veza, za relativno uzak opseg frekvencije koji se mogu koristiti za VF veze, kao i na razvoj energetske mreže, treba provoditi frekvencijsko planiranje jedinstveno za cijelu Jugoslaviju. Pri tome treba uzeti u obzir postojeće stanje VF veza i energetske mreže, eprspektivne planove razvoja VF i energetske mreže naponskih nivoa 35, 110, 220 i 400 kV.
 Svi podaci o stanju u mreži veza i energetske mreže kao i njihove eventualne izmjene morali bi se evidentirati (unositi) u jedinstvenu kartoteku.
6. Radi boljeg korištenja raspoloživog opsega frekvencije za VF veze (utvrđivanje mogućnosti planiranja bez razmaka kanala) potrebno je da se analizira slabljenje prelušavanja kroz transformatorsku stanicu i da se obave odgovarajuća mjerenja.
7. S obzirom na prednosti koje imaju VF veze u vodičima u faznom snopu (mogućnost ostvarivanja višekanalnih VF veza, jednostavniji sprežni pribor, brži prijenos signala distantne zaštite i dr.) treba u dogovoru sa stručnjacima iz energetike analizirati mogućnosti ostvarivanja takvih veza i u jugoslavenskom informacijskom sistemu.
8. Radi poboljšanja kvaliteta VF veza, treba donijeti preporuke za njihovo projektiranje, uzimajući u obzir sve specifičnosti jugoslavenskog energetskeg sistema.
9. Simulacijom nesavršenosti vodova visokog napona kao telekomunikacionog prijenosnog puta (impulsne smetnje, šumovi, amplitudna karakteristika i dr.) ispitati mogućnost i prijenos podataka većim brzinama.
10. Strogi zahtjevi koji se postavljaju pri prijenosu signala distantne zaštite zahtijevaju sistematska ispitivanja karakteristika kanala veza u realnim uvjetima, a posebno u razdobljima aktivnog djelovanja zaštite.
 Verifikacija karakteristika domaćih i inozemnih uređaja zahtijeva namjenska eksploataciona ispitivanja. Imajući u vidu složenost postupaka skopčanih s manipulacijama u energetskeg mreži (izazivanje kvara) preporučuje se elektroprivrednim organizacijama da omoguće takva ispitivanja uz suradnju i stručnjaka iz oblasti distantne zaštite. Samo zajedničkim radom može se doći do željenih rezultata.
11. S obzirom na povoljne transmisione karakteristike ekraniziranih energetskih kabela za prijenos signala visokih frekvencija mogu se koristiti za ostvarivanje višekanalnih VF veza. Pri projektiranju takvih veza preporučuje se postupak predložen i verificiran u radu R 35.11.
12. Ograničene propusne mogućnosti postojećih transmisio-nih medija (VF veze po dalekovodima, URRV, kabeli) i sve veći zahtjevi za prijenosnim kapacitetima koje postavlja suvremeni dispečerski informacijsko-upravljački sistem zahtijevaju kontinuirani rad na istraživanju mogućnosti i primjene novih transmisio-nih medija kao što su opštički vodovi, specijalna užad s umetnutim telekomunikacionim kabelima i dr. Stoga se preporučuje bliža i dugoročna suradnja između institucija koje se bave telekomunikacionom problematikom i elektroprivrednih organizacija.
13. S obzirom na već započetu i predstojeću izgradnju novih sistema URRV, teleinformacione mreže i računskih kompleksa za rad u realnom vremenu temeljenih na najsuvremenijoj opremi i rješenjima, osim potrebe za više ljudi, postoji i hitna potreba obučavanja elektroprivrednih kadrova za rad s takvim sredstvima i sistemima. Sadašnja znanja i iskustva kadrova najvećim dijelom vezana za tehniku i tehnologiju 10—15 godina zaostaju za onom čije uvođenje započinje ili se planira.

Preporučuje se da se bez oklijevanja u okviru jugoslavenske elektroprivrede organizira specijalistički usmjerena izobrazba elektroprivrednih kadrova, posebno iz područja:

- uređaji, sistemi i eksploatacija mreže veza (posebno UPRV),
- prijenos podataka, akvizicija podataka i komunikacijske mreže s računalima,
- real-time računarski sistemi,
- računarski sistemi s prijenosnom obradom podataka,
- formiranje i upravljanje bazama podataka

Preferencijalne teme

1. Sistemi za daljinsko upravljanje

Karakteristike sistema daljinskog upravljanja uključujući točnost, brzinu odziva, pouzdanost i raspoloživost. Organizacija i struktura sistema uključujući hijerarhijske sisteme. Zahtjevi u odnosu na sisteme za prijenos podataka i na upravljane objekte.

Struktura sistema s primjenom mikroprocesora, sistema upravljanja s distribuiranim funkcijama čiji je osnovni i zajednički element mikroprocesor i njihova primjena u elektroenergetskim postrojenjima. Mreže računala i problemi međuračunarskih komunikacija.

Sistemi za upravljanje opterećenjem mreže: koncepcija, uvođenje, primjena i sprega ovakvih sistema sa sistemom daljinskog upravljanja.

Praktična iskustva u primjeni navedenih sistema.

2. Transmisioni putovi

- Problemi projektiranja, teorijsko proučavanje i rezultati mjerenja transmisionih putova što se koriste u elektroenergetskim mrežama veza:

- usmjerene radioveze,
- VF veze po vodovima visokog napona, uključujući i druge metode prijenosa koji koriste dalekovod kao transmisioni medij (veze po zaštitnom užetu, veze po vodičima u faznom snopu i dr.),
- VF veze po energetske kabelima,
- veze po optičkim kabelima.

- Komparativna analiza transmisionih putova u pogledu ekonomičnosti, pouzdanosti i raspoloživosti.

3. Funkcionalne komunikacione mreže

Kriterij za koncipiranje funkcionalnih mreža (telefonska mreža, teleks mreža, mreža za prijenos podataka) radi postizanja potrebne raspoloživosti.

Razrada topoloških konfiguracija i izbor sredstava veza. Sistemi za komutaciju govornih i digitalnih informacija uključujući razradu odgovarajućih programa.

Problemi osiguranja tehničkih uvjeta u elektroprivrednom sistemu veza radi povezivanja s drugim sistemima veza.

Grupa 36 — Perturbacije

Predsjednik: doc. Ivan Plačko, dipl. ing.

Tajnik: Branko Kragić, dipl. ing.

Stručni izvjestilac: mr. Miroslav Mikula, dipl. ing.

Zaključci

- Ograničenje struje kratkog spoja kao i primjena zaštitnog užeta na dalekovodima pokazale su se kao vrlo efikasne mjere za smanjenje elektromagnetskog utjecaja na telekomunikacijska postrojenja, pa treba nastaviti s istraživanjima na tom području.

- Ponašanje pojedinih mjera zaštite, koje se primjenjuju u praksi, ne prati se dovoljno sistematično, zato je neophodno nastaviti praćenjem njihove efikasnosti prikupljanjem i analizom podataka, kao i mjerenjem.

- Oprema za zaštitu telekomunikacijskih postrojenja od elektromagnetskih utjecaja na našem tržištu je pretežno uvozna, skupa i teško se nabavlja, zato bi bilo opravdano da domaća industrija usvoji proizvodnju takve opreme kako za zračne, tako i za kableske vodove.

- Nastaviti s istraživanjem utjecaja 400 kV postrojenja na elektroničke uređaje unutar objekata i telekomunikacijske veze.

- Sistematsko praćenje i statistička obrada podataka o radio-smetnjama na široki krug korisnika kao i na uređaje elektroprivrede mogu poslužiti kao osnova za donošenje JUS standarda iz te oblasti, pa je potrebno nastaviti sa započetim radom.

- S obzirom na utvrđeni visoki nivo radiosmetnji od opreme dalekovoda (izolatori i ovjesna oprema) potrebno je mjerenjima utvrditi izvore smetnji i na toj osnovi predložiti mjere za njihovo smanjenje izborom materijala i odgovarajućom obradom.

Istraživanja treba proširiti i na otsalu opremu (rastavljači i sl.). Radi definiranja rada potrebna je suradnja sa Studentskim komitetom 22.

- Zaštita podzemnih kabela od atmosferskih pražnjenja nije kod nas propisana niti JUS standardom niti internim propisima pojedinih organizacija, pa treba započeti rad na donošenju odgovarajućih propisa. S tim u vezi je potrebno pored prikupljanja i obrade podataka o atmosferskim izbojima na opdemne kabele ubrzati rad na izradi izokerauničke karte i karte specifične vodljivosti tla.

- Način utvrđivanja utjecaja dalekovoda na cjevovode odnosno na osoblje koje rukuje cjevovodima, kao i odgovarajuće mjere zaštite dani su u prijedlogu Pravilnika o magistralnim plinovodima, koji je podniet Saveznom zavodu za standardizaciju. Potrebno je ubrzati da se prihvati i donese.

Istovremeno je potrebno da se mjerenjima na već izgrađenim objektima utvrde stvarni utjecaji na osnovi kojih bi se mogle izvršiti eventualne korekcije prijedloga Pravilnika.

- Nastaviti pratiti metode ispitivanja načina utjecaja i posljedica djelovanja električnog polja na čovječji organizam.

Preferencijalne teme

1. Elektromagnetski utjecaj

Elektromagnetski utjecaj na vodove telekomunikacija i metalne cjevovode u općem smislu da se ustanove veličine utjecaja i primjene zaštitnih sredstava.

Način primjene zaštitnih sredstava za vodove telekomunikacija i elektroničke uređaje unutar elektroenergetskih postrojenja s obzirom na inducirane visokofrekventne napone.

Praćenje razvoja u istraživanju elektromagnetskog utjecaja na ljudski organizam.

2. Radio smetnje

Radio smetnje i drugi efekti koji potječu od korone na vodičima, spojevima i izolatorima, uključujući i širenje smetnje na distributivne vodove.

Posebno obratiti pažnju na svojstva korone na vodičima u snopu za napone do 1000 kV

Proučavanje radio smetnji koje nastaju od iskrenja i pražnjenja na aparatima, a posebno onih koje nastaju od tiristorskih instalacija i slično.

Istraživanje izvora smetnji na aparatima i ovjesnom materijalu, te sagledavanje mogućnosti da se smanje radio-smetnje.

Prikupljanje statističkih podataka o vrstama izvora, karakteristikama i mjestima radio-smetnji.

3. Korozijska i atmosferska pražnjenja

Korozijska koja nastaje međusobnim djelovanjem visokonaponskih instalacija i instalacija drugih korisnika.

Efekti korozijske na cjevovodima i kabelima, poduzimanje mjera eliminiranja tog efekta.

Utvrdjivanje načina provedbe zaštitnih mjera od atmosferskih pražnjenja na telekomunikacione kabele.

Sekcija IV: ELEKTROENERGETIKA

Grupa 41 — Elektrane i energetske sistemi

Predsjednik: prof. dr Hrvoje Požar, dipl. ing.
Tajnik: dr Danilo Feretić, dipl. ing.
Stručni izvjestilac: Dejan Mandić, dipl. ing.

Zaključci

1. Racionalna potrošnja energije pojavljuje se danas više nego ikada u prošlosti kao imperativ. Pod racionalnim korištenjem energije treba smatrati bolje iskorištenje energetske izvora i upotrebu onih oblika energije koji se mogu bolje iskoristiti i koji su na raspolaganju iz domaćih izvora, te upotrebu energetske povoljnijih tehnoloških procesa. U prvom redu nužno je ekonomskim mjerama stimulirati potrošnju oblika energije kojima se mogu zamijeniti uvozni i skupi oblici energije, ali pri tome treba uzeti u obzir za supstituciju stvarno raspoložive oblike energije, jer će se samo tada postići poželjni rezultati.
2. Uvođenjem toplana u elektroenergetski sistem može se racionalizirati proizvodnja električne energije, ali samo uz uvjet da postoji ili da će postojati dovoljno veliki i vremenski što ravnomjerniji toplinski konzum. Pri izgradnji toplana pojavljuje se problem goriva, pa je nužno da se taj problem prouči sa svih aspekata (raspoloživost goriva, troškovi transporta goriva i topline, utjecaj na okolinu).
3. Dugoročna opskrba Jugoslavije električnom energijom moguća je međusobno usklađenom izgradnjom konvencionalnih termoelektrana na rudnicima ugljena i izgradnjom nuklearnih termoelektrana prvenstveno u područjima s malim rezervama ugljena.
4. U daljoj budućnosti, kad se tehnološki razvije mogućnost iskorištavanja nekonvencionalnih oblika energije (energija sunčeva zračenja, geotermička energija suhih stijena, nuklearna fuzija) bit će potrebno iskorištavati i takve energetske izvore. Nužno je zbog toga pratiti razvoj takve tehnologije, ali ne zanemarujući pri tome mogućnosti energetske iskorištavanja malih vodotoka, uljnih škriļjavaca i vrućih prirodnih izvora, odnosno vruće vode koja se prirodno ne pojavljuje na površini.
5. Mjere racionalizacije mogu se odrediti i uspješno provesti ako postoje pouzdani detaljni podaci o potrošnji svih oblika energije. U tu svrhu je potrebno organizirati i statistički pratiti potrošnju svih oblika energije kod svih grupa potrošača. Dosadašnje statistike daju i vrlo mali broj i vrlo nesigurne podatke o potrošnji energije.
6. Ekonomski dispečing jedan je vid racionalizacije proizvodnje i prijenosa električne energije, koji se osniva na poznavanju detaljnih energetske karakteristika svih elektrana u sistemu. Preporuča se, da se izrade upute za snimanje takvih karakteristika koja bi se kontinuirano provodila u pogonu, sa svrhom da se uvedu metode snimanja karakteristika i da se utvrde neenergetske karakteristike koje treba stalno pratiti.
7. Za planiranje proizvodnje i za racionalno iskorištenje postrojenja, trebalo bi pratiti i registrirati pogonske događaje u termoelektranama, koji se danas provode, registrirati i pogonske događaje u hidroelektranama, transformatorskim stanicama i dalekovodima. Pri tome bi bilo potrebno točno definirati pojmove iz oblasti sigurnosti i pouzdanosti kako bi se mogle uspoređivati pojave u elektroenergetskom sistemu.
8. Za racionalno iskorištavanje akumulacionih hidroelektrana od velike je važnosti ritam punjenja i pražnjenja akumulacije, pa se preporuča da se inicira razrada metoda za godišnje planiranje iskorištavanja većih akumulacijskih bazena.
9. Razvoj elektroenergetike u znatnoj mjeri ovisi o razvoju energetike u cjelini, pa se preporuča da se još intenzivnije radi na planovima razvoja kompleksne energetike sa svrhom da se dugoročno definira njezin razvoj.

Preferencijalne teme

Za novi komitet 31 — Planiranje prenosnih mreža

1. Metode planiranja razvoja elektroenergetskog sistema u daljnjoj budućnosti.

2. Novi energetske izvori i njihov utjecaj na razvoj elektroenergetskog sistema; utjecaj energetske izvora na okolinu.
3. Utjecaj razvoja kompleksne energetike na potrošnju električne energije i racionalizaciju te potrošnje.
Za novi komitet 32 — Pogon, upravljanje i regulacija u prijenosnim mrežama
1. Modeli ekonomskog dispečinga i njihova praktična primjena.

Nakon usvajanja zaključaka i preferencijalnih tema podijeljene su diplome autorima zapaženih referata.
Kao zapaženi odabrani su referati:

Ref. br. 11.13

R. Brkić, S. Mihajlović:
Predviđanje ponašanja izolacionih sistema generatora.

Ref. br. 12.03

P. Šomodji, P. Vešić:

Problematika kontrole stanja izolacije uljnih mjernih transformatora na terenu, metodom mjerenja otpora izolacije.

Ref. br. 21.03

B. Mrakovčić:

Visokonaponski kabeli s krutim dielektrikom.

Ref. br. 22.08

Z. Vučković, Ž. Živković:

Stakleni izolatori u mreži Srbije — Pogonska iskustva.

Ref. br. 23.04

M. Božinović:

Problematika lokacije razvodnih postrojenja 400 kV u krugu velikih termoelektrana.

Ref. br. 321.01

M. Plaper:

Asinhrona interkonekcije elektroenergetskih sistema.

Ref. br. 322.05

N. Čupin, S. Harčar, B. Lesan:

Vrednovanje distributivnih trafostanica 10 (20)/0,4 kV.

Ref. br. 33.09

P. Vukelja, M. Vučinić, S. Stojanović:

Eksperimentalna istraživanja prenapona, na priključcima tercijara autotransformatora velike snage, prenetih iz mreže visokog napona.

Ref. br. 34.01

M. Golubović

Neki aspekti i dileme u primeni zaštite prenosnih vodova.

Ref. br. 35.05

Dj. Rosić:

Kvantitativna ocena podobnosti dalekovoda za pres signala visokih učestalosti.

Ref. br. 41.05

H. Požar, B. Udovičić, G. Granić:

Konvencionalni energetske izvori u opskrbi Jugoslavije električnom energijom.

GODIŠNJA SKUPŠTINA

Kao što je uobičajeno, na završetku Savjetovanja održana je u petak 18. V u 10 sati Godišnja skupština JUKO CIGRE. Pozivi na Skupštinu s dnevnim redom poslani su unaprijed s programom Savjetovanja.

Nakon otvaranja Skupštine, izbora zapisničara, ovjervitelja zapisnika i kandidacione komisije podijeljene su plakete zaslužnim članovima JUKO CIGRE. Plakete su primili

1. Svetozar Carević, dipl. ing.
2. Prof. dr. Anton Dolenc, dipl. ing.
3. Prof. Mihajlo Golubović, dipl. ing.
4. Edvard Höffler, dipl. ing.
5. Vekoslav Korošec, dipl. ing.
6. Vladimir Ljubojević, dipl. ing.
7. prof. dr Anton Ogorelec, dipl. ing.
8. prof. dr Hrvoj Požar, dipl. ing.
9. prof. dr Božidar Stefanini, dipl. ing.
10. Antun Šaler, ing.
11. Ranko Škarica, dipl. ing.

Skupština je prihvatila novi Statut, a zatim je dana razrješnica starom upravnom odboru.

U novi izvršni i nadzorni odbor izabrani su drugovi:

SR Bosna i Hercegovina

Pavičić Nikola, dipl. ing.

Elektroprivreda BiH, »Elektroprenos« Sarajevo, Omladinsko šetalište 22

Komljenović Borislav, dipl. ing.

Energoinvest — SIZ nauke, Sarajevo

Prof. dr Zečević Milan, dipl. ing.

Elektrotehnički fakultet, Sarajevo

SR Crna Gora

Mr Jelovac Dragomir, dipl. ing.

Elektrotehnički fakultet, Titograd

Šaranović Milisav, dipl. ing.

Elektroprivreda Crne Gore, Titograd

Vujačić Velimir, dipl. ing.

Elektrodistribucija, Titograd, Đure Salaja 12

SR Hrvatska

Božin Ivo, dipl. ing.

Institut za elektroprivredu, Zagreb, Proleterskih brigada 37

Kuzele Petar, dipl. ing.

»Elektra Zagreb«, Zagreb, Gundulićeva 32

Prof. dr Frančić Božidar, dipl. ing.

Elektrotehnički institut »Rade Končar«, Zagreb,

Baštijanova bb

SR Makedonija

Prof. Jovanovski Stanimir, dipl. ing.

Elektrotehnički fakultet, Skopje

Andrejevski Josif, dipl. ing.

Elektromakedonija, Skopje, Leninova 45

Mihajlovski Dragan, dipl. ing.

Elektrostopanstvo, Skopje, Tiranska 2

SR Slovenija

Kenda Milan, dipl. ing.

Elektroinštitut »Milan Vidmar«, Ljubljana, Hajdrihova 2

Lešnik Ivan, dipl. ec. ing.

Elektrogospodarstvo Slovenije, Maribor, Vetrinjska 2

Prof. dr Ogorelec Anton, dipl. ing.

Elektrotehniška fakulteta, Ljubljana, Tržaska 25

SR Srbija

Jovanović Radomir, dipl. ing.

»Elektroistok«, Beograd, Kneza Miloša 11

Prof. Milančević Ljubiša, dipl. ing.

Elektrotehnički fakultet, Beograd, Bulevar Revolucije 83

Kosanović Borislav, dipl. ing.

MINEL, Beograd, Brankova 30

AP Vojvodina

Tihvinski Vladimir, dipl. ing.

»Elektrovojvodina«, Novi Sad, D. Tucovića 5

Oberman Branislav, dipl. ing.

Novosadska industrija kabela, Novi Sad, Industrijska zona bb

AP Kosovo

Buha Boško, dipl. ing.

»TE »Kosovo«, Priština

Hamdi Leši, mr dipl. el. ing.

Elektrotehnički fakultet, Priština

NADZORNI ODBOR

Prof. dr Čebulj Albert, dipl. ing.

Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Tržaška 25

Mijić Drago, dipl. ing.

Zagreb, Leskovačka 6

Erkočević Ahmet, dipl. oec.

Elektroprivreda BiH, Sarajevo, Omladinsko šetalište 22.

Treba napomenuti da to nije kompletni Izvršni odbor, jer prema Statutu treba Zajednica jugoslovenske elektroprivrede imenovati još 9 članova.

Zbog premalog broja članova Izvršni se odbor nije mogao konstituirati i izabrati predsjednika odmah nakon Skupštine, kako je to bilo do sada uobičajeno. Konstituiranje odbora će se provesti nakon imenovanja predstavnika Jugela.

BORIS MARKOVIĆ

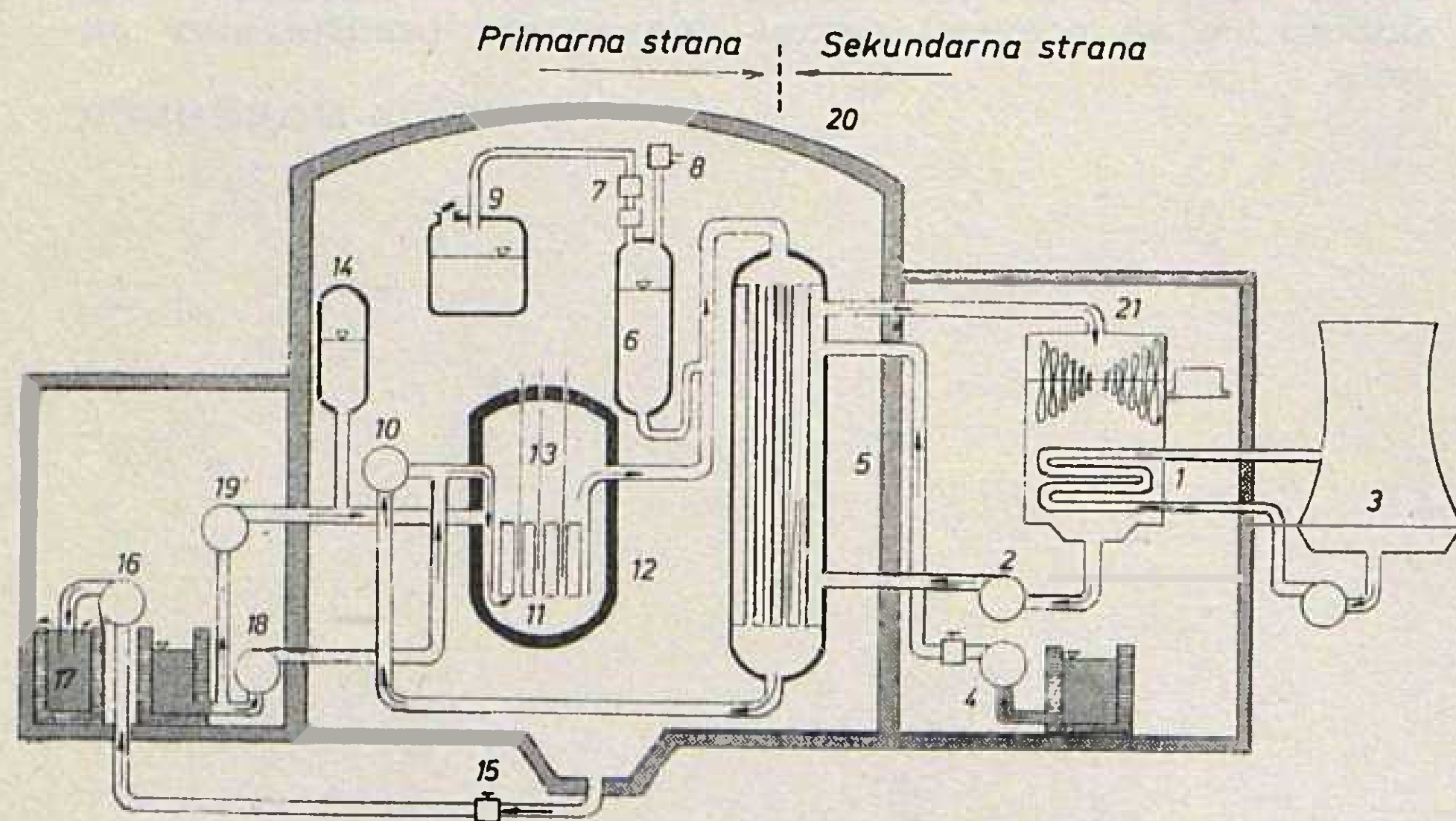
NEZGODA U NE »THREE MILE ISLAND 2 KOD HARRISBURGA

Nuklearna elektrana »Three Mile Island 2« (NE »TMI«) kod Harrisburga, u američkoj državi Pennsylvania, puštena je u pogon u prosincu 1978. Elektrana ima 880 MW, a eksploatira je američka elektroprivredna organizacija Metropolitan Edison. Glavni isporučilac sistema za proizvodnju pare s reaktorom vode pod pritiskom bio je »Babcock-Wilcox«. Kod tog sistema je generator pare izveden s ravnim cijevima, za razliku od sistema nekih drugih proizvođača (KWU, Westinghouse, Combustion-Engineering), koji su izvedeni s »U« cijevima. Ova specifičnost izvedbe generatora pare, kao i njegov smještaj, u NE »TMI« znatno su pridonijeli nezgodi. Nezgoda u NE »TMI« krajem ožujka ove godine izazvala je brojne i burne komentare, često preuranjene i svjesno dramtizirane. Poznate činjenice, da se u vrijeme nezgode pripremala evakuacija stanovništva iz okoline NE »TMI«, kao i da su sve nuklearne elektrane ovog tipa u SAD zaustavljene, često su bili glavni argumenti tendencioznih napada. U nastavku članka dat će se tehnička analiza razvoja nezgode, što će pridonijeti realnijem uočavanju opasnosti od nuklearnih elektrana.

U normalnom pogonu unutar reaktorskog tlačnog oklopa (12) zagrijavana voda, takozvanog primarnog kruga, pre-pumpava se glavnom cirkulacionom pumpom (10) u generator pare (5). U generatoru pare voda primarnog kruga predaje toplinu pojnoj vodi sekundarnog kruga, koja pri tome isparuje. Rashladena voda primarnog kruga vraća se pomoću glavne cirkulacione pumpe (10) u reaktorsku jezgru, a para sekundarnog kruga pokreće turbinu. Iz kondenzatora se voda sekundarnog kruga pomoću glavne pojne pumpe (2) vraća u generator pare. Kondenzator se hladi vodom preko rashladne kule (3).

Nezgoda je počela 28. III 79. u 4 sata po lokalnom vremenu. Reaktor je prije početka nezgode radio gotovo punom snagom (98%). Na početku nezgode došlo je do smetnji pri dobavi kondenzata sekundarnog kruga, što je opet dovelo do zatvaranja tlačne armature glavne pojne pumpe (2). Time se prekinulo napajanje generatora pare u kojem se zbog toga voda sekundarnog kruga počela naglo isparavati. Budući da u generatoru pare nije bilo više vode, turbina je počela dobivati premalo pare, pa se prema programu iskopčala.

Iz primarnog kruga se tada preko generatora pare više nije mogla oduzimati dovoljna količina toplinske energije. Pritisak i temperatura naglo su porasli u primarnom krugu. Kao što je i predviđeno za takve slučajeve nekoliko sekundi nakon što je počeo rasti pritisak u primarnom krugu, otvorio se otpusni ventil (7) na držaču pritiska (6). Kroz otpusni ventil počeo se kontaminiranom vodom iz primarnog kruga puniti otpusni rezervoar (9). Na rezervoaru se nalazi specijalna membrana koja pukne, ako suviše naraste pritisak u rezervoaru.



Sl. 1. Shema NE »THREE MILE ISLAND«: 1 — kondenzator, 2 — glavna pojna pumpa generatora pare, 3 — rashladna kula, 4 — rezervna pojna pumpa generatora pare, 5 — generator (proizvođač) pare, 6 — držač pritiska, 7 — zatvarački i otpuštajući ventil na držaču pritiska, 8 — sigurnosni ventil na držaču pritiska, 9 — otpuštajući rezervoar sa pucajućom membranom, 10 — glavna cirkulaciona pumpa rashladnog sredstva, 11 — jezgra reaktora, 12 — tlačni oklop reaktora, 13 — upravljački štapovi, 14 — spremnik pritiska, 15 — završni ventil zgrade reaktora, 16 — pumpa otpadnih voda zgrade reaktora, 17 — rezervoar otpadnih voda, 18 — visoko-tlačna pumpa napajanja primarnog kruga, 19 — nisko-tlačna pumpa naknadnog hlađenja, 20 — sigurnosni oklop, 21 — turbina i generator.

Prema programu sigurnosnog sistema, nekoliko sekundi kasnije, isključen je i reaktor, uvođenjem upravljačkih šipki. Pritisak i temperatura u primarnom krugu naglo su pali i otpusni ventil (7) se morao zatvoriti. Međutim, zbog pogreške na ventilu on se nije po propisu zatvorio, već je i dalje propuštao. To je bila jedna od presudnih pogrešaka za daljnji tok nezgode u NE »TMI«.

Isključivanjem glavne pojne pumpe (2) razina vode u generatoru pare suviše se snizila, pa se prema programu automatski trebala uključiti rezervna pojna pumpa generatora pare (4). Međutim do uključivanja rezervne pojne pumpe nije došlo, jer je armatura iza ove pumpe greškom bila zatvorena. Prema propisu armatura u pogonu obavezno mora biti otvorena, ali je nepažnjom nakon jednog ispitivanja funkcije pojedinih sistema, armatura ostala zatvorena. S ispadanjem rezervne pojne pumpe blokiran je cijeli sistem napajanja generatora pare. To je bila daljnja pogreška u nezgodi NE »TMI«.

Budući da je u primarnom krugu otpusni ventil zbog kvara ostao otvoren, voda se iz primarnog kruga, preko držača pritiska (6) stalno isparavala. Pogonska momčad nije zatvorila za takve slučajeve predviđen zatorni ventil (7) na držaču pritiska (ispred otpuštajućeg ventila). Tako je pritisak u primarnom krugu koji inače iznosi 154 bara, ubrzo pao ispod 110 bara. To je granična točka pritiska za automatsko uključivanje visokotlačne (sigurnosne) pumpe napajanja primarnog kruga (18). Nakon uključivanja visokotlačna pumpa mora raditi sve dok se primarni krug ne naponi dovoljnom količinom vode. Tada se pumpa mora, u uređajima tipa NE »TMI«, isključiti jer bi u protivnom pritisak primarnog kruga toliko porastao da bi se opet otvorio otpusni ili čak sigurnosni ventil (8) na držaču pritiska. Posebno valja naglasiti, da se jezgra reaktora morala i dalje nastaviti hladiti, da bi se toplina naknadnog raspadanja radioaktivnih produkata mogla odvoditi iz jezgre reaktora iako je reaktor nekoliko sekundi nakon početka nezgode automatski isključen. Toplina zbog ispadanja glavne i rezervne pojne pumpe generatora pare, što je uzrokovalo potpunu blokadu sekundarnog sistema, akumulirala se u primarnom krugu.

Otpusni ventil na držaču pritiska i dalje je propuštao paru iz primarnog kruga u otpusni rezervoar. Zbog toga je pritisak u držaču pritiska (6) stalno bio niži nego pritisak u samom primarnom krugu, pa je voda neprekidno strujala iz primarnog kruga u držač pritiska. Zbog smanjenog pritiska u primarnom krugu, iako je radila visokotlačna (sigurnosna) pumpa, počeli su se stvarati mjehuri pare. Razina vode (koja je u tom trenutku u čitavom krugu bila već mješavina vode i parnih mjehura) prividno je u držaču pritiska dovoljno porasla, pa je dežurno osoblje, da bi »spriječilo prenapajanje«, isključilo visokotlačnu (sigurnosnu) pumpu napajanja primarnog kruga. Iako je dežurno osoblje iz držača nivoa pritiska dobilo odgovarajući signal dovoljnog nivoa, bila je to varljiva i netočna vrijednost. Pumpa je mogla i morala dalje raditi.

Osam minuta nakon nezgode pogonsko osoblje je otvorilo armaturu iza rezervne pojne pumpe sekundarnog kruga (4). Tada je počelo napajanje generatora pare. Dio topline iz primarnog kruga opet se mogao preko generatora pare, kondenzatora (1), i rashladne kule (3) odvoditi iz jezgre reaktora. Dio topline i dalje se odvodio isparavanjem vode primarnog kruga.

Petnaest minuta nakon nezgode, zbog stalnog propuštanja otpusnog ventila, pritisak u otpusnom rezervoaru (9) toliko je porastao da je došlo do kidanja membrane. Tako je radioaktivno kontaminirana voda primarnog kruga došla do unutarnje stijenke sigurnosnog oklopa (20). Kondenzirana radioaktivna voda unutar sigurnosnog oklopa sakupljala se na najnižem mjestu — muljnoj jami. Pomoću pumpe otpadnih voda, voda se iz muljne jame zgrade reaktora pre-pumpavala u spremnik otpadnih voda (17). Srpemnik, smješten u zgradi pomoćnih uređaja, nije bio predviđen za veće količine. Stoga je uskoro došlo do prelijevanja radioaktivne vode iz spremnika. Radioaktivnost je tako bila slobodna i mogla je djelovati na okolinu elektrane. Tek 5 sati nakon početka nezgode narastao je pritisak unutar sigurnosnog oklopa reaktora na 0,3 bara i tek su tada automatski zatvoreni svi izlazni vodovi sigurnosnog oklopa (zatvoren je završni ventil zgrade — 15).

Oko sat i 30 minuta nakon početka nezgode isključena je glavna cirkulaciona pumpa (10), jer je postojala mogućnost da se pokvari. Naime, cijeli primarni krug bio je pun mjehura pare i postojala je opasnost od kavitacije. Isključivanjem glavne cirkulacione pumpe prekinuta je cirkulacija vode primarnog kruga, što je opet dovelo do prekida odvođenja velikog dijela toplinske energije iz primarnog u sekundarni krug. Zbog specifične izvedbe i smještaja generatora pare u NE »TMI« nakon obustave glavne cirkula-

cione pumpe veliki dio preostale vode primarnog kruga počeo je strujati natrag iz reaktorske jezgre u najniže dijelove generatora pare. Stoga su gornji dijelovi jezgre reaktora ostali »suhi« (nisu više bili prekriveni vodom). Hlađenje parom gornjih dijelova reaktorske jezgre nije bilo dovoljno, pa je došlo do pregrijavanja.

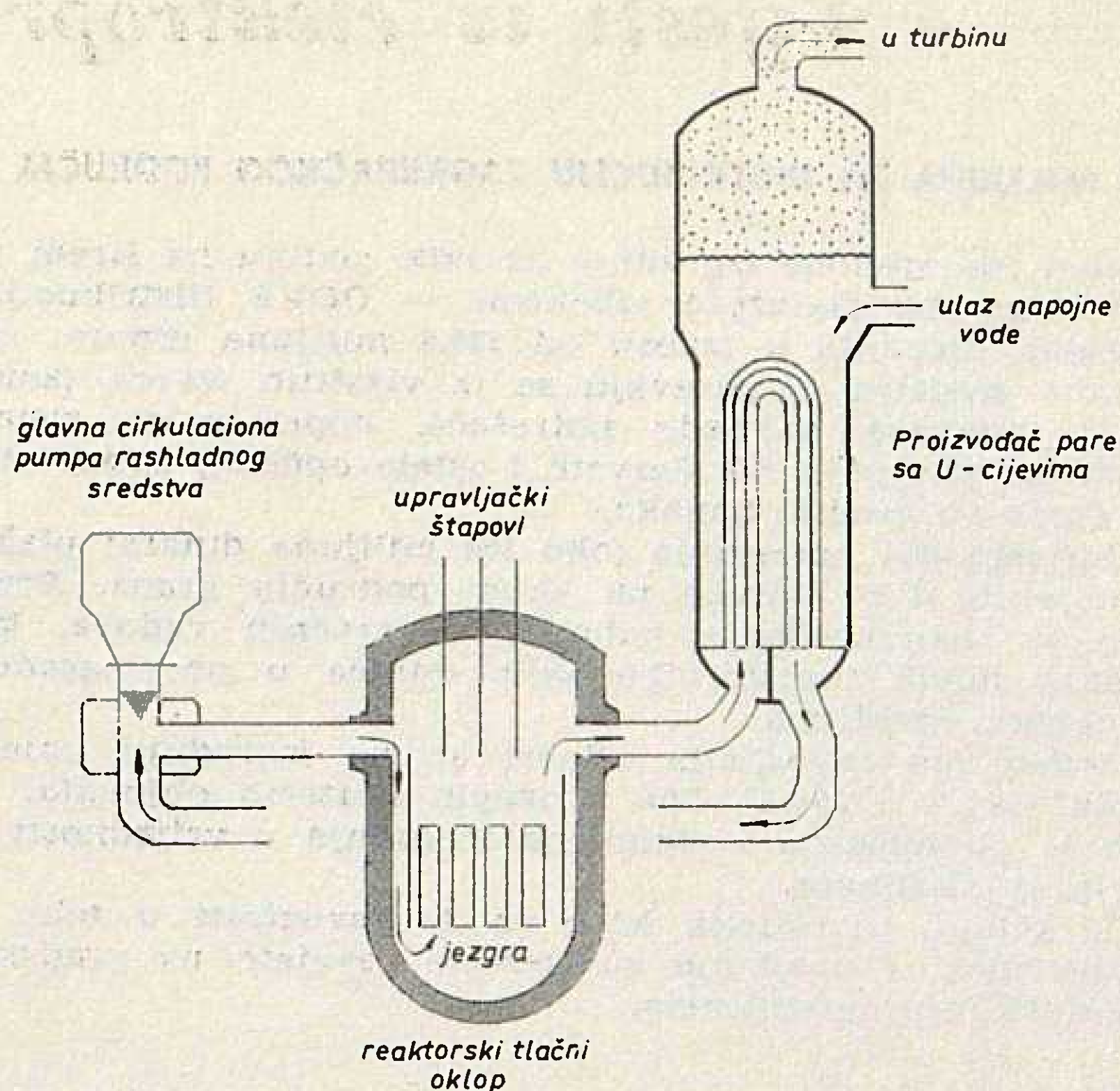
Zbog pregrijavanja su omotne cijevi štapova goriva počele oksidirati s kisikom iz molekula vode. Pri tome se počeo stvarati slobodan vodik. Također su se zbog visokih temperatura pregrijavanja na stijenkama omotnih cijevi pojavile vrlo opasne pukotine. Vodik koji se stvarao popunjavao je najprije najviše dijelove primarnog kruga. Time se postupno sve više ometala ionako slaba prirodna cirkulacija pare iz primarnog kruga u generator pare. Došlo je i do prekida cirkulacije. Reaktorska jezgra mogla se još neko vrijeme hladiti isparavanjem unutar tlačnog oklopa reaktora (12) i odavanjem pare preko ventila držača pritiska.

Oko 2 sata i 15 minuta nakon početka nezgode pogonsko osoblje je zatvorilo zaporni ventil ispred otpusnog ventila na držaču pritiska. Na taj se način željelo spriječiti daljnje propuštanje radioaktivne vode i vodika u unutrašnjost sigurnosnog oklopa. Međutim zatvaranjem zapornog ventila porastao je pritisak u primarnom krugu, pa se sigurnosni ventil (8) nekoliko puta otvorio, čime se nastavilo kontaminiranje sigurnosnog oklopa. Kao što je prethodno spomenuto, nakon daljih 3 sata pritisak unutar sigurnosnog oklopa je narastao iznad 0,3 bara i automatski je zatvorio završni ventil zgrade reaktora (15).

Nešto manje od 8 sati nakon početka kvara dobave kondenzata, pogonsko osoblje je zaključilo da je potpuno prekinuto optočno hlađenje primarnog kruga. Zato je ponovo bila uključena visokotlačna (sigurnosna) pumpa napajanja primarnog kruga. Ponovo je otvoren zatvarajući ventil ispred otpuštajućeg ventila. Oba pokušaja pridonijela su znatno boljem hlađenju. Pritisak u primarnom krugu primjetno je pao. Ipak ni to još nije bilo spasonosno rješenje, jer su kontaminirana voda i vodik i dalje punili unutrašnjost sigurnosnog oklopa. Svi vodovi iz sigurnosnog oklopa bili su već zatvoreni, te je pritisak u oklopu porastao i do 2 bara. Određenim sigurnosnim mjerama stanje u sigurnosnom oklopu privremeno se normaliziralo.

Oko 9 sati od početka nezgode pritisak u primarnom krugu toliko je opao, da se u reaktor mogla dovesti hladna voda iz spremnika pritiska (14). Prirodna cirkulacija primarnog kruga nije se još uvijek mogla uspostaviti, jer je u izlaznim vodovima reaktora zaostao jedan nekondenzirani mjehur plina. U slijedećim satima pogonsko osoblje je pokušalo uključiti niskotlačnu pumpu naknadnog hlađenja (19) i glavnom cirkulacionom pumpom (10) pokrenuti opet optočno hlađenje. Tek nakon 7 sati, dakle 16 sati od početka kvara, počelo je optočno hlađenje reaktora. Uređaj je opet bio pod kontrolom, ali brige još nisu prestale.

Slijedećeg dana ispod reaktorskog tlačnog oklopa otkriven je nekondenzirani mjehur za kojeg se s pravom pretpostavilo, da je mjehur vodika, a ne vodene pare. Taj je mjehur donio nove glavobolje. Strahovalo se da kod daljnjeg smanjivanja pritiska mjehur vodika ne naraste. Time bi opet mukom ostvareno optočno hlađenje moglo biti prekinuto. Postojala je i opasnost da se vodik pomiješa s kisikom koji se u primarnom krugu mogao stvarati radiolizom), što bi u reaktoru stvorilo veoma eksplozivnu mješavinu. Ipak, problem zaostalog mjehura vodika nije bio tako opasan. Pokazalo se da se zbog velikog pretička vodika kisik odmah vezivao. Pod pritiskom se vodik dobro vezao s vodom. Preko držača pritiska postupno se izvukao iz primarnog kruga, a zatim je kontrolirano izgarao u rekombinatorima. Tako je nezgoda NE »TMI« konačno uspješno završena. Ukupno djelovanje oslobođene radioaktivnosti na okolinu bilo je gotovo simbolično. Pronađeni su neki tragovi u mlijeku, ali su sve izmjerene vrijednosti bile oko



Sl. 2. Shema izvedbe proizvođača (Generatora) pare s U — cijevi (KWU). Na slici se vidi znatno viši smještaj generatora pare, što pridonosi boljem prekrivanju reaktora vodom u slučaju kvara; također je moguća znatno bolja prirodna cirkulacija primarnog kruga u odnosu na uređaje tipa NE »TMI«.

10 puta niže od vrijednosti zabilježenih nakon posljednjeg kineskog pokusa nuklearnom bombom i oko 600 puta niže od dopuštenih vrijednosti u SAD. Također valja istaći, da u ovoj nezgodi nitko nije smrtno stradao, nitko nije povređen i nitko nije ozračen.

Očito je da se nezgoda NE »TMI« mogla izbjeći. Do sada je u svijetu obavljeno (i obavljaju se još uvijek) niz stručnih usporedbenih analiza postojećih sistema nuklearnih elektrana. Pokazalo se da su osnovne sigurnosne mjere protiv nezgoda sličnih ovoj u NE »TMI«: stupanj automatizacije, drukčija izvedba i viši smještaj generatora pare, veća rezerva napajanja sekundarnog sistema. Veliku ulogu u razvoju nezgode imalo je nepotrebno iskapčanje visokotlačne (sigurnosne) pumpe, koju je osoblje isključilo bojeći se prenapajanja. U NE »TMI« postavljene su 3 visokotlačne (sigurnosne) pumpe koje su imale istovremeno dvije funkcije: pogonsku (osiguravale su regulaciju volumena) i sigurnosnu (uključivale su se pri padu tlaka ispod 110 bara). Ovo spajanje dviju funkcija u jednoj pumpi pokazalo se katastrofalnim.

U vezi s nezgodom NE »Three Mile Island 2« dr Wolfgang Braun iz KWU je izjavio: »Od početka tehnike nuklearnih elektrana sve veće grupe inženjera u stručnim firmama i proizvođači reaktora bavili su se samo ispitivanjem i izmišljanjem mogućih nezgoda, da bi se tehničko sigurnosne protumjere djelotvorno mogle postaviti.« Nakon kratke analize nezgode NE »TMI« jasno je da neposredna opasnost od nuklearnih elektrana nije ni toliko velika koliko se to željelo prikazati. Može se slobodno tvrditi, pogotovo nakon nezgode NE »TMI«, da je rizik tehnologije nuklearnih elektrana manji nego rizik drugih suvremenih tehnologija kojima se danas čovječanstvo »bezbrizno« služi.

Zlatko Milanović
EL-TO — Zagreb

320 MILIJUNA ZA DISTRIBUCIJU ZAGREBAČKOG PODRUČJA

Planom investicione izgradnje za 1979. godinu na širem području Zagreba poduzeće »Elektra« — OOUR Distribucija — predviđa ulaganja u iznosu od 320,6 milijuna dinara. Investiciona sredstva osiguravaju se iz vlastitih izvora (amortizacija, sredstva naknade potrošača, doprinos za sanaciju mreže na području SO Sesvete i ostale općine), zatim ulaganja OSIZ-a i kredita banaka.

Najveći dio investicija (oko 134 milijuna dinara) ulaže se za objekte 10 kV mreže na širem području grada. Predviđena je rekonstrukcija kablskih i zračnih vodova, kao i gradnja novih transformatorskih stanica u novoizgrađenim stambenim naseljima.

Jedan dio investicija odnosi se na izgradnju objekata mreže 110 kV i 30 kV, kao i drugih pratećih objekata. Planom je obuhvaćena i stambena izgradnja u vrijednosti oko 65,5 milijuna dinara.

U sklopu investicija koje će se realizirati u toku ove godine ulazi i uvađanje suvremene rasvjete na gradskim i prigradskim prometnicama.

I. R.

RACIONALNA POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

U organizaciji Saveza elektrotehničkih inženjera i tehničara Hrvatske »SEITH«, Odbor za suradnju s privredom, održano je od 10. do 12. travnja 1979. u Zadru II savjetovanje »Racionalna potrošnja i štednja električne energije u specijalnim uvjetima«.

Svrha je savjetovanja da upozori na energetske krize i učestale redukcije električne energije u sistemu Jugoslavije i da nas upozori da s energijom moramo racionalno ekonomizirati kako bi mogli i u budućnosti nesmetano prebroditi neizbježne krize.

Na savjetovanju uz sudjelovanje 250 inženjera i tehničara energetičara iz cijele Jugoslavije održano je 26 referata iz prakse distribucije i korištenja električne energije, zatim iz područja električnih aparata, instalacije u objektima i vanjske mreže pogodni u uvjetima restrikcije električne energije, mjere o provođenju ograničenja potrošnje električne energije i dr.

O svim održanim referatima vođene su opširne diskusije, nakon kojih su doneseni zaključci, a oni su povezani sa zaključcima s Prvog savjetovanja na istu temu održanog 1974. godine u Šibeniku.

Zaključci

U zaključcima je naglašeno da u privredi treba stalno pratiti razvoj potrošnje električne energije i djelovati tako da se osigura racionalno korištenje električne energije. To bi trebala biti briga organizacija udruženog rada, elektroprivrede i stručnih organizacija.

Preporučeno je organizirati sistematsku službu za racionalno korištenje i štednju električne energije na široj osnovi s angažiranjem većeg broja stručnjaka u elektroprivrednim organizacijama za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije kao i Službe unutrašnje sigurnosti.

Kod projektiranja i izvođenja električnih instalacija i distributivnih mreža treba uvijek osigurati mogućnost napajanja prioriteta potrošača.

I. R.

UBRZATI ENERGETSKO KORIŠTENJE DRAVE

Radi poboljšanja energetske situacije Hrvatske nužno je ubrzati rješavanje gradnje dravskih hidroelektrana. Utvrđeno je da se vodna snaga Drave s Murom, od Varaždina do ušća u Dunav, može najbolje iskoristiti gradnjom sedam hidroelektrana.

U prvoj etapi HE »Varaždin« već je u pogonu, dok HE »Čakovec« u gradnji.

Radi se na realizaciji plana druge etape koja obuhvaća ove objekte: Za HE »Dubrava« izrada glavnih projekata ulazi u završnu fazu, a izvode je stručnjaci »Elektroprojekta«, Zagreb.

U vezi s ispitivanjem i tehničkim rješenjima za HE »Đurđevac« i HE »Barč« pripreme su u toku. Za gradnju tih hidroelektrana zainteresirana je i elektroprivreda Mađarske.

Na inicijativu Mješovitog jugoslavensko-mađarskog komiteta za privrednu suradnju izgrađena je zajednička studija za HE »Đurđevac« i HE »Barč«. U investicijama tih dvaju objekata Jugoslavija bi sudjelovala sa 70%, a drugi dio 30% Mađarska.

Od otvaranja druge etape gradnje dravskih hidroelektrana korist će imati i plovidba, vodoprivreda, vodoopskrba. Stvara se mogućnost navodnjavanja i odvodnjavanja obradivih površina u Jugoslaviji i u Mađarskoj. Ove hidroelektrane vjerojatno će biti uvrštene u plan razvoja Hrvatske od 1980. do 1985. godine.

U trećoj etapi predviđena je gradnja HE »Donji Mihojčić« i HE »Osijek« za koje su već izrađena idejna rješenja.

I. R.

DIESEL-ELEKTRANA U OMIŠLJU

U sklopu Petrokemijskog kompleksa »DINA« lociranog u Omišlju, otok Krk, planirana je i gradnja diesel-elektrane opremljene sa po dva diesel-motora i generatora. Zadatak ove elektrane je kao nadopuna električne energije kombinata »Dina«. Već je zaključena isporuka opreme s domaćim proizvođačima i to Tvornicom diesel-motora brodograđevne industrije Split, te tvornicama »Rade Končar« i TPK iz Zagreba.

Domaća poduzeća isporučit će oko 60% strojske i elektro opreme, a drugi dio investitor osigurava iz uvoza.

Predviđeno je da nova diesel-elektrana u Omišlju počne s radom u toku 1980. godine, kada će i petrokemijski kombinat »DINA« biti djelomično uključen u proizvodnju.

I. R.

24. SAVJETOVANJE JUREMA

Ovogodišnjem 24. skupu Jugoslavenskog udruženja za regulaciju, mjerenja i automatizaciju — JUREMA — održanom u Zagrebu 23. do 26. travnja prisustvovao je velik broj stručnjaka i suradnika iz privrede, naučnih zavoda, fakulteta i instituta iz svih republika. U radu savjetovanja sudjelovali su i stručnjaci iz Mađarske, Engleske, Švicarske, ČSSR, SSSR-a, Poljske, Rumunjske te SR Njemačke, DR Njemačke i dr.

Ovogodišnji 24. skup JUREMA održan je pod geslom »Od mjernog pretvornika do mikroprocesora u znanosti i tehnologiji«. Istoimeni seminar obuhvaća osim spomenute teme i prvi simpozij o tehničkoj dijagnostici, te drugo savjetovanje o metrologiji i peti skup o nastavi mjerenja, automatike i teorije sistema.

Na seminarima i simpoziju raspravljalo se o pojedinim problemima koje su iznijeli naši i strani stručnjaci u ciklusu predavanja.

Za učesnike savjetovanja organizirani su posjeti Elektrotehničkom institutu »Rade Končar«, tvornicama TEŽ i »Croatia«, Tehničko-vojnoj akademiji JNA i automatiziranom skladištu, te zagrebačkim muzejima i umjetničkim galerijama.

U okviru skupa JUREMA otvorena je 20. jubilara međunarodna izložba mjerne i regulacione tehnike i automatizacije.

Na izložbenom prostoru Zagrebačkog velesajma izložen je velik broj eksponata domaćih i stranih proizvođača. Posjetiocima izložbe upoznati su i s praktičnom primjenom svih izloženih uređaja, aparata i instrumenata.

Ovogodišnji skup JUREME, koji se tradicionalno održava svake godine u travnju, a vezan je za temeljno područje teorije i primjene uređaja mjerenja, regulacije i automatike, dao je vrlo dobre i korisne rezultate za razvoj tehnike i proizvodnih procesa u našoj privredi.

I. R.

POSLOVI »DALEKOVODA« NA ELEKTRIFIKACIJI PRUGA

U sklopu RO »Dalekovod« u ovoj godini posluje posve samostalno novoosnovani OOUR »Marketing — inženjering«. Za kratko vrijeme poslovanja novi OOUR ugovorio je veće poslove na elektrifikaciji pruga, kao i za potrebe distribucije.

U prvom planu su radovi na elektrifikaciji pruge Ogulin — Knin, a rad se odnosi na kompletnu izvedbu kabelskog dijela. Isti posao obaviti će se i na prugama Knin — Split i Perković — Šibenik. Investitor ŽTP Zagreb osigurava opremu koju isporučuje najvećim dijelom domaća elektroindustrija. Preuzeti su poslovi rasvjete pojedinih željezničkih stanica i rasvjete križanja pojedinih prometnica.

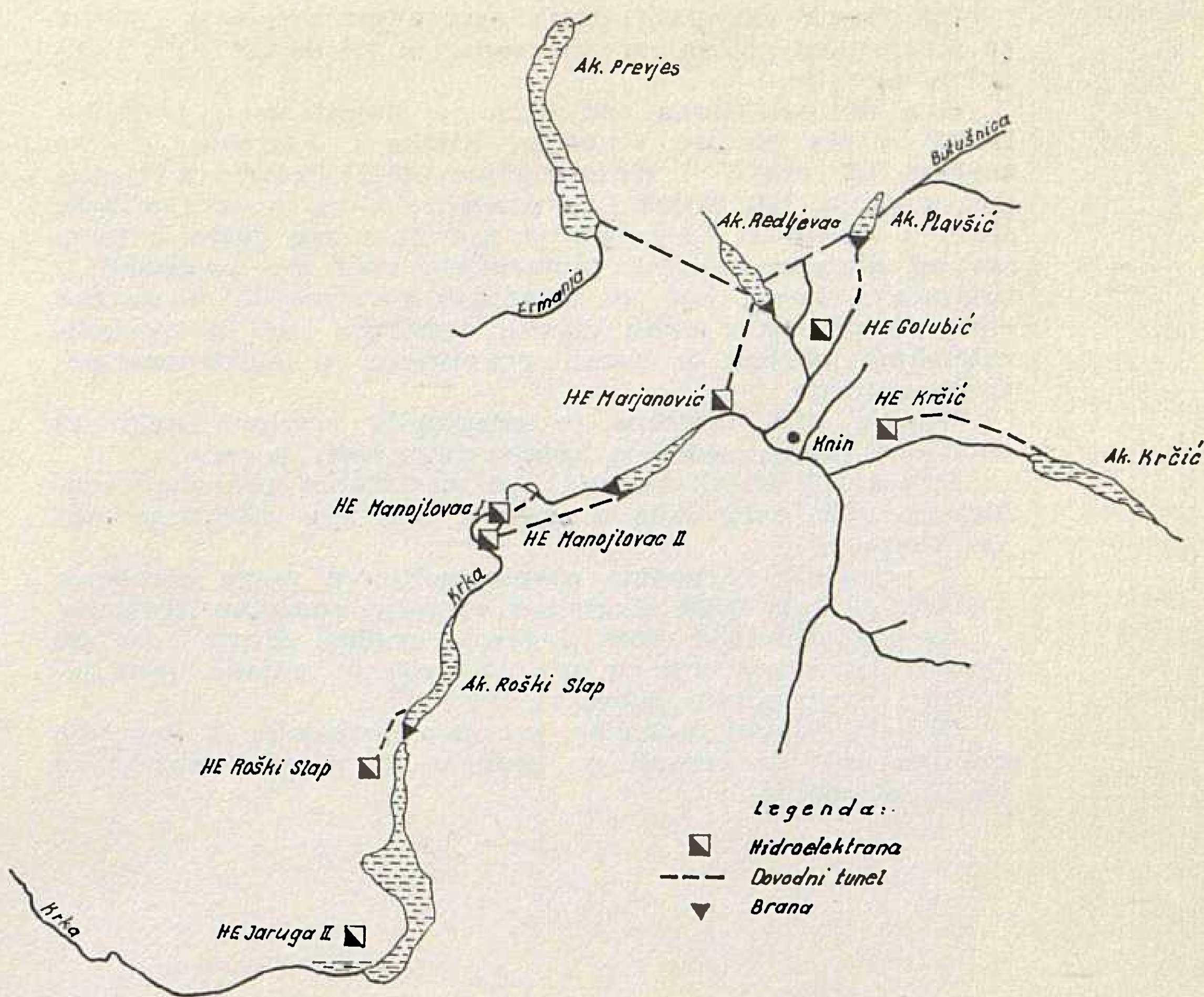
Vode se pregovori za preuzimanje više složenih radova na elektrifikaciji pruge Dugo Selo — Koprivnica — Mađarska granica.

U ostvarenju ovog programa »Dalekovod« će uključiti i druga poduzeća.

Nadalje OOUR »Marketing — inženjering« sklopio je s distributivnim poduzećima ugovor o gradnji dalekovodne mreže 20 kV i 10 kV na području »Elektre« Varaždin, »Elektre« Križ i »Elektre« Maribor. Za druge investitore vršiti će se gradnja niza objekata niskonaponske mreže, te visokonaponskih vodova i transformatorskih stanica.

Uz te poslove u zemlji »Dalekovod« je preko poslovne zajednice »INGRA« ugovorio radove na izvedbi mreže u Nepal, Iraku, a osiguravaju se veći poslovi za Egipat.

I. R.



POČETAK KORIŠTENJA VODOTOKA SLIVA KRKE

Na temelju izrađenih studija i tehničkih ispitivanja na području SR Hrvatske neiskorišteni hidroenergetski potencijal procijenjen je na oko 5 300 GWh godišnje električne energije. To se odnosi na vodotoke Drave, Save, Krke, Like, Kupe, zatim Dobre, Mrežnice, Korane, te dijela Cetine, Zrmanje, Čakole i Rječine.

Planom razvoja elektroprivrede Hrvatske u 1979. i 1980. godini programirano je da se započne s gradnjom hidropotencijala porječja Krke i Zrmanje. Taj će se program realizirati u dvjema fazama, u prvoj porječje Krke a u drugoj Zrmanje.

Po izrađenoj studiji stručnjaka Instituta za elektroprirodu, te izvršenih ispitivanja i idejnim projektima vodna snaga porječja Krke iskorištavala bi se u hidroelektranama Golubić, Krčić, Marjanović, Manojlovac II, Roški slap i Jaruga II.

Moguća srednja godišnja proizvodnja navedenih hidroelektrana iznosila bi oko 690 GWh.

Podaci o hidroelektranama

Kratak prikaz tehničko-energetskih rješenja pojedinih hidroelektrana porječja Krke izgleda:

— HE »Golubić koristi vodnu snagu Butišnice, pritoka Krke, instalirane snage 6,54 MW, s godišnjom proizvodnjom oko 30 GWh i korisnim volumenom akumulacije 1,1 hm³.

— HE Krčić — izgradnjom brane 4,5 km, uzvodno od vodopada Krčića, stvara se akumulacija oko 60 milijuna m³. Tunelom od brane do vodopada Krčić, gdje će biti strojarnica, dovodi se voda čime se dobiva pad od 200 m, odnosno snaga od 27,2 MW i moguća proizvodnja od 70 GWh.

— HE Marjanović — izgradnjom brane Prevljes stvara se akumulacija od 200 milijuna m³ u gornjem toku Zrmanje. Manjim branama na Radljevcu, odnosno Butišnici stvaraju se male akumulacije na gornjim tokovima ovih dvaju vodotoka. Tunelom Prevljes — Radljevac i Plavšić — Radljevac dovode se vode iz ovih dviju akumulacija u akumulaciju Radljevac, odakle dovodnim tunelom do strojarnice Marjanović. Na padu od 86 m dobiva se snaga od 24,7 MW i proizvodnja od 88 GWh.

— HE Manojlovac II — obuhvaća pad postojeće hidroelektrane Manojlovac I, koja je inače nedovoljno instalirana, te pad Bilišić Buka, što ukupno čini 137,7 m.

Zahvatom iznad Bilišić Buka stvara se akumulacija od 3,4 milijuna m³. Tunelom do strojarnice, locirane 500 m nizvodno od postojeće, koristi se pomenuti pad od 137,7 m, čime se dobiva snaga od 102,5 MW i godišnja proizvodnja od 273,3 GWh.

— HE Roški slap iskoristila bi pad od 30 m. Zahvatom vode iznad slapa stvorila bi se akumulacija za dnevno izravanjanje sa zapreminom od 5,6 milijuna m³ i godišnjom proizvodnjom od 70 GWh. Iz akumulacije do zasunske i vodne komore izradio bi se dovodni tunel u dužini 1 200 m, a zatim cjevovod do strojarnice koja bi se sagradila na obali rijeke.

— HE Jaruga II — obuhvaća pad na Skradinskom Buku koji iznosi 45 m. Niskom branom stvorila bi se akumulacija od 4 milijuna m³ i na spomenutom padu dobila bi se snaga od 55,6 MW, odnosno godišnja proizvodnja od 190 GWh.

Početak gradnje HE »Golubić«

Početak travnja ove godine počela je priprema za gradnju HE »Golubić« na Butišnici, pritoku Krke. Početni radovi obuhvaćaju uređenje pristupnih cesta, dovod električne energije za potrebe radilišta, vodovodne mreže, gradnju skladišta za materijal i drugih pomoćnih objekata. Investitor je ove hidroelektrane poduzeće »Hidroelektrane na Krki i Zrmanji«, a glavne projekte izrađuje »Elektroprojekt«.

Oprema će se ugovoriti s domaćim proizvođačem turbine Litostroj, a generatore i drugu elektroopremu isporučit će tvornica »Rade Končar«.

Planirano je da HE »Golubić« bude kompletno završena do prosinca 1981. godine.

Budući da je energetski potencijal Krke postao sve zanimljiviji i ekonomičniji, to je investitor odlučio ubrzati studijsko-istražne radove na porječju Krke i pripremiti potpunu tehničku dokumentaciju za razradu glavnih projekata. Investitor, poduzeće »HE na Krki i Zrmanji« usko surađuje s predstavnicima Republičkog zavoda za zaštitu prirode i Urbanističkim institutom Hrvatske radi usklađivanja hidroenergetskog rješenja sa zahtjevom zaštite prirode i kompleksnim urbanističkim rješenjem.

I. R.

DVATESETOGODIŠNJA RADA HE GOJAK

Radni ljudi HE Gojak obilježili su u lipnju ove godine 20. godišnjicu puštanja u pogon HE Gojak. Treba istaknuti da je to druga hidroelektrana u Hrvatskoj izgrađena poslije oslobođenja zemlje.

HE Gojak je izgrađena na vodotoku zagorske Mrežnice i ogulinske Dobre uz korito gojačke Dobre i radi pretežno kao protočna elektrana.

Vodna se snaga gornjeg toka Dobre i Mrežnice dovodi iz akumulacija — umjetnih jezera Bukovik i Sabljaci kod Ogulina — u strojarnicu preko dovodnog tunela dužine oko 10 km.

HE Gojak raspolaže trima agregatima snage po 16 MW sa prosječnom godišnjom proizvodnjom 200 do 220 GWh električne energije.

Ova hidroelektrana centralno je smještena u području 110 kV mreže između Vinodola, Rijeke i Zagreba. Svojom snagom od 48 MW i akumulacijom (3 750 000 m³) za tjedno izravnavanje, HE Gojak ima značajnu ulogu u energetsom sistemu Hrvatske. Pogotovo se njezina uloga ističe u tome što od ukupne količine proizvodnje veći dio proizvodi u proljeće i jesen, kad se smanjuje proizvodnja u drugim elektranama. Kod malih dotoka elektrana radi u kompenzatorskom pogonu u svrhu poboljšanja u elektroenergetskom sistemu.

Godine 1970. izvršena je adaptacija agregata kako bi elektrana mogla raditi u kompenzatorskom pogonu.

Danas HE Gojak posluje kao samostalna Osnovna organizacija udruženog rada u sastavu poduzeća »Elektroprivreda« Zagreb.

U proteklih 20 godina eksploatacije na pragu elektrane predano je 3 993 GWh električne energije konzumu Hrvatske.

Za uspješan rad kroz dvadeset godina zaslužni su svi članovi kolektiva koji su sve postavljene zadatke besprijekorno i stručno vrlo dobro rješavali.

Slaveći jubilej kolektiv je odao priznanje i nagradio radnike koji su proveli na radu u HE Gojak neprekidno 10, 15 i 20 godina.

I. R.

TE »RIJEKA I« PUŠTENA U RAD

Nova termoelektrana »Rijeka I«, snage 320 MW, locirana u neposrednoj blizini INA rafinerije Urinj, puštena u rad 26. srpnja 1979. u povodu Dana ustanka u Hrvatskoj. Time je obogatila godišnji elektroenergetski potencijal Jugoslavije za 1800 GWh električne energije.

Novu termoelektanu pustio je u rad predsjednik Izvršnog vijeća Sabora SR Hrvatske Petar Fleković.

Direktor Radne organizacije TE »Rijeka I« Ivica Pavelić govorio je o značaju ove elektrane za razvoj elektroprivrede i privrede uopće. Sa svečanosti je upućen pozdravni brzojav Predsjedniku Republike drugu Titu.

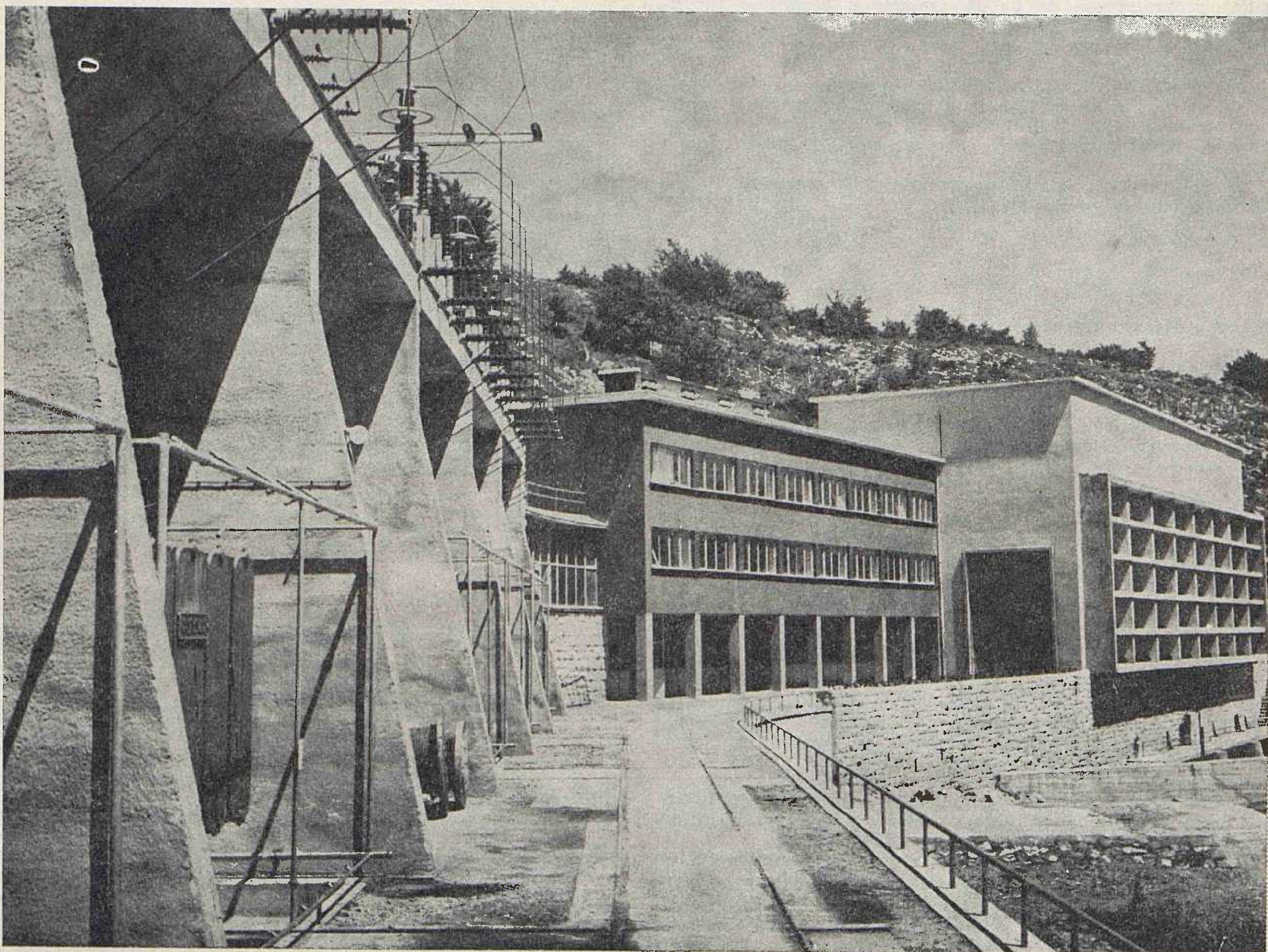
TE »Rijeka I« smještena je u centru velikih potrošača energije, a kako se nalazi u neposrednoj blizini najveće jugoslavenske rafinerije nafte Urinj, kao pogonsko gorivo koristit će nusprodukt rafinerije, mazut. Predviđene su i mogućnosti i upotreba koksnog plina iz koksare Bakar.

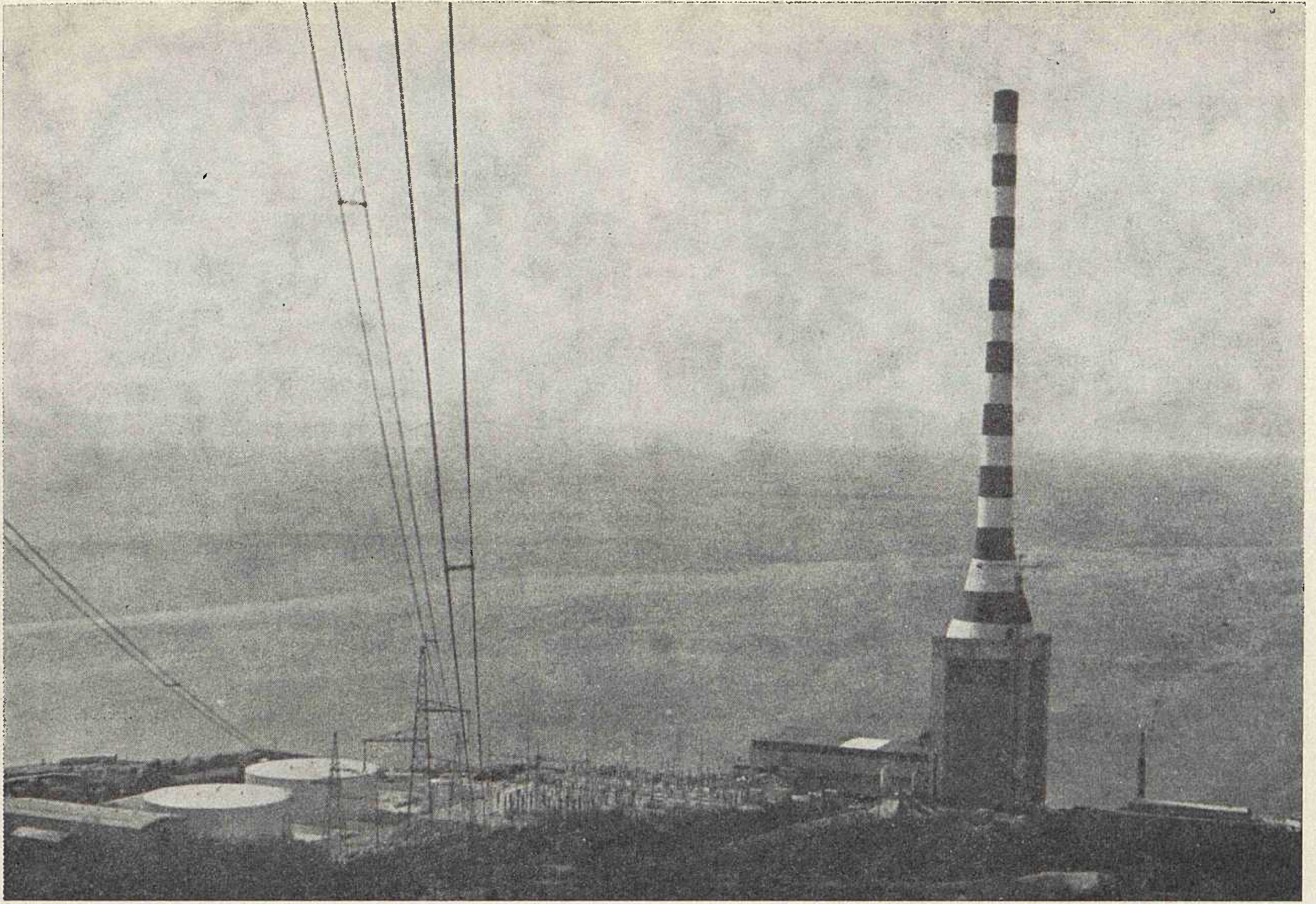
Na temelju javne međunarodne licitacije izgradnja je bila povjerena konzorciju koji čine tvrtke: Ansaldo Meccanico Nucleare iz Genove, INA — Inženjering iz Zagreba, i Waagner Biro, A. G. Beč.

Gradnja je trajala pet godina, a investirano je oko 235 milijardi starih dinara.

I. R.

HE »GOJAK«





Pogled na TE »Rijeka I«



MIROSLAV PLOHL



JURA HORVAT

PIONIRI ELEKTRIFIKACIJE HRVATSKE*

Danas u doba praktički stopostotne elektrificiranosti zemlje, kad raspolažemo jakim i razvijenim elektroenergetskim sistemom, treba se sjetiti pionira elektrifikacije u Hrvatskoj, inženjera i profesora Miroslava Plohla i Jure Horvata. Ove 1979. godine, prošlo je 40 godina od kada je nesretnim slučajem poginuo prof. Plohl i 25 godina od smrti prof. Horvata. Oba su ova nastavnika Zagrebačkog Tehničkog fakulteta djelovali kao predavači i organizatori nastave i kao inženjeri inicijatori i rukovodioci predratne elektrifikacije Hrvatske.

Prof. inž. Miroslav Plohl rodio se u Gorici 1881. Završio je vojnu akademiju i elektrotehnički tečaj te služio do 1919. u mornarici. Kasnije je diplomirao elektrotehniku na Tehničkom fakultetu u Ljubljani. U mornarici, kao i u kasnijem svom radu, bavio se elektrotehnikom i kompresorima te je dao iz tog područja nekoliko patenata. Dolaskom na Tehnički fakultet u Zagrebu prof. Plohl osniva školske godine 1928/29. Zavod za elektrotehniku, koji je opremio za ono doba suvremenim strojevima i uređajima. To je bio veliki doprinos unapređenju nastave iz električnih strojeva i transformatora, koje je on predavao.

Prof. Jura Horvat rođen je 1882. u Gospiću, a diplomirao je u Gracu 1904. Radio je u različitim elektrotehničkim i elektroprivrednim poduzećima, a 1932. dolazi sa Tehničkog fakulteta u Ljubljani, kao redovni profesor na zagrebački Tehnički fakultet. Prof. Horvat preuzima predavanja iz predmeta Proizvodnja, Prijenos i Razdioba električne energije, te Prolazne pojave u električnim napravama.

Tih tridesetih godina elektrificiranost Hrvatske pa i cijele Jugoslavije bila je vrlo niska i znatno zaostala u usporedbi sa susjednim zemljama. Izgrađivale su se tada samo male elektrane za uske mjesne potrebe, bez šireg zahvata seoskog potrošačkog područja, i bez moderne koncepcije izgradnje prijenosne mreže i elektroenergetskog sistema. Profesori inž. Plohl i inž. Horvat bili su inicijatori osnivanja elektroprivredne organizacije koja se je prihvatila opće elektrifikacije na cijelom području tadašnje Banovine Hrvatske, bez uskih lokalnih interesa. S tim zadatkom osnovano je 1937. Banovinsko električno poduzeće (BEP) čiji su oni bili organizatori i prvi rukovodioci. Poduzeće je djelovalo u dva smjera. Nastojalo je izgraditi elektroenergetske izvore i proširiti elektrifikaciju na široka seoska područja. Započelo se s izgradnjom HE Vinodol i pripremom za izgradnju TE Zagorje, no zbog ratnih prilika radovi su morali biti prekinuti. Mnogo više uspjeha imalo je BEP u širokoj elektrifikaciji Hrvatske. Najviše je sela elektrificirano u regiji Zagreb, zatim u riječko-goranskom području, dok su u Dalmaciji i Slavoniji elektrifikacioni radovi tek započeti. Tragična smrt prof. Plohla, direktora BEP, 30. rujna 1939, bila je težak udarac za našu elektrifikaciju. Upravu poduzeća preuzima prof. inž. Horvat i na toj je dužnosti ostao do okupacije zemlje.

Djelovanjem ove dvojice profesora dobila je elektrifikacija u Hrvatskoj značajan impuls, zahvaćajući široka konzumna područja.

Upravo generacije elektroinženjera koje su odgojila ova dvojica vrijednih nastavnika ponijele su nakon oslobođenja teret obnove i brze industrijalizacije i elektrifikacije zemlje.

* Vidi članak u »Energiji« br. 5—6, 1979 — Prijeratna elektrifikacija Hrvatske

RADNA ORGANIZACIJA

ELKA

TVORNICA ELEKTRIČNIH KABELA ZAGREB, Šubićeva 38



PROIZVODNJA PODMORSKIH KABELA 20 i 35 kV U SURADNJI ELKA — PIRELLI

Proizvodnja podmorskih energetske kabele zahtijeva, zbog specifičnosti eksploatacije, vrhunsku tehnologiju i rigorozna završna ispitivanja.

Međutim izbor izolacija energetske podmorske kabele na srednjem naponu nije velik. Danas se proizvode u kombinaciji papir-ulje, odnosno etilenpropilenu (EPDM).

Dugogodišnje proizvodno i eksploatacijsko iskustvo tvornice PIRELLI i drugih poznatih svjetske proizvođača pokazalo je da EPDM ima svojstva koja se traže od izolacije za energetske kabele srednjeg napona, kao što su npr.:

- otpornost na djelovanje vode,
- otpornost na pojavu »treeing« — efekta,
- otpornost na mehanička naprezanja,
- elastičnost
- vijek trajanja, i dr.

»Elka« ima u proizvodnji kabele izolirane etilenpropilenom dugogodišnje iskustvo, počevši od brodskih 1 kV kabele, lokomotivskih 3 kV kabele, sve do 10, 20 i 35 kV energetske kabele.

U suradnji s renomiranom tvornicom »Pirelli«, »Elka« je pristupila realizaciji zajedničkog programa proizvodnje i polaganja podmorske kabele za jadranske otoke, pa će u ovoj godini polagati 20 i 35 kV kabele u konstrukcijama 3 X 70 i 3 X 120 mm².

Umjesto da se pristupi spajanju žila gotovog kabele i čelične armature na brodu polagaču, uz pomoć stručnjaka investitora izabrali smo sigurniju i bolju varijantu. Žile će se spajati kod použenja i tako tvoriti neprekinutost žila i čelične armature. Razumljivo je da se to nije moglo obaviti u Zagrebu već u tvornici na jadranskoj obali, u ovom slučaju u Pirellijevoj tvornici u Napulju, gdje će kabel biti dovršen i ukrcan na jugoslavenski brod — polagač.

U proizvodnji spomenutih žila, kojih je proizvedeno više od 100.000 m primijenjena je posebna tehnologija proizvodnje, počevši od izrade specijalne izolacione mase, pa do izoliranja u jedno-vremenoj troslojnoj ekstruziji, što znači da se sva tri sloja brizgaju istovremeno i to:

- prvi poluvodljivi sloj na vodiču,
- primarna izolacija,
- drugi poluvodljivi sloj preko izolacije.

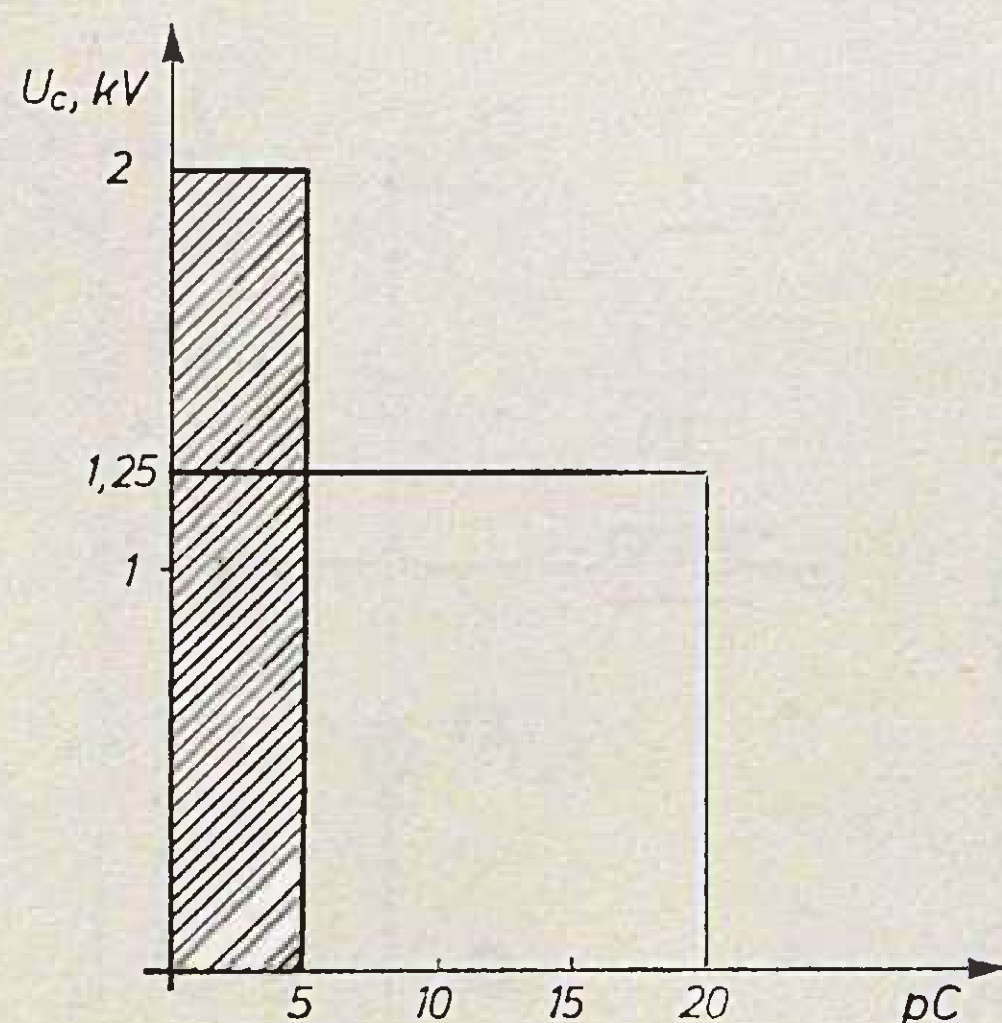
Ova tehnologija osigurava kvalitetan i čvrst spoj između slojeva, te daje garanciju da u trajnom radu kabele, pri cikličkom grijanju — hlađenju, ne može doći do odvajanja slojeva, pojave parcijalnih pražnjenja, te propadanja izolacije. Dakle, postiže se maksimalna čistoća svih slojeva, a time i dugi vijek trajanja kabele.

Svih 100% proizvedenih žila imalo je pri ispitivanju parcijalnih izboja ispod 5 pC i to pri dvostrukom nazivnom naponu, (sl. 1).

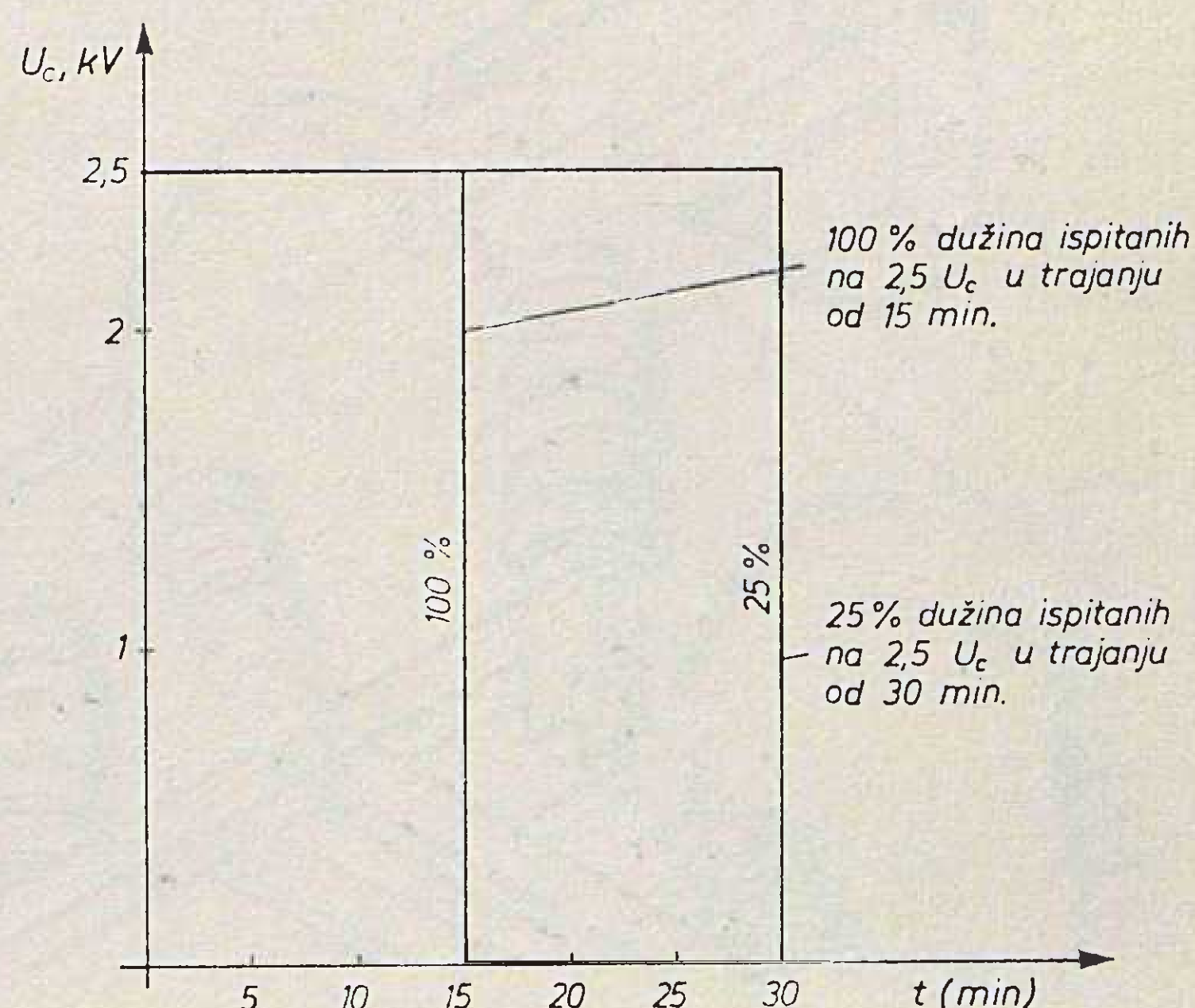
Svih 100% proizvedenih žila ispitano je na napon 2,5 U₀ u trajanju od 15 minuta, a 25% dužine je dodatno ispitano na napon 2,5 U₀ u trajanju od 30 min radi provjere (sl. 2).

Sve ispitane žile prošle su test, tj. ni jedna dužina nije probila, niti je odbačena zbog eventualno viših parcijalnih pražnjenja.

Ovi rezultati najbolje sami za sebe govore o razini kvalitete žila podmorske kabele iz programa ELKA — PIRELLI.



Sl. 1.



Sl. 2.



R A D E
KONČAR

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

Uvod

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

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

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

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

Automatsko odvajanje voda u kvaru

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

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

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

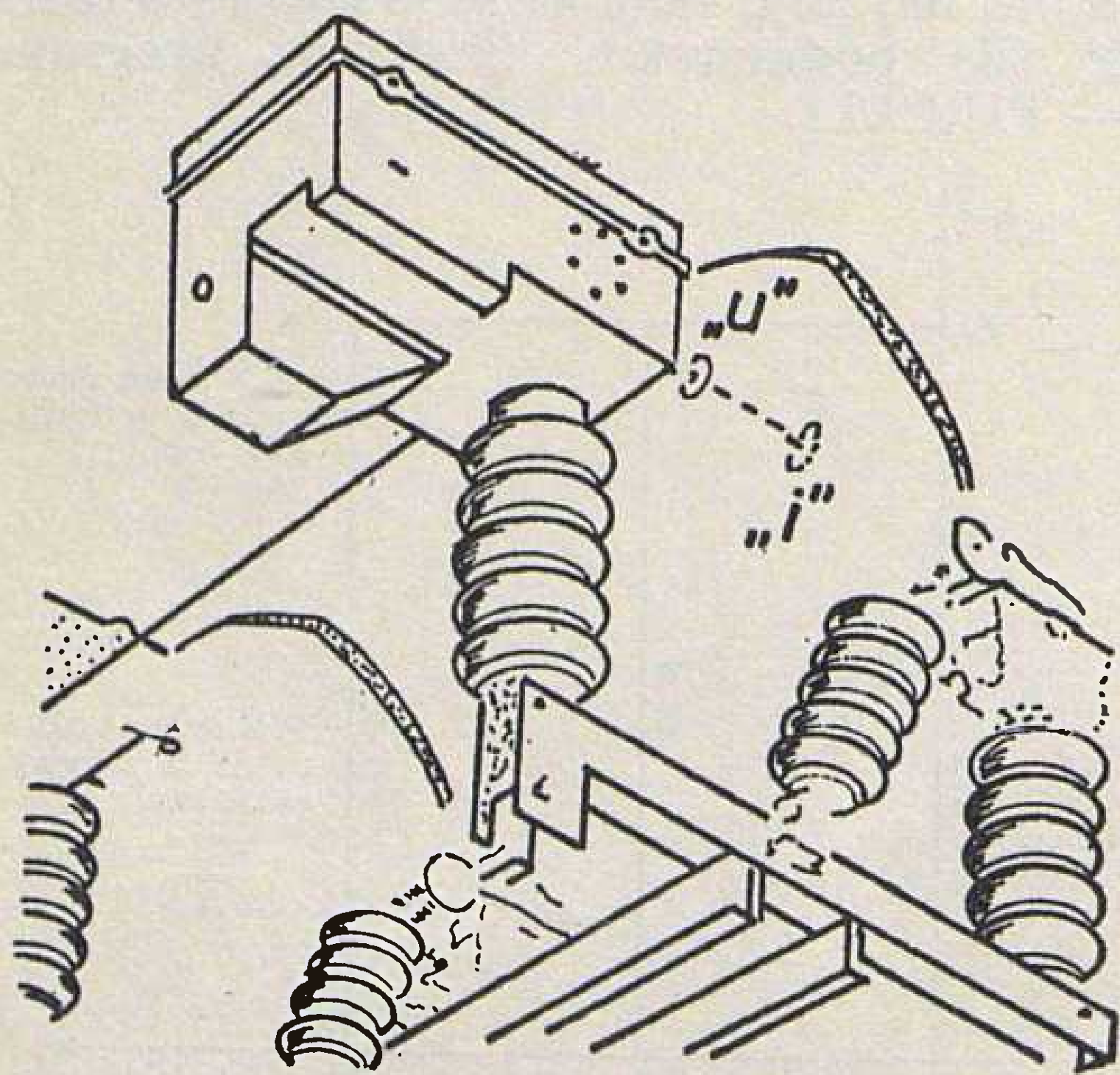
Primjenom ovog uređaja, omogućeno je veoma brzo odvajanje voda u kvaru, čime se osigurava nesmetana opskrba potrošača priključenih na druge krajnje vodove u promatranom konzumnom području.

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

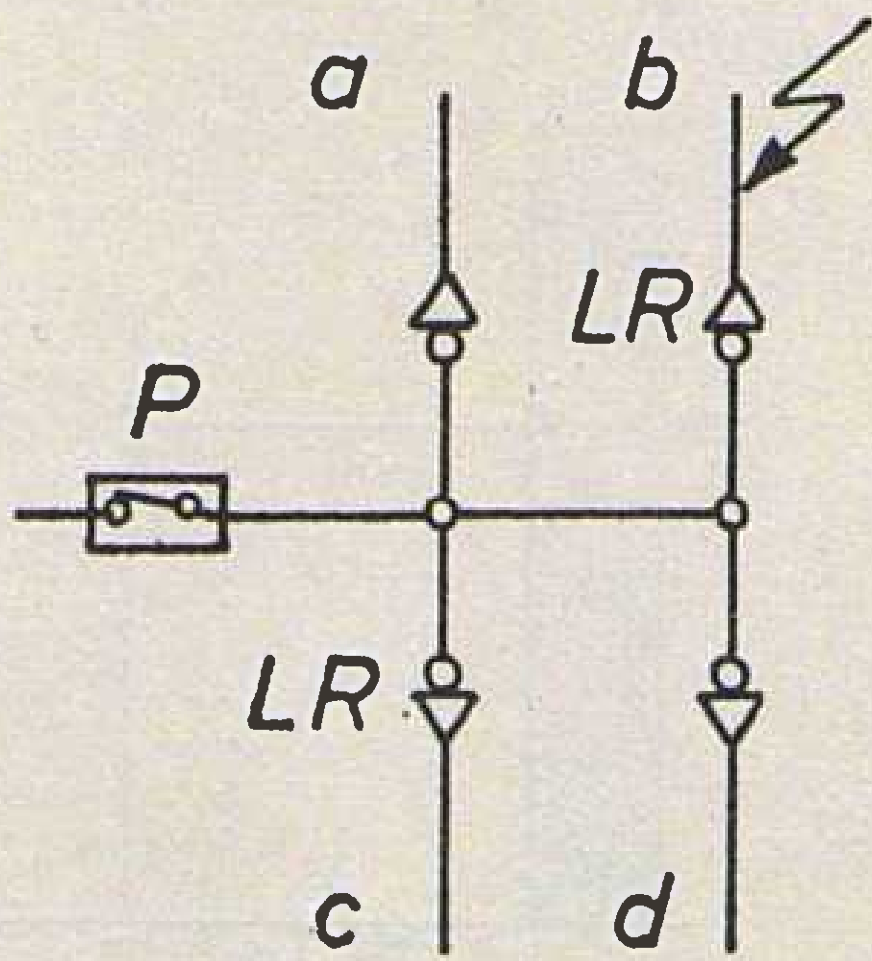
U slučaju pojave kvara na vodu (b), struja kratkog spoja I_k aktivira zaštitu prekidača (P), ugrađenog u TS na početku glavnog voda, koji prekida struju I_k za približno 0,1 — 0,2 sek. od njezinog nastanka.

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

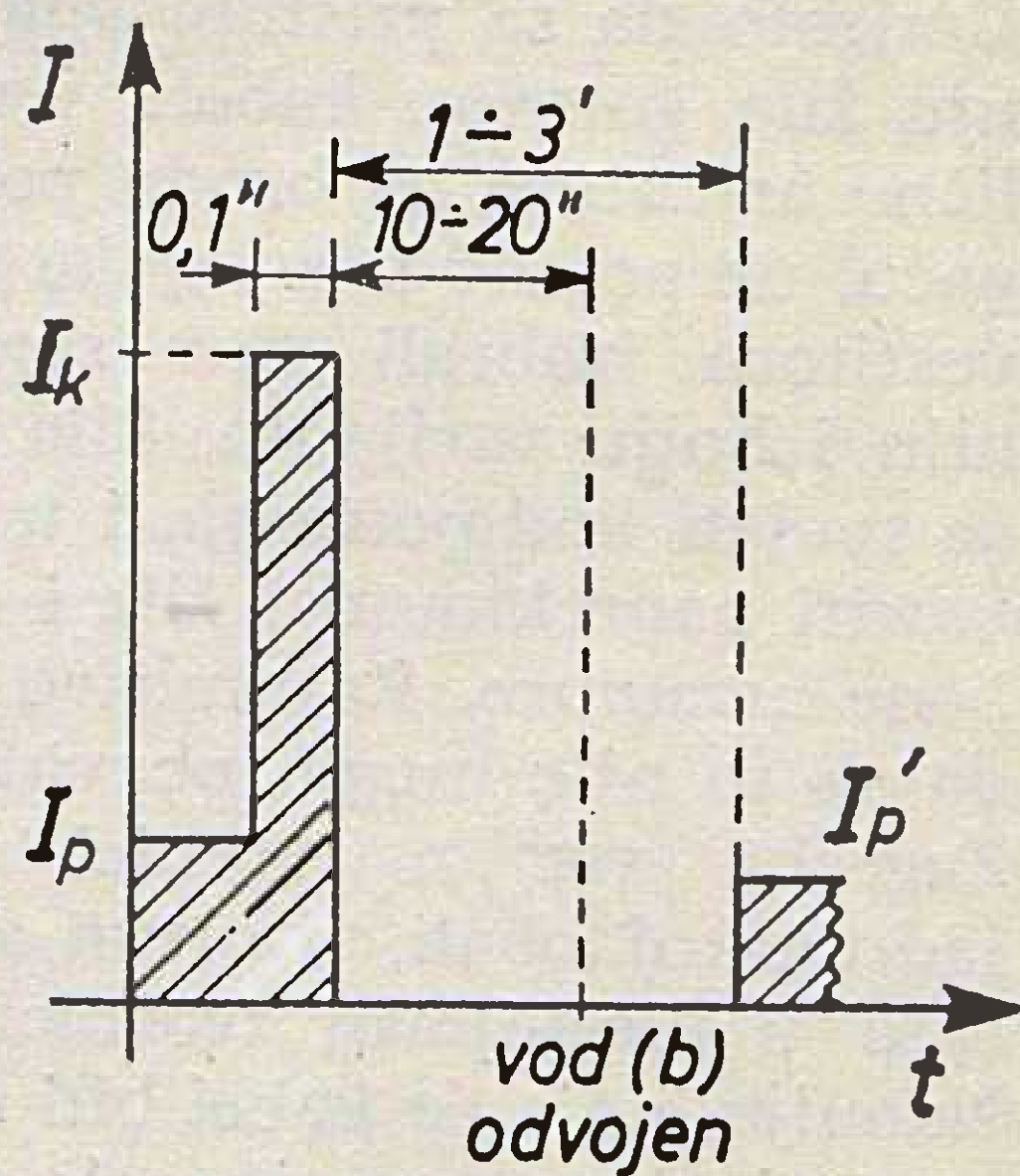
Uklapanjem prekidača, ručno ili automatski nakon pauze od 1 — 3 min., ponovno se nastavlja opskrba



Sl. 1.



Sl. 2.



Sl. 3.

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

$$I_p = I_k = 0$$

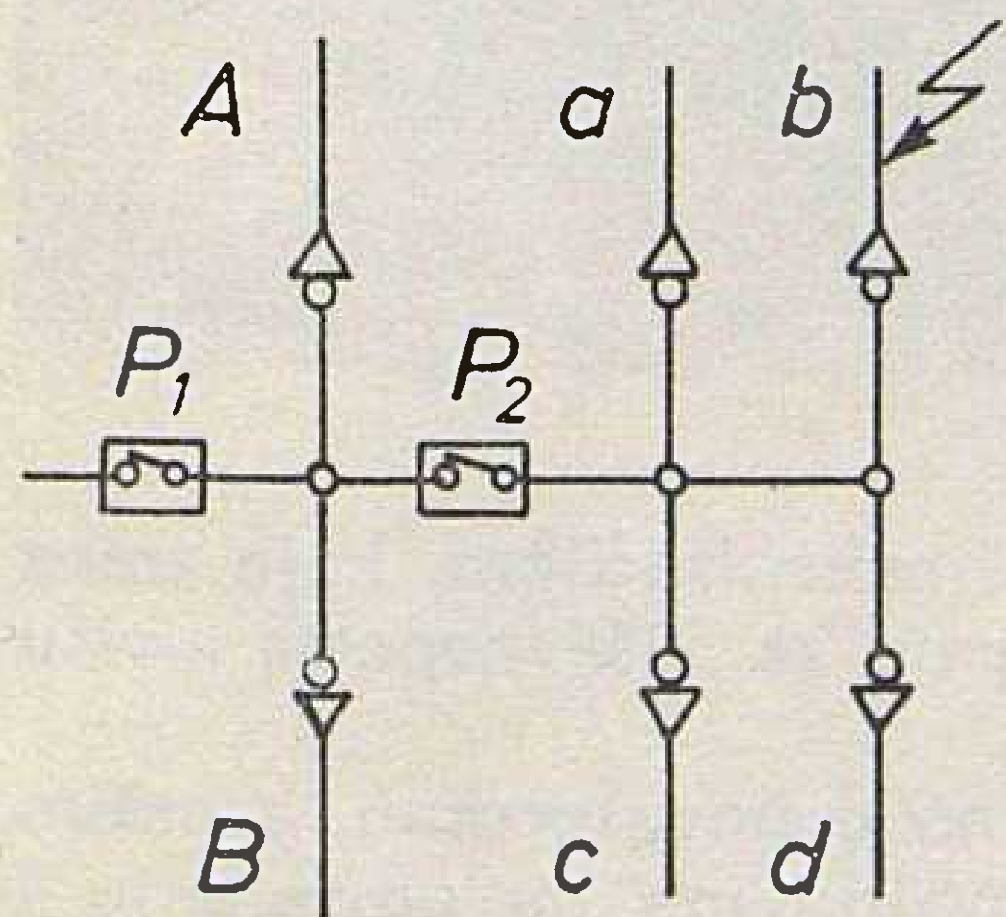
Prije otklanjanja kvara na vodu, potrebno je linijski rastavljač ručno otvoriti u krajnji isklopni položaj, čime se izdanak vidljiv na sl. 1. vrati iz položaja »i« u položaj »u« i na taj način ponovno zatvori strujni put kroz uređaj za automatsko odvajanje na vodu (b).

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

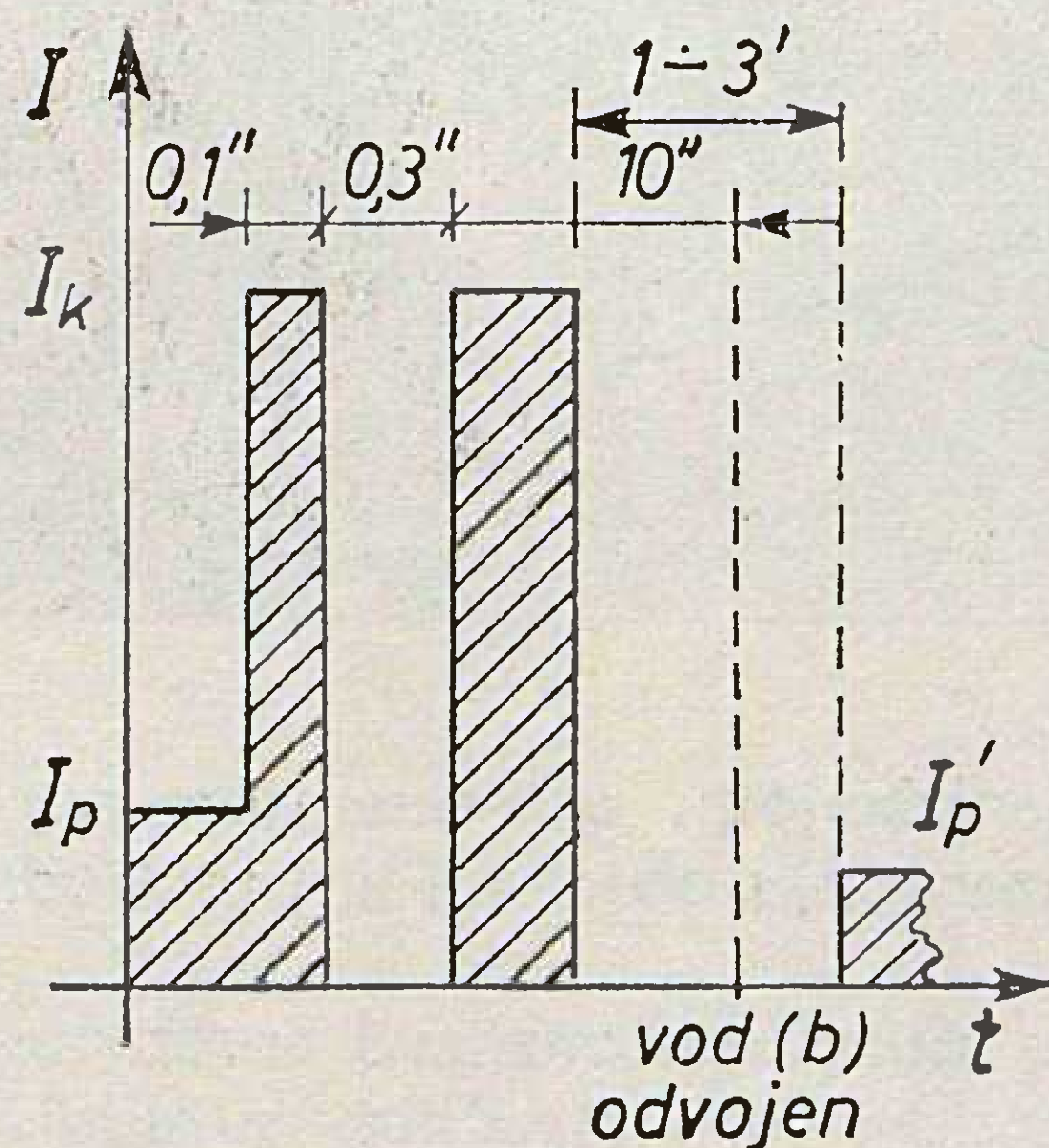
Neke mogućnosti primjene uređaja za automatsko odvajanje voda u kvaru

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

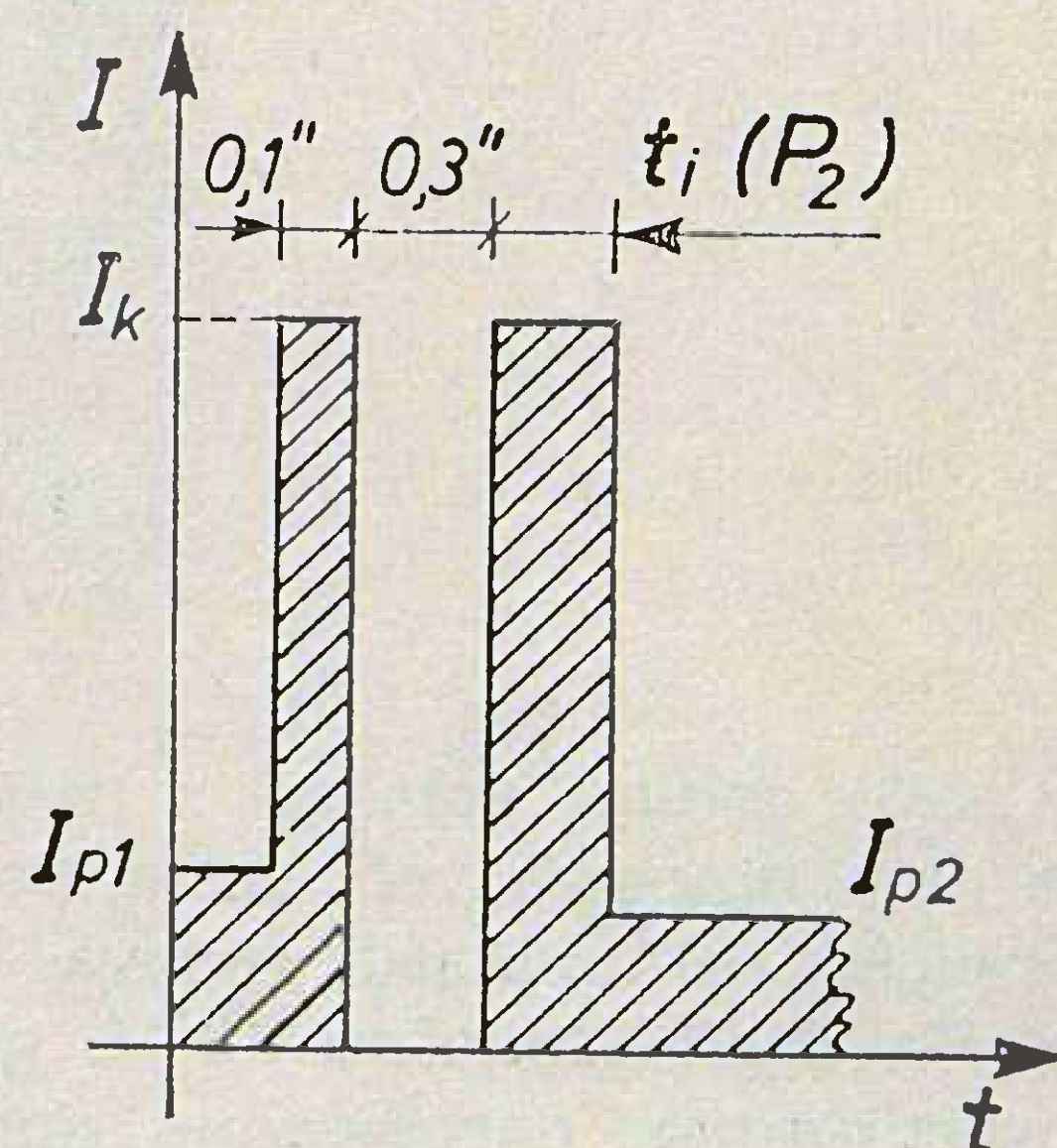
U našem primjeru, ponovno je pretpostavljen kvar na odvojku (b). Struja kratkog spoja istovremeno potiče relej za automatsko odvajanje voda (b), te odgovarajuće zaštite na prekidačima P_1 i P_2 . Zaštita prekidača u glavnoj TS, je tako podešena da prekidač P_1 prvi isklopi, dok je vremensko zatezanje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



Sl. 4.



Sl. 5.



Sl. 6.

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

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

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

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

Zaključak

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

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

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

Naslov pisca:

Josip Polanc, dipl. ing.

RO »Rade Končar« — Elektrouređaji



DALEKOVOD-ZAGREB

Elektroprivredna organizacija udruženog rada za projektiranje, gradnju, montažu i proizvodnju

Izvršavajući svoje radne obveze na izgradnji i montaži elektroenergetskih objekata i proizvodnji opreme za potrebe domaćeg i inozemnog tržišta, naša organizacija je u 1977. godini postigla značajne rezultate. Postignuti radni uspjesi rezultat su rada i sposobnosti radnika iz svih OOUR-a kao i stupnja organiziranosti, kadrovskog potencijala i tehničke razine cjelokupne organizacije udruženog rada. Završavajući tu radnu godinu, želimo istaći da smo izvršili ove važnije radove:

Projektirali:

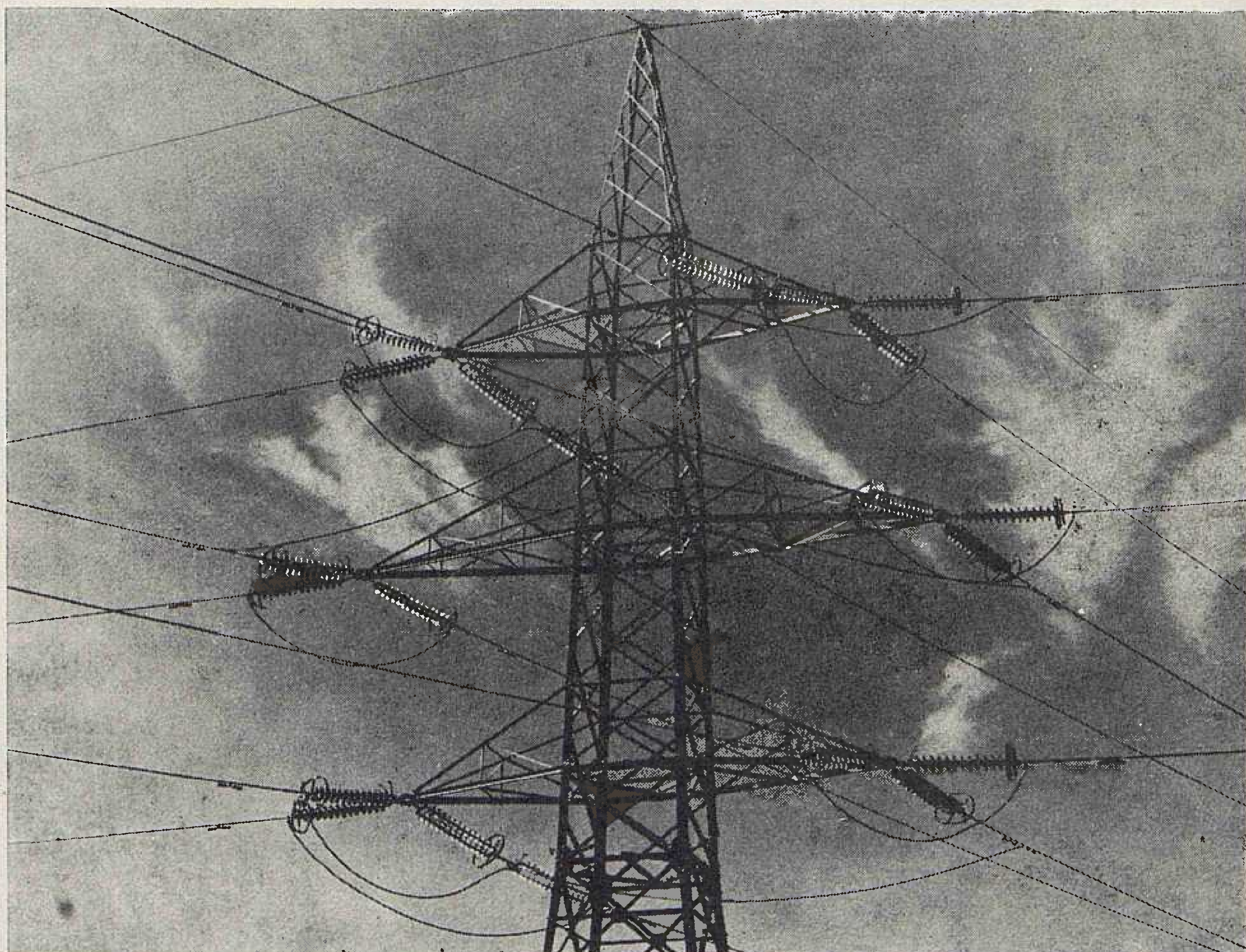
- 595 km 380, 220, 110 i 35 kV dalekovoda
- 250 km 10(20) kV vodova i niskonaponske mreže
- 3 TS od 110 kV i 9 TS od 35 kV.

Izgradili i montirali:

- 625 km 380, 220, 110 i 35 kV dalekovoda
- 250 km 10(20) kV vodova i niskonaponske mreže
- 1 TS od 380/110 kV, 4 TS od 110/35 kV (proširenje)
- 4 TS od 35/20 kV i 130 TS od 10(20)0,4 kV
- 115 komada čelično-rešetkastih i KORS stupova visine 20—35 m.

Proizveli:

- 1800 t ovjesne i spojne opreme za potrebe visokonaponskih dalekovoda TS, niskonaponske mreže s golim i izoliranim vodičima
- 1400 t KORS stupova i portala za regulaciju cestovnog prometa
- 2000 t portala i čelično-rešetkastih konstrukcija.



U novu godinu ulazimo s novom organizacijom, suvremenijom opremom i mehanizacijom, koja treba da nam omogući veći opseg poslova, izgradnju objekata i proizvodnju opreme za više napone i višu tehničku razinu naših radova.

Završavajući uspješno 1977. godinu, s puno optimizma i spremnosti ulazimo u novu godinu, a našim investitorima, naručiocima opreme, poslovnim i stručnim suradnicima zahvaljujemo na povjerenju i želimo im sretnu i poslovnu 1978. godinu.

VELIKI MOTORI U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

Berislav Jurković i Ilija Gajski, Zagreb

UDK 621.313.13

Obraduje se međusoban utjecaj velikih izmjeničnih motora i distributivne mreže. Razmatraju se prilike u zaletu pri direktnom i indirektnom priključku motora. Tretiraju se prilike uz pretpostavku priključka na pojnu točku 30 kV ili 35 kV male snage kratkog spoja. Pokazuju se na stvarnim primjerima prednosti priključka preko autotransformatora za slučaj zaleta elektromotornog pogona. Prikazani su neki od problema ponašanja velikog izmjeničnog motora u mreži s automatskim ponovnim ukapčanjem.

UVOD

Pojava velikih motorskih jedinica snage 1 ... 10 MW (asinhroni i sinhroni motori) sve je češća u našim industrijskim postrojenjima gdje se upotrebljavaju za pogon pumpi, kompresora i slično. U tehnici je prevladalo direktno uključivanje takvih velikih motora na pojnu mrežu gdje god je to moguće. Rijetko se još susreće kolutni asinhroni motor s pokretačem na rotoru. Velik sinhroni motor ima određene prednosti pred asinhronim (manja osjetljivost na promjene napona, bolja korisnost i posebno mogućnost popravljivanja faktora snage), pa kad je metoda asinhronog napuštanja sinhronih motora uzela maha, prirodno je otpalo ograničenje direktnog upuštanja i za pogone s asinhronim motorima.

Pojava velikih struja koje prate zalet takvih motora ($4-7 I_n$) ne predstavlja problem u slučaju priključka na pojnu točku velike snage, jer u njoj ne izaziva velik pad napona. To je redovito slučaj kad je postrojenje (tvornica) s velikim motorima priključena na pojnu točku s naponom od 110 kV jer je snaga kratkog spoja na sabirnicama takvog izvora redovito dovoljno velika. Međutim, ako je pojna točka nižeg napona, obično 35 kV ili 30 kV, dakle priključak na distributivnu mrežu, mogu struje pokretanja izazvati i u pojnoj točki znatnije padove napona, katkada i s nešto duljim trajanjem. Kod nas je to još često. Zadnjih je godina bilo više slučajeva od kojih smo neke rješavali. Htjeli bismo iz tih iskustava prikazati neke probleme i rezultate.

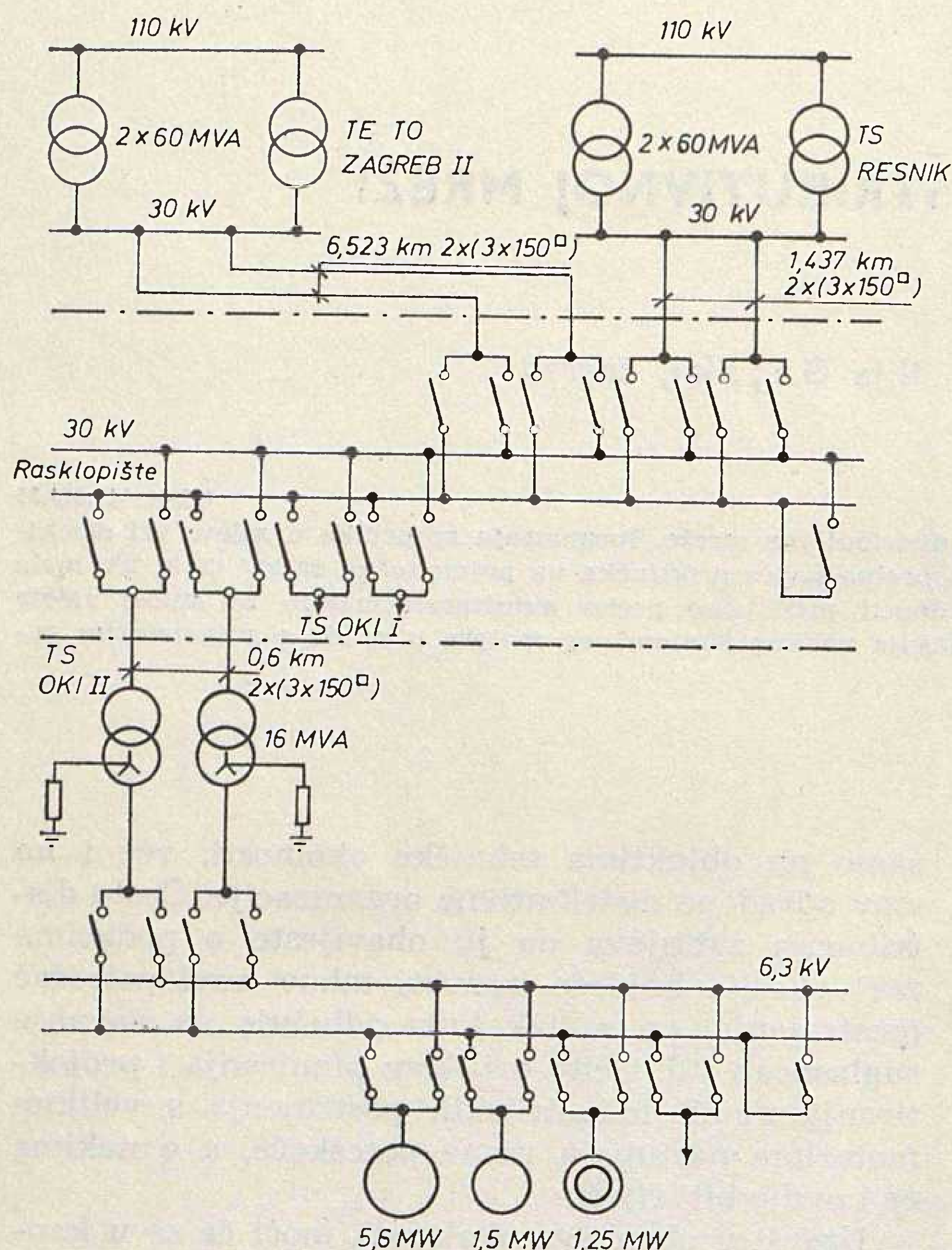
Što je snaga kratkog spoja na sabirnicama pojne točke manja, to će u toj točki pojave velikih struja u zaletu velikih motora izazvati veće padove napona. Danas, na žalost, nemamo domaće propise i standarde koliko se padovi napona dopuštaju na naponskom nivou 30—35 kV, a pogotovo ne u kojem trajanju. Zbog toga je priključna dozvola koju izdaje distributivna radna organizacija vezana ne

samo na objektima tehničke okolnosti, već i na stav određene distributivne organizacije. Često distribucija zahtijeva da ju obavijeste o podacima perturbacija koje će izazvati takav novi potrošač (postrojenje) pa se tek tada odlučuje na davanje suglasnosti itd. Očito prilikom planiranja i projektiranja novih industrijskih postrojenja s velikim motorima nastupaju razne poteškoće, a o nekima će i ovdje biti riječi.

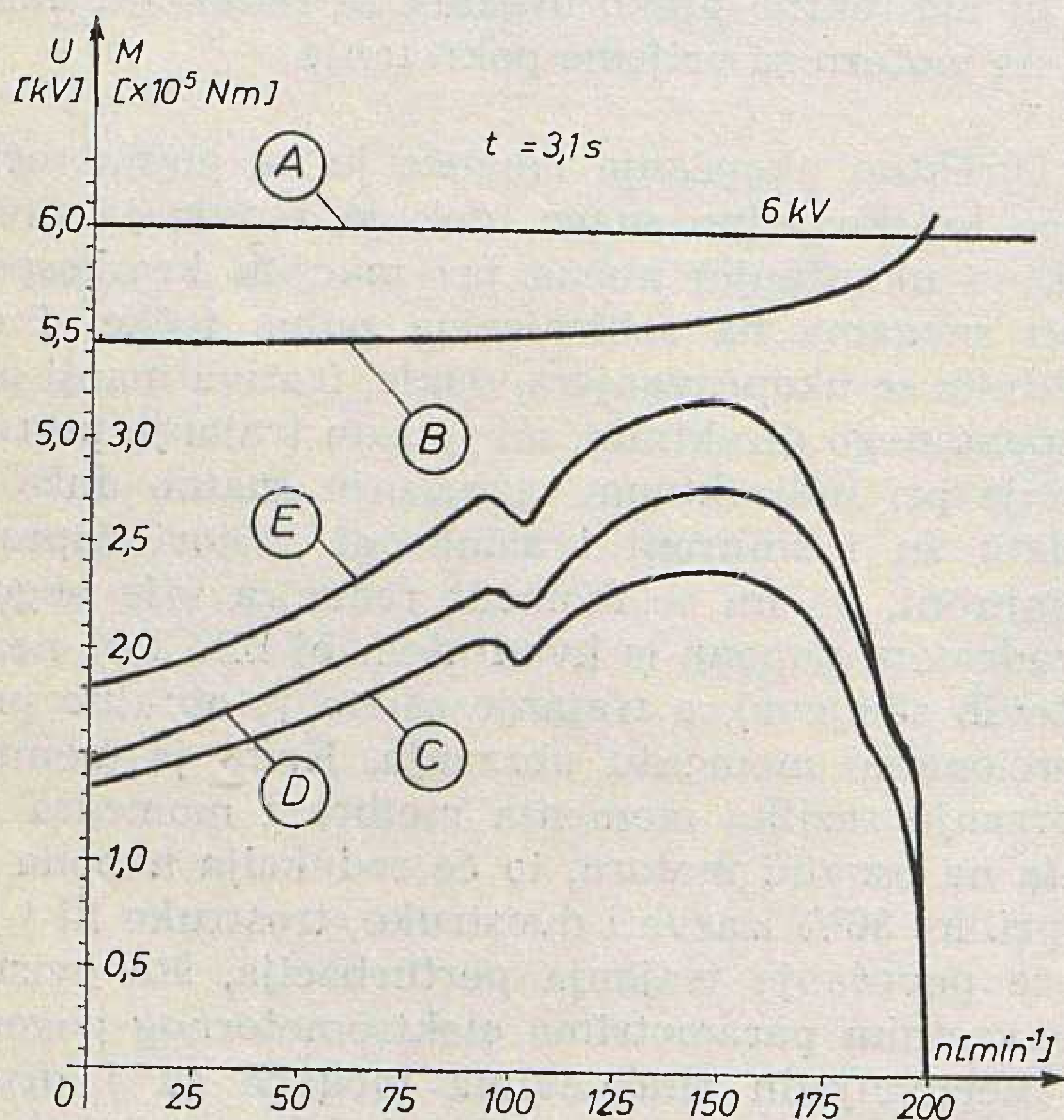
Uzevši u obzir sve okolnosti, moći će se u konkretnom slučaju priključiti motor velike snage na slijedeće načine:

- a) direktno (bez redukcije napona na motoru),
- b) indirektno preko uređaja za redukciju napona na motoru za vrijeme pokretanja.

Direktno ukapčanje moguće je na pojnu točku veće kratkospojne snage, dok je redukcija (indirektno ukapčanje) nužna pri manjim kratkospojnim snagama na sabirnicama pojne točke. Indirektnim se ukapčavanjem, dakle, izaziva manji pad napona nego direktnim, ali je zato trajanje perturbacije pri indirektnom ukapčanju znatno duže. U zaletu su i sinhroni i asinhroni motori zapravo asinhroni, pa im se moment reducira više nego s kvadratom napona (s kvadratom bi bilo kod nezasićenih strojeva), a trajanje zaleta je obratno proporcionalno momentu ubrzanja. Kako je moment ubrzanja razlika momenta motora i momenta tereta na osovini motora, to će redukcija napona od otprilike 30% izazvati dvostruko, trostruko ili i još veće povećanje trajanja perturbacija, što ovisi o konkretnim parametrima elektromotornog pogona. U nepovoljnim slučajevima moguće su i druge smetnje, motor »zapne« pri nekoj brzini vrtnje ili čak i ne krene. Možda je važno spomenuti da pod nazivom »pad napona« u ovom kontekstu smatramo pad napona izazvan trajnom strujom kratkog spoja, dakle ne trenutni pad napona u suptranzijentnoj pojavi koji se očituje u prvim periodima ukapčanja.



Sl. 1.



- A — nazivni napon motora 6 kV
 B — napon motora u zaletu kao funkcija brzine vrtnje
 C — $M_m = M(n)$ u zaletu pri 5,2 kV naponu
 D — $M_m = M(n)$ u zaletu pri stvarnom naponu u zaletu
 E — $M_m = M(n)$ u zaletu pri nazivnom naponu 6 kV

I. PRIMJER DIREKTNOG UKAPČANJA

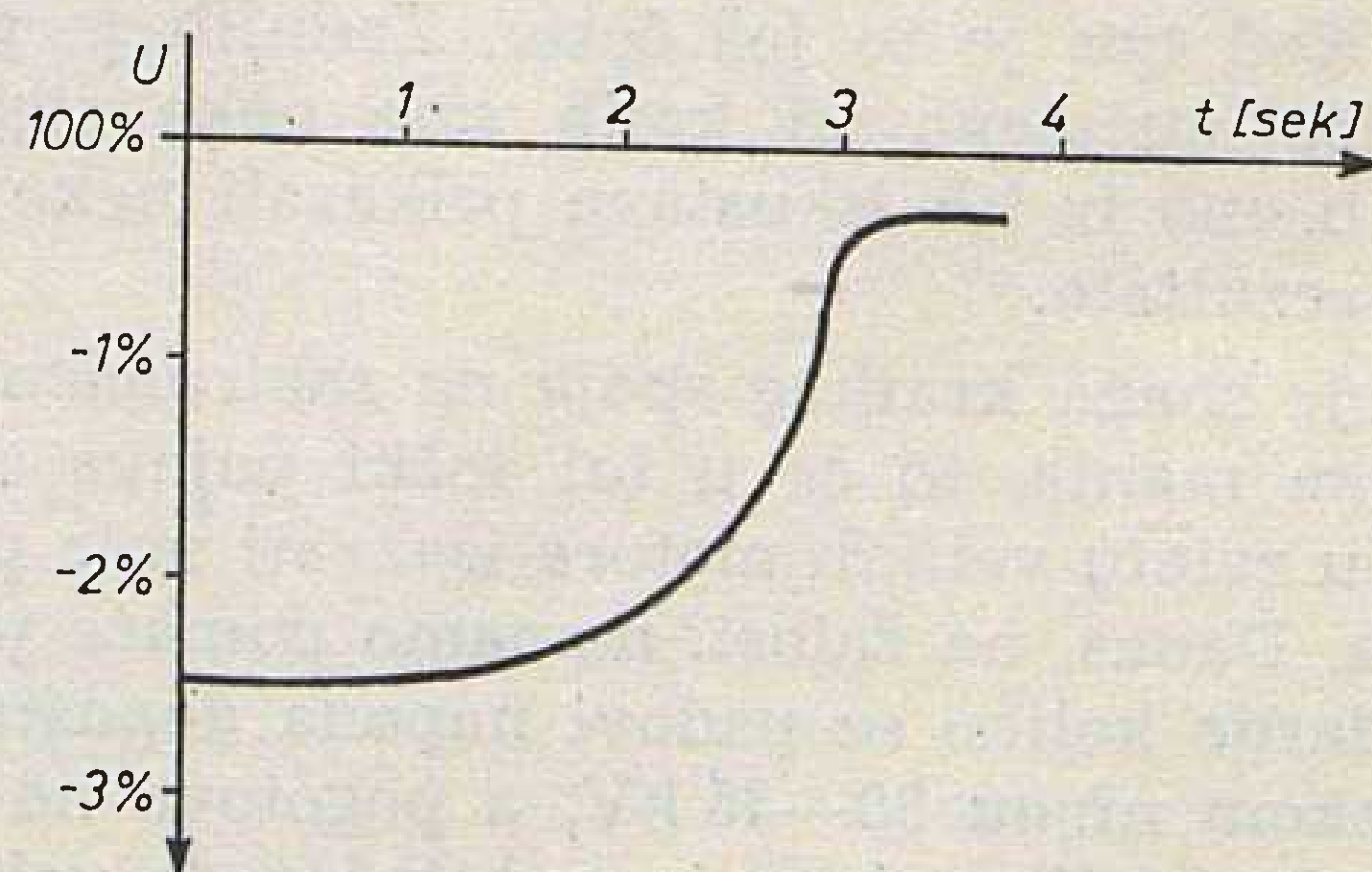
Novo postrojenje OKI II ima nekoliko elektromotornih pogona sa snagom većom od 1 MW. Pojednostavljenu jednopolnu shemu prikazuje sl. 1. Najveći je potrošač na 6 kV sabirnicama hiperkompresor sa sinhronim motorom 5,6 MW, 200 o/min, 50 Hz, 589 A, $\cos \varnothing = 0,95$. Motor se direktno ukapča i asinhrono zaliće bez tereta (vidi sliku 1). Pojne točke su 30 kV sabirnice TE TO Zagreb II i TS Resnik. Obje pojne točke imaju kratkospojnu snagu 775 MVA svaka, što je omogućilo direktno ukapčanje. Ostale detalje vidi sl. 1. Zalet motora 5,6 MW izvodi se preko sabirnice 6,3 kV i jednog transformatora 16 MVA (TS OKI II) na samo jednu od pojnih točaka. Drugi transformator služi kao rezerva i nije uključen. Slika 2. prikazuje više krivulja od kojih krivulja B je vremenski tok napona tokom zaleta, a D moment motora uz stvarne naponske prilike. Ostale krivulje služe za usporedbu. Dakako, prilikom računanja uzete su u obzir stvarne prilike, priključeni potrošači itd. Trajanje zaleta do blizu sinhronne brzine vrtnje ω_s uz konkretni moment tromosti pogona J računa se

$$t_z = J \int_0^{\omega_s} \frac{d\omega}{M_m}$$

Grafički se to može integrirati pomoću slike 2. i utvrditi vremenski tok pada napona prikazan na slici 3.

U trenutku ukapčanja pad je napona u (30 kV) pojnoj točki 2,51%, a na sabirnicama (6,3 kV) motora 12,6%. To je rezultat uz napon kratkog spoja transformatora $u_k = 7,4\%$. Primijeni li se transformator s većim naponom kratkog spoja, s namjenom da se smanji pad napona u pojnoj točki, produžit će se i trajanje zaleta i povećat će se pad napona na sabirnicama potrošača. Iznesena su razmatranja uz pretpostavku transformatora s još razumnim naponom kratkog spoja $u_k = 12\%$. Rezultati su uspoređeni u tablici I.

Pad napona na sabirnicama pojne točke pao je za otprilike 6,3% prema prethodnom, ali su porasli i trajanje zaleta (oko 13%) i pad napona kod potrošača (oko 38%), što je znatno više. Vidi se da se zahvat s povećanjem u_k transformatora ne može preporučiti. Iako on nešto smanjuje pad napona u



Sl. 3. $\Delta U_2 = f(t)$ — 30 kV sabirnice Resnik

Tablica 1.

USPOREDBA PADOVA NAPONA S DVA RAZLIČITA TRANSFORMATORA			
Trafo 16 MVA	ΔU (30 kV)	ΔU (6,3 kV)	Trajanje zaleta
$u_k = 7,4\%$	$-2,51\%$	$-12,6\%$	3,1 s
$u_k = 12\%$	$-2,35\%$	$-17,4\%$	3,5 s

pojnoj točki, ipak mu produžuje trajanje, a drastično pogoršava stanje napona na vlastitim sabirnicama. Doduše potrošač nema nikakvih formalnih ograničenja u pogledu dozvoljenog pada napona u svom pogonu, ali su očita stvarna tehnička ograničenja uređaja, napona i strojeva ostalih pogona koja ne bi dopuštala tako visoke padove napona kakve npr. daje priključenje preko transformatora 16 MVA s $u_k = 12\%$. U rješavanju što se još gdje dopušta u pogledu pada napona moraju i dobavljač energije i korisnik pokazati smisao za realnost i naći prihvatljiv tehnički kompromis.

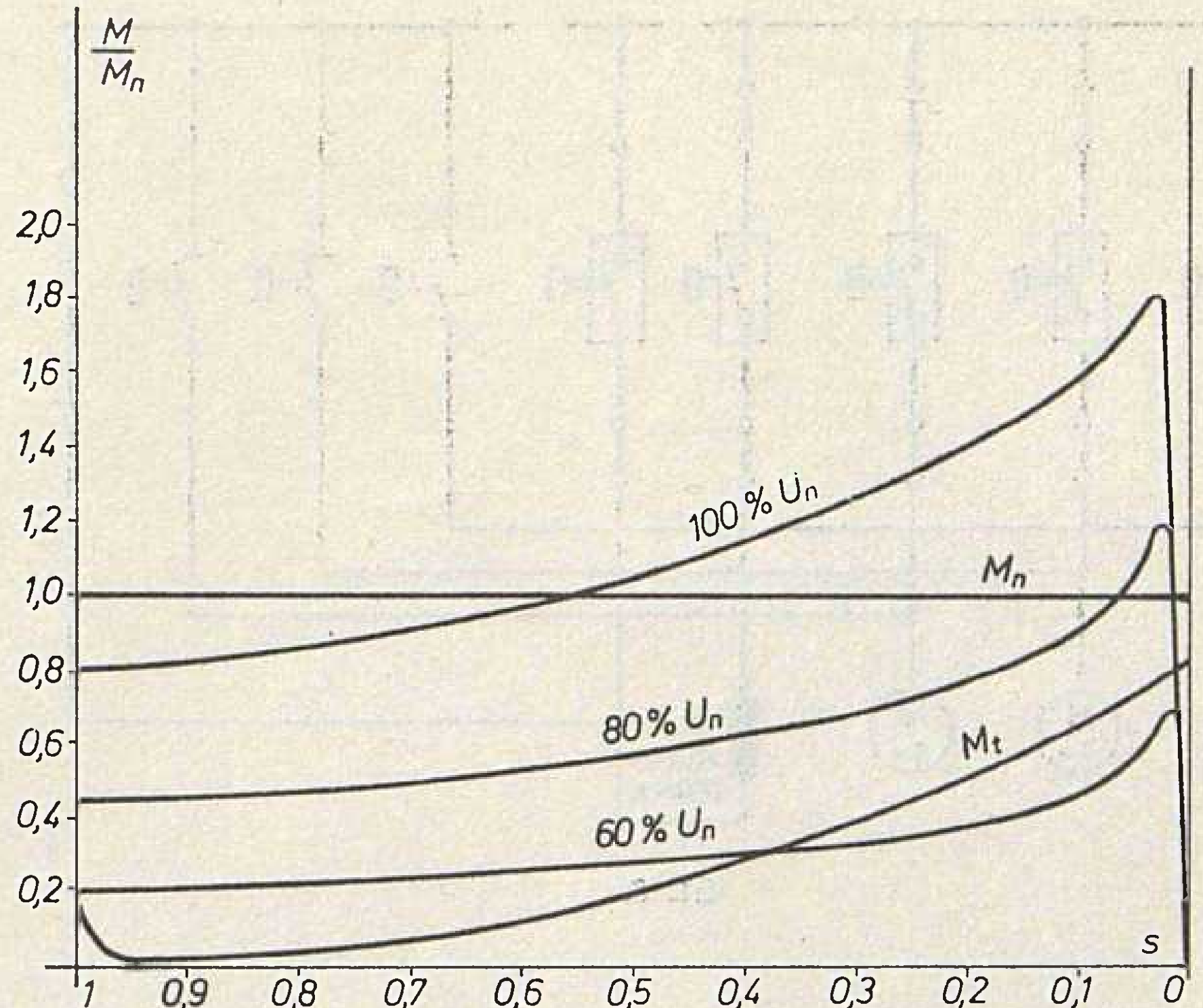
II. PRIMJER INDIREKTOG UKAPČANJA

Jugoslavenski naftovod će na potezu Krk—Sisak (i dalje) imati mnogo elektromotornih pogona pumpi. Za terminal Omišalj i pumpnu stanicu Melnice predviđeni su (između ostalih) pogoni pumpi sa 3 MW motorima (6 agregata). Podaci motora: asinhroni trofazni kavezni 3 MW, 6 kV, 331 A, 1 490 o/min, $\cos\varnothing = 0,9$. Motori se pokreću bez tereta, te se opterećuju nakon zaleta, opterećenje $M_t \doteq 0,85 M_n$ s kvadratičnom ovisnosti momenta tereta o brzini vrtnje.

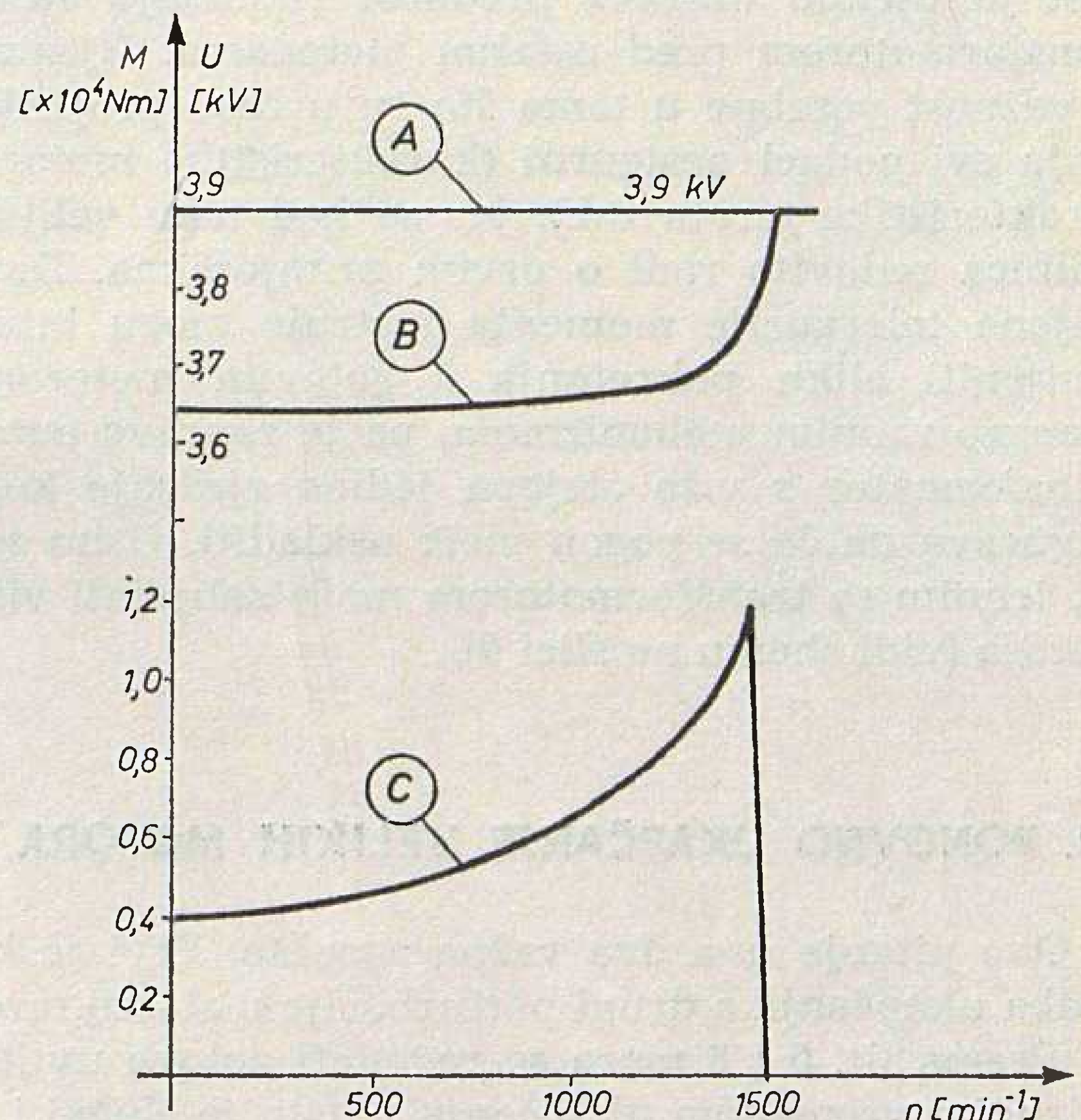
Terminal Omišalj i pumpna stanica Melnice priključeni su preko vlastitih transformatora 35/6,3 kV na 35 kV pojne točke alternativno TS KRK, TS KRASICA odnosno HE Vinodol, TS KRASICA. (Detaljnije sheme se razlikuju, pa ne dajemo shemu, ali je princip jednak.) Budući da je na pojnim točkama (zbog male kratkospojne snage) pad napona prilikom priključka prevelik, nužno je reducirati napon na motoru. Od pet poznatih metoda indirektnog ukapčanja:

- λ/Δ preklopom,
- preko prigušnice,
- preko autotransformatora,
- dijelom namota,
- preko blok-transformatora s velikim u_k ,

odabran je priključak preko autotransformatora (po jedan autotransformator 6/3,9 kV, 6 MVA u svakoj stanici). Zbog opširnosti nećemo navoditi sve argumente za ili protiv neke metode. Osim ekonomskih zasluga glavni je razlog izbora autotransformatora i određena sigurnost da rješenje neće zakazati, što ćemo objasniti nešto kasnije. Prilikom redukcije napona smanjuje se pad napona na pojnoj točki zbog čega je dobro što više smanjiti napon, ali se smanjuju i momenti motora (više nego s kvadratom napona), zbog čega se ne smije pre-



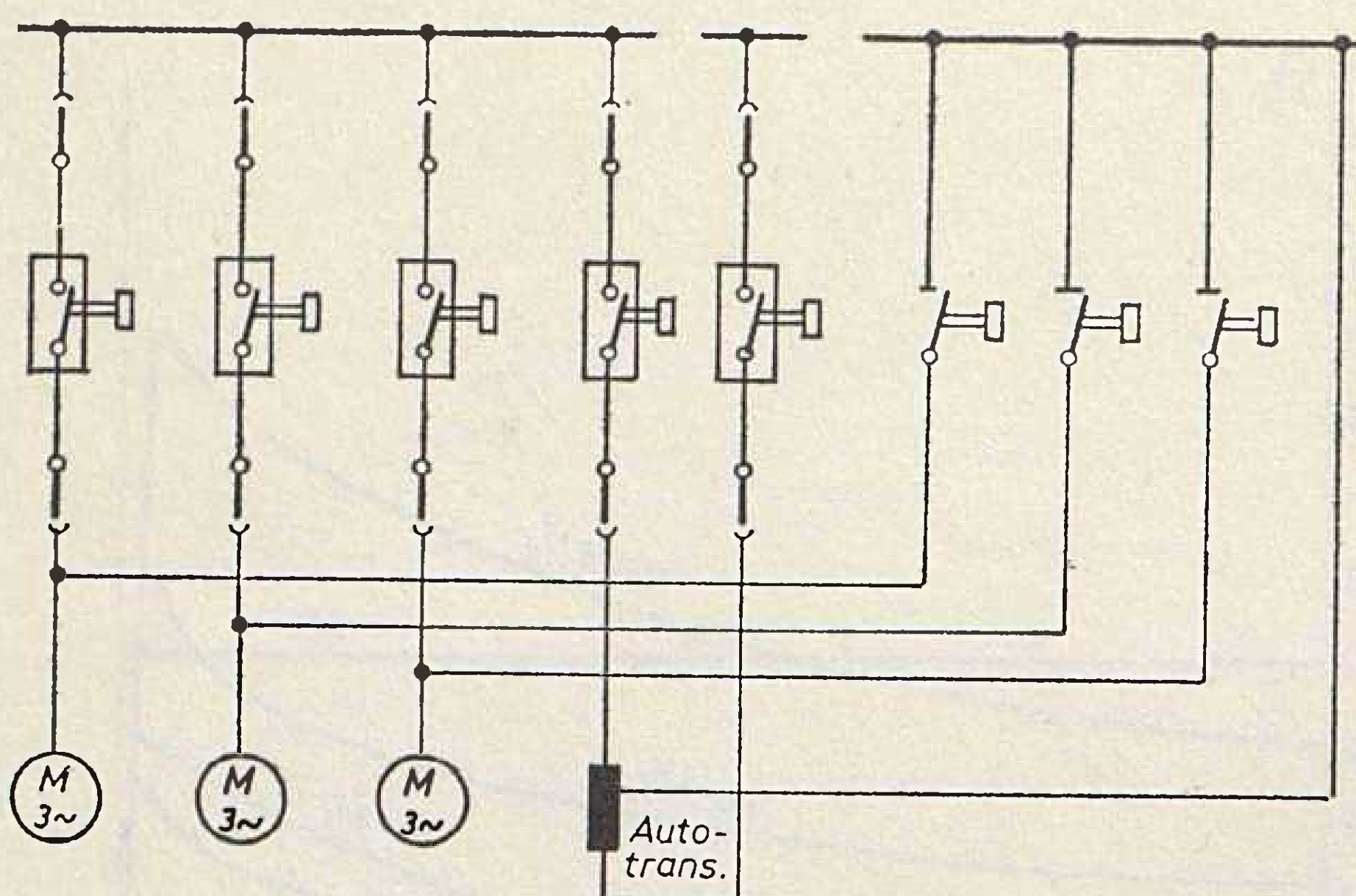
Sl. 4.



Sl. 5.

A — napon na 65%-tnom otcjepu autotransformatora
B — napon motora u zaletu kao funkcija brzine vrtnje
C — $M_m = M(n)$ u zaletu pri stvarnom naponu u zaletu

više reducirati napon. Karakteristike momenta motora uz razne napone i moment tereta prikazuje slika 4. Prema prethodnim podacima redukcija napona u zaletu na 65% zadovoljava naš slučaj. Najteži slučaj (pogon Omišalj, pojna točka TS KRK) pokazuje slika 5, tj. prilike na stezaljkama motora gdje je pad napona oko 12%. Na sabirnicama TS KRK 35 kV pad napona iznosi 3,14%, a trajanje zaleta oko 8 s. Na slici 5. prikazan je vremenski tok tog pada napona. Izlazi da je stvarni iznos napona na stezaljkama motora u času pokretanja 57% nazivnog ($U = 0,65 \cdot 0,88 \cdot U_n$). Pri tome iznosi stvarni potezni moment 21% nazivnog (računajući s kvadratom napona bilo bi 26%), što je još vjerojatno da agregat krene. Autotransformator je predviđen s otcjepima za redukciju na 65, 75 ili 85%



Sl. 6.

nazivnog napona. Za slučaj da na otcjepu 65% ne bude dovoljan potezni moment, prekopčat će se transformator na otcjep višeg napona. Ta mogućnost je ujedno najveća prednost redukcije autotransformatorom pred ostalim metodama. Njezina je važnost posebno u tome što su u času projektiranja svi podaci nesigurni (karakteristike motora, karakteristike tereta itd.), jer se kod tako velikih jedinica redovito radi o prvim primjercima. Dovoljene tolerancije momenta i struje mogu bitno izmijeniti sliku pokretanja s gotovim motorom, odnosno radnim mehanizmom, pa je zapravo autotransformator s više otcjepa jedino rješenje koje osigurava da će se pogon moći uskladiti. Osim toga, jednim se transformatorom može zalijetati više motora (vidi shemu na slici 6).

III. PONOVO UKAPČANJE VELIKIH MOTORA

Ovo pitanje ima dva važna aspekta. Prvi je izvedba ukapčanja a drugi perturbacije u slaboj mreži. Prema lit. 5 i 6 mora se računati gotovo uvijek s drugim vremenom ukapčanja t_d (što je slučaj i u našim primjerima). Pri tome će povratno ukapčanje dovesti do većih padova napona nego ukapčanje prilikom zaleta ako je ovo izvedeno s reduciranim naponom. No trajanje će biti kraće. Pokažimo to na primjeru. Naš motor iz primjera II neka se ponovno ukopča nakon 0,625 s. Pomoću izvođa u lit. 5 bit će mu brzina vrtnje u trenutku ponovnog ukapčanja oko 1 200 o/min. Trajna struja koja tome odgovara iznosi 1 347 A, što je oko 50% više od trajne struje pokretanja (890 A) preko autotransformatora. To znači da će za dimenzioniranje priključaka aparature takvih pogona biti mjerodavne struje prilikom povratnog ukapčanja. Naš se motor priključuje posredstvom vakuumskih kompakt-kontaktora i osiguran je od kratkog spoja visokonaponskim osiguračima 630 A. Kontrolirana je udarna struja za najnepovoljniji slučaj (opozicija napona) povratnog ukapčanja. Metodom iz lit. 5 i 6 napravljena je vremenska analiza pozicije i iznosa napona iskapčanja motora (vidi tablicu II).

Tablica 2.

t (s)	0,3	0,395	0,4	0,5	0,52	0,6	0,625
Θ_{el} (°) apsolutni	326,3	541,2	554	834,3	896,5	1 164	1 256
Θ_{el} (°) relativni	-33,67	181,2	194	114,3	176	84	174

Vidi se iz tablice da u vremenskom periodu koji odgovara ukupnoj vjerojatnoj beznaponskoj pauzi nekoliko puta nastupa opozicija napona (magnetskog toka), tj. u vremenskim točkama $\sim 0,395$ s, $\sim 0,52$ s i $\sim 0,625$ s. Znači da je moguć i vjerojatan najnepovoljniji slučaj povratnog ukapčanja u opoziciji.

Uz pretpostavku ponovnog ukapčanja nakon 0,625 s kad još residualni magnetski tok iznosi 86% (računat prema lit. 5 i 6) vjerojatan je maksimalni iznos struje u prvoj periodu nakon povratnog ukapčanja od 7,3 kA. Osigurač (ili drugi element) mora imati karakteristiku koja odgovara tom podatku, konkretnom slučaju on sadrži 8,6 kA u trajanju od 1 sekunde.

LIERATURA

1. Jurković B., Jung M.: Proračun toka napona u razdoblju upuštanja elektromotora otpremnih pumpi i ostalih trošila u prvoj fazi pogona terminala Omišalj i pumpne stanice Melnice, Institut za elektroprivredu — Zagreb, 1977.
2. Jurković B., Jung M.: Predstudija — Analiza promjena približnog toka napona u razdoblju upuštanje elektromotora otpremnih pumpi i ostalih trošila u prvoj fazi pogona terminala Omišalj i pumpne stanice Melnice, Institut za elektroprivredu — Zagreb, 1976.
3. Jurković B., Gajski I.: Proračun padova napona u razdoblju upuštanja elektromotornih pumpi i ostalih trošila u prvoj fazi pogona terminala Omišalj i pumpna stanica Melnice, Elaborat Zavoda za elektrostrojarstvo, Elektrotehnički fakultet, Zagreb, 1977.
4. Jurković B., Gajski I., Maljković Z.: Studija o utjecaju uključivanja motora hiperkompresora u novom pogonu OKI na 30 kV mrežu I i II dio, Studijski elaborat Zavoda za elektrostrojarstvo, Elektrotehnički fakultet, Zagreb, 1976.
5. Jurković B.: Problematika elektromotornog pogona kod trolnog APU, Studijski elaborat Zavoda za elektrostrojarstvo Elektrotehnički fakultet. Zagreb, 1967.
6. Jurković B.: Problemi ponovnog ukapčanja u mrežama s visokonaponskim motorima, IX stručno savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Vrnjačka Banja, 1968, Referat 11.04.
7. Jurković B., Bek V.: Izoliranje i tehnološke izvedbe namotnih visokonaponskih motora otpornih na ma kakve uvjete kod ponovnog ukapčanja, X stručno savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Dubrovnik, 1970, Referat 14.92.
8. Jurković B., Zlatar Z.: Analiza potrošača — motora prilikom uvođenja automatskog ponovnog uključivanja u distributivne mreže, X stručno savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Dubrovnik, 1970, Informacija 42.27.
9. Käppner A.: Über die Projektierung grosser Drehstromantriebe für Verdichter und die Netzrückwirkungen bei Anlauf und Betrieb, Siemens-Zeitschrift X, 1966, Beiheft Motoren für industrielle Antriebe.

LARGE MOTORS IN THE DISTRIBUTION NET

It is about the related influence of large A. C. motors on the distribution net. Considered are the situations of motors over-running while connected directly or indirectly. These occasions are treated, presuming connection to the source of 30 kV or 35 kV low power short circuit. It has been shown using real examples, the advantages of connections via auto-transformers in the case of motor over-runs. Explained are also some of the problems of large D. C. motor in the net with automatic switch-on.

Naslov pisaca:

prof. dr. Berislav Jurković, dipl. ing.

Ilija Gajski dipl. ing.

Elektrotehnički fakultet, Zagreb

VISOKONAPONSKI KABELI S KRUTIM DIELEKTRIKOM

Branko Mrakovčić, Rijeka

UDK 621.315.2

Kabeli s krutim dielektrikom potisnuli su druge kabele na području 1,0 kV. Više od 50% kabela na SN također su kabeli s krutim dielektrikom s trendom porasta. Kod VN kabela naglo prodire kabel s krutim dielektrikom. Od drugih dielektrika najbolja je svojstva pokazao UPE.

U svijetu i kod nas sve je veća potreba za 110 kV kabelima. Prema dosadašnjem iskustvu mogu se bez bojazni ugrađivati i kabeli s krutim dielektrikom, jer su se u 10 — 15 godišnjoj praksi pokazali dobrima.

UVOD

Već negdje 1875—1880. proizvedeni su za potrebe javne rasvjete prvi vodiči koji se mogu smatrati energetskim kabelima. Radilo se o višeznačnim Cu vodičima s izolacijom od gutaperke (izrađene u preši) omotane jutom i djelomično uvučene u željezne cijevi.

Prvobitna izolacija: gutaperka, nakon toga guma (iz prirodnog kaučuka), pa vulkanizirani bitumen s jutom, papir (iz krpa), a sada natron-papir (iz celuloze). Papirne trake su umakane u viskozna ulja i mješavine smola, bitumena i katrana. Konačno su te prirodne mješavine zamijenjene sintetskim masama za impregnacije, tzv. kompaundima.

Od umakanja u razne izolacione mješavine prešlo se na sušenje kabela u vakuumu i impregniranje kompaundom u vakuumu.

Stalno poboljšanje sirovina i tehnologije proizvodnje kabela, a i teoretske spoznaje dovele su do kvalitetnijih kabela. Tako je npr. tg δ 1900 godine $200,0 \times 10^{-3}$, 1920. godine $10,0 \times 10^{-3}$, a 1930. godine $6 \div 8,0 \times 10^{-3}$. Isto tako su se iz godine u godinu povećavali pogonski napon, presjeci i proizvodne dužine kabela.

Izolacija: impregnirani papir štitio se od vlage olovnom plaštom, meko olovo od mehaničkih oštećenja čeličnim trakama, a čelik od korozije odgovarajućim premazima bitumena, antikorozivnim sredstvima, papirnim trakama i jutom. Takav je sistem bio kompliciran (jednim se štitilo drugo), a to je kompliciralo tehnologiju izrade kabela. Da je onda postojao materijal koji ima sve potrebne osobine — da izolira električki, izolira od vlage, dovoljno čvrst da i mehanička zaštita ne korodira — kabelska tehnika bi sigurno išla drugim, jednostavnijim putem.

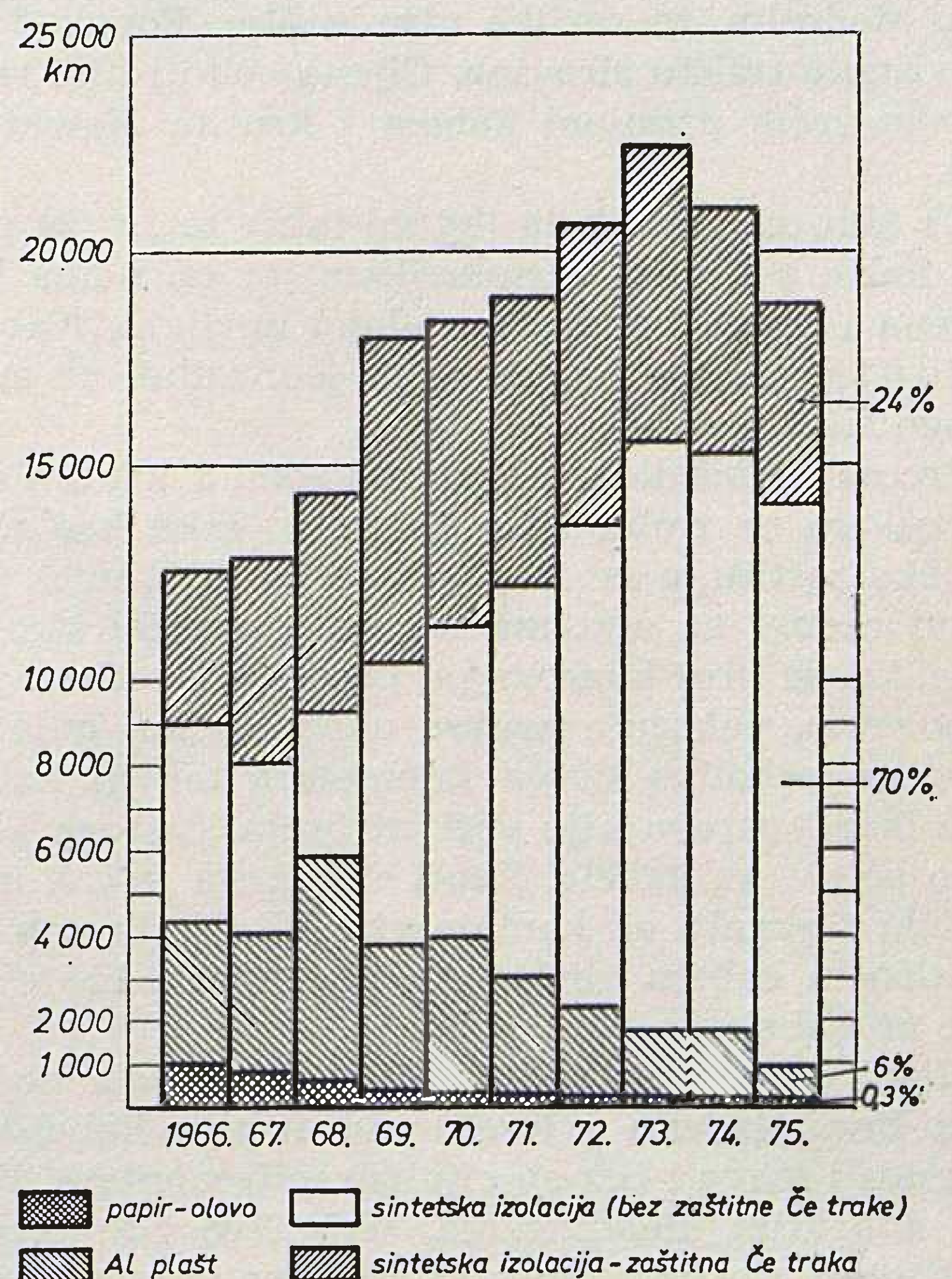
Pronalaskom plastičnih masa bilo je samo pitanje vremena kada će se pronaći sintetski materijal koji će po svojim osobinama odgovarati u proizvodnji kabela, koji će uz električne i mehaničke kvalitete biti i jeftin, a također olakšati i rad.

Plastična izolacija — kruti dielektrik počela je pomalo potiskivati klasičnu izolaciju za kabele (pa-

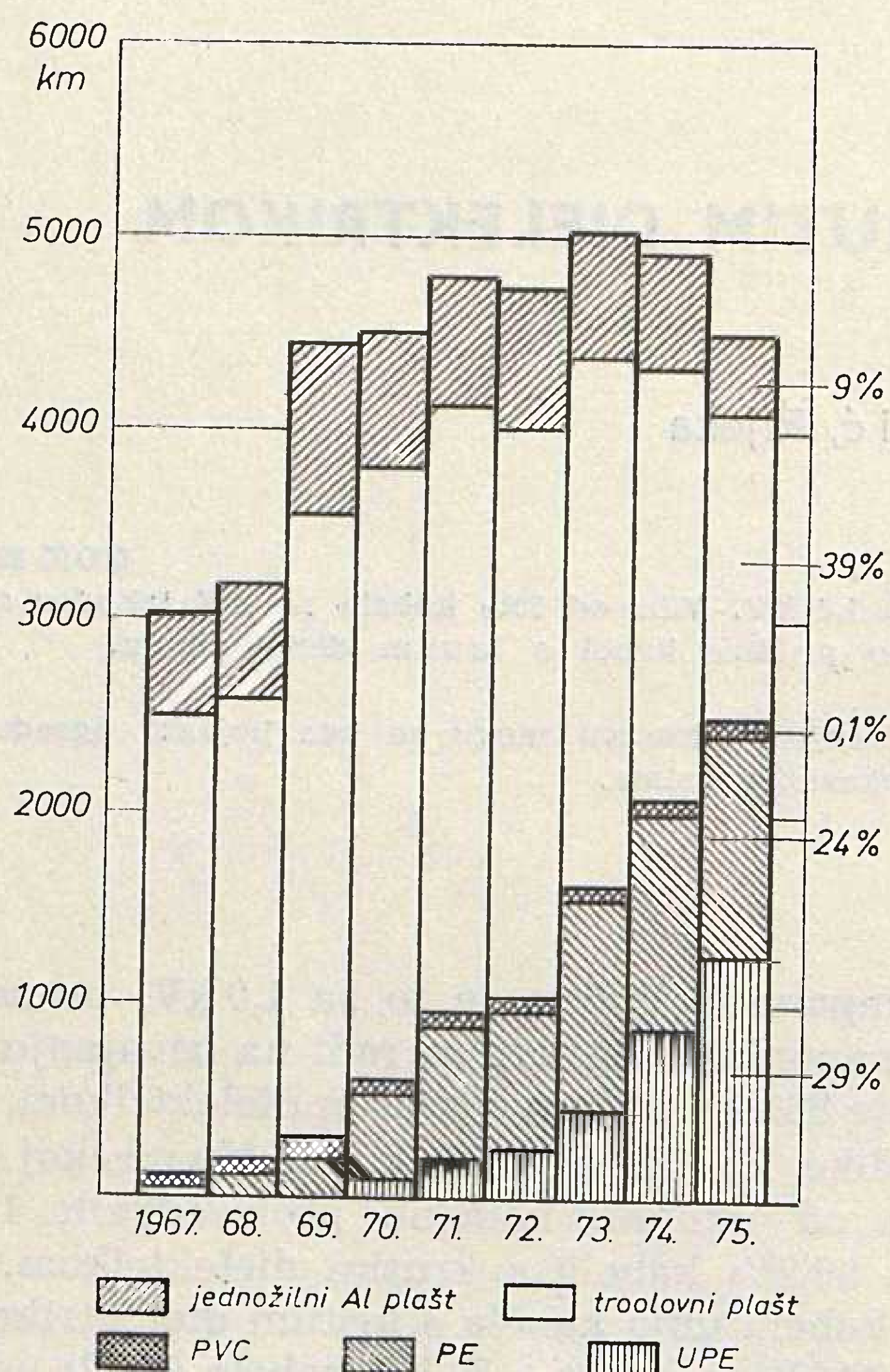
pir-kompaund). Počelo je to sa 1,0 kV, pa sa sve višim naponima. Upravo se radi na usvajanju proizvodnje 380 kV kabela s krutim dielektrikom.

Iz slike 1. vidi se da je u SR Njemačkoj 1975. godine od ukupne količine proizvedenih 1,0 kV kabela 99,7% kabela s krutim dielektrikom. Kod 10 kV kabela udio kabela s krutim dielektrikom je svega 23,0%, a za 20 ÷ 30 kV kabele (sl. 2) udio je već 52,0%.

Iz anketa UNIPEDA izlazi da su se sve zemlje članice, osim Belgije i Nizozemske, opredijelile za kabele s krutim dielektrikom za niski i srednji napon.



Sl. 1. Proizvodnja 1kV kabela u SR Njemačkoj po godinama



Sl. 2. Proizvodnja 20/30 kV Kabela u SR Njemačkoj po godinama

Očito je da kabeli s krutim dielektrikom po cijeni, kvaliteti, spojnom priboru a i za polaganje imaju neke prednosti pred klasičnim kabelima.

Kabeli s izolacijom od krutog dielektrika nešto su jeftiniji od klasičnih Pa — Pb (papir-olovo) kabela. Međutim, te razlike nisu velike. Ponekad je to ovisno o tržištu sirovina. Cijena očito i nije razlog sve većoj primjeni kabela s krutim dielektrikom.

Uz istu težinu kabela (kg/m) lakše se i brže polaže kabel s krutim dielektrikom jer on nema bitumena i krede kojima se radnici uprljaju. Kabeli od 10,0 kV naviše u pravilu su jednožilni, pa su i mnogo lakši (kg/m).

Prema njemačkom iskustvu kabeli s krutim dielektrikom ne trebaju Če (čeličnu) traku kao mehaničku zaštitu, a suvišna je i opeka ili štitnici, jer se svi radovi na cestama izvode u pravilu strojevima. Da se broj kvarova od građevnih radova nije povećao, pokazuje praksa u Njemačkoj gdje je položeno nekoliko tisuća kilometara takvih kabela, a broj kvarova nije veći od broja kvarova klasično položenih kabela. Kruti dielektrik je čak mehanički otporniji od kombinacije Pb-Če (kramp po plastičnom kabelu klizne ako nije udario baš okomito na kabel.

Nagli prodor podzemnih kabela i kabela uopće traži brzu, laganu i kvalitetnu izradu kabljskih spojnica i glava i bez specijaliziranih montera. Kabeli s krutim dielektrikom, uključivo SN, imaju kvalitetnu, serijsku tvornički izrađenu i atestiranu opremu, pa su već sada približno iste cijene tvor-

nički i ručno rađenih kabljskih spojnica ili glava. Izrada spojnice ili glave do 35 kV na kabelu s krutim dielektrikom mnogo je lakša od izrade iste takve spojnice ili glave na klasičnom uljnom kabelu, i uz pridržavanje uputa i spretnosti može je izraditi i osoba koja nije elektromonter. U skoroj budućnosti može se očekivati takva tehnika izrade kabljskog pribora za kabele do uključivo 110 kV. U Americi izrada pretfabricirane kabljske spojnice 132 kV traje ispod 5 h.

Naročito su povoljni kabeli s krutim dielektrikom kod većih visinskih razlika. Kod klasičnih Pa-Pb kabela, posebice kod viših napona, gdje su rjeđa ulja kompaunda, često su to neriješivi problemi. Kod kabela s krutim dielektrikom u takvim slučajevima nema problema.

Električne osobine sada krutih dielektrika koji se upotrebljavaju mnogo su bolje od izolacija papirom; tg δ i gubici u dielektriku višestruko su manji, pa i gubici, jalove, kapacitivne struje. To omogućuje polaganje mnogo dužih kabela, npr. drugih podmorskih dionica do udaljenih otoka do kojih se dosadašnjim klasičnim Pa-Pb kabelima i velikim kapacitivnim strujama nije moglo doći.

Moderne brizgalice s trostrukom ekstruzijom garantiraju kvalitetu proizvoda. Potrebna je pažnja u početku proizvodnje, a dalje je sve automatizirano, pa je čovjek u proizvodnji tek prisutan (danas tolerance odstupanja debljine izolacije obično iznose 0,1 mm i mnogo su povoljnije od preporuka IEC-a).

Razumije se da kruti dielektrici imaju i mana, o čemu će se još govoriti. Ipak, glavne su mane:

— premalo vremena u pogonu — neki smatraju da 15 godina nije dovoljno, a sva starenja izazvana umjetno ne mogu dati pravu sliku koliki je životni vijek takvog dielektrika;

— sirovina za izolaciju, naročito za najviše napone, mora biti laboratorijski čista, a uvjeti proizvodnje uzorno čisti;

— konstrukcija Pa-Pb kabela teže poljima 20,0 kV/mm, dok su maksimalna polja kod krutih dielektrika sada proizvedenih kabela 8,0 kV/mm, a teže prema 15,0 kV/mm. Za sada je lakše i sigurnije proizvesti kabel za najviše napone s dielektrikom Pa.

KRUTI DIELEKTRICI

Sada su najčešće sirovine za izradu izolacija iz krutih dielektrika:

- PVC (polivinilclorid)
- EPR (etilenpropilenrubber)
- PE velike gustoće (polietilen v.g.)
- PE male gustoće (polietilen m.g.),

a, konačno, moguće je vulkanizirati PE, pa dobijemo

UPE (mrežni polietilen).

Tablica 1.

Podaci o nekim izolacionim materijalima						
Izolacija		Kut gubitka $\tan \delta$	Dielektrična konstanta ϵ_r	Specifični otpor $+20^\circ\text{C}$	Dopuštena temperatura vodiča	
					Trajna	U kratkom spoju
				$\Omega\text{ cm}$	$^\circ\text{C}$	
PaPb	Impregnirani papir	$3,0 \cdot 10^{-3}$	3,7	10^{15}	65	155
PVC	Polivinilklorid	$50,0 \cdot 10^{-3}$	5,0	10^{15}	65	160
EPR	Etilen-Propilen Rubber	$4,0 \cdot 10^{-3}$	3,0	10^{16}	85	250
PE m.a	Polietilen male gustoće	$0,3 \cdot 10^{-3}$	2,3	10^{16}	70	150
PE v.g.	Polietilen velike gustoće	$0,5 \cdot 10^{-3}$			90	250
UPE	Umrežani polietilen	$0,3 \cdot 10^{-3}$	2,3	10^{16}	90	250

Polivinilklorid (PVC). Izolacija od PVC-a je jeftina, bez teškoća u proizvodnji, ali skromnih električnih kvaliteta: $\tan \delta \approx 50 \times 10^{-3}$, oko 15 puta lošija od izolacije Pa, a 100 puta od PE, što do 1,0 kV gdje se ti kabeli najviše upotrebljavaju ne čini poteškoće. Prodor UPE na područje podzemnih kabela 1,0 kV je i radi režima: »snabdijevanje pod svaku cijenu«, tj. u slučaju kvara jednog n.n. kabela opskrbljuju se potrošači drugim kabelom koji se preopterećuje, pa i uz kratkotrajno isušenje tla. Mogućnosti PVC-a su ograničene jer mu je trajna dopuštena temperatura $+65^\circ\text{C}$.

Etilen-propilen Rubber (EPR). To je izolacioni materijal odličnih električnih i mehaničkih osobina. Podnosi visoke temperature, otporan je na ultravioletne zrake, podatan je i mekan pa se lako polaže. Mnogo se upotrebljava za brodske kabele. Maksimalni napon za koji je sada izrađen kabel s takvom izolacijom jest 140,0 kV (Pirelli—Italija). Velika prednost EPR-a je da se u njemu praktički ne stvaraju, bolje reći ne šire mikrošupljine, pa je pogodan za izradu podmorskih kabela. Mnogo se je upotrebljavao u SAD (1974. godine 28%, 1976. godine 9% svih proizvedenih n.n. i SN kabela). Sada ga potiskuje UPE, i to možda zbog nešto boljih električnih karakteristika i niže cijene.

Polietilen male gustoće (PEmg). Ovaj izolacioni materijal odličnih električnih osobina mnogo se upotrebljava, no zbog boljih toplinskih karakteristika potiskuje ga UPE. Dozvoljeno trajno opterećenje vodiča izoliranog PE male gustoće je 70°C , a u slučaju kratkog spoja 150°C . Plastičan je, topi se i gori. Lako se dobije čist, nema aditiva, nema problema s umreženjem; pogodan je za najviše napone i ima ga već oko 200 km 225 kV u pogonu.

Polietilen velike gustoće (PEvg). Navodi se u literaturi kao odličan izolacioni materijal. Njime se rade kabeli do 60 kV. Međutim, nigdje nije navedeno da neki evropski proizvođač radi kabele s tom izolacijom,

Umreženi polietilen (UPE). Dobiva se vulkanizacijom PEmg. Električne osobine su mu iste kao i PEmg, termički je bolji, ne gori i ne curi.

Na području 1,0 kV radi termičkih osobina potiskuje PVC, a neke zemlje ga isključivo i upotrebljavaju na n.n. (SAD, Engleska). Zračne mreže n.n. se sve više i više rade s izoliranim vodičima iz UPE i tu je bez konkurenta, naročito zbog postojanosti na ultravioletne zrake i trošenje.

Na srednjem i visokom naponu sve više potiskuje PE, za sada do 170 kV (Sieverts — Švedska) zbog mogućeg termičkog opterećenja.

Iz do sada navedenog o izolaciji vidi se da je sve veća primjena krutih dielektrika u proizvodnji kabela i kod najviših napona. U tome je očita prednost UPE-a.

Na razvoju izolacija još se uvijek radi, pa nije isključeno da se pojave nove, sada nepoznate izolacije s još boljim osobinama.

Sirovina za proizvodnju PE je nafta. Niska cijena nafte, pa i PE imala je za posljedicu veću potražnju od raspoloživih kapaciteta i nagli razvoj petrokemije. Arapskim bojkotom 1973. godine u isporuci nafte i povećanjem cijena naglo je pala potražnja za proizvodima petrokemije do 1975. godine, kada je opet nastavljen prijašnji trend potražnje.

Iz tablice 2. vidi se da je proizvodnja polietilena u stalnom porastu.

Tablica 2.

SVJETSKA PROIZVODNJA PETROKEMIJE			
Godina	Ukupno 10^6 tona	Polietilen	
		10^6 tona	%
1960.	6,8	1,0	14,8
1965.	14,2	3,2	22,8
1970.	29,2	7,5	25,4
1975.	38,0	12,4	32,6

Tablica 3.

UPOTREBA POLIETILENA MALE GUSTOĆE U SR NJEMAČKOJ 1974. GODINE		
Prerađevina	10^3 tona	%
Folije	520,0	73,6
Ekstruzija	186,0	26,4

Iz tablice 3. vidi se u koje svrhe se najviše upotrebljava PE male gustoće. Potrebno je napomenuti da se iz stavke folije $165,0 \times 10^3$ tona, odnosno 23,4% upotrebljavaju kao listovi za ambalažu i vrećice. U stavki ekstruzija se $27,0 \times 10^3$ tona, odnosno 3,8% odnosi na izolaciju za kabele.

Polietilen m.g. se proizvodi kontinuirano kod tlaka $1\,000 \div 5\,000$ at i temperature $150 \div 400^\circ\text{C}$ a

katalizatori su razni peroksidi ili čisti kisik. Takav PEmg se uz dodatak antioksidanta granulira i spreman je za proizvodnju izolacije. Sadrži neznatne količine vode (0,04%) i male količine plinova (etilena, etana, butana), koji utječu na kvalitetu izolacije.

PEmg se lagano prerađuje, nije krut i nema mnogo unutrašnjih naprezanja, pa se kod prerade stvara manje mikrošupljina; otporan je na parcijalna izbijanja i na ultraviolettne zrake. PEmg ima razgranatu strukturu lanaca; između lanaca su i poneki poprečni lanci. Na mikroskopu se vidi da su lanci stvarno spiralno poredane kugle koje su sastavljene od prostorno raspoređenih malih kristala.

Polietilen v.g. mnogo se manje upotrebljava (u SR Njemačkoj 1975. godine proizvedeno je 276 000 t PEvg, a 1974. godine 704 000 t PEmg). U literaturi se spominje da se upotrebljava za izolaciju kabela do 60 kV, ali se to iz statistika ne vidi. Sigurno je da se, barem u Evropi, ne upotrebljava mnogo.

Polietilen v.g. se proizvodi kod tlaka $30 \div 40$ at i temperature $50 \div 180^\circ\text{C}$ uz katalizatore organske spojeve aluminijske ili kromov oksid. U kontinuiranom procesu proizvodnje taloži se kao prah koji se pere i prosijava (što je prednost prema PEmg). Ostaci katalizatora koče veću primjenu PEvg kao dielektrika. Nedugo je riješeno odstranjivanje katalizatora industrijski, pa nema zapreke upotrebe PEvg kao izolacije.

PEvg ima male krake lance s malo poprečnih lanaca. Razmaci između pojedinih lanaca su maleni.

Iz tablice 1. vidi se da se PEmg i vg električki vrlo malo razlikuju. Toplinski je PEvg mnogo bolji i s njime nema problema »tečenja«.

Proizvodnja dovoljno čiste sirovine za kabelsku izolaciju lakša je i jednostavnija kod PEmg.

Bilo bi idealno proizvesti materijal s dobrim osobinama jednog i drugog PE, a bez njihovih mana. Tome se najviše približava UPE.

PEmg se umrežuje kemijski ili zračenjem. Dodatkom peroksida koji se pri zagrijavanju raspada

na kisik i slobodne radikale, nastaju kemijski mostovi između molekula PEmg, dolazi do umreženja, odnosno vulkanizacije. Isto se može postići zračenjem, što se rijetko upotrebljava u proizvodnji kabela, a češće u proizvodnji kabelskog pribora (toploskupljajuće kabelske glave i cijevi).

Takva izolacija ima prednosti PEmg: lagana je industrijska proizvodnja dovoljno čistog materijala za izolaciju, male je specifične težine, pa je i manja opasnost da se u proizvodnji objesi, ima dobre električne karakteristike, a i osobine PEvg: podnosi veće temperature, ne mijenja oblik, ne deformira se i ne »teče«. Mane UPE jesu: oslobađanje štetnih produkata peroksida, stvaranje mikrošupljina od plinova koji nastaju razgradnjom peroksida, nepotpuno umreženje.

Iz do sada iznesenog vidi se da se sa PEmg lakše i brže rješavaju problemi za više napone. Zatim slijedi UPE, koji ima nekih prednosti kao izolacija kabela.

KVAROVI

Svi kvarovi na kabelima s krutim dielektrikom razvili su se na mjestu loše izrađenog kabela, na mjestu nečistoća, šupljina ili pukotina u izolaciji.

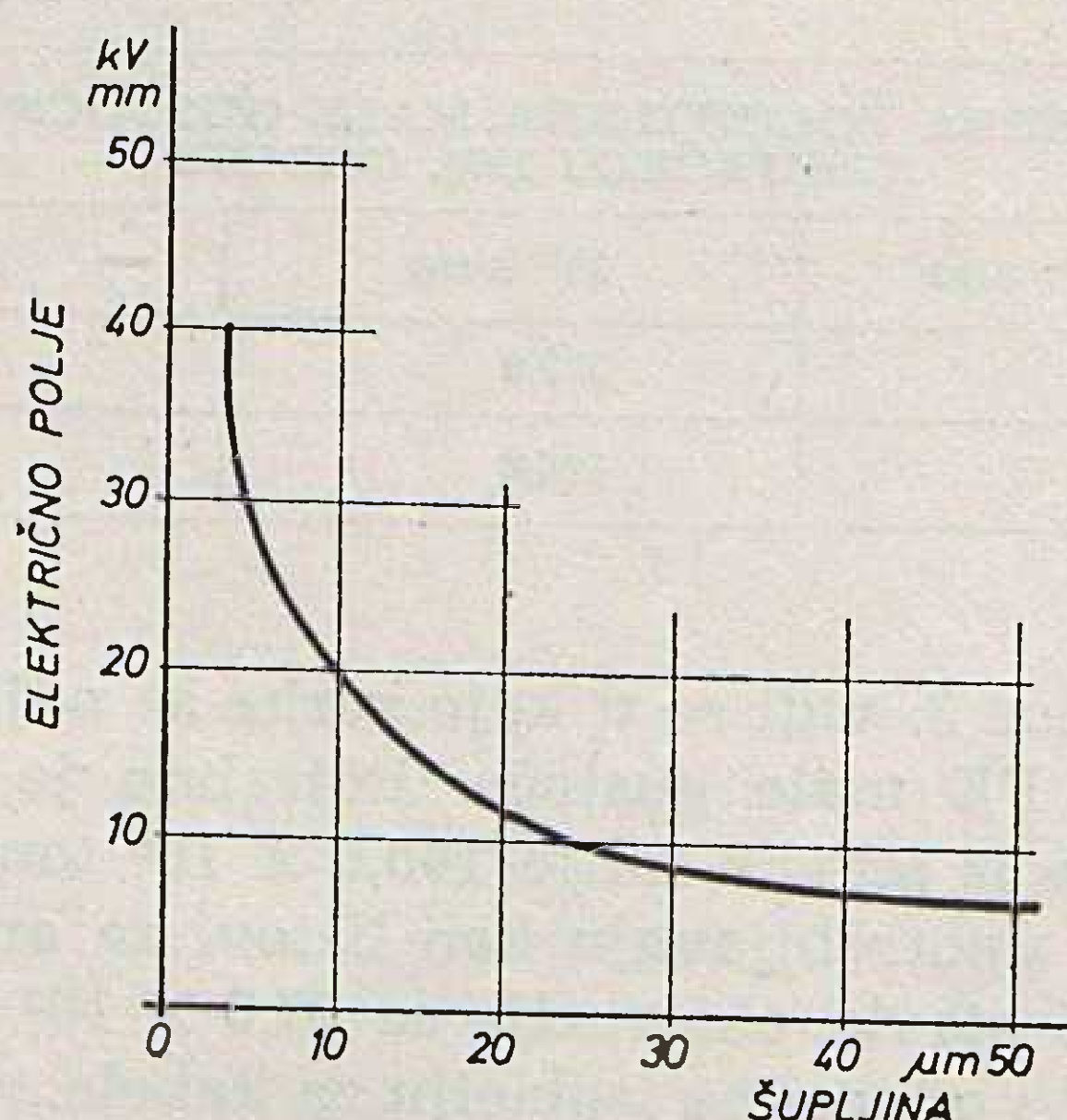
Naročito je važno da poluvodljivi sloj uvijek dobro prijanja na vodič i izolaciju. Odvajanje poluvodljivog sloja uzrokuje tinjanja i pražnjenja, širenja kvara na susjednu izolaciju i konačno proboj izolacije na tom mjestu. Odgovarajuća kvaliteta poluvodljivih slojeva postiže se pravilnim izborom mješavina (koja se moraju čvrsto povezati između sebe) te jednoličnošću mješavine.

Osim izbora kvalitetnog dielektrika, potrebna je i čistoća materijala. Praksa je pokazala da nečistoće i šupljine do $80\mu\text{m}$ ne utječu na kvalitetu kabela do 70 kV, a do $50\mu\text{m}$ za 225 kV kabele. Kemijske tvornice, proizvođači izolacije isporučuju sirovinu za izolaciju potrebne čistoće (clean i super clean), pa tu nema problema. Prilikom umreženja PE peroksidi se raspadaju i oslobađa se kisik, a stvaraju se i drugi plinovi. Za kvalitetan kabel naročito je važan režim hlađenja, tj. odgovarajuća dužina puta: ekstruzija — umreženje — hlađenje. Potrebno je napomenuti da su dilatacije PE od plastičnog do krutog stanja oko 20%. Ako imamo na umu da hlađenje izolacije počinje uvijek s vanjske strane, onda je jasno da je potreban takav režim hlađenja kod kojeg neće doći do unutrašnjih naprezanja i pukotina na izolaciji.

Mikrošupljine u izolaciji i njihovo širenje mogu nastati zbog električkih, elektrokemijskih i kemijskih razloga.

Električki kvarovi na izolaciji krutog dielektrika nastaju zbog nečistoća i mikrošupljina u izolaciji ili greške na spoju ekran — izolacija.

Elektrokemijski kvarovi nastaju zbog dodira krutog dielektrika s vlagom uz električno polje, a kemijski zbog korozije Cu vodiča (Cu_2S) ako je



Sl. 3. Probojna čvrstoća UPE u ovisnosti o promjeru mikrošupljina (prema: kojimi)

proizvođač kabela na području s jakim zračnim zagađenjem.

Kod početnih neispravnosti na izolaciji dolazi do tinjavog pražnjenja u mikrošupljini. Tlak u mikrošupljini po nekim autorima naraste i na 20 atm. Prema Patschenovom zakonu bilo bi još sve u redu; ta tinjava pražnjenja pod tlakom još ne ugrožavaju izolaciju. Zbog prodiranja u susjedne neoštećene dijelove izolacije dolazi do pada tlaka i proboja — oštećenja i kvar se postepeno širi.

Prema izgledu kvara u izolaciji razlikujemo kvarove koji sliče na:

- drveće (tree-like, arbre, wasser böumchen), sl. 4.a
- grmlje (bush-like, buisson, busch formig), sl. 4.a
- kravate (bow-tie-trees, éventail).

Čitava materija nije još do kraja istražena. Prema dosadašnjim spoznajama razvoj mikrošupljina u izolaciji u obliku:

- drveća uzrokovan je vlagom;
- grma ili kravate nečistoćama ili mikrošupljina (mikrošupljine u obliku kravate navodno ne utječu na kvalitetu i vijek kabela;
- čička ili koralja (chardon, corail) nastale su iz kemijskih razloga.

Kakav god bio početni razlog za daljnji rast kvarova, potrebno je da je kabel pod naponom, tj. električno polje.

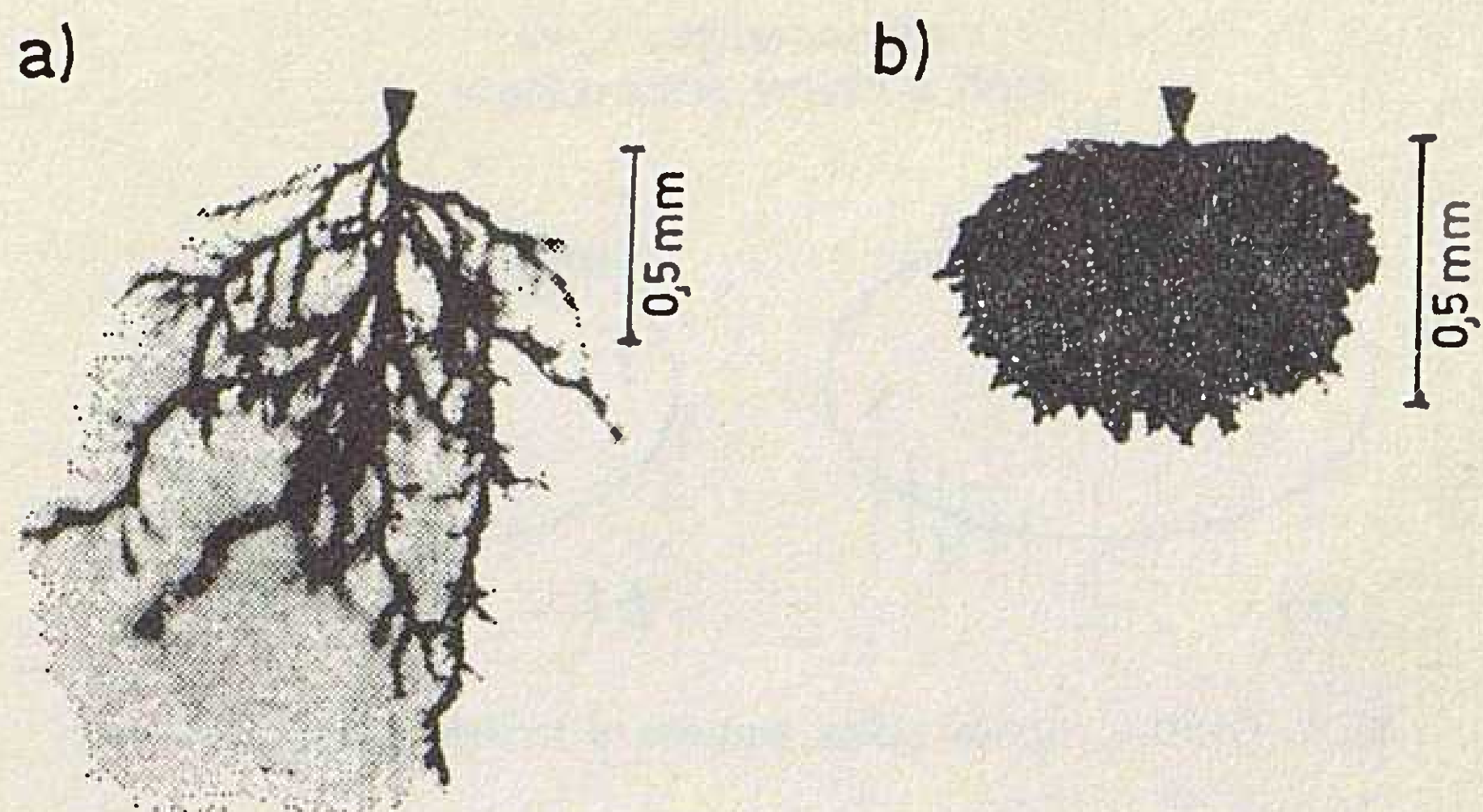
Pošto su navedeni kvarovi koji mogu nastati na kabelima s izolacijom kruti dielektrik izrađenih ekstruzijom, postaje jasno da je za tako izrađen kvalitetan kabel potrebna naročito čista sirovina, uzorno čisti uvjeti rada, riješeni svi problemi homogenosti mješavine i pravilne tehnologije.

Svi ti problemi danas su s uspjehom riješeni i proizvedene su velike količine kabela s krutim dielektrikom, a i položene s odličnim rezultatima.

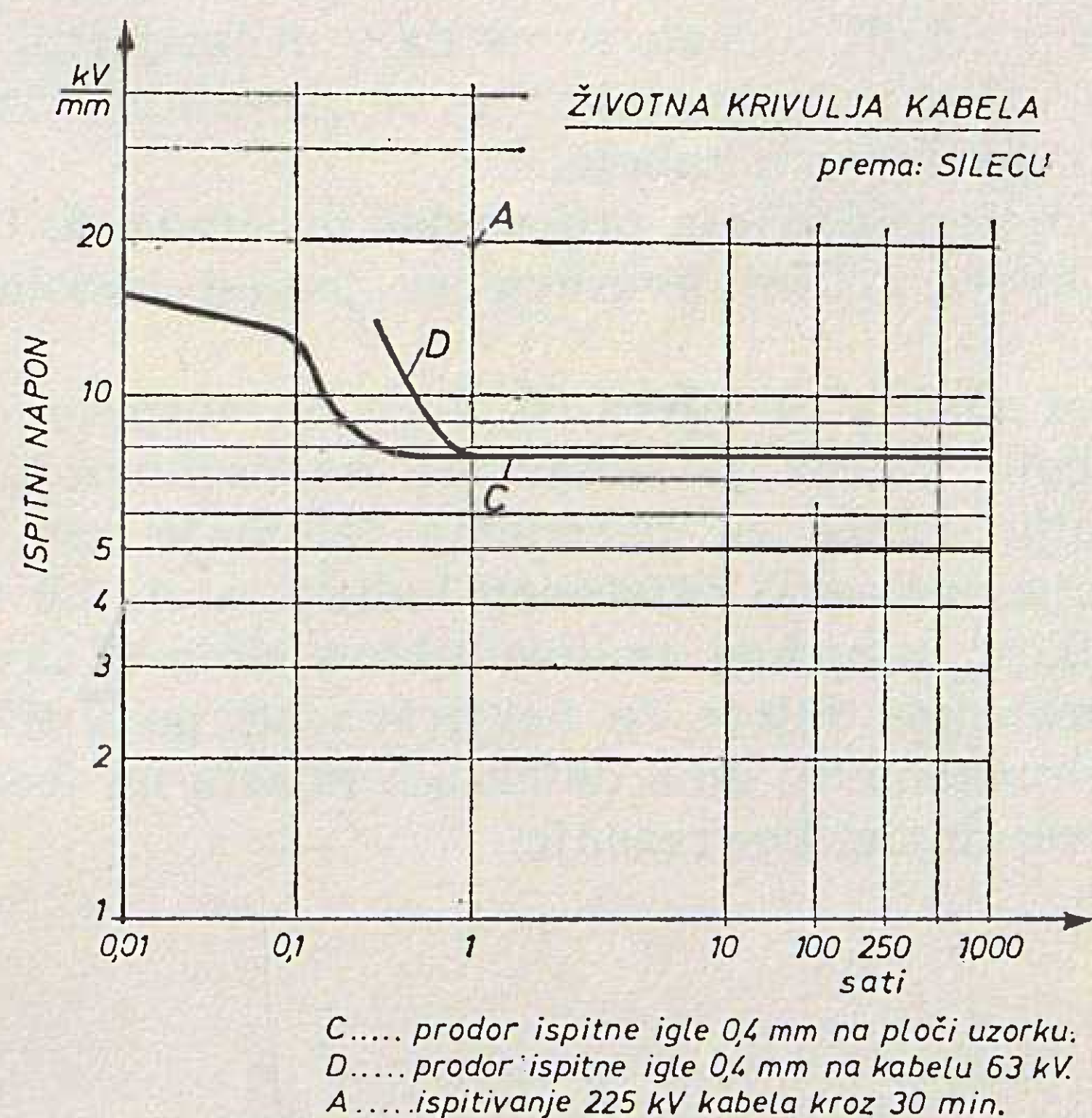
DODATNA ISPITIVANJA

Očito je da se uz uobičajena ispitivanja za uljne kabele PE kabele moraju još ispitati s nekim dodatnim mjerjenjima.

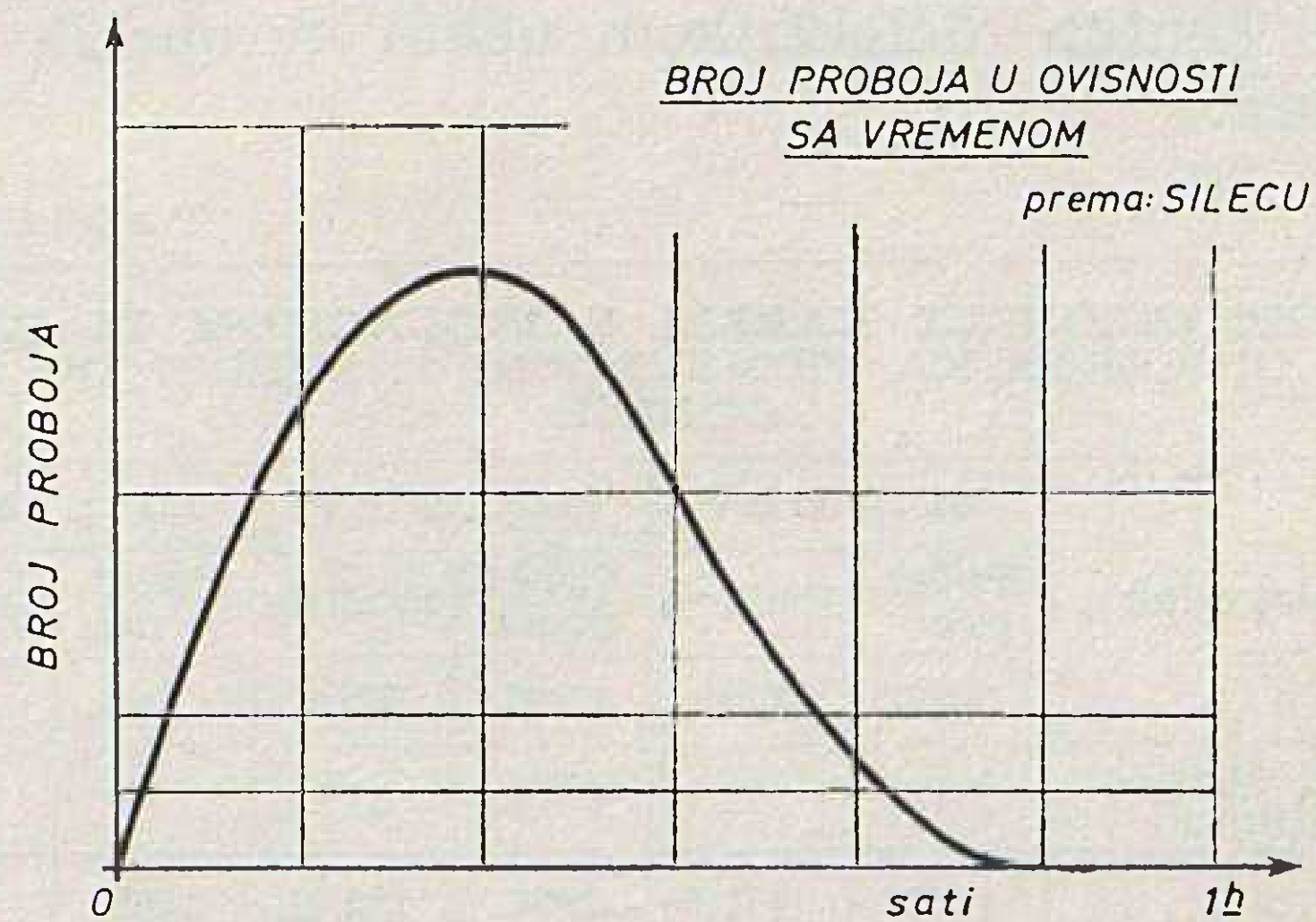
Pojedini proizvođači kabela tvrde da se i uz najveću čistoću ne može spriječiti da kod serijske proizvodnje takvih kabela u izolaciju ne dospije krupna nečistoća rada $0,2 \div 0,4$ mm. Razumije se da je to mjesto kvara kod VN kabela. Zato neki proizvođači svaki bubanj kabela stave 30—60 minuta pod napon $1,8 \div 2,2$ U (50 Hz), tj. oko 20 kV/mm. Takav prenapon ne škodi kabelu u pogonu, kako se to vidi iz slike 5, a time se eliminiraju sve grube greške u proizvodnji kabela koji je građen i u pogonu s poljem od oko 7,5 kV/mm.



Sl. 4.



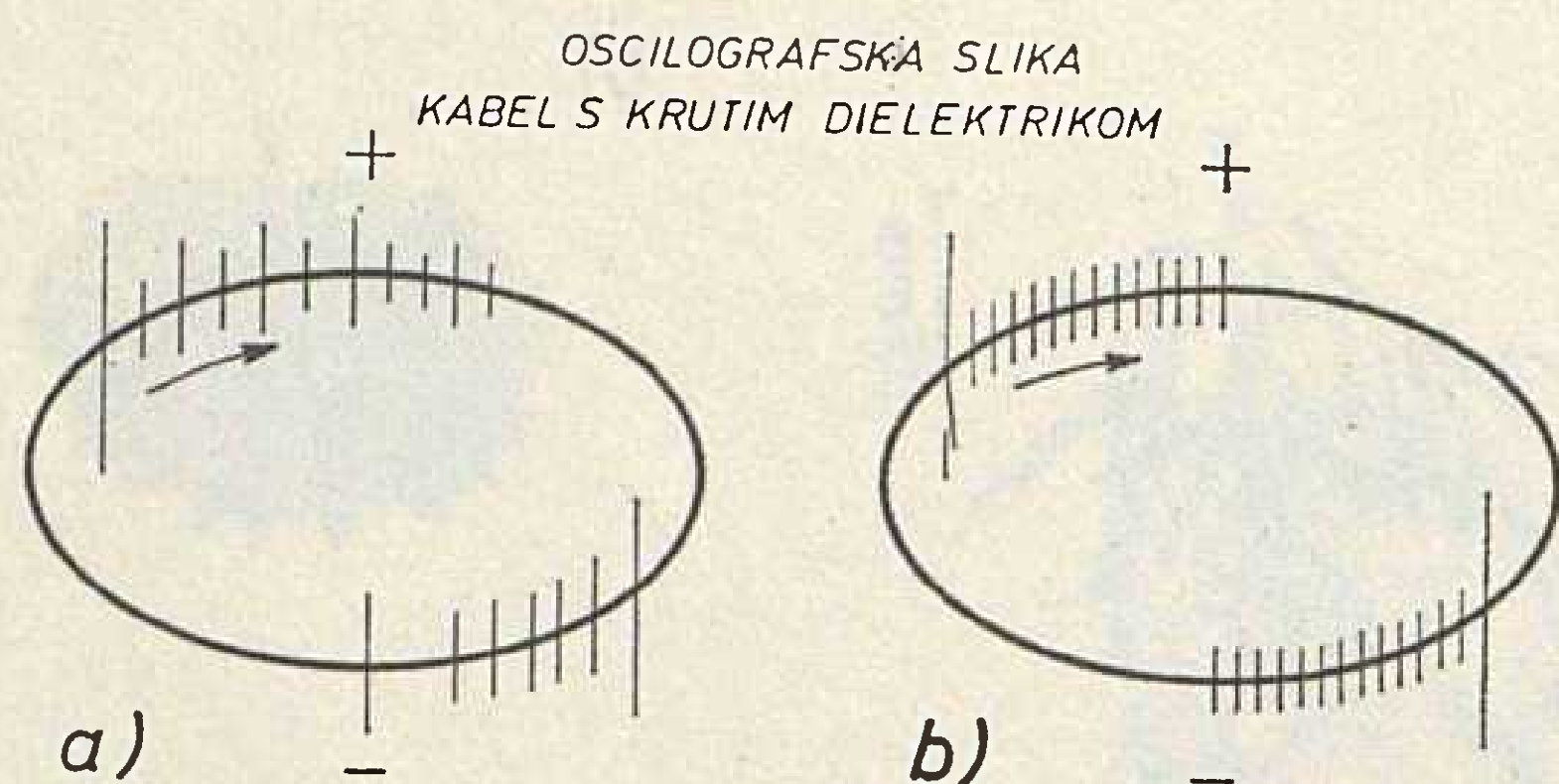
Sl. 5.



Sl. 6.

Iz slike 6. vidi se da se sve te grube greške eliminiraju unutar 1 h. Elektroprivreda Francuske na takav način i preuzima 225 kV kabele, tako da za 1 h stavlja te kabele pod napon od 280 kV. Ako od 5 tako ispitanih bubnjeva probije jedan, smatra se da je kabel ispravan.

Osim toga, takvi se kabeli ispituju i na parcijalna izbijanja. Preporuke IEC-a kažu da parcijalna izbijanja kod takvih kabela moraju iznositi ispod



Sl. 7. Oscilografska slika kabela s krutim dielektrikom

20 pF; naši proizvođači kabela proizvode 35 kV kabele s krutim dielektrikom s parcijalnim izbijanjima ispod 4,0 pF, a često se ne daju ni izmjeriti, jer je veći utjecaj smetnji okoline od parcijalnih izbijanja u ispitivanom kabelu.

Parcijalna izbijanja proizvođačima upućuju i na vrstu kvara i broj kvarova na jednoj kabelskoj dužini.

Dana su dva primjera (sl. 7.a i b) neispravnosti na kabelu. Elipsa je slika vala na oscilografu, a vertikalne crtice su parcijalna izbijanja. Sl. 7.a pokazuje oscilograf oštećenog kabela, a sl. 7.b nejednolikost vanjskog poluvodljivog sloja. Takvim instrumentima mjere se neispravnosti po 2 pC, a može se ustanoviti do 5 defektnih mjesta na jednoj kabelskoj dužini bez rezanja.

VISOKONAPONSKI KABELI S KRUTIM DIELEKTRIKOM

U tablici 4. dane su proizvedene dužine VN kabela s krutim dielektrikom nekih evropskih proizvođača.

Tablica 4.

VISOKONAPONSKI KABELI S IZOLACIJOM IZ KRUTOG DIELEKTRIKA PROIZVEDENI U EVROPI DO 1976. GODINE						
Proizvođač	61 ÷ 90 kV		91 ÷ 150 kV		151 ÷ 225 kV	
	Počet. proiz.	Dužina	Počet. proiz.	Dužina	Počet. proiz.	Dužina
	God.	Km	God.	Km	God.	Km
Kabel draht Mannheim	1975.	105,04	1973.	11,15		—
Silec	1962.	761,60	1968.	188,41	1969.	190,19
Pirelli		131,28		1,60		—
AEG	1972.	0,11	1973.	7,39		—
Sieverts	1970.	723,48	1973.	171,56	1976.	3,60
Ukupno		1 721,51		380,11		193,79
Sveukupno						2 293,41

Preko 2 000 km proizvedenog i ugrađenog kabela ipak nešto znače. Zanimljivo je da se iz narudžaba vidi da korisnici najprije naruče malu ispitnu količinu kabela, često i manju od 100 m, a

nakon toga slijede narudžbe i do tridesetak kilometara.

Prema prikupljenim podacima, ovog časa u Evropi ima 5—10 proizvođača VN kabela s krutim dielektrikom. Niz tvornica se priprema za proizvodnju takvog kabela i može se računati da će do 1980. godine oko 20 tvornica u Evropi proizvoditi VN kabele s krutim dielektrikom.

Kabelske glave i spojnice rade se za 225 kV lijevanjem, tj. istom tehnikom kao što se proizvodi i kabel. Za sve ostale niže napone rade se bandžiranjem traka koje se poslije vulkaniziraju. Obično su spojnice iste debljine kao kabel i nema nikakve posebne dodatne zaštite preko spojnice. Kabelske glave se već rade s prefabriciranim deflektorima, a u SAD se poboljšava prefabricirana kabelska spojica za 132 kV. Sigurno će i prefabricirani elementi i toplo skupljajuće cijevi iz područja SN kabela prodrijeti u domenu 110 kV kabela. Procjenjuje se da je sada na VN u pogonu oko 4 000 kom kabelskih spojnica i 6 500 kabelskih glava. Jedan od proizvođača kabela ističe da na preko 1 000 km ugrađenog VN kabela, preko 1 500 komada kabelskih spojnica i 3 000 komada kabelskih glava nije imao ni jedan defekt u pogonu.

Potrebno je istaknuti da su kabeli s krutim dielektrikom 63,0 kV u pogonu već više od 17 godina, a 10 godina kabeli 225,0 kV. Dakle, postoji već neko iskustvo u pogonu, a sva ispitivanja uzoraka kabela iz pogona i novih kabela na starenje ne pokazuju nikakve promjene.

Konačno, 380 kV kabel s PE izolacijom već se preko 40 000 sati ispituje s naponom $\sqrt{3}$ puta većim u 380 kV mreži, dakle sa svim atmosferskim i pogonskim prenaponima.

ZAKLJUČAK

Kabel s krutim dielektrikom potpuno je potisnuo sve ostale izolacije na 1,0 kV; na SN je preko polovine proizvedenih kabela s izolacijom iz krutog dielektrika s trendom daljnjeg rasta i potpunog potiskivanja drugih kabelskih izolacija; u području VN od 61 kV naviše kabel s krutim dielektrikom također naglo prodira, s očitom tendencijom da potisne sve ostale vrste kabela. To najbolje potvrđuje sve veća godišnja proizvodnja takvih kabela, izgradnjom odgovarajućih tvorničkih kapaciteta prema potpunom zastoju u izgradnji kapaciteta za kabele s drugim izolacijama.

Ulazimo u treću fazu elektrifikacije, tj. u urbanu cjelinu treba ući sa 110 kV kabelima (negdje u inozemstvu već i sa 220 kV). U gusto izgrađenim naseljima gotovo je nemoguće pronaći trasu za zračni vod. Urbanisti i zaštita čovjekove okoline više i nisu voljni da olako odobravaju trase zračnih vodova u gradu. Već postojeća opterećenja, a pogotovo buduća, zahtijevaju da se s trafostanicama 110/...kV uđe u najuži gradski centar, u težište

konzuma s kabelom. Sigurno je da će kabela 110 kV biti sve više i da će u bliskoj budućnosti i kod nas biti uobičajeni kao sada 35 kV kabeli.

Jednostavna, pouzdana i kvalitetna izrada spojeva i završetaka kod 110 kV kabela s krutim dielektrikom, pogotovo skorim osvajanjem prefabriciranog pribora velika su prednost takvih kabela. Pri tome nije zanemarivo kraće vrijeme izrade i potreba za manjom kvalifikacijom, odnosno obukom montera. Velika je prednost takvog kabela i jednostavno svladavanje najvećih visinskih razlika.

Vrijeme »dječjih bolesti« kabela s krutim dielektrikom jest prošlost, što se tiče sirovina, konstrukcije i tehnologije. To što su već 10—15 godina u pogonu bez kvarova i ikakvih znakova starenja dokaz je da imaju vijek od 30 godina, za koje vrijeme se obično računa i amortizira mreža jednog grada, pa nema razloga pretjeranim strahovanjima i oprezu kod izbora 110 kV kabela.

LITERATURA

1. SILEC — Influence de défauts courants sur la tenue électrique de cables THT izoles au polyethylene.
2. Polyolefine Dr W. Dörrscheidt — Gelsenkirchen-Buer i suradnici Kunststoffe 66 (1976) 10.

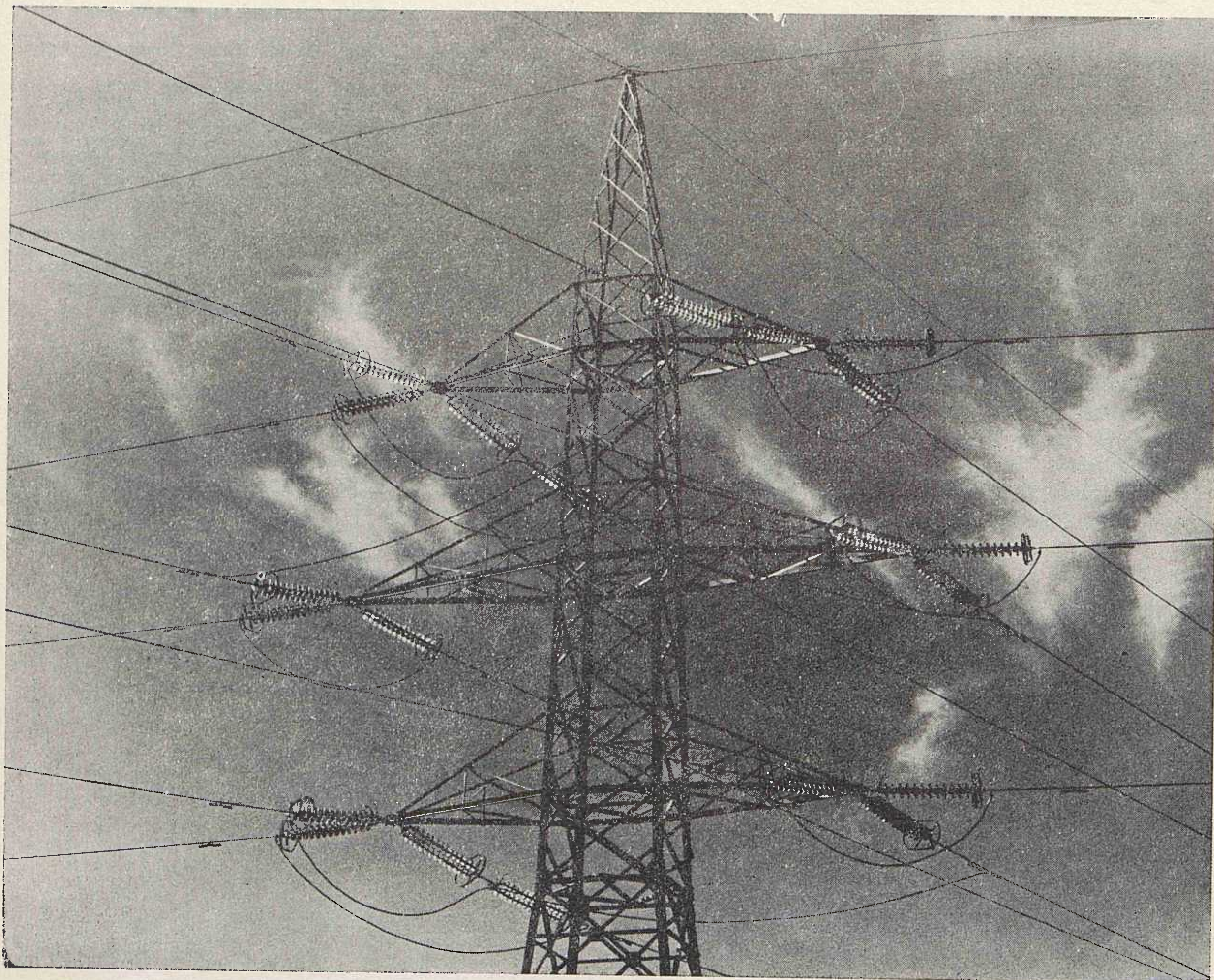
3. E. Pavrie: Cables Haute Tension au Polyéthylène, RGE 85—9/1976.
4. J. N. Demay, J. C. Bobo: Cables Haute Tension au Polyéthylène, RGE 85—9/1976.
5. Prof. Dr. Ing. G. Wanser — Langenhagen: Kabel, Leitungen und Zubehör, Elektrizitätswirtschaft 75 (1976) 14.
6. Dipl. Ing. G. Löffelmacher — Hannover: Der in Teilentladungskanälen in Polyäthylen entstehende Gasdruck und sein Einfluss auf die Kanalentwicklung, ETZ — A96 (1975) 3.
7. Dr rer. nat. Heinz Heumann — Mönchengledbach: 75 Jahre technische Entwicklung von Starkstromkabeln, Elektrizitätswirtschaft 75 (1976) H 20.
8. Die Bedeutung der Teilentladungsmessung für Erkennung von Störstellen bei kunststoffisolierten Mittelspannungskabeln J. Beinert — Berlin i suradnici Elektrizitätswirtschaft 76 (1977) 26.
9. Izvještaji i ankete UNIPEDE.

HIGH VOLTAGE CABLES WITH HARD DIELECTRICS

The hard dielectrics cables have subdued other kinds in the 10 kV range. Over 50% of the middle voltage cables are those featuring hard dielectric and are on the rise. The high voltage hard dielectric cables are coming to the force. Of all the other dielectrics UPE has been proved the best. In the world as well as here, the need for 110 kV cables is growing. According to today's experience, the cables with hard dielectric can be applied without fear because they have done well in 10—15 years of practice.

Naslov pisca:

Branko Mrakovčić, dipl. ing.
»Elektroprimorje« Rijeka



Svojim suradnicima i čitateljima

Sretnu i uspješnu 1980. godinu

želi UREDNIŠTVO

PODLOGE ZA VREDNOVANJE I IZBOR 110 kV KABELA

Branko Tokić, Zagreb

UDK 621.315.2

Autor je nastojao prikazati i rasvijetliti neke osnovne dileme pri donošenju odluke kakav 110 kV kabel treba odabrati odnosno da li odabrati kabel s izolacijom koju pruža moderna tehnologija ili uljni kabel. Istovremeno su tijekom izlaganja razmotreni i proanalizirani neki osnovni problemi u vezi s vijekom trajanja kabela s krutim dielektricima, kao što su treeing-efekti, utjecaj defekata u kabelima i sl., koji su u novije doba čest predmet diskusija. Dani su ukratko i rezultati ispitivanja kabela u institutu WALTZ MILL te iscrpan popis upotrijebljene literature.

UVOD

Zbog sve veće važnosti koju imaju ili će imati visokonaponski kabeli, posebno oni od 110 kV, u našim prijenosnim i distribucionim sistemima ovdje je učinjen pokušaj sagledavanja najbitnijih kriterija presudnih pri donošenju odluke kakav kabel, u širem smislu riječi, odabrati prilikom projektiranja tih sistema. Može se naime, očekivati da u roku od 3 godine dobijemo i domaći 110 kV kabel, pa je stoga pitanje spomenutih kriterija još važnije, jer bi trebalo pomoći u orijentaciji.

Ovaj napis treba, dakle, smatrati skromnim doprinosom u donošenju smjernica za odabiranje kabela visokih napona radi kupnje i ugradnje, ali i radi donošenja odluke o vrsti kabela koji će se ubuduće proizvoditi.

1. KABELI KOJI DOLAZE U OBZIR ZA MREŽU 110 kV

1. 2. Moderni kabeli

1. 3-žilni uljni kabel — s niskim pritiskom ulja
2. 3-žilni uljni kabel — s visokim pritiskom ulja
3. 3-žilni plinski kabel — s Al-plaštom (ili od Al-legure)
4. 3-žilni plinski kabeli — u čeličnoj cijevi.

Kako su kabeli pod 2 i 4 mnogo skuplja varijanta od kabela pod 1 i 3, ovdje ćemo ih odmah izuzeti iz razmatranja, jer iako daju, posebno oni pod 4, odlične rezultate, nemaju, po mome mišljenju, tehničko-ekonomskog opravdanja u našim uvjetima, osim za specijalne svrhe, odnosno za vrlo visoke napone.

Zato ćemo usporediti kabele pod 1 i 3.

Razlika njihovih konstrukcija jest u mediju kojim je natopljen »nosivi« izolacioni papir, a to je ulje ili dušik.

Iako kabel punjen dušikom ne zahtijeva tankove i cjevovode kao uljni, ipak preteže mišljenje da

je uljni kabel (pod 1) zapravo kabel s najpovoljnijim odnosima:

— cijena/svojstva i sigurnost/efikasnost, ako se ne zahtijeva prevelika visinska razlika krajeva (veća od otprilike 200 m).

Zbog toga ćemo pri daljnjem rasuđivanju kriterija za izbor 110 kV kabela uzeti kao reprezentanta klasičnih kabela uljni kabel s niskim pritiskom ulja.

1. 2. MODERNI KABELI

1. 1-žilni kabel izoliran naponski stabiliziranim termoplastičnim polietilenom
2. 1-žilni kabel izoliran nepunjenim umreženim polietilenom
3. 1-žilni kabel s punjenim umreženim polietilenom*
4. 1-žilni kabel izoliran s etilen propilenom*.

Isto kao i kod klasičnih kabela, izabrat ćemo reprezentanta među modernim kabelima. Kako se ovdje radi o kabelima približno iste konstrukcije i cijene (pa i strujne cijene, osim kabela pod 1), a zanemarujući za početak razlike u njihovim performansama, odabrat ćemo kabel izoliran umreženim polietilenom, dok će njihova međusobna usporedba biti dana kasnije.

2. USPOREDBA KABELA U KABELSKOJ TRASI

Ovdje je dan odnos cijene na bazi stvarnih cijena u istom momentu i za točno određenu kabelsku trasu i pripadajuće električne i ostale prilike u mreži.

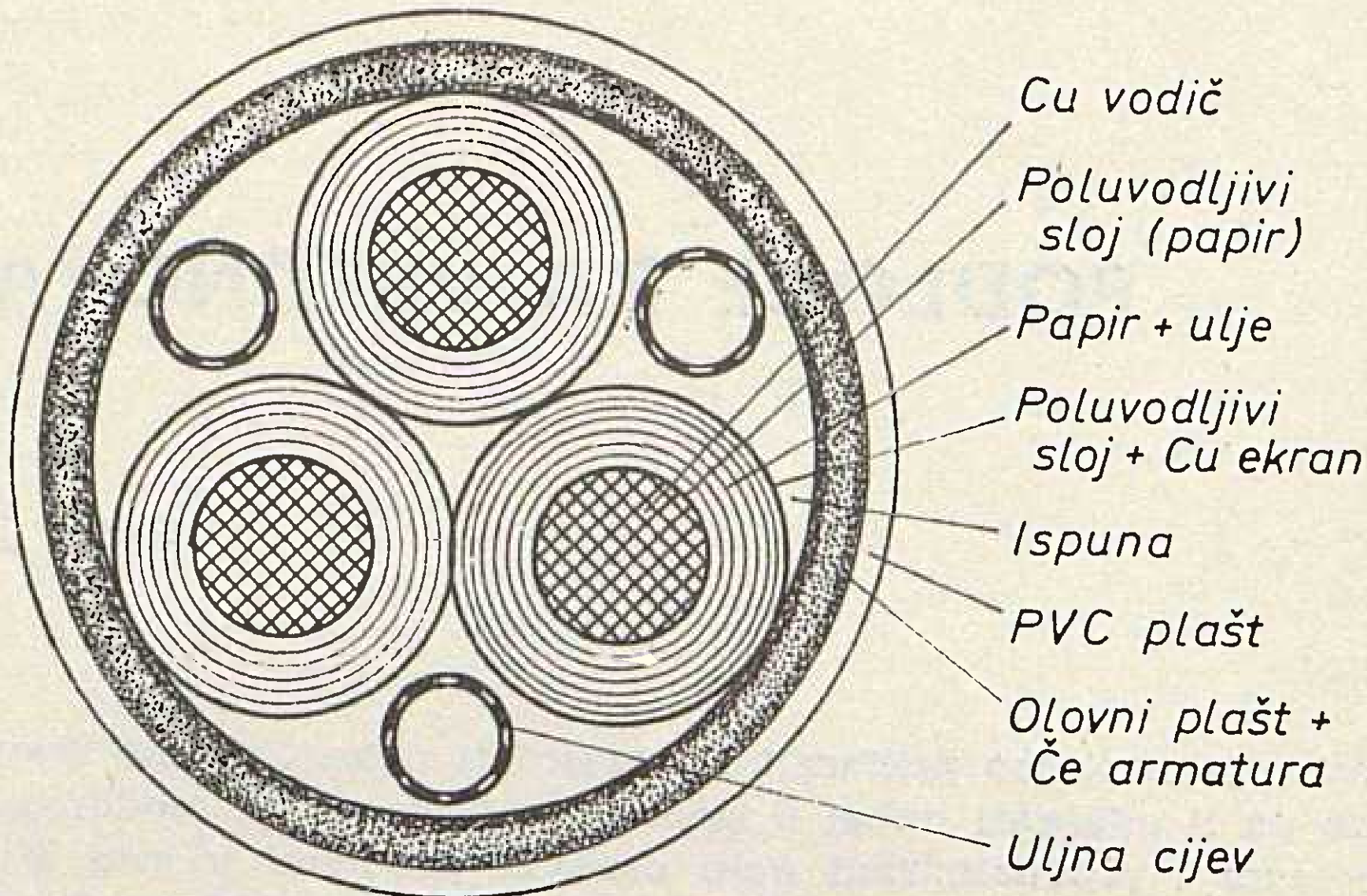
Za početak dan je usporedni pregled reprezentanta klasičnih kabela uljnog kabela i reprezentanta modernih kabela s krutom izolacijom, kabela s izolacijom od nepunjenog umreženog polietilena.

2. 1. Kratak opis i karakteristike kabela »A« —
— uljnog kabela (oil-filled)

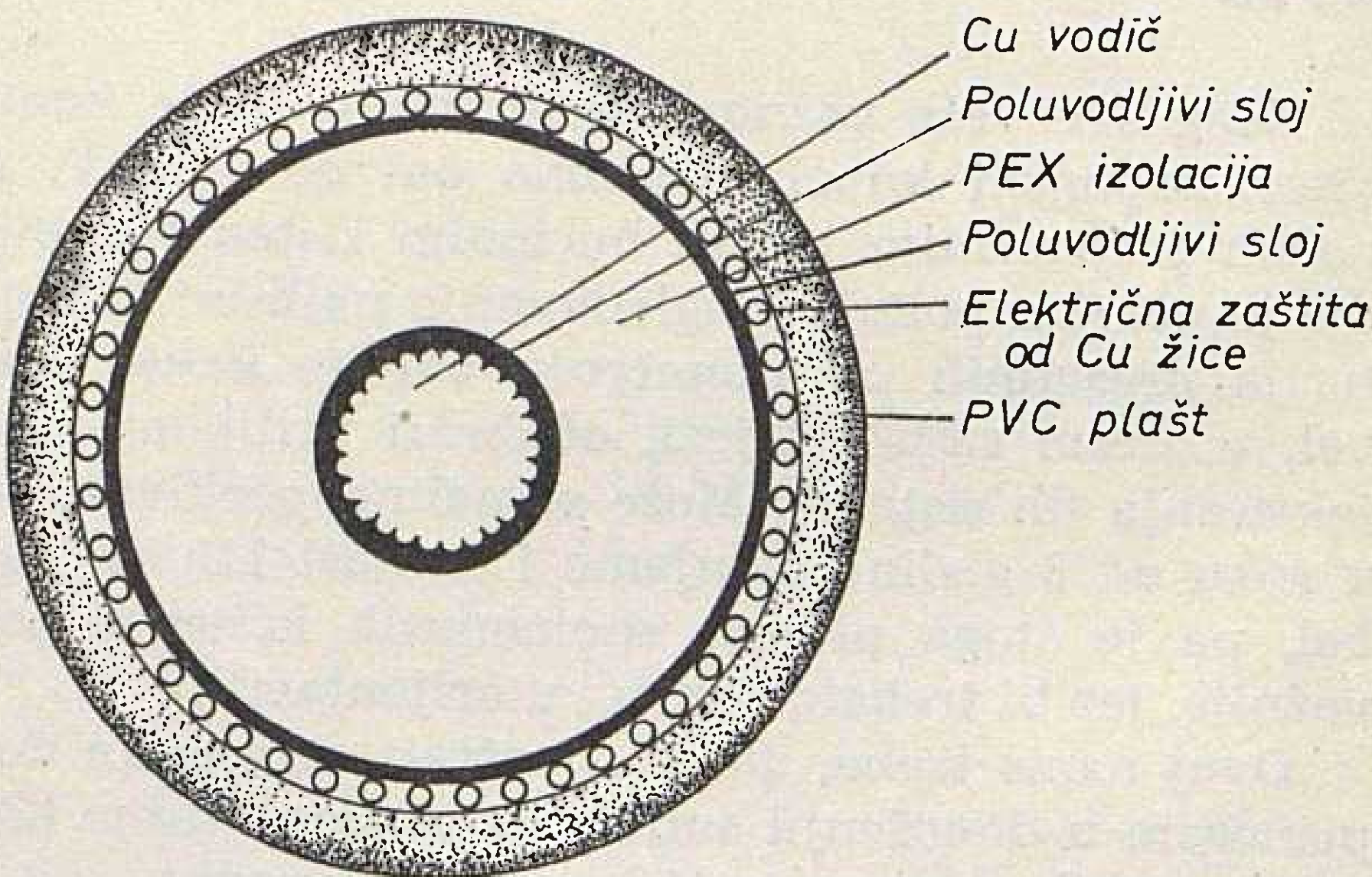
Kabel na slici 1. predstavlja uobičajenu konstrukciju modernog i kvalitetnog uljnog kabela s niskim pritiskom kvalitetnog dehidriranog ulja do otprilike 2 at koji se održava pomoću uljnih rezervoara pod pritiskom.

Tablica 1.

TEHNIČKE KARAKTERISTIKE ULJNOG KABELA NISKOGR PRITISKA ULJA	
Presjek vodiča, mm ²	3 × 400, Cu
Nazivni napon, kV	110
Maksimalni radni napon, kV	123
Debljina izolacije, mm	9
Debljina plašta PE ili PVC, mm	4
Debljina olovnog plašta, mm	3,2
Visina impulsnog napona, kV	350
Maksimalno polje pri 110 kV, kV/mm	9,8
tgδ	0,003
Dielektrični gubici kod 110 kV, W/km	2000
Pogonski kapacitet, μF	—
Induktivitet, mH	—
Maksimalna tropna struja	580
Maksimalna trajna radna temperatura na površini vodiča, °C	85
Maksimalna temperatura na površini vodiča u kratkom spoju, °C	250
Maksimalna struja kratkog spoja pri nazivnoj temperaturi 85 °C, kA	39,5
Maksimalna struja kratkog spoja olovnog plašta, kA	—



Sl. 1. Prerez kroz klasični uljni kabel niskog pritiska s olovnim plaštem



Sl. 2. Prerez kroz moderni podzemni energetski kabel s izolacijom od PEX-a (umreženog polietilena) i s PVC-plaštom

2. 2. Kratak opis i karakteristike kabela B modernog kabela s pex-izolacijom

Na slici 2. prikazana je u prerezu uobičajena konstrukcija 110 kV kabela za polaganje u zemlju nearmiranog i izoliranog krutim dielektrikom, npr. umreženim polieitenom i s PVC-plaštom.

Tablica 2.

TEHNIČKE KARAKTERISTIKE KABELA S PEX — IZOLACIJOM	
Presjek vodiča i električne zaštite, mm ²	1 × 400/95, Cu
Nazivni napon, kV	110
Maksimalni radni napon, kV	123
Debljina izolacije, mm	18
Debljina PVC-plašta, mm	3,5
Visina impulsnog napona, kV	550
Maksimalno polje uz vodič pri 110 kV	5,9
evektiva vrijednost, kV/mm	0,0003
tg δ	0,0003
Dielektrični gubici pri 110 kV, W/km	200
Pogonski kapacitet, μF/km	0,145
Induktivitet, mH/km	0,42
Maksimalna trajna struja, A	640

Maksimalna trajna temperatura na površini vodiča, °C 90

Maksimalna temperatura na površini vodiča u kratkom spoju, °C 250

Maksimalna strujna kratkog spoja vodiča pri nazivnoj temperaturi 90 °C, kA 57

Maksimalna struja kratkog spoja električne zaštite od 95 mm² uz temperaturu 90 °C, kA 19

3. ODNOS CIJENA IZGRADNJE KABELSKJE TRASE S KABELOM »A« I »B«

Tablica 3.

Cijene* dinar	Kabel »A« 3-žilni, uljni 110 kV, 3×400 mm ² , Cu	Kabel »B« 1-žilni, PEX 110 kV, 1×400 mm ² , Cu	Odnosi A/B	Opaska
Cijena kabela za cijelu trasu	6 690 171	4 916 808 (6 500 000)**	1,36 (1,03)**	Nisu računali carina i porezi
Cijen pribora, spojnice itd.	2 157 046	1 095 120	1,97	„
Cijena montaže	1 533 840	477 720	3,2	1-žilni kabel je položen u trokut pa je širina kanala ista i iznosi oko cca 95 cm. Nisu uključeni troškovi radne snage korisnika.
Ukupna cijena	10 381 057	6 489 648 (8 072 890)**	1,6 (1,29)**	

* Cijene za oba kabela dobivene su istovremeno.
** Cijena kabela armiranog žicama od Al-legure.

3. 1. Usporedba ostalih važnijih podataka

Tablica 4.

Podatak	Kabel »A«	Kabel »B«	Opaska
Težina kabela, kg/m	29	8,8	
Promjer kabela, mm	110	77	
Težina bubnja sa kablom, kg	15 000	6 600	
Radius savijanja,	3	2,2	
Veličina bubnja, m	№ 8 Promjer: 3,4 Širina: 1,5	IC-30 Promjer: 3 m Širina: —	
Održavanje kabela i pribora u eksploataciji	Osim pregleda i čišćenja kablinskih glava, potrebna održavanja sistema za održavanje pritiska ulja.	Nikakvo osim održavanja čistoće i pregled kablinskih glava.	
Repariranje kabela iza kvara	U većini slučajeva isjecanje jedne dužine i stavljanje dvije 3-žilne spojke. Eventualno potreban zahvat na uljnom sistemu.	Umetanje jedne, dvije ili tri jednolične spojnice.	
Iskustvo o pouzdanosti	Dugogodišnji, tj. već više od 40 g. dokazana pouzdanost.	Otprilike 15 god. s obzirom na uobičajenih 30 g. života koji se traže, prekratko vrijeme za ovu ocjenu.	Prema nekim statistikama 90% kvarova na kablomima »B« prouzrokovano je lošim postupkom pri transportu i polaganju relativno »nježne« konstrukcije kabela.

4. DILEMA: KLASIČNI ILI MODERNI KABEL

Razmotrimo li dosadašnja izlaganja i usporedne podatke na primjer dvaju reprezentanta klasičnih i modernih kabela, tj. uljnog kabela niskog pritiska i kabela izoliranog umreženim polietilenom, može se zaključiti slijedeće:

4. 1. Neke prednosti

Od svih uspoređenih veličina samo neka daju prednost uljnom kablom, a to su:

— dugogodišnja i dobra eksploataciona iskustva koja iznose oko 40 godina, dakle više od uobičajene očekivane životne dobi. Za razliku od ovako dugog iskustva, iskustvo s visokonaponskim kablomima s krutim dielektricima gotovo je 3 puta kraće;

— veće dozvoljeno naponsko naprezanje izolacije, što dovodi do manjeg promjera izolirane žile i mogućnosti izrade uljnog kabela u trožilnoj izvedbi;

— kako uljni kabeli zahtijevaju olovni plašt, a imaju obično i armaturu od čeličnih traka, mogu se dobiti kabeli malog redukcionog faktora* i direktno uzemljenu električnu zaštitu kabela.

* To je moguće postići i kod modernih kabela tako da se oni armiraju žicama od specijalnih Al-legura, pokositrenim Cu-žicama ili čak žicama od nemagnetskog i nerđajućeg čelika, što međutim, vodi na poskupljenje kabela od 30 do 80%.

4. 2. Cijene

Usporedbe cijena danih u tablici 3. treba, međutim, još prodiskutirati, jer stvarne cijene ovise i o nekim drugim odnosima na tržištu i kod proizvođača.

Pouzdana usporedba cijena moguća je ako se uspoređuju cijene kabela renomiranih proizvođača koji proizvode samo jednu vrstu kabela, klasične ili moderne, jer je u tom slučaju manje vjerojatno da se radi o nekakvom manipuliranju cijenama.

4. 3. Ostale dileme

Preostaje da se osvrnemo na neke novije dileme vezane za premalo iskustvo s kablomima s krutim izolacijama, a to je pitanje životne dobi u vezi s

- parcijalnim izbijanjem
- treeing-efektima.

Parcijalno izbijanje. Fenomen poznat kao parcijalno izbijanje obično se povezuje za krute dielektrike, a odnosi se na mikroelektrično izbijanje u većim i manjim šupljinama koje egzistiraju u izolaciji. IEC-standardi za srednjonaponske kabele (gdje se maksimalna polja u izolaciji kreću oko 3 kV/mm) propisuju donju granicu kao manje od 20 pC kod 1,25 U_0 , što bi trebalo osigurati dovoljnu životnu dob kabela.

Pokazalo se, međutim, da najmodernija tehnologija izrade kabela metodom trostruke ekstruzije omogućuje da se taj nivo znatno smanji, npr. na manje od 5 pC kod 2,0 U_0 , odnosno na praktički zanemarivu vrijednost.

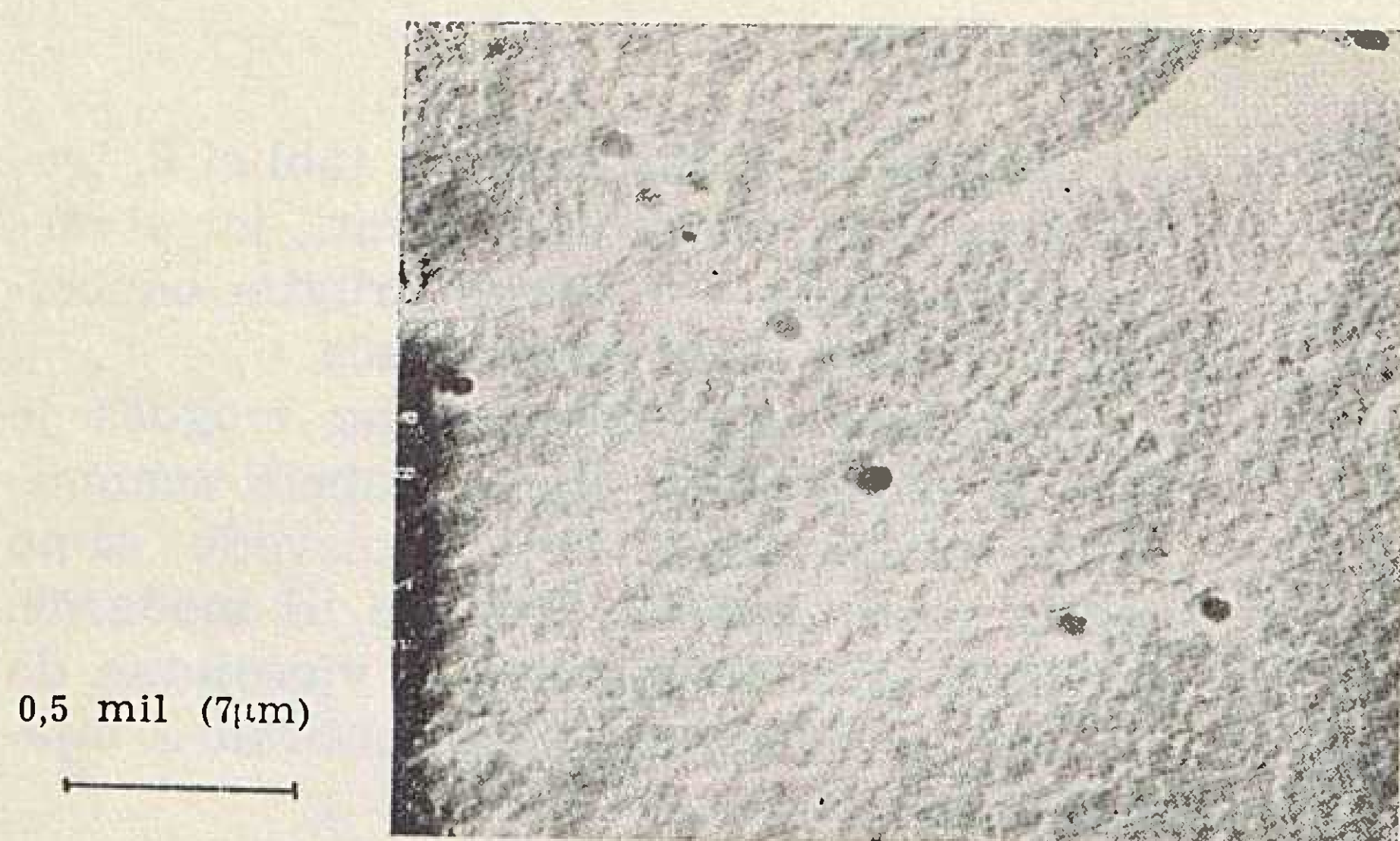
Pokazalo se, međutim, da najmodernija tehnologija izrade kabela metodom trostruke ekstruzije omogućuje da se taj nivo znatno smanji, npr. na manje od 5 pC kod 2,0 U_0 , odnosno na praktički zanemarivu vrijednost.

Prema tome, danas se na tržištu mogu dobiti i 110 kV kabeli zanemarivog nivoa parcijalnog izboja, pa je razumno inzistirati na kablom takve kvalitete.

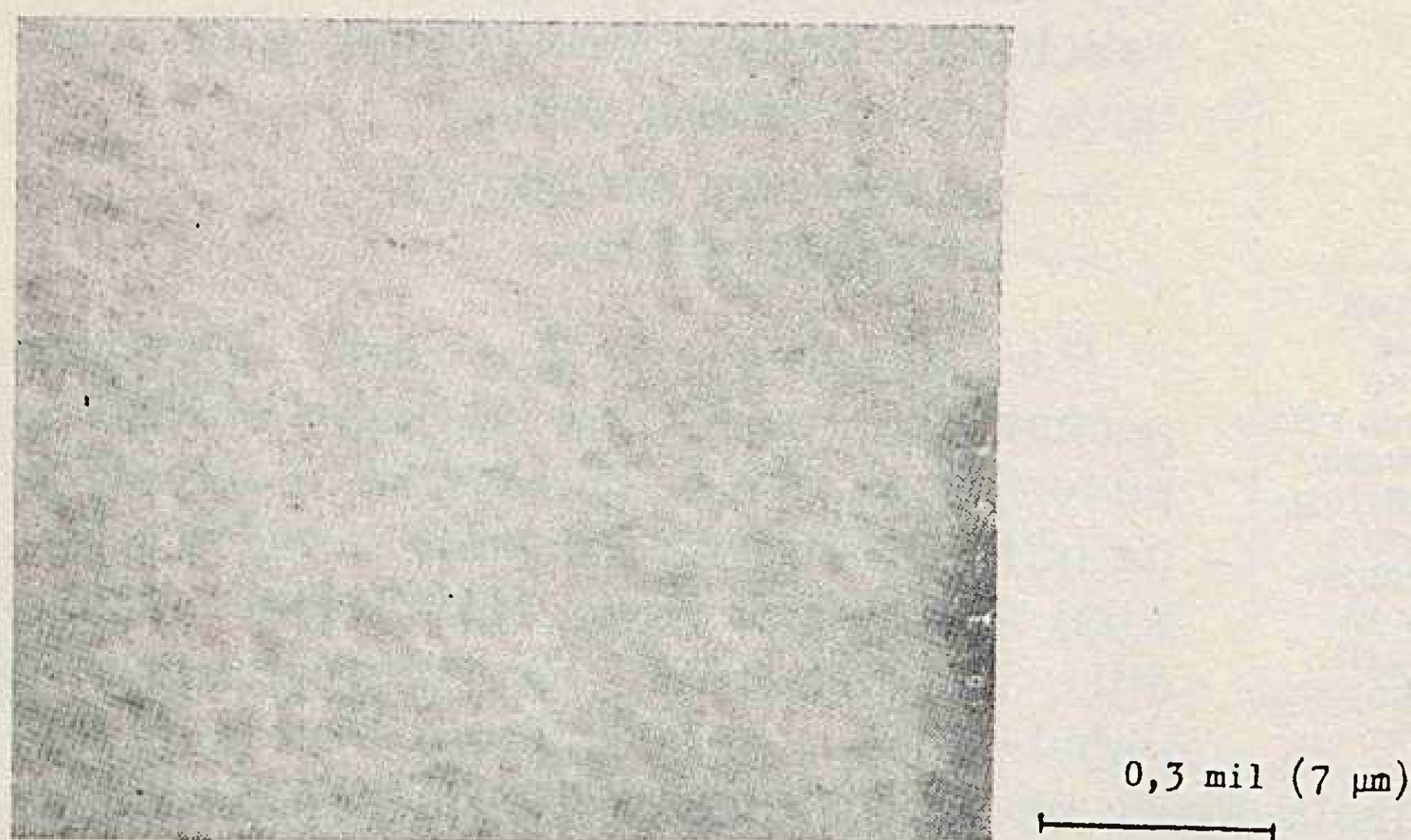
»Treeing« — Rast grančica. »Treeing« je pojava u krutim izolacionim materijalima koja prije ili kasnije (u pravilu) dovodi do proboja. Naziv potječe od toga što optički vidljive staze u obliku različitih grančica rastu u smjeru električnog polja, da bi u nekim slučajevima obavezno dovele do proboja, a u drugima ta koincidencija nije potpuno dokazana.

Ta pojava je primijećena i u tekućim dielektricima, ali se tamo pojava raspršuje, a u krutim dielektricima ostaje trajno prisutna. U krutim dielektricima mogu nastati tri vrste treeinga:

- električni
- elektrokemijski
- vodeni.



Sl. 3. Prerez izolacije kabla s PEX-izolacijom koji je izrađen vulkanizacijom u vodenoj pari (povećanje 3 000). Vide se vodene šupljine promjera i do 2 µm



Sl. 4. Prerez izolacije kabla s PEX-izolacijom koji je izrađen vulkanizacijom u inertnom plinu (povećanja 3 000) puta očito da nema vodenih šupljina

Fenomeni treeinga ovdje su samo spomenuti, a u daljnjem tekstu su navedene samo mjere koje već danas postoje za njihovo sprečavanje ili ublažavanje, dok se opširnije o tim efektima može naći u nekim referatima sa VI simpozija o energetskim kabelima, održanog u Vrnjačkoj Banji. O njima će vjerojatno biti izvještaja i na ovom savjetovanju.

Električni treeing. Možemo pojednostavnjeno reći da postoje dva sistema ovog fenomena:

1. električni treeing uzrokovan šupljinama u izolaciji ili kombinacijom nečistoće i sitne šupljine otkuda počinje rast grančice u smjeru polja brzinom ovisnom o jačini polja i o veličini parcijalnog izboja.

Kako je već rečeno u poglavlju o parcijalnom izboju, ovakav se tip električnog treeinga danas može ukloniti pomoću

- vrlo čistih izolacionih materijala
- naponskim stabilizatorima
- kvalitetom tehnološkog procesa;

2. električni treeing koji nastaje kao primarna pojava na mjestima ekstremno visokih električnih polja, na mjestima kao što su npr. »šiljci« poluvodljivog sloja na vodiču, sitne nečistoće u izolaciji i oštro izražene nehomogenosti u izolaciji. Moderna tehnologija omogućuje da se i ovaj fenomen potpuno ukloni, što se postiže:

- upotrebom vrlo čistih materijala
- vrlo velikom glatkoćom dodirnih ploha, poluvodljivi sloj — izolacija, posebno na mjestu dodira poluvodljivog sloja na vodiču i izolacije
- termičkom obradom vodiča i izolirane žile nakon hlađenja radi uklanjanja lokalnih naprezanja u materijalu.

Vodeni treeing. Vodene grančice mogu biti dvojakog izvora:

1. iz vlage zadržane u izolaciji ili na granici izolacije iz procesa proizvodnje;

2. iz vlage koja difuzijom prolazi kroz plastične plašteve (ako kabel nema metalni plašt) poluvodljivi sloj i samu izolaciju, ili kroz vodič i poluvodljivi sloj na vodiču. U praksi samo ovaj drugi defekt ima primjetan utjecaj.

Oba ova efekta danas su kod najkvalitetnijih kabla smanjena na zanemariv nivo.

Na slikama 3. i 4. prikazana je mikroskopska snimka presjeka izolacije kabla izvedenog vulkanizacijom u pari i hlađenjem u vodi odnosno vulkanizacijom u inertnom plinu, hlađenjem do otprilike 100°C u inertnom plinu i konačnim hlađenjem u vodi.

Na taj način onemogućeno je stvaranje vodenih »gnijezda«, koja, iako u dosadašnjoj praksi nisu pokazala opasniji utjecaj (?) na vijek kabla, ipak predstavljaju potencijalnu opasnost za kabel.

Elektrokemijski treeing. S obzirom na konstrukciju modernih kabla s ekstrudiranim slojem, praktički je nemogućeno prodiranje otopljene metalnih spojeva, kao što su npr. Cu_2O , kroz taj sloj (u kome nema električnog polja), pa ga treba smatrati zanemarivim.

5. USPOREDBA I OSNOVE ZA IZBOR KRUTE IZOLACIJE (REZULTATI ISPITIVANJA U WALTZMILL-U)

Već je u točki 1.2 rečeno da postoje četiri osnovne krute izolacije koje ulaze u uži izbor prema današnjem stanju kabela tehnologije i raspoloživih osnovnih materijala, a to su:

1. termoplastični polietilen (PE),
2. umreženi nepunjeni polietilen (PEX),
3. umreženi punjeni polietilen (PEX),
4. etilen-propilen (EPR ili EPDM).

Tablica 5.

Podaci	Phelps dodge	General cable	General electric	Katser aluminium	Reynolds metals	Okonite
Vodič, mm ²	Cu — 504	Al —	Cu —	Al —	Al —	Cu —
Poluvodljivi sloj na vodiču	vodljivi PEX debljine 1,25 mm	vodljivi PEX debljine 1,25 mm	vodljivi PEX debljine 1,25 mm	—	vodljivi PEX debljine 1,5 mm	vodljivi EPR debljine 0,9 mm
Vodljivi separator na Cu vodiču	nema	nema	nema	nema	nema	nema
Izolacija	nepunjeni PEX debljine 21 mm	nepunjeni PEX debljine 21 mm	punjeni PEX debljine 23 mm	nepunjeni PEX debljine 22,5 mm	nepunjeni PEX debljine 20 mm	EPR (etilen-propilen) debljine 20 mm
Poluvodljivi sloj na izolaciji	vodljivi PEX	vodljivi PEX	vodljivi PEX	vodljivi PEX	vodljivi PEX	vodljivi EPR
Električna zaštita	olovo	olovo	Cu-traka	Cu-traka	Cu-traka	Cu-plosnata žica
Plast	PE	PE	PVC	PVC	—	PVC
Maksimalno polje u kabelu kV/m	5,4	7	6,6	6,48	6	7
Težina kabela kg/m	18	—	—	—	8	8,95
Vanjski promjer kabela, mm	89	78	—	—	95	76
Spajanje vodiča	prešanje	varenje* prešanje	prešanje	varenje	varenje	varenje
Spajanje izolacije spojke	EPR-trake	EPR i PE trake	EPR-trake	—	—	EPR-trake + vulkanizacija u kalupu
Dužina spojke, mm	2 080	1 700	1 450	1 520	1 520	510
Maksimalno el. polje u spojnici, k/mm	—	4	3,2	4	4	—

5. 1. Što su pokazala ispitivanja 80/138 kV kabela

Koju izolaciju odabrati i preferirati, pitanje je koje ni do danas nije potpuno riješeno, a ozbiljno je bilo postavljeno još 1970. god., kad je u institutu Waltz Mill započeo zamašni pothvat valorizacije kabela nazivnog napona 138 kV sa spomenutim dielektricima. Namjena je bila očita. Trebalo je odrediti koji će kabel dati najbolje rezultate u dugotrajnim ispitivanjima.

5. 2. Tablični podaci

Ispitivani su kabele od šest renomiranih proizvođača, prema tablici 5, u kojoj su dani samo bitni konstruktivni podaci. Kabele su bili više-manje slične konstrukcije, a kabele dvaju proizvođača imali su olovni plašt, dakle, kabele su zapravo odgovarali konstrukciji prema sl. 2.

5. 3. Rezultati ispitivanja kod proizvođača

Ova je ispitivanja svaki proizvođač proveo sam, pa će ovdje biti dani samo bitni rezultati na temelju kojih je pojedini kabel dobio dozvolu za dugotrajna ispitivanja u institutu.

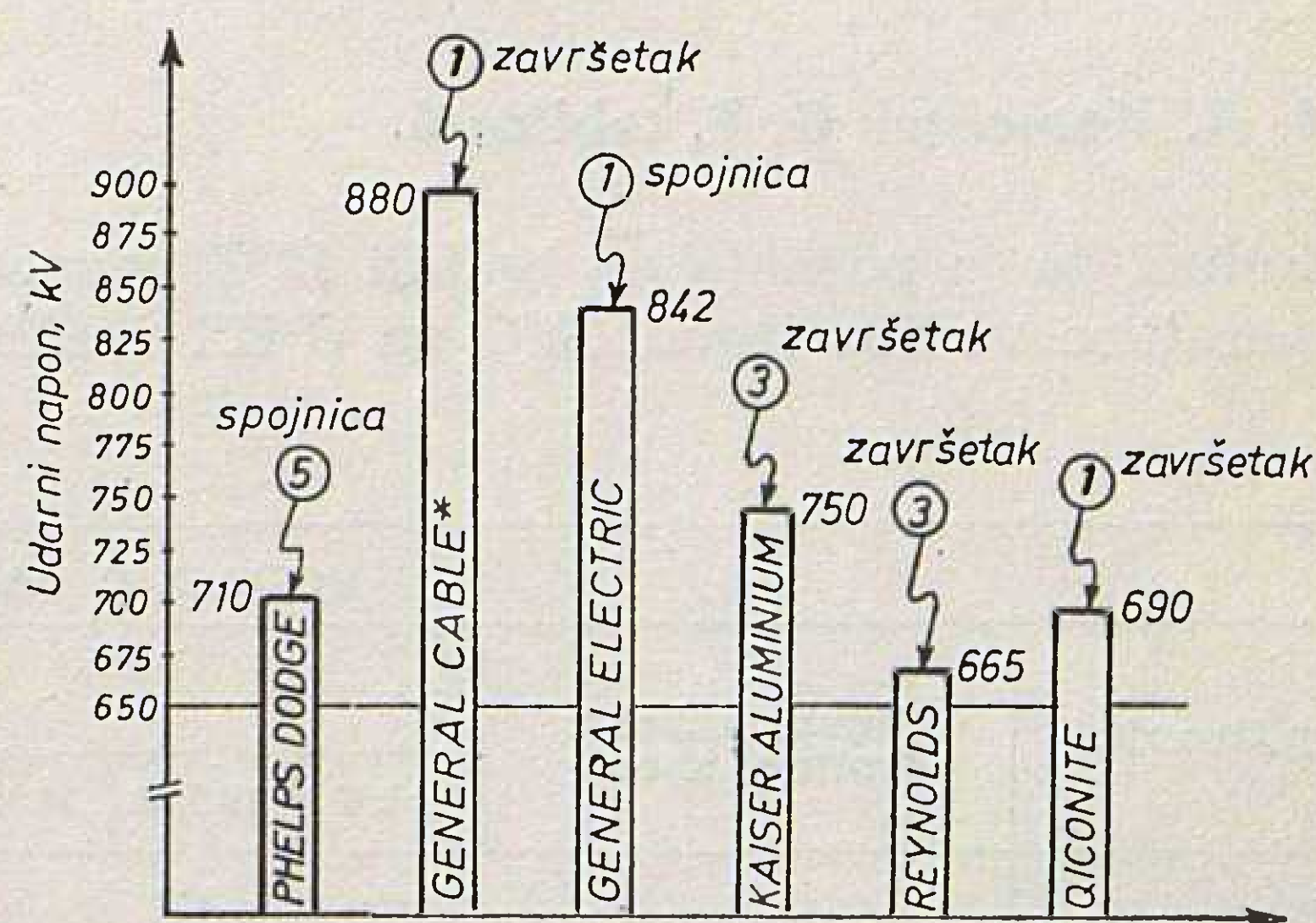
a) **Ispitivanja impulsnih napona.** Ispitivanje je provedeno tako da je kabel savijen tri puta u dva smjera, zatim ugrijan na nazivnu temperaturu, pa tek tada podvrgnut udarima 10 pozitivnih i 6 negativnih impulsa postepeno podizanih po 20 kV.

b) **Ispitivanje parcijalnih izboja uz cikličko opterećenje.** Najprije je ispitan nivo parcijalnih izboja kod 173% U_0 , nakon čega je kabel ciklički zagrijavan opterećenjem na nazivnu i kratkotrajnu temperaturu (90 i 130°C) a nivo parcijalnih izboja mjereno je nakon 30, odnosno 60 ciklusa.

c) Zaključci

1. Kod svih kabela nivo parcijalnih izboja pao je nakon cikličkog zagrijavanja na manje od 5 pC (osim za kabele firme KAISER).

2. Nivo izbijanja na spojnica bio je u svim slučajevima viši, 30—60 pC



Sl. 5. Ispitivanje (do proboja) impulsnim naponom (0 — broj impulsa kad je došlo do proboja, * — ovaj kabel je ispitan na 25 °C, a ostali na 90 °C)

3. Na temelju ovih ispitivanja i ostalih ispitivanja ($\text{tg } \delta$, probojni AC napon, DC napon, itd.) zaključeno je da se svi kabele mogu ugraditi u ispitno postrojenje i dana su ova mišljenja:

— Svi kabele pokazali su izvanredan kvalitet na temelju rezultata ispitivanja dielektričke čvrstoće, parcijalnih izboja, $\text{tg } \delta$ i cikličkih opterećivanja.

— Potrebno je poboljšati sistem spajanja aluminijskog kabela, posebno kod udarnih ugrijavanja do 130°C .

— Kod svih kabela spojenice i glave su najslabija mjesta i treba na njima još dosta raditi.

5. 4. Rezultati ispitivanja u institutu Waltz Mill

1. Program ispitivanja sastojao se od 13 ispitnih ciklusa. Nakon prva dva ciklusa od po dva tjedna sa 110% nazivnog napona i 90°C temperature vodiča, struja i napon su podizani postupno, tako da je u 13. ciklusu temperatura vodiča bila 140°C , a napon 150% nazivnog. Tijekom 8 tjedana temperatura je držana konstantnom, a 8 tjedana je varirana od sobne do nazivne jednom dnevno po 12 sati. Nakon svakog ciklusa obavljena su mjerenja prije svakog novog ciklusa. Trajanje ispitivanja iznosilo je ukupno 96 tjedana.

2. Godine 1973. došlo je do proboja kabela dvaju proizvođača s nepunjenim umreženim polietilenom. Preostali su uspješno podnijeli ispitivanja.

Budući da sumarni završni test iz Waltz Milla nije javno publiciran, autor će ovdje dati samo kratak pregled rezultata po kabele firme G. E. s punjenim umreženim polietilenom.

3. Kabel firme G. E. potpuno je zadovoljio ciklička ispitivanja pa je na prijedlog instituta podvrgnut specijalnom visokotemperaturnom ispitivanju početkom 1975. g., i to na ovaj način: Pri konstantnom naponu 150% nazivnog, temperatura vodiča držana je tijekom 4 tjedna konstantno na 140°C , a zatim kroz daljnja 4 tjedna jednom dnevno mijenjana od sobne ponovno na 140°C . Oba su ciklusa od po 4 tjedna ponovljena. Rezultati ispitivanja dani su u tablici 6.

5. 4. 4. Komentar G. E. tablice 6.

Budući da je poznato da svakih 10°C povećanja temperature vodiča iznad 90°C za (PEX i EPDM)

snizuje termički vijek trajanja za 50% , a kako je kabel radio 8 tjedana na 140°C uz 150% nazivnog napona, može se s priličnim oprezom izračunati vijek trajanja od oko 40 godina.

6. OSVRT NA NOVIJE SPOZNAJE O KVALITETI V. N. KABELA

Rezultati dobiveni ispitivanjem kabela u Waltz Millu predstavljaju međutim, stanje tehnologije i kvalitete 138 kV kabela proizvedenih oko 1969. godine i treba ih takvima smatrati.

Budući da je od tada prošlo već osam godina, normalno se može očekivati da najnovija tehnologija zna više i može dati bolji V. N. kabel od kabela proizvedenog 1969. godine.

6. 1. Osvrt na novije spoznaje o probojima

a) **Uzroci proboja.** Proboj u ekstrudiranom krutom dielektriku ne nastaje zapravo kao pojava inherentna čistom materijalu PE, PEX ili EPDM, nego nastaju na mjestima defekta u izolaciji, između dva poluvodljiva sloja.

b) **Dedefekti koji predstavljaju slaba mjesta i dovode do proboja izolacije.**

1. Šupljine u izolaciji uzrokuju parcijalni izboj i vode posredno preko električnog treeinga u proboj kabela.

2. Šiljci na površini poluvodljivih slojeva vode na pojavu ekstremno jakih električnih polja, pa mogu dovesti do električnog treeinga, odnosno do proboja, ili u kombinaciji s drugim defektima ubrzati put do proboja.

3. Vodljive, strane čestice (nečistoće) čija veličina ima veliku ulogu, tj. što je veća, proboj prije nastaje.

4. Nevodljive, strane čestice (nečistoće) uzrokuju u određenim uvjetima uz prisutnost vlage brži rast grančica, pa ih ubrzavaju i lakše dolazi do proboja.

5. Vodene šupljine uzrokovane upijanjem vodene pare u procesu proizvodnje uzrokuju smanjenje električne čvrstoće kabela s otprilike $20\text{--}40\%$ iako nije primijećeno da direktno uzrokuju proboje kod uobičajenih pogonskih električnih polja.

Tablica 6

PODACI O PARCIJALNOM IZBOJU I $\text{TG } \delta$													
Ispitivanje	Glavni kabel u ispitnoj shemi	Početak specijalnog ispitivanja (140°) Kraj specijalnog ispitivanja (136°C)											
		0 kV	18 kV	88 kV	96 kV	112 kV	120 kV	0 kV	18 kV	88 kV	96 kV	112 kV	120 kV
$\text{tg } \delta$	1	—	.309	.313	.317	.323	.331	—	.275	.282	.283	.285	.286
X—	2	—	.305	.310	.315	.321	.329	—	.280	.280	.282	.284	.285
Korona	1	10	10	10	10	10	13	8	8	8	8	8	8
(pC)	2	šum											

6. Mjesta nehomogenih mehaničkih ili termičkih naprezanja dovode uz prisutnost jakih električnih polja i ostalih defekata do uvjeta za električki proboj.

7. Prisutnost direktnog izvora vlage, posebno sa strane vodiča u slučaju jačih električkih polja (prema nekim izvještajima kod polja većim od oko 10 kV/mm ef.) dovodi do skraćenja životne dobi kabela zbog vodenog treeinga.

c) **Smanjivanje uzroka defekta.** Svi nabrojeni defekti (b1—b7) mogu se danas svesti na razumni nivo koji omogućuje da se vijek trajanja kabela u normalnim eksploatacijskim uvjetima produži i do 50 godina, kako to izvještavaju neki renomirani proizvođači. Moderna tehnologija sprečava navedene defekte na ovaj način:

— kvalitetnim režimom prerade čistog materijala (b1),

— upotrebom kvalitetnih poluvodljivih materijala, alata i režima prerade u procesu ekstruzije, posebno trostruke ekstruzije (b2),

— upotrebom vrlo čistog materijala i visokog nivoa čistoće okoliša i strojeva za ekstruziju (b3, 4),

— upotrebom trostruke ekstruzije, uz vulkanizaciju i hlađenje u atmosferi inertnih plinova (b5),

— kvalitetnim režimom prerade u ekstruziji, uz predgrijavanje vodiča i naknadnu termičku obradu ekstrudirane žile kabela (b6),

— zahvatom u konstrukciji, sprečavanjem ulaska vode u vodič za vrijeme proizvodnje i eksploatacije (b7).

Primjedba. Bilo je i prijedloga da se spriječi zaista neopasna difuzija vlage kroz plašt tako da se upotrijebi:

- plašt od nepropusnog PVC
- metalni plašt
- slojeviti plašt
- vodonepropusni poluvodljivi slojevi na vodiču i izolaciji.

Očito je, dakle, da je današnja tehnologija može proizvesti kabele s krutom izolacijom takve kvalitete i konstrukcije koja se može pavnopravno nositi s uljnim kabelima, uz sve prednosti koje imaju kabele izolirani krutim dielektricima.

d) **Smanjenje posljedica defekta.** Osim mjera koje dovode do smanjenja uzroka defektnosti kabela, najnovija tehnologija proizvodnje izolacionih materijala pruža rješenja za bitno smanjenje posljedica navedenih defekata koji se u realnoj proizvodnji ipak ne daju potpuno izbjeći, i to:

— Naponski stabilizatori višestruko umanjuju fenomene i posljedice vodenog treeinga, električnog treeinga, utjecaj nečistoće i šupljina na životnu dob kabela.

— Primjerice, tvrtka Union Carbide već nudi umreženi polietilen koji je mnogo otporniji na vodenog treeing i zaista omogućuje da se taj fenomen praktički zanemari.

Prema mnogim izvorima, određena mineralna punila koja se u obliku finog praška dodaju osnovnom izolacionom materijalu kao što je PEX i EPDM (EPR) znatno povećavaju otpornost na treeing i koronu, a i neka termička svojstva kabela.

6. 2. Naponska životna dob kabela izoliranih krutim dielektricima

Na slici 6. (lit. 6.) dani su rezultati ispitivanja životne dobi triju vrsta uzoraka kvalitetnih izolacija od polietilena, umreženog nepunjenog polietilena i etilen-propilena. Ispitivanja su provedena od kratkotrajnih udarnih napona pa do dugotrajnih, u trajanju od godine dana. Rezultati na sl. 6. dani su kao ovisnost tjemene vrijednosti električnog polja, odnosno probojnog napona o vremenu.

Na slici nije ucrtan rezultat u domeni probojnog udarnog napona, gdje je prednost na strani PE i PEX, tj. oko 140 kV/mm, u odnosu prema EPDM s nekih 100 kV/mm. Međutim, u domeni manjih polja upravo je obrnuto.

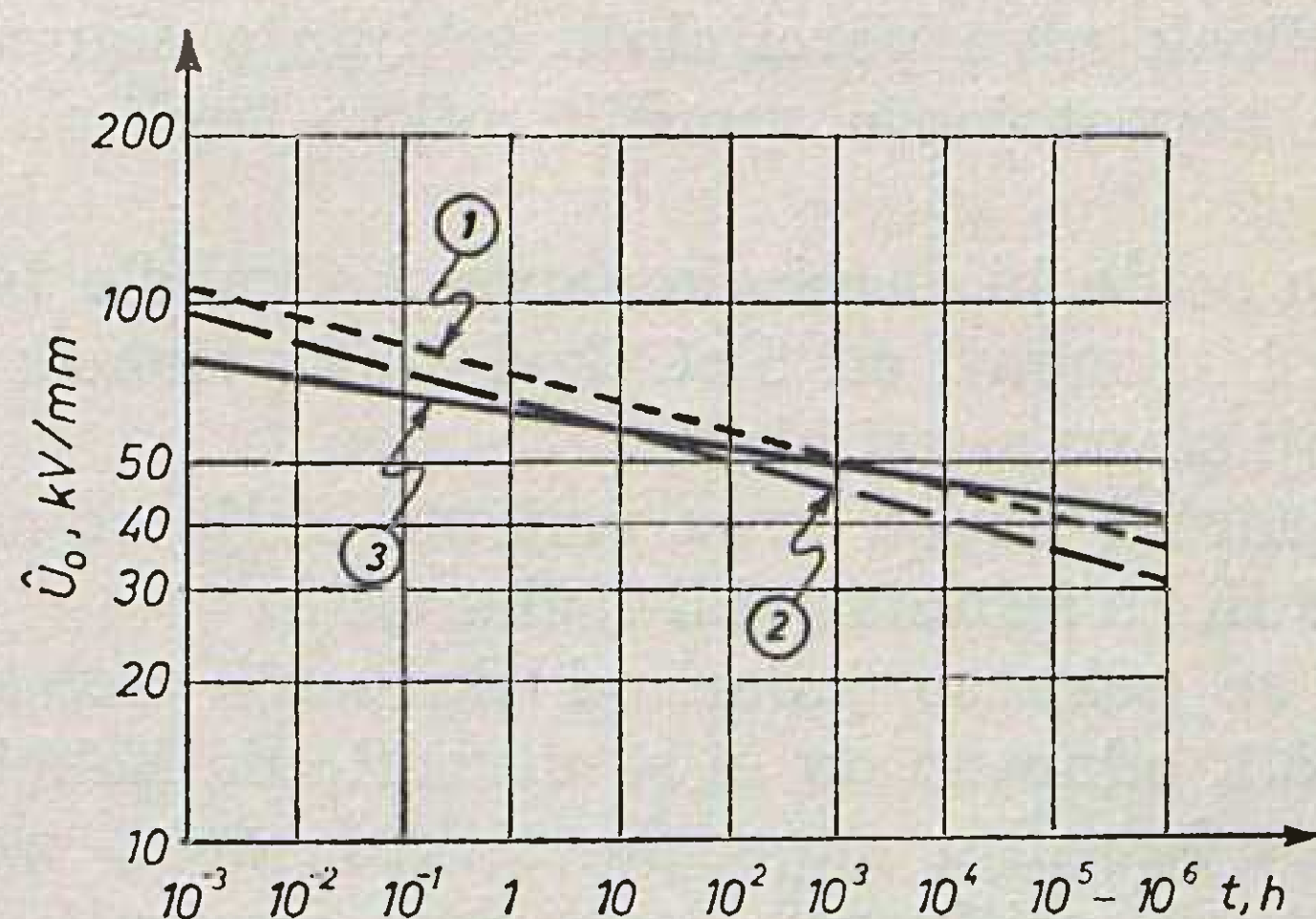
Na slici 7. dan je grafički prikaz životne dobi kabela jednog od poznatih proizvođača.

Uz pretpostavku da su ovi rezultati točni (a nema razloga da im se ne vjeruje), očito je da su ti rezultati u skladu s neutralnim ispitivanjima prikazanim na slici 6. i da pružaju ozbiljnu nadu u zaista značajnu trajnost ovakvih kabela.

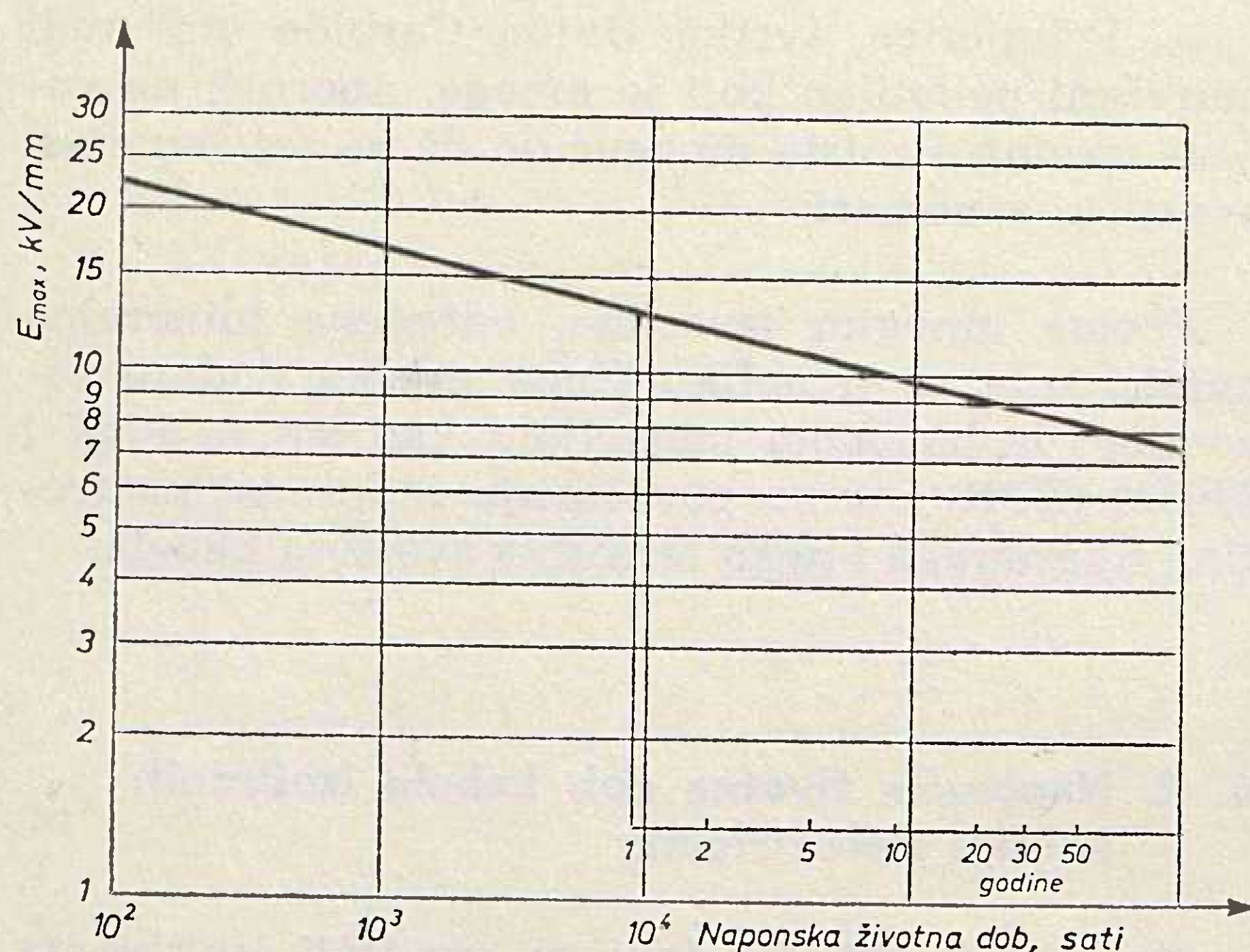
Primjedbe uz sl. 6. i 7. Treba uz ovaj osvrt na naponsko vrijeme trajanja spomenuti i neka novija ispitivanja (lit. 13.).

Pokazalo se da je moguće ustanoviti postoje li u kabelu defekti, npr. neke vodljive čestice (čija je veličina oko 100 μm i više), ako se kabel podvrgne ispitivanju naponom 2,5 do 3 U_0 kroz barem 1 sat. Krivulje trajanja »slamaju« se kod takvih i većih defekata unutar tog vremena, vidi sl. 8.

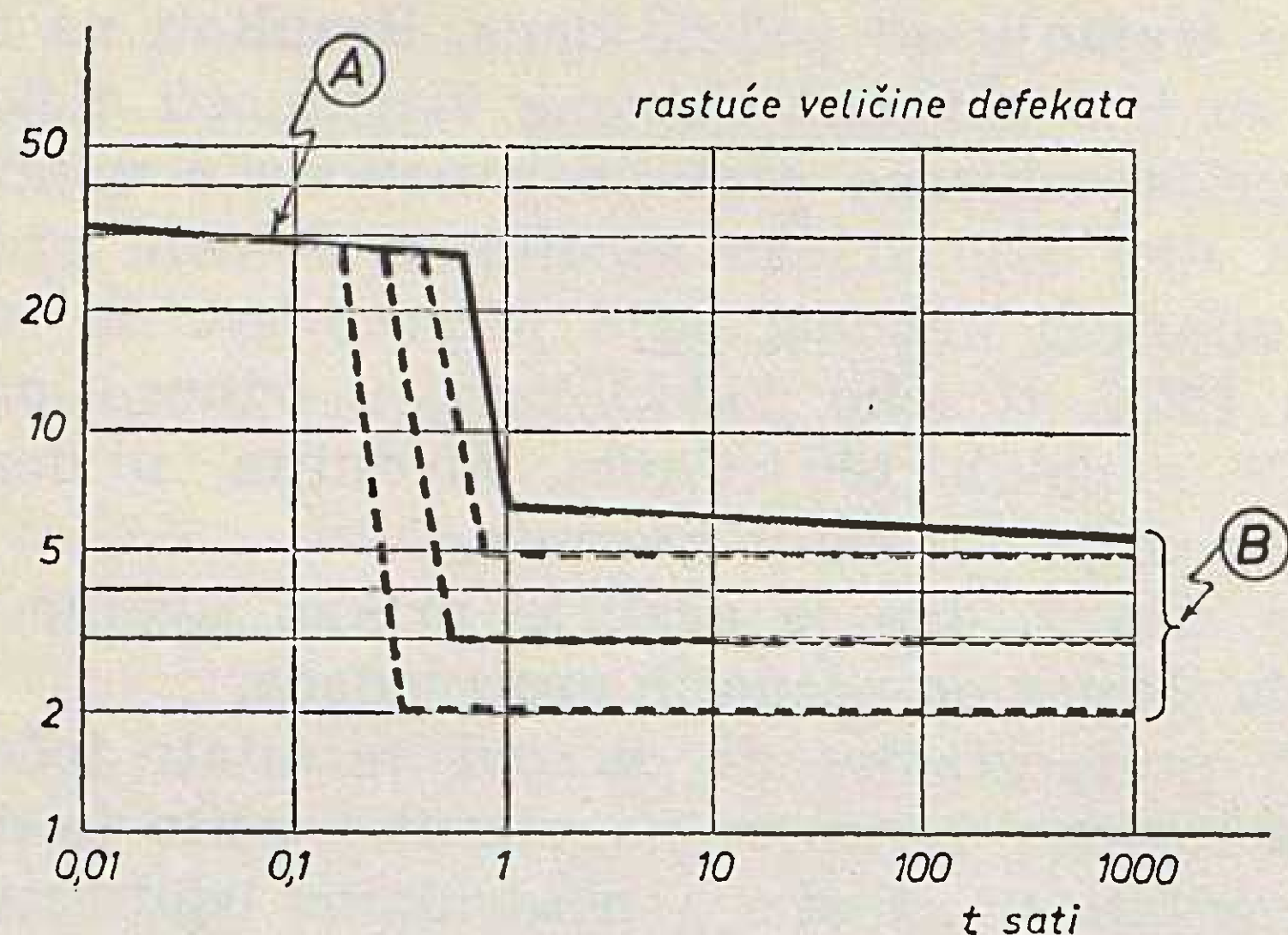
Takvo ispitivanje neće smanjiti trajanje ispravnog kabela.



Sl. 6. Rezultati ispitivanja naponskog vijeka trajanja kabela s krutim dielektricima: 1 — PEX-izolacija, 2 — PE-izolacija, 3 — EPDM-izolacija



Sl. 7. Ovisnost maksimalne jakosti polja (uz vodič), tj. tog iznosa polja pri probou, s vremenom trajanja.



Sl. 8. Kvalitativni prikaz »Z« — krivulje životne dobi, za različite »veličine« defekata u izolaciji: A — područja koja daju dojam ispravnosti kabela, a protežu se do 1 h, B — područje u kome je defekt doveo do slamanja krivulje, odnosno do pada probojne čvrstoće kabela.

6. 3. Moguća provjera životne dobi

Prilikom ocjenjivanja nekog realnog kabela može se dobro ocijeniti da li će deklarirano vrijeme trajanja nekog kabela odgovarati istini, i to npr. iz dva bitna ispitivanja.

1. Nizak nivo parcijalnih izbijanja sigurno pokazuje nepostojanje spornih mikro šupljina u kabeu.

Smatra se da bi za visokonaponske kabele taj nivo trebao biti manji od 5 pC kod $2,5 U_0$, iako su propisi koji su na snazi blaži.

2. Izdržni napon kroz vrijeme dulje od uobičajenih 5 ili 10 minuta (vidi točku 6.2).

Da bi se pokazao jedan od skrivenih defekata iz točke 6.1, odnosno da bi se utvrdilo da kabel nema tzv. »Z« krivulju naponske životne dobi, treba ga podvrgnuti ispitivanju pogonskim izmjeničnim naponom $2,5$ do $3 U_0$ barem $1/2$ h, a preporučuje se i dulje.

6. 4. Praktična iskustva u Elki u provjeri životne dobi

Tijekom višegodišnje proizvodnje srednjonaponskih kabela za 10, 20 i 35 kV vršena su mnoga tip-ska i rutinska ispitivanja izdržnim naponom od $2,5 U_0$ kroz 5, 10, 15 ili 20 minuta. Opažen je fenomen (posebno u početnim proizvodnim serijama te kod izoliranja s punjenim izolacionim materijalima, koji su dodatno prolazili fazu umješavanja u mješalima) da kabele koji uopće (praktički) nemaju parcijalnih izboja kod $2 U_0$ povremeno prebijaju npr. u devetoj, 11, 12 itd. minuti, pri izdržnom naponu do $2,5 U_0$.

Nakon upornog i sistematskog istraživanja utvrđeno je nedvojbeno da se uvijek radilo o prisutnosti nečistoća ili nehomogenosti u izolaciji koje su unesene u izolaciju bilo prilikom spomenutog umješavanja, bilo u procesu ekstrudiranja izolacije, što se potpuno slaže sa spomenutim istraživanjima.

Pošto su poduzete sve potrebne mjere za sprečavanje i onečišćenje izolacione mase, postignuti su izvanredni rezultati. Tako je npr. nedavno izrađeno oko 65 000 m kabela u jednoj proizvodnoj seriji i nije došlo do proboja ni na jednoj dužini kod ispitivanja izdužnim naponom $2,5 U_0$ kroz 15 minuta, iako se radilo o punjenoj, dakle dodatnoj mješanoj izolaciji.

7. MOGUĆI KRITERIJI PRI IZBORU 110 kV KABELA

7. 1. Izbor vrste izolacije u svijetu

Da bi se moglo ispravno orijentirati i odabrati najpogodniju izolaciju kod izbora kabela 110 kV, treba analizirati ove postavke i činjenice:

a) Već se iz eksperimenta u WALTZ MILL-u vidi da su od šest prijavljenih firmi četiri dale na ispitivanje kabela izolirane s NEPUNJENIM UMREŽENIM POLIETILENOM, a po jedna kabele izolirane s PUNJENIM UMREŽENIM POLIETILENOM, odnosno ETILEN-PROPILENOM. Samo jedna je paralelno dala i kabel s punjenim umreženim polietilenom i nepunjenim umreženim polietilenom, a ni jedna nije dala kabel izoliran termoplastičnim polietilenom.

b) Proizvođači kabela s nepunjenim umreženim polietilenom upotrebljavaju izolacioni materijal direktno puneći ekstrudere iz sanduka ili kontejnera pri čemu je moguće lako osigurati čistoću proizvedene izolacije pri izoliranju.

c) Proizvođači kabela izoliranih punjenim umreženim polietilenom i etilen-propilenom moraju prije ekstruzije kabela dobivenu čistu sirovinu još izmiješati u mješalima s određenim dodacima. To znači da se pri tome stvara dodatna mogućnost kontaminacije.

d) Većina proizvođača visokonaponskih kabela opredijelila se za kabele izolirane nepunjenim umreženim polietilenom.

Primjedba uz točku 7.1. Rezimirajmo što je do sada rečeno o klasičnom, uljnom kabelu i kabelu s krutom dielektricima. Zaključujemo da će svaka od ovih izolacija opravdano imati svoju primjenu u prijenosu velikih snaga na području visokih napona.

Uljni će kabel, po svemu sudeći, biti namijenjen za napone 220 kV i više, sve do 750 kV (u ispitnoj su, fazi čak i uljni kabeli za 1 100 kV), pri čemu će nužno doći do upotrebe specijalne vrste papira i kvalitetnih ulja, npr. alkil-benzonskih ulja.

Kabelu s krutom izolacijom preostaje područje niskog, srednjeg i visokog napona, sve do 220 kV. Vjerojatno će dominirati izolacije na bazi umreženog polietilena punjenog i nepunjenog te etilen-propilena.

Najnovije spoznaje o uvjetima da neka izolacija postigne visoku naponsku životnu dob nedvojbeno pokazuju da nije primarno pitanje da li se radi o umreženom popunjenom ili nepunjenom polietilenu ili etilen-propilen (imajući na umu da on svaki ima svoju prirodnu »visinu« i »nagib« krivulje životne dobi), već da je praktički najvažnije, a o tome se ovdje već govorilo, da se:

— upotrijebe ekstremno čisti osnovni materijali za izradu izolacionih mješavina

— održi ekstremna čistoća u procesu ekstrudiranja izolacije.

7. 2. Prijedlog smjernica za izbor 110 kV kabela

Iako bi se iz ovoga što je rečeno u točki 7.1 moglo zaključiti da prednost kao izolacija za 110 kV kabel ima nepunjen umreženi polietilen, ipak ne mora biti tako. To se vidi iz novijih istraživanja i podataka nekih eminentnih proizvođača kabela, npr. General Electrica, Pirellija i nekih britanskih firmi. Budući da nije uopće detaljno obrazložiti njihove rezultate i dokaze, kao i dokaze pobornika nepunjenog, umreženog i termoplastičnog polietilena, ovdje će biti dana autorova subjektivna valorizacija tih dokaza i podataka.

— Nepunjeni i punjeni umreženi polietilen i etilen-propilen imaju istu termičku klasu, odnosno trajnu radnu temperaturu 90°C, kratkotrajnu 130°C i kratkospojnu 250°C. Ima nekih podataka (lit. 16) da EPDM ima veću električku životnu dob pri istovremenim cikličkim zagrijavanjima od nepunjenog PEX-a (punjeni nije ispitivan).

— Nepunjeni PEX ima veću probojnu čvrstoću kod kraćih vremena ispitivanja od EPDM-a, ali je pri dugotrajnim naponskim ispitivanjima EPDM bolji, što je već pokazano na slici 7. To proizlazi iz činjenice da EPDM ima veći broj »n« u formuli za trajanje.

$$t \cdot E^n = \text{konst.},$$

gdje je:

t — vrijeme

E — nominalno el. polje uz vodič, iznosi za EPDM 16, a za PEX 9—13.

Pri tome se navode i podaci o naponskoj čvrstoći EPDM-a i PEX-a pri sobnoj i pogonskoj temperaturi.

pri 20°C	PEX 130	EPDM 70
pri 90°C	PEX 60	EPDM 65

Nadalje, navode se i prednosti ove ili one izolacije, pri čemu da EPDM (koji je uvijek mineralnim punilima punjeni materijal) ima veću prirodnu otpornost na parcijalni izboj i njegovo širenje, veću otpornost na vodeni treeing itd.

Termoplastični je polietilen, po svemu sudeći, zbog bitno manje toplinske iskoristivosti i veće osjetljivosti manje podoban kao izolacija za 110 kV kabele u našim prilikama.

Iz navedenog je prilično teško zaključiti objektivne i stvarno utjecajne prednosti glavnih konkurentnih visokonaponskih izolacija, umreženog nepunjenog PEX-a, umreženog punjenog PEX-a i EPDM-a, zato što su mnogi lošiji rezultati dani za konkurentsku izolaciju vjerojatno uzrokovanu različitim vrstama nehomogenosti.

Ne može se npr. poreći da određena mineralna punila uveliko poboljšavaju neka bitna svojstva osnovnih izolacija EPDM-a, PEX-a, naravno uz uvjet da se oni pri tome ne onečiste, što je, čini se, bio jedan od bitnih razloga stanovite averzije prema punjenim materijalima.

Prilikom odabiranja 110 kV kabela treba, međutim, svakako provjeriti neke bitne momente koji će sigurno pružiti dobre dokaze o kvaliteti i očekivanoj životnoj dobi kabela za određenu kabelsku trasu bez obzira na to od kakve je umrežene izolacije kabel izrađen:

1. Proizvođač mora posjedovati najmoderniju tehnologiju trostruke ekstruzije s vulkanizacijom u inertnom plinu.

2. Proces proizvodnje mora biti krajnje čist, od ulaza sirovine do gotovog kabela.

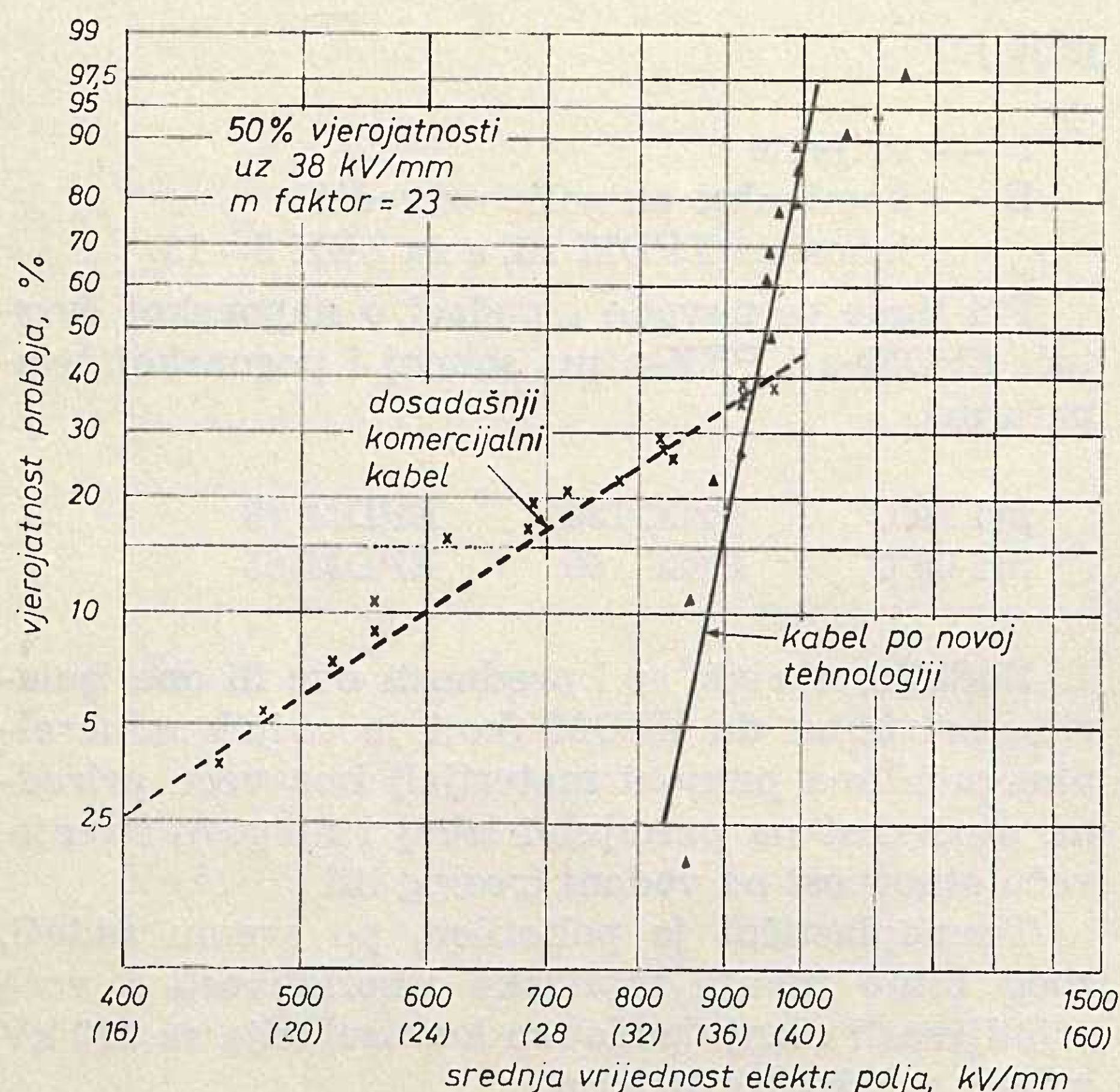
3. Proizvođač mora imati kvalitetnu i stalnu kontrolu procesa proizvodnje i stalnu kontrolu proizvoda u tom procesu.

4. Tipska i rutinska ispitivanja moraju biti dokumentirano provedena, s posebnim naglaskom na oštre kriterije ispitivanja izdržnim naponom i parcijalnog izbijanja, imajući na umu ono što je rečeno u točki 6.2.

5. Proizvođač mora raspolagati vlastitom tehnologijom izrade spojnika i završetaka.

6. Poželjno je da proizvođač ima solidnu referencu na tom naponskom nivou ili na višim naponima.

7. Proizvođač mora pružiti solidnu garanciju za životnu dob kabela s time da obavezno bude upoznat s dotičnom kabelskom trasom.



Sl. 9. Ovisnost vjerojatnosti probroja kabela o jakosti električnog polja izražena u postocima (vidi lit. 14).

ZAKLJUČAK

Prema svemu iznesnom u ovom referatu, a i prema najnovijim podacima (vidi Lit. 14) kabeli izolirani krutim dielektricima izrađeni najmodernijom tehnologijom pokazuju izvanredna svojstva. Tako mogu kratkotrajno izdržavati naponska naprezanja od 32 kV/mm (efektivna vrijednost), kao što se to primjerice vidi iz slike 10.

To pokazuje da je moderna tehnologija već spremna proizvesti visokonaponske kabele za napone 138, 230 i 345 kV, s debljinama izolacije 12,7; 19,3 odnosno 26,7 mm i tako se i u geometriji potpuno približiti uljnim kabelima, što će imati bitan učinak na proširenje upotrebe kabela.

LITERATURA

1. John P. Lozes, Jr.: Special report on development and installation of 130 kV cable system for test EEI Waltz mill Station, IEEE transactions on P. A. S., Nr. 4/1972.
2. R. M. Eichorn: Treeing in solid extruder electrical insulation. Union carbide Kabelitem Nr. 150
3. A. Ashcraft, R. M. Eichorn: Laboratory studies of treeing in solid dielectrics and voltage stabilization of polyethylene, Union Carbide kabelitem, Nr. 151
4. A. Ashcraft: Water treeing in polymeric dielectrics Union carbide kabelitem, Nr. 152
5. G. Bader, C. Katz: Treeing effect in PE and XLP insulation Phelps Dodge Cable and wire Corp. report.
6. A. L. Mckean: Breakdown mechanism, studies in crosslinked polyethylene cable, IEEE Trans. on P. A. S., Nr. 1/1976
7. F. H. Kreuger, P. A. C. Bentvelsen: Breakdown phenomena in polyethylene insulated cables, CIGRE 21-50/1972.
8. K. Soga, K. Kanazawa: »Load cycle test on 154 kV cross-linked PE insulated cable«, IEEE Trans. P. A. S., Nr. 4/1974.
9. R. C. Lever, B. T. Mackenzie, N. Singh: »Influence of inorganic fillers on the voltage endurance of solid dielectric power cables« IEEE Trans. on P. A. S., Nr. 4/1973.
10. S. Kozak, J. T. Corbett, R. J. Bender: »Features of the new 138 kV self-contained oil filled cable system for Detroit Edison« IEEE Trans. on P. A. S., Nr. 3/1975.
11. H. Fubrmann, G. Hahne: »Erste 110 kV Hochdruck-Ölkabelanlage mit Umlaufkühlung in der Bundesrepublik Deutschland«, Elektrizitätswirtschaft heft 8/1976. j.
12. R. F. M. Kreuger: »Polyethylene insulated cable with diffused gas«, CIGRE 21-02/1970.
13. R. Josteur, E. Favrie, H. Auclair: »Influence of surface and internal defect on polyethylene electrical routine test on VHV cables« IEEE Trans. on P. A. S., Nr. 2/1977.
14. G. Badher, C. Katz, D. A. Silver »Development of technology for the manufacture of crosslinked polyethylene insulated cables rated through 345 kV«, IEE Trans. on P. A. S., Nr. 6/1977.
15. R. D. Rosevear: »Present state of advanced H. V. cable developments«.
16. Grupa stručnjaka firme Pirelli: »Medium-high voltage Extruder power cables, a comparison between EPR and XLPE insulations«.

THE BASES FOR EVALUTION AND CHOOSING OF 110 kV CABLES

The author tried to show and shed light over a few basic doubts by making a decision on which 110 kV cable ought to be chosen, meaning should one choose the cable protected with a modern technology isolation or the oil version. At the same time during discussion, these had been some basic problems analysed concerning the working life of cables with hard dielectrics, for instance the treeing effects, the influence of defects and soon this being nowadays very acute subjects in the discussions. In short form there were also the results made known upon testing of the cables in the Waltz Mill Institute among with a thorough list of the literature used.

Naslov pisca:
Branko Tokić, dipl. ing.
Elka, Zagreb

NEKA ISKUSTVA S POPRAVCIMA PODMORSKIH KABELA

Žarko G u l i n, Zadar

UDK 621.315.2

Opisuje se jedan od načina popravljivanja podmorskog kabela. Prikazan je postupak kada se na samom mjestu kvara u moru kabel reže. Zatim se podiže samo onoliko kabela s jedne i druge strane koliko je more u njega prodrlo. Kabel se zatim popravljiva umetanjem odgovarajuće dužine novog kabela uz izradu dviju fleksibilnih spojnika.

1. UVOD

Na žalost, kao i kod podzemnih kabela, samo s mnogo težim posljedicama, oštećenje podmorskih kabela najčešće je prouzrokovano mehaničkim putem iz nehaja. Kod podzemnih kabela ova oštećenja obično uzrokuje građevinska mehanizacija, a kod podmorskih kabela kvarove izazivaju brodovi nepažljivim sidrenjem ili ribari koji love posebnom vrstom mreža. Kvarovi na podmorskim kabelima prouzrokovani nepažnjom češći su u postotku od onih kod podzemnih kabela. To je i razumljivo kad se zna s koliko se pažnje konstruiraju i polažu podmorski kabeli i koliko je neophodno prethodno obaviti sve istražne radove za izbor najpovoljnije trase da se dobije što je moguće veći stupanj sigurnosti opskrbe električnom energijom s obzirom na mnogo složenije i dugotrajnije radove na popravku podmorskog kabela.

Danas, kad svi naši otoci još nisu povezani dvostrukim kabelskim vezama, prekid ili kvar jednog takvog kabela daleko od obale i u većim dubinama ostavlja dotični otok ili skupinu otoka dulje vrijeme bez električne energije. To vrijeme može u najpovoljnijem slučaju iznositi od 10 do 15 dana ali i do nekoliko mjeseci kada je more prodrlo u velik dio kabela, te je potrebno naručiti nov kabel kao zamjenu za dio oštećenog kabela ili pak za čitavu dužinu trase.

Kada je 1975. godine jedan ribarski brod ošteti podmorski kabel 35 kV kopno — otok Pag na udaljenosti oko 200 metara od obale, bilo je lakše položiti novi kabel domaće proizvodnje nego hitno dobiti 300 metara tog istog podmorskog kabela strane proizvodnje potrebnog za popravak. Naime, toliko je more ukupno prodrlo s jedne i druge strane mjesta kvara na ukupnoj dužini trase od 2 300 metara.

Kada se kvar na podmorskom kabelu dogodi zimi, onda zbog nepovoljnih vremenskih prilika više dana nije moguća nikakva intervencija.

2. PRONALAŽENJE MJESTA KVARA

Kad nastane kvar na podmorskom kabelu, potrebno je hitno intervenirati, pa makar se ne radilo o prekidu opskrbe električnom energijom jer postoji rezervna veza. U prvom redu potrebno je pronaći mjesto kvara te spriječiti dublje prodiranje morske vode u kabel, koji poslije dužeg vremena može postati potpuno neupotrebljiv i nesposoban za popravak. To je prva faza radova. Preostali dio radova na popravku treba obaviti u što kraćem roku ako se radi o jednom kabelu za opskrbu nekog otoka kako bi se što prije nastavilo s isporukom električne energije.

Informaciju o udaljenosti mjesta kvara od kabelske stanice s jednog ili drugog kraja kabela nije teško dobiti odgovarajućim suvremenim mjernim aparatima na principu reflektirajućih naponskih impulsa, ali gdje se to mjesto zapravo nalazi u moru, uzimajući u obzir i dužinu kabela na kopnu, dosta je težak posao. Srećom, u slučaju kakav je bio kod popravka 10 kV kabela Zadar—Preko (otok Ugljan), ljudi žabe su roneći uz kabel koji se na dnu nazirao izmjerili dužinu od 400 metara, gdje je instrument dao informaciju o kvaru. Dubina na tom mjestu iznosila je 38 metara. Na taj način moguće je pronaći mjesto kvara koje nije odviše udaljeno od obale i kad je kabel po čitavoj svojoj dužini vidljiv ili se nazire pod pijeskom na dnu mora. Najčešće se kabel vremenom ukopa u mulj ili pijesak pa ovakav način pronalaženja mjesta kvara najčešće nije moguć.

Prema iskustvima Elektrodistribucije — Split, kod pronalaženja trase 35 kV-nog kabela kopno — otok Brač u kvaru, služeći se tonfrekventnim tražaćem kabela kakvim se pronalazi trasa podzemnog kabela, sve do dubine od 40 metara bilo je moguće slijediti kabel iz broda koji je svojom bukom motora ometao slušanje tonskih signala. Može se pretpostaviti da bi se iz čamca na vesla kabel mogao pratiti i na većim dubinama. Za ilu-

straciju navodimo da kod povezivanja podmorskim kabelima 18 otoka na području Elektre—Zadar ni jedan kabel nije položen na dubini većoj od 70 metara, a najviše ih je položeno na dubini ispod 55 metara.

Ako mjesto kvara nije odviše udaljeno od obale i raspoložemo kartom s točno ucrtanom trasom položenog kabela, teodolitom ili hirodografskim sekstantom, moguće je odrediti dovoljno točno mjesto kvara podmorskog kabela.

Uskoro će radna organizacija specijalizirana za posebne radove na moru Brodospas iz Splita dobiti poseban uređaj različite namjene, kojim će se lako pronalaziti trase položenih kabela i na većim dubinama. To će svakako mnogo pridonijeti lakšem pronalaženju trase kabela, a time i mjesta kvara.

Bilo bi svakako potrebno za sve podmorske kabelske mreže snimiti stvarno položenu trasu kabela i ucrtati je u karte, tako da pronalaženje mjesta kvara bude lakše i brže izvedivo. Naime, uočeno je da se stvarna trasa položenog podmorskog kabela osobito u nekim svojim dijelovima dosta razlikuje od projektiranog idealnog pravca, što je i razumljivo jer kod polaganja dolazi do odstupanja zbog raznih utjecaja kao što je utjecaj vjetrova, morskih struja i netočno vođenja broda. Ovo je osobito česta pojava ako brod nije vođen prema posebno razrađenom i provedenom planu vođenja broda, primjenom nekoliko paralelnih metoda od kojih je osnovna upotreba elektroničkog daljinometra. Ovakve osnove za vođenje broda polagača primijenjene su samo kod polaganja malobrojnih 110 kV-nih podmorskih kabela.

Kada je na jedan od opisanih načina pronađen sam kabel na dnu mora i što točnije određeno pretpostavljeno mjesto kvara, ljudi žabe postavljaju plutaču koju vežu za sam kabel na mjestu kvara. Osim toga potrebno je za svaki slučaj i sam kabel na dnu mora na neki način vidno obilježiti bijelim najlonom da ga ronionci mogu lakše ponovno pronaći ako se plutača slučajno otrgne. Ako se daljnjim radovima na kabelu ne može pristupiti odmah, postoji opasnost da se kočarenjem preko kabela ne zahvati i ne otrgne ova oznaka na dnu, a isto tako da se ne otrgne ili ne izgubi plutača. U tom slučaju izgubilo bi se dragocjeno vrijeme potrebno za ponovno pronalaženje oštećenog mjesta na kabelu. Zbog toga je osim označavanja kabela na samom dnu i postavljanja plutače na površinu potrebno i geodetski snimiti poziciju kvara.

Ako se ti poslovi obave u toku jednog ili dva dana, to se može smatrati zadovoljavajućim vremenom s obzirom na to da još nemamo kartirane stvarno položene trase podmorskih kabela.

U blizini obale često je moguće jednostavno, bez ikakvih instrumenata, snimiti poziciju mjesta gdje je kabel oštećen (kad su npr. ronionci prostim okom mogli pronaći oštećeni kabel), slično kao što rade ribari koji bacaju vrše. Na dvama pravcima pod približnim kutom od 90°, koji se sijeku na

mjestu kvara, pronađu se po dva orijentira koji leže na svakom pravcu.

Kod velikih udaljenosti od obale, gdje ni hidrografskim sekstantom nije moguće snimiti dva horizontalna kuta između tri točke na obali, pozicija mjesta greške može se snimiti posredstvom satelita pomoću uređaja kojeg posjeduje Brodospas. Spomenimo i to da ovo poduzeće također raspolaze i plutačama koje se vežu na dno i putem radija se aktiviraju u željenom trenutku tako da isplivaju na površinu.

3. ISPITIVANJE PRODORA VLAGE U KABEL

U slijedećoj fazi radova potrebno je kabel presjeći na mjestu oštećenja te ispitati koliko je vlaga prodrila lijevo i desno od mjesta kvara. Brzina prodora vlage u oštećeni kabel ovisi o vrsti kvara odnosno mehaničkog oštećenja omotača od olovne legure, te vrsti kabela, kao i dubini na kojoj se kvar dogodio. Ta brzina kreće se u vrlo širokim granicama od 1 metra na sat kao najveća do 1,35 metara na dan kao najmanja, u skladu s dosadašnjim iskustvima na riječkom, zadarskom i splitskom području. Primjena plastičnih kabela u budućnosti, npr. s izolacijom od EPR-a, eliminirat će mogućnost širenja i prodiranja morske vode u izolaciju od mjesta kvara uzduž kabela, osim uzduž samog vodiča i prvog poluvodljivog sloja.

Proračun naprezanja kabela pri dizanju odsječenog kabela, svakog kraja posebno, obavlja se slično kao i kod užeta nadzemnog voda, samo što se od težine kabela odbije sila uzgona, a dozvoljeno naprezanje dobije od proizvođača kabela ili približno po formuli:

$$P = kD^2 \text{ (kp)}$$

kad se kabel zateže vučnom čarapicom, gdje je

k — konstanta za određeni tip kabela, a
D — vanjski promjer kabela u mm.

Za podmorske kabele može se uz dovoljnu sigurnost računati s vrijednošću konstante $k = 1,2$.

Kad bismo kabel pokušali s morskog dna podignuti na palubu broda bez prethodnog presijecanja, kad bismo raspolagali s dovoljno jakim dizalicom, postoji opasnost da izazovemo njegovo nedozvoljeno naprezanje. Doduše, u praksi kabel nikada nije položen idealno po pravcu, nego u krivulji po dnu i samo na račun te veće dužine on se katkad može podignuti i bez većih sila. Pri tome nikada ne znamo koliko je rezerva i nećemo li kabel prenapregnuti. Stoga je kabel potrebno najprije presjeći, jer se onda veoma lako svaki njegov prosječni kraj može podignuti na palubu broda.

Kod tanjih kabela do 10 kV presijecanje mogu obaviti ronionci ručno, dok bi kod debljih kabela i viših napona to bio prilično težak posao uz izmjenu

nekoliko ekipa ronioca, koji na većim dubinama mogu ostati veoma kratko. U ovakvim slučajevima presijecanje se kabela obavlja eksplozivom koji se električno aktivira s broda.

Kada je kabel presječen, kod daljnjih radova najbolje je raditi s dva prigodna i manja broda koji imaju vitlo od 2 do 3 t, kao što npr. imaju brodovi kojima privatnici vade morski pijesak ili pak ribarski brodovi tipa »koča«.

Svaki od dvaju brodova podiže istovremeno svoj kraj kabela na palubu. Na svakom od brodova nalazi se ekipa radnika s odgovarajućim priborom za rezanje i ispitivanje prodora vlage u kabel. Kraj kabela se podigne dizalicom, zatim se osigura njegovo učvršćenje odgovarajućim povezivanjem s konopcem, pa ga se siječe.

Ispitivanje prodora vlage je vrlo jednostavno. U staklenoj vatrostalnoj posudi ugrije se transformatorsko ulje na temperaturi od 150°C. U to se ulje umače papir izolacije ili ispune oko žila, pazеći da se taj dio prethodno nije dirao rukom. Kod prisutnosti vlage nastaju mjehurići i prskanje vodene pare koja se zbog visoke temperature oslobađa iz izolacije. Zatim se kabel ponovno zahvaća dizalicom, izvlači i ponovno siječe. Taj se postupak ponavlja sve dok se više ne mogu otkriti tragovi vlage u izolaciji kabela.

4. UMETANJE REZERVNOG KABELA I IZRADE FLEKSIBILNIH SPOJNICA

U slijedećoj fazi radova treba imati na raspolaganju jači brod na kojem će se izrađivati fleksibilne spojnice i nekoliko manjih pomoćnih brodova. Brod na kojem će se raditi spojnice treba uzeti balast da bude što stabilniji i manje izložen bočnom vjetru. Ovakav brod mora imati mogućnost smještaja postolja za bubanj s rezervnim kabelom i jednostavan uređaj za kočenje bubnja. Razumljivo je da se ovdje radi o manjim dužinama rezervnog kabela, koji se može namotati na standardne bubnjeve, te polagati u more s istog bubnja.

Na krmnom dijelu broda (kod ovakvih polaganja podmorskih kabela s bubnja) mora biti mjesta za smještaj i postavljanje jednog segmentnog elementa s lukom od 1/4 kružnice polumjera najmanje $R = 25D$, gdje je D promjer kabela. Preko ovog segmenta, sastavljenog od više valjaka ili koloturnika jednoliko raspoređenih po obodu, polaže se kabel u more, pri čemu se osigurava da se kabel ne bi nedopušteno savio.

Isti takav segment potreban je i na pramčanoj strani broda, da se preko njega može podići i povlačiti drugi kraj kabela kod izrade druge spojnice, tj. kad se na brodu nalaze oba kraja kabela. Brod također mora imati vitlo i palubnu dizalicu, te prostor za smještaj šatorske kućice u kojoj će se izrađivati spojnice.

Tako opremljen brod dolazi na položaj jedne od dviju plutača koje označavaju krajeve odsječenog

kabela. To je u pravilu onaj kraj kabela koji leži na većoj dubini i nalazi se dalje od obale. Tu se kraj kabela pomoću ronioca zahvaća i preko palubne dizalice podiže na brod. S bubnja rezervnog kabela odmota se toliko kabela koliko je potrebno da on dosegne do mjesta gdje se izrađuje prva spojnica. Prije izrade spojnice kraj kabela koji je, iako zatvoren, bio u moru obavezno se sigurnosti radi ponovno ispituje kako na prodor vlage tako i naponski da nije u međuvremenu slučajno nastalo novo oštećenje kabela na drugom mjestu. Brod se sada sidri pomoću četiri sidra, koja što dalje od broda postavljaju manji pomoćni brodovi, pa se pristupa izradi prve spojnice.

Fleksibilne spojnice u načelu izrađuje proizvođač kabela, a izrađuju se tako da je kabel na tom mjestu jedva vidljivo zadebljan. Spojnica mora zadržati fleksibilno svojstvo i mehaničku čvrstoću kao i kabel. Izrada jedne 10 kV spojnice traje 10—12 sati, spojnice 35 kV 20—24 sata, a za veće naponе i duže ako kabeli nisu jednožilni.

Kada je završena izrada prve spojnice, povlačenjem broda prema drugoj plutači, i to tako da se popuštaju užeta dvaju krmenih sidra, a pritežu užeta pramčanih sidra, lagano se spušta kabelska spojnica na morsko dno. Za to vrijeme rezervni kabel ravnomjerno se odmotava s bubnja koji treba kočiti da se dobije odgovarajuća vučna sila i onemogućiti stvaranje petlje.

Ako drugi kraj odsječenog kabela označen plutačom nije odviše udaljen, preporučljivo je da ljudi žabe postave odmah i vučnu čarapicu na ovaj kabel i da se dovoljno dugačko užе dopremi na glavni brod, još prije nego je započeto spuštanje prve kabelske spojnice u more. Sada se kod polaganja prve spojnice i rezervnog kabela može brod osim preko sidra polako povlačiti i zatezanjem užeta koji je preko kabelske čarapice povezan i s drugim krajem kabela. Na taj način najbolje se održava pravac polaganja i brod za polaganje polako se povlači prema drugom kraju odsječenog kabela uz pomoć jednog ili dva pomoćna broda.

Kad se tako položi sav rezervni kabel i kad se dođe do mjesta gdje je i drugi kraj kabela podignut na brod, pristupa se kao i kod izrade prve spojnice ponovnom ispitivanju kraja kabela s obzirom na eventualnu mogućnost prodora morske vode na zatvorenom kraju ili u međuvremenu mogućeg oštećenja kabela na dijelu od mjesta gdje je bio odsječen, pa do kraja na kopnu. Ako je ispitivanje zadovoljilo, kabel na bubnju, a zbog rezerve uvijek se uzima više, reže se na mjestu gdje će se izrađivati fleksibilna spojnica. Prethodno je potrebno jedan i drugi kraj kabela koji leže preko segmentnih elemenata na pramcu i krmi odgovarajućim vezovima pričvrstiti na brod, tako da kabel nije odviše zategnut kad dođe zbog valova do lju-ljanja broda a da na mjestu gdje se privezuje kabel ne bude oštećen. Pri tome je potrebno uzeti u obzir i podizanje broda zbog nailaska plime, čime se povećava zatezanje kabela.

5. ZAVRŠNI RADOVI

Na kraju preostaje još da se opiše posljednja faza radova, a to je spuštanje sastavljenog kabela u more nakon izrade druge spojnice.

Kao i u svim prethodnim radovima, tako je i kod ovih završnih radova potrebna koordinacija voditelja radova tvrtke koja postavlja kabele i kapetana broda na kojem se obavlja popravak kabela. Rukovoditelj radova surađuje s kapetanom koji daje upute posadi svojega broda, a isto tako i kapetanima ostalih pomoćnih brodova koji sudjeluju u operaciji.

Kad se izrađuje posljednja fleksibilna spojnica, treba paziti da se kabel postavi uzduž broda što bliže onoj strani preko koje će se spustiti u more i da tamo nema ograda broda koje bi to spuštanje ometalo. Sada se ispod kabela postavi posebno za ovu svrhu pripremljen polukružni segment odgovorajućeg promjera koji je također uvjetovan promjerom kabela. Kabel se preko ovog segmenta podigne palubnom dizalicom da se oslobodi pramčanog i krmenog segmenta, te se prebaci preko boka broda. Jedan ili dva pomoćna broda počnu tada (brod sa podignutim kabelom na polukružnom segmentu) povlačiti kabel na suprotnu stranu od one na kojoj se nalazi, a pri tome se preko vitla s dovoljno dugačkim čeličnim užetom kabel lagano spušta u more. Pri tome treba paziti da se na kabelu ne pojave nedopuštena naprezanja, što se postiže usklađivanjem brzine broda ili brodova koji tegle brod što drži kabel bočno s brzinom s kojom se kabel preko vitla spušta na morsko dno. Za čitavo to vrijeme ljudi žabe prate spuštanje kabela do dna i daju znak kad je kabel na dnu.

Nakon toga ronjoci oslobađaju kabel iz polukružnog segmenta i daju znak da se on izvuče na palubu. Na taj način izbjegnuto je da se pri spuštanju kabela eventualno načini petlja, te on sada u blagom luku leži na morskom dnu.

Nakon ovog pristupa se naponskom ispitivanju čitavog popravljenog kabela, a kabel se zatim ponovno stavlja u pogon.

6. ZAKLJUČAK

Kod opisanog načina popravka podmorskog kabela mnogi su postupci improvizirani, a također i oprema. Na žalost, ovim se postupkom još uvijek

moramo služiti u pomanjkanju plovnog objekta koji bi bio izgrađen i opremljen samo za ovu svrhu. Trebalo bi da gradnju takvog plovnog objekta financiraju sve zainteresirane elektroprivredne organizacije na Jadranu, pogotovu sada kad je brod »Majdan« poslan u rezalište. Naime, spomenuti brod Obalne plovidbe iz Splita unajmljivalo je poduzeće »Dalekovod«, Zagreb, koje je raspolagalo sada već zastarjelom i praktički neupotrebljivom opremom za polaganje i dizanje kabela.

Suvremne brodove za popravak podmorskih kabela imaju sve razvijene elektroprivrede u svijetu, koje posjeduju i manju mrežu podmorskih kabela od nas. Takvi plovni objekti mogu, ali ne moraju imati vlastiti pogon. Oni osim pramčane palubne dizalice imaju ugrađen jedan ili dva vitla, te obavezno imaju »katepillar« — hidraulični stroj tjeran benzinskim ili dizel-motorom koji bez svijanja kabela, trenjem između dvaju gumenih remenova, mogu podizati ili spuštati kabel iz mora određenom brzinom koja se može fino regulirati. Radna grupa Elektroprivrede Dalmacije radi na tome da se i za naše potrebe sagleda i predloži najbolje rješenje za gradnju jednoga takvog plovnog objekta za popravak kabela, a svoj rad temelji na vlastitim iskustvima drugih elektroprivreda u svijetu. Treba očekivati da će i naša elektroprivreda u dogledno vrijeme imati ako ne svoj vlastiti brod, a ono makar opremu koja će se u danom momentu moći jednostavno i brzo postaviti na odgovarajući unajmljeni brod. Velik broj naših elektrificiranih otoka, povezanih podmorskim kablama 10, 35 i 110 kV, zahtijeva ovo kao neodgodivu nužnost.

SOME EXPERIENCES WITH THE REPAIRS OF UNDERSEA CABLES

One of the ways of repairing an undersea cable is described. It has been shown how to go about cutting the cable at the site of fault. Then, only so much cable is brought up from both ends as it was affected by the sea water. After that, the cable is repaired by inserting the responding length of new cable with the appliance of two flexible connections.

Naslov pisca:
Žarko Gulin, dipl. ing.
Elektra — Zadar, Zadar

O STANDARDIMA NA PODRUČJU INSTRUMENTACIJE I REGULACIJE KOJI SE PRIMJENJUJU KOD IZGRADNJE NUKLEARNE ELEKTRANE »KRŠKO«

Boris Kalan, Zagreb

UDK 621.039.5—52

U članku je dan pregled standarda i propisa koji se odnose na područje instrumentacije i regulacije nuklearne elektrane. Prikazani su sistemski standardi, standardi za testiranje, standardi za izmjenu informacija, te popis organizacija koje izdaju standarde.

1. OPĆENITO O STANDARDIMA

Industrijski standardi su se pojavili u industriji s dugom tradicijom, tj. u industriji gdje je znatan broj uključenih organizacija došlo do spoznaje da se primjenom standardizacije postižu niži troškovi proizvodnje, kao i bolja primjena proizvoda. Razvojem nuklearne industrije javila se potreba ne samo za industrijskim već i za sigurnosnim standardima. Stoga se od do sada odobrenih nuklearnih standarda i od onih koji su u pripremi većina odnosi na sigurnost nuklearne elektrane.

Zbog vrlo velike važnosti reaktorske instrumentacije, tj. sistema zaštite reaktorskog postrojenja, došlo je u prvim počecima razvoja nuklearne tehnologije do standardizacije tih sistema. Sistem zaštite reaktorskog postrojenja ima ulogu da spriječi oslobađanje većih količina radioaktivnih materija izvan sigurnosnih barijera i da ograniči štete kod eventualnih nezgoda. Osnovni zahtjevi na sistem zaštite reaktorskog postrojenja, kao i kriteriji za njihovo projektiranje definirani su raznim standardima ili smjernicama, od kojih su najrazvijeniji oni američki.

USNRC (United States Nuclear Regulatory Commission) i USAEC (United States Atomic Energy Commission) izradile su niz preporuka za primjenu raznih standarda. Može se smatrati da je jedan od osnovnih standarda koji definiraju sigurnost nuklearne elektrane IEEE Std. 279-1971 »Criteria for Nuclear Power-Generating Station Protection Systems«.

2. TIPOVI STANDARDA

2. 1. Sistemski standardi

Sistem je tehnološka cjelina koja se sastoji od većeg broja međusobno povezanih komponenata radi izvršenja neke funkcije. Stoga se zahtjevi na

sisteme moraju definirati prije no što se definiraju za pojedine komponente. Postojeći sistemski standardi daju samo opće smjernice i zahtjeve na pojedine sisteme, dok je razrada i primjena tih smjernica prepuštena projektantima.

Jedan od osnovnih sistemskih standarda koji se primjenjuje kod projektiranja I & C opreme za nuklearnu elektranu »Krško« jest IEEE Std. 279-1971, a on je identičan standardu ANSI N 42.7.

Ostali standardi i kriteriji koji se primjenjuju pri projektiranju I & C opreme za NE Krško jesu:

a) »General Design Criteria for Nuclear Power Plants« Appendix A to Title 10 CFR Part 50, 1971,

b) »Regulatory Guide 1.11 — Instrument Lines Penetrating Primary Reactor Containment«, Regulatory Guides for Water Cooled Nuclear Power Plants, AEC,

c) »Regulatory Guide 1.22 — Periodic Testing of Protection System Actuation Functions«, Regulatory Guides for Water Cooled Nuclear Power Plants, AEC,

d) »Regulatory Guide 1.47 — Bypassed and Inoperable Status Indication for Nuclear Power Plant Safety Systems« Regulatory Guides for Water Cooled Nuclear Power Plants, AEC,

e) »Regulatory Guide 1.53 — Application of the Single — Failure Criterion to Nuclear Power Plant Protection System«, Regulatory Guides for Water Cooled Nuclear Power Plants, AEC,

f) IEEE Std. 308-1971 »Criteria for Class 1E Electric Systems for Nuclear Power Generating Systems«,

g) IEEE Std. 317-1971 »IEEE Standard for Electrical Penetration Assemblies in Containment Structures for Nuclear Fueled Power Generating Stations«,

h) IEEE Std. 323-1971 »IEEE Trial-Use Standard: General Guide for Qualifying Class I Electric Equipment for Nuclear Power Generating Stations«,

i) IEEE Std. 334-1971, »IEEE Trial-Use Guide for Type Tests of Continuous-Duty Class I Motors Installed Inside the Containment of Nuclear Power Generating Stations«,

j) IEEE Std. 336-1971, »IEEE Standard Installation, Inspection, and Testing Requirements for Instrumentation and Electric Equipment During the Construction of Nuclear Power Generating Stations«,

k) IEEE Std. 338-1971, »IEEE Trial-Use Criteria for the Periodic Testing of Nuclear Power Generating Station Protection System,

l) IEEE Std. 344-1971, »IEEE Trial-Use Guide for Seismic Qualification of Class I Electric Equipment for Nuclear Power Generating Stations«,

2.1.1. Primjena standarda IEEE 279. Zbog velike važnosti standarda IEEE 279, »Criteria for Protection Systems for Nuclear Power Generating Stations« u fazi projektiranja, iznijet će se ukratko pregled osnovnih područja I & C sistema na koje se taj standard primjenjuje.

a) **Sistem obustave reaktora.** Sistem obustave reaktora djeluje da bi se smanjile štetne posljedice kod eventualnog stanja II, tzv. incidenata umjerene frekvencije, koje je definirano standardom ANSI N18.2-1973. Neki pogonski slučajevi koji mogu uzrokovati to stanje jesu nenamjerno izvlačenje grupe kontrolnih šipki, djelomični gubitak hladioca jezgre, gubitak napojne vode, gubitak napajanja električne energije s mreže itd.

Uz prihvaćene osnove za projektiranje koje su navedene u IEEE-279, detaljniji zahtjevi na sistem obustave reaktora dobiveni su analizom operativnih stanja elektrane i analizom incidentnih slučajeva, kako bi se spriječilo oštećenje jezgre ili barijere primarnog hladioca.

b) **Sistem za izvršenje zaštitnih tehničkih mjera.** Sistem za izvršenje tehničkih mjera ima svrhu da ublaži posljedice kod eventualnog stanja III, tzv. rijetkih kvarova a prema standardu ANSI N18.2-1973. Neki pogonski slučajevi koji mogu uzrokovati to stanje jesu: gubitak primarnog hladioca koji je uzrokovan manjom pukotinom na graničniku primarnog hladioca, puknuće cijevi na sekundarnoj strani parogeneratora, puknuće rezervoara za spremanje radioaktivnih plinova itd.

Sistem za izvršenje zaštitnih tehničkih mjera služi također za ublaživanje posljedica stanja IV, tzv. graničnih kvarova, npr. veće pukotine na cijevi primarnog kruga, pomicanja goriva zbog pada jezgre, izbacivanja jedne kontrolne šipke iz jezgre itd.

Uz zahtjeve da signali koji aktiviraju sistem zaštite budu pravovremeni i pouzdani, mora postojati mogućnost prema standardu IEEE-279 da se sistem za izvršenje zaštitnih tehničkih mjera aktivira ili djelomično blokira i iz kontrolne sobe.

c) **Blokiranje.** Sistem za blokiranje služi za sprečavanje nekih akcija, manualnih ili automatskih, u sistemu zaštite reaktora, kao i u sistemu regulacije snage reaktora. Kao primjer blokiranja može se navesti slučaj kada signal koji izaziva obustavu reaktora (reactor trip) istovremeno automatski inicira obustavu rada turbine, zatvaranje glavnih ventila na sistemu pojne vode, ako je temperatura hladioca niža od postavne vrijednosti i omogućuje ručnu blokadu automatsko ponovne aktivacije sistema za sigurnosno ubrizgavanje (tzv. »Safety injection«).

Potrebno je napomenuti da su samo blokade na sistemu zaštite reaktorskog postrojenja projektirane na osnovi standarda IEEE-279, dok su blokade na sistemu regulacije snage projektirane prema Westinghouseovim propisima, jer one nisu u direktnoj vezi sa sigurnošću elektrane (tzv. »Non-safety related«).

d) **Premoštavanje kanala.** Sistem zaštite reaktorskog postrojenja tako je projektiran da dozvoljava održavanje, a kada je to nužno i testiranje i kalibriranje za vrijeme pogona nuklearne elektrane, a da se ne inicira zaštita sistema. To se postiže s premoštavanjem kanala, tj. u toku ispitivanja pojedini se kanali stavljaju u stanje neoperativnosti, a zaštitnu funkciju preuzimaju ostali kanali. Sistem je također tako projektiran da u slučaju ručnog ili automatskog premoštavanja nekog kanala dođe do automatskog uključivanja kanala u stanje operativnosti, ako se za to pokaže potreba.

e) **Zaštita opreme.** Oprema koja je vezana za sigurnost elektrane projektirana je i instalirana tako da je zaštićena od oštećenja koju bi mogli uzrokovati gubitak funkcionalnosti sistema. Zaštita sistema od vatre, projektila ili neke druge prirodne nepogode postignuta je putem neovisnosti i razdvojenosti, kao npr. gradnjom raznih barijera ili fizičkim odvajanjem.

f) **Raznolikost.** Sistem zaštite reaktora projektiran je tako da je primijenjena funkcionalna raznolikost, tj. dvije različite zaštitne funkcije ili više njih automatski će se aktivirati prije nego što uopće dođe do kritičnog stanja u sistemu. Kao primjer može se navesti automatska obustava pogona reaktora koja se inicira na osnovi mjerenja neutronske flukse temperature reaktorskog hladioca, pritiska u održavaču tlaka, nivoa hladioca u održavaču tlaka, pri pojavi signala za sigurnosno ubrizgavanje kao i kod ručne aktivacije za obustavu rada reaktora. Navedeni zaštitni kanali izvedeni su u višestrukoj izvedbi i u fizičkoj odvojenosti.

g) **Neovisnost višestrukih sigurnosnih sistema.** Sistemi za opskrbu električnom energijom, instrumentacija te kontrolni kabeli za višestruke sisteme nuklearne elektrane

fizički su odvojeni radi osiguranja redundantnosti, kao i zaštite od mogućnosti da jedan neželjeni događaj onemogući izvršenje potrebnih zaštitnih funkcija. Kritični sistemi sastoje se od električnih napajanja kontrolne i analogne instrumentacije pridružene sa sistemom za zaštitu reaktora ili sistemom za zaštitu reaktora ili sistemom za izvršenje zaštitnih tehničkih mjera.

Neovisnost kanala provodi se kroz cijele sisteme, počevši od senzora do uređaja koji aktiviraju zaštitnu funkciju. Fizičko odvajanje provodi se tako da se separiraju višestruki transmitori, a Separiranje vodiča tako da se koriste različiti putovi za kabele, različite police i različite penetracije kroz kontejnment. Višestruka analogna oprema je odvojena postavljanjem module u različite ormare sistema za zaštitu. Svaki od višestrukih kanala napaja se iz odvojenog izvora izmjenične struje.

2.1.2. Primjena Standarda IEEE 308-1971. Sistem opskrbe električnom energijom za Klasu 1E električne opreme mora biti u skladu sa standardom IEEE 308-1071 — »Criteria for Class 1E Electric Systems for Nuclear Power Generating Systems«. Sistem opskrbe sastoji od ovih međusobno povezanih sistema:

- sistema izmjenične struje
- sistema jednosmjerne struje
- sistema za opskrbijavanje vitalne instrumentacije i kontrolnih krugova.

Prema standardu IEEE 308 moraju biti zadovoljeni ovi zahtjevi:

a) Sistem opskrbe mora biti tako projektiran da ni jedan od pretpostavljenih prirodnih događaja kao što su potres, vjetar, kiša, led, snijeg, poplava, udar groma i temperatura kao i pretpostavljenih mogućih događaja kao što su

- postulirani uvjeti okoline nakon incidenta
- požari
- incidentno-generirani projektili
- aktiviranje sistema za gašenje požara
- incidentno-generirane poplave
- postulirani gubitak preferiranog opskrbijavanja u kombinaciji sa bilo kojim prethodnim slučajem
- jednostruka pogrešna prorada opereme
- jednostruk događaj, greška komponente ili kruga što može uzrokovati višestruku pogrešnu proradu opreme
- isključenje pojedine opreme zbog održavanja ne može uzrokovati ove događaje:
- gubitak električne energije komponentama sistema zaštite, sistema za pružanje zaštitnih tehničkih mjera i sistema za nadzor u toj mjeri da bi bila ugrožena sigurnost elektrane
- gubitak električne energije za pojedinu opremu što bi dovelo do transidentnog stanja reaktora s mogućim oštećenjem goriva ili reaktorskog rashladnog sistema.

b) Promjene napona i frekvencije u toku pretpostavljenih događaja ne smiju smanjiti funkcionalnost pojedine električne opreme, što bi rezultiralo oštećenjem goriva ili reaktorskog rashladnog sistema.

c) Moraju se predvidjeti indikatori u kontrolnoj sobi kao i izvan nje za:

- sklopke koje su potrebne za prekapčanje sabirnica Klase 1E između preferiranog i pomoćnog izvora napajanja
- pomoćni izvor napajanja.

d) Svaki tip električne opreme Klase 1E mora biti ocijenjen analizom, uspješnim ispitivanjem u sličnim uvjetima ili testiranjem u normalnim i pretpostavljenim mogućim uvjetima.

2.1.3. Primjena standarda IEEE 317-1971. Mehaničke i električne karakteristike te potrebna testiranja za električne penetracije kroz kontejnment moraju biti u skladu sa standardom IEEE 317-1971 »IEEE Standard for Electrical Penetration Assemblies in Containment Structures for Nuclear Fueled Power Generating Stations«. U standardu su navedeni zahtjevi koji moraju biti obuhvaćeni u toku projektiranja te potrebni testovi na prototipu, tvorničkom proizvodu, te nakon instaliranja električne penetracije.

Električne penetracije se instaliraju u grupama kako bi se osigurala fizička odvojenost električnih kabela, tj. da se ispuni zahtjev tzv. jednostruke greške. Unutar grupe predviđene su posebne penetracije za visokonaponske kabele, niskonaponske i kontrolne kabele i za instrumentacijske kabele.

2.1.4. Primjene Standarda IEEE 323-1971. Električna oprema Klase 1E, tj. ona oprema koja je od bitne važnosti za sigurnu obustavu rada reaktora i izolaciju reaktorskog sistema, a čije oštećenje ili neispravnost može rezultirati značajnim gubitkom radioaktivnih materija, mora biti kvalificirana u skladu sa standardom IEEE 323-1971 »IEEE Trial-Use Standard: General Guide for Qualifying Class I Electric Equipment for Nuclear Power Generating Stations«.

Prema tom standardu svaki tip opreme mora biti kvalificiran za njegovu primjenu. Potrebna dokumentacija o kvalifikaciji mora sadržavati: zahtjeve za primjenu, specifikaciju opreme i rezultate dobivene primjenom metode kvalifikacije.

2.1.5. Primjena Standarda IEEE 334-1971. Električni motori Klase 1E unutar i izvan kontejnmenta moraju funkcionirati u svim zahtijevanim uvjetima rada. Te se karakteristike demonstriraju testovima koji se moraju voditi u skladu sa standardom IEEE 334-1971 »IEEE Standard for Type Tests of Continous Duty Class 1E Motors for Nuclear Power Generating Stations«.

Testovi se sastoje od kvalifikacijskog testa u normalnom pogonu, kvalifikacijskog testa u slu-

čaju pretpostavljenoga mogućeg događaja i kvalifikacijskog testa funkcionalnosti nakon pretpostavljenoga događaja.

Kvalifikacijski test funkcionalnosti nakon pretpostavljenoga mogućeg događaja mora demonstrirati da će pojedini motor funkcionirati kroz neko razdoblje i u štetnim uvjetima okoline nakon pretpostavljenoga mogućeg događaja.

2.1.6. Primjena Standarda IEEE 344-1971. Električna oprema Klase 1E mora biti kvalificirana radi zadovoljavanja performansi u toku predviđenog potresa i nakon njega, a prema standardu IEEE 344-1971 »IEEE Guide for Seismic Qualification of Class 1 Electric Equipment for Nuclear Power Generating Stations«. Prema tom standardu mogu se primijeniti dvije metode kod utvrđivanja kvalifikacije opreme:

— predvidjeti performanse opreme pomoću matematičke analize

— testirati opremu u simuliranim seizmičkim uvjetima.

Za svaki tip opreme mora postojati dokumentacija u kojoj je vidljivo da oprema ima zadovoljavajuće performanse u slučaju kada je izložena seizmičkim akceleracijama.

2.1.7. Primjena standarda IEEE 336-1971. Standard IEEE 336 postavlja zahtjeve koji se trebaju primjenjivati u toku instaliranja, inspekcije i testiranja električne opreme i instrumentacije Klase 1 i Klase 1E. Primjena tih zahtjeva ima svrhu da se osigura da su materijali i oprema prihvatljive kvalitete ugrađeni u elektranu, da je prevladao kvalitetan rad u toku izgradnje elektrane i da je kompletna instalacija izvedena u skladu sa specifičnim zahtjevima. Postignuta kvaliteta izgradnje nema kao rezultat veću raspoloživost elektrane nego i veću sigurnost za okolinu u slučaju da dođe do opasnog kvara.

2.1.8. Primjena kriterija »Regulatory Guide« 1.11. Regulatory Guide 1.11 postavlja zahtjeve na instrumentacijske linije koje prolaze kroz kontejnment a sastavni su dio graničnika primarnog hladioca ili su u direktnom kontaktu s atmosferom kontejnmenta. Prema tom kriteriju za instrumentacijske linije koje su dio sistema zaštite moraju biti ispunjeni ovi zahtjevi:

a) Višestruka izvedba, neovisnost i mogućnost testiranja sistema zaštite.

b) Linije moraju biti tako dimenzionirane ili moraju imati ugrađene prigušnice tako da u slučaju postuliranog kvara na liniji izvan kontejnmenta: 1) gubitak hladioca bude smanjen na najmanju moguću mjeru, 2) količina gubitka hladioca bude u granicama mogućnosti sistema za dodavanje hladioca i 3) da moguće zračenje izvan pod-

ručja elektrane bude znatno ispod preporuke od 10 CFR 100.

c) Na linijama trebaju biti postavljeni izolacioni ventili koji se aktiviraju automatski ili daljinski iz kontrolne sobe. Elektromotorni ventili moraju ostati u položaju u kojem jesu (as-is condition) nakon gubitka električne energije. Stanje tih ventila (otvoren ili zatvoren) mora biti indicirano u kontrolnoj sobi.

d) Instrumentacijske linije, uključivši i izolacione ventile, trebaju biti projektirane prema konzervativnim pretpostavkama, tj. prema pretpostavkama koje dovode do težih posljedica. Također trebaju biti ispunjeni zahtjevi na kvalitetu u mjeri barem jednako kao za kontejnment.

e) Instrumentacijske linije se ne trebaju ograničiti s komponentama, kao npr. ventili i prigušnice, kako se ne bi povećalo vrijeme aktiviranja linije (response time) do nedozvoljenog stupnja.

Za instrumentacijske linije koje nisu dio sistema zaštite moraju biti ispunjeni uvjeti navedeni pod b), c), d) i e), kao i zahtjev da su linije izvedene s automatskim izolacionim ventilom unutar i izvan kontejnmenta.

2.1.9. Primjena kriterija Regulatory Guide 1.47. Regulatory Guide 1.47 može se shvatiti kao dopuna zahtjevima danim u Appendixu B od 10 CFR 50, kao i u standardu IEEE 279-1971, u kojima se zahtijeva da se stanje premoštavanja ili namjernog stavljanja izvan funkcionalnosti bilo kojeg pripadajućeg dijela sistema zaštite mora kontinuirano indicirati u kontrolnoj sobi.

Prema tom kriteriju mora se uspostaviti sistem koji će automatski indicirati svako premoštavanje ili neoperativnost bilo kojega dijela sistema zaštite, sistema koji sistem zaštite aktivira ili kontrolira, kao i pripadajućeg pomoćnog sistema. Treba posebno naglasiti da se indiciranje stanja vrši na nivou sistema zaštite iako se premoštavanje vrši na nivou komponente ili kanala. Na primjer, ako se testira sklopka za aktiviranje pumpe A u sistemu za tuširanje kontejnmenta (core spray system), tada se u kontrolnoj sobi indicira da je sistem A za tuširanje kontejnmenta (core spray system A) neoperativan, a ne da je samo sklopka za aktiviranje pumpe u fazi testiranja. Također prema tom kriteriju mora postojati i mogućnost da se ručno aktivira svaki indikator na nivou sistema u kontrolnoj sobi.

2. 2. Standardi za testiranje

Da bi se karakteristike pojedine opreme mogle međusobno uspoređivati, potrebno je karakteristike mjeriti na standardni način. Stoga se primjenjuju standardi za testiranje, jer oni omogućuju valjanost komparacije, navode specifične metode

za testiranje, uvjete testiranja kao i opremu potrebnu za izvršenje testiranja. Takvi tipovi nisu novi ni specifični za nuklearnu instrumentaciju. Naime, na nuklearnu instrumentaciju mogu se primijeniti standardi za instrumentaciju za druga industrijska područja, npr. za naftnu industriju. Kao primjer takvih standarda može se navesti standard ISA-RP-16.6 »Methods and Equipment for Calibration of Variable Area Meters«, zatim Regulatory Guide 1.22 »Periodic Testing of Protection Systems Actuation Functions«, ili IEEE Standard 338 »IEEE Trial-Use Criteria for the Periodic Testing of Nuclear Power Generating Station Protection Systems«.

Od jugoslavenske regulative na tom području potrebno je istaknuti propise koje je izdao Savezni zavod za mjere i dragocene kovine pod nazivom »Pravilnik o načinu tipnog ispitivanja mjerila«, koji je objavljen u Službenom listu 29 od 1976. godine.

2.2.1. Primjena kriterija Regulatory Guide 1.22.

Prema »General Design Criteria for Nuclear Power Plants« treba sistem zaštite reaktora biti projektiran tako da je moguće periodično testiranje funkcionalnosti tog sistema i u toku pogona reaktora. Budući da pravilno izvršenje funkcija zaštite ovisi i o pravilnom funkcioniranju naprava za aktiviranje, moraju i te naprave prema Regulatory Guide 1.22 biti na odgovarajući način testirane. Preferirana metoda za testiranje tih naprava jest da se simultano testiraju sve naprave za aktiviranje koje su pridružene pojedinom od višestrukih izlaznih kanala sistema zaštite. Ako se oprema za aktiviranje ne testira u toku rada reaktora, tada se treba utvrditi:

a) Sistem zaštite je tako projektiran da ne dopušta aktiviranje naprava za aktiviranje koje bi ugrozile sigurnost i funkcionalnost elektrane.

b) Postoji vrlo malo vjerojatnosti da sistem zaštite ne inicira rad opreme za aktiviranje i u slučajevima kada ta oprema nije testirana u toku rada reaktora.

c) Oprema se može redovito testirati kada je reaktor izvan pogona. Kao primjer oprema koja se ne mogu testirati u toku pogona reaktora mogu se navesti: sklopke za ručno aktiviranje (manual actuation switches), prekidači za pumpu reaktorskog hladioca (Reactor Coolant Pump Breakers), sistem za ispad turbine (Turbine Trip) koji uzrokuje ispad reaktora (Reactor Trip) itd.

2.2.2. Primjena standarda IEEE 338-1971. Osnovni zahtjevi za izvršenje sigurnosnih funkcija sistema zaštite nuklearne elektrane dani su u standardu IEEE 279-1971. Također se u tom standardu zahtijeva da postoji mogućnost za testiranje sistema zaštite u toku rada reaktora, dok je razrada metoda za testiranje i procedura za testiranje prikazana u standardu IEEE 338-1971. Svrha

periodičnih testiranja sistema zaštite elektrane jest da se postigne predviđena raspoloživost sistema i da se otkriju karakteristike sistema zaštite koje su izvan određenih granica tolerancije. Važne karakteristike sistema, na koje se mora obratiti posebna pažnja, jesu »vrijeme odgovora« (response time) i postavne vrijednosti zaštitnih kanala (set point accuracy).

Kanali se testiraju tako da se ulazne veličine narinu što je moguće bliže senzoru, a to se može učiniti na nekoliko načina:

a) Perturbiranjem promatrane varijable, i to na taj način da se mijenja tlak, temperatura ili nivo snage.

b) Uvođenjem i variranjem substituirajućeg ulaza koji ima iste karakteristike kao i promatrana varijabla. Kao primjer može se navesti injektiranje vruće ili hladne tekućine u tekućinu čija se temperatura mjeri.

c) Uvođenjem i variranjem analognog ulaza u zaštitne kanale, i to u slučajevima kada je testiranje senzora praktički neizvedivo. Kao primjer može se navesti upotreba simuliranog signala (npr. naponski ili strujni signal) na pojedine dijelove kruga.

2. 3. Standardi za materijale

Standardi za materijale daju osnovne smjernice za izbor materijala za specifičnu upotrebu. Također ti standardi definiraju tehniku testiranja materijala, kao i zahtjeve koji su u tu svrhu potrebni. Zahtjevi na materijale koji se koriste u nuklearnoj instrumentaciji uglavnom su isti kao i za druga polja primjene instrumentacije. Za najčešću upotrebu instrumentacije mogu se navesti ovi zahtjevi na korištene materijale: kemijske i fizikalne osobine, svojstva otpornosti na koroziju, tvrdoća, elastičnost i električni otpor u specifičnim uvjetima. Za reaktorsku instrumentaciju važni su i uvjeti okoline koje ti materijali moraju podnijeti, npr. temperatura, pritisak, vlažnost, neutronske tok, kemijske i fizičke osobine hladioca u kojem senzori moraju funkcionirati. Kao primjer standarda s tog područja može se navesti: IEEE Standard 278/ANSI N 4.1 »Classification of Electrical Insulating Materials Exposed to Neutron and Gamma Radiation« te ISA-RP-25.1 standard »Materials for Instruments in Radiation Service«.

2. 4. Standardi za izmjenu informacija i za međusobnu zamjenu opreme

Definicije, standardne skraćenice i grafički simboli koji se koriste u nuklearnoj industriji navedeni su u standardima za izmjenu informacija. Standardi za međusobnu zamjenu opreme uključuju standarde za dimenzije opreme koja se ugra-

duže, dimenzije panela i instrumentacijskih polica, napona napajanja i područja napona signala.

Kao primjer standarda za izmjenu informacija može se navesti standard ANSI N 1.1 »American National Standard Glossary of Terms in Nuclear Science and Technology«.

Kao primjer standarda za međusobnu zamjenu opreme može se navesti USAEC Report TID-20893 »Standard Nuclear Instrument Modules«.

3. PREGLED ORGANIZACIJA KOJE SE BAVE IZDAVANJEM STANDARDA

Izdavanje standarda, naročito u reaktorskoj instrumentaciji, veoma je važno za nuklearnu industriju. Reaktorska instrumentacija proživljava u posljednjih nekoliko godina intenzivan razvoj te dostupnost publikacija od organizacija koje izdaju standarde ima veliku važnost.

Organizacije koje izdaju industrijske standarde jesu:

ANS	— American Nuclear Society
ANSI	— American National Standards Institute
ASME	— American Society of Mechanical Engineers
ASTM	— American Society of Testing and Materials
EIA	— Electronic Industries Association
IEC	— International Electrotechnical Commission
IEEE	— Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISA	— Instrument Society of America
NEMA	— National Electrical Manufacturers Association
SAMA	— Scientific Apparatus Makers Association

Vladavine organizacije SAD-a koje izdaju standarde su:

NBS	— National Bureau of Standards
USAEC	— United States Atomic Energy Commission.

USAEC izdaje preporuke, tzv. Regulatory Guides, radi publiciranja metoda koje je prihvatio AEC (Atomic Energy Commission), a odnose se na evaluaciju specifičnih problema ili postuliranih incidenata kao i na pružanje smjernica korisnicima. Treba naglasiti da Regulatory Guides nisu zamjena za zakonske propise i da nije zahtijevana njihova primjena.

Regulatory Guides izdaju se za 10 navedenih područja:

1. energetske reaktori
2. reaktori za istraživanje i testiranje

3. gorivo i naprave
4. okolina i smještaj reaktora
5. materijali i zaštita elektrane
6. proizvodi
7. transport
8. zdravstvo i nadzor
9. pregled antitrustova
10. općenito.

4. DEFINICIJE POJMOVA KOJI SU KORIŠTENI U ČLANKU

Kanal (Channel)

kombinacija komponenata i modula koja je potrebna za generiranje pojedinog signala na zaštitnu akciju. Kanal gubi identitet kad se pojedini signali međusobno kombiniraju.

Električna oprema klase 1 (Class I electric equipment)

električna oprema koja je nužna za sigurnu obustavu rada reaktora i izolaciju reaktora, a čija nefunkcionalnost može rezultirati značajnim gubitkom radioaktivnih materija.

Električna oprema klase 1E (Class 1E electric systems)

sistemi koji opskrbljuju električnu energiju potrebnu za obustavu rada reaktora, kao i za ograničenje gubitaka radioaktivnih materijala nakon projektom pretpostavljenoga događaja.

Komponente (Components)

jedinice od kojih je sistem sastavljen, npr. otpornici, kondenzatori, tranzistori, prekidači, cijevi itd.

Kontejnment (Containment)

osnovna komponenta nuklearne elektrane koja ima svrhu da u slučaju kvara na reaktoru spriječi oslobađanje opasnih količina radioaktivnih materija izvan kontroliranog područja.

Modul (Module)

skup međusobno povezanih komponenata koji se ugrađuje u napravu, instrument itd. Modul ima određene karakteristike performansi, što omogućuje da se može testirati kao jedinica, a može se također odvojiti i zamijeniti rezervnom jedinicom.

Pomoćni sistem opskrbljavanja el. energijom (standby power supply)

sistem koji služi za opskrbu el. energijom u slučaju da preferirani sistem nije na raspolaganju. Pomoćni sistem opskrbe čine dizelgenerator i baterije.

Postavna vrijednost (set point)

određena vrijednost kod koje bistabilna naprava mijenja stanje radi indiciranja da je promatrana varijabla postigla graničnu vrijednost.

Preferirani sistem opskrbe el. energijom (preferred power supply)

sistem koji služi za opskrbu el. energijom u slučaju kvara na reaktoru ili u toku stanja nakon kvara. Preferirani sistem opskrbe čine 380 kV i 110 kV električne mreže.

Sistem za izvršenje zaštitnih tehničkih mjera (Engineered Safeth Features Actuation System)

sistem koji ima svrhu da u slučaju stanja IV limiting fault), npr. gubitka primarnog hladioca ili puknuća cijevi glavnog parovoda, aktivira jednu ili više zaštitnih tehničkih mjera kako bi se spriječilo oštećenje jezgre ili komponenta rashladnog sistema reaktora i da se osigura integritet kontejnmenta. Kao primjer mogu se navesti slijedeće funkcije što ih taj sistem izvršava: aktiviranje sistema za sigurnosno ubrizgavanje borirane vode u hladilac primarnog kruga, aktiviranje prvog stupnja izolacije kontejnmenta, izolacija glavnih parovoda, izolacija sistema pojne vode itd.

Sistem obustave vode reaktora (reactor trip system)

sistem služi za autoamtsku obustavu rada reaktora u slučajevima kada promatrane varijable dostignu sigurnosnu granicu. Sigurnosna granica je određena s mehaničko-hidrouličkim mogućnostima opreme, kao i mogućnošću prijenosa topline. Obustava rada reaktora vrši se da bi se spriječilo veće oštećenje gorivnih elemenata ili gubitak integriteta cijelog sistema, što bi moglo rezultirati oslobađanjem radioaktivnih materija u kontejnment.

Stanje I

Normalan Pogon (Condition I: Normal Operation) kao i stanje II, III i IV je definirano standardom ANSI N 18.2 — 1973. Stanje I može se očekivati kao redovita pojava u toku pogona promjene, goriva i održavanja elektrane. Kao primjeri tog stanja mogu se navesti stavljanje u pogon (start-up), obustavljanje rada reaktora (shutdown), oštećenje košuljice gorivih elemenata unutar tehničkih ograničenja, pogon u slučajevima da je specifična oprema neraspoloživa itd.

Stanje II

Kvarovi umjerene učestalosti (Condition II: Incidents of Moderate Frequency): Stanje II uključuje kvarove koji se mogu dogoditi u toku kalendarske godine na pojedinoj elektrani. Na primjer: nenamjerno izvlačenje grupe kontrolnih šipka, djelomičan gubitak ili poremećaj u protoku hladioca kroz jezgru, gubitak tlaka u primarnom krugu zbog pogrešne prorade nekog elementa, npr. odušnog ventila gubitak pojne vode, jedna greška operatora itd.

Stanje III

Rijetki kvarovi (Condition III: Infrequent Incidents): Stanje III uključuje kvarove koji bi se mogli dogoditi jednom u toku vijeka elektrane. Na primjer: gubitak primarnog hladioca, pogon sa svežnjem gorivih elemenata u nepravilnom položaju, nenamjerno izvlačenje jedne apsorp-cione šipke, potpun gubitak protoka primarnog hladioca, greška u programiranju pomaka kontrolnih šipki itd.

Stanje IV

Granični kvarovi (Limiting Faults): Stanje IV uključuje kvarove koji se ne bi trebali dogoditi, ali su postulirani jer mogu rezultirati značajnim oslobađanjem radioaktivnih materija. Kvarovi stanja IV su najdrastičnija stanja na osnovi kojih je elektrana projektirana. Kao primjer kvarova tog stanja mogu se navesti: velika pukotina na cijevi primarnog hladioca ili dvostruk lom najveće cijevi u primarnom krugu, pad jezgre, izbacivanje jedne kontrolne šipke, blokiranje jedne pumpe reaktorskog hladioca itd.

LITERATURA

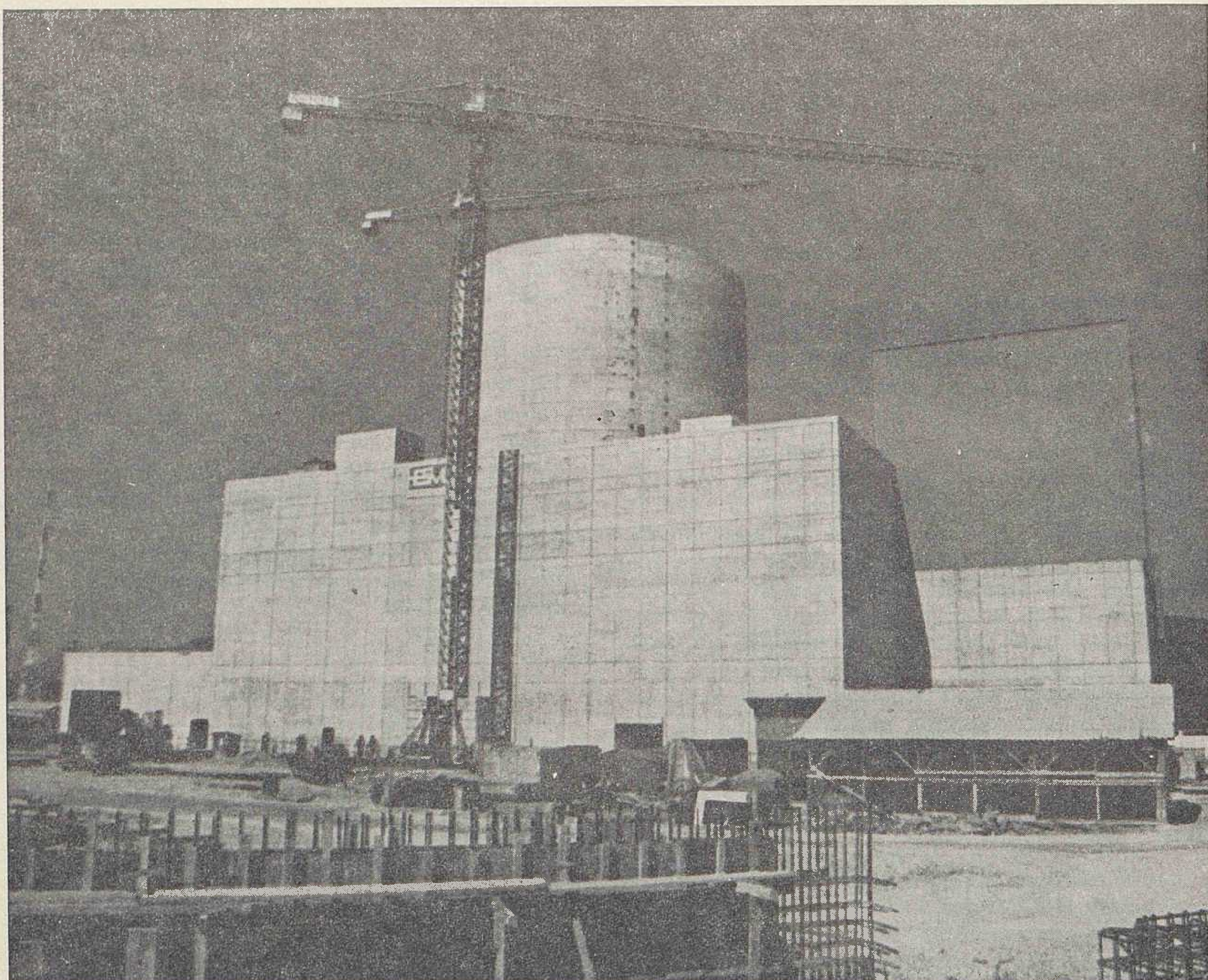
1. Preliminary Safety Analysis Report 7.8, NEK
2. Title 10, Code of Federal Regulations, AEC
3. Instrumentation and Control Course, Westinghouse
4. I. M. Harrer, I. G. Becherley: Nuclear Power Reactor Instrumentation Systems Handbook, Volum 1, 2
5. Publicirani standardi od ANS, ANSI, IEEE i USAEC

ABOUT STANDARDS IN THE AREA OF INSTRUMENTATION AND REGULATION WHICH ARE APPLIED AT CONSTRUCTION OF THE NUCLEAR POWER PLANT »KRŠKO«

A survey on standards and directions in the area of instrumentation and regulation for nuclear power plant is given in this article. System standards, testing standards, material standards, standards for exchanging information as well as a list of firms which set up those standards, are mentioned.

Naslov pisca:

mr Boris Kalan, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb



NE Krško u izgradnji

ELEKTROENERGETSKA MJERENJA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA NEOPHODNA ZA NEPREKIDNU OPSKRBU POTROŠAČA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM*

Krste Novk oski, Zagreb

UDK 621.316:621.317

Navode se nužna i minimalno potrebna energetska mjerenja u distributivnom elektroenergetskom sistemu radi kontinuirane opskrbe potrošača kvalitetnom električnom energijom. Prikazana su mjesta ugradnje odnosno priključka mjernih instrumenata po različitim nivoima napona, za kontrolu kvalitete električne energije i potrebe usmjeravanja tokova električne energije u slučaju normalnog i optimalnog uklopnog stanja mreže i za slučaj kvarova.

1. UVOD

Opskrba potrošača električnom energijom provodi se preko elektroenergetskog sistema (EES) koji ima tri osnovna svoja dijela: proizvodnju, prienos i distribuciju električne energije.

Elektroenergetski sistem čini skup elektrana za proizvodnju električne energije, vodova za prienos i razdiobu te potrošačkih područja odnosno centara gdje se vrši distribucija odnosno raspodjela el. energije do najmanjeg potrošača.

Svi dijelovi EES međusobno su električki i magnetski povezani tako da čine jedinstvenu cjelinu. Ta međusobna povezanost uvjetuje da električne prilike u jednom dijelu sistema ovise o prilikama odnosno stanju u svim ostalim dijelovima sistema.

Distributivni elektroenergetski sistem (DEES) predstavlja dio EES u kojem se provodi raspodjela električne energije do potrošača putem distributivne mreže. Distributivne mreže sadrže pak velik broj elemenata, vodova i transformatorskih stanica na relativno malom području gdje se vrši raspodjela električne energije.

U distributivnim mrežama javljaju se različiti potrošači čija se potražnja za električnom energijom mijenja svakog trenutka i po mjestu i po iznosu.

Osnovni zahtjev potrošača je kontinuirana opskrba kvalitetnom električnom energijom.

Kvalitetu električne energije karakteriziraju tri bitna parametra: napon, frekvencija i pouzdanost napajanja.

Radi kontrole tih parametara u DEES potrebno je provoditi mjerenja kako bi se u slučaju odstupanja mogli provoditi određeni zahvati.

U daljnjim razmatranjima pokušao bih ukratko obraditi problematiku energetske mjerenja u distributivnim mrežama, koja su potrebna radi kontrole kvalitete električne energije odnosno provedbe neprekidne i permanentne opskrbe potrošača električnom energijom.

Ta mjerenja također se obilato mogu koristiti u svrhu usmjeravanja tokova el. energije za slučaj optimalnog vođenja pogona uz minimalne gubitke u DEES-u ili za usmjeravanje tokova električne energije u slučaju kvarova.

Također se mogu koristiti za različite analize pogonskih događaja, planiranje i razvoj DEES-a, različitih energetske razmatranja i slično.

2. MJESTA MJERENJA U DEES-U

2. 1. Mjesta mjerenja u TS 110/35 kV

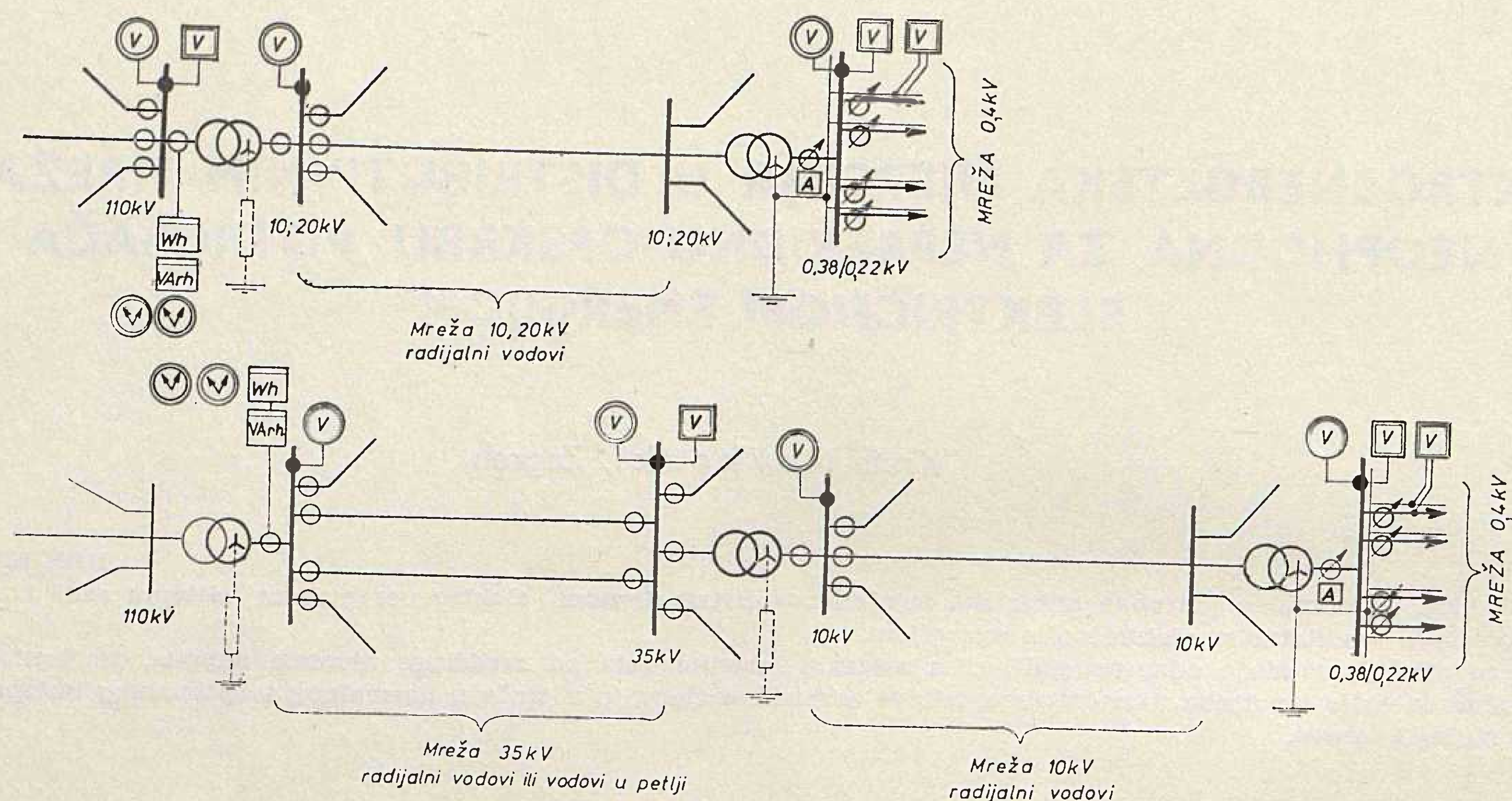
Na sl. 1. prikazana je shema DEES dvonaponskog i tronaponskog nivoa transformacije. Ucertana su mjesta mjerenja i kontrole kvalitete električne energije.

Iz slike je vidljivo da se u jednoj i drugoj varijanti transformacije 110/35/10/0,4 kV i 110/10(2)/0,4 kV provode mjerenja od mjesta preuzimanja električne energije do stezaljki potrošača.

Na mjestu preuzimanja električne energije provodi se tzv. obračunsko mjerenje odnosno mjerenje radne i jalove energije te mjerenje vršnog opterećenja integrirajućim instrumentima. Kvaliteta električne energije kontrolira se mjerenjem napona pokaznim a može i registrirajućim voltmetrom.

Radi usmjeravanja tokova električne energije i uspostavljanja optimalnog pogonskog stanja uz maksimalne gubitke provode se mjerenja optere-

* Ovaj članak objavljen je kao referat br. 11 na I savjetovanju o »Održavanju, kontroli i atestiranju električnih instalacija jake i slabe struje u industriji i elektroprivredi kao faktori produktivnosti rada« u organizaciji SEITH, u Opatiji, studenoga 1978.



Sl. 1. Distributivna mreža dvonaponskog i tronaponskog nivoa — mjesta mjerenja u sistemu

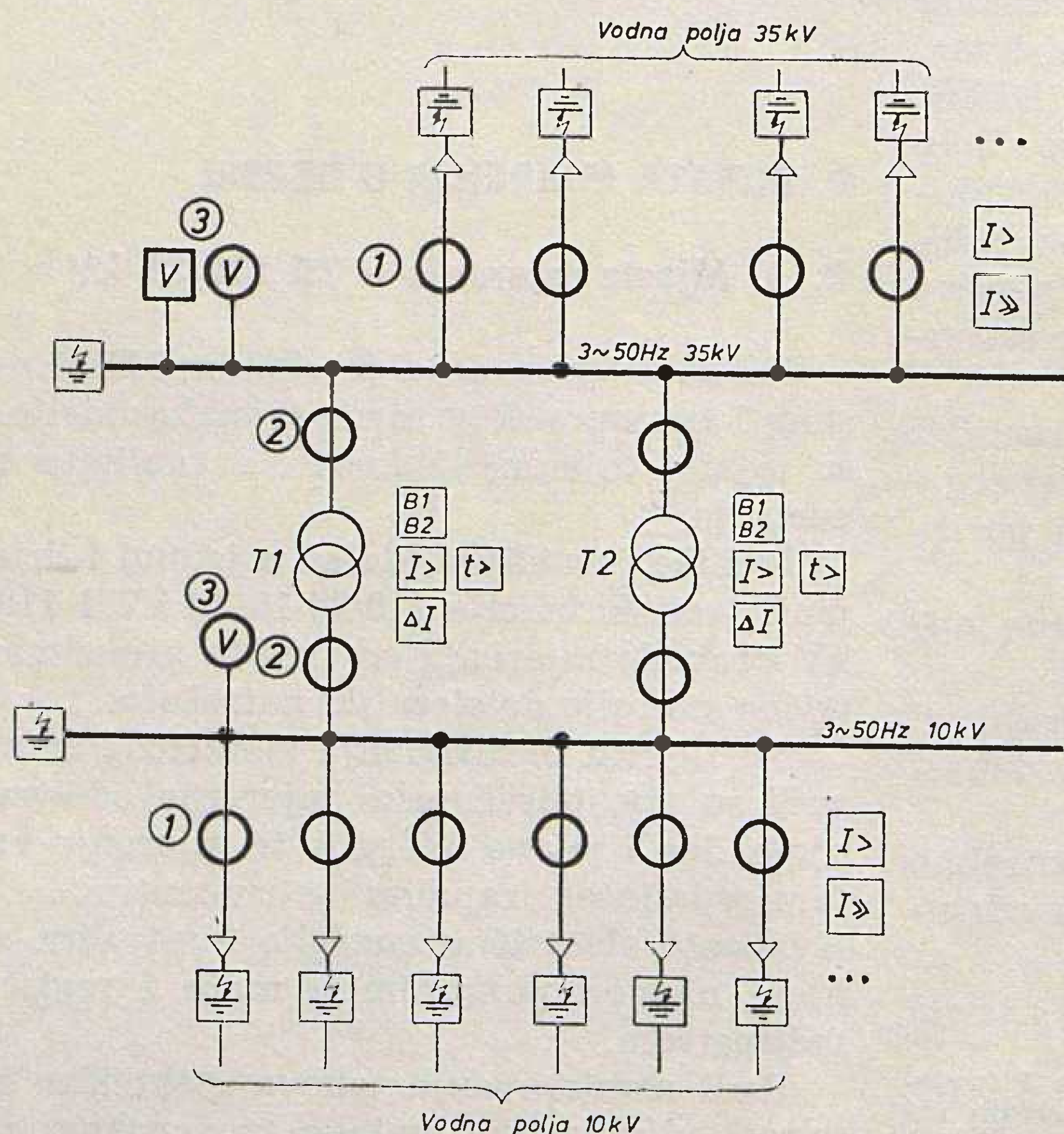
ćenja u vodovima 110 kV, transformatoru snage, i to na strani 110 i 35 kV te u vodovima 35 (30) kV. U ovom slučaju dovoljno je mjeriti struje samo u jednoj fazi zbog toga što se u ovom dijelu sistema ne očekuju nesimetrije.

Na sl. 1 odnosno sl. 5. prikazni su mjerni instrumenti koji su ovdje minimalno potrebni radi kontrole kvalitete električne energije i usmjeravanje tokova električne energije u DEES-u.

2. 2. Mjesta mjerenja u TS 35/10 kV

Vodovima 35 kV dolazi se u prvu distributivnu transformatorsku stanicu (sl. 2).

U ovoj transformatorskoj stanici provodi se mjerenje napona i struje. Mjerenje struje u vodovima 35 i 10 kV te transformatoru 30/10 kV provodi se radi usmjeravanja tokova električne energije za slučaj optimalnog uklopnog stanja u mreži i za



Legenda:

1. Mjerenje struje u jednoj fazi u vodovima
2. Mjerenje struje u jednoj fazi u transformatoru
3. Mjerenje napona na sabirnicama
- Mjerenje struje u jednoj fazi spojnog polja glavnih sabirnica
- Mjerenje struje u jednoj fazi spojnog polja pomoćnih sabirnica
- Mjerenje napona AKU baterije
- $I>$ Prekostrujna zaštita (brzi prekostrujni član)
- $I>>$ Prekostrujna zaštita (usporeni član)
- $t>$ Kontaktni termometar
- Z Zaštita od dozernog spoja
- $B1; B2$ Buchholz zaštita

Sl. 2. Mjesta mjerenja i zaštite u TS 35/10 kV

usmjeravanje tokova električne energije za slučaj kvarova na mreži.

Mjerenje napona na ovom naponskom nivou provodi se iz dva osnovna razloga:

1. kontrole kvalitete električne energije
2. kontrole pogona mreže.

Naime, 35 kV mreža može biti u pogonu s uzemljenom ili izoliranom nul-točkom transformatora 110/35 kV.

U varijanti pogona s izoliranom nul-točkom transformatora, u slučaju dozemnih spojeva u mreži, pogon takve mreže u određenim uvjetima može se nastaviti. Međutim, iz poznatih razloga u ovom slučaju dolazi do izraženih naponskih nesimetrija koje mogu biti vrlo opasne. U ovoj varijanti pogona najpogodnije je imati potpunu kontrolu napona, tj. potrebno je provoditi mjerenje svih faznih i linijskih napona.

U varijanti pogona s uzemljenim zvjezdištem treba razlikovati dva slučaja, i to slučaj kvara i slučaj nadzora odnosno vođenja sistema.

U slučaju kvara na mreži odnosno dijelu mreže mjesto kvara se relejnom zaštitom relativno brzo iskapča te iz tog razloga ne dolazi do velikih poremećaja naponskih prilika u sistemu.

Međutim, za kvalitetno i optimalno usmjeravanje tokova električne energije potrebno je imati i kvalitetan uvid u naponske prilike.

U oba dva slučaja najprikladnije je mjeriti fazne napone u sistemu. Radi usmjeravanja tokova električne energije u TS 30/10 kV potrebno je provoditi slijedeća mjerenja struje:

— mjerenje struje jedne faze u vodovima 35 i 10 kV

— mjerenje struje jedne faze u transformatoru na strani 35 odnosno 10 kV

— mjerenje struje jedne faze u spojnom polju glavnih sabirnica (ako postrojenje ima više sistema sabirnica), i to na strani 35 i 10 kV

— mjerenje struje jedne faze u spojnom polju pomoćnih sabirnica na strani 35 i 10 kV.

Radi kontrole ispravnog rada i funkcionalnosti relejne zaštite i pomoćnih strujnih krugova u TS 35/10 kV potrebno je mjeriti napon AKU baterija kao izvor pomoćnog istosmjernog napona.

2. 3. Mjesta mjerenja u TS 10 (20)/0,4 kV

a) **Distributivna TS.** Na sl. 3. prikazana je jedno-polna shema tipične distributivne transformatorske stanice 10 (20)/0,4 kV.

Mjerenja koja se ovdje provode su naponska i strujna, odnosno mjerenje napona i opterećenja i provode se isključivo na niskonaponskoj strani 0,38 odnosno 0,22 kV.

Mjerenje napona na sabirnicama jest mjerenje faznih i linijskih napona.

Strujna mjerenja odnosno mjerenja struje provode se u sve tri faze na sekundarnoj strani transformatora i u svim sekundarnim izlazima zato što se u ovom dijelu sistema javljaju nesimetrična op-

terećenja u pojedinim fazama odnosno pojave određenih struja u nul-vodiču. Poželjno je ovdje mjeriti i struju kroz nul-vodič radi ustanovljavanja nesimetrija u pojedinim strujnim krugovima.

b) **Industrijska TS.** Na sl. 4. prikazana je jedno-polna shema tipične »industrijske« TS, odnosno transformatorska stanica u vlasništvu potrošača.

Mjesta mjerenja u ovoj varijanti transformatorske stanice neznatno se razlikuju od onih opisanih u točki 2.3.a.

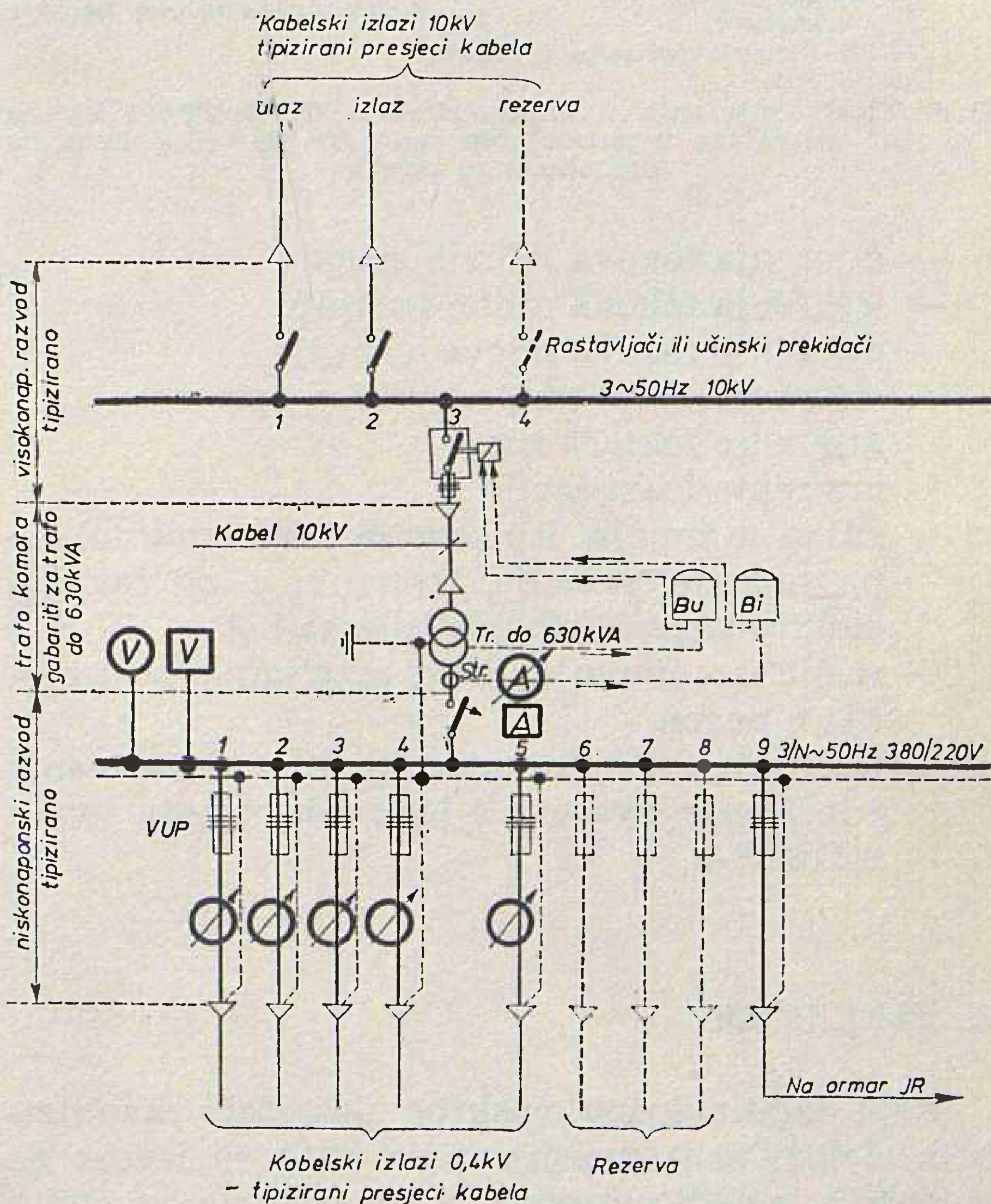
Budući da se radi o transformatorskoj stanici često puta u vlasništvu potrošača, obračunsko mjerenje potrošnje električne energije može biti na višenaponskoj strani ako drukčije nije dogovoreno. Osim toga, u ovakvim transformatorskim stanicama potrošač može imati ugrađene uređaje za kompenzaciju jalove energije (vidi polje 1, sl. 4 na niženaponskoj strani).

I ovdje kao u varijanti 2.3.a provode se mjerenja napona i struje.

Mjerenje napona provodi se na sabirnicama 0,38 odnosno 0,22 kV, a mjerenje struja dovoljno je provoditi u jednoj fazi na transformatoru i u sekundarnim strujnim krugovima.

Naravno da se u DEES-u osim prije navedenih mjerenja provode i druga mjerenja koja indirektno utječu na kvalitetu električne energije, na primjer:

— mjerenja tokova radnih snaga



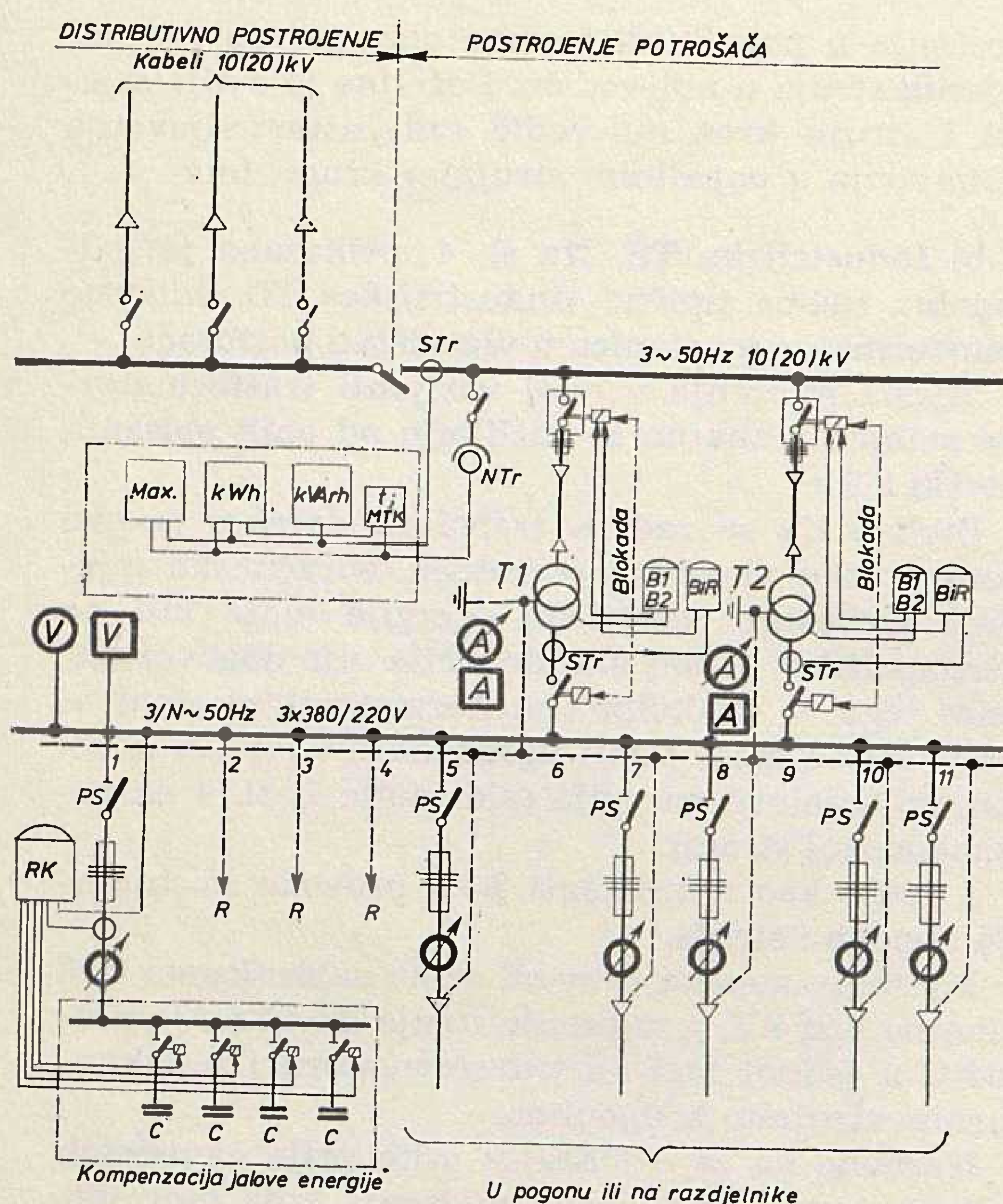
Legenda:

Bu — Buchholz relej (B1 i B2 paralelno spojeni)

Bi — Bimetalni relej (sekundarni)

Str. — Strujni transformator

Sl. 3. Mjesta mjerenja u TS 10(20)/0,4 kV



Legenda:

- STr—Strujni transformatori
 NTr Naponski transformatori
 Max. Maksigraf
 kWh—Brojilo radne energije
 kVarh—Brojilo jalove energije
 t; MTK—Uklonni sat ili MTK prijemnik
 T1; T2—Transformatori snage do 1600kVA
 B1 } Buchholz relej (oba dva kontakta na isklap)
 B2 }
 BiR—Bimetalni relej
 RK—Relej za kompenzaciju jalove snage
 PS—Polužna (ili grebenasta) sklopka
 R—Rezerva
 C—Kondenzatori za popravak faktora snage

Sl. 4. Mjesta mjerenja u »industrijskoj« TS 10(20)/0,4 kV sa dva transformatora u paralelnom radu. TS je priključena na distributivnu mrežu

- mjerenja tokova jalovih snaga
- mjerenja tokova radne energije
- mjerenje tokova jalove energije
- mjerenje vršne snage i vršnog opterećenja
- mjerenje faktora snage
- mjerenje frekvencije
- razna mjerenja, ispitivanja i kontrole tokom provođenja revizije, remonta i održavanja elektroenergetskih postrojenja i sl.
- različita mjerenja prije stavljanja postrojenja u pogon
- ispitivanja i mjerenja prilikom istraživanja i lociranja kvarova i lociranja mjesta kvara u DEES-u.

3. ZAKLJUČAK

Radi kontinuirane opskrbe potrošača kvalitetnom električnom energijom na putu od izvora do potrošača u EES potrebno je mjerenjima provoditi kontrolu kvalitete, a naročito kontrolu kvalitete napona po svim nivoima, pa i na stezaljkama potrošača. Također je u ustanovljavanju optimalnog pogona, a naročito u vezi s gubicima u DEES-u, potrebno mjeriti tokove (struje, snage i energije)

Red. br.	Naziv instrumenta	Oznaka instrumenta			Opaska
		pokazni	registri rajući	integrirajući	
1.	Voltmetar	V	V		
2.	Ampermetar	A	A		
3.	Frekvencmetar	Hz	Hz		
4.	Watmetar	W	W		
5.	Varmetar	ar	Var		
6.	Mjerač pomaka faza (fazometar)	φ	φ		
7.	Sinhronoskop	↺			
8.	Brojilo radne energije			Wh	
9.	Brojilo jalove energije			Varh	
10.	Pokazivač maksimalne snage (maksigraf)	↗			
11.	Pokazivač maksimalnog opterećenja (n.pr. struje)	↗			
12.	Pokazni ampermetar u jednoj fazi	⊖			
13.	Bimetalni ampermetar sa pokazivačem maksimuma	↗			

Sl. 5. Simboli instrumenata potrebnih za nadzor, kontrolu i vođenje DEES-a

Distributivni elektroenergetski sistem predstavlja dio EES koji je zastupljen s mnoštvom elemenata mreža, postrojenja i potrošača, čija se potražnja za električnom energijom mijenja po vremenu i intenzitetu.

U velikim DEES-ma poseban problem predstavlja prikupljanje, obrada i pohrana izmjerenih podataka. U ovakvim sistemima skupljanje podataka može biti provedeno daljinskim mjerenjem i obrađeno posebnim informacionim sistemom.

Mjerenja u DEES-u mogu imati višestruke koristi: kao kontrola kvalitete električne energije radi kontinuirane opskrbe potrošača el. energijom, radi usmjeravanja tokova električne energije u sistemu, radi optimalnog pogona sistema i korištenja raspoloživih kapaciteta, planiranje i razvoj DEES-a, radi analiza raznih pogonskih događaja itd.

ELEKTROENERGETIC MEASUREMENTS IN DISTRIBUTION NETS NECESSARY FOR CONTINUOUS SUPPLY OF CONSUMERS BY ELECTRICAL ENERGY

Necessary and minimally needed energetic measurements in the distributive electro energetic system have been described, on the score of continuous supply of quality electrical energy, to the consumers. Some places of in built attachment of measurement instruments on various levels of tension are shown, for the purpose of electroenergy quality control, for the need of directing electro energy flows in case of normal and optimal conditions as well as while they fail.

Naslov pisca:

Krste Novkovski, dipl. ing.
 »Elektra« — Zagreb

ANATOMSKA GRAĐA ČETINJAČA I MOGUĆNOST IMPREGNACIJE OTOPINAMA KONZERVIRAJUĆIH TVARI

Slavko Kovačević i Magda Hlevnjak, Zagreb

UDK 678.0:621.315

Sve vrste drveta ne mogu se impregnirati na jednaki način i s jednakim uspjehom. Mogućnosti impregnacije ovise o vrsti drveta, tj. o njegovoj anatomskoj građi i stanju drveta. Anatomska građa upotrebljavanih vrsta i pogodni načini impregniranja opisani su u članku.

Elektroprivreda, PTT i Armija troše godišnje velike količine stupova za prijenos odgovarajućih vodova. U te svrhe još uvijek se najčešće koriste stupovi od drva četinjača, a rjeđe drvo listača. Od četinjača, najviše je zastupljena vrsta smreka i jela a manje bor i ariš. Drveni stupovi listača su gotovo uvijek nepravilna oblika i s mnogo kvrga. Od listača dolaze u obzir stupovi kestena, bagrema i hrasta. Hrastovi stupovi se upotrebljavaju sve manje zbog toga jer ih nema dovoljno, a osim toga sadrže mnogo bjelike pa, ako nisu impregnirani, veoma brzo podlegnu utjecaju truleži i trajnost im je samo nekoliko godina. Bolja svojstva pokazuju stupovi kestena i bagrema, ali jedni i drugi mogu se nabaviti u ograničenoj količini. Kestenovi stupovi odlikuju se velikom trajnošću i bez impregnacije jer sadrže prirodna obrambena sredstva protiv uzročnika truleži. S obzirom na dimenzije vrha i podnožja, koje se kod kestenovih stupova znatno razlikuju, oni najčešće ne zadovoljavaju propise JUS-a.

Bagremovi stupovi imaju slična svojstva — odlikuju se većom čvrstoćom i prirodno su otporni. Kako kod nas bagremovih šuma ima vrlo malo i obično nisu pravilno kultivirane, veoma je teško naći stupove koji odgovaraju normama.

Ako bi se stupovi bagrema i kestena naknadno bandažirali i zaštićivali na vrku, njihova trajnost bila bi još veća.

Stupovi lišćara za sada se ne impregniraju, pa ne postoje ni propisi za tu namjenu.

Kao što je poznato, Elektroprivreda se za vodove pretežno koristi stupovima četinjača. U početku su se za vodove najčešće upotrebljavali bor i ariš, i to zbog toga što je njihova anatomska građa takve prirode da se veoma lako napajaju konzervirajućim tekućinama. Kako su naše šume siromašne tim vrstama, a potrebe za elektrovodnim stupovima se povećale, prešlo se na druge vrste: smreku i jelu kojih ima u većim količinama.

Po anatomskoj građi drvo smreke i jele znatno se razlikuje od bora i ariša. Dok se bor veoma lako

napaja konzervirajućim tekućinama, sa smrekom i jelom je obratno. Drvo bilo koje vrste odmah je nakon sječe, budući da više ne proizvodi obrambene tvari, izloženo kao i svaka organska tvar štetnom djelovanju gljiva, bakterija i kukaca. Zato svako drvo, ako se s njim pravilno postupi, a ostavljeno je na otvorenom prostoru, brzo podlegne razornom djelovanju spomenutih uzročnika. To propadanje u povoljnim uvjetima može se odigrati u vrlo kratkom vremenu. Zbog toga se svaka vrsta građevnog drva, a osobito stupovi, da bi se očuvali za dulji vremenski period, moraju obavezno zaštićivati tvarima koja su toksična za gljive i kukce. Koliku će trajnost posjedovati zaštićeno drvo ovisi o više faktora, npr.: vrste konzervirajućeg sredstva, koncentracija otopine, dubine prodiranja u drvo, mjestu ugradnje, naknadnoj obradi itd. Kod nas se za konzerviranje stupova upotrebljava smjesa anorganskih soli na bazi bakra, bora i kroma pod nazivom Wolmaint CB u vodenoj otopini određene koncentracije (cca 5%). Drveni stupovi moraju se napojiti određenom količinom spomenutog sredstva, i to najmanje s 8 kg suhe soli na 1 m³, upijanje otopine konzervansa (170 litara po 1 m³) a prodor otopine u drvo mora biti oko 1—1,5 cm. Takve je uvjete kod smreke i jele dosta teško postići i zato se mora točno pridržavati propisa koji određuju postotak vlage u drvu, duljinu trajanja, iznos vakuuma, a isto tako duljinu i iznos pritiska pod kojim se otopina utiskuje u drvo.

Dubina prodiranja može se ustanoviti odmah nakon impregnacije bez ikakvih pomagala, a kasnije su za tu svrhu potrebni specijalni reagensi.

Elektroprivreda Hrvatske (i drugih republika) imala je prije 20 godina određene grupe stručnjaka koji su se bavili problemima osnovne i dodatne impregnacije stupova uz suradnju s naučnim ustanovama s tog područja. Dugi niz godina na toj se problematici nije ništa radilo, a budući da je trajnost stupova bila veoma malena, Elektrodalmacija — Split i Elektra — Zagreb pokrenule su akciju kojoj je bila svrha da se ustanove uzroci kratkotrajnosti stupova, kao i da se radi na una-

pređenju tehnologije impregnacije. Rezultat tih nastojanja je suradnja s INSTITUTOM ZA DRVO iz Zagreba, formiranje Komisije za unapređenje impregnacije stupova unutar Stručnog savjeta distribucije koji su zajednički izradili Propise za osnovnu i dodatnu impregnaciju.

Želimo li imati ispravno impregnirane stupove, pogoni impregnacije moraju se strogo pridržavati propisa uz stalno prisutnu kontrolu jedne neutralne ustanove.

Svrha je ovog članka da prikaže anatomsku građu četinjača i s tim u vezi objasni teškoće koje se javljaju prilikom impregnacije tih vrsta.

Drvo se sastoji od stanica kojih su membrane građene od celuloze i lignina, hemiceluloze i pektinskih tvari. U početku, kad su stanice još mlade, imaju vrlo tanke membrane i zbog toga postoji

velika mogućnost izmjene tvari između njih. U toku rasta stanice se povećavaju, membrane im postaju deblje, a gomilanjem lignina se odrvenjuju.

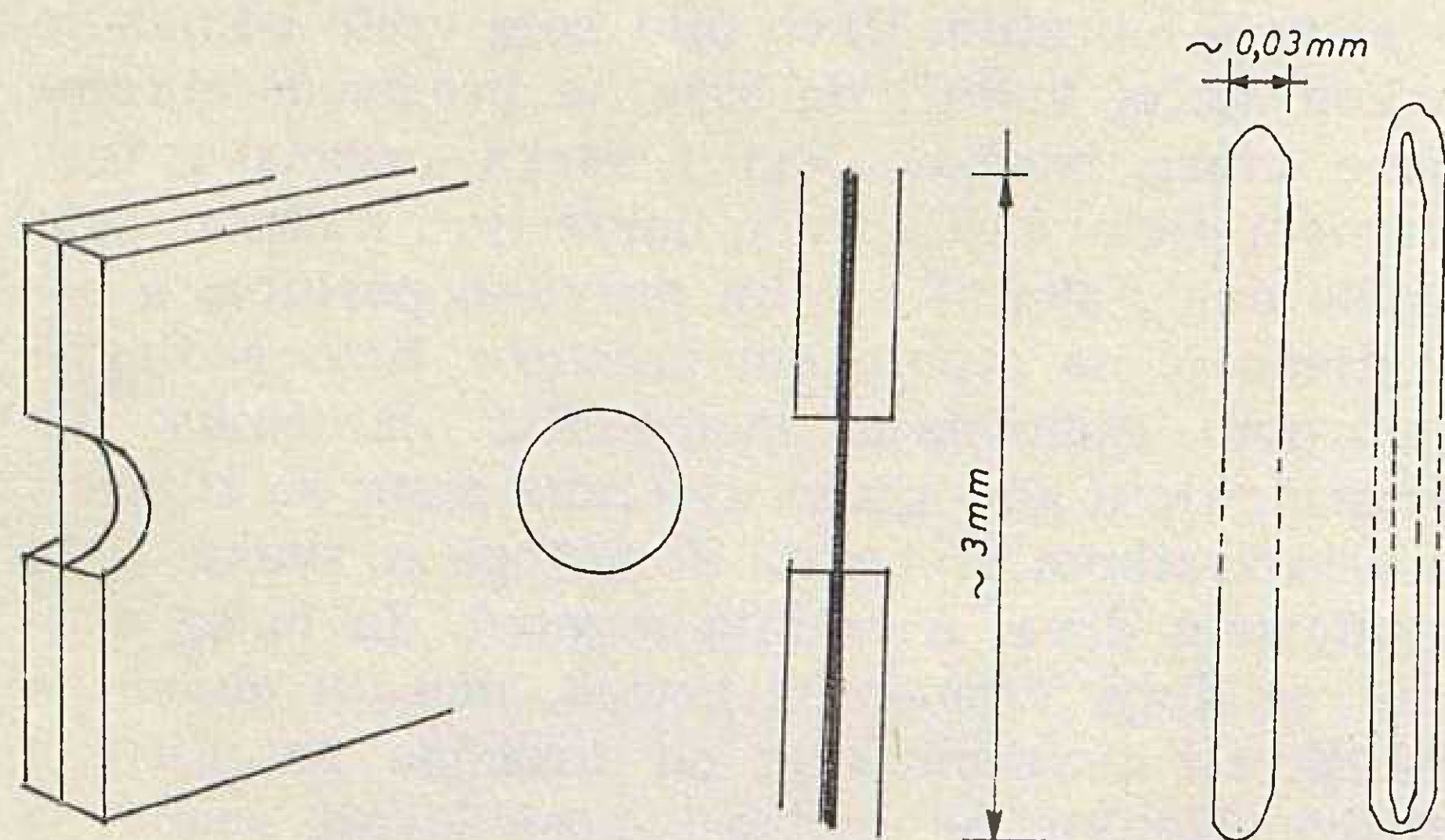
Kroz zadebljale slojeve svakako bi bila otežana mogućnost izmjene tvari da se na određenim položajima ne stvaraju utanjena mjesta — jažice. Između susjednih stanica jažice se formiraju točno jedna nasuprot drugoj, čineći par jažica koji i dalje omogućuje takvu izmjenu. One stanice koje dulje ostaju na životu, a to su parenhinske stanice kojima je glavni zadatak zadržavanje hranjivih materija, posjeduju jednostavna utanjena mjesta — jednostavne jažice, a stanice koje brzo odumiru, a to su traheide, posjeduju nešto složenije — ograđene jažice (sl. 1. i 2). Naime, kod tih stanica na određenim mjestima odvoji se sekundarni sloj od primarnog konvavno formirajući nadsvođenje jažice, a na vrhu nadsvođenja formira se okrugli otvor koji se zove porus. Isto se tako u sredini primarnog sloja membrane stanice formira dodatno lečasto zadebljanje, tzv. torus. Pri tome nezadebljali dio primarnog sloja membrane ostaje pokretljiv. Takvi otvori nazivaju se ograđene jažice i preko njih je omogućena normalna izmjena tvari između stanica. Ako se drvo počne sušiti, tj. gubiti vodu, onda se jažice zatvaraju, tj. torus se nalegne na porus. Proces je ireverzibilan jer se ponovnim vlaženjem drva torus više ne može odvojiti od porusa. Zbog toga je prolaz vode onemogućen iz jedne stanice u drugu. Jažice s lečastim zadebljajima — torusima stvaraju se samo u traheidama četinjača. Ovaj proces odvija se uglavnom u ranom drvu, dok jedan dio jažica u kasnom drvu ostaje otvoren, jer su jažice traheida ranog drva većeg promjera od jažica traheida kasnog drva. Zbog toga je i fleksibilnost membrana takvih jažica veća od fleksibilnosti membrana jažica traheida kasnog drva.

U drvu četinjača nalaze se ove stanice:

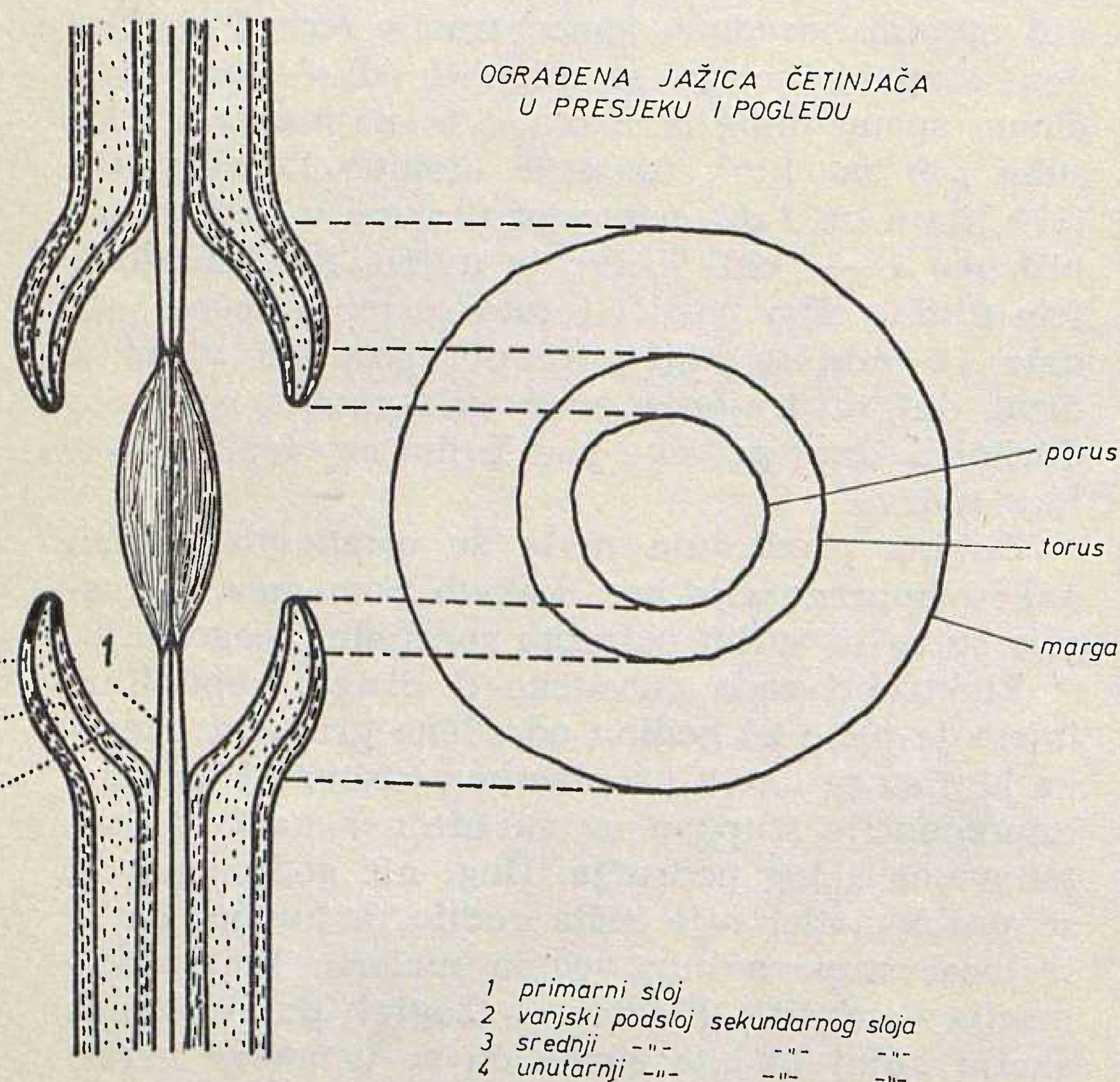
1. traheide ranog drva, kao duge stanice tankih membrana s većim šupljinama i većim brojem krupnih ograđenih jažica. One se uglavnom brinu za transport vode u ranom drvu (sl. 3).

2. traheide kasnog drva, kao duge vlaknaste stanice s debelim membranama, užim šupljinama i manjim brojem sitnijih ograđenih jažica. Odgovorne su za čvrstoću drva. Drvo četinjača sastoji se 90—95% od aksialnih traheida. One su međusobno povezane preko tzv. ograđenih jažica. Duljina im je 2—7 mm, a promjer 15—80 mikrometara. Aksialne traheide provode tekućine uglavnom longitudinalno.

3. parenhimske stanice koje su dugačke, a s tankim stijenkama i jednostavnim jažicama. One služe kao spremište hranjivih tvari. Nalaze se u tzv. drvenim tracima. Odgovorne su za transport vode i hranjivih tvari od kore prema drvu i obrnuto.



Sl. 1. Par jednostavnih jažica traheida ranog i kasnog drva



Sl. 2. Ograđena jažica četinjača u presjeku i pogledu

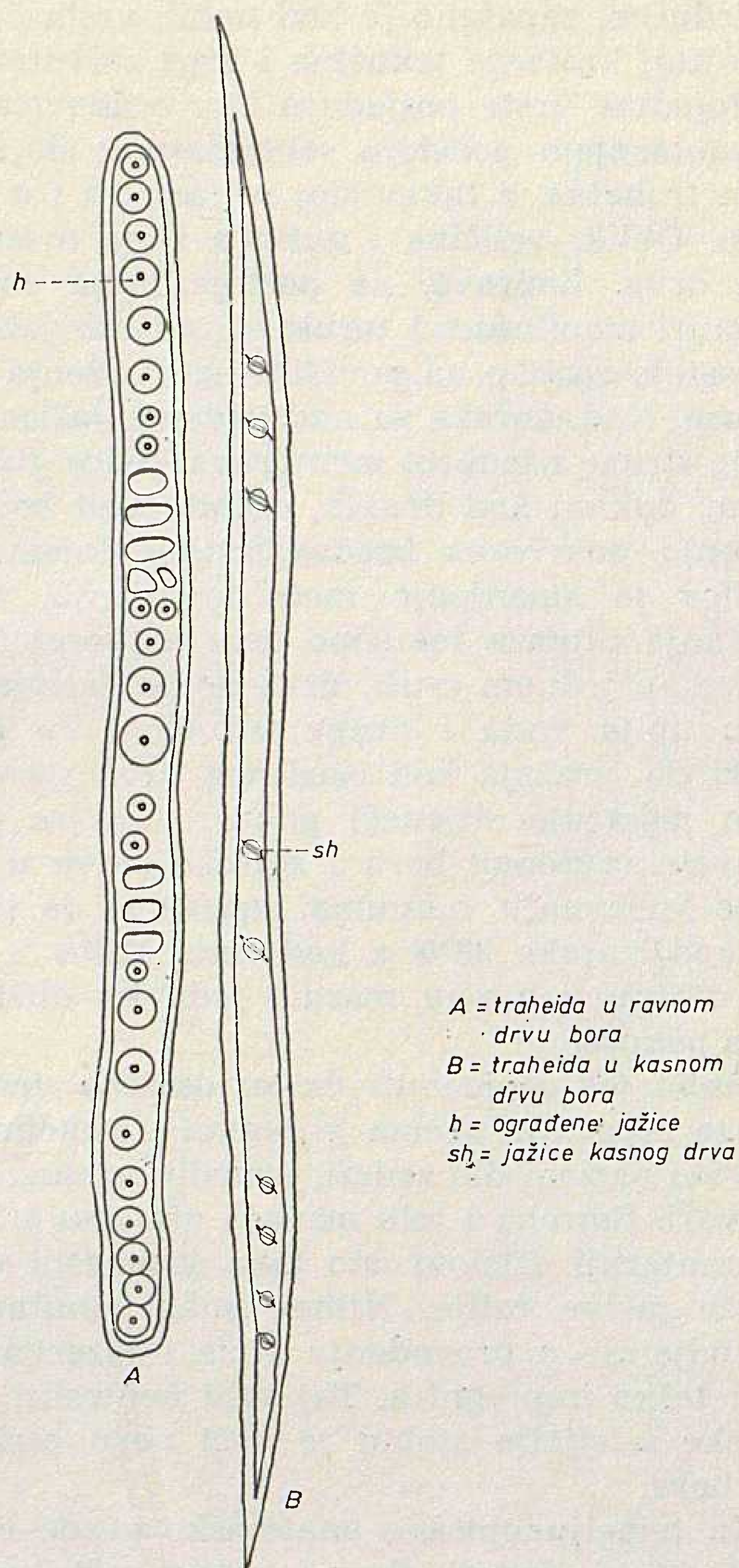
Prema tome, za provođenje tekućina u radijalnom smjeru brinu se tzv. drvni traci koji sudjeluju u građi drya sa 3,4—11,7%. Zbog toga je provođenje tekućina u radijalnom smjeru znatno slabije od onoga u longitudinalnom.

Osim spomenutih stanica kod nekih rodova četinjača u sastav drvnih trakova osim parenhimskih stanica dolaze i traheide trakova. Traheide trakova slične su stanicama parenhima. Mrtve su te kao takve posjeduju ograđene jažice. Traheide trakova bolje provode vodu i tekućine od parenhimskih stanica.

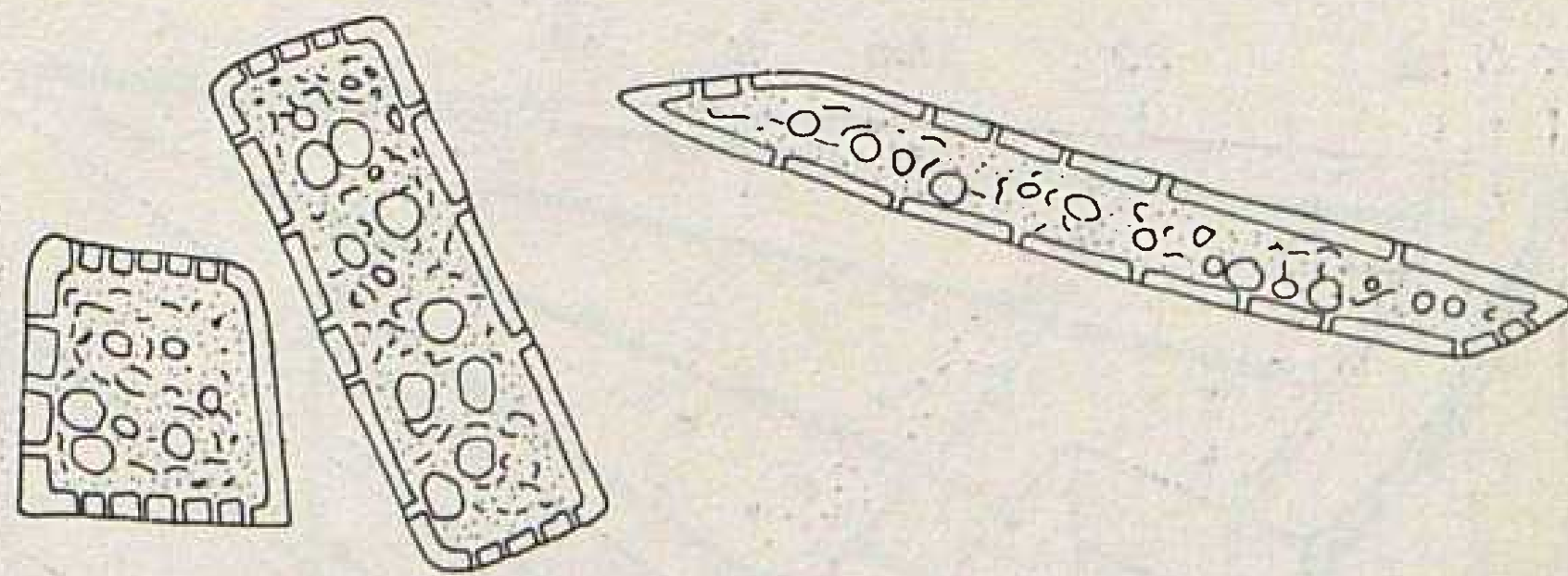
Međutim, kako stablo stari, javljaju se različite pojave, jer se kod unutarnjih godova mijenja trajnost, boja i vlažnost u odnosu na vanjske. Svjetliji vanjski dio zove se bjelika a unutarnji, tamniji zove se srž. Bjelika se uglavnom brine za transport hranjivih tvari i vode, a srž služi samo za mehaničku funkciju u kojoj se gomilaju razne tvari koje su karakteristične za sastav drva te time utječu na njegovu trajnost. Kod četinjača treba razlikovati dvije vrste drva koje su od velike važnosti za postupak impregnacije. Jedna je vrsta koja posjeduje obojenu srž, a to su jedričave vrste drva među koje pripadaju bor i ariš. Druge vrste čine tzv. bakuljave vrste u kojima su svi dijelovi jednako obojeni, iako i one posjeduju srž u fiziološkom smislu. Među te vrste pripadaju jela i smreka.

Osržavanje drva nastaje nagomilavanjem raznih tvari u membrane stanica, što izaziva anatomske promjene. Sržne tvari kod četinjača sastoje se uglavnom od voska, smole i masti, a te materije potječu od živih parenhimskih stanica iz bjelike. Zbog toga srž ima nešto veću volumnu masu od bjelike, uz pretpostavku da im je širina godova jednaka. Prilikom osržavanja odumiru prisutne parenhimske stanice, tako da u srži nema živih stanica i ne postoji sposobnost provođenja vode ni sakupljanja rezervnih tvari.

Sadržaj vode kod srži uvijek je manji nego kod bjelike, a sadržaj smole veći. Veliku važnost za impregnacionu tehniku imaju anatomske promjene drva, kao što je osržavanje. Kod četinjača se prilikom osržavanja zatvaraju jažice i postaju nepropusne za vodu time što se torus naliže na porus. Pri tome se za vrijeme osržavanja na ovako zatvorene jažice natalože razne ekstraktivne tvari, što još više smanjuje propusnost jažice. To osobito vrijedi za velike jažice ranog drva, dok su kod kasnog drva propusne membrane manjih jažica s eliptičnim porusima slabije pokretljive i zbog toga se sasvim ne zatvore, nego ostaju nešto otvorene. I u bjelici se za vrijeme sušenja također zatvaraju jažice, što ujedno smanjuje i propustljivost bjelike. Kod četinjača važnu ulogu prilikom impregnacije ima propustljivost jažice, pa je jasno da je osrženi dio slabije ili nikako impregniran, a do prodora tekućine dolazi samo s čeone površine. Također se kod smreke i jele prilikom sušenja jažice zatvaraju i zbog toga je propustljivost za vodu znatno smanjena, tako da kod napajanja po



Sl. 3.



Sl. 4. Parenhimske stanice drvnih traka

punom postupku dolazi do prodiranja konzervansa samo u uskoj vanjskoj zoni. Na ponašanje jažica prema mnogim istraživanjima utječe način, brzina i vrsta sušenja, kao i uvjeti u kojima se drvo razvijalo. Kod raznih vrsta borovine ne javljaju se ove poteškoće jer drvni traci uz parenhimske stanice posjeduju velik udio traheida trakova koje su znatno propustljivije od stanica parenhima traka što omogućuje bolje napajanje drva u radijalnom smjeru. Misli se da konzervans također prodire u drvo i kroz smolne kanale.

Međutim, zapaženo je kod nekih vrsta četinjača da postoji kretanje tekućina i kroz zatvorene jažice. Pojedine vrste posjeduju tzv. bradavičasti sloj na unutarnjem podsloju sekundarnog sloja membrana traheida, a takav sloj se formira i u komori jažica. Oblik, veličina i gustoća sloja ovisna je o vrsti drva. Zapravo, ne postoje bitne razlike u strukturi membrana i torusa ograđenih jažica, nego postoje razlike na površini nadsvođenja jažične komore. Kod smreke su nadsvođenja jažica s unutarnje strane nasuprot membrana jažice glatke površine, dok su kod drugih, osobito kod bora, nadsvođenja pokrivena bradavičastim slojem, a posljedica je smanjenje moći brtvljenja, odnosno olakšanja prolaza tekućine kroz zatvorenu jažicu.

Kad se jednom osuši, drvo nekih četinjača vrlo tešku upija vodu i druge tekućine. To naročito dolazi do izražaja kod osušenog drva smreke, što jasno pokazuje slijedeći pokus: Ako se jednake epruvete osušenog bora i smreke stave u vodu i izlože djelovanju vakuuma, zapaža se da je upijanje kod smreke 28% a kod bora 122% u odnosu na početnu volumnu masu i jednaku dužinu trajanja pokusa.

Treba još spomenuti da su osržene vrste drva mnogo otpornije prema gljivama i kukcima, zbog toga što osrženi dio sadrži, između ostalog, i fenolne tvari. Smreka i jela nemaju obojenu srž, ali su im unutarnji dijelovi isto tako siromašni vodom i sadrže mrtve ćelije. Njihov sušljivi unutarnji dio ne sudjeluje u provođenju vode i rezervnih tvari te se teško impregnira. Taj suhi neutralni dio kod smreke u cijelom stablu je veći nego osrženi dio kod bora.

Na temelju opisane anatomske građe četinjača mogli bi se navesti glavni razlozi zašto se borovi

stupovi lakše impregniraju od stupova smreke i jele.

1. Kod drva jele sudjeluju u građi drvnih trakova samo parenhimske stanice, dok se kod drugih, među koje pripadaju smreka i bor, uz njih javljaju i traheide trakova. Parenhimske stanice, kako znamo, slabije provode vodu i tekućine zbog međusobnih veza preko jednostavnih jažica.

Udio drvnih trakova kod bora iznosi 6,6%, ariša 7,3% a kod smreke samo 3,7%.

Udio traheida u građi drvnih trakova kod bora iznosi 50%, kod ariša 16%, a kod smreke 19%.

Zbog toga je i permeabilnost zaštitnih sredstava u radijalnom smjeru, tj. s bočne površine jelovih i smrekovih stupova znatno manja od borovih stupova.

2. Sušenjem drva jažice ranog drva potpuno se zatvaraju, dok jažice kasnog drva ostaju djelomično otvorene. Tako kod bora ostaje otvoreno 60%, kod smreke 35%, kod ariša 33%.

Pojava bradavičastog sloja unutar jažica naročito je izražena kod bora, dok kod smreke i jele tih pojava kod jažica gotovo i nema.

Prema tome kod osušenoga borova drva omogućena je bolja uzdužna penetracija otopina konzervansa zbog toga što ostaje otvoren dosta velik broj jažica kasnog drva. Jažice ranog drva, iako zatvorene, propuštaju tekućine zbog bradavičastog sloja u jažicama.

Zbog toga je i permeabilnost zaštitnih sredstava u longitudinalnom smjeru, tj. s čela borovih stupova znatno veća od smrekovih i jelovih stupova.

Na temelju opisane građe drva dobiva se slika o tome kako sredstva za impregnaciju mogu prodirati u drvo i dalje se u njemu širiti.

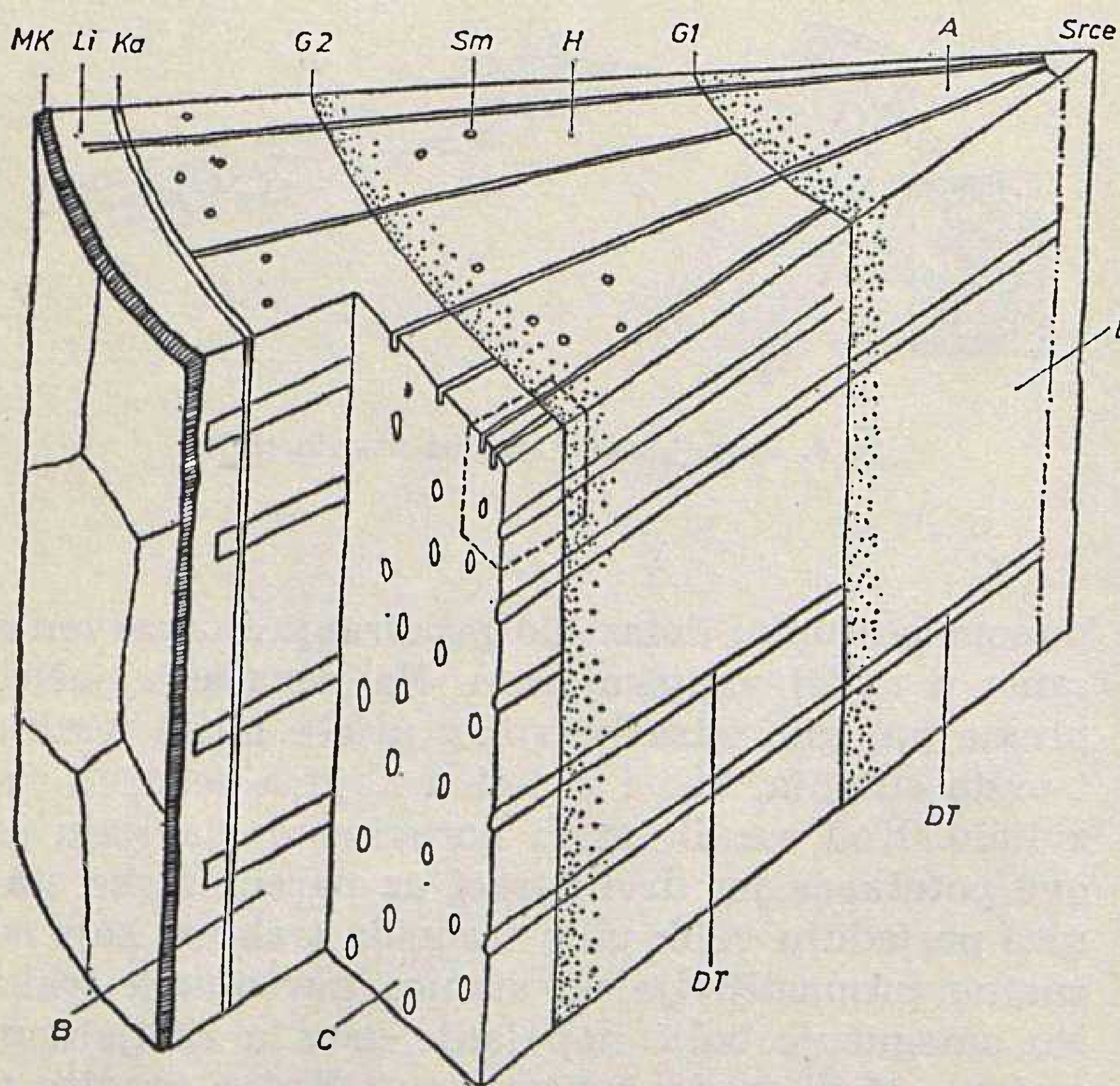
Zbog boljeg razumijevanja anatomije drva četinjača na slici 5. prikazan je isječak iz jednog trogodišnjeg stabla koji sadrži tri presjeka, i to poprečni presjek »A«, radijalni presjek »B« i tangencijalni presjek »C«.

a) Na poprečnom presjeku »A« vidljivo je slijedeće: srce, dva potpuno razvijena goda G_1 i G_2 , treći djelomično razvijen, kambij — Ka, liko Li i mrtva kora Mk. Na istom presjeku vidljive su i drvene trake Dt prikazane kao uske trake koje idu od kore prema srcu, a dijele se na primarne, koje sežu do srca, i sekundarne, koje ne dopiru do srca. Vide se također male tamne točkice — smolni kanali Sm.

b) Na radijalnom presjeku »B« vide se samo uske drvene trake Dt i granice godova.

c) Na tangencijalnom presjeku »C« vide se samo tamne točke koje predstavljaju presjek drvnih traka Dt.

Na slici 6. prikazan je isječak na granici dvaju godova gledan mikroskopom koji također ima tri presjeka: poprečni presjek »A«, radijalni presjek »B« i tangencijalni presjek »C«. Na poprečnom



Sl. 5.

presjeku vidljive su stanice kasnog drva »Kd« i stanice ranog drva »Rd«. Kasno drvo na povećanom presjeku sastoji se od uskih i jako zadebljanih stanica traheida koje su sa stanicama drvnih traka povezane preko jažica traheida. Rano drvo sastoji se od širokih stanica tankih membrana povezanih međusobno preko ograđenih jažica »Oj« na radijalnim membranama.

Na doticajnim mjestima između traheida ranog drva i stanica drvnih traka nalaze se jednostavne jažice. Kod bora su takve jažice velike, a kod smreke su malene, ali ih ima više. Drvne trake DT predstavljaju duga vlaknaca širine samo jedne stanice. Na radijalnom presjeku prepoznaju se dugačke vlaknaste stanice traheida koje kod ranog drva imaju tanke, a kod kasnog zadebljale membrane. Na njihovim zidovima postoji velik broj ograđenih jažica koje onemogućuju izmjenu tvari od traheide do traheide. Jedna drvna traka DT prikazana je uzdužno, a njen gornji i donji dio ograničen je traheidima drvne trake, što se pozna po tome što nedostaju ograđene jažice. Oba unutarnja niza sastoje se od parenhimskih stanica koje su međusobno povezane jednostavnim jažicama. Vidljivo je da je u drvnim trakama moguć transport vode i hranjivih tvari u radijalnom smjeru, parenhimskim stanicama povezanim jednostavnim jažicama. Izmjena vode i hranjivih tvari u longitudinalnom smjeru posredstvom drvnih traka moguća je preko krajnjih traheida drvnih traka i njihovih jednostavnih jažica.

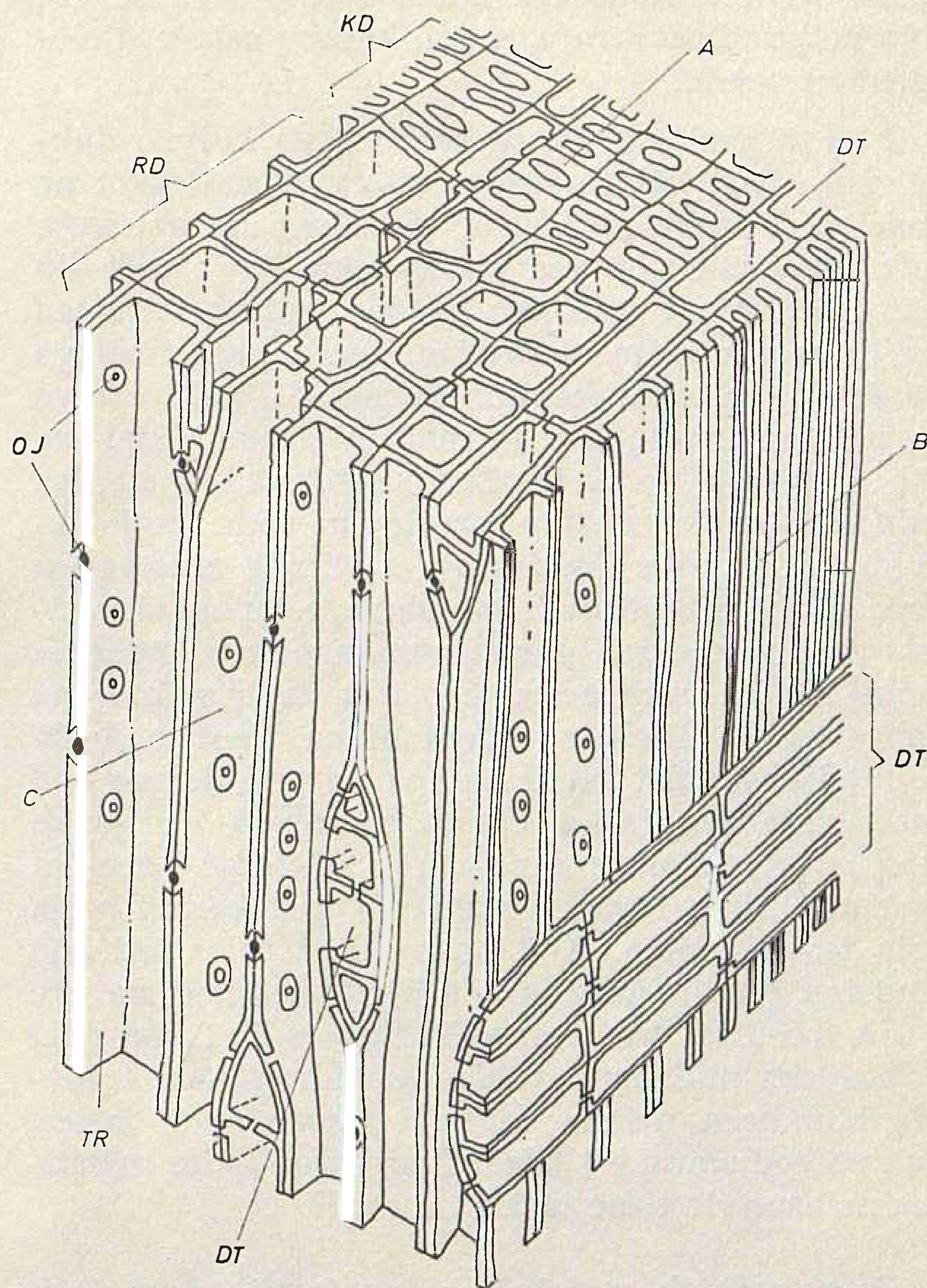
Na tangencijalnom presjeku vide se duge vlaknaste traheide tankih membrana koje se nalaze u ranom drvu.

Jažice su vidljive u presjeku i pogledu.

Svaka drvna traka sastoji se od četiri stanice u presjeku i ima oblik leće, a nalazi se između traheida, s kojima je povezana brojnim jažicama.

Kako je već navedeno, drvo četinjača sastoji se 90—95% od dugih vlaknaca koji predstavljaju vrlo tanke cijevi ili kapilare. U te cjevčice može se tekućina usisati pomoću kapilarnih sila. Ako su ove kapilarne sile u prisutnosti tekućine zasićene, prekine se daljnje usisavanje vode. Da bi se upijanje tekućine nastavilo, potrebno je drvo podvrgnuti djelovanju vakuuma i pritiska.

Voda se nalazi u drvu u prazninama stanica ili u membranama stanica. Ako se otopina soli nanese na drvo ili se drvo uroni u otopinu, počinje proces difuzije, putovanje molekula soli u vodu koja se nalazi u drvu. Proces difuzije teče vrlo polagano, tako da rasprostiranje soli u drvu traje dulje vremena. Što je manja vlažnost drva, taj je proces slabiji, a kod 13% sadržaja vlage sasvim prestaje. Prema tome, kapilarne sile i difuzni proces odlučujući su faktori kod raspodjele soli u drvu. Pri likom impregnacije uljima primanje i raspodjela se događa isključivo djelovanjem kapilarnih sila. Difuzija ne dolazi u obzir zbog odbojnosti ulja prema vodi i obratno. Zato je karakteristično za ulja da se ona nalaze u vanjskim slojevima, a soli



Sl. 6. Isječak na granici dva godova gledan pod mikroskopom

moгу i dublje prodirati. Ako se tekućina nanese na čeone površine, onda ona prodire u unutrašnjost zbog toga jer su trahedie dugačke i prodiranje je naročito dobro uzduž vlakana. Ovo je važno za zaštitu trupaca, jer tekućina više puta nanesena na čelo dosta prodire u unutrašnjost. Tu pojavu treba imati na umu ako se želi postići vela prodornost, odnosno napajanje primjenom izvrtaka (perforiranja). U jednom izvrtku tekućina se ne širi na sve strane, već je njezino širenje mnogo veće uzduž vlakana nego poprijeko. Zato kod primjene toga principa treba na to misliti.

Ako se zaštitno sredstvo nanese na plaštev drva, prodiranje je vrlo otežano jer bi se tekućina morala probijati preko stijenke stanica. Najvažnija mjesta ili otvori kroz koja tekućina postrance može prodrijeti u drvo jesu drvni traci kroz koje se vrši transport vode i tvari u radijalnom smjeru u živom stablu. Kroz drvene trakove koji su u doticaju sa traheidama moguće je da tekućina kroz jažice prodre u susjedne traheide. Iz drvnih traka može tada zaštitna tekućina prolaziti postrance u susjedne trahide kroz njihove jažice.

Već je istaknuto da jažice imaju veliku važnost u impregnaciji četinjača. Vlakna ranog drva služe za provođenje tekućine, a ona kasnog su više mehaničkog značenja jer nose deblo i krošnju i imaju zadebljale stijenke stanica s malenim brojem

jažica. Prilikom sušenja jažice ranog drva se gotovo potpuno zatvaraju, a one kasnog ostaju djelomično otvorene.

Iz toga proizlazi da se kasno drvo bolje i dublje može napajati otopinom zaštitnih sredstava ne samo zbog uskih prolaza u vlaknima što uzrokuje veće kapilarne sile, već i zbog toga što je veći dio jažica otvoren i prolazan. Kada zaštitna tekućina prodre u unutrašnjost stanica, ona napaja i zidove stanica zbog jakih kapilarnih sila. Uljna sredstva ne prodiru uopće ili vrlo malo u stijenke stanica, i to zbog toga što su kapilare u stijenkama stanica jednoliko navlažene tankim slojem vode, koji otežava prodor ulja. Prodiranje zaštitnog sredstva u drvo zavisi od njegovih svojstava, a tu su viskozitet, moć vlaženja, površinska napetost, veličina molukula, koncentracija, kao i to da li se otopina konzervansa miješa s vodom ili ne. Pravilo je da se bijelika uvijek lakše natapa od srži, jer se kod osržavanja sve jažice čvrsto zatvaraju i stijenke stanica i kao stanice napajaju se smolama i drugim tvarima. Zbog toga se sržni dio kod bora i ariša vrlo teško napaja. Kod bora i kod ariša zaštitno sredstvo prodire vrlo lako u bjeliku, a kod smreke i jele prodire vrlo teško. Razlog je taj, što se u doticajnim mjestima stanica drvnih traka i traheida kod bora nalaze velike i jednostavne jažice, dok se kod smreke i jele na odgovarajućim mjestima nalaze vrlo sitne jažice.

Iz navedenih podataka o anatomiji drva četinjača jasno nam je zbog čega se neke vrste četinjača lakše a neke teže impregniraju. U impregnacionoj tehnici najviše nas zanima mogućnost impregnacije vodenim otopinama soli smrekovih i jelovih stupova. Prilikom sušenja, kao što znamo, dolazi do anatomske promjene, i kod točke zasićenja žice jažice kod smreke i jele gotovo su sasvim zatvorene. Zbog toga se preporučuje da vlažnost spomenutih vrsta drva u času impregnacije bude oko 32%, a Nijemci čak propisuju 35%. Kod te količine vlažnosti još je dobar dio jažica otvoren pa je i mogućnost prodiranja tekućine veća. Pretpostavlja se da uz te uvjete impregnaciona zona nije veća od 1 cm ako se držimo propisa o duljini i iznosu vakuuma, kao i visini i duljini trajanja pritiska. Kod nas se, naročito u ljetnim mjesecima, impregniraju najčešće smrekovi i jelovi stupovi zračno prosušeni s vlagom ispod 25%. Kod takvih stupova postiže se nekakav efekt samo onda ako drvo sadrži puno uzdužnih pukotina. Po običnom postupku punog napajanja, iako se držimo svih navedenih uvjeta, stupovi neće biti zadovoljavajuće i dugoročno zaštićeni, jer je zaštitna zona veoma uska. Zato, da bi se postigla veća zaštita i prodiranje zaštitnih sredstava na ugroženim mjestima zemlja — zrak, prije nego je potrebno stupove na tim mjestima i na određeni način perforirati — bušiti, kako bi se postigla veća prodornost a time i veća trajnost stupova. Duljina perforacione zone treba iznositi najmanje 90 cm, a sada se uvodi postupak gdje je ta zona dva puta dulja. Ako

bi se tome dodala još i naknadna zaštita koja se odnosi na zaštitu vrhova, oštećenih mjesta i primjenu bandaža, onda bi se moglo govoriti o trajnosti stupova od 20 do 25 godina.

U mnogim se evropskim zemljama radi poboljšanja impregnacije smrekovih i jelovih stupova primjenjuje postupak u kojem se u toku procesa često mijenja pritisak i vakuum. U tom slučaju drvo mora biti svježije, tj. s velikim sadržajem prirodne vlage. U principu sastoji se u izmjeni pritiska i vakuuma, pri čemu visina vakuuma iznosi oko 90%, a pritiska 6—8 atmosfera. Na taj se način iz drva postepeno izvlači zrak i sokovi a umjesto toga u drvo ulazi otopina za impregnaciju. Drva kao bor i ariš uspješno se ovako impregniraju u suhom i polusuhom stanju. Danas su razrađeni uređaji koji po tom postupku rade potpuno automatski s elektronskom kontrolom. Trajanje impregnacije nije ovisno o dimenzijama i vrsti drva, već najviše o sadržaju vlage. Sadržaj vlage kod smreke i jele mora biti viši nego što je iznos pri zasićenju žice drva u bjeliki, a stanice moraju sadržavati određenu količinu zraka. Ako u stanicama za vrijeme vakuum-faze nema zraka koji se širi i izlazi, tada je nemoguće isisati sokove i na njihovo mjesto utisnuti tekućinu za impregnaciju. Potrebno je da se isisavanje zraka iz drva tako dozira pomoću prikladnog izbora duljine trajanja pritiska-vakuum faze da u drvu zaostane nešto zraka sve dok impregnacija ne bude potpuno dovršena. U početku postupka impregnacije jedna perioda traje približno jednu minutu, od čega 30—50% otpada na fazu pritiska, a 50—70% na fazu vakuuma. U toku impregnacije povećava se dužina perioda postepeno, pri čemu se također mijenja i odnos između pritiska-vakuum faza. Na kraju rada duljina periode se povisuje približno na 6,5 minuta, a od toga otpada 15% na vakuum-fazu a 85% na pritisak-fazu. Iskustva su pokazala da se ovim postupkom može bjelika smreke i jele dobro impregnirati u toku 18—20 sati, a da je za to potrebno 400—500 perioda pritiska i vakuuma. Utrošak ili upijanje soli po jednoj šarži može se ustanoviti iz količine utrošene otopine soli i njezine koncentracije na početku i na kraju impregnacije. Suhi ili ariševi stupovi ovom metodom impregniraju se potpuno za 2—4 sata i 50—70 perioda. Međutim, za svježije borove stupove potrebno je 14—18 sati.

Na polju ove impregnacione tehnike nisu još postignuti optimalni uvjeti. Razni dotjerani oblici koji su izrađeni u raznim zemljama ne mogu se smatrati konačnima. Postupak se može još usavršavati mijenjanjem uvjeta impregnacije u trajanju i odnosu vakuum-pritiska faze te prilagođavanjem vrstama drva. U nekim zemljama drvo se podvrgava prethodnom parenju pod povišenim pritiskom i tako dobivaju nešto bolji rezultati. Usavršavanje se sastoji uglavnom u tome da se nastoji pronaći idealni pritisak i trajanje vakuum-pritiska faze te najpovoljniji broj njihove međusobne izmjene u toku trajanja impregnacije.

Opisani način impregnacije temelji se na tome da su ograđene jažice u svježem drvu još otvorene, a izmjenom pritiska i vakuuma ne dopušta se potpuno naližeganje torusa na porus pa time i zatvaranje jažica, što bi spriječilo ulaz otopine konzervansa u drvo.

Ovaj postupak je bolji od postupka punog upijanja jer se dobije veća i sigurna penetracija od 1,5 do 2 cm, a impregnacija se može obaviti u svako doba godine. Nedostatak je u tome što je prirodno vlažne stupove teško nabaviti i održati prirodnu vlagu na potrebnoj vrijednosti. Ipak, gotovo sve impregnacije u zapadnim zemljama imaju osim uređaja za postupak punog napajanja i uređaje za taj postupak. Postoji više načina kojima se može povećati permeabilnost četinjača smreke i jele za konzervirajuće vodene otopine. Zapaženo je, naime, da drvo smreke i jele napadnuto uzročnicima plavetila i plijesni pokazuje veću permeabilnost za otopine konzervirajućih tvari. Hife plijesni i plavetila napadaju parehimske stanice drvnih trakova, ali se mogu proširiti na aksijalne traheide i traheide trakova. One se šire iz jedne parenhimske stanice u drugu tako da prolaze kroz njihove jažice, ali se događa da razaraju čak i membrane stanica, naročito kod intenzivnog razvoja kad mogu membrane potpuno enzimatski razgraditi. Kroz aksijalne traheide i traheide trakova šire se na taj način što čine otvore u njihovim membranama i torusima njihovih jažica. Mikološka metoda povećavanja permeabilnosti kod smrekovih i jelovih stupova i četinjača uopće djelovanjem plijesni i plavetila ima taj nedostatak što je nemoguće pri tome izbjeći popratno djelovanje gljiva uzročnika truleži koji razaraju drvo.

Do drugog postupka došlo se sasvim slučajno.

Za vrijeme oluje u Švedskoj prije više godina srušeno je mnogo stabala četinjača. Kako se tako velik broj stabala nije mogao odmah preraditi, deponirali su ih u jezero. Nakon određenog vremena stupovi su izvađeni, oljušteni i impregnirani vodenim otopinama soli. Ustanovilo se tada da je penetracija otopine konzervansa kod tih stupova bila znatno veća nego kod normalno prosušenih stupova. Istraživanjem se ustanovilo da je to posljedica djelovanja bakterija koje napadaju parenhimske stanice drvnih trakova, a mogu se širiti i u susjedno staničje, gdje razgrađuju membrane i toruse ograđenih jažica aksijalnih traheida i traheida trakova i na taj način povećavaju penetraciju otopine konzervansa u drvo.

Isto se tako permeabilnost ili penetracija može znatno povećati parenjem četinjača. Ustanovilo se da je permeabilnost parene bjelike nakon sušenja daleko veća u usporedbi s neparenom bjelikom. Međutim, i ova metoda nije sasvim razrađena pa se još ne upotrebljava u industriji. Navedene metode su važne pa im treba posvetiti pažnju. Zato bi bilo vrlo korisno da se izgradi eksperimentalni uređaj za ispitivanje raznih postupaka impregnacije, kako je to predlagala Komisija za osnovnu i

dodatnu impregnaciju drvenih stupova pri Stručnom savjetu elektrodistribucije ZEOH.

U posljednje se vrijeme zbog male trajnosti drveni stupovi nastoje zamijeniti betonskima i stupovima od plastičnog materijala.

Jedni i drugi, međutim, imaju dosta nedostataka u usporedbi s drvenima. Tako betonski stupovi istog volumena kao i drveni imaju mnogo veću težinu pa ih je teško transportirati na nepristupačne terene i postavljati ih bez odgovarajuće mehanizacije. Montaža raznih ponzola i penjanje je otežano ako su stupovi zamrznuti ili mokri. Zimi se, međutim, u malim šupljinama zamrzava voda koja uzrokuje oštećenja i tada dolazi do izražaja željezna armatura koja je vodič.

No najveći je nedostatak što se nakon dotrajlosti takvi stupovi ne mogu uništiti pa će stvarati velike poteškoće kuda ih odlagati. Slični su problemi i sa stupovima od plastičnih masa. Takvi stupovi podložni su utjecajima promjene temperature. Kod nižih temperatura postaju krhki i lomljivi, a kod viših se omekšavaju. Problematična je također njihova trajnost s obzirom na proces depolimerizacije. Odlaganje takvih stupova nakon dotrajlosti stvarat će možda još i veće probleme nego betonskih.

Stoga su drveni stupovi gotovo nezamjenjivi, baš kao i drveni željeznički pragovi. Zbog toga ne bi trebalo štedjeti sredstva ni truda da se radi svim silama na poboljšanju osnovne i dodatne impregnacije drvenih elektrovodnih stupova.

Budući da su u Jugoslaviji šume već dosta porijedene, a osobito one četinjača, došlo je vrijeme da elektroprivreda razmisli o organiziranom uzgajanju šumskih plantaža za stupove, prvenstveno plantaža listače: bagrema i kestena. Bagrem dobro uspijeva na gotovo svim terenima, a kesten na određenim, ali i takvih kod nas ima dosta. Od četinjača trebalo bi posvetiti pažnju plantažiranju određenih vrsta bora koji je najvrednija vrsta za stupove i nekih vrsta brzorastućih četinjača egzota. Jedino bi se na taj način Elektroprivreda i PTT u doglednoj budućnosti mogli opskrbiti dovoljnom količinom stupova, ali uz uvjet da se već sada problemu impregnacije posveti što je moguće veća pažnja.

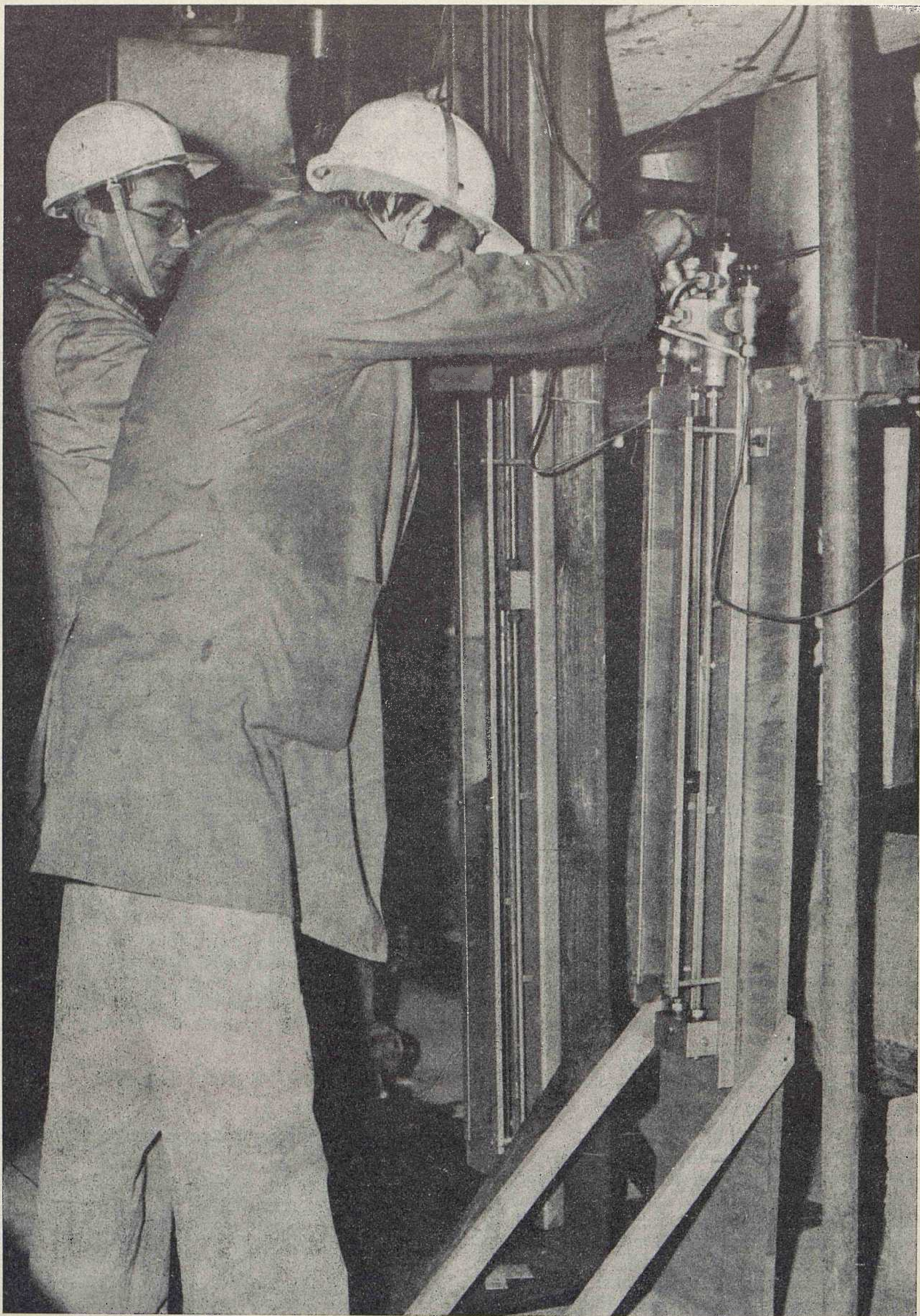
ANATOMICAL STRUCTURE OF WOOD AS RELATED TO IMPREGNATING POSSIBILITIES IN THE SOLUTIONS OF CONSERVING AGENTS

It is not possible to impregnate all kinds of wood using the same method to achieve same results. The possibilities of impregnation are dependent on the sort of the wood as well as its anatomical structure and state. The anatomical structure of the used sorts of wood and the ways to impregnate them are described herem.

Naslov pisaca:

Dr Slavko K o v a č e v i ć, dipl. ing.

Magda H l e v n j a k, dipl. ing.



Ispitivanja u termoenergetskim postrojenjima — jedan od zadataka Instituta za elektroprivredu

PRETPOGONSKO ISPIRANJE SISTEMA REGENERATIVNOG ZAGRIJAVANJA POJNE VODE I SISTEMA SVJEŽE PARE U NE KRŠKO

Marino B a l o g, Zagreb

U članku su navedeni ciljevi i načini pretpogonskog ispiranja cjevovoda kondenzata, cjevovoda i grijača pojne vode, cjevovoda glavne pare, parne strane grijača i cjevovoda drenažnog sistema grijača. Opisano je stanje navedenih sistema u NE Krško nakon montaže, te je dana procjena sastava, količina i raspodjele prljavštine. Navedeni su kemijski agensi za pomoć u odstranjivanju organskih taloga i željeznih oksida prilikom ispiranja. Na kraju je opisan projekt kruga ispiranja i sam postupak ispiranja.

CILJEVI I NAČINI ISPIRANJA

Sistem regenerativnog zagrijavanja pojne vode i sistem svježe pare u nuklearnoj elektrani tipa PWR zahtijevaju visok stupanj čistoće, jer je nužno spriječiti prenošenje nečistoća, zaostalih od montaže, u generator pare, gdje bi se mogle taložiti na stijenke. Takvo taloženje, kao što je poznato, izaziva nejednolik prijelaz topline, povećana lokalna naprezanja i pucanje stijenki. Visok stupanj čistoće također se zahtijeva radi postizanja strogim standardima određene kvalitete pojne vode za vrijeme inicijalnog pogona.

Brojna iskustva pokazuju da montažne nečistoće, kao što su željezni oksidi, ulja i sredstva za konzerviranje, ulaze u generator pare u početku rada. Proizvođači i graditelji spoznali su važnost pretpogonske čistoće, te je to rezultiralo zahtjevom da svi cjevovodi u krugu generatora pare budu propuhani i temeljito isprani toplom vodom prije inicijalnog pogona. Dosadašnja iskustva su pokazala da takva ispiranja toplom vodom odstranjuju znatne količine čestica prljavštine. Na žalost, manji dio čestica je topiv u vodi, pa geometrija cjevovoda, grijača i kondenzatora dovodi u pitanje mogućnost postizanja zadovoljavajućeg stupnja čistoće sistema jednostavnim ispiranjem toplom vodom.

Teškoće u postizanju kvalitete pojne vode i dosadašnja iskustva o taloženju na stijenke generatora pare upućuju na činjenicu da prethodno propuhivanje i ispiranje toplom vodom nisu adekvatan način za osiguranje dovoljnog stupnja čistoće kruga generatora pare. Radi postizanja zadovoljavajuće čistoće sistema, mogu se u toku ispiranja, vodi za ispiranje dodati kemijski deterdženti sposobni da otope različite organske spojeve i željezne okside prisutne u sistemu.

STANJE KRUGA GENERATORA PARE NAKON MONTAŽE

Temeljito ispitivanje kondenzatora, sabirnika kondenzata, grijača pojne vode i sistema cjevo-

voda pokazalo je da je u sistemu prisutna određena količina prljavštine. To zaprljanje je rezultat ovih izvora:

1. Laboratorijskim ispitivanjem uzoraka uzetih u studenom 1978. godine ustanovljeno je da se na površinama koje su bile ispuhivane nalazi uljni film. Takav uljni film je sasvim uobičajen jer se u zraku koji se koristi za ispuhivanje nalazi ulje iz kompresora. Prisutnost uljnog filma može se lako uočiti zbog obasjavanja metalne površine ultraljubičastim svjetlom. Takav uljni film je korištan jer čini barijeru za kisik i vlagu, te štiti ispuhane površine od brzog rđanja zbog djelovanja atmosfere. Naravno, prije inicijalnog pogona uljni film se mora odstraniti.

2. Uočeno je da je sistem cjevovoda trenutno zagađen nanosima koji se sastoje od magnetskih metalnih čestica i pijeska. Takav je tip nanosa vrlo čest u cijevima ispuhivanim zrakom, jer dolazi do akumulacije slobodnog materijala za vrijeme ispuhivanja. Materijal prijanja uz površinu cijevi zahvaljujući uljnom filmu koji je već spomenut.

3. Slijedeći izvor zaprljanja u krugu generatora pare jesu komponente mekog čelika kondenzatora, sabirnika kondenzata i grijača pojne vode. Meki čelik, upotrijebljen kao potporne ploče za cijevi, nije očišćen od strugotina i otpadnih strojnih ulja upotrijebljenih prilikom bušenja rupa. Također nije očišćen od ulja upotrijebljenih za vrijeme valjanja cijevi u toku proizvodnje izmjenjivača topline.

Pregled sabirnika kondenzata i potpornih ploča pokazao je veliku koncentraciju metalnih oksida i organskih tvari. Prisutnost naslaga željeznih oksida otkrivena je i pregledom unutarnje površine jedne od slijepih prirubnica kanala visokotlačnog zagrijavača pojne vode.

Treba nadalje napomenuti da je specifikacijom određeno da zagrijači pojne vode budu napunjeni vodom za hidrostatski test, koja sadrži 1% sred-

stava za konzerviranje (Antrol CF 415). Može se očekivati da otpadne količine ovog materijala ostanu na površinama grijača pojne vode.

4. Pregledom sistema također je otkrivena prisutnost teških zaštitnih sredstava u unutrašnjosti pojnih pumpi. Uzorak tog materijala uzet je na laboratorijsku analizu i ustanovljena je mogućnost otapanja kemijskim sredstvima. Može se očekivati da će se ovaj tip zaprljanja naći i u pumpama kondenzata i u ventilima sistema.

Treba naglasiti da su tipovi zaprljanja nađeni u sistemu generatora pare NE Krško sasvim uobičajeni. Dosadašnja iskustva u ispiranju i čišćenju ovakvih sistema upućuju na to gdje treba tražiti nečistoće. Iz iskustva se također zna da se ukupna količina prljavštine može točno procijeniti mjerenjem koncentracije zaprljanja na površinama sistema i množenjem te koncentracije s ukupnim količinama različitih tipova površina u sistemu. Rezultati procjene ukupnog pretpogonskog taloga, koji se može naći u velikom sistemu, često su iznenađujući, međutim brojna iskustva su dokazala da je ova metoda procjene vrlo pouzdana.

PROCJENA SASTAVA, KOLIČINA I RASPODJELE TALOGA U KRUGU GENERATORA PARE

Talog koji se može naći u krugu generatora pare sastoji se od tri vrste materijala:

1. **Organski materijal.** Ovdje su uključena ulja za valjanje cijevi, ulja za rezanje, zaštitna sredstva i ulja za podmazivanje zračnog kompresora. Količine i vrste tih ulja nađene na površinama sistema onemogućuju precizno uzimanje uzoraka i analizu. Međutim, dosadašnja iskustva su pokazala da ta ulja mogu biti tipizirana kao laki alfatiski ugljikovodici zagađeni dodacima kao što su deterdženti, ugljik i emulgatori. Najveća akumulacija organskog materijala nađena je na unutrašnjim dijelovima pojnih pumpi.

2. **Metalni oksidi.** Ovdje su uključeni oksidi željeza, bakra, nikla i kroma. Željezni oksidi koji se mogu naći u sistemu sastoje se od okujina (magnetit, Fe₃O₄) i atmosferske rđe (hematit, Fe₂O₃). Okujina je nađena na površinama koje nisu ispuhivane. Tu su uključene komponente ugljičnog čelika zagrijača pojne vode i kondenzatora, kao i otpadna okujina zaostala poslije ispuhivanja, te magnetit formiran kao rezultat varenja i odžarivanja. Bakreni, nikleni, kromovi i neki željezni oksidi nalaze se u obliku prevlaka (mrlja) na površinama cijevi kondenzatora i grijača pojne vode. Često je sloj prevlake na odžarenim cijevima prilično težak, pa neki od tih materijala može biti ispran i oslobođen sa tih površina,

3. **Strane čestice.** Ovdje je uključena metalna, piljevina, strugotine i ostaci ispuhivanja, konstrukcije krhotine, kao što su čestice vara, komadi elektroda i slično, te ostali otpaci kao što su pijesak, šljunak i beton. Analiza stranih čestica pokazala je da je većina tog materijala usitnjeni metal. Veličina, tvrdoća i dimenzije čestica važni su faktori koji utječu na projektiranje sistema ispiranja.

Procjena ukupnih količina taloga može se načiniti na temelju količina koje su stvarno odstranjene s cjevovoda i oprema pod istim uvjetima. Na temelju iskustva u pretpogonskom čišćenju opreme u termoelektranama i nuklearnim elektranama mogu se očekivati količine prljavštine prikazane u tablici 1. Te količine odnose se na opremu koja je bila isprana ili očišćena na gradilištu i hidrostatski testirana.

Tablica 1.

Oprema	Vrsta taloga	Količina taloga	
izmjenjivači iz ugljičnog čelika neodžareni	prljavština željezni oksid	0,031	l/m ²
		0,16	kg/m ²
izmjenjivači iz ugljičnog čelika odžareni	prljavština željezni oksid	0,031	l/m ²
		0,24	kg/m ²
izmjenjivači iz legiranog čelika neodžareni	prljavština, ako je prisutno sredstvo za zaštitu prljavština, ako nema sredstva za zaštitu željezni oksid	0,083	l/m ²
		0,031	l/m ²
		0,01	kg/m ²
izmjenjivači iz legiranog čelika odžareni	prljavština, ako ima sredstva za zaštitu prljavština, ako nema sredstva za zaštitu željezni oksid	0,083	l/m ²
		0,013	l/m ²
		0,02	kg/m ²
izmjenjivači neodžareni očišćeni u proizvodnji	ulja i prljavština željezni oksid	0,031	l/m ²
		0,05	kg/m ²
izmjenjivači odžareni očišćeni u proizvodnji	ulja i prljavština željezni oksid	0,031	l/m ²
		0,10	kg/m ²
cjevovod iz ugljičnog čelika ispuhan	prljavština željezni oksid	0,031	l/m ²
		0,06	kg/m ²
kondenzatorske cijevi Cu/Ni 90:10	ulje	0,013	l/m ²
cijevi, potporne ploče i sabirnik kondenzata iz ugljičnog čelika	ulje željezni oksid	0,031	l/m ²
		0,19	kg/m ²

U tablici 2. prikazana je analiza veličine čestica načinjena na NE Krško. Uzorak je sadržavao i komad žice dug 55 mm promjera 1 do 2,4 mm.

Tablica 2.

Veličina čestica u mm	5,6	2,8	1,4	0,71	0,355	0,18	20,18
Količina u %	—	0,05	2,5	18,8	31,0	26,2	21,4

KEMIJSKI AGENSI ZA POMOĆ U OSTRANJIVANJU ORGANSKIH TALOGA PRILIKOM ISPIRANJA

Da bi se osiguralo efikasno, brzo i potpuno odstranjenje svih tragova različitih organskih spojeva prisutnih u sistemu za vrijeme ispiranja, dodaje se vodi za ispiranje odgovarajući deterdžent. Izbor pogodnog deterdženta određen je različitim vrstama organskih taloga nađenim u sistemu:

1. Zaštitni materijal s unutrašnjih površina pojnih pumpi.
2. Ulje sa stijenki cijevnih izmjenjivača topli-
ne, zagrijača kondenzata i kondenzatora.
3. Ulje iz zraka upotrijebljenog za ispuhivanje sistema.
4. Zaštitno ulje dodano vodi za hidrostatski test grijača pojne vode.

Prema procjenama može se očekivati količina ulja veća od 750 litara. Ako se tome doda i količina zaštitnih materija, to predstavlja znatnu količinu organskih materija koje treba odstraniti iz sistema. U tu svrhu upotrebljava se otopina deterdženta (komercijalni naziv D.S.I.S. low chloride solvent degreaset) u vodi temperature 80°C.

KEMIJSKI AGENSI ZA POMOĆ U ODSTRANJIVANJU NASLAGA ŽELJEZNIH OKSIDA PRILIKOM ISPIRANJA

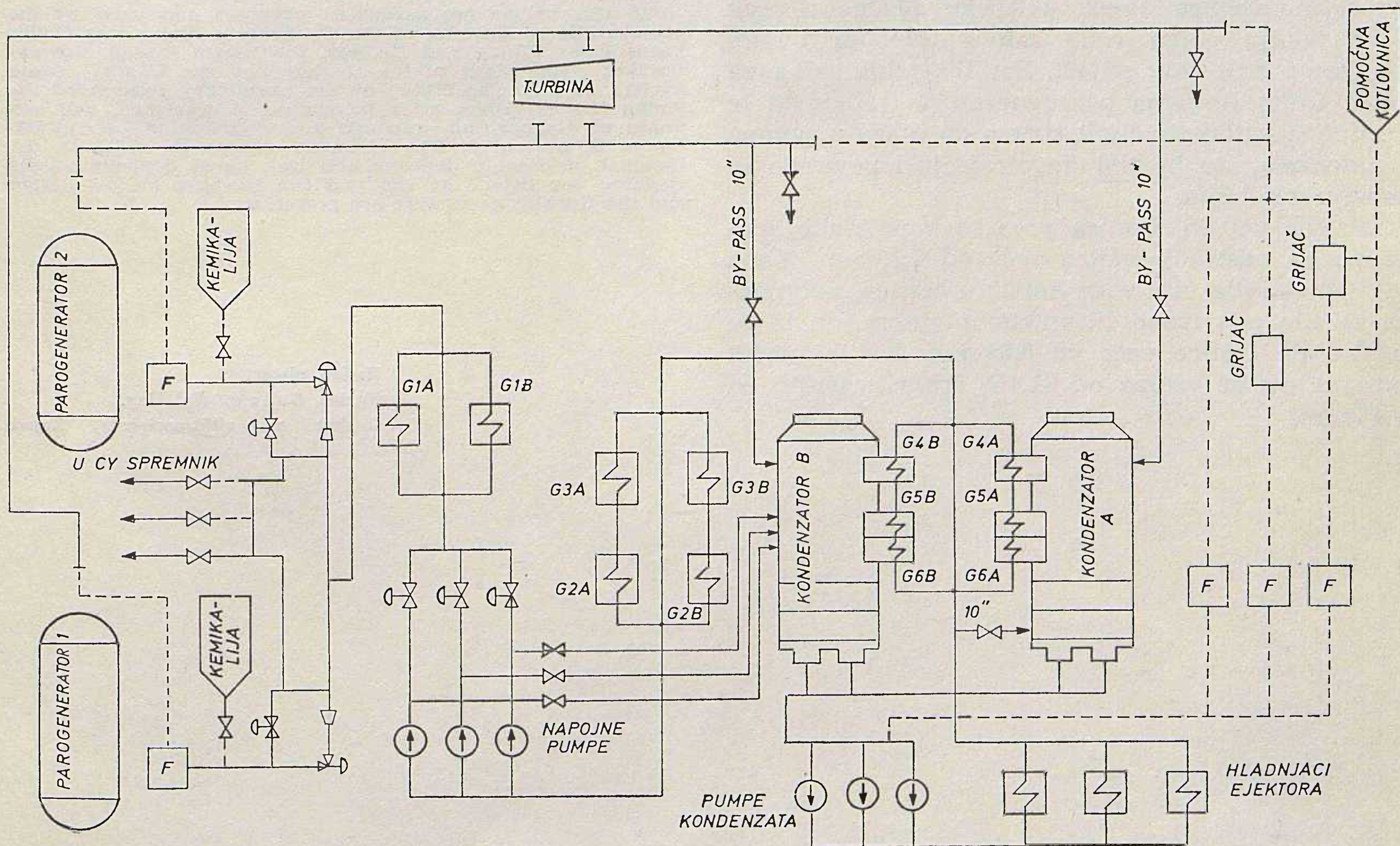
Za pomoć u odstranjivanju naslaga željeznih oksida, koje su prisutne na određenim površinama

sistema, upotrebljava se 5%-tna otopina D.S.I.S. VERTAN 641. Ova kemikalija može se dodati u sistem pri kraju početnog ispiranja i stupnja odstranjivanja organskih naslaga. Zbog predviđene količine organskog materijala i prisutnosti velike količine čestica manjih od 0,18 mm nužno je izbaci početno punjenje vode za ispiranje prije davanja Vertan-otopine. Otopina Vertana cirkulira kroz sistem na isti način kao i otopina deterdženta uz ograničenje temperature na 65°C.

Na kraju ovog stupnja otklanjanja željeznih oksida provodi se stupanj pasivizacije podizanjem pH vrijednosti cirkulirajuće otopine sa pH 5 na pH 9,2. Radi postizanja željene pH vrijednosti dodaje se oksidans (D.S. MO 43) u koncentraciju 0,25% težinski. Dobivena pasivizirajuća otopina cirkulira dva sata. Poslije ispuštanja pasivizirajuće otopine sistem je zaštićen oko tri tjedna, nakon čega se počinju stvarati naslage hematita na stijenjkama cijevi.

PROJEKT KRUGA ISPIRANJA

Ispiranjem je obuhvaćen krug regenerativnog zagrijavanja pojne vode spojen preko privremenog cjevovoda na generatoru pare do cjevovoda svježeg pare, odakle se tok vraća do kondenzatnih pumpi preko privremenog cjevovoda instaliranog na kondenzatorima. Linije svježeg pare su zatvorene pred ulaznim sapnicama turbine da bi se izbjeglo eventualno oštećenje turbine.



Pojednostavnjena shema kruga obuhvaćenog kemijskim ispiranjem

Sistem se kompletno napuni vodom, što zahtijeva odzračivanje na svim visokim točkama ili cirkulaciju sa strujanjem dovoljnim da se odstrani uhvaćeni zrak. Protočne brzine moraju biti dovoljno velike da se isperu netopive čestice do filtra, gdje mogu biti odstranjene iz sistema povremenim ispiranjem.

Radi postizanja protočnih brzina potrebnih za efikasno ispiranje sistema koriste se pumpe kondenzata. Zajednički kapacitet triju pumpi je 68 100 l/min na 280 m, što je prema proračunima više nego dovoljno za efikasno ispiranje. Procijenjeno je da ukupni pad pritiska kroz sistem iznosi 210 m. Da bi se mogao kontrolirati pritisak u sistemu za vrijeme ispiranja, koristi se recirkulaciona linija 10" iza ejektora kondenzatora, kao mogućnost povratka obilaznim vodom u sabirnik kondenzata.

Da bi se efikasno odstranile čestice iz sistema za vrijeme ispiranja, nužno je na određenim točkama postaviti filtarske sklopove. Iz tih filtarskih sklopova mogu se odstraniti uhvaćene čestice bez demontaže i zaustavljanja procesa ispiranja, jednostavnim ispiranjem filtra u suprotnom smjeru. Osim toga jednostavan je pristup kućištu sklopa radi zamjene metalnog sita ili postavljanja filtarskog platna. Filtarski sklopovi instalirani su na usisnim cjevovodima pumpi kondenzata i na obilaznim vodovima oko parogeneratora. Instaliranje na ovim lokacijama pogodno je zato što na tim točkama u svakom slučaju moraju biti instalirani privremeni cjevovodi.

Takav raspored filtarskih sklopova skraćuje put koji čestice moraju proći prije odstranjenja iz sistema. Konfiguracija sistema upućuje na to da se većina čestica nalazi u krugu regenerativnog zagrijavanja pojne vode zahvaljujući prirodnim zamkama koje čine grijači. Bez filtarskih sklopova na ulaznim linijama parogeneratora trebalo bi te čestice isprati kroz cijeli sistem do ulaza u pumpe kondenzata, što bi bilo dugotrajnije i povećalo bi eroziju u sistemu.

Prema veličini čestica prvo se koristi sito sposobno da odstrani čestice veće od 0,18 mm. Kada sito ne skuplja više veću količinu čestica, upotrijebi se sito pokriveno filtarskim platnom, da bi se odstranile čestice veće od 0,04 mm. Na taj način odstranjuje se većina od 21,4% čestica manjih od 0,18 mm.

POSTUPAK ISPIRANJA

Prije ispiranja sistem se napuni vodom pomoću pumpi kondenzata, koje uzimaju vodu iz sabirnika kondenzata kao u normalnom pogonu. Za vrijeme punjenja svi ventili moraju biti otvoreni. Kada je sistem pun, ventili u povratnom vodu 10" prema kondenzatorima djelomično se zatvore, kako bi se glavina toka usmjerila prema usisu pumpi preko filtra. Nakon uspostavljanja cirkulacije voda se zagrije na 65 do 75°C. To se postiže injektiranjem pare u grijačima instaliranim na dva od tri povratna cjevovoda prema usisu pumpi.

Nakon toga u sistem se ubacuju kemikalije uz osiguranje dobrog miješanja i distribucije. Za vrijeme početnog ispiranja stalno se nadziru filtri radi odstranjivanja uhvaćenih čestica.

Budući da grijači pojne vode čine prirodne zamke za krute čestice, zahvaljujući velikim površinama i konfiguraciji, posvećuje im se posebna pažnja prilikom ispiranja. Zbog toga se posebno ispiru svaki izmjenjivač topline u krugu regenerativnog zagrijavanja, počevši od ejektora pa do visokotlačnih zagrijača.

Nakon završenog ispiranja voda se privremenim cjevovodom prebacuje u spremnik CY sistema, iz kojeg se zatim preko neutralizacionog bazena ispušta u Savu.

PRE-OPERATIONAL CLEANING OF THE PRE-BOILER CIRCUIT AND HIGH PRESSURE STEAM LINES AT KRŠKO NUCLEAR POWER PLANT

In this article are presented purposes and ways of the pre-operational flushing of the Condensate Piping, the Boiler Feed Water Piping and Heaters, the Steam Piping, the extraction steam sides of the Heaters and the Heater Drain System Piping. The status of the Secondary System of the Krško Nuclear Plant after installation is described, and estimate of composition, amounts and distribution of contaminants is presented. The chemical agents to assist in the removal of organic deposits and iron oxide deposits during flushing are listed. At the end the flushing circuit design and the flushing procedure are presented.

Naslov pisca:
Marino Balog, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

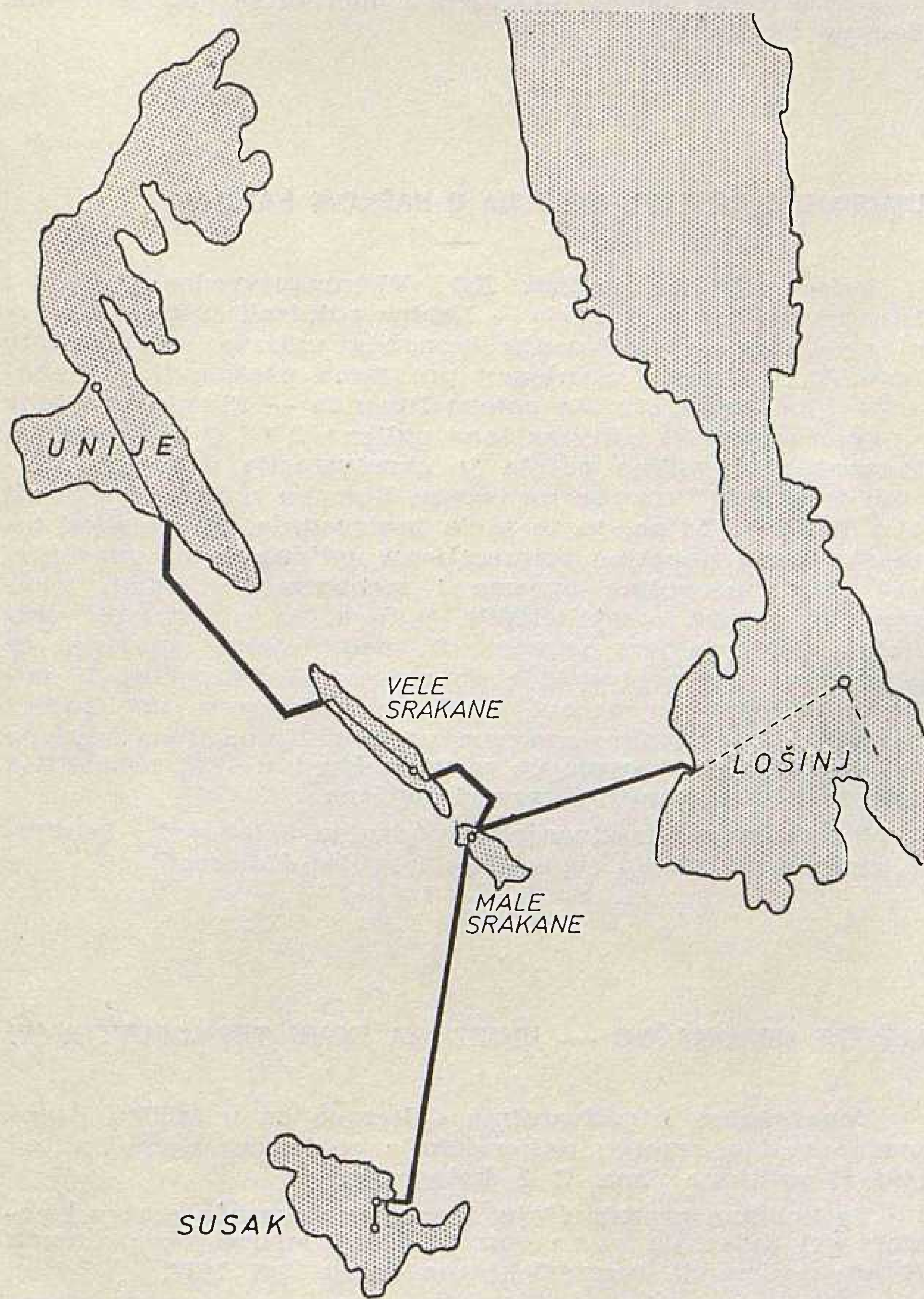
POLAGANJE PODMORSKOG KABELA NA OTOKE SUSAK I UNIJE

Programom elektrifikacije neelektrificiranih naselja i domaćinstava do 1980. godine obuhvaćeni su otoci Susak, Unije, V. Srakane i M. Srakane, tako da će i najudaljeniji otoci lošinjskog arhipelaga dobiti električnu energiju.

Na otoku Lošinju je ranije izgrađena TS 110/20 kV Čunski za opskrbu cijelog otoka električnom energijom, a ujedno je predviđena i za snabdijevanje otoka Suska i Unija.

Budući da se osnovnim rješenjem mreža Lošinja predviđa prijelaz na 20 kV napon, trebalo je svu opremu prilagoditi 20 kV naponu.

Trafostanice 20/0,4 kV su montažne i sva električna oprema premazat će se silikonskim mastima, dok je niskonaponska mreža izvedena sa SKS vodićima.



Polazna lokacija za elektrifikaciju otoka Suska i Unija jest TS 10/0,4 kV Čunski. Iz TS 10/0,4 kV Čunski do uvale Liska — Slatina izgrađen je 20 kV od dug 3,70 km. Presjek vodića je 35 mm Al₂Al₃. Zatim slijedi potez Liska — Slatina — Srakane M. (otok), gdje je predviđen podmorski kabel u dužini od 4.400 m do TS 20/0,4 kV Srakane M. Na otoku M. Srakane kabel se razgranava prema otocima Susku i Unijama. Iz Srakane M. položen je podmorski kabel u dužini od 7.500 m do TS Susak I, a od TS Susak I vodi podzemni kabel u dužini od 450 m do TS Susak II.

Drugi podmorski kabel položen je iz TS Srakane M. do TS Srakane V. u dužini od 3100 m.

Iz TS Srakane V. preko otoka Srakane V., a prema otoku Unijama, položeno je 1700 m podmorskog kabela. Do uvale Šibensko na otoku Unijama položeno 5200 m podmorskog kabela, a od uvale TS Unije 3200 m podmorskog kabela.

Odabran je radijalni podmorski kabel s armaturom od Če-žica 5 mm presjeka 840 mm. Težina kabela iznosi 11,2

kg/m u jednom komadu dužine 20 km, a prema potrebi se reže na određenu dužinu.

Vodići su presjeka 70 mm Cu-kompaktirani i pokositreni. Kompaktiranjem vodića postiže se da se u slučaju kvara na kabelu i prodora mora smanjuje prodor vlage u vodiču, a kad je pokositren, u slučaju kvara ne korodira. Izolacija je sastava EPR (Etilen — Propilen — Ruber). Izolacija je odličnih električnih kvaliteta, pouzdana u pogonu, dobro se ponaša u moru i otporna je na vibracije.

Tehnologija izrade kabela izvršena je na ovaj način: u jednoj operaciji na vodič je nanesen poluvodljivi sloj, zatim izolacija i vanjski poluvodljivi sloj. Preko toga se nanamže pokositrena Cu-folija presjeka 16 mm. Kod podmorskog kabela je bitno da zaštiti Če-omotač bude u jednom komadu. Budući da se radi o izolaciji od krutog dielektrika, potrebno je bilo izraditi specijalne spojnice (»Pirelli« Napulj) koje su nakon izrade bile ispitane gama-zracima.

Momentano u zemlji ne postoji mehanizacija za polaganje podmorskih kabela, pa je izvođač morao ugovoriti posao sa stranim polagačem kabela. U ovom slučaju je to »Pirelli«, Italija, koji posjeduje mehanizaciju i dugogodišnje iskustvo. Za samo polaganje upotrijebljena je usluga domaćeg broda polagača, nosivosti 1500 t. Jedan pomoćni remorker, snage oko 600 KS, asistira kod polaganja u slučaju potrebne korekcije pravca i ako treba koja druga intervencija s ekipom ronionca, i za potrebe usidravanja. Prije polaganja zastavicama mora biti označena trasa za polaganje. Remorkeri, brod polagač i mjesto u međusobnoj su vezi putem radio-stanica s različitim frekventnim područjem. Kabel se najprije polaže na pripremljene jastučice na dužini od 1 do 1,5 m u more. Nakon toga se kabel postepeno oslobađa jastučica potapa u more i smješta u priobalnu zaštitu.

M. C.

TE JERTOVEC — 25 GODINA RADA

Članovi radne organizacije TE Jertovec proslavili su 6. listopada 1979. godine 25 godina postojanja i rada elektrane. Proslavu su uveličali predstavnici društveno-političkih organizacija, elektroprivrede i drugih poduzeća.

TE Jertovec sagrađena na području sela Jertovec, udaljenom od Konjščine oko 1,5 km, i po njemu dobila svoje ime. Izgradnja prve faze TE Jertovec, instalirane snage 39 MW, izvedena je 1954. godine s četiri kotla (gorivo-lignit zagorskih ugljenokopa), koji su 1974. rekonstruirani na mazut. Elektrana je proširena 1975. s dvije plinske turbine snage 2×31,5 MW pogonjene lakim uljem. Danas termoelektrana Jertovec ima 102,8 MW ukupne instalirane snage. Instalirana su četiri radijaciona parna kotla ložena mazutom, tri parne turbine (dvije akcione i jedna reakciona), dvije plinske turbine i dva kotla na otpadnu toplinu.

Godišnja potrošnja goriva kreće se oko 100.000 tona mazuta i lakog ulja.

Radi relativno visoke cijene proizvedenog kWh električne energije ova elektrana uglavnom radi u vršnom opterećenju, odnosno u slučaju izostanka jeftinijih izvora energije. Treba naglasiti da je TE Jertovec prvih godina svoga rada predstavljala značajan izvor energije za konzum sjeverozapadnog dijela Hrvatske. Elektrana je sagrađena na bazenima zagorskih rudnika niske kalorične vrijednosti s velikim sadržajem pepela koji se jedino tada mogao koristiti u termoelektrani.

»DALEKOVOD« — IZVOZ OPREME

Elektroprivredno poduzeće za projektiranje, gradnju, montažu i proizvodnju opreme Dalekovod« Zagreb posve je osvojila proizvodnju ovjesnog i spojnog materijala za visokonaponske dalekovode i transformatorske stanice. Osim proizvoda domaćeg tržišta Dalekovod proizvodi i za inozemstvo.

Nedavno je potpisan ugovor o isporuci ovjesnog i spojnog materijala u vrijednosti oko 2,25 milijuna dolara za Libiju i Irak, s isporukom u 1979. i 1980. godini. Očekuje se da će doći do novih poslovnih aranžmana elektroprivrede Libije, a vjerojatno i Iraka. Ugovoren je i posao gradnje dalekovodne mreže od 330 kV u Zambiji. Kompletna gradnja i isporuka opreme izvest će se u 1980. godini.

Termoelektrana — Toplana Zagreb II snage 120 MW pušten je u redovni pogon 29. rujna 1979. godine. Tako se elektroenergetski i toplinski potencijal grada Zagreba obogatilo novim količinama energije.

Svečanom činu puštanja ovog energetsog objekta uz članove kolektiva prisustvovali su i predstavnici društveno-političkog života grada, predstavnici elektroprivrednih organizacija, isporučioća opreme, projektanti, izvođači radova iz tuzemstva i SSSR-a i drugi gosti.

Direktor TE—TO Zagreb drug Franjo Černohous, dipl. ing. pozdravio je prisutne goste i zahvalio se svim stručnjacima koji su sudjelovali u izgradnji.

TE—TO Zagreb II uvrštena je u program izgradnje energetskih objekata na području grada Zagreba u razdoblju 1976. do 1980. godine. Stvarni početak izgradnje je 15. svibnja 1975. godine. Prvih godina dolazilo je do zastoja u radovima (neriješena financijska pitanja, zakašnjenje izrada projekta i opreme i dr.) U 1979. radilo se ubrzanim tempom sve do završetka.

TE—TO Zagreb II, instalirane snage 120 MW i 175 Gcal/h ostvarit će godišnju proizvodnju od 800 GWh el. energije. Maksimalna proizvodnja novog kotla je 500 t/h pare, 560° C, 140 ata. Glavni nosioci projektiranja su poduzeća »Teplo-elektroprojekt« Kijev i »Elektroprojekt« Zagreb. Kotlovsko postrojenje je isporučilo poduzeće »Tehnopromeksport« Moskva, a tvornica »Rade Končar« elektro opremu.

Građevne radove izvelo je poduzeće »Industrogradnja« iz Zagreba sa svojim kooperantima, a elektro i strojarsku opremu montirale su stručne ekipe poduzeća »Monting« — SOUR Zagreb.

Financijska sredstva osigurali su investitori »Elektroprivreda« Zagreb, Republički SIZ potrošača električne energije i Banka.

ZABRANA GRADNJE ELEKTRANA NA MAZUT

Delegati Saveznog vijeća usvojili su Zakon o privremenoj zabrani ulaganja društvenih sredstava za daljnju gradnju elektrana i toplana na tekuće gorivo. Osnovni razlog je poremećaj na svjetskom tržištu nafte i njezino nepredvidivo poskupljenje. Cilj je ovih mjera da se potrošnja mazuta svede u realne okvire, a potakne na veće iskorištenje ugljena. Valja potaknuti i racionalniju preradu nafte u korist benzina i drugih derivata.

Zabrana izgradnje vrijedi za sve objekte te vrste što su predviđeni društvenim dogovorima.

No neće biti obustavljena izgradnja takvih objekata u SAP Vojvodini. To se odnosi na TE—TO Novi Sad, snage 250 MW, čija je prva etapa već u fazi gradnje, kao i za TE—TO Zrenjanin i TE—TO Pančevo, svaka po 135 MW. Potrebna goriva za vođanske elektrane bit će oko 900 tisuća tona teškog mazuta godišnje.

SURADNJA ŽTP I DALEKOVODA NA ELEKTRIFIKACIJI ŽELJEZNICA

Poduzeće »Dalekovod« i ŽTP—Zagreb sporazumjeli su se o zajedničkoj suradnji na elektrifikaciji i modernizaciji željeznica na području SR Hrvatske. Prema ugovoru u prvi plan su uvršteni radovi na elektrifikaciji pruge Ogulin — Knin, koji se odnose na kompletnu izvedbu kabelskog dijela te pruge. Isti posao obaviti će se i na dionicama Knin — Split i Perković — Šibenik.

Glavni investitor, Radna organizacija ŽTP Zagreb, osigurava opremu koju najvećim dijelom isporučuju domaći proizvođači elektroindustrije. Nadalje, dobar dio ugovorenih radova odnosi se na izvedbu rasvjete željezničkih stanica, kao i rasvjetu ukrštanja većeg broja prometnica.

Planovima je predviđeno da OUR »Marketing — inženjering« — Dalekovoda preuzme više složenih zahvata i na elektrifikaciji pruge Dugo Selo — Koprivnica — mađarska granica. Budući da je riječ o velikim radovima u realizaciji ovog programa »Dalekovod« će uključiti i druga poduzeća iz SR Hrvatske.

SVJETSKI KONGRES ZA NAFTU

Deseti svjetski kongres za naftu održan u Bukureštu 9. do 14. rujna 1979. godine okupio je 3.500 stručnjaka. Među sudionicama kongresa bilo je iz naše zemlje 150 predstavnika naftne industrije, energetičara i drugih znanstvenih institucija.

Na kongresu se razmatrao znanstveno-tehnički razvoj u naftnoj industriji za protekle četiri godine. U ciklusu od 150 referata izloženi su problemi značajni za čovječanstvo: izvori energije i njihovo očuvanje, te tehnološki napredak u istraživanju i proizvodnji nafte i plina.

Glavne teme tehničkog programa bile su razmatranje znanstveno — tehničkih dosignuća u naftnoj industriji. Naglašena je i potreba većeg istraživanja, proizvodnje i štednje jer su rezerve nafte dovoljne tek za narednih trideset godina.

Detaljno je obrađena i nova tehnologija veoma dubokih bušotina. Autori su prikazali suvremenu metodu na primjeru bušotine od 10.000 metara. U nizu više referata ukazano je na sve teže uvjete bušenja u većim dubinama mora. Posebno je obrađen napredak tehnologije i razvoj opreme pri istraživanju nafte i plina na kopnu i moru. Izmjena iskustva stručnjaka naftne industrije i energetike dala je veoma korisne rezultate.

UTVRDJE NE REZERVE UGLJENA U RAŠKOM BAZENU

Prije nekoliko godina RO »Elektroprivreda« Rijeka i Istarski ugljenokopi »Raša — Labin« potpisali su Samoupravni sporazum o istraživanju kamenog ugljena na području Istre. U realizaciji usvojenog programa postignuti su zadovoljavajući rezultati. Na potezu Ripenda — Plomin utvrđene su rezerve od 18,7 milijuna tona ugljena C 1 i C 2 kategorije. Potkraj 1978. godine počela je eksploatacija u novom rudniku Ripenda. Zasad se na iskopu Ripenda dnevno proizvodi oko 600 tona. Istina, to je mala proizvodnja, ali ne zbog toga što nema dovoljno pripremljena ugljena za otkopavanje, već zbog nedovoljne opreme i mehanizacije, slabih transportnih putova, ventilijskih putova, te niz drugih prepreka. Otklanjanjem spomenutih nedostataka omogućit će se znatno veća proizvodnja novog rudnika Ripenda. U području Tupjak na osnovi izvršenih bušenja u 1979. godini do sada su potvrđene rezerve od 5 milijuna tona ugljena C 1 kategorije. U ovom će se području i u 1980. nastaviti s daljnjim istraživanjima rezervi ugljena.

Priprema se istraživanje na području Salakovci — Diminići, smješteno između jame Raša i ležišta Koromačno.

LEŽIŠTE KOROMAČNO — UVJETI ZA NOVU TERMoeLEKTRANU

Dosadašnjim istraživanjima dokazane su u ležištu Koromačno velike rezerve ugljena koje se kreću u veličini od oko 13 milijuna tona C 1 kategorije.

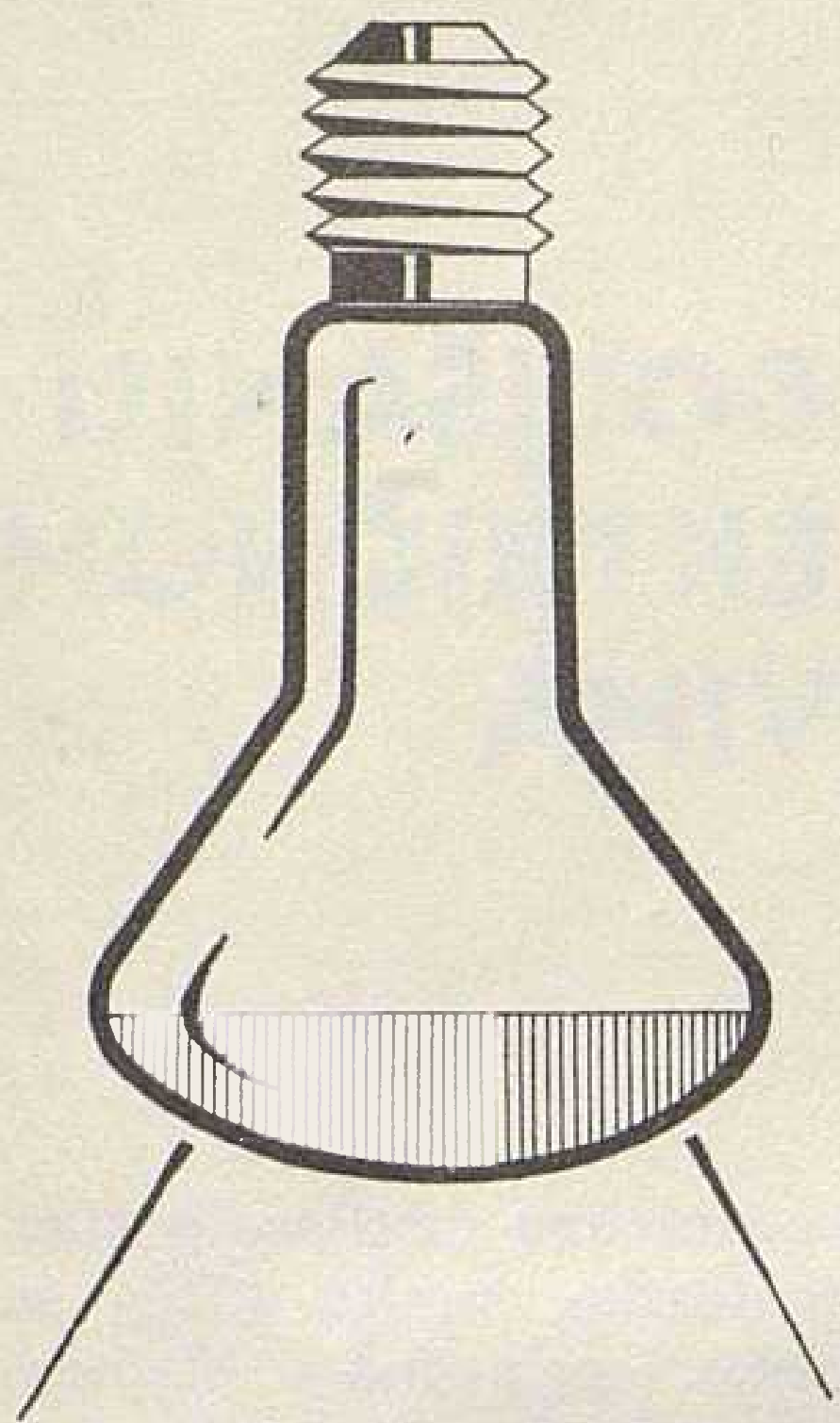
Te količine predstavljaju dragocjeno domaće gorivo i postoje svi uvjeti da se za potrebe elektroenergetskog sistema Hrvatske izgradi termoelektrana snage 300 MW.

Uz uvjet da se ta snaga koristi 5.000 sati godišnje, dobilo bi se oko 1.500 GWh, što bi predstavljalo veliku dobit za elektroenergetski sistem SR Hrvatske.

Za godišnju proizvodnju od 1.500 GWh potrebno je 600.000 tona ugljena.

S obzirom na utvrđene rezerve kamenog ugljena u raško-labinskom bazenu realan je program RO »Elektroprivrede« Rijeke o gradnji TE Plomin II instalirane snage 130 MW i TE Koromačno, snage 300 MW.

Izgradnjom novih i uz postojeće termoelektrane »Elektroprivreda« Rijeka bi raspolagala s oko 5.300 do 5.400 GWh električne energije. Od ove količine energije proizvedene u termoelektranama dvije trećine bi koristio konzum riječke Elektroprivrede, a ostatak bi pripao ostalom energetsom sistemu SR Hrvatske.



Uz sto godina električne žarulje

Električno svjetlo označilo je osvit novog doba. Više od telegrafa, telefona ili fonografa — ono je bilo doslovno vidljiva manifestacija nove električne ere, i do danas je ostalo njezinim najpopularnijim atributom.

Čovjek kojem neposredno dugujemo to električno svjetlo bio je Thomas Alva Edison. Prije negoli se okrenuo problemu električne rasvjete, imao je već iza sebe bogato iskustvo pronalazača — poduzetnika. Njegove se prve inovacije odnose na telegrafiju, koja je bila prva značajnija primjena električne energije. Zatim se nakon Bellova izuma telefona okreće problemima telefonije i taj je rad donio dvostruku korist: Edison se upoznao s ugljenom, što će imati neposrednih reperkusija na kasnije eksperimentiranje žaruljom, i zaprepastio je svijet izumom fonografa.

Nastavak rada na fonografu spriječile su Edisonove poteškoće sa sluhom, i on se rujna 1878. okreće jednom vizualnijem problemu koji je periferno već i poznao — električnoj rasvjeti. Okretno se i uključio u pravom trenutku jer je rješenje već bilo na vidiku.

Električnom se svjetlu težilo od početka stoljeća, od Voltine baterije 1800. koja je osigurala izvor električne energije. Rana povijest tih nastojanja vezana je za Britaniju. Ona se odvijaju u dva pravca. Jedan je bio put lučnog svjetla, a drugi žarne niti u vakuumu. Svaka od tih glavnih tendencija ima i nezaobilazno ime: ona lučnog svjetla ime Humphryja Davyja, a ona žarne niti ime Josepha Swana. 1808. Davy je pred Kraljevskim društvom u Londonu demonstrirao svijetleći luk između elektroda spojenih na polove baterije od 2 000 Voltinih članaka — i to Davyjevo rješenje ostalo je principom električnog svjetla za dobar dio stoljeća. Druga se tendencija realizirala kasnije, i nailazila je na veće probleme, ponajviše tehnološku prirode. Mnoge su oni obeshrabrili, no najuporniji je ostao Swan. Konačno 1860, nakon petnaestogodišnjeg eksperimentiranja i on odustaje suočen s nemogućnošću postizavanja dobrog vakuuma. Novi poticaj njegova nastojanja dobivaju 1875. otkrićem Sprengerove živine vakuumske pumpe. Istovremeno, s druge strane oceana, i Edisona je privuklo rješenje pitanja električne rasvjete.

Pošto je — vjeran svojoj metodi »pokušaja i pogreške« — isprobao mnoge različite materijale za žarnu nit, Edison se, pročitavši o obnovljenim Swanovim eksperimentima, okrenuo svom prvom materijalu: ugljenu. Tako su se u istoj trci našli Swan i Edison. Za razliku od Swana, Edison se koncentrirao na finu, visokootpornu nit pod konstantnim naponom, kojom protječe neznatna struja. Taj mu se izbor nametao sagledavanjem cjeline problema, i tu je bila njegova osnovna prednost: traženje onog što bismo danas nazvali sistemsko rješenje. Prema klasičnoj Edisonovoj biografiji od Matthewa Josephsona njegov je program obuhvaćao: (1) paralelni krug, (2) trajno svjetlo žarne niti, (3) usavršeni dinamo, (4) podzemnu mrežu prijenosnu mrežu, (5) regulaciju napona, (6) osigurače i izolatore te (7) podnoške i prekidače. Edisonu su pomagala i nova tehnološka otkrića i usavršavanja: poboljšana je vakuumska pumpa i otkriveno je da je silikon i dobar izolator za platinske kontakte i athezivno sredstvo koje dobro prijanja uz staklo. Razrađen program i dorasla tehnologija uz podjelu rada vezanu za utvrđen postupak eksperimentiranja, te karakteristična Edisonova iracionalna upornost konačno su urodili rezultatom: u legendarnom 40-satnom bdijenju od večeri 21. do večeri 22. listopada 1879. crvenkasto svjetlo karbonizirane niti u zrakopraznom kruškastom staklenom balonu nije slabilo. »Ako može goriti toliko sati, znam da mogu postići da gori i stotinjak« — bio je Edisonov zaključak. Bio je to zapravo uspjeh cijele Edisonove ekipe, jer, kako je pisao jedan njegov suradnik, »Edison je u stvari zbirna imenica, i znači rad mnogih ljudi«.

Tako je 21. listopada 1879. rođena žarulja. Novost se ubrzo pročula: njujorški Herlad od 21. XII posvećuje cijelu stranicu Edisonovu uspjehu. Svijet je toliko ushićen da se organiziraju posebni izleti u Menlo Park kraj New Yorka gdje se nalazio Edisonov laboratorij. Edison je u 33. godini postao i nacionalna figura. Slijedećih godina usavršava primjenu svog sistema električne rasvjete. Četiri godine su prošle od prvih bilješki do prve komercijalne upotrebe: 4. rujna 1882. počela je raditi elektrana u Pearl Streetu koja je opskrbljivala energijom žarulje instalirane u utjecajnom njujorškom First Districtu. Agonija plinskog svjetla dugo će trajati, zahvaljujući svojoj ekonomičnosti i usavršavanjima, ali konačno nije mogla izdržati konkurenciju i pogodnosti električne rasvjete. U tematskom broju EPRI Journala (III/79) tim se povodom ističe: »Edison nije bio prvi koji je radio sa svjetlom žarne niti; time se počelo već 1802. Međutim, u Edisonovo je doba vrijeme sazrelo, i Edison je iskoristio priliku. Ono što je bilo odlučno za njegov uspjeh — kako se hvalio — bila je činjenica da je imao organiziranu ekipu, organiziran laboratorij, bolje izvore sredstava i snažnu metodologiju. Značajno je pridonijela i njegova praktična orijentacija. Analizirao je industriju plinske rasvjete, studirao njezine prednosti i mane, metode distribucije, njene potrošače, ekonomiku — sve. Tek nakon tih analiza počeo je vezivati električnu energiju uz rješenje problema«.

Z. T.



R A D E
KONČAR

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

Uvod

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

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

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

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

Automatsko odvajanje voda u kvaru

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

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

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

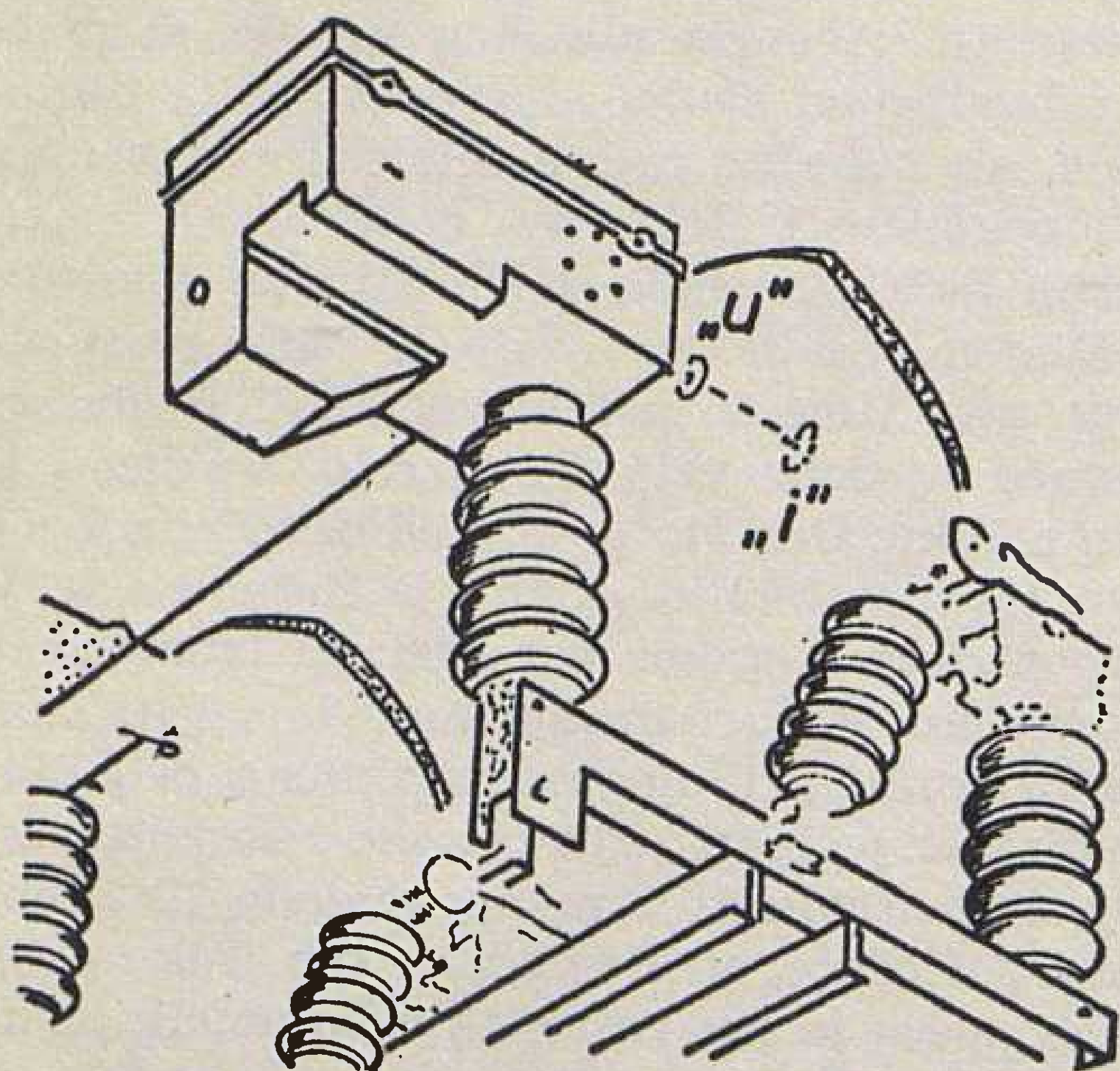
Primjenom ovog uređaja, omogućeno je veoma brzo odvajanje voda u kvaru, čime se osigurava nesmetana opskrba potrošača priključenih na druge krajnje vodove u promatranom konzumnom području.

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

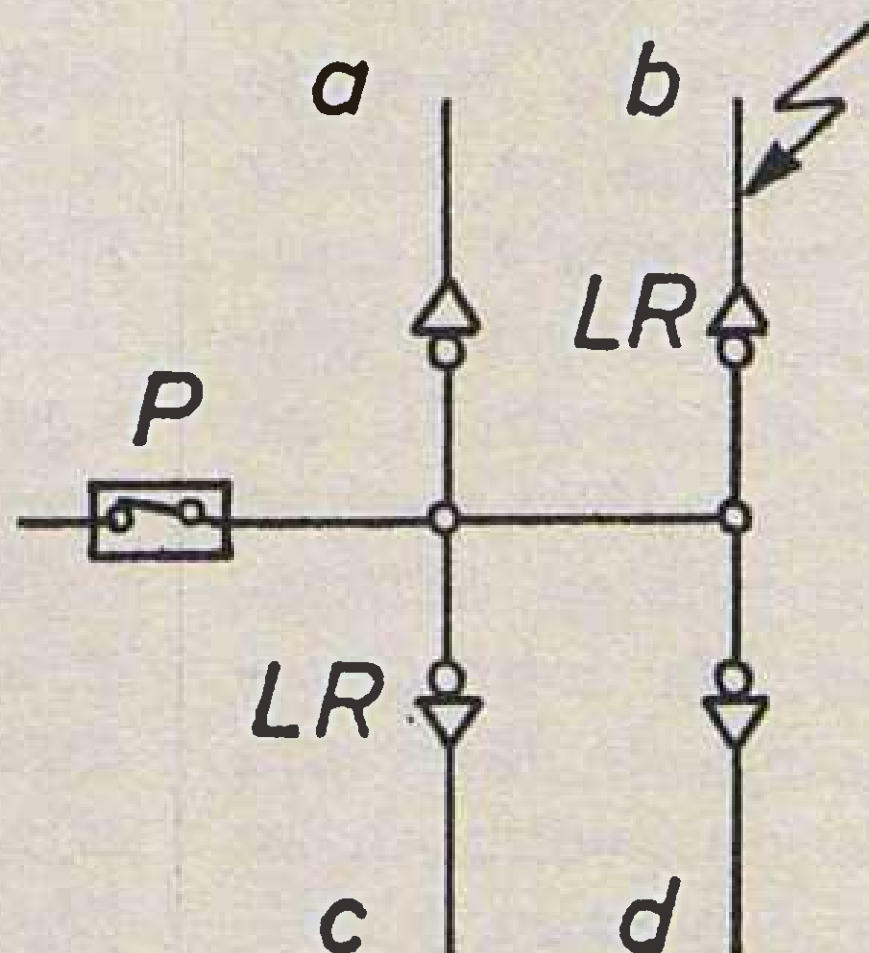
U slučaju pojave kvara na vodu (b), struja kratkog spoja I_k aktivira zaštitu prekidača (P), ugrađenog u TS na početku glavnog voda, koji prekida struju I_k za približno 0,1 — 0,2 sek. od njezinog nastanka.

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

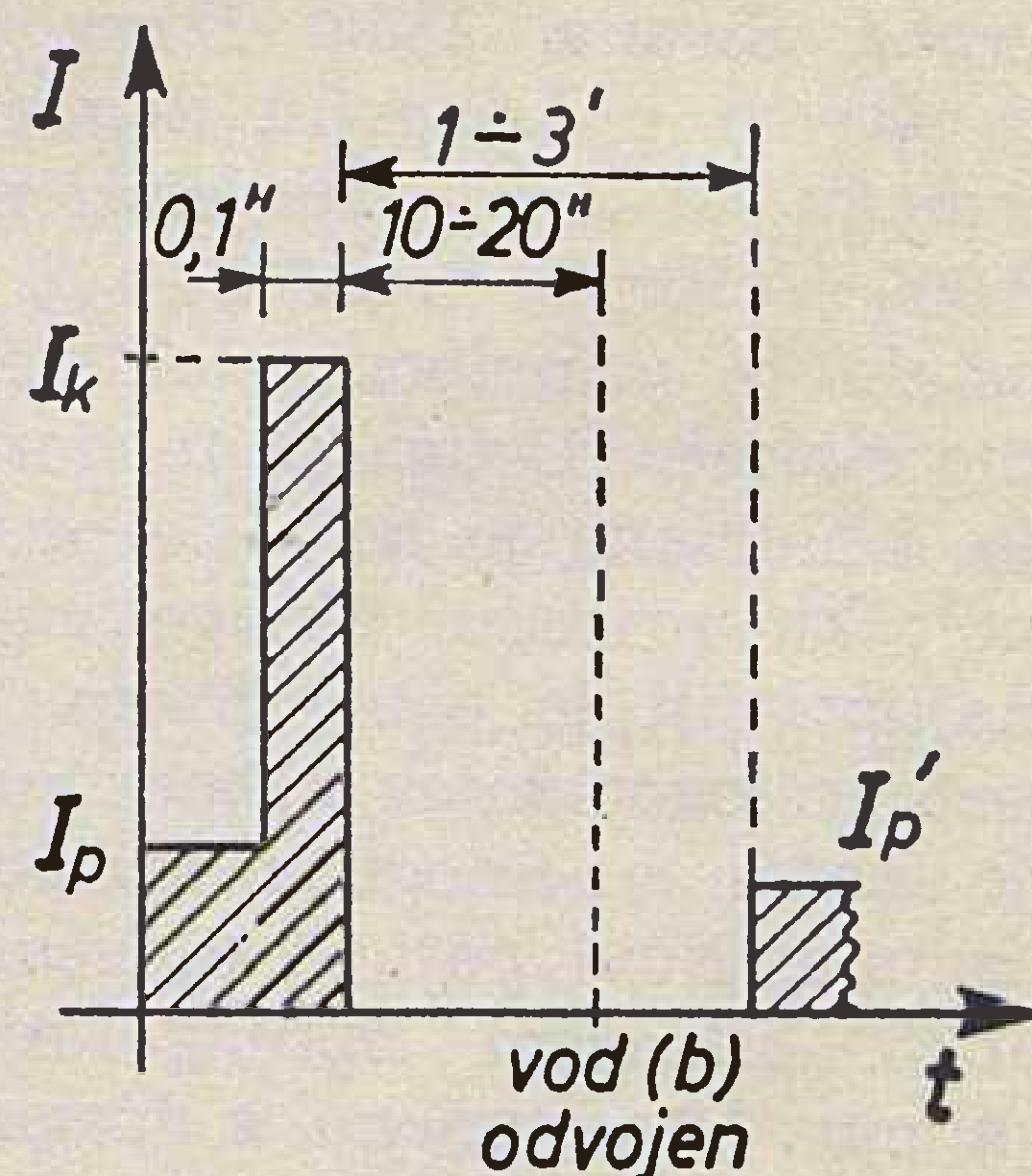
Uklapanjem prekidača, ručno ili automatski nakon pauze od 1 — 3 min., ponovno se nastavlja opskrba



Sl. 1.



Sl. 2.



Sl. 3.

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

$$I_p = I_k = 0$$

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

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

Neke mogućnosti primjene uređaja za automatsko odvajanje voda u kvaru

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

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

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

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

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

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

Zaključak

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

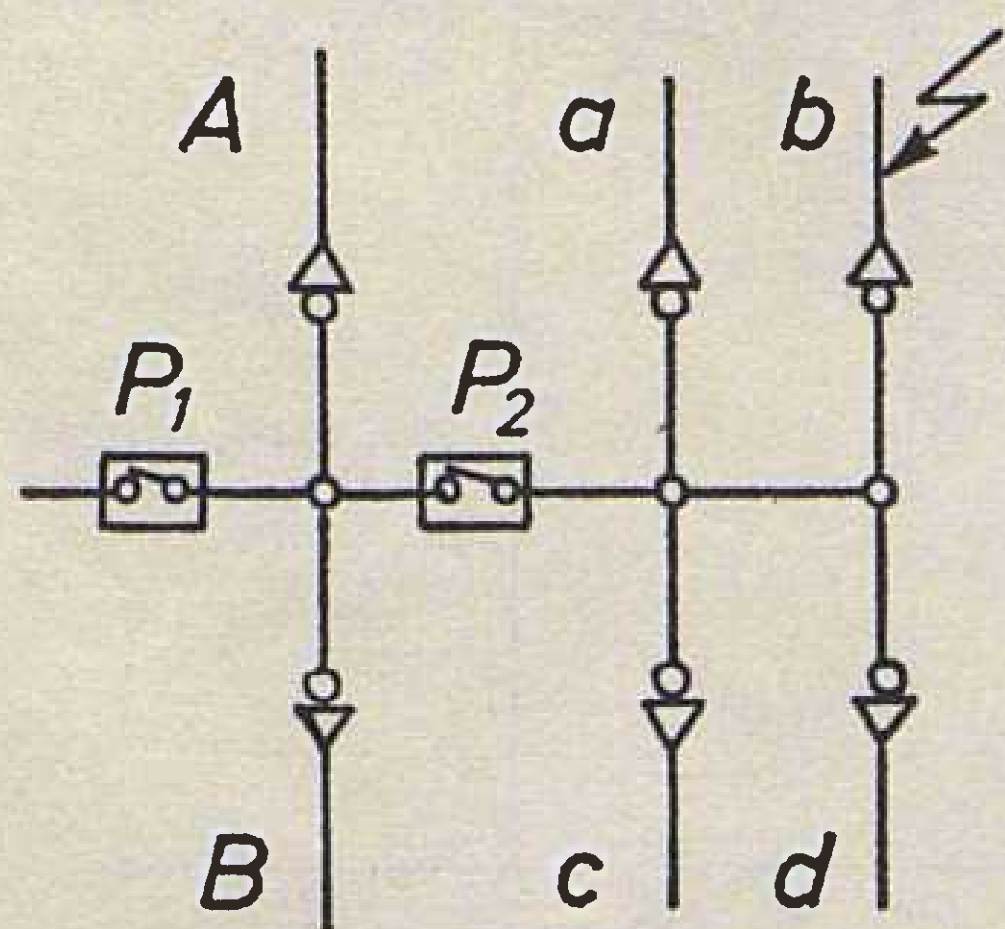
- sigurniju opskrbu el. energijom, radi manjeg broja ispada, jer izvan pogona ostaje samo vod u kvaru,
- kraće vrijeme za pronalaženje i otklanjanje kvara,
- manje troškove za otklanjanje nastalih kvarova,
- manje ljudstva i vozila za održavanje zračnih mreža srednjeg napona.

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

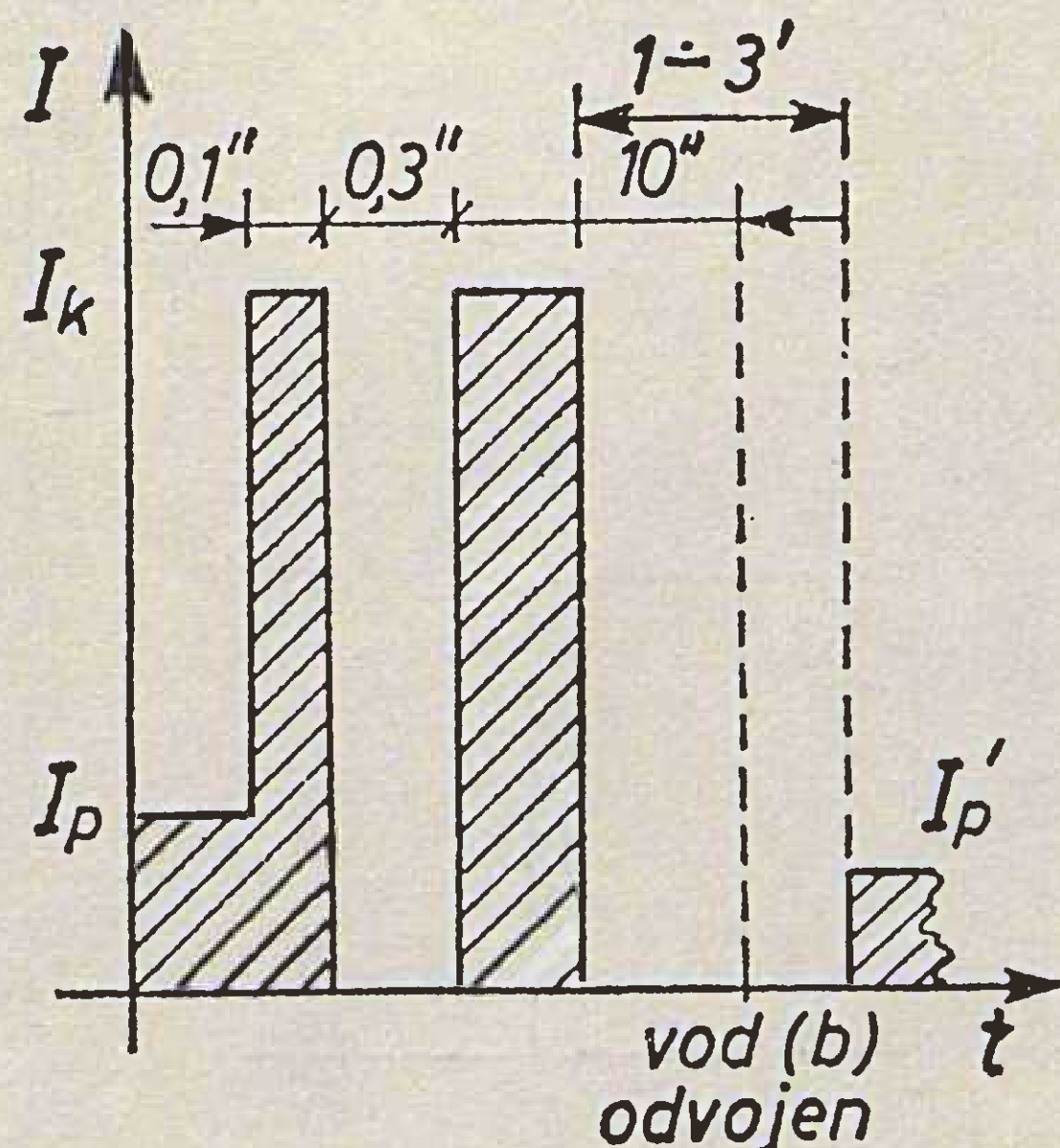
Naslov pisca:

Josip Polanc, dipl. ing.

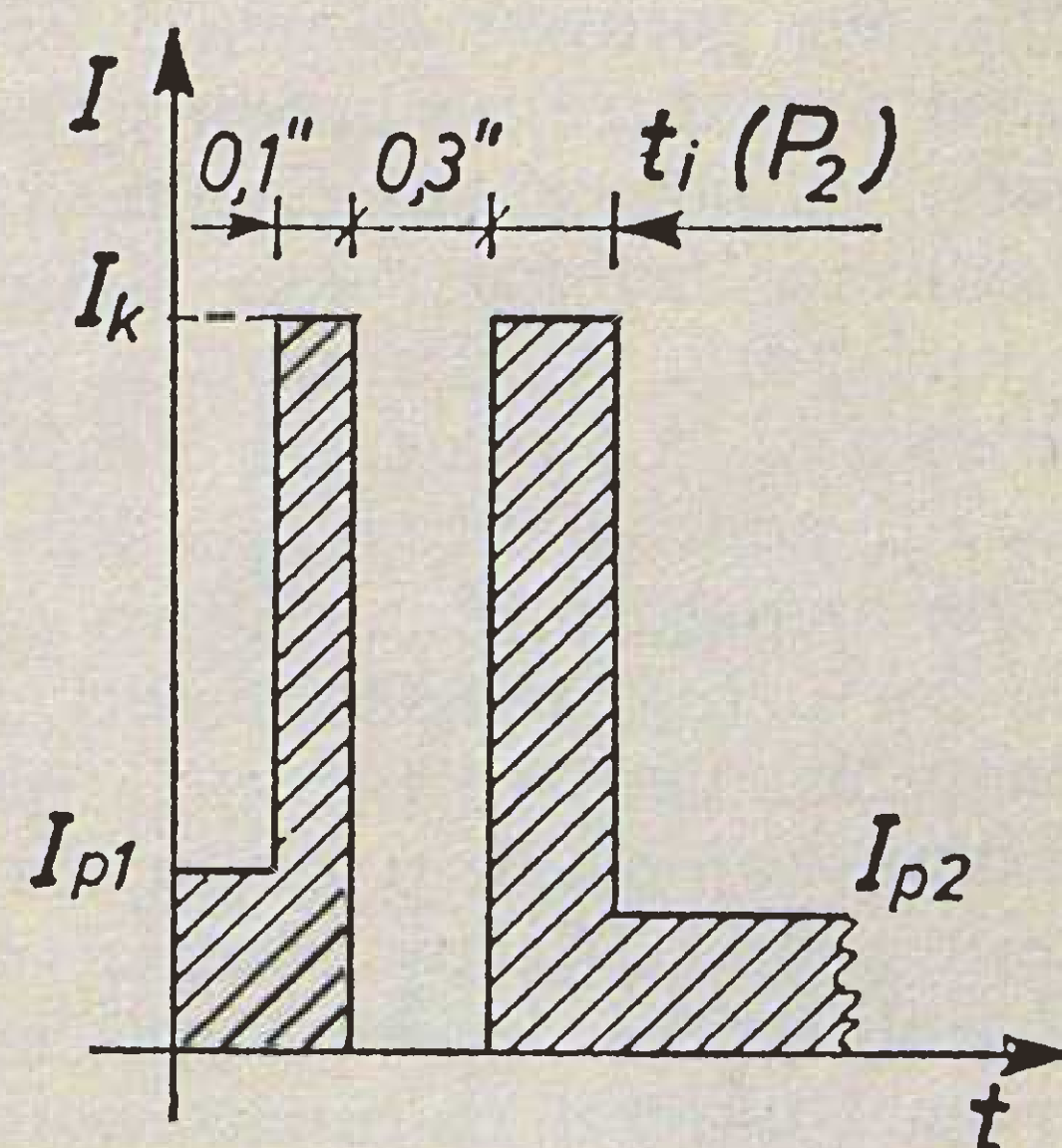
RO »Rade Končar« — Elektrouređaji



Sl. 4.



Sl. 5.



Sl. 6.



PROIZVODNJA PODMORSKIH KABELA 20 i 35 kV U SURADNJI ELKA — PIRELLI

Proizvodnja podmorskih energetskih kabela zahtijeva, zbog specifičnosti eksploatacije, vrhunsku tehnologiju i rigorozna fazna završna ispitivanja.

Međutim izbor izolacija energetskih podmorskih kabela na srednjem naponu nije velik. Danas se proizvode u kombinaciji papir-ulje, odnosno etilenpropilenu (EPDM).

Dugogodišnje proizvodno i eksploatacijsko iskustvo tvornice PIRELLI i drugih poznatih svjetskih proizvođača pokazalo je da EPDM ima svojstva koja se traže od izolacije za energetske kabele srednjeg napona, kao što su npr.:

- otpornost na djelovanje vode,
- otpornost na pojavu »treeing« — efekta,
- otpornost na mehanička naprezanja,
- elastičnost
- vijek trajanja, i dr.

»Elka« ima u proizvodnji kabela izoliranih etilenpropilenom dugogodišnje iskustvo, počevši od brodskih 1 kV kabela, lokomotivskih 3 kV kabela, sve do 10, 20 i 35 kV energetskih kabela.

U suradnji s renomiranom tvornicom »Pirelli«, »Elka« je pristupila realizaciji zajedničkog programa proizvodnje i polaganja podmorskih kabela za jadranske otoke, pa će u ovoj godini polagati 20 i 35 kV kabele u konstrukcijama 3 X 70 i 3 X 120 mm².

Umjesto da se pristupi spajanju žila gotovog kabela i čelične armature na brodu polagaču, uz pomoć stručnjaka investitora izabrali smo sigurniju i bolju varijantu. Žile će se spajati kod použenja i tako tvoriti neprekinutost žila i čelične armature. Razumljivo je da se to nije moglo obaviti u Zagrebu već u tvornici na jadranskoj obali, u ovom slučaju u Pirellijevoj tvornici u Napulju, gdje će kabel biti dovršen i ukrcan na jugoslaven-ski brod — polagač.

U proizvodnji spomenutih žila, kojih je proizvedeno više od 100.000 m primijenjena je posebna tehnologija proizvodnje, počevši od izrade specijalne izolacione mase, pa do izoliranja u jednovremenoj troslojnoj ekstruziji, što znači da se sva tri sloja brizgaju istovremeno i to:

- prvi poluvodljivi sloj na vodiču,
- primarna izolacija,
- drugi poluvodljivi sloj preko izolacije.

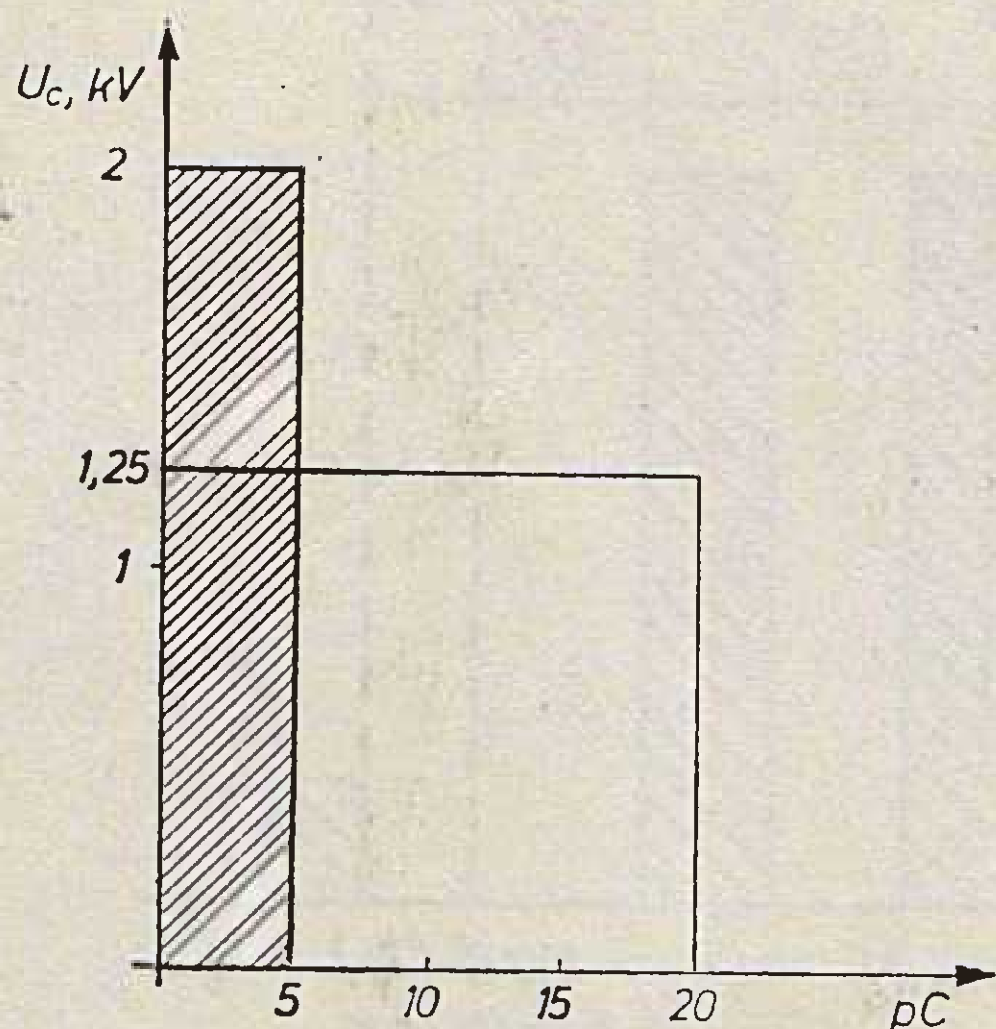
Ova tehnologija osigurava kvalitetan i čvrst spoj između slojeva, te daje garanciju da u trajnom radu kabela, pri cikličkom grijanju — hlađenju, ne može doći do odvajanja slojeva, pojave parcijalnih pražnjenja, te propadanja izolacije. Dakle, postiže se maksimalna čistoća svih slojeva, a time i dugi vijek trajanja kabela.

Svih 100% proizvedenih žila imalo je pri ispitivanju parcijalnih izboja ispod 5 pC i to pri dvostrukom nazivnom naponu, (sl. 1).

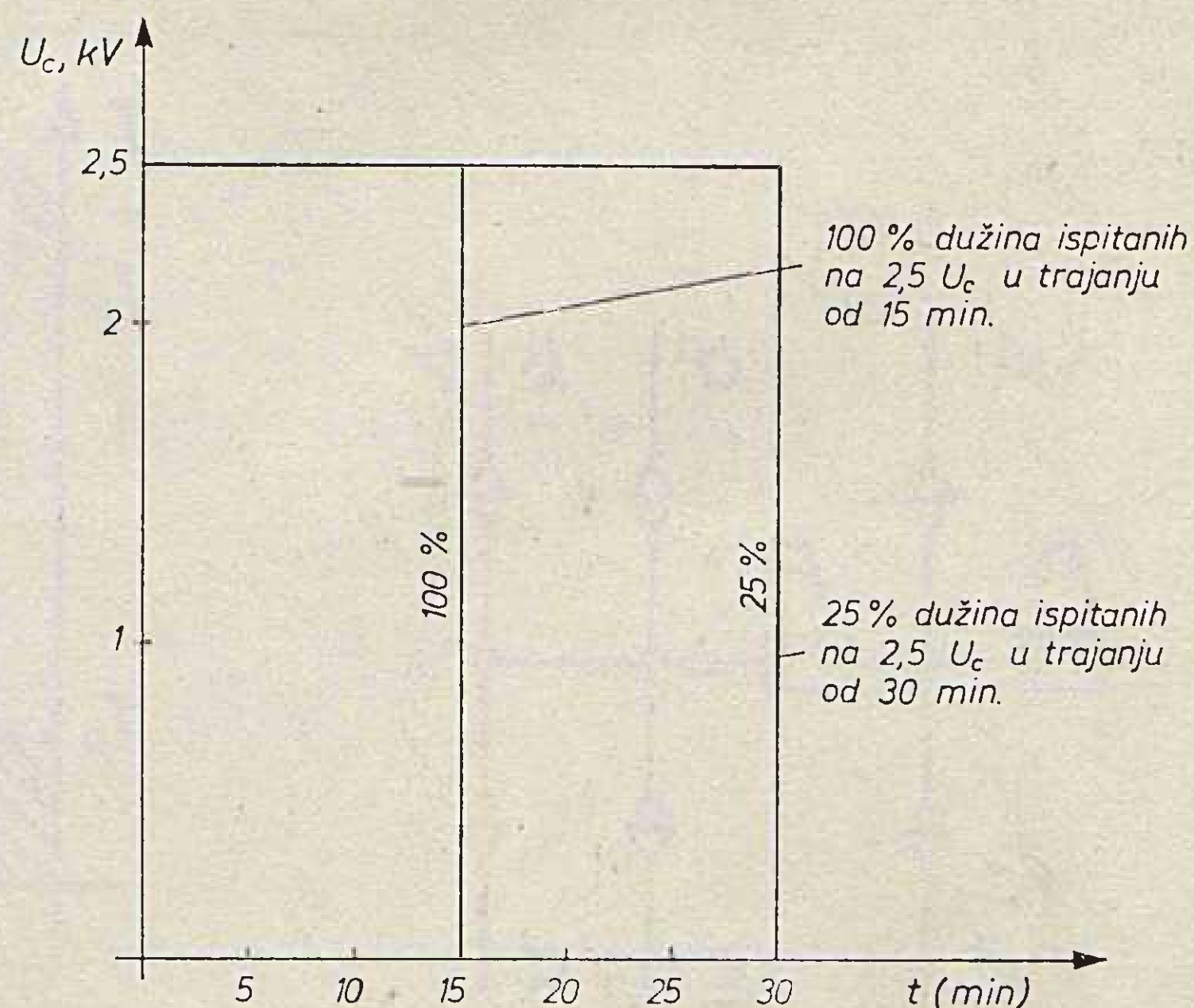
Svih 100% proizvedenih žila ispitano je na napon 2,5 U₀ u trajanju od 15 minuta, a 25% dužine je dodatno ispitano na napon 2,5 U₀ u trajanju od 30 min radi provjere (sl. 2).

Sve ispitane žile prošle su test, tj. ni jedna dužina nije probila, niti je odbačena zbog eventualno viših parcijalnih pražnjenja.

Ovi rezultati najbolje sami za sebe govore o razini kvalitete žila podmorskih kabela iz programa ELKA — PIRELLI.



Sl. 1.



Sl. 2.